

COMUNICACIONES

INALÁMBRICAS

Y ENLACES DE MICROONDAS

PRIMERA EDICIÓN

BORIS F. ALFARO BAZAN



COMUNICACIONES INALÁMBRICAS Y ENLACES DE MICROONDAS

PRIMERA EDICIÓN

BORIS F. ALFARO BAZAN



El Fondo Editorial de la Universidad Privada Domingo Savio es el encargado de publicar las obras desarrolladas dentro de la Universidad Privada Domingo Savio y trabaja por medio de alianzas Instituciones de Educación Superior de Brasil, Ecuador, Colombia, Chile y México.

Antes de la publicación, todos los contenidos de este libro fueron sometidos a sistema de arbitraje doble (**Double-Blind Peer Review**) de acuerdo con las recomendaciones de COPE.

COMUNICACIONES

INALÁMBRICAS

Y ENLACES DE MICROONDAS

PRIMERA EDICIÓN

BORIS F. ALFARO BAZAN



Dictamen académico

La presente obra en su conjunto fue dictaminada por pares académicos bajo el método de doble ciego, conforme a los estándares editoriales y éticos de la publicación científica. Este proceso garantiza la imparcialidad, calidad y pertinencia académica del libro Competencias Digitales Docentes en la Educación: de las TIC a la Inteligencia Artificial.

De esta manera, el libro Competencias Digitales Docentes en la Educación: de las TIC a la Inteligencia Artificial cumple con los estándares internacionales de evaluación por pares, consolidándose como un espacio de difusión del conocimiento riguroso y comprometido con el desarrollo sostenible, la ética investigativa y la calidad editorial.

La presente obra en su conjunto fue dictaminada por pares académicos bajo el método de doble ciego.

Comunicaciones inalámbricas y redes de microondas

© Boris Alfaro Bazán

© Fondo Editorial Universidad Privada Domingo Savio

Derechos de autor

Una vez realizada la publicación, los autores aceptan que la editorial promocióne y difunda su contenido en parte o con la totalidad del artículo siempre y cuando se dé el crédito respectivo al autor(a)[as, es], quien[es] a todo evento mantiene[n] los derechos de propiedad intelectual.

El Fondo Editorial Universidad Privada Domingo Savio otorga a cada artículo, libro y capítulo de libro publicado un [Digital Object Identifier \(DOI\)](#)

Derechos de los lectores

El contenido de todas las publicaciones del Fondo Editorial de la Universidad Privada Domingo Savio se presentan en formato abierto, de tal manera que los lectores pueden acceder al contenido de cada título gratuitamente, una vez que haya sido publicado.

Signatories of



Signatories of



Los libros publicados por el Fondo Editorial de la Universidad Privada Domingo Savio se pueden compartir bajo licencia [Creative Commons – Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional – CC BY-NC-ND 4.0](#) en la definición de su política de acceso abierto y reúso del material publicado

ÁREAS DE CONOCIMIENTO EN ESTE LIBRO

06 Ingeniería, Industria y Construcción – 0604 Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones – 621.384 Comunicaciones inalámbricas

06 Ingeniería, Industria y Construcción – 0604 Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones – 621.382 Sistemas de telecomunicaciones

El Fondo Editorial de la Universidad Privada Domingo Savio, es una editorial académica parte de la Universidad Privada Domingo Savio y con alianzas con Instituciones de Educación Superior en Brasil, Ecuador, Colombia, Chile y México.

DEPÓSITO LEGAL: 2-1-167-2024

ISBN: 978-99974-22-22-4



<https://doi.org/10.59659/upds.book.2026.001>

Este título se distribuye bajo Gestión de derechos digitales DRM (Digital Rights Management).

Licencia de distribución; Comunicaciones inalámbricas y enlaces de microondas 2026 by Boris Alfaro Bazán is licensed under CC BY-NC-ND 4.0. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA

En 2005, un sábado cualquiera, decidí salir de mi zona de confort y buscar una oportunidad para enseñar. Recién había descubierto mi pasión por la programación y deseaba compartirla con otros.

Afortunadamente, se me presentó la ocasión de dar clases en un instituto tecnológico de la Av. Ayacucho. A partir de entonces, comencé a conocer a mucha gente: otros profesores, estudiantes, dueños y administradores de instituciones educativas. Con el tiempo he podido impartir cursos en la mayoría de estos lugares.

Más adelante, pude trabajar en empresas de telecomunicaciones y universidades, donde tuve experiencias que me ayudaron a crecer tanto en conocimientos como en carácter. Reconozco, con humildad, que aún me falta mucho por aprender.

Hace unos años decidí que quería escribir. Culminar este libro representa la cristalización de ese sueño y me ha permitido profundizar en temas que me apasionan.

Normalmente la gente se salta esta parte de los libros, por considerarla demasiado personal o íntima. Sin embargo, no quería desaprovechar la oportunidad de reflexionar sobre cómo todas las personas que he conocido han contribuido a canalizar mis esfuerzos para construir algo, colaborando e influyendo positivamente en mi vida en el proceso. Compartir esto con ustedes me produce una gran satisfacción.

Agradezco y dedico estas palabras a todos aquellos con los que he compartido o compartiré un aula u oficina, a todas esas personas talentosas y trabajadoras. Pero, sobre todo, doy gracias a quienes me empujaron a la piscina, repleta de cocodrilos, tiburones y demás amenazas, con el único mandato de "llegar al otro lado, si puedes".

AUTOR: ING. BORIS FERNANDO ALFARO BAZÁN

REVISIÓN: LIC. GILKA VALENCIA BELTRÁN

DISEÑO DE CUBIERTA Y MAQUETACIÓN EDITORIAL:
SARA COLQUE ARGOTE

INDICE

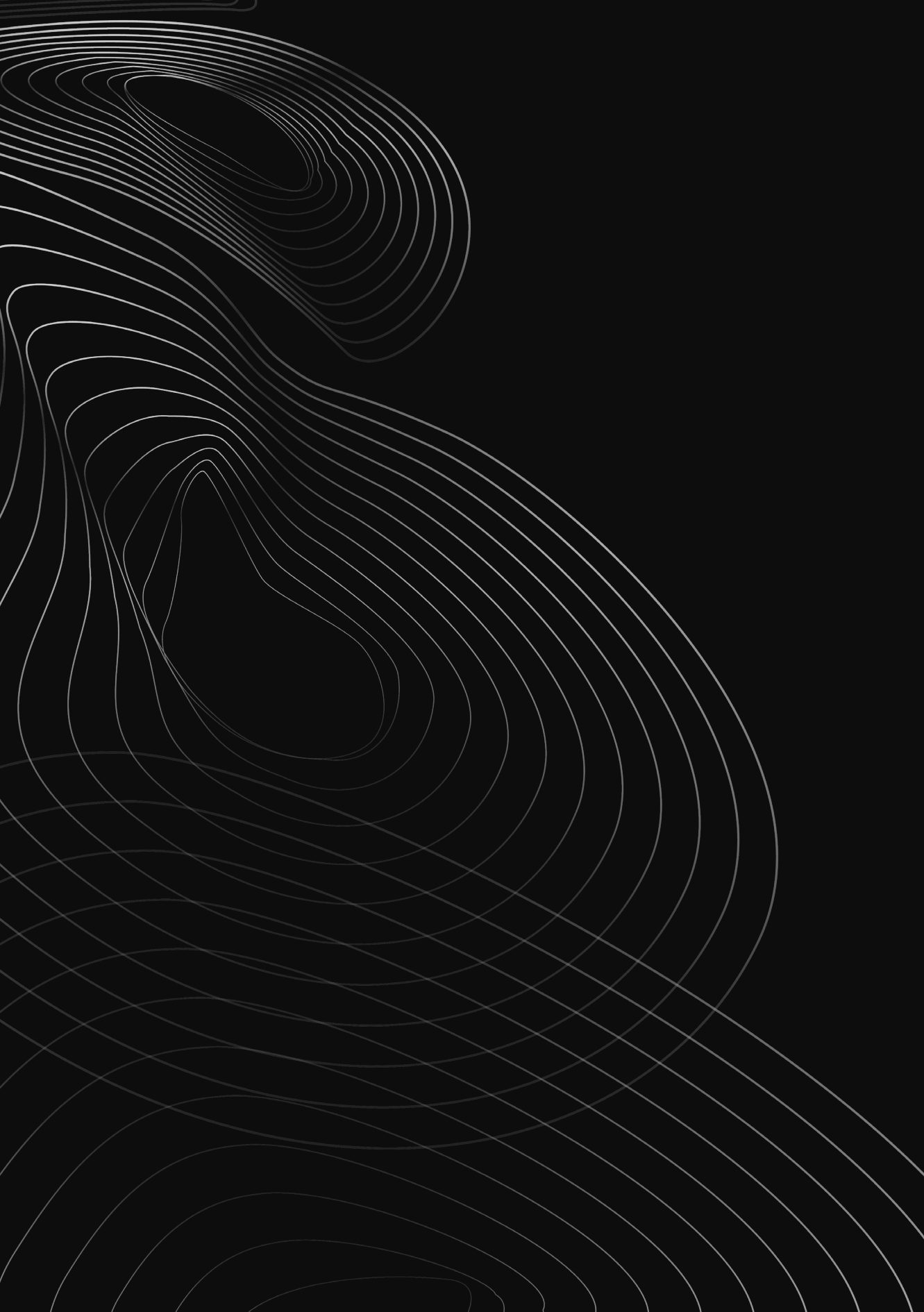
Capítulo 1:	1
Fundamentos de las Comunicaciones Inalámbricas	1
1.1 Introducción a las comunicaciones inalámbricas	1
1.2 Propiedades de las ondas	2
Amplitud.....	3
Frecuencia.....	3
Fase.....	6
Longitud de onda	6
Velocidad de propagación	7
Dirección de propagación	7
Polarización (en ondas transversales)	8
Interferencia	8
Reflexión y refracción	9
Difracción	10
Atenuación	10
Energía.....	11
1.3 Los dB (Decibelios) en comunicaciones inalámbricas	11
No es absoluto.....	12
Manejo matemático.....	12
Usos específicos en comunicaciones inalámbricas.....	15
1.4 El experimento de Faraday y su relevancia en las comunicaciones	17
1.5 Cuestionario	18
Capítulo 1: Fundamentos de la comunicación inalámbrica	19
1.6 Conclusiones	20
Capítulo 2:	23
Transmisión de Ondas y Propagación en el Espacio	23
2.1 El dipolo	24
Comportamiento del dipolo en $T/8$	24
Comportamiento del dipolo en $T/4$	25
Comportamiento del dipolo en $T/2$	26
2.2 Antenas: Principios y tipos	29
Antena Dipolo	29
Antena Yagi-Uda.....	29
Antena Parabólica.....	30
Antena de Panel	30
Antena de Helicoide	30
Antena de Bocina.....	30
2.3 Nuestro planeta, un caso muy particular	31
Troposfera (0-12 Km)	33
Estratosfera (12 - 50 Km)	33
Mesosfera (50 - 80Km).....	34

Termosfera (80 - 700 Km).....	34
Exosfera (700 - 10.000km).....	34
2.4 Características especiales de la atmósfera	34
Ablación atmosférica	34
Composición.....	34
Capa de ozono.....	35
Presión atmosférica.....	35
Efecto invernadero	35
Circulación atmosférica	35
2.5 Consideraciones de propagación de ondas en la atmósfera	35
Perdidas en espacio libre.....	36
Perdidas por materiales.....	38
Perdidas por fenómenos climatológicos.....	39
Posición espacial de los transceptores.....	41
Capítulo 2: Transmisión de Ondas y Propagación en el Espacio	45
2.6 Cuestionario	45
2.7 Conclusiones.....	46
Capítulo3:	49
Espectro Electromagnético y Ancho de Banda	49
3.1 El espectro electromagnético y su importancia en comunicaciones inalámbricas.....	49
3.2 Ancho de banda y su relación con la velocidad de transmisión.....	52
3.3 Ancho de banda y su relación con la frecuencia.....	53
3.4 Ancho de Banda y velocidad.....	53
3.5 Ancho de banda y propagación de ondas en la atmósfera.....	54
3.6 Interferencia y ruido en comunicaciones inalámbricas.....	54
Interferencia Electromagnética (EMI).....	54
Ruido en Telecomunicaciones	55
3.7 Potencia y regulaciones internacionales para el uso del espectro electro- magnético	56
3.8 Regulaciones nacionales para los enlaces de microondas.....	57
Capítulo 3: Espectro Electromagnético y Ancho de Banda	59
3.9 Cuestionario.....	59
3.10 Conclusiones	60
Capítulo4:	63
Sistemas de comunicaciones inalámbricos	63
4.1 Elementos de los sistemas de comunicaciones inalámbricos.....	63
4.1.1 Antena	64
4.1.2 Radio	66
4.1.3 Networking.....	67
4.2 Estructuras.....	69
Colores.....	69
Capacidad de carga	69

Construcción	69
Señalización	69
4.2.1 Tipos de torres	70
Monopolo	72
Arriostradas	72
Mastiles	72
4.3 Tipos de enlaces.....	73
4.3.1 Enlaces Punto a Punto (PtP).....	73
4.3.2 Enlaces Punto Multi Punto (PtMP).....	73
4.5 Caso de estudio los WISP	74
4.6 Las millas en telecomunicaciones	77
Capítulo 4: Sistemas de comunicación inalámbricos.....	78
4.7 Cuestionario.....	78
4.8 Conclusiones.....	79
4.9 Referencias	80
Capítulo5:	83
Tecnologías y Estándares en Redes Inalámbricas.....	83
5.1 IEEE 802.11 y su relevancia en redes inalámbricas	83
Estándares.....	84
Los estándares más comunes dentro de la familia IEEE 802.11 son:.....	85
Canalización	86
5.2 Nomenclatura y estándares en redes inalámbricas	89
5.3 Tecnologías de modulación utilizadas en comunicaciones inalámbricas.....	90
DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum).....	90
OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).....	92
OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)	94
5.4 Protocolos propietarios basados en 802.11: Ubiquiti AirMax, MiktoTik Nstream y Nv2.....	95
Ubiquiti AirMax.....	95
MiktoTik Nstream	96
MiktoTik Nv2	97
5.5 Cuestionario.....	98
Capítulo 5: Tecnologías y Estándares en Redes Inalámbricas.....	98
5.6 Conclusiones.....	99
Capítulo 6:	103
Configuración de equipos de comunicaciones inalámbricas	103
6.1 Clasificaciones de redes de datos	104
Modo station	117
6.3.1 Configuración AP (Access Point).....	121
6.3.2 Configuración CPE o station	123
6.4 Configuración de Networking.....	124
6.4.1 Direccionamiento IP	124

6.4.2 Cliente DHCP	124
6.4.4 Enmascaramiento	129
6.4.5 DNS.....	132
6.4.6 Ruta por defecto.....	133
6.4.7 Enrutamiento	134
Anexo A	141
Infografía	141
Anexo B	155
Cuestionarios	155





Capítulo 1:

Fundamentos de las Comunicaciones Inalámbricas

1.1 Introducción a las comunicaciones inalámbricas

Las redes de datos se pueden clasificar en dos tipos de medios: guiados y no guiados. En este capítulo, nos enfocaremos en la comunicación a través de un medio no guiado, es decir, el aire.

Los enlaces de microondas representan un tema amplio en telecomunicaciones debido a la diversidad de conocimientos requeridos para llevarlos a cabo con éxito y mantenerlos funcionando adecuadamente. Por lo tanto, en este capítulo, proporcionaremos un conocimiento base sobre los fenómenos físicos involucrados en esta tecnología, desde la radiación y la implementación de antenas hasta la configuración del equipamiento de networking y el manejo de señales, entre otros aspectos.

Al establecer enlaces de microondas, es fundamental tener en cuenta las condiciones específicas de cada caso, ya que los parámetros relevantes pueden variar significativamente. Estos parámetros nos guiarán en nuestro camino para establecer comunicación efectiva entre lugares distantes utilizando microondas.



Hedy Lamarr

Fuente: <https://www.stockvault.net/photo/200454/hedy-lamarr>

En el ámbito de la Ciencia y la Tecnología, la representación femenina es actualmente limitada en nuestras sociedades. Arrastramos una herencia arraigada de prejuicios que dificultan la visión de un futuro justo y sostenible.

Hedy Lamarr (1914–2000), una actriz aclamada con el título de la mujer más hermosa del cine poseía

dones que eran igualmente notables y, en algunos casos, aún más sobresalientes que su belleza. Desde temprana edad, en Austria, su país natal, experimentó las expectativas restrictivas impuestas a las mujeres en términos de su rol en la sociedad. Se vio limitada en su capacidad de interacción y expresión de opiniones en asuntos de importancia.

Siendo su padre, Emil, un destacado director de banco, y su madre, Trude, una pianista y descendiente de una familia de clase alta originaria de Budapest, Hedy creció en el seno de una familia conservadora que enmarcó su entorno.

A pesar de ello, guiada por su perspicacia, Hedy llevó una vida llena de aventuras, habiendo contraído matrimonio en seis ocasiones.

Según las entrevistas que ella concedió, uno de los motivos para esto fue su deseo de ocupar un espacio tradicionalmente reservado para los hombres, ya que tenía mucho que aportar. El motivo de su inclusión en el presente libro es, además de inspirar a las posibles lectoras, resaltar su contribución. Junto a su amigo George Antheil, un compositor del género de la música de vanguardia, lograrían un notable invento durante la Segunda Guerra Mundial.

En el pasado, las microondas eran la opción principal para conectar sitios distantes. Con la caída de los precios de la fibra óptica, esta ha surgido como alternativa viable en algunos casos. A pesar de ello, las comunicaciones inalámbricas ofrecen ventajas en topologías complejas y costos favorables.

Aunque la fibra óptica es técnicamente viable en muchos casos, su costo sigue siendo superior y su instalación puede requerir más logística, lo que a veces hace que no sea factible debido a la geografía u otros factores.

Los fabricantes de dispositivos como MiktoTik, Ubiquiti, Cambium, Aruba, entre otros, han desempeñado un papel importante en el impulso de esta industria. Sus dispositivos ofrecen precios competitivos en comparación con otros fabricantes establecidos, utilizan tecnologías abiertas basadas principalmente en GNU (Linux) y brindan una amplia gama de servicios y tecnologías que hacen que la implementación de enlaces inalámbricos sea práctica y, en cierto sentido, emocionante.

Con el auge proyectado del Internet de las Cosas (IoT), la importancia de dominar la tecnología inalámbrica se hace evidente, ya que la mayoría de estas soluciones requerirán comunicación inalámbrica.

Es por todas estas razones que este libro desempeña un papel relevante en la implementación de las telecomunicaciones. Ofrece conocimientos valiosos sobre enlaces inalámbricos y tecnologías que son cada vez más importantes en el panorama de las comunicaciones modernas.

1.2 Propiedades de las ondas

Las ondas son perturbaciones que facilitan la transferencia de energía sin necesidad de transportar materia, lo que las convierte en uno de los fenómenos físicos más fundamentales, presentes tanto en la mecánica como en el espectro electromagnético. A través de ellas, podemos percibir cómo la energía da forma a lo que concebimos como nuestro mundo.

En esta rama de la ingeniería, las ondas se convierten en la materia prima esencial, por lo que es imprescindible comprender sus propiedades y características. Entre las principales propiedades de las ondas, destacan las siguientes:

Amplitud

La amplitud de una onda se refiere al valor máximo de energía que la onda puede alcanzar, ya sea en términos de tensión, corriente o potencia. En el caso de señales simétricas, como las que asumimos aquí, el valor de desplazamiento u offset es igual a 0, lo que significa que la onda alcanza valores iguales tanto en positivo como en negativo.

Además de la amplitud, también tenemos el concepto de amplitud pico a pico, que representa la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de la onda en relación con el eje vertical.

Frecuencia

La frecuencia es una medida que representa la variación de una onda. Cuando observamos una señal u onda real, puede ser difícil determinar su frecuencia directamente. Sin embargo, gracias al trabajo de Fourier, sabemos que cualquier señal se puede descomponer en una suma infinita de señales con diferentes frecuencias.

En la figura 1 presentada, podemos apreciar la forma de la onda, pero establecer su frecuencia específica puede resultar complicado. No obstante, mediante el análisis de Fourier, podemos descomponer esta onda en sus componentes fundamentales de diferentes frecuencias, lo que nos brinda una comprensión más profunda de la señal.

En aquel momento, se buscaba un sistema con la suficiente seguridad para contrarrestar el jamming (una técnica que permite obtener señales inalámbricas de manera no autorizada) que los enemigos estaban empleando. Esto permitiría predecir las posiciones a las que los misiles estaban siendo dirigidos.

Así es, un músico y una científica (y, por supuesto, actriz) descubrieron el espectro ensanchado (Spread Spectrum) y la técnica de modulación por salto de frecuencia (Frequency Hopping Spread Spectrum o FHSS), ambos conceptos fundamentales. Su contribución fue esencial para la victoria de los aliados. Sin embargo, sus logros van más allá: hoy en día, estas técnicas son la base del WiFi y continúan impulsando avances en el Internet de las cosas (IoT).

Este relato ejemplifica cómo la diversidad de pensamiento y la colaboración pueden generar avances transformadores. Su trabajo ha demostrado que debemos aspirar a diversificar nuestras perspectivas, mejorar la toma de decisiones, impulsar el desarrollo económico y social, mejorar productos y servicios, desafiar estereotipos y, como resultado, cerrar la brecha de género.

Hedy Lamarr, además de protagonizar películas aclamadas y controvertidas, todas con un indiscutible valor artístico y cultural, dejó un legado aún más significativo: un legado científico, tecnológico, económico y mucho más. Su historia ilustra cómo una única persona puede forjar un impacto duradero y trascendental en múltiples campos, resaltando la importancia de reconocer y celebrar las contribuciones femeninas en todos los ámbitos.

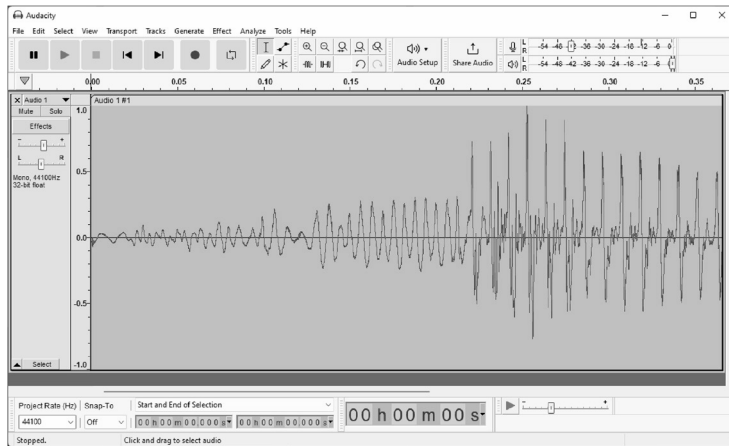


Figura 1 - Onda real que representa a una persona diciendo "Hola".

Ahora, vamos a considerar una señal modelo, conocida como la señal ideal. Esta señal es una función seno con parámetros claramente definidos, lo que la hace fácil de entender y analizar. Se caracteriza por tener una amplitud pico bien definida, ser periódica y poseer una sola frecuencia.

La señal ideal es una herramienta útil en el análisis de ondas, ya que su simplicidad nos permite comprender y visualizar claramente sus características fundamentales. Al ser periódica, la señal ideal se repite en intervalos regulares, lo que facilita su estudio y nos brinda una visión clara de su comportamiento a lo largo del tiempo.

Con una única frecuencia, la señal ideal nos permite centrarnos en un solo componente de onda, lo que resulta valioso para comparar y contrastar con señales más complejas que están compuestas por múltiples frecuencias.

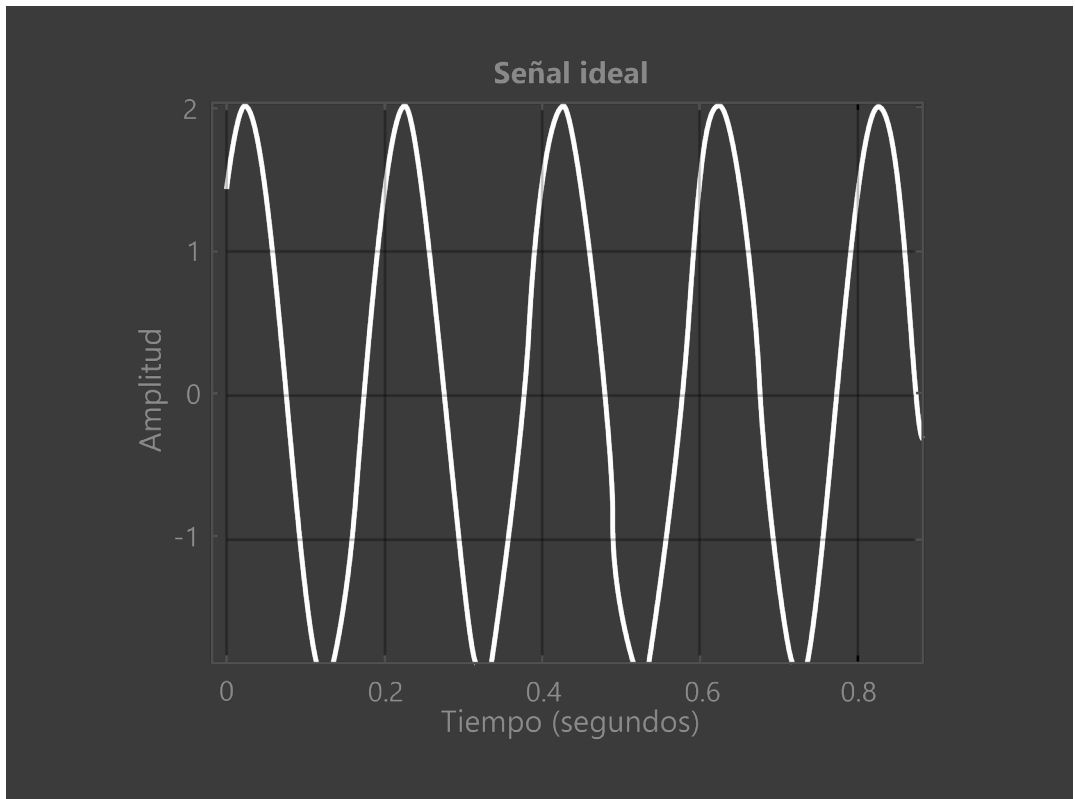


Figura 1.2 - Onda ideal sinusoidal.
Fuente: elaboración propia

Script Octave/Matlab para generar una onda sinusoidal

```

1 % Parámetros de la señal
2 amplitud = 2;      % Amplitud de la señal
3 frecuencia = 2;    % Frecuencia de la señal (en Hz)
4 fase = pi/4;      % Fase de la señal (en radianes)
5
6 % Definir el rango de tiempo
7 tiempo = linspace(0, 2*pi, 1000);
8
9 % Generar la señal seno
10 senal = amplitud * sin(2*pi*frecuencia*tiempo + fase);
11
12 % Graficar la señal
13 figure;
14 plot(tiempo, senal);
15 title('señal ideal');
16 xlabel('Tiempo (segundos)');
17 ylabel('Amplitud');
18 grid on;
19
20 % Identificar los parametros de la señal%
21 fprintf('parametros de la señal:\n');
22 fprintf('Amplitud: %f\n',frecuencia);
23 fprintf('Frecuencia: %f Hz\n',frecuencia);
24 fprintf('Fase: %f radianes\n',fase);

```

Script 1.1 - Generación de onda sinusoidal.

La frecuencia se refiere al número de ciclos completos que una señal realiza en un segundo. Para que se considere que se ha completado un ciclo, la señal debe recorrer desde el origen hasta alcanzar la cresta más alta, luego descender hasta el valle y finalmente regresar a cero. Cuando se ha realizado este recorrido, se habrá cumplido un ciclo completo.

La unidad de medida de frecuencia es el Hertz (Hz), que representa la cantidad de ciclos por segundo. Por lo tanto, la cantidad de ciclos que logre realizar nuestra señal en un segundo determinará su frecuencia en Hz.

$$f = \frac{\text{ciclos}}{\text{segundo}} \text{ [Hz]}$$

Fase

La fase de una señal nos indica si está "adelantada o atrasada" en comparación con otra señal de referencia. En la figura 2, mostramos el efecto de la fase en una señal, se recomienda al lector ensayar diferentes valores de la variable fase. Cuando una señal está adelantada en fase, significa que se encuentra en un estado más avanzado en relación con la señal de referencia. Por otro lado, cuando una señal está atrasada en fase, indica que se encuentra en un estado más retrasado en comparación con la señal de referencia.

La fase es una medida crucial en el estudio de las señales, ya que su correcta manipulación e interpretación puede influir significativamente en la calidad y el rendimiento de los sistemas de comunicación y procesamiento de señales.

Longitud de onda

La longitud de onda es un parámetro esencial que nos permite relacionar el desplazamiento de una onda a través del espacio. Si consideramos que la velocidad de propagación de la onda es igual a la velocidad de la luz, y conocemos la frecuencia de la onda, podemos establecer la relación entre la velocidad y el cambio de posición en un intervalo determinado, que corresponde al periodo de la onda (τ), el cual es la inversa de la frecuencia. Por lo tanto:

$$c = \lambda / \tau$$

Esta fórmula nos permite calcular la velocidad de propagación de una onda según su longitud de onda y su periodo. Es especialmente útil cuando trabajamos con ondas electromagnéticas, como la luz, donde la velocidad de propagación es constante (la velocidad de la luz en el vacío) y podemos establecer esta relación fundamental entre longitud de onda y frecuencia.

$$\lambda = cf$$

donde:

$$c = 3 \times 10^8 \text{ [m / s]}$$

Velocidad de propagación

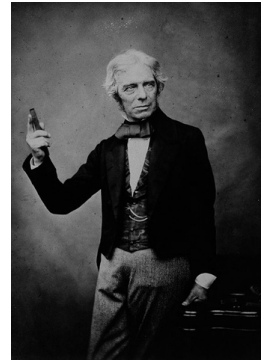
La velocidad de propagación de una onda es la rapidez con la que la perturbación se desplaza a través del medio. Esta velocidad está determinada por las propiedades características del medio en el que la onda se transmite. Por ejemplo, en medios sólidos como el acero, la velocidad de propagación de una onda sonora es mayor que en medios líquidos como el agua. Además, la velocidad de propagación también puede variar dependiendo de otras variables, como la temperatura y la presión del medio.

Es crucial considerar que la velocidad de propagación de una onda puede ser vital en diversas aplicaciones. Por ejemplo, en la industria de la construcción, comprender la velocidad de propagación del sonido en diferentes materiales es esencial para diseñar estructuras que minimicen el impacto de las vibraciones y aseguren la estabilidad y seguridad de las edificaciones. Asimismo, en el ámbito de las telecomunicaciones, la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas es un aspecto crítico para garantizar una transmisión de datos eficiente y confiable en redes de comunicación.

Dirección de propagación

La dirección de propagación de una onda es la dirección en la que se mueve a través del medio. Esta dirección puede ser horizontal, vertical o cualquier otra, dependiendo del tipo de onda que estemos considerando. En el caso de las ondas electromagnéticas, como la luz, la dirección de propagación es perpendicular a la dirección del campo eléctrico y magnético. En las ondas sonoras, la dirección de propagación es longitudinal, paralela a la vibración de las partículas del medio.

La dirección de propagación es un aspecto fundamental que caracteriza la naturaleza de las ondas y su comportamiento en el espacio. En el caso de las ondas electromagnéticas, su propagación en dirección perpendicular a los campos eléctrico y magnético es lo que les permite viajar a través del vacío, lo que es fundamental para la transmisión de la luz y las señales de radio. En las ondas sonoras, la dirección longitudinal de propagación se relaciona directamente con cómo las vibraciones del medio se transmiten y producen el sonido.



Michael Faraday

Fuente: <https://wellcollection.org/works/ee7bedrj>

Michael Faraday, un genio que sentó las bases de las comunicaciones inalámbricas. Ser seleccionado para inspirar desde un cuadro, junto a gigantes como Issac Newton y James Clerk Maxwell, ni más ni menos que al mismísimo Albert Einstein. Así de grande fue Michael Faraday, uno de los científicos más influyentes en el desarrollo de las comunicaciones inalámbricas y la tecnología eléctrica moderna.

Faraday nació en una familia humilde en el centro de Londres. Su falta de educación formal no fue impedimento para que este brillante autodidacta realizara descubrimientos revolucionarios. De niño enfrentó dificultades en la escuela por no poder pronunciar la "R", pero su tenacidad y pasión por aprender le permitieron superar los obstáculos.

Polarización (en ondas transversales)

Las ondas electromagnéticas, como las señales de radio y televisión, pueden tener una dirección específica de oscilación que es perpendicular a su dirección de propagación. Este fenómeno se conoce como polarización. Las ondas electromagnéticas pueden presentar tres tipos principales de polarización: lineal, circular y elíptica, y esto depende de la orientación y forma de su oscilación.

La polarización lineal ocurre cuando la dirección de oscilación se mantiene constante en el tiempo, la onda vibra en una dirección. Por otro lado, en la polarización circular, la dirección de oscilación rota en un patrón circular a medida que la onda se propaga. Por último, la polarización elíptica es una combinación de la polarización lineal y circular, lo que implica que la dirección de oscilación traza una elipse a medida que la onda avanza.

La polarización de las ondas electromagnéticas es importante en diversas aplicaciones tecnológicas. En la transmisión de señales de radio y televisión, por ejemplo, la polarización adecuada es fundamental para garantizar una recepción clara y óptima en los dispositivos receptores. Además, la tecnología de polarización de antenas se basa en la manipulación de la polarización para lograr una mejor comunicación inalámbrica y un rendimiento óptimo de las redes de telecomunicaciones.

Interferencia

Cuando dos o más ondas se encuentran y se superponen en un mismo punto del espacio, pueden interactuar de dos formas distintas: de manera constructiva o destructiva. A este fenómeno se le conoce como interferencia.

La interferencia constructiva ocurre cuando las crestas de las ondas coinciden en fase, sumando sus amplitudes y generando una amplitud resultante mayor. En contraste, la interferencia destructiva sucede cuando una cresta de una onda se superpone con el valle de otra onda, restándose sus amplitudes y generando una amplitud resultante menor.

Trabajando desde pequeño como aprendiz de encuadernador y vendedor de libros, Faraday encontró en los libros una fuente invaluable de conocimiento. En especial, se inspiró en la obra "The improvement of the mind" de Isaac Watts. En una época donde la ciencia cobraba auge con las sesiones públicas de la Royal Society, Faraday pudo acceder a este mundo gracias a William Dance, uno de los fundadores de la Royal Philharmonic Society.

Pero su admiración más grande era hacia Humphry Davy, un destacado químico inglés. Faraday le envió a Davy un libro de 300 páginas donde recopilaba sus conferencias, lo que le valió que Davy lo contratara como su secretario. Aunque al principio despertó envidias y menosprecios, la capacidad de Faraday pronto se hizo evidente cuando resolvió un problema que se le había encargado en son de burla: crear un motor eléctrico.

Este fue el comienzo de una carrera brillante donde Faraday realizó aportes revolucionarios al electromagnetismo y la electricidad, sentando las bases para desarrollos posteriores como las comunicaciones inalámbricas, los motores eléctricos y generadores.

Fue el primero en producir corrientes eléctricas a partir de campos magnéticos, en descubrir la inducción electromagnética y en proponer

La interferencia es un fenómeno ampliamente presente en la naturaleza y se manifiesta en diversos contextos. Por ejemplo, en la luz, se puede observar la formación de patrones de interferencia cuando las ondas de luz se combinan y generan franjas brillantes y oscuras en ciertos lugares. En una cuerda vibrante, la superposición de ondas incidentes y reflejadas puede crear ondas estacionarias con puntos fijos y nodos de oscilación.

La interferencia es un aspecto fundamental que influye en muchos procesos y sistemas. En la música, por ejemplo, la interferencia en las ondas sonoras es responsable de la formación de acordes y armonías. En la tecnología, la interferencia puede ser tanto una ventaja, como en las antenas de radio, donde se busca la superposición constructiva para mejorar la recepción de señales, o una desventaja, como en la cancelación de ruido en dispositivos de audio.

Reflexión y refracción

Cuando una onda encuentra un límite entre dos medios, puede experimentar dos fenómenos fundamentales: reflexión y refracción, los cuales dependen de las propiedades de los medios involucrados. Esto ocurre debido a que cada medio tiene diferentes densidades y velocidades de propagación de la onda.

Si el medio en el que se encuentra la onda es más denso que el medio al que se está aproximando, la onda tiende a refractarse, es decir, cambia de dirección y velocidad al pasar de un medio a otro. Por otro lado, si el medio al que se acerca es menos denso, la onda tiende a reflejarse, es decir, cambia solo de dirección al rebotar en el límite entre los dos medios.

Estos fenómenos son esenciales en el estudio de las ondas y tienen aplicaciones en diversos campos científicos. En acústica, por ejemplo, la refracción y reflexión de ondas sonoras pueden afectar cómo se propagan el sonido en diferentes ambientes, como en la atmósfera o en espacios cerrados. En óptica, la refracción de la luz en lentes y prismas es esencial para la formación de imágenes y el estudio de la dispersión de la luz.

el concepto de campo electromagnético, precursores de las ondas electromagnéticas usadas en radio, TV, wifi y telefonía móvil.

La historia de Michael Faraday representa una inspiración para los jóvenes estudiantes de ingeniería y tecnología. Demuestra que la curiosidad, la creatividad y la pasión por aprender pueden llevarte a grandes logros, incluso sin una formación académica tradicional. Su ejemplo nos impulsa a seguir explorando los fascinantes campos de las comunicaciones inalámbricas y la electricidad, que hoy nos conectan e impactan la vida cotidiana gracias a los fundamentos sentados por genios autodidactas como Faraday.

Difracción

La difracción en ondas electromagnéticas es un fenómeno intrigante que ocurre cuando estas ondas interactúan con obstáculos o aberturas en su trayectoria de propagación. Las ondas electromagnéticas, como la luz, las señales de radio, y las microondas, se propagan por el espacio en oscilaciones eléctricas y magnéticas que se complementan entre sí.

Cuando estas ondas encuentran un obstáculo o una abertura en su camino, algo sorprendente sucede. A diferencia de las partículas que pueden desviarse o detenerse al encontrar un obstáculo sólido, las ondas electromagnéticas son capaces de doblarse y contornear el obstáculo, difundiéndose en todas las direcciones.

La difracción ocurre porque las ondas electromagnéticas pueden doblarse para adaptarse al tamaño y forma del obstáculo u abertura. Si el obstáculo es más grande que la longitud de onda de la onda electromagnética, la difracción será más evidente, y las ondas se esparcirán considerablemente alrededor del obstáculo.

Un ejemplo cotidiano de difracción en ondas electromagnéticas es cuando la luz del sol pasa a través de una pequeña abertura, como una rendija en las persianas de una ventana. En lugar de proyectar una sombra perfecta y nítida del borde de la rendija, la luz se difracta alrededor de la abertura, creando un patrón de luz difusa en la superficie de la habitación.

La difracción también juega un papel importante en aplicaciones tecnológicas. Por ejemplo, en la fabricación de antenas, estas

se diseñan cuidadosamente las formas y tamaños de las antenas para aprovechar la difracción y dirigir las señales de radio en direcciones específicas para mejorar la recepción de señales en dispositivos de comunicación.

Atenuación

La atenuación en ondas electromagnéticas es un fenómeno de suma importancia que se refiere a la disminución de la intensidad o amplitud de una onda a medida que se propaga a través de un medio o espacio. Esta pérdida de energía puede afectar significativamente la calidad y alcance de las señales de radio, microondas, luz y otras ondas electromagnéticas utilizadas en diversas aplicaciones.

Cuando una onda electromagnética se desplaza, interactúa con el medio a través del cual se propaga, y esta interacción puede generar distintos factores que contribuyen a su atenuación. Entre estos factores se encuentran la absorción por el medio, la dispersión y la reflexión. Estos fenómenos están relacionados con las características físicas del medio, como su composición, densidad, temperatura y la longitud de onda de la onda electromagnética.

Por ejemplo, en la transmisión de señales de radio, la atenuación puede ser causada por la absorción de la señal por objetos físicos como edificios, árboles o incluso la lluvia, lo que debilita la señal a medida que atraviesa estos obstáculos. Además, las ondas electromagnéticas pueden dispersarse en diferentes direcciones por irregularidades en el medio, lo que pierde intensidad según la onda se aleja de su fuente.

Es esencial comprender y gestionar la atenuación en aplicaciones que dependen del transporte de ondas electromagnéticas. Los ingenieros y científicos trabajan en el desarrollo de estrategias para mitigar la atenuación, como el uso de amplificadores y repetidores en redes de comunicación inalámbrica o la selección de materiales adecuados para minimizar la dispersión en las fibras ópticas utilizadas en la transmisión de datos a larga distancia.

Energía

La energía presente en las ondas es un fenómeno fascinante que obedece a la primera ley de la termodinámica, la conservación de la energía en un sistema. Cuando se inicia una señal de comunicación empieza con una señal eléctrica, se debe transmitir al aire por ondas electromagnéticas, lo que implica una conversión de energía eléctrica a electromagnética.

Este proceso de conversión y transmisión de energía electromagnética en el espacio no es perfecto, y sufre pérdidas significativas a lo largo del camino. Estas pérdidas pueden ser atribuidas a varios factores, como la dispersión en el medio ambiente, la absorción por objetos físicos, la reflexión en superficies y, también, las pérdidas en el espacio libre.

En el espacio libre, las ondas electromagnéticas se propagan sin obstáculos físicos directos, pero aun así experimentan atenuación a medida que se alejan de su fuente. Esta pérdida se debe a la dispersión natural de la energía electromagnética en todas las direcciones a medida que avanza en el espacio, lo que conlleva a una disminución gradual de la intensidad de la onda.

En el caso de las ondas electromagnéticas utilizadas en las comunicaciones, como las señales de radio, microondas o la luz, estas pérdidas en el espacio libre pueden ser especialmente notorias, especialmente en transmisiones a larga distancia. Por tanto, ingenieros y científicos deben tener en cuenta esta pérdida al diseñar sistemas de comunicación y calcular la potencia necesaria para garantizar una transmisión confiable y eficiente.

Para mitigar las pérdidas en el espacio libre, se utilizan diversas técnicas, como el uso de antenas con mayor ganancia para mejorar la directividad de la señal, el uso de frecuencias más altas que pueden propagarse con menor atenuación en el espacio, y el diseño óptimo de enlaces de comunicación para reducir la distancia de transmisión cuando sea posible.

1.3 Los dB (Decibelios) en comunicaciones inalámbricas

En diferentes clases, es interesante abordar una discusión sobre los decibeles, ya que suele confundir a los estudiantes al tratar de comprender y utilizar esta unidad de medida. Aunque en la práctica es fundamental entender el valor que proporciona esta escala, difiere de las unidades de medida convencionales con las que estamos más familiarizados.

Ahora, analicemos algunas de las características propias de los decibeles:

No es absoluto

A diferencia de las unidades de medida más comunes que tienen un patrón de referencia único, como el caso del tiempo, cuya unidad de medida está vinculada al átomo de Cesio-133, los decibeles utilizan una referencia que puede variar según nuestras necesidades específicas.

En el caso del tiempo, la unidad de medida está estandarizada y se basa en el fenómeno atómico del átomo de Cesio-133, que oscila electromagnéticamente y proporciona una referencia temporal precisa de 1 segundo en 9,192,631,770 periodos de la radiación correspondientes a la transición entre los dos niveles hiperfinos de su estado fundamental.

Por otro lado, en el sistema de los decibeles, la referencia no está predeterminada, sino que podemos escogerla según nuestros requerimientos. Por ejemplo, si deseamos "medir" la altura de personas, en realidad estaríamos comparando las alturas, y podríamos seleccionar una referencia específica para un escenario determinado, como la altura de Juan para un grupo.

Esta flexibilidad en la elección de la referencia es una de las características distintivas de los decibeles y les otorga una gran versatilidad en su aplicación en diversas áreas. Podemos utilizarlos para medir la potencia de una señal en comparación con una referencia estándar, como los decibelios milivatios (dBm) en las telecomunicaciones. También podemos emplearlos para evaluar la intensidad del sonido en comparación con un nivel de referencia específico, como los decibelios ponderados A (dBA) para medir niveles de ruido ambiental en la

Manejo matemático

De esta forma en los sistemas de comunicación se emplean los **dBm (decibelios-miliwatt)**, estos refieren a la ganancia de los radios de los sistemas, encargados de amplificar la señal en varias veces su amplitud original. Para este propósito se usa como referencia 1 mili watt (mW).

Para transformar de las unidades de referencia original a los comparativos en dB se calcula de la siguiente manera

$$dBm = 10 \log \left(\frac{P}{1mW} \right)$$

Donde:

P es la potencia que deseamos representar en dB.

Si tuviésemos un amplificador de 10mW, tendríamos:

$$\begin{aligned} dBm &= 10 \log \left(\frac{10W}{1mW} \right) \\ &= 10 \log (10) \\ &= 10.1 \\ &= 10dBm \end{aligned}$$

Si tuviésemos 2 mW, tendríamos:

$$\begin{aligned} dBm &= 10 \log \left(\frac{2mW}{1mW} \right) \\ &= 10 \cdot 0.30103 \\ &= 3.0103 \\ &\approx 3dBm \end{aligned}$$

Qué sucede si calculamos con el mismo valor referencial 1mW

$$\begin{aligned} dBm &= 10 \log \left(\frac{1mW}{1mW} \right) \\ &= 10 \log (1) \\ &= 10.0 \\ &= 0dBm \end{aligned}$$

De lo mostrado anteriormente podemos concluir que 0dBm representan igualdad, 3 dBm aproximadamente el doble y 10 dBm diez veces más.

Cuando tomamos los valores negativos en vez de actuar como factores, actúan como divisores, es decir -3dBm en vez del doble será la mitad, y -10 dBm una décima parte.

Ejemplo

Un sistema que tiene una ganancia de 30 dBm en su radio, ¿Que potencia tiene?

Resolución rápida aproximada:

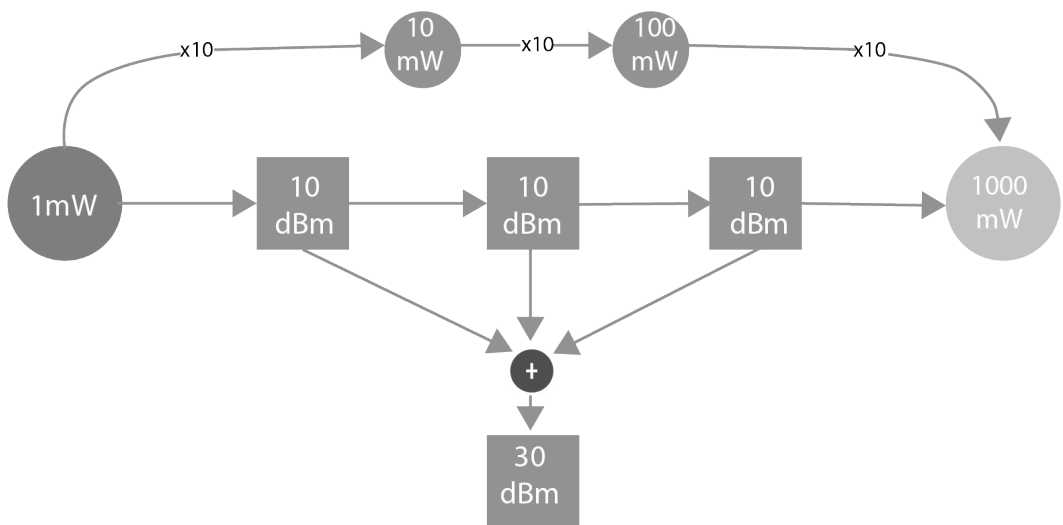


Figura 1.3 – Diagrama de Ganancias 30 dBm
Fuente: elaboración propia

Resolviendo:

$$\text{dBm} = 10 \log (P)$$
$$30\text{dBm} = 10\log (P)$$

$$\frac{30}{10} = \log (P)$$

$$3 = \log(P)$$

$$10^3 = P$$

$$P = 1000\text{mW}$$

Ejemplo

En un sistema de ganancia de 26 dBm, calcular la potencia que posee el sistema

Resolución rápida aproximada:

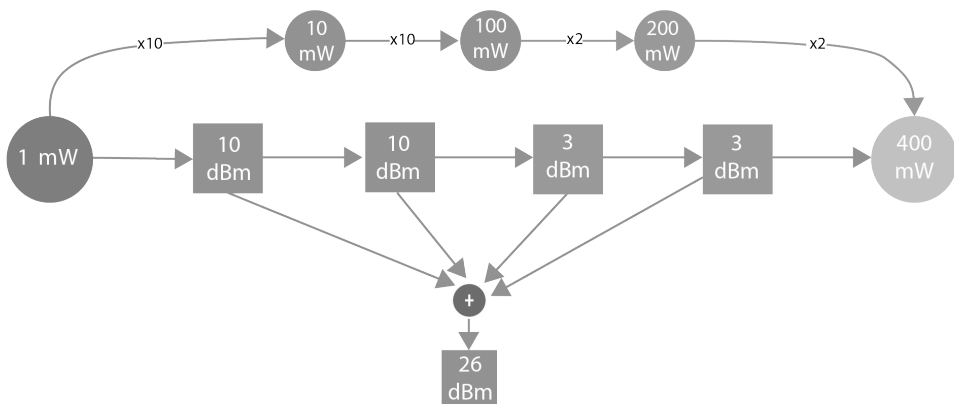


Figura 1.4 - Diagrama de Ganancias 26 dBm
Fuente: elaboración propia

Resolviendo:

$$26 \text{ dBm} = 10 \log(P)$$

$$2,6 = \log(P)$$

$$P = 10^{2,6}$$

$$P = 398.107 \text{ mW}$$

Usos específicos en comunicaciones inalámbricas

Al analizar los amplificadores, consideraremos su ganancia expresada en dBm, y también haremos uso de los dBi (decibelios isotrópicos) para obtener una referencia de la sensibilidad de una antena.

Cuando evaluamos una antena, podemos observar que su hoja de datos nos indica su sensibilidad en base a los dBi que posea. Las antenas dependen en gran medida de sus características físicas, y una mejora en su rendimiento a menudo implica un aumento en sus dimensiones. Podemos apreciar las diferencias de tamaño entre una antena de aproximadamente 2 dBi y una de 6.5 dBi en la figura adjunta.



Figura 1.5 - Comparativa de dimensiones físicas de antenas
Fuente: Elaboración propia

El término "isotrópico" en el contexto de las telecomunicaciones y, en particular, en las antenas, se refiere a la capacidad de recibir o irradiar el mismo nivel de energía en todas las direcciones hacia la antena. Esta característica es esencial para lograr una cobertura uniforme en todas las direcciones y maximizar la eficiencia de la antena.

El término "isotrópico" proviene del griego "iso", que significa "igual", y "tropos", que significa "dirección".

A continuación, realizaremos un gráfico en Octave para representar la distribución de la antena isotrópica, para ello emplearemos el siguiente script:

```
1 % Importar el paquete "geometry" para obtener las funciones de visualización
2 pkg load geometry
3 % Crear un vector de ángulos de -180 a 180 grados
4 theta = linspace(-pi, pi, 360);
5 % Calcular los valores de radiación isotrópica ideal
6 radiacion = ones(size(theta));
7 % Crear una figura
8 figure;
9 % Graficar el patrón de radiación
10 polar(theta, radiacion);
11 % Configurar el título y las etiquetas de los ejes
12 title('Patrón de Radiación Isotrópica Ideal');
13 rlim([0 1]); % Ajustar los límites del eje radial
```

Script 1.2 - Script Octave/Matlab para generar un patrón de radiación isotrópico

Patrón de Radiación Isotrópica Ideal

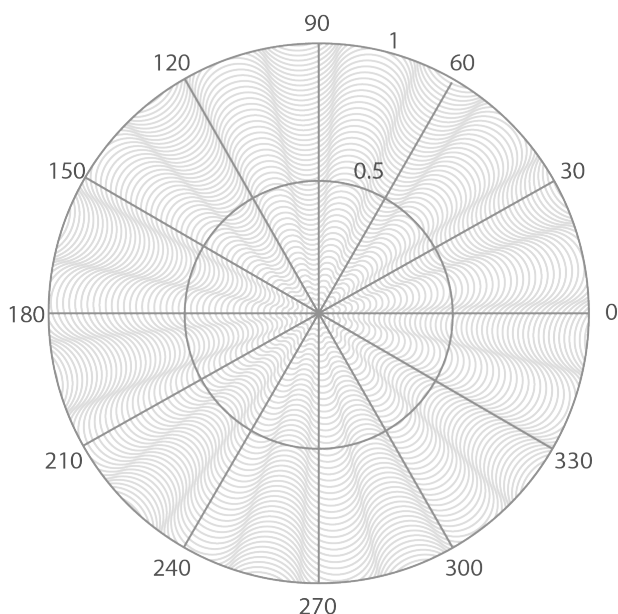
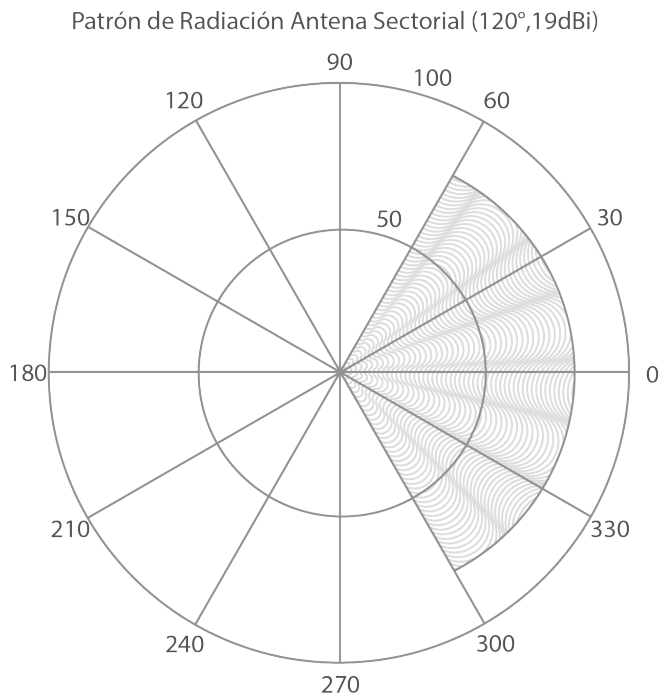


Figura 1.6 - Radiación Isotrópica
Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en el gráfico la energía se distribuiría/recibiría de todas direcciones de manera uniforme, generando el límite en los 0 dBi, una antena real distribuye su patrón de diferente manera de acuerdo a sus características, como es el caso a continuación donde mostramos un script en Octave para representar una antena sectorial de 120°, con 19 dBi de ganancia.

```
1 % Importar el paquete "geometry" para obtener las funciones de visualización
2 pkg load geometry
3 % Definir el ángulo de radiación en grados
4 theta = linspace(-60, 60, 360);
5 % Convertir el ángulo de grados a radianes
6 theta_rad = deg2rad(theta);
7 % Calcular el patrón de radiación para la antena sectorial
8 ganancia_dbi = 19; % Ganancia de la antena en dBi
9 ganancia_lineal = 10^(ganancia_dbi/10); % Convertir ganancia a escala lineal
10 radiacion = zeros(size(theta_rad));
11 % Definir la ganancia dentro del ángulo de radiación
12 radiacion(abs(theta) <= 60) = ganancia_lineal;
13
14 % Crear una figura
15 figure;
16 % Graficar el patrón de radiación
17 polar(theta, radiacion);
18 % Configurar el título y las etiquetas de los ejes
19 title(' Patrón de Radación Antena Sectorial (120°, 19 dBi) ');
20 rlim([0 max(radiacion) ]); % Ajustar los límites del eje radial
```

Script 1.3 - Script Octave/Matlab para generar un patrón de radiación de 120°



*Figura 1.7 – Patrón de radiación de antena ideal de 120°
Fuente: elaboración propia*

1.4 El experimento de Faraday y su relevancia en las comunicaciones

En 1819, se hizo un revelador descubrimiento: las corrientes eléctricas estáticas generan campos magnéticos estáticos. Este hallazgo despertó la curiosidad de Michael Faraday, quien propuso una idea innovadora: si las corrientes eléctricas generan campos magnéticos, entonces los campos magnéticos deberán ser capaces de generar corrientes eléctricas, un fenómeno inverso conocido como inducción electromagnética.

A partir de estas inquietudes, hemos emprendido un interminable camino de descubrimiento que, afortunadamente, aún vislumbra metas por alcanzar. A lo largo de los años, hemos presenciado el desarrollo de innumerables aplicaciones y mejoras técnicas, beneficiando la vida de muchas personas en diversas áreas.

Sin embargo, en sus primeros experimentos en busca de obtener corriente eléctrica mediante la exposición a campos electromagnéticos, Faraday enfrentó desafíos y tristemente falló en su objetivo. En una configuración como la mostrada en la figura, una corriente estática generaba un campo magnético en la bobina principal A, rodeando o cercana a ella se encontraba la bobina secundaria B, con la expectativa de que B recibiera el campo magnético de A y, como consecuencia, generara una corriente en B.

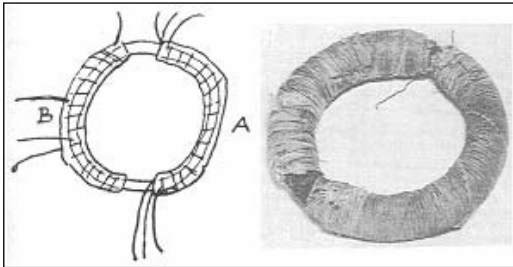


Figura 1.8 – Dibujos originales de Faraday en sus registros sobre inducción.

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Dibujodel-propio-Michael-Faraday-en-su-diario-y-bobinas-empleadas-por-Faraday-en-su_fig1_301544123

Empíricamente, no se observó la inducción de corriente en la segunda bobina bajo estas condiciones. Sin embargo, Faraday notó que, al encender la primera bobina por un instante, sí se produce la inducción de una corriente en la segunda.

Este sencillo experimento resultó revolucionario y sentó las bases para un sinnúmero de industrias, desde mejoras en el confort doméstico hasta aplicaciones cruciales en la atención de emergencias y la salvación de vidas.

Además, en el ámbito específico de las comunicaciones, este fenómeno permitió el desarrollo de tecnologías inalámbricas, que han transformado nuestra forma de conectarnos y comunicarnos en la sociedad actual.

En este proceso de descubrimiento, también resultaron fundamentales leyes como la de Lenz, que ha sido clave para la aplicación de la inducción electromagnética. La ley de Lenz establece que la dirección y el sentido del campo magnético de una bobina están en función de la corriente eléctrica, siguiendo la denominada "ley de la mano derecha".

1.5 Cuestionario

Ha llegado el momento de poner a prueba sus conocimientos sobre los temas cubiertos en esta lección. Le invitamos a resolver el siguiente cuestionario, que podrá realizar todas las veces que desee para afianzar su aprendizaje.

El cuestionario consiste en preguntas cortas que buscan evaluar su dominio de los conceptos más importantes revisados. Al finalizar, obtendrá una calificación inmediata y retroalimentación sobre sus respuestas.

Le recomendamos enfocarse en comprender bien cada pregunta y tratar de responder de la manera más completa y precisa posible. No dude en volver a intentarlo hasta que logre la máxima puntuación. La idea no es penalizar errores, sino incentivar el aprendizaje a través de la práctica.

Para acceder al cuestionario, simplemente escanee el código QR que se muestra a continuación. Le deseamos mucho éxito y esperamos que esta actividad le resulte de utilidad para reforzar sus conocimientos sobre los temas estudiados. Estamos seguros de que lo hará excelente.

¡Manos a la obra! Le agradecemos su participación en esta importante actividad de aprendizaje.

Capítulo 1: Fundamentos de la comunicación inalámbrica



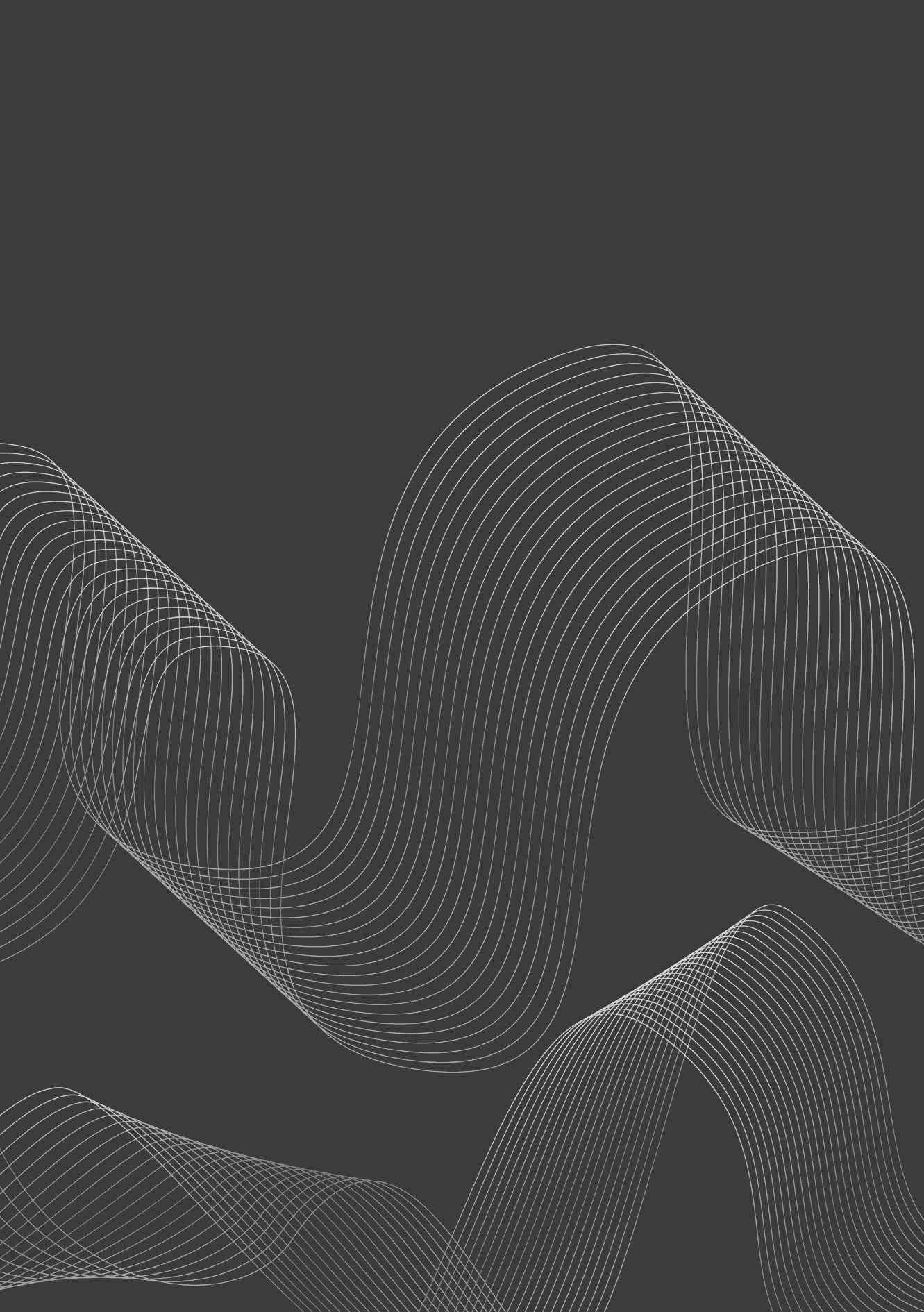
<https://forms.office.com/r/zfPB1mh42Y>

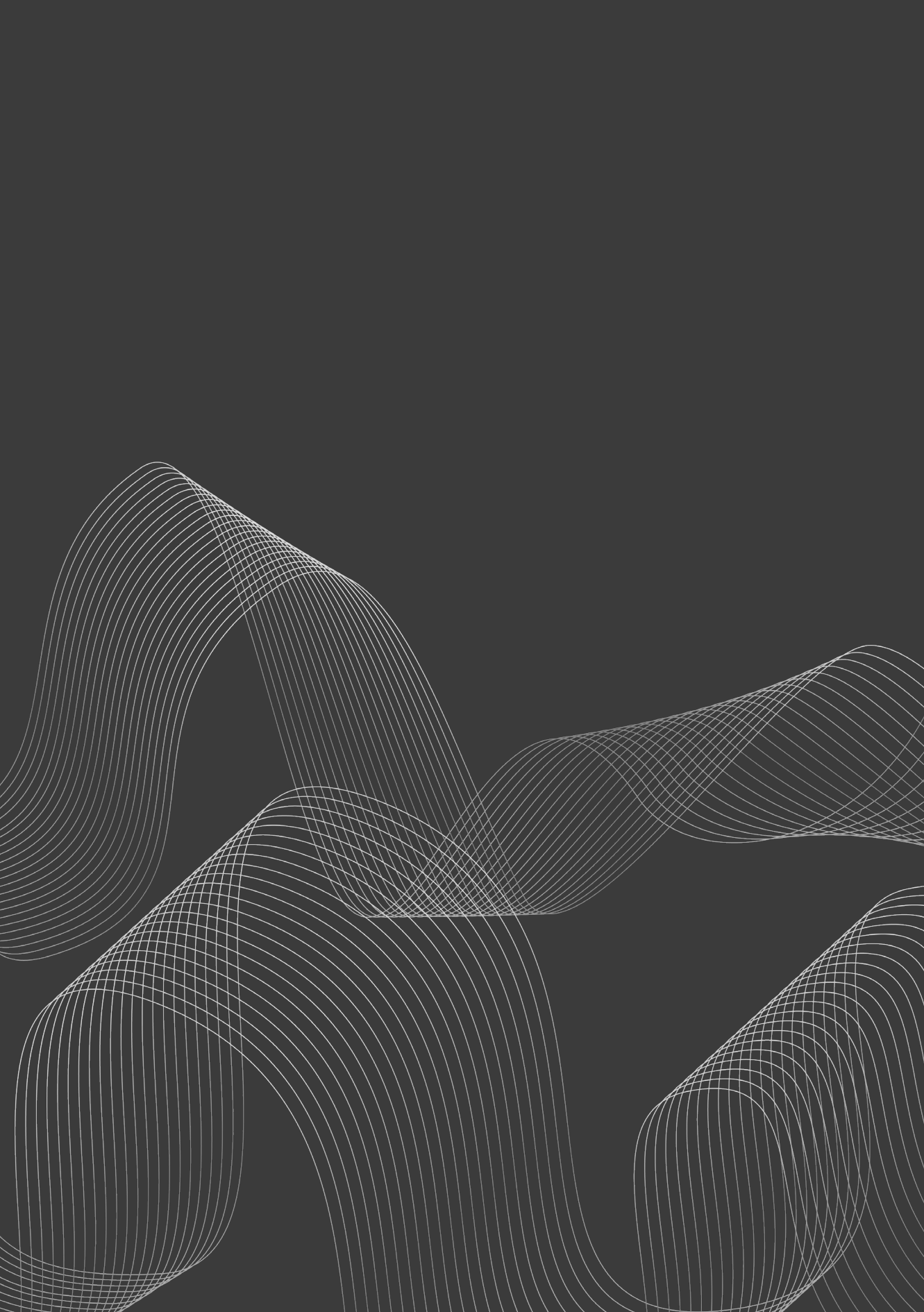
1.6 Conclusiones

Bienvenidos al apasionante mundo de las comunicaciones inalámbricas. Se ha pretendido mostrar que se trata de un campo multifacético, con fundamentos en disciplinas como las matemáticas, la física y la electrónica, pero también con un profundo impacto social por sus diversas aplicaciones que mejoran la vida cotidiana.

Queda claro que nos encontramos frente a un área en constante evolución y desarrollo. Los avances tecnológicos permitirán expandir los usos y alcances de las comunicaciones inalámbricas aún más, llegando a rincones de la sociedad que hoy ni siquiera podemos imaginar. Sin duda, en los próximos capítulos se profundizará en los fascinantes conceptos técnicos y científicos que sustentan estas tecnologías. Pero es importante no perder de vista que el fin último es poner estas capacidades al servicio del bienestar humano.

Esta introducción ha sentado las bases para que el lector comprenda la relevancia y el potencial de las comunicaciones inalámbricas. El camino por recorrer es aún largo y lleno de posibilidades. Este libro busca ser una guía en este apasionante viaje para dominar los principios de uno de los campos tecnológicos que más ha contribuido al progreso de la sociedad moderna.





Capítulo 2:

Transmisión de Ondas y Propagación en el Espacio

¿Cómo convertimos una señal eléctrica en una electromagnética para su propagación?

Gracias al experimento de Faraday sobre inducción electromagnética, sabemos que una corriente eléctrica genera un campo magnético a su alrededor. Pero para transmitir señales inalámbricamente, no basta con producir estos campos, sino que deben propagarse en el espacio.

Esto se logra a través de un elemento conocido como dipolo, que consiste en dos polos opuestos separados entre sí. Al conectar un generador de corriente alterna a un dipolo, los polos cambian rápidamente de polaridad. Como resultado, el campo electromagnético generado sufre deformaciones periódicas que hacen que se desprendan ondas electromagnéticas transportando energía.

En un dipolo ideal, los polos se desplazarían físicamente de posición para invertir su polaridad. Pero en la práctica esto se consigue alternando la corriente aplicada a cada polo. La frecuencia de oscilación de esta corriente determinará la frecuencia de la onda electromagnética resultante.



Heinrich Hertz

Fuente: <https://wellcomeimages.org/index-plus/imageM0014750.html>

En una época donde ya existía comunicación intercontinental gracias a cables submarinos y el telégrafo, es en el siglo XIX cuando Heinrich Rudolf Hertz da lugar a los experimentos que serían el inicio de las telecomunicaciones inalámbricas. De esta forma, Hertz validó experimentalmente la teoría

Específicamente, cuando la corriente alcanza su valor máximo, se genera un campo electromagnético también máximo. Cuando la corriente se invierte, los campos eléctrico y magnético generados cambian de orientación. Este cambio provoca que se "desprenda" un fotón de onda electromagnética que se propaga a la velocidad de la luz.

2.1 El dipolo

El dipolo es una antena muy sencilla de construir, formada por un par de varillas o alambres conductores. Esta simplicidad nos permite estudiar fácilmente el fenómeno de la propagación de ondas electromagnéticas. Con apenas dos elementos metálicos, el dipolo puede irradiar potencialmente señales de radiofrecuencia.

Ahora analizaremos el comportamiento del dipolo en distintos momentos clave relacionados con el periodo de oscilación de la onda electromagnética

Comportamiento del dipolo en $T/8$

En una onda senoidal ideal, esperaríamos que al tiempo $T/8$ la amplitud haya alcanzado solo una fracción de su valor máximo, tal como se muestra en la figura izquierda.

Sin embargo, en la práctica la onda no responde instantáneamente a los cambios en la señal aplicada. Esto se debe a la inercia y a la memoria de los campos electromagnéticos previamente establecidos alrededor del dipolo.

Por tanto, al tiempo $T/8$ la amplitud de la onda resultante es menor de lo esperado, como se aprecia en la figura derecha. El campo existente ejerce cierta resistencia u oposición a la inversión de polaridad en el dipolo. Esto provoca un desfase y deformación de la onda emergente.

Este efecto inercial ocurre cada vez que cambia la polaridad del dipolo. La onda resultante presenta un retardo respecto a la señal eléctrica aplicada, conocido como retraso de fase. Este desfase es más notable en los cruces por cero y máximos de amplitud.

electromagnética de Maxwell, y también los trabajos de Faraday, allanando el camino para que jóvenes como Tesla y Marconi desarrollaran nuevos avances que cambiarían al mundo.

Heinrich Hertz nació en 1857 en Hamburgo, Alemania.

Ingresa a estudiar ingeniería inicialmente, pero luego se cambió a física, obteniendo su doctorado en 1880. Fue asistente de Hermann von Helmholtz en la Universidad de Berlín, y posteriormente profesor en varias universidades alemanas.

Las ecuaciones de Maxwell predecían la existencia de ondas electromagnéticas que se propagaban a la velocidad de la luz. Pero estas ondas no habían sido generadas ni detectadas experimentalmente.

Así, en 1879, el prestigioso científico alemán Hermann von Helmholtz propuso para el premio de la Academia Prusiana de Ciencias demostrar experimentalmente la teoría electromagnética planteada por Faraday en 1846 y reforzada matemáticamente por Maxwell en 1865. Un estudiante de 22 años de Helmholtz, Hertz, asumió el desafío.

Inicialmente Hertz se sintió abrumado, pero se preparó arduamente experimentando, aunque al principio no logró avances. Pero finalmente en 1886, inspirado por el amor de su futura esposa Elizabeth Doll, halló lo que buscaba: las ondas hertzianas. Se trataba

de ondas invisibles pero que manifestaban propiedades similares a la luz.

Utilizando un generador de chispas eléctricas y un par de esferas metálicas como antenas emisora y receptora, Hertz pudo medir experimentalmente la longitud de onda y velocidad de estas ondas, descubriendo que viajaban a la velocidad de la luz.

En 1887, Hertz publicó sus resultados en el artículo "Sobre las ondas electromagnéticas muy cortas", acuñando el término "ondas hertzianas". Esto validó a Maxwell y sentó las bases de las telecomunicaciones inalámbricas.

Hertz falleció prematuramente en 1894 a los 36 años, pero antes consiguió un puesto como profesor en la Universidad de Bonn, desde donde cambió la historia de la Física y las comunicaciones.

La memoria e inercia de los campos electromagnéticos generados alrededor del dipolo provocan una distorsión y retraso de fase en la onda emergente cuando la señal aplicada cambia de polaridad. Este efecto debe considerarse en el diseño de antenas y sistemas de transmisión.

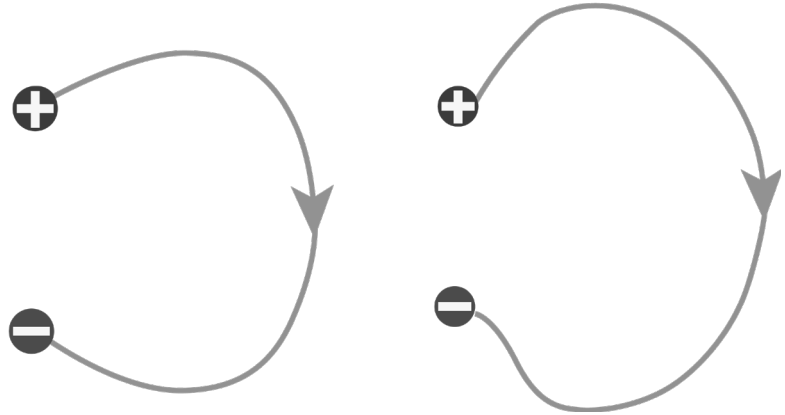


Figura 2.1 - Propagación de la onda en T/8
Fuente: Elaboración propia

Comportamiento del dipolo en T/4

- La corriente eléctrica se encuentra en su punto máximo, por lo que las cargas en el dipolo tienen su velocidad pico.
- Al moverse con máxima rapidez, las cargas atraviesan el punto medio entre los dos polos del dipolo.
- Los campos eléctrico y magnético generados también alcanzan sus valores máximos de intensidad.
- Esto provoca la máxima deformación y distorsión del campo electromagnético alrededor del dipolo.
- En este punto, el campo "salta" y se cierra sobre sí mismo, desprendiéndose del dipolo como una onda electromagnética.
- Esta onda que se desprende lleva la información codificada en la señal eléctrica aplicada al dipolo.
- La onda electromagnética se libera al espacio circundante, lista para ser detectada por un dipolo receptor.
- Por tanto, T/4 representa el instante donde la aceleración máxima de cargas genera la deformación pico del campo y su consecuente liberación como onda electromagnética.

T/4 se cumple el cierre y desprendimiento del campo en forma de onda electromagnética propagada, gracias a la máxima velocidad de las cargas impulsadas por la señal alterna aplicada al dipolo transmisor.

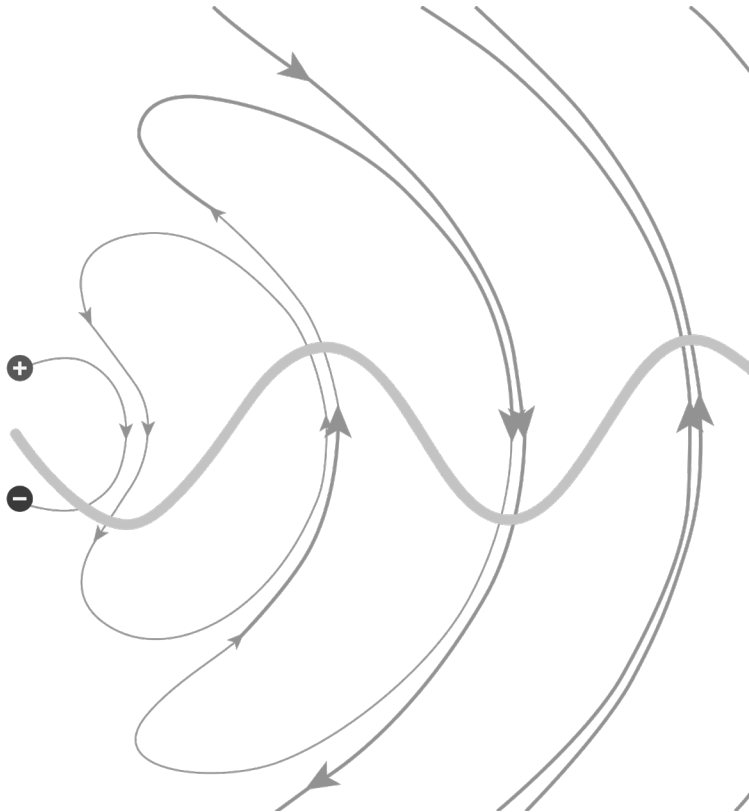


Figura 2.2 - Propagación de la onda en T/4

Comportamiento del dipolo en T/2

- En T/2 la señal eléctrica aplicada alcanza un valor de cero, cambiando de polaridad.
- Esto provoca que la corriente se invierta y empiece a decrementar desde su valor máximo.
- Las cargas en el dipolo comienzan a desacelerar su movimiento, deteniéndose momentáneamente en T/2.
- Los campos eléctrico y magnético también se anulan, pasando por un valor de cero.
- En este punto, el campo electromagnético alrededor del dipolo se encuentra en transición entre dos polaridades opuestas.
- No se genera desprendimiento de ondas electromagnéticas ya que no hay deformación pico del campo.
- T/2 representa un punto de inversión entre semi-ciclos opuestos de la señal aplicada.

En el instante $T/2$ del periodo no se produce liberación de ondas electromagnéticas, ya que la corriente y los campos se anulan cambiando de polaridad. Es un punto de transición entre semi-ciclos durante el cual el dipolo no irradia.

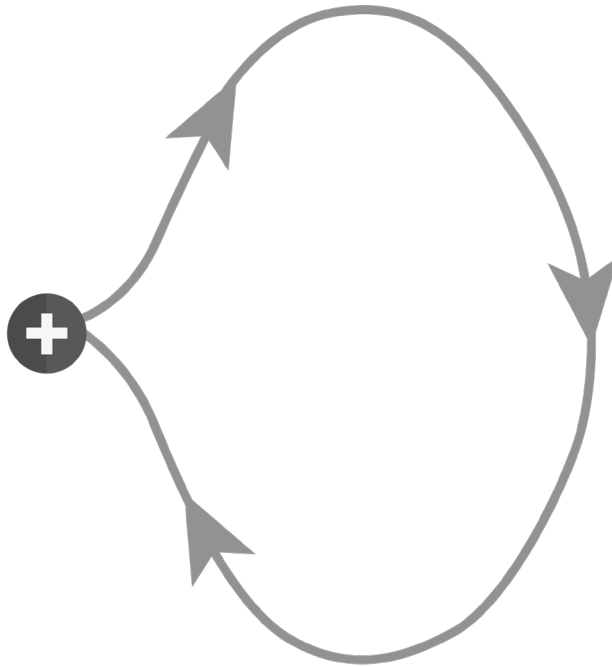


Figura 2.3 - Propagación de la onda en $T/2$
Fuente: Elaboración propia

Cabe recalcar que la onda propagada conserva la frecuencia de la fuente.

Analicemos ahora los momentos clave desde el punto de vista de la longitud de onda de las señales a propagarse:

- $\lambda/4$: En este punto la onda alcanza su máximo valor positivo de amplitud por primera vez. El campo eléctrico está en su pico positivo mientras que el campo magnético es cero.
- $\lambda/2$: La onda cruza el eje cero de amplitud. El campo eléctrico es cero y el campo magnético alcanza un máximo.
- $3\lambda/4$: La onda alcanza un máximo negativo de amplitud. El campo magnético es cero y el campo eléctrico tiene un valor pico negativo.
- λ : Este punto marca el completamiento de un ciclo. La onda vuelve a cruzar el eje cero con el campo eléctrico cero y máximo campo magnético.
- 2λ : Se completa el segundo ciclo con los campos eléctrico y magnético invertidos respecto a λ .

Para una transmisión eficiente, la longitud (L) del dipolo debe ser idealmente la mitad de la longitud de onda (λ) que se desea transmitir.

Esto se expresa de la siguiente manera:

$$L = \lambda/2$$

Donde:

L = Longitud del dipolo

λ = Longitud de onda deseada

Esta relación se cumple porque un dipolo con longitud de $\lambda/2$ permite un acoplamiento y radiación máxima de la energía. La distribución de corriente a lo largo del dipolo interactúa de mejor manera con el campo eléctrico oscilante.

Si el dipolo es más corto que $\lambda/2$, la radiación y eficiencia disminuyen. Si es más largo, pueden generarse modos no deseados de operación.

Es así que, el diseño óptimo implica dimensionar correctamente la longitud física L del dipolo para adecuarse a la λ que se quiere transmitir y radiante eficientemente la energía de la señal aplicada.

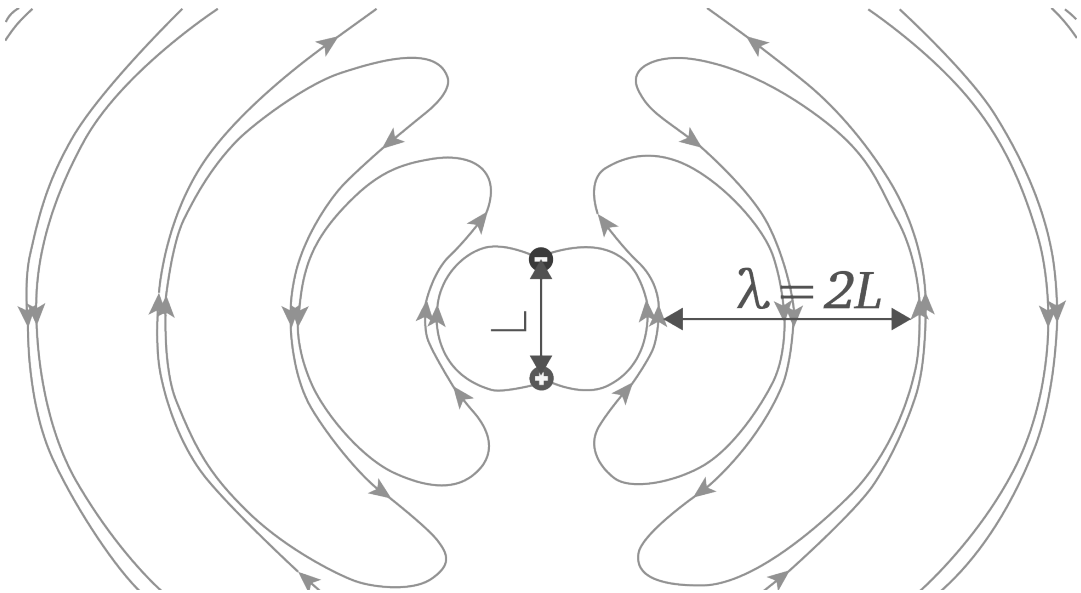


Figura 2.4 - Relación de longitud del dipolo y la longitud de onda
Fuente: Elaboración propia

2.2 Antenas: Principios y tipos

Una antena es un dispositivo diseñado para transmitir o recibir ondas electromagnéticas, como ondas de radio, señales de televisión, señales de telefonía móvil o señales de Wi-Fi. Es un componente esencial en sistemas de comunicación inalámbrica y se utiliza tanto en transmisores como en receptores.

La antena convierte la energía eléctrica en ondas electromagnéticas y viceversa. Cuando se utiliza como transmisor, convierte la señal eléctrica en ondas electromagnéticas para ser transmitidas al espacio. Cuando se utiliza como receptor, captura las ondas electromagnéticas presentes en el espacio y las convierte en señales eléctricas que pueden ser procesadas por el dispositivo receptor.

Las antenas vienen en diferentes formas y tamaños dependiendo de la aplicación específica. Pueden ser antenas simples, como dipolos o monopolos, o antenas más complejas como antenas direccionales, antenas de panel o antenas parabólicas. La elección de la antena adecuada depende de factores como la frecuencia de operación, el alcance requerido, el entorno y las características específicas de la aplicación.

Antena Dipolo

Es una antena simple y comúnmente utilizada que consta de dos elementos conductores paralelos. Puede ser un dipolo recto o un dipolo plegado, y se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, incluidas las transmisiones de radio y televisión.

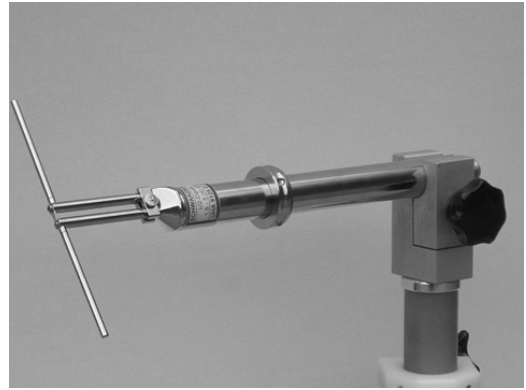


Figura 2.5 - Antena Dipolo

Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Half_%E2%80%93_Wave_Dipole.jpg#file

Antena Yagi-Uda

También conocida como antena direccional, consta de elementos conductores alineados en una estructura en forma de "V" o "Y". Es ampliamente utilizada en aplicaciones de telecomunicaciones, como en antenas de televisión y enlaces de comunicación de largo alcance.



Figura 2.6 - Antena Yagi-Uda

Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:-JOZZ0BA-FM_Antenna_closeup.JPG

Antena Parabólica

Esta antena utiliza una superficie reflectora en forma de parábola para enfocar las ondas electromagnéticas hacia un punto focal, donde se encuentra el receptor o transmisor. Se utiliza para aplicaciones de largo alcance, como en enlaces de comunicación satelital y antenas de televisión por satélite



Figura 2.7 - Antena Parabólica
Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Akash_DTH_Satellite_dish.jpg

Antena de Panel

También conocida como antena planar, es una antena plana que utiliza un arreglo de elementos radiantes para emitir o recibir señales en una dirección específica. Se utiliza comúnmente en aplicaciones de redes inalámbricas y comunicaciones de corto alcance.

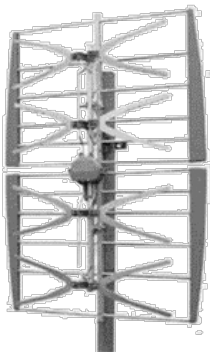


Figura 2.8 - Antena de Panel
Fuente: https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ICTV/ICTV04/es_IEA_ICTV04_Contenidos/ICTV04_CONT_R166_pic083_mini.gif

Antena de Helicoide

Esta antena tiene una estructura en forma de hélice y se utiliza principalmente en aplicaciones de radiofrecuencia y comunicaciones satelitales.



Figura 2.9 - Antena de Helicoide
Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Traqueur_acquisition.JPG

Antena de Bocina

Es una antena que utiliza una estructura cónica o rectangular para dirigir las ondas electromagnéticas en una dirección específica. Se utiliza en aplicaciones de radar, comunicaciones de microondas y transmisión de señales de alta frecuencia.



Figura 2.10 - Antena de Bocina
Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bell_Labs_Horn_Antenna_Crawford_Hill_NJ.jpg

2.3 Nuestro planeta, un caso muy particular

La tierra es un planeta privilegiado en este momento dentro de nuestro sistema solar. Tome en cuenta que el planeta en el que vivimos no siempre fue así.

La tierra ha evolucionado y continúa haciéndolo, gracias a características como la inclinación que tiene respecto de su eje de 23.5° , que permite que tengamos las estaciones climáticas, siendo entre otros uno de los principales motivos para la existencia de la vida. Además de tener un núcleo que genera un escudo de rayos cósmicos alrededor del planeta. Si usted lee esto como si se tratara de una historia salida de los comics, disfrute este momento revelador de lo afortunados que somos como especie.

Desde la colisión causada por el encuentro con Theia, que nos dejó el obsequio de nuestra Luna, causando la mejora de las condiciones para la vida. Es llamativo ver como los productos de una catástrofe, hoy en día nos ha significado estas condiciones favorables para la vida.

Esta última característica es tan compleja y maravillosa, que gracias a ella también hemos podido avanzar en las telecomunicaciones. La conformación de las capas de nuestra particular atmósfera permite diferentes características para nuestro planeta de orden vital, pero también que nos han ayudado a la evolución tecnológica. La composición y propiedades de la atmósfera terrestre son de gran importancia para el desarrollo de las telecomunicaciones, en

particular las inalámbricas. La atmósfera puede afectar la propagación de las ondas electromagnéticas utilizadas en comunicaciones de radio, televisión, telefonía móvil y otros servicios.

Ciertas capas de la atmósfera reflejan o refractan las ondas de radio, permitiendo que se transmitan más allá del horizonte. La ionosfera, en las capas altas que se extiende de 60 km a los 1000 km de altitud, contiene electrones libres que posibilitan la reflexión de ondas de radio de baja frecuencia. Este efecto hace posible la comunicación a grandes distancias aprovechando estaciones terrestres y satélites.

La ionosfera juega un papel crucial en las comunicaciones de radio de onda corta y frecuencias medias. Hace posible la reflexión y propagación de estas ondas de radio a grandes distancias, más allá del horizonte, mediante saltos entre la ionosfera y la superficie terrestre. Las propiedades dinámicas de la ionosfera afectan la calidad y alcance de las comunicaciones de radio que dependen de ella.

La aurora boreal es un fascinante fenómeno natural que todos alguna vez hemos visto u oído nombrar. Para comprender su origen, debemos saber que la Tierra posee un campo electromagnético más intenso en los polos, donde emana y recolecta los rayos cósmicos que llegan a nuestro planeta. La mayoría de estos rayos cósmicos son desviados por el campo electromagnético, permitiendo que sólo una pequeña porción ingrese a la atmósfera terrestre.

Por eso los polos se mantienen congelados, ya que el campo electromagnético dispersa los rayos solares, causando una hermosa exhibición de luces por el choque entre las ondas electromagnéticas de los rayos cósmicos y los gases atmosféricos. Los colores que vemos en la aurora boreal se deben precisamente a este fenómeno de interacción entre la magnetosfera terrestre y la radiación que llega del espacio exterior.



Figura 2.11 - Aurora boreal

Fuente: https://images.prismic.io/visiticeland/ea231f9c-2317-4971-923d-ab1686886e41_Isafjordur%2Bnordurljos.jpg?auto=compress,format

Este efecto atmosférico provoca la dispersión de la luz visible y las microondas por las moléculas de gases. Este fenómeno provoca atenuación de la potencia de la señal electromagnética a medida que se propaga por el aire. Las gotas de lluvia y otros hidrometeoros también pueden absorber o dispersar las ondas de radio, degradando las comunicaciones.

Con aproximadamente 10.000 km de altitud, entre la superficie de nuestro planeta y el espacio exterior, este volumen que envuelve a la tierra tiene capas con características propias. Los gases que componen a la atmósfera son varios, el nitrógeno conforma el 78%, un 21% de oxígeno y un 0,9% de Argón, el restante está compuesto por diversos otros gases como el dióxido de carbono con un 0,041%. A esta combinación de gases le denominamos aire, sin embargo, su composición varía.

Analicemos ahora las diferentes capas que componen nuestra atmosfera. Los nombres de las capas nos aportan información sobre ellas, generalmente serán la combinación de una característica con -fera, que proviene del griego "sphaira" que significa esfera.

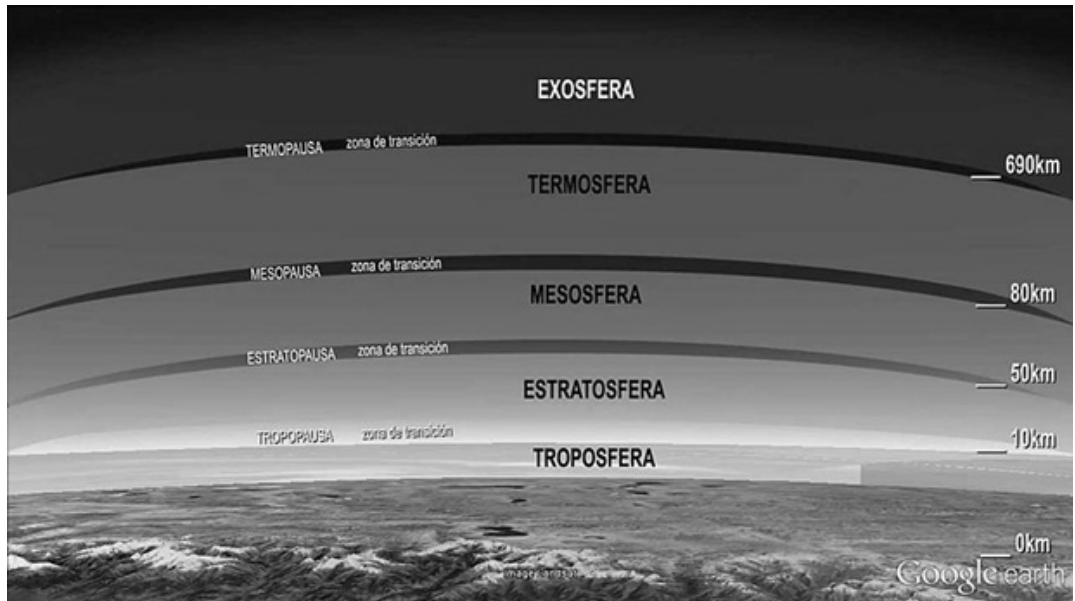


Figura 2.12 - Capas de la atmósfera
 Fuente: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Exosfera.jpg>

Troposfera (0-12 Km)

Del griego "tropos" significa cambio o mezcla, esta se vuelve más delgada en los polos y se ensancha en el Ecuador. $\frac{3}{4}$ partes de los gases se hallan en la troposfera, aquí se halla la vida del planeta y es donde ocurren los fenómenos climáticos (como lluvia, nieve, nubes y viento), ocurren los ciclos biogeoquímicos atmosféricos como los ciclos del agua oxígeno nitrógeno entre otros. La temperatura disminuye a medida que nos acercamos a la siguiente capa, la interfaz entre estas se la conoce como tropopausa.

Estratosfera (12 - 50 Km)

Deriva de la palabra latina "stratum", que significa "capa" o "extensión". Esta capa se llama así debido a la presencia de capas horizontales y estables de aire que la caracterizan. Se subdivide en dos capas:

Estratopausa: La estratopausa es la región de transición que se encuentra entre la estratosfera y la mesosfera. En esta zona, la temperatura alcanza un punto máximo y comienza a disminuir nuevamente con la altitud. La estratopausa varía en altitud, pero generalmente se encuentra alrededor de los 50 kilómetros sobre la superficie de la Tierra.

Capa de Ozono: Dentro de la estratosfera, hay una capa especial llamada capa de ozono. Se encuentra aproximadamente entre los 10 y los 50 kilómetros de altitud. La capa de ozono contiene una alta concentración de moléculas de ozono (O_3) y es responsable de absorber la mayor parte de la radiación ultravioleta del sol, protegiendo así la vida en la Tierra de los dañinos rayos UV.

Mesofera (50 - 80Km)

Proviene de las palabras griegas "mesos", que significa "medio" o "intermedio". La mesofera se encuentra entre la estratosfera y la termosfera, lo que le otorga su nombre. Aquí arden los meteoros, creando así a las estrellas fugaces, es la última capa con suficientes gases.

Termosfera (80 - 700 Km)

Combina las palabras griegas "thermos", que significa "calor", y "sphaira". Alcanzando temperaturas de 4500 F o 2482 C, al no haber gas ni el sonido ni este calor se propaga, aquí se halla la estación espacial internacional y satélites de órbita baja

Exosfera (700 - 10.000km)

El nombre "exosfera" se deriva de las palabras griegas "exo", que significa "fuera" o "más allá", y "sphaira". Tras esta está el espacio exterior, hay hidrógeno y helio en bajas cantidades, aquí satélites meteorológicos.

2.4 Características especiales de la atmósfera

Ablación atmosférica

La ablación atmosférica es un fenómeno que ocurre cuando un objeto atraviesa la atmósfera de la Tierra y se desgasta o se erosiona debido a la fricción y el calor generados por el contacto con el aire. Este proceso ocurre principalmente cuando objetos como meteoroides, cohetes o vehículos espaciales ingresan a la atmósfera desde el espacio.

Cuando un objeto se desplaza a través de la atmósfera a alta velocidad, se encuentra con una resistencia atmosférica significativa. Esta resistencia crea fricción, lo que a su vez genera calor intenso. El calor resultante puede ser suficiente para vaporizar y desintegrar partes del objeto a medida que atraviesa la atmósfera.

La ablación atmosférica puede provocar la pérdida de material del objeto, como capas exteriores, escombros o fragmentos. Esto puede ser notable en meteoroides, que pueden quemarse y desintegrarse antes de llegar a la superficie de la Tierra como meteoritos.

La ablación atmosférica es un fenómeno importante a considerar en el diseño y la entrada de objetos en la atmósfera, como vehículos espaciales o cohetes. Es necesario tener en cuenta los efectos de la fricción y el calor generados durante la entrada para garantizar una reentrada segura y minimizar los daños al objeto y su entorno.

Composición

La atmósfera se compone de nitrógeno (78%) y oxígeno (21%). También contiene otros gases, como dióxido de carbono, argón, vapor de agua y trazas de gases como el ozono.

Capa de ozono

La atmósfera contiene una capa de ozono en la estratosfera (como ya se estudió), que absorbe la mayor parte de la radiación ultravioleta del sol. Esto protege a los organismos vivos de los efectos dañinos de los rayos UV, que pueden causar quemaduras solares, daños en el ADN y aumentar el riesgo de cáncer de piel.

Presión atmosférica

La atmósfera ejerce una presión sobre la superficie de la Tierra. La presión disminuye a medida que se asciende en altitud, ya que hay menos aire sobre uno. Esta presión atmosférica es esencial para la vida, ya que permite la respiración de los seres vivos y mantiene el agua en estado líquido.

Efecto invernadero

La atmósfera actúa como una "manta" alrededor de la Tierra y retiene parte del calor proveniente del sol. Este fenómeno, conocido como efecto invernadero, es fundamental para mantener una temperatura promedio adecuada para la vida. Sin él, la Tierra sería demasiado fría para sustentar la vida tal como la conocemos.

Circulación atmosférica

La atmósfera se encuentra en constante movimiento, generando corrientes de aire y patrones de circulación a través de procesos como la convección y los vientos. Esto ayuda a distribuir el calor y la humedad alrededor del planeta, influyendo en el clima y el clima global.

2.5 Consideraciones de propagación de ondas en la atmósfera

Debemos dejar en claro que las señales de comunicaciones inalámbricas sufrirán una degradación sustancial, debido a diversos factores:

- Pérdidas en el espacio libre: las señales se dispersan a medida que se alejan de la fuente.
- Materiales en el camino: objetos como edificios o árboles pueden obstaculizar y absorber parte de la señal.
- Entorno: condiciones climáticas como lluvia o niebla aumentan la atenuación.
- Contaminación electromagnética: señales de otros dispositivos pueden interferir.
- Posición de los transceptores: la orientación relativa entre emisor y receptor impacta en la recepción.

En estos sistemas de comunicación, es mejor referirnos a "transceptores" en lugar de sólo "transmisores" o "receptores". Esto se debe a que los dispositivos modernos operan de manera bidireccional, tanto transmitiendo como recibiendo datos de forma dinámica. El término "transceptor" describe mejor esta capacidad dual, en contraste con transmisores y receptores convencionales que cumplen un solo rol. Utilizar la terminología adecuada permite comprender mejor estos sistemas de comunicación inalámbrica avanzados.

Perdidas en espacio libre

En comunicaciones inalámbricas, las pérdidas en el espacio libre (free space path loss en inglés) se calculan mediante la siguiente expresión:

$$LFS = 20 \log(d) + 20 \log(f) + 32.44$$

Donde:

LFS	Pérdidas en el espacio libre [dB]
d	Distancia entre transmisor y receptor [km]
f	Frecuencia de la señal [MHz]
32.44	Constante que depende de las unidades utilizadas.

Primer término:

20 log(d)

Representa la atenuación debida a la dispersión geométrica. A medida que las ondas electromagnéticas viajan más lejos desde la fuente, su energía se distribuye sobre una superficie esférica cada vez mayor. Esto provoca un descenso inversamente proporcional al cuadrado de la distancia recorrida. Usando logaritmos se simplifica a una relación lineal con la distancia en dB.

Segundo término:

20 log(f)

representa la atenuación debida a la absorción atmosférica. Las microondas sufren más absorción a frecuencias altas, ya que sus longitudes de onda se acercan más al tamaño de las moléculas de gases atmosféricos. Este término modela dicho incremento de las pérdidas.

Tercer término:

32.44

es una constante que depende de las unidades utilizadas y permite ajustar las escalas logarítmicas.

Esta ecuación calcula la atenuación que sufre una onda electromagnética al propagarse a través del espacio vacío, en función de la distancia recorrida y la frecuencia de la señal.

Las pérdidas aumentan exponencialmente con la distancia debido a la dispersión geométrica de la energía. También aumentan con la frecuencia, ya que las señales de mayor frecuencia se atenúan más rápidamente.

Esta expresión es fundamental en el diseño de sistemas inalámbricos, para determinar la potencia de transmisión necesaria entre un transmisor y receptor separados por una cierta distancia. Permite compensar las pérdidas introducidas por el medio de propagación.

Para comprender de forma más práctica el impacto de la pérdida en el espacio libre, se presenta la siguiente tabla con valores estimados de atenuación para los sistemas de comunicación inalámbrica más utilizados:

Sistema	Frecuencia	Pérdidas a 1 km	Aplicación
Radio AM	1 MHz	32.44 dB	Radiodifusión de audio
Radio FM	100 MHz	52.44 dB	Radiodifusión de audio
TV VHF	200 MHz	62.44 dB	Televisión broadcast
GSM 850	850 MHz	102.44 dB	Telefonía móvil
GSM 1900	1900 MHz	112.44 dB	Telefonía móvil
UMTS	2100 MHz	113.44 dB	Telefonía móvil 3G
Bluetooth	2400 MHz	117.44 dB	Conectividad inalámbrica de dispositivos
WiFi 2.4 GHz	2400 MHz	117.44 dB	Redes inalámbricas de área local
WiFi 5 GHz	5000 MHz	127.44 dB	Redes inalámbricas de alta velocidad
Sigfox	900 MHz	102.44 dB	IoT de baja tasa de datos
LoRa	915 MHz	102.44 dB	IoT de largo alcance
NB-IoT	700-900 MHz	100-102 dB	IoT en bandas celulares
RPMA	900 MHz	102.44 dB	IoT de baja latencia

Se calculan las pérdidas teóricas en el espacio libre para 1 km de distancia, esto nos permite concluir lo siguiente:

- Las frecuencias son representativas de cada tecnología.
- A mayor frecuencia, se observan mayores pérdidas en dB.
- WiFi y Bluetooth en 2.4 GHz muestran pérdidas similares.
- Celular 5G tiene frecuencias más altas y por tanto más atenuación.

Esta tabla permite comparar el efecto relativo de la propagación en diferentes sistemas inalámbricos actuales, facilitando la comprensión práctica del impacto de las pérdidas en el espacio libre.

Perdidas por materiales

Las señales deben atravesar diferentes obstáculos y materiales según el entorno donde se implanten. Por ejemplo, en zonas urbanas las señales interactuarán con estructuras como edificios, vehículos o multitudes. En cambio, en zonas rurales el equipamiento se verá afectado principalmente por elementos naturales como árboles, terreno irregular o condiciones climáticas.

Dependiendo del caso, se deberán considerar los posibles obstáculos y cómo éstos podrían degradar la propagación de las ondas electromagnéticas. Los materiales con los que están hechos dichos obstáculos también influyen, provocando reflexión, dispersión, difracción, absorción y otros fenómenos sobre las señales.

Por lo tanto, a la hora de desplegar enlaces inalámbricos es crucial realizar estudios de propagación y mediciones en campo que permitan caracterizar adecuadamente el canal radioeléctrico específico de cada emplazamiento. Esto posibilitará seleccionar los parámetros idóneos para lograr una transmisión robusta en cada entorno.

En la siguiente tabla se muestran valores aproximados de atenuación causada por distintos materiales que se pueden encontrar la atenuación en la propagación en enlaces de comunicación inalámbrica, resaltando:

- Atenuación en dB por metro de material atravesado.
- Valores representativos para frecuencias de microondas.
- Los efectos variarán con la frecuencia exacta.
- Se consideran pérdidas sólo por absorción, sin otros fenómenos.
- Los valores dependen también del espesor e incidencia sobre el material.

Este cuadro permite estimar el orden de las pérdidas introducidas por obstáculos comunes en el camino de propagación de las ondas electromagnéticas utilizadas para transmisión inalámbrica.

Material	Atenuación (dB/m)	Referencia de atenuación
Aire	0.1	1/10 de la señal original
Madera	1	1/10 de la señal original
Lana de vidrio	1	1/10 de la señal original
Ladrillo	2	1/100 de la señal original
Vidrio	2	1/100 de la señal original
Yeso	3	1/1000 de la señal original
Aglomerado	3	1/1000 de la señal original
Piedra	3	1/1000 de la señal original
Tierra húmeda	4	1/10000 de la señal original
Hormigón	4	1/10000 de la señal original
Agua	10	1/100000 de la señal original
Metal	100	1/10000000000 de la señal original

El agua resulta ser uno de los principales elementos que atenúan las comunicaciones inalámbricas, logrando una gran reducción de la potencia de la señal. Esto nos ayuda a comprender por qué las normas internacionales establecen límites máximos permitidos en la potencia de radiación de radio, que difieren de acuerdo al país. La razón principal para estas variaciones es la cantidad de habitantes en cada nación.

En países con alta densidad de población, se requiere restringir más la potencia máxima de transmisión para minimizar la interferencia acumulativa entre tantos dispositivos en proximidad. Por el contrario, en naciones con baja densidad poblacional se pueden permitir niveles de potencia más elevados, ya que hay menos equipos compartiendo el espectro.

De esta manera, las regulaciones sobre potencia de radio intentan encontrar un balance entre cobertura y capacidad en función de las condiciones demográficas. El modelar el efecto de atenuación de obstáculos como el agua permite establecer estos límites técnicos razonables para cada situación.

Perdidas por fenómenos climatológicos

Las pérdidas en los enlaces inalámbricos también están relacionadas con el clima y por lo tanto pueden ser estimadas para diferentes épocas del año. Los fenómenos meteorológicos como la lluvia, niebla, nieve o granizo producen dispersión y absorción de la energía electromagnética transmitida, atenuando las señales.

Dichos efectos varían según la estación climática y condiciones típicas de cada región. Mediante el análisis estadístico de datos históricos y la realización de mediciones, es posible caracterizar las pérdidas esperadas en diferentes momentos. Esto permite optimizar los sistemas de comunicación inalámbrica considerando los patrones climáticos y prever márgenes adecuados para garantizar disponibilidad durante todo el año.

La estimación de las variaciones temporales en las condiciones de propagación es un factor clave en el diseño robusto de enlaces inalámbricos.

Fenómeno	Pérdidas (dB/km)
Cielo despejado	0
Lluvia ligera	1 - 10
Lluvia moderada	10 - 20
Lluvia intensa	20 - 40
Niebla ligera	10 - 50
Niebla densa	50 - 150
Nieve ligera	1 - 10
Tormenta de nieve	10 - 30

La siguiente tabla muestra una estimación del impacto en las pérdidas de señal inalámbrica para las tres ciudades más pobladas de Bolivia. Según datos de 2022; Santa Cruz con 1,915,631 habitantes (17% de la población total), La Paz y el Alto 1,187,016 y 907,218 habitantes respectivamente (10% y 8%) y Cochabamba 630,587 habitantes (6%).

**PERDIDAS EN DB DE SEÑAL INALÁMBRICA A CAUSA DE LAS
CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS**

	Cochabamba	La Paz	Santa Cruz
ENE	5	10	5
FEB	5	10	5
MAR	10	15	5
ABR	15	15	10
MAY	10	15	15
JUN	10	10	15
JUL	10	10	15
AGO	10	10	15
SEP	10	10	10
OCT	10	15	5
NOV	5	10	5
DIC	5	10	5

Para esto se considera que Cochabamba tiene lluvias de diciembre a marzo, La Paz lluvias y granizo de noviembre a marzo y Santa Cruz lluvias de diciembre a marzo. Podemos destacar comportamientos sobre Cochabamba que tiene menores pérdidas que La Paz en los meses de lluvia. En cuanto Santa Cruz tiene pérdidas relativamente estables durante todo el año y La Paz presenta los valores más altos en los meses de tormentas. La información climática utilizada en el ejemplo fue obtenida de las siguientes fuentes:

Para Cochabamba:

El clima de Cochabamba presenta una estación seca de mayo a septiembre y una estación lluviosa de diciembre a marzo según datos históricos de temperatura y precipitación. Fuente: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/bolivia/departamento-decochabamba/cochabamba-20/>

Para La Paz:

La época de lluvias en La Paz se extiende de noviembre a marzo, con tormentas eléctricas, granizadas y nevadas ocasionales en los meses de diciembre a febrero. Fuente: <https://www.todoviajes.com/clima/bolivia/la-paz>

Para Santa Cruz:

Santa Cruz tiene precipitaciones que se concentran entre noviembre y marzo, con un clima tropical y húmedo. Fuente: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/bolivia/santa-cruz/santa-cruz-de-la-sierra-295/>

Los valores mensuales de pérdidas asignados son estimativos, basados en estas descripciones climáticas generales para dar una idea comparativa del posible impacto estacional por zona. En un análisis más detallado se requerirían datos cuantitativos de precipitación, temperatura, etc.

Posición espacial de los transeptores

Al momento de emplazar los transeptores inalámbricos, debemos considerar múltiples aspectos. Uno de ellos es el nivel de contaminación electromagnética presente en la zona, provocada por señales de otros dispositivos. Para esto, los equipos modernos incorporan software de análisis de espectro, que aprovecha las capacidades físicas del hardware para visualizar el estado del punto donde nos encontramos. Esto reduce la necesidad de utilizar un analizador de espectro externo, convirtiendo a nuestros propios dispositivos en analizadores funcionales.

Luego de caracterizar el entorno, deberemos buscar los espacios libres en el espectro o los canales disponibles, de acuerdo a normas como IEEE 802.11 para WiFi.

Ahora calcularemos la altura óptima donde deberán estar situados los transceptores, para lo cual utilizaremos el concepto de zonas de Fresnel. Esto asegurará una línea de vista despejada para la propagación de las ondas electromagnéticas.

Para comprender mejor las zonas de Fresnel, podemos hacer un ejercicio de visualización. Imaginemos que los elipsoides son como balones de fútbol americano, con los extremos puntiagudos representando las ubicaciones de los dispositivos transmisor y receptor.

Los equipos inalámbricos se colocarían en los "extremos" de estas formas elípticas imaginarias. El "balón" modelaría el volumen de espacio libre necesario entre las antenas para conseguir una propagación óptima de las ondas electromagnéticas.

Cuanto mayor sea la obstrucción de este volumen elipsoidal por obstáculos, mayores serán las pérdidas en la comunicación. Si logramos una ubicación elevada de las antenas por encima del 60% del "balón" de la primera zona, aseguraremos una línea de vista despejada entre los equipos.

Este tipo de representación mental puede ayudar a comprender mejor el concepto físico detrás de las zonas de Fresnel y su aplicación práctica en el diseño de enlaces inalámbricos. La visualización facilita la interpretación de los cálculos matemáticos involucrados que estudiaremos a continuación.

Las zonas de Fresnel nos indican inicialmente el espacio libre necesario para maximizar la propagación de las ondas. Además, nos aportan el nivel de altura mínimo requerido para el emplazamiento óptimo de los dispositivos transmisores y receptores.

La ecuación para calcular el radio R_n de la zona de Fresnel n es:

$$R_n = 17.31 \sqrt{\frac{n\lambda}{4\pi}}$$

Donde:

R_n	Radio de la zona n de Fresnel (m)
n	Número de zona
λ	Longitud de onda [m]

Sabiendo que la longitud de onda λ y la frecuencia f se relacionan por:

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

Donde:

- f** Frecuencia de la señal [Hz]
- c** Velocidad de la luz

Se puede expresar el radio de Fresnel en función de la frecuencia como:

$$R_n = 17.31 \sqrt{\frac{nc}{4\pi f}}$$

Esta ecuación permite calcular la zona de Fresnel conociendo directamente la frecuencia, sin necesidad de obtener primero la longitud de onda.

No se olvide que en la primera zona de Fresnel solo pueden existir obstáculos que bloqueen hasta el 40% del área total en el peor de los escenarios.

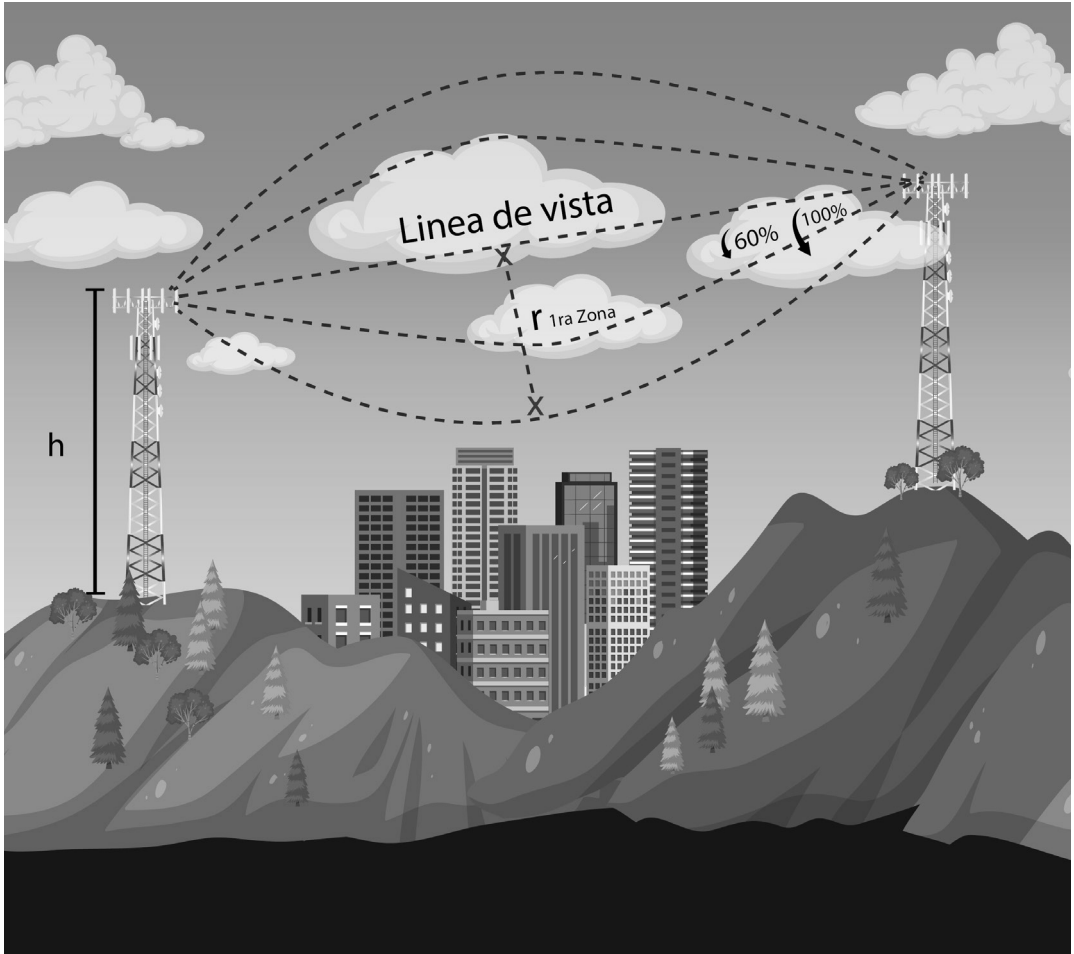
A continuación, se muestra una tabla comparativa del radio de la primera zona de Fresnel para diferentes sistemas inalámbricos, bajo las siguientes condiciones:

- Distancia de 1 km entre antenas
- Radio sin obstrucción al 100%
- Radio sin obstrucción al 60%

Esto permite apreciar la variación del tamaño de la zona de Fresnel según la frecuencia utilizada.

Sistema	Frecuencia	Radio Fresnel 100% (m)	Radio Fresnel 60% (m)
NB-IoT	700 MHz	7.57	4.54
LoRa	915 MHz	6.51	3.91
RFID	915 MHz	6.51	3.91
GPS	1.5 GHz	5.01	3.00
Celular 4G	1.8 GHz	4.20	2.52
WiFi 2.4GHz	2.4 GHz	3.51	2.11
Bluetooth	2.4 GHz	3.51	2.11
Celular 5G	3.5 GHz	2.83	1.70
WiFi 6	6 GHz	2.34	1.40

Finalmente, este cálculo nos permite evaluar la altura mínima en la que se debe instalar un dispositivo inalámbrico.



$h > r$ 60% 1ra Zona

2.6 Cuestionario

Para consolidar los conocimientos del capítulo, escanee el siguiente código para acceder al banco de preguntas. Practique cuantas veces sea necesario para obtener el mejor resultado.



<https://forms.office.com/r/Mfkry91b3E>

2.7 Conclusiones

La propagación de ondas electromagnéticas que hacen posible las comunicaciones inalámbricas se basa en principios como la emisión a partir de dipolos y antenas. La longitud del dipolo es un parámetro crítico que debe ajustarse a la señal.

Existen diversos tipos de antenas para diferentes aplicaciones. Su función es convertir señales eléctricas en ondas electromagnéticas radiadas al espacio. Los parámetros de la antena impactan las características de propagación.

La atmósfera terrestre, con capas como la troposfera, estratosfera e ionosfera, afecta la propagación de las ondas de radiofrecuencia. Fenómenos como la reflexión ionosférica posibilitan comunicaciones más allá del horizonte.

Las condiciones climáticas y geográficas provocan atenuación y degradación de las señales inalámbricas. Estos efectos deben modelarse y cuantificarse para diseñar los sistemas.

El análisis previo del canal de propagación, considerando pérdidas en el espacio libre y por obstáculos, es esencial para un correcto emplazamiento y dimensionamiento de los enlaces inalámbricos.

Conceptos como zonas de Fresnel permiten modelar matemáticamente los requerimientos de la propagación y optimizar la ubicación de antenas para conseguir confiabilidad. En conclusión, comprender los principios de la transmisión inalámbrica y cómo el medio impacta su desempeño es indispensable para el diseño e implementación exitosos de sistemas de comunicación.

Capítulo 3:

Espectro Electromagnético y Ancho de Banda

3.1 El espectro electromagnético y su importancia en comunicaciones inalámbricas

Comprender el espectro electromagnético es fundamental para dominar la tecnología inalámbrica. En particular, es importante enfocarse en el espectro eléctrico, el subespacio donde opera nuestra tecnología.

El espectro electromagnético representa el rango completo de frecuencias de la radiación electromagnética. Cada rango de frecuencias tiene diferentes aplicaciones que "ocupan" ese espacio. Como vimos antes, cuando las señales se emiten en la misma frecuencia pueden interferir entre sí, por lo que es necesario administrar cuidadosamente el espectro.

El fenómeno electromagnético explica el comportamiento de la materia. Nuestros sentidos con sus órganos respectivos están diseñados para captar diferentes partes del espectro. Por ejemplo, nuestra piel detecta el calor que proviene de ondas infrarrojas del sol,



Guglielmo Marconi

Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Guglielmo_Marconi_1901_wireless_signal-300x189.jpg

Los "marconigramas", telegrafos inalámbricos que permitían comunicaciones a grandes distancias por el aire haciendo uso de las ondas electromagnéticas recientemente descubiertas empíricamente por Hertz, no fueron en realidad inventados por Marconi.

Oliver Lodge hizo importantes contribuciones al desarrollo del telégrafo inalámbrico. Lodge creó un receptor mejorado utilizando un dispositivo llamado "coherer", que consistía en un tubo con limaduras metálicas en forma de V que se volvían conductoras en presencia de ondas de radio. También diseñó un sistema en el receptor con un medidor de corriente que convertía los cambios eléctricos en movimientos de un espejo, permitiendo visualizar claramente el efecto de las ondas de radio. Aunque Lodge no continuó el trabajo en el telégrafo inalámbrico, sentó bases fundamentales para avances posteriores.

Nikola Tesla también realizó contribuciones clave. En 1889 modificó el transmisor de Hertz usando una fuente de corriente alterna en lugar de continua, generando así alta tensión. Además, ajustó la posición del condensador, inventando el circuito oscilante o "bobina de Tesla", que producía corrientes de alta frecuencia y voltaje, críticas para transmitir inalámbricamente a larga distancia. Si bien Tesla se enfocó más en aplicaciones como transmisión inalámbrica de energía e iluminación, sentó las bases de la radio y la telegrafía sin cables.

Aunque Marconi fue acreditado como inventor de la radio y ganó el Nobel de Física en 1909, no fue el primero en hacer una transmisión inalámbrica ni creó la mayoría de los dis-

mientras que nuestros oídos captan ondas de menor frecuencia. De manera similar, nuestros ojos perciben la luz visible. Es fascinante cómo cada sentido capta una porción distinta del espectro electromagnético.

Algunos de los principales segmentos del espectro son:

- Ondas de radio - usadas en radiodifusión AM/FM, wifi, bluetooth, etc. Tienen frecuencias de até 3GHz y longitudes de onda mayores a 10cm.
- Microondas - usadas en radares, hornos de microondas, satélites, etc. Tienen frecuencias de 1-30 GHz y longitudes de onda de 1-30cm.
- Luz visible - lo que podemos ver con nuestros ojos. Tiene frecuencias de 430-770 THz y longitudes de onda de 380-700 nm.
- Luz ultravioleta - usada en lámparas germicidas. Tiene frecuencias de 790 THz - 30 PHz y longitudes de onda de 10 - 400 nm.
- Rayos X - usados en radiografías médicas. Tienen frecuencias de 30 PHz - 30 EHz y longitudes de onda de 0.01 - 10 nm.
- Rayos gamma - emitidos por materiales radiactivos. Tienen las frecuencias más altas (>30 EHz) y las longitudes de onda más cortas (<0.01 nm).

positivos que usó. Inspirado por Hertz, aplicó las ideas de Lodge y Tesla para mejorar su receptor y generar potentes ondas de radio. Logró transmitir señales de telegrafía inalámbrica a larga distancia, pero subestimó la capacidad de propagación de las ondas de radio.

A pesar de las contribuciones previas de Lodge y Tesla, Marconi recibió la fama, mientras que Tesla sufrió revés en sus proyectos. Años después de la muerte de Tesla se reconoció su aporte a la invención de la radio.

Es importante reconocer las distintas contribuciones en diferentes ámbitos, sin justificar la apropiación indebida. Las personas que permiten sacar la tecnología de los laboratorios también son casi tan importantes como los mismos inventores.

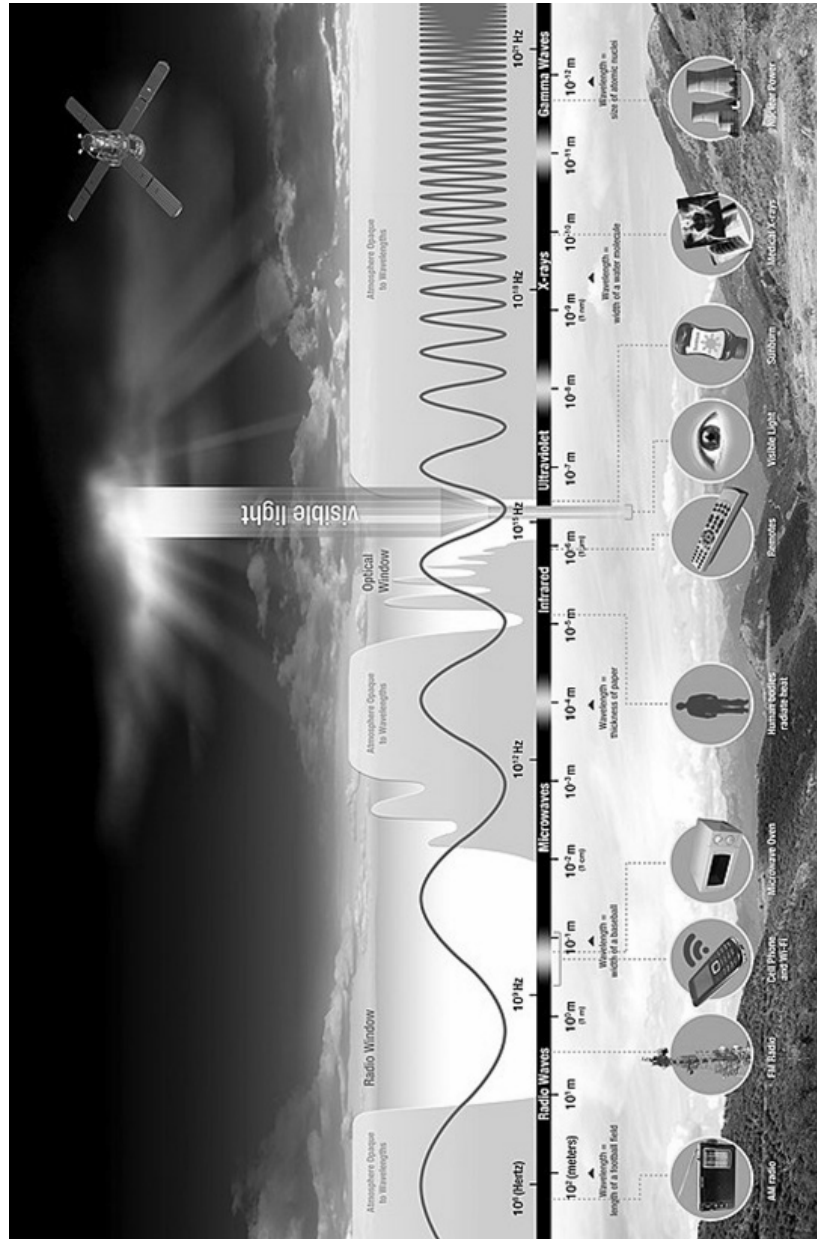


Figura 3.1 - Espectro electromagnético

Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic_spectrum,_NASA_illustration.jpg

El diagrama de un analizador de espectro muestra las frecuencias en el eje vertical y la intensidad de señal en el eje horizontal. Este gráfico ilustra cómo distintas aplicaciones utilizan diferentes rangos de frecuencias dentro del espectro electromagnético.

Los gobiernos tienen la responsabilidad de administrar y regular el uso del espectro electromagnético. Lo hacen asignando frecuencias específicas para distintos usos a través de un proceso de licitación, y estableciendo sanciones para quienes no respeten estas asignaciones. Así se logra un uso organizado de este valioso recurso que es el espectro radioeléctrico.

Un ejemplo es el "Plan Nacional de Frecuencias" de Bolivia, que define la política de gestión del espectro en ese país. Este documento se puede encontrar en el siguiente enlace: <https://www.att.gob.bo/plan-nacional-de-frecuencias>. El plan designa bandas de frecuencia para varios servicios como telefonía móvil, radiodifusión, uso militar, entre otros. La regulación adecuada del espectro es esencial para minimizar interferencias y optimizar el uso de este recurso limitado.

3.2 Ancho de banda y su relación con la velocidad de transmisión

Conocido como bandwidth (ancho de banda) en inglés, este parámetro fundamental indica qué rango de frecuencias estamos ocupando dentro del espectro electromagnético. El ancho de banda no especifica la ubicación exacta en el espectro, solo cuánto espacio estamos utilizando.

El ancho de banda se mide en hertz (Hz) y está determinado por la diferencia entre la frecuencia más alta y la más baja de la señal o transmisión. Por ejemplo, una señal con frecuencias entre 1 MHz y 3 MHz tiene un ancho de banda de 2 MHz.

Entre más amplio sea el ancho de banda, mayor cantidad de información se puede transmitir. Las señales de audio, por ejemplo, requieren menos ancho de banda que las señales de video. Las tecnologías inalámbricas modernas como 5G utilizan anchos de banda muy amplios para lograr altas velocidades de transmisión.

Administrar adecuadamente el ancho de banda es crítico en las telecomunicaciones. Los dispositivos y redes deben utilizar solamente el ancho de banda que necesitan para una transmisión eficiente y para evitar interferencias. Las autoridades regulan y asignan rangos específicos del espectro electromagnético a diferentes tecnologías y servicios tomando en cuenta su requerimiento de ancho de banda.

Por definición el ancho de banda será:

$$BW = f_f - f_o$$

Donde:

f_f Es la frecuencia más alta empleada

f_o Es la frecuencia más baja empleada

Ahora estudiaremos algunas de las relaciones más importantes que debemos tomar en cuenta con el ancho de banda.

3.3 Ancho de banda y su relación con la frecuencia

El espectro electromagnético se representa en una escala logarítmica en el eje de las frecuencias. Esto significa que las frecuencias aumentan exponencialmente a medida que avanzamos en el espectro.

Las características de frecuencia de las ondas están relacionadas con el ancho de banda utilizado. Generalmente, a mayores frecuencias, los anchos de banda ocupados tienden a ser más amplios. Por lo tanto, es de esperar que un sistema operando a 5.7 GHz pueda ocupar más ancho de banda que uno a 2.4 GHz. De acuerdo a la relación entre ancho de banda y velocidad de transmisión, el sistema a mayor frecuencia podría alcanzar más velocidad.

Sin embargo, en tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), se prioriza la eficiencia espectral sobre la velocidad de transmisión. El IoT aprovecha anchos de banda reducidos para mejorar la densidad espectral y el alcance de comunicación entre dispositivos, aunque esto pueda limitar la velocidad. Optimizar el ancho de banda en función de los requerimientos específicos es clave en el diseño de sistemas de comunicación inalámbrica.

La frecuencia está directamente relacionada con la capacidad de ancho de banda, pero el ancho de banda óptimo depende de los objetivos de cada aplicación. Tanto la frecuencia como el ancho de banda son parámetros críticos que deben considerarse cuidadosamente en el diseño de sistemas inalámbricos.

3.4 Ancho de Banda y velocidad

El ancho de banda está directamente relacionado con la velocidad de transmisión de una red, medida en bits por segundo (bps) o bytes por segundo (Bps). Sin embargo, existe una diferencia clave entre estos dos conceptos que suele generar confusión.

El ancho de banda se refiere al rango de frecuencias utilizado por un sistema de comunicación, medido en hertz (Hz). En cambio, la velocidad de transmisión indica la cantidad de datos que pueden transferirse en un segundo a través de la red.

A pesar de ser conceptos distintos, sí existe una correlación entre un mayor ancho de banda y mayores velocidades de transmisión. No obstante, esta relación no es completamente lineal. Por ejemplo, duplicar el ancho de banda no necesariamente duplica la velocidad, debido a otros factores que intervienen como la tecnología de modulación.

Para medir de forma precisa la velocidad real de transferencia de datos se utiliza el término "throughput". El throughput representa la velocidad de transmisión efectiva obtenida en un sistema o red determinados, a diferencia de las velocidades teóricas o estimadas.

El throughput se mide con herramientas como certificadores de red y aplicaciones específicas como iperf. De esta manera se obtiene una medición concreta y fidedigna del rendimiento real de una red en cuanto a velocidad de transmisión de datos.

Por lo tanto, el ancho de banda está vinculado a la velocidad de transmisión, pero no la determina completamente. Evaluar el throughput resulta clave para comprender la eficiencia real de una red inalámbrica.

3.5 Ancho de banda y propagación de ondas en la atmósfera

A medida que nos embarcamos en la tarea de implementar un sistema que demande un ancho de banda más amplio, es esencial tener en cuenta que este puede encontrarse con obstáculos más pronunciados al expandirse a través del espacio. Consecuentemente, los sistemas de menor ancho de banda tienden a mostrar una mayor estabilidad, aunque esto puede repercutir en la velocidad de transmisión, como exploramos en la sección previa.

No obstante, la selección entre un sistema de mayor o menor ancho de banda dependerá de las necesidades concretas de cada contexto. En determinadas circunstancias, la velocidad podría ser un factor crucial que justifique la adopción de un sistema de mayor ancho de banda, aún a pesar de los eventuales contratiempos en la propagación. Por otro lado, en situaciones donde la confiabilidad toma la delantera, un sistema de menor ancho de banda podría prevalecer como la opción óptima, incluso si ello conlleva una disminución en la velocidad de transmisión de datos.

Un ejemplar caso de esta dinámica se manifiesta en las aplicaciones de control industrial, donde se precisa un nivel de

comunicación infalible y sin interrupciones. En tales escenarios, la decisión de optar por un sistema de menor ancho de banda puede ser recomendable para prevenir interferencias potenciales o pérdida de datos.

Aunado a lo anterior, el factor económico también desempeña un rol trascendental en la selección del sistema. Cabe destacar que la implementación y el mantenimiento de un sistema de mayor ancho de banda suelen conllevar costos superiores. Es por ello que considerar las implicaciones financieras es imperativo al tomar una decisión informada en la elección de la infraestructura de telecomunicaciones más adecuada.

3.6 Interferencia y ruido en comunicaciones inalámbricas

Interferencia Electromagnética (EMI)

La interferencia electromagnética (EMI), también conocida por su acrónimo en inglés, se refiere a la perturbación o degradación indeseada de las señales electromagnéticas en sistemas de comunicación, dispositivos electrónicos y sistemas eléctricos, debido a la presencia de señales electromagnéticas no deseadas. Estas señales indeseadas pueden originarse tanto en fuentes externas como internas al sistema, y tienen el potencial de afectar el rendimiento, la calidad y la integridad de las señales transmitidas o recibidas.

La EMI puede tener diferentes causas, entre las cuales destacan:

Interferencia Electromagnética Conducida:

Este tipo de interferencia ocurre cuando las señales no deseadas se acoplan a través de cables y conexiones eléctricas, propagándose a otros equipos o sistemas.

Interferencia Electromagnética Radiada: En este caso, las señales no deseadas se propagan a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas, afectando a otros equipos o sistemas que se encuentren en su trayectoria.

Las fuentes comunes de EMI pueden ser dispositivos electrónicos, equipos de radiofrecuencia, motores eléctricos, líneas de transmisión eléctrica, equipos de iluminación, entre otros. Los efectos de la interferencia electromagnética pueden manifestarse en forma de ruido, distorsiones, pérdida de señal, errores de transmisión o mal funcionamiento de los equipos.

Para prevenir y mitigar los efectos de la EMI, se emplean técnicas como el uso de blindajes electromagnéticos, filtros de interferencia, aislamiento de cables, enrutamiento adecuado de cables y la adhesión a normas y estándares de compatibilidad electromagnética. Estas medidas buscan reducir al mínimo la interferencia, asegurando un funcionamiento óptimo de los sistemas y dispositivos electrónicos en entornos con señales electromagnéticas.

Ruido en Telecomunicaciones

En el contexto de las telecomunicaciones, el término "ruido" se refiere a las señales no deseadas o interferencias presentes en un canal de comunicación, que afectan la calidad de la señal transmitida. El ruido, una forma de interferencia electromagnética, puede originarse de diversas fuentes, tanto internas como externas al sistema de comunicación.

El ruido adopta diversas formas y características, pero en términos generales, se trata de una señal indeseada que se superpone a la señal original. Su generación proviene de múltiples fuentes, como interferencias electromagnéticas generadas por otros dispositivos electrónicos, fenómenos atmosféricos, interferencia térmica, ruido en amplificadores, ruido ambiental natural, entre otros.

El ruido ejerce un impacto negativo en la calidad de la señal de comunicación, ya que puede introducir distorsiones, degradar la relación señal-ruido (SNR), reducir la capacidad de transmisión de datos y dar lugar a errores en la recepción de la señal. En sistemas de comunicación analógicos, el ruido puede manifestarse como interferencias audibles o visuales, mientras que en sistemas digitales puede traducirse en errores de bits.

Para mitigar los efectos del ruido en las telecomunicaciones, se recurre a una variedad de técnicas y estrategias. Entre ellas, técnicas de modulación adecuadas, codificación de corrección de errores, filtrado selectivo, amplificación de señal, empleo de antenas direccionales, entre otras. Estas tácticas contribuyen a mejorar la relación señal-ruido, reducir el impacto del ruido y elevar la calidad general de la comunicación.

3.7 Potencia y regulaciones internacionales para el uso del espectro electromagnético

En el ámbito de las telecomunicaciones, el concepto de potencia se refiere a la cantidad de energía que una fuente de señal emite o transmite en determinado tiempo. Es un parámetro esencial que mide la magnitud de energía electromagnética irradiada en forma de ondas de radio, señales ópticas u otros medios de transmisión.

La potencia en telecomunicaciones desempeña un papel fundamental al determinar la fuerza de la señal transmitida, lo que influye directamente en su alcance y calidad. Una potencia adecuada es crucial para asegurar una transmisión confiable y la preservación de la calidad de la señal en los sistemas de comunicación.

La expresión más común para la potencia es en unidades de vatios (W), aunque en muchas ocasiones se utiliza una medida logarítmica para comparar con una referencia específica. El decibelio-milivatio (dBm)

es una unidad de medida logarítmica que se refiere a la potencia relativa respecto a un milivatio (0 dBm equivale a 1 mW), como se ilustra en el primer capítulo de esta obra.

En sistemas de telecomunicaciones, se busca un equilibrio preciso entre la potencia transmitida y la sensibilidad del receptor. Una potencia demasiado baja puede resultar en una señal débil, susceptible al ruido y propensa a la degradación de la calidad. En contraste, una potencia excesiva puede generar interferencias en otros sistemas y derrochar más energía de la necesaria.

La gestión y regulación de la potencia en telecomunicaciones se logra mediante el uso de amplificadores, atenuadores y otros dispositivos de control de potencia. Además, se aplican técnicas de regulación para ajustar la señal a niveles óptimos y asegurar una comunicación efectiva dentro de los límites de potencia establecidos por las regulaciones y normativas vigentes.

Regulaciones Internacionales del Espectro Electromagnético: El uso ordenado y eficiente del espectro electromagnético a nivel global lo rige la normativa internacional de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), agencia especializada de las Naciones Unidas encargada de coordinar las políticas y estándares mundiales en telecomunicaciones. La UIT asigna y administra las distintas bandas de frecuencia del espectro electromagnético para garantizar un aprovechamiento justo y eficiente de este recurso limitado.

El corazón de estas regulaciones es el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT, un tratado que establece disposiciones técnicas y administrativas para el uso del espectro radioeléctrico y las órbitas de satélites. Estas regulaciones, forjadas mediante acuerdos internacionales, establecen las bases para:

Asignación de Bandas de Frecuencia: Definen las bandas y rangos de frecuencia asignados a diversos servicios de radiocomunicaciones, como telefonía móvil, radiodifusión y comunicaciones satelitales.

Condiciones Técnicas de Operación: Especifican los parámetros técnicos que deben cumplir los sistemas de radiocomunicaciones, tales como potencia, ancho de banda, modulación e interferencia.

Protección contra Interferencias: Garantizan la protección contra interferencias dañinas entre diferentes servicios y usuarios del espectro electromagnético, estableciendo límites de emisión y espacios protegidos de frecuencia.

Coordinación Internacional: Definen procedimientos de coordinación entre naciones para compartir y proteger el espectro electromagnético, solucionando disputas y planificando redes globales de radiocomunicaciones.

Certificación y Homologación: Establecen requisitos y procedimientos para certificar y homologar equipos de radiocomunicaciones, asegurando que cumplan con estándares técnicos y operativos.

Es primordial resaltar que cada país es responsable de implementar y hacer cumplir estas regulaciones a través de sus entidades reguladoras de telecomunicaciones. Dichas entidades adaptan y aplican las regulaciones internacionales de acuerdo a las necesidades y circunstancias propias de cada nación, siempre en línea con los tratados internacionales existentes.

3.8 Regulaciones nacionales para los enlaces de microondas

En Bolivia tenemos a la principal ley que regula las telecomunicaciones en Bolivia es la Ley General de Telecomunicaciones, Tecnologías de Información y Comunicación, conocida también como Ley 164.

El lector podrá hallar copias de la a Ley 164 de Telecomunicaciones de Bolivia, recomendando usar solo fuentes oficiales y sitios autorizados, para tener la versión completa y actualizada. Algunas opciones recomendadas:

Página web de la Gaceta Oficial de Bolivia:
<https://www.gacetaoficialdebolivia.gob.bo/normas/listadonor/22>

Sitio web de la Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transportes (ATT) de Bolivia:
<https://www.att.gob.bo/content/ley-general-de-telecomunicaciones-tecnolog%C3%A1das-de-informaci%C3%B3n-y-comunicaci%C3%B3n>

Portal del Estado Plurinacional de Bolivia, permite descargar la ley en varios formatos: <https://www.lexivox.org/norms/BO-L-N164.xhtml>

Biblioteca y Archivo Central del Congreso Nacional de Bolivia: <http://www.congreso.gob.bo/biblioteca/wp-content/uploads/leyes/Ley-164-de-8-AGO-2011-Telecomunicaciones.pdf>

Algunos de los aspectos fundamentales de esta ley son:

- Fue promulgada el 8 de agosto de 2011 durante el gobierno de Evo Morales.
- Establece que las telecomunicaciones son servicios públicos que deben contribuir al vivir bien de todos los bolivianos.
- Creó la Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transportes como entidad encargada de regular el sector.
- Clasifica los servicios de telecomunicaciones en servicios de telefonía fija, móvil, televisión por cable y otros servicios de transmisión.
- Declara el acceso universal y el servicio universal como objetivos fundamentales.
- Cobertura del servicio telefónico debe alcanzar localidades con más de 100 habitantes.
- Requiere la instalación de cabinas de internet en localidades de más de 500 habitantes.
- Establece el derecho al acceso a información y comunicación para todos.
- Promueve el uso de software libre y estándares abiertos.

Respecto a las comunicaciones inalámbricas, tema central de este libro; podemos destacar los siguientes puntos de la Ley:

- Establece el uso regulado del espectro radioeléctrico para los servicios inalámbricos.
- La ATT debe elaborar el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias.
- Se requiere licencia para el uso de frecuencias del espectro radioeléctrico.
- Los servicios inalámbricos deben cumplir con estándares técnicos para evitar interferencias.
- Promueve el uso de infraestructura y sitios de telecomunicaciones compartidos entre operadores cuando sea técnicamente factible, como torres y postes.
- Los operadores de redes privadas pueden proveer servicios a terceros si obtienen una licencia.
- Establece sanciones por uso indebido del espectro, como interferencias.
- Fija un impuesto del 1% sobre los ingresos brutos de los operadores de redes y servicios de telecomunicaciones.
- Los operadores deben contribuir anualmente al Fondo de Servicio Universal para expandir el acceso.

En procura del incentivo de las redes de comunicaciones inalámbricas pudiéramos mencionar que la ley promueve:

- Operadores de redes privadas puedan proveer servicios a terceros obteniendo una licencia, abriendo oportunidades para servicios inalámbricos comunitarios.

- Obligaciones de expandir el acceso universal a localidades, incluso rurales, lo cual puede incentivar el uso de soluciones inalámbricas para reducir costos.
- Regular el espectro radioeléctrico, reserva frecuencias específicas para diferentes servicios inalámbricos.
- Mediante el fondo de servicio universal subsidia la expansión de servicios a áreas rurales y de escasos recursos, donde las redes inalámbricas son una opción.
- Fijar estándares técnicos de calidad mínima para servicios inalámbricos, promoviendo su formalización.
- Sancionar interferencias perjudiciales, incentivando el correcto despliegue de redes inalámbricas.
- No imponer restricciones específicas a la tecnología inalámbrica, permitiendo

3.9 Cuestionario



<https://forms.office.com/r/k7XYyAs6x5>

3.10 Conclusiones

Aquí algunas conclusiones sobre los principales conceptos presentados en el capítulo:

- El espectro electromagnético es un recurso limitado que sustenta todas las comunicaciones inalámbricas modernas. Su uso eficiente es indispensable mediante una cuidadosa administración y regulación.
- El ancho de banda determina la cantidad de información que puede transmitirse en las redes inalámbricas. Un manejo óptimo del ancho de banda es esencial para lograr altas velocidades de transmisión al tiempo que se previenen interferencias.
- La propagación de las ondas electromagnéticas impone ciertos límites físicos que deben considerarse en el diseño de los sistemas inalámbricos. Existen compromisos entre velocidad de transmisión y confiabilidad de la comunicación.
- La interferencia electromagnética y el ruido pueden degradar significativamente la calidad de las comunicaciones inalámbricas. Técnicas avanzadas de modulación, codificación y filtrado son necesarias para mitigar estos efectos.
- Un marco regulatorio adecuado para la administración del espectro, tanto a nivel global como local, resulta indispensable para maximizar el aprovechamiento de este recurso, minimizar interferencias y promover el desarrollo ordenado de las telecomunicaciones inalámbricas.
- Comprender cabalmente los principios básicos del espectro electromagnético es un requisito fundamental para dominar las modernas tecnologías inalámbricas y participar de forma efectiva en su desarrollo continuo.

En síntesis, el uso eficiente del espectro electromagnético mediante una gestión integral y conocimientos especializados es la clave para impulsar el avance sostenible de las comunicaciones inalámbricas en el futuro.

Capítulo 4:

Sistemas de comunicaciones inalámbricos

4.1 Elementos de los sistemas de comunicaciones inalámbricos

Los sistemas de comunicación modernos han logrado encapsular dos o más de los elementos que los componen. Esto por la reducción de costos que permite la llegada a mercados en países en desarrollo.

Adicionalmente, la sencillez en la instalación y la configuración también se ha visto positivamente afectada, logrando que los procesos de configuración sean más rápidos.

Acompañaremos esta sección con fotografías de un modelo de dispositivo muy utilizado en las redes inalámbricas, tanto de uso común como CPE (Customer Premise Equipment) o equipo de premisa para usuario final. Se trata del Ubiquiti NanoStation M5, que además de usarse como terminal para enlaces punto a punto, también permite implementar enlaces punto-multipunto.

El Ubiquiti NanoStation M5 es un dispositivo compacto de radio en la banda libre de 5GHz, que utiliza antenas integradas de alto gain para alcanzar rangos de hasta 15 km con línea de vista despejada.

Funciona con el sistema operativo AirOS de Ubiquiti, basado en Linux, que provee una interfaz de gestión intuitiva y características avanzadas como gestión de ancho de banda, VLANs, enrutamiento dinámico y vpn.

Entre sus principales características se destacan la alta potencia de transmisión de hasta 1W, las tecnologías MIMO 2x2 y 256 QAM para un mayor throughput, y su capacidad para operar como estación o como acceso punto en topologías punto a punto y punto multipunto.

La versatilidad, facilidad de uso y rendimiento del NanoStation M5 lo convierten en una opción muy popular para implementar enlaces inalámbricos de larga distancia, redes metropolitanas, interconexión de sucursales, y brindar conectividad a usuarios residenciales y PyMEs.



Figura 4.1 - airMAX NanoStation M5

Fuente: <https://images.svc.ui.com/?u=https%3A%2F%2Fcdn.ecomm.ui.com%2Fproducts%2Fce-dd302-7e78-49d6-886b-f1326e96363f%2F68065592-99de-4c59-abe7-f3dbbb35fb09.png&q=75&w=1920>

4.1.1 Antena

Las antenas son un componente esencial en los sistemas de comunicaciones inalámbricas, ya que permiten la transmisión y recepción de las ondas electromagnéticas. Las antenas convierten las señales eléctricas en ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio, y viceversa.

Un parámetro clave de las antenas es la ganancia, medida en decibeles isotrópicos (dBi). Una mayor ganancia indica que la antena es más sensible y eficiente en la recepción de señales electromagnéticas. Sin embargo, antenas de alta ganancia suelen implicar mayores dimensiones físicas y costos más elevados.

Por ejemplo, pasar de una antena de 2 dBi a una de 5 dBi puede significar multiplicar varias veces las dimensiones de la antena. Es un compromiso que debe evaluarse cuidadosamente en función de los requerimientos de cada sistema inalámbrico.

Aunque antenas más grandes y de mayor ganancia puedan parecer siempre deseables, hay que considerar también el impacto de la contaminación electromagnética. Las antenas muy directivas y de alta potencia pueden causar niveles significativos de radiación en áreas aledañas.

Por ello, es recomendable utilizar la mínima ganancia necesaria para lograr un enlace inalámbrico efectivo y estable, siguiendo normas y estándares que limitan la potencia isotrópica radiada efectiva (PIRE o EIRP por sus siglas en inglés).

Un diseño de antenas óptimo maximiza el rendimiento al tiempo que reduce la contaminación electromagnética y el impacto visual en el entorno. No siempre antenas más grandes y de mayor ganancia son la mejor opción, se debe encontrar un balance adecuado entre performance y efectos colaterales.

Priman la eficiencia y cumplimiento de normativas que restringen los niveles de emisiones electromagnéticas. En vez de maximizar la ganancia, el objetivo debe ser lograr un enlace estable y confiable con el menor tamaño de antena posible.



*Figura 4.2 -Arreglo de antenas airMAX NanoStation M5
Fuente: propia*

4.1.2 Radio

El radio transmisor es un componente esencial en los sistemas de comunicaciones inalámbricas. Su función es generar y amplificar la señal eléctrica que se suministra a la antena para su transmisión como ondas electromagnéticas.

Desde el punto de vista económico, los radios suelen ser los elementos más accesibles de la infraestructura inalámbrica. Básicamente consisten en un amplificador de potencia caracterizado por su ganancia máxima, medida en decibelios-miliwatio (dBm).

A diferencia de las antenas, incrementar la ganancia del radio no altera significativamente sus dimensiones físicas. Sin embargo, radios de alta potencia pueden contaminar el espectro electromagnético al emitir de forma indiscriminada si no se implementan controles adecuados.

La potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE), también conocida como EIRP por sus siglas en inglés, del sistema completo conformado por radio y antena, debe limitarse para cumplir con normativas que restringen la contaminación electromagnética. También se requiere un diseño cuidadoso para enfocar la señal sólo hacia la dirección deseada.

La antena de un sistema de comunicación inalámbrico puede compararse con el oído humano. Una antena más sensible y de mayor ganancia (medida en dBi) es equivalente a un oído más fino, que puede detectar incluso señales débiles (equivalentes a murmulos).

Por otro lado, la fuente transmisora como un radio es análoga a una boca generando conversaciones. Un transmisor de alta potencia equivale a gritos fuertes. Estas señales intensas pueden saturar el medio e interferir con la recepción clara de otras transmisiones más débiles.

Sin embargo, la analogía tiene ciertas limitaciones. Un oído demasiado fino también se vería abrumado ante gritos extremadamente fuertes. De igual forma, una antena receptora de ganancia excesiva se saturaría con niveles muy elevados de potencia transmitida.

Además, el ruido y distorsiones en las comunicaciones inalámbricas dependen de muchos otros factores además de la mera intensidad de señal. Pero la comparación ilustra eficazmente conceptos como sensibilidad, direccionalidad, interferencia y relación señal-ruido.

Como en cualquier analogía, es importante no extrapolar demasiado ni tomarla de forma absolutamente literal. Dentro de su contexto didáctico, la comparación entre antenas y oídos humanos resulta útil para comprender interacciones complejas de forma intuitiva.



*Figura 4.3 -Sección de potencia del airMAX NanoStation M5
Fuente: propia*

4.1.3 Networking

Los dispositivos y software que componen la inteligencia de la red son cruciales en los sistemas de comunicaciones modernos. Más allá de la transmisión física de señales electromagnéticas, estos elementos permiten el procesamiento, direccionamiento y representación efectiva de la información.

Por ejemplo, el libro digital que está leyendo fue inicialmente una colección de bits (ceros y unos) que no tenían sentido para humanos. Fueron aplicaciones y protocolos específicos los que empaquetaron, transportaron y ensamblaron esos datos, para finalmente mostrar las letras comprensibles en la pantalla de su dispositivo.

Previo a la presentación visual, los datos fueron acompañados de información adicional sobre cómo reconstruirlos y corregir errores. También se les asignó prioridades y direcciones lógicas que definieron la ruta que debían seguir a través de la red. Todos estos mecanismos proveen la inteligencia que hace usable la información.

Los sistemas operativos específicos para el tráfico de datos son una parte fundamental de los sistemas de comunicación inalámbrica actuales. Estos sistemas operativos permiten gestionar el tráfico de forma eficiente y justifican la tendencia hacia la convergencia de redes. De manera transparente para el usuario, convierten los diferentes dispositivos en elementos de tecnología IP.

Es en la capa de gestión de tráfico donde se define si la operación se realiza en la capa 2 o 3 del modelo OSI. También se establecen las prioridades de tráfico, los límites de velocidad, las restricciones y otros aspectos esenciales para el control de nuestras redes.

La gestión inteligente del tráfico por parte del sistema operativo es clave para aprovechar al máximo la capacidad de la red, garantizando la calidad de servicio acorde a cada tipo de tráfico. Aspectos como la asignación dinámica de ancho de banda, la programación de paquetes y el equilibrado de carga son fundamentales.



*Figura 4.4 -Sección de networking del airMAX NanoStation M5
Fuente: propia*

4.2 Estructuras

La infraestructura de telecomunicaciones es definitivamente un área más mecánica y civil, sin embargo, es importante conocer también de esto para poder realizar los diseños con mayor precisión.

Colores

Las estructuras de comunicaciones inalámbricas son pintadas de dos colores blanco y rojo, indicando de forma visual la altura de la estructura, ya que cada porción de la torre medirá 3 m.

Capacidad de carga

Las estructuras deben soportar el peso de las antenas, cableado y adicionales como el peso de los técnicos que realizaran mantenimientos correctivos y preventivos al sistema de comunicación. Además de hielo e incluso animales grandes como aves que terminan en las estructuras.

Construcción

La base se ancla al suelo con cimientos de concreto para brindar estabilidad. La profundidad depende del suelo y altura de la torre.

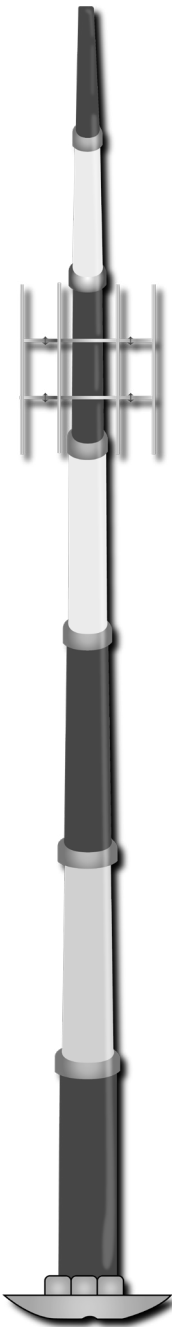
Hay estándares internacionales y locales que definen requerimientos estructurales, de seguridad, resistencia a vientos, y otros aspectos. Por ejemplo, la ANSI/TIA-222 en USA. Generalmente se fabrican de acero galvanizado o concreto armado. El acero ofrece mayor resistencia y requiere menor mantenimiento.

Señalización

Se instalan luces de obstrucción rojas intermitentes para alertar a aviones y aves. Pueden ser estroboscópicas o de destello continuo.

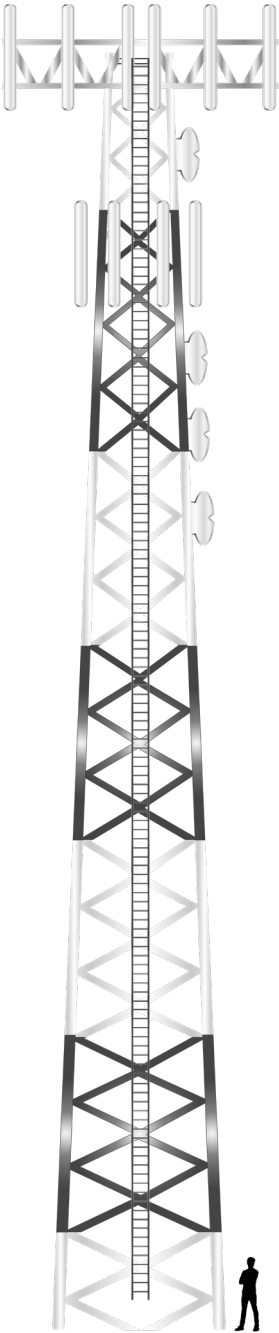
4.2.1 Tipos de torres

Monopolo



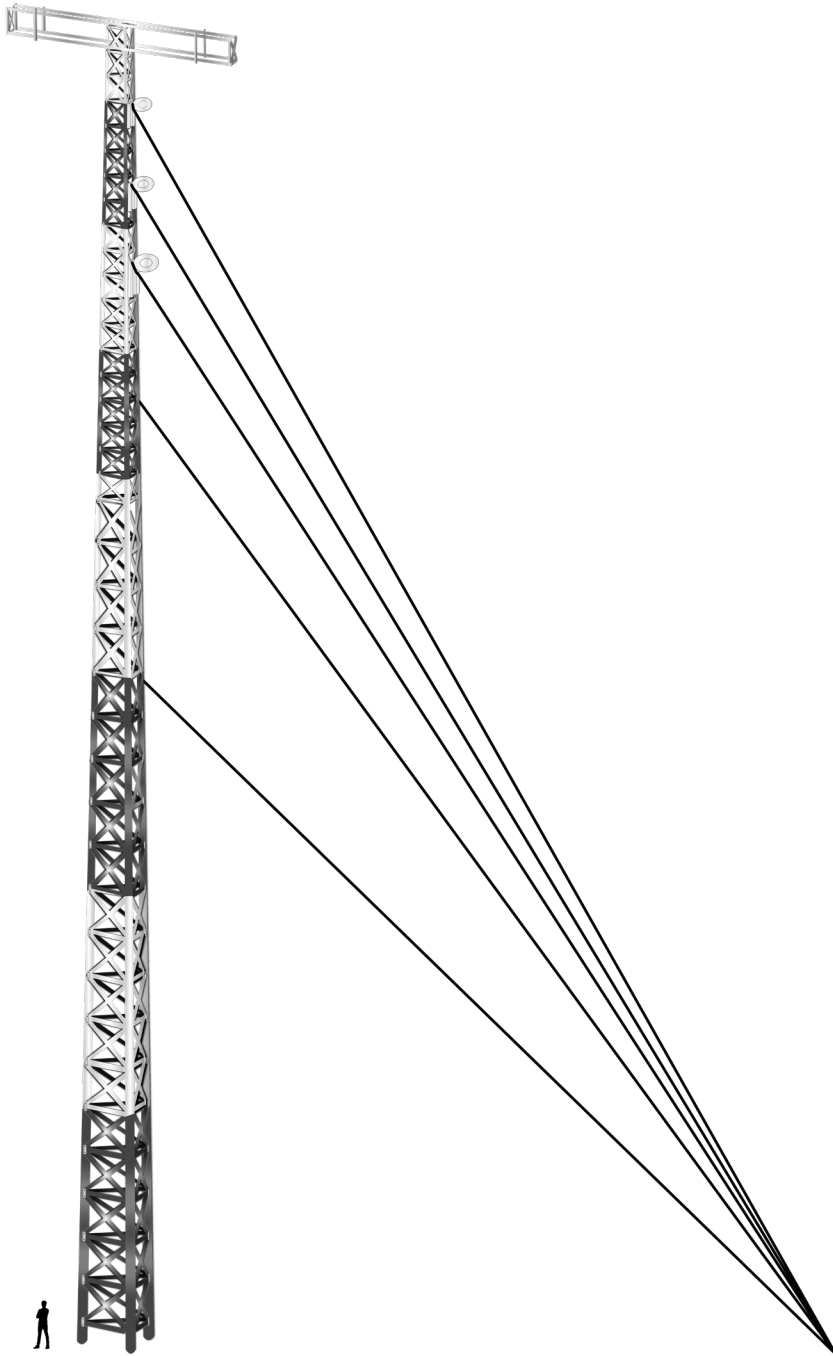
100- 200 pies de altura

Autoportante



100- 400 pies de altura

Arriostrada (tirante)



100- 2150 pies de altura

Figura 4.5 - Tipos de torres
Fuente: propia

Monopolo

Torres con un único poste o mástil de acero anclado en una base. Altura limitada por la resistencia del poste a la flexión. Requieren cables de sujeción como riendas. Son simples y económicas.

Arriostradas

Torres con múltiples montantes unidos por riostras horizontales y diagonales. Muy estables y resistentes por la triangulación. Aptas para grandes alturas. Requieren cálculo estructural. Costos moderados a altos.

Mastiles

Postes verticales de acero u hormigón armado anclados en una base. Sencillos y económicos. Los de acero requieren riendas, los de hormigón pueden ser autoportantes. Limitados en altura. Rápidos de instalar. Adecuados para pequeñas antenas.

Además de estas que son las más comunes existen otras como:

- Torres autoportantes No necesitan cables de sujeción externa. Soportan su propio peso gracias a su diseño y materiales (acero o hormigón armado). Tienen una base ancha que les proporciona estabilidad. Resistentes a fuertes vientos. Requieren cimentación reforzada.

- Torres tubulares Fabricadas con tramos de tubo de acero unidos por bridas. Estructura liviana y resistente. Fáciles y rápidas de instalar. Ocupan menos espacio que las reticuladas. Buena resistencia al viento. Costo moderado.
- Torres reticuladas Formadas por barras y ángulos de acero ensamblados. Muy resistentes estructuralmente. Aptas para grandes alturas y cargas. Requieren cálculos complejos. Costosas pero duraderas. Ocupan más espacio.
- Torres de celosía Celosía de acero en triángulos. Gran resistencia con poco peso por su diseño aligerado. Buena estabilidad y soporte de cargas. Costos moderados.
- Torres Torrescam Tubo central reforzado con ménsulas y tirantes. Gran altura con pequeña base. Buena resistencia estructural. Costos elevados por su complejidad.
- Torres milimétricas Baja altura, para small cells y 5G. Fáciles de camuflar. Rápidas de instalar. Para dar cobertura focalizada.
- Torres híbridas Combinan materiales para mayor versatilidad. Permiten diseños personalizados. Costo variable según materiales.
- Torres inflables Estructura flexible temporal. Rápidas de instalar y retirar. Resistentes al viento. Bajo costo.

4.3 Tipos de enlaces

4.3.1 Enlaces Punto a Punto (PtP)

Los enlaces punto a punto se utilizan para conectar dos sitios remotos, normalmente empleando antenas altamente direccionales. De esta forma se genera el conocido backhaul o enlace troncal en las comunicaciones inalámbricas, equivalente al backbone o columna vertebral en el cableado estructurado.

Estos enlaces punto a punto suelen manejarse en la capa 2 del modelo OSI, es decir, extienden la red principal al sitio remoto, conservando los mismos segmentos lógicos que hayan sido implementados en el sitio principal.

Sin embargo, también pueden operar en la capa 3 si se requiere enrutamiento entre redes distintas. En ese caso se conectan dos routers ubicados en cada extremo y configurados para establecer una red WAN (Wide Area Network).

Los enlaces inalámbricos punto a punto ofrecen una alternativa flexible y rápida para interconectar redes remotas con un alto ancho de banda, evitando la necesidad de tender cableado físico. Se utilizan ampliamente para dar conectividad a sucursales de empresas, campus universitarios, entre edificios, etc.

Entre sus ventajas están la rápida instalación, la escalabilidad, la movilidad y el ahorro en cableado. Pero requieren línea de vista despejada entre antenas y una cuidadosa planificación del enlace para garantizar capacidad y disponibilidad.

4.3.2 Enlaces Punto Multi Punto (PtMP)

Los enlaces punto multipunto son aquellos que se utilizan para brindar conectividad a múltiples usuarios distribuidos en un área geográfica. A diferencia de los enlaces punto a punto, los punto multipunto buscan conectar a todos los clientes a la red principal de forma simultánea.

Por las deficiencias en el rendimiento de los segmentos inalámbricos en la capa 2, se considera más eficiente aislar dominios de broadcast en la red del usuario final. Esto optimiza el desempeño de la red y brinda mayor seguridad, ya que de otro modo los clientes finales podrían acceder hasta la infraestructura de provisión del servicio.

Por este motivo, los enlaces punto multipunto suelen implementarse en la capa 3 del modelo OSI, utilizando enrutamiento entre subredes para aislar el tráfico. De esta manera se crean distintos segmentos lógicos para cada usuario o grupo, mejorando el rendimiento al contener el tráfico broadcast.

Las tecnologías más utilizadas para implementar redes punto multipunto son las basadas en estándar 802.11, como el modo ad hoc, las redes malladas o el uso de controladores WLAN. También se emplean otras tecnologías como WiMAX.

Entre las ventajas de este tipo de enlaces se encuentran la facilidad de implementación, la posibilidad de dar servicio a múltiples usuarios de forma simultánea y la escalabilidad. Pero requieren una cuidadosa planificación de la red para evitar interferencias y garantizar la calidad del servicio.

4.5 Caso de estudio los WISP

ISP significa "Internet Service Provider" o Proveedor de Servicios de Internet en español. Un ISP es una empresa u organización que proporciona servicios de acceso a Internet a sus clientes. Esto puede incluir servicios como conexión a Internet de banda ancha, alojamiento de sitios web, correo electrónico y otros servicios relacionados con Internet.

Los ISP pueden proporcionar acceso a Internet a través de una variedad de tecnologías, como líneas telefónicas DSL, cables coaxiales, fibra óptica FTTH (Fiber-To-The-Home), redes inalámbricas como WiFi, redes móviles 2G/3G/4G/5G y satélites. La tecnología utilizada determina la velocidad y calidad del acceso a Internet que puede ofrecer el ISP.

Existen diferentes niveles o tier de ISP según su tamaño y capacidad de conectividad:

Proveedor de nivel 1 (Tier 1 ISP): Son los mayores proveedores globales que poseen y operan su propia red de backbone de Internet a nivel mundial. Tienen acuerdos de intercambio de tráfico (peering) directo con otros Tier 1, por lo que no dependen de terceros para conectarse a cualquier punto de Internet. Ejemplos: Level 3, Telia Carrier, NTT.

Proveedor de nivel 2 (Tier 2 ISP): Son grandes ISP regionales o nacionales que poseen su propia red de backbone pero que también compran tránsito y capacidad a los Tier 1 para acceder a cualquier punto de Internet. Suelen dar servicio a ISPs más pequeños.

Proveedor de nivel 3 (Tier 3 ISP): Son proveedores locales más pequeños que no poseen backbone propio y compran todo el tránsito y capacidad a los Tier 2 y Tier 1 para revender Internet a sus clientes finales. Suelen operar en una ciudad o región específica.

Los ISP de menor nivel dependen de los más grandes para poder ofrecer a sus clientes acceso a toda la Internet global. Los Tier 1 son la columna vertebral de Internet al interconectar países y continentes.

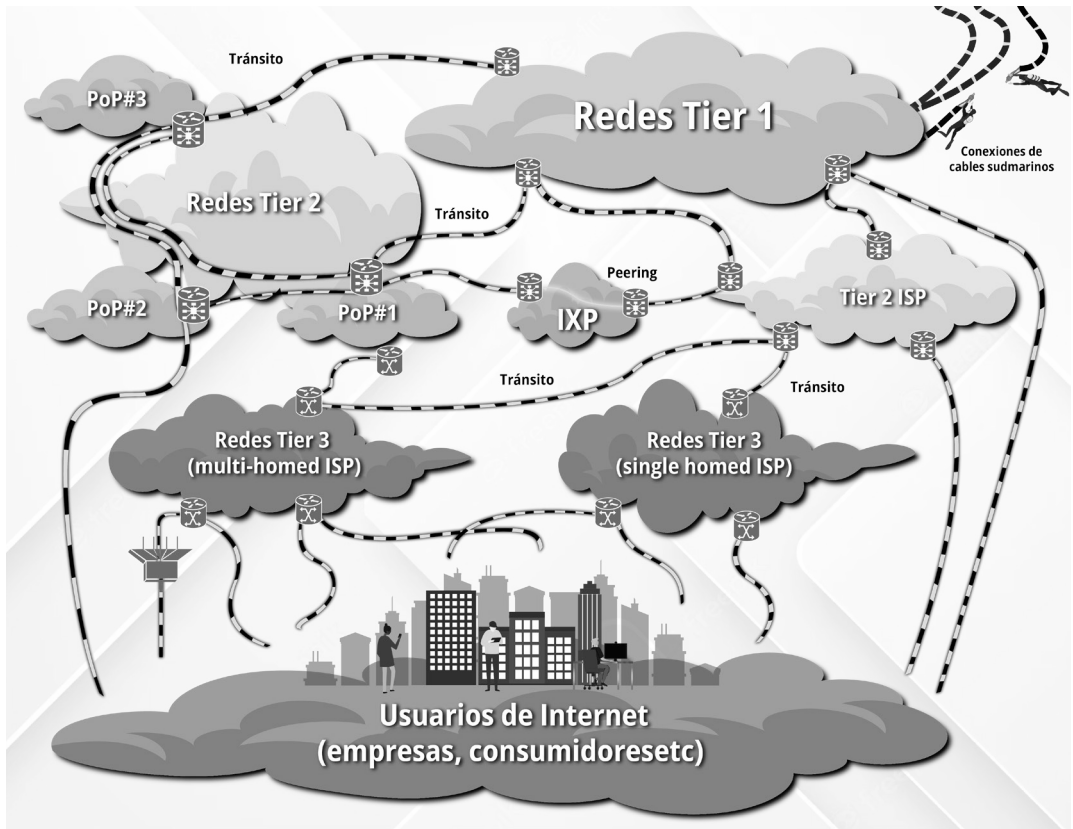


Figura 4.6 - Clasificación de ISP
Fuente: propia

Es necesario además entender el contexto de los países, su estado del arte respecto a la implementación de las redes de datos. En este sentido, los proveedores de internet en Bolivia pueden ser observados en la siguiente tabla:

Nivel	Proveedores
Tier 1	N/A
Tier 2	Entel, Tigo
Tier 3	Viva, Cotas, Coteor, Cotel, Comteco

De lo que podemos concluir que:

- En Bolivia no hay presencia de proveedores Tier 1 globales.
- Entel y Tigo operan redes troncales a nivel nacional, por lo que se pueden considerar Tier 2.
- Viva, Cotas, Coteor y otros proveedores más pequeños tienen infraestructura limitada y dependen de los grandes, por lo que se clasificarían como Tier 3.
- Muchos ISPs locales están enfocados en nichos geográficos específicos de las ciudades o regiones donde operan.
- La conectividad internacional de Bolivia depende de los enlaces con proveedores Tier 1/2 de países vecinos.

Es una clasificación aproximada, dado que no hay una segmentación formal de los ISPs bolivianos por sus capacidades relativas. Pero provee una idea general de su escala y alcance de operación.

Según datos del Instituto Nacional de Estadística de Bolivia (INE), en 2021 la proporción de hogares con acceso a internet fue del 45,7% a nivel nacional. Esto representa un incremento frente al 33,9% registrado en el año 2016 (INE, 2021). La penetración de internet es significativamente mayor en áreas urbanas. El 2021, el acceso en hogares urbanos fue del 60,4%, mientras que en rurales solo del 15,2% (INE, 2021).

El departamento con mayor cobertura de internet es Santa Cruz, con un 63,8% de los hogares conectados. En contraste, Potosí tiene la menor penetración, con solo un 28,7% de hogares con acceso (INE, 2021).

La principal tecnología de acceso a internet en hogares es la telefonía móvil 3G y 4G, utilizada por el 91,3% de usuarios. El acceso fijo por cable o DSL es menor, con un 11,5% de uso (INE, 2021).

El regulador ATT reporta que a marzo 2022 existen 14,2 millones de líneas móviles, lo que significa una penetración de 122% respecto a la población total del país (ATT, 2022).

La mayor empresa proveedora de internet fijo y móvil es Entel, controlando el 59,6% del mercado según la ATT. Le siguen Tigo (23,7%), Viva (9,4%) y otros menores (ATT, 2022).

Los WISP o Proveedores de Servicios de Internet Inalámbricos son empresas que ofrecen conectividad de banda ancha utilizando tecnologías inalámbricas como WiFi, WiMAX, enlaces de microondas, etc.

En Bolivia existe un número importante de WISP pequeños y medianos que proveen cobertura de última milla en zonas urbanas y rurales donde los grandes operadores móviles y de cable no llegan.

Muchos WISP locales utilizan equipos no licenciados de bajo costo en las bandas ISM (industriales, científicas y médicas) 2.4GHz y 5GHz para entregar el servicio. Otros poseen concesiones de espectro licenciado como 3.5GHz que les permite mayor cobertura.

Entre los retos que enfrentan están la falta de financiamiento para expandir infraestructura, competencia desleal de operadores informales, limitado acceso a espectro radioeléctrico y restricciones regulatorias.

Muchos WISP brindan conectividad en localidades periurbanas y rurales con poco o nulo acceso a internet, cumpliendo un rol social importante. Sus precios suelen ser más económicos que los de operadores tradicionales.

Fomentar el crecimiento sostenible de redes WISP mediante políticas adecuadas permite ampliar el acceso a internet y reducir la brecha digital en zonas desatendidas de Bolivia. Su flexibilidad y rapidez de despliegue son ventajas para extender la conectividad.

4.6 Las millas en telecomunicaciones

Una terminología que acompaña el área de las telecomunicaciones es el de las millas. El concepto de "última milla" (last mile en inglés) se popularizó en las décadas de 1980 y 1990, cuando comenzaron a desplegarse redes de banda ancha hacia los hogares. Se utilizaba para describir los desafíos de llegar al usuario final.

En 1984, la empresa Bell Communications Research (Bellcore) utilizó el término "primera milla" (first mile) en un informe técnico sobre redes de acceso. Esto introdujo el concepto complementario de primera milla.

En la década de 1990, empresas de telecomunicaciones como MCI y UUNET adoptaron la terminología de primera y última milla para describir sus redes.

En 1998, se publicó el libro "Net Ready" que habla de milla media (middle mile) para referirse a redes de agregación.

Para los años 2000, los términos de primera, media y última milla eran de uso común en la industria de las telecomunicaciones. Es así que estos términos se emplean de la siguiente manera:

- Tercera milla: es el backbone o red troncal que interconecta las centrales intermedias con las centrales principales. Muy alta capacidad.
 - Cuarta milla: incluye la conexión entre centrales principales y los puntos de intercambio de tráfico nacionales e internacionales.
 - Quinta milla: tramo internacional entre países, incluyendo cables submarinos y satélites.
 - Sexta milla: conocida también como "network edge", es la infraestructura más cercana al usuario final como radiobases, nodos de fibra, etc.
 - Séptima milla: se refiere a la propia red del cliente, dentro de su hogar u oficina.
- La introducción de conceptos como cuarta, quinta y sexta milla ocurrió después, al surgir nuevas topologías de red.
- Primera milla: es el tramo de red entre el proveedor de servicios de internet (ISP) y la central local de la operadora. Suele ser de alta capacidad.
 - Segunda milla: comprende la red de agregación entre la central local y la central intermedia. Capacidad media.

4.7 Cuestionario

Capítulo 4: Sistemas de comunicación inalámbricos



<https://forms.office.com/r/fyvdPfrmVx>

4.8 Conclusiones

Las antenas y radios son componentes cruciales en los sistemas de comunicaciones inalámbricas, cumpliendo las funciones de transmisión y recepción de señales. Se debe buscar un balance entre ganancia y limitar la contaminación electromagnética.

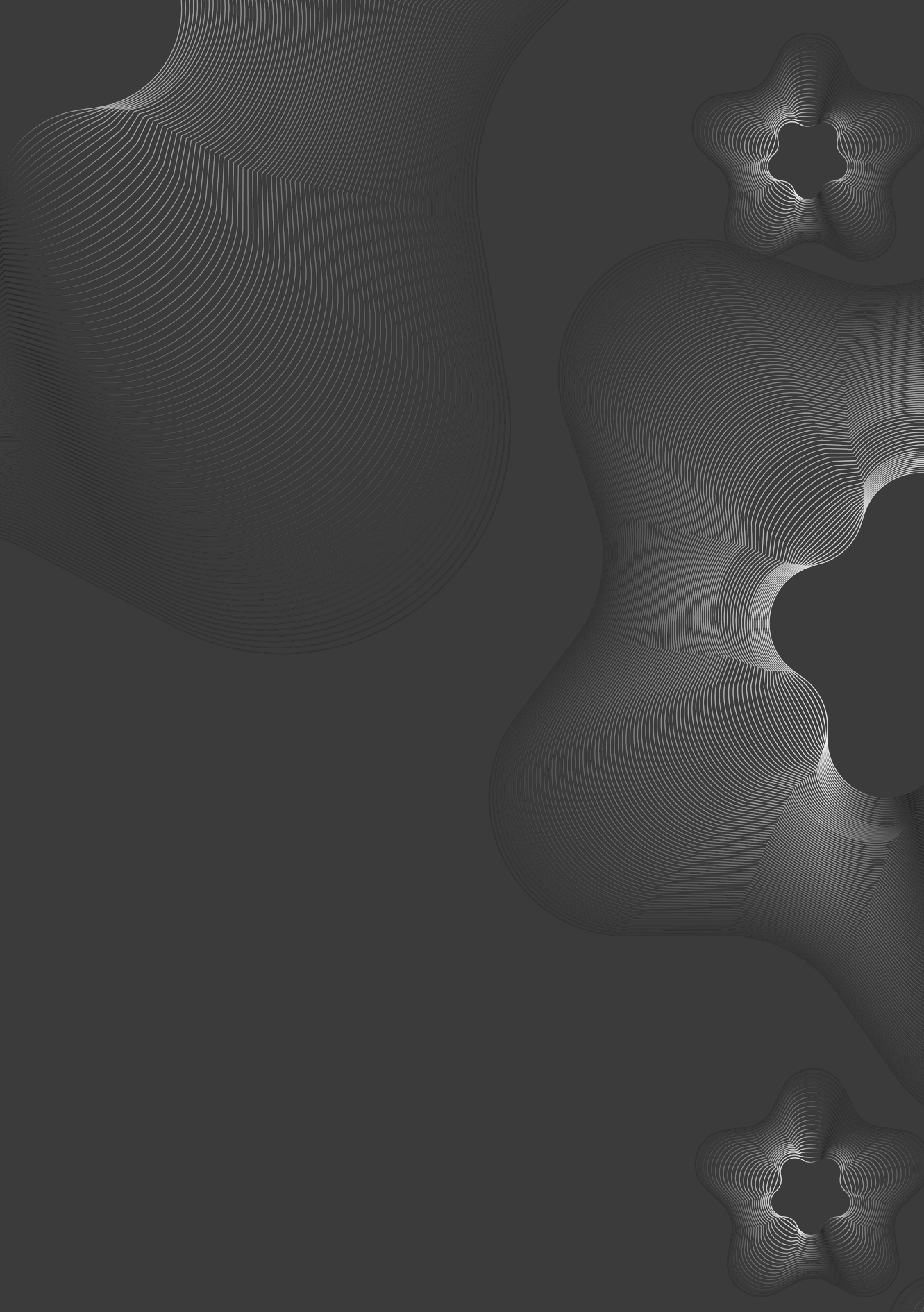
- Los sistemas operativos de red proveen inteligencia para el procesamiento y transporte eficiente de los datos. La gestión inteligente del tráfico es fundamental para maximizar el rendimiento.
- Existen dos tipos principales de enlaces inalámbricos: punto a punto para conectar dos sitios y punto multipunto para brindar acceso simultáneo a múltiples usuarios distribuidos.
- Las torres y estructuras son fundamentales para el despliegue de sistemas inalámbricos. Deben ser diseñadas con estándares de seguridad y resistencia ante condiciones ambientales.
- Los ISP se clasifican en niveles globales, nacionales y locales según su tamaño y alcance de red. Los más pequeños dependen de los grandes para dar conectividad.
- En Bolivia la penetración de internet está creciendo, pero persisten brechas entre áreas urbanas y rurales. Los WISP cumplen un rol en zonas desatendidas.
- Extender la conectividad de última milla con modelos sostenibles es clave para masificar el acceso a servicios de telecomunicaciones en regiones postergadas.

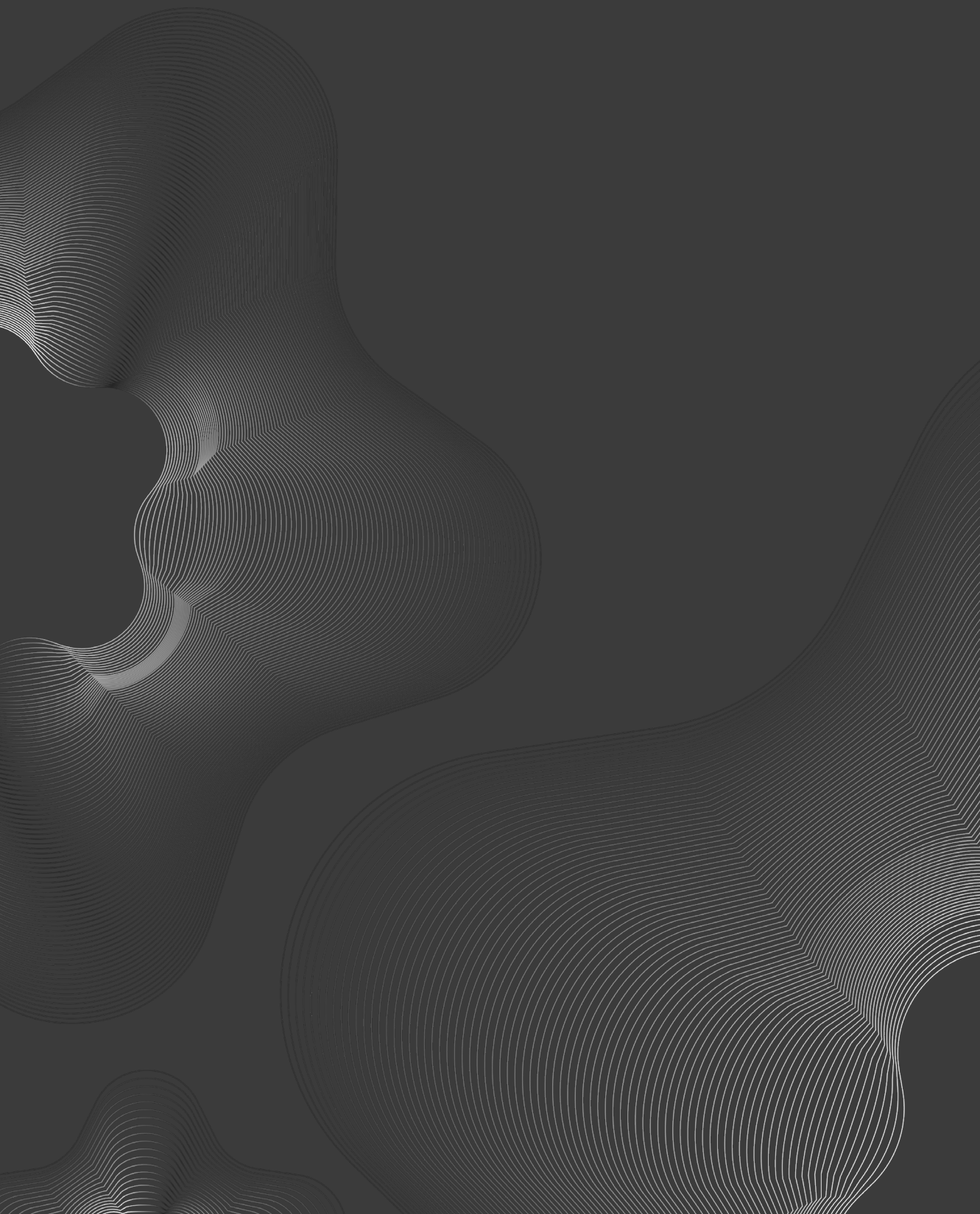
4.9 Referencias

Instituto Nacional de Estadística (INE).
(2021). Acceso a TIC en viviendas.
<https://www.ine.gob.bo/index.php/encuesta-de-hogares-tics/>

Autoridad de Regulación y Fiscalización de
Telecomunicaciones y Transportes (ATT).
(2022). Boletín estadístico del sector de
las telecomunicaciones en Bolivia I trimestre.

<https://www.att.gob.bo/situacion-de-las-telecomunicaciones-en-bolivia>





Capítulo 5:

Tecnologías y Estándares en Redes Inalámbricas

5.1 IEEE 802.11 y su relevancia en redes inalámbricas

Según el estándar IEEE 802.11, los modos de funcionamiento de infraestructura son los siguientes:

1. Modo de Infraestructura Básica (BSS, Basic Service Set): En este modo, los dispositivos inalámbricos se conectan a un punto de acceso (Access Point, AP) central que actúa como el controlador de la red inalámbrica. El punto de acceso coordina la comunicación entre los dispositivos conectados y proporciona la conectividad con otros dispositivos de red, como routers o switches. Es el modo de funcionamiento más común en redes Wi-Fi domésticas y empresariales.

2. Modo de Infraestructura Extendida (ESS, Extended Service Set): En este modo, se establece una red inalámbrica más grande y escalable mediante la interconexión de múltiples puntos de acceso. Los dispositivos inalámbricos pueden moverse libremente entre los puntos de acceso dentro del ESS sin perder la conectividad. Este modo se usa para dar cobertura de red inalámbrica en áreas más extensas, como campus universitarios o edificios de oficinas.

3. Modo de Punto de Acceso Ad Hoc (IBSS, Independent Basic Service Set): En este modo, los dispositivos inalámbricos se comunican directamente entre sí sin la necesidad de un punto de acceso central. Los dispositivos forman una red ad hoc, también conocida como red peer-to-peer, en la cual cada dispositivo puede comunicarse con otros dispositivos en el rango de señal. Este modo es útil en situaciones donde no hay una infraestructura de red establecida o se requiere una conexión directa entre dispositivos.

4. Modo de Puente Inalámbrico (Wireless Bridge): Este modo se utiliza para conectar dos redes físicas separadas mediante un enlace inalámbrico. Los puentes inalámbricos permiten la extensión de la red sin la necesidad de tender cables físicos entre ubicaciones distantes. Los puentes inalámbricos pueden funcionar en modo punto a punto, donde se conectan dos puntos específicos, o en modo punto a multipunto, donde se conectan varios puntos remotos a un punto central.

Estos modos de funcionamiento de infraestructura proporcionan flexibilidad y opciones para el despliegue de redes inalámbricas según las necesidades específicas de cada entorno.

Estándares

El IEEE 802.11 es un conjunto de estándares desarrollados por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) para redes inalámbricas de área local (WLAN). Estos estándares definen las especificaciones técnicas y los protocolos de comunicación que permiten la conexión de dispositivos electrónicos a través de ondas electromagnéticas.

Los estándares IEEE 802.11 establecen los requisitos para el funcionamiento de redes WLAN, incluyendo aspectos como la seguridad, el rendimiento, la interoperabilidad y la compatibilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes. Estos estándares han evolucionado a lo largo del tiempo para adaptarse a las nuevas tecnologías y necesidades de conectividad inalámbrica.

Los estándares más comunes dentro de la familia IEEE 802.11 son:

IEEE 802.11b Lanzado en 1999, utiliza la banda de frecuencia de 2.4 GHz y alcanza velocidades de hasta 11 Mbps.

IEEE 802.11a Lanzado en 1999, utiliza la banda de frecuencia de 5 GHz y alcanza velocidades de hasta 54 Mbps.

IEEE 802.11g Lanzado en 2003, utiliza la banda de frecuencia de 2.4 GHz y alcanza velocidades de hasta 54 Mbps. Es compatible con el estándar IEEE 802.11b.

IEEE 802.11n Lanzado en 2009, utiliza tanto la banda de frecuencia de 2.4 GHz como la de 5 GHz y puede alcanzar velocidades de hasta 600 Mbps. Introduce tecnologías como MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) para mejorar el rendimiento y la cobertura.

IEEE 802.11ac Lanzado en 2013, utiliza la banda de frecuencia de 5 GHz y puede alcanzar velocidades de hasta varios gigabits por segundo. Ofrece mejoras significativas en el rendimiento y utiliza técnicas como MIMO de varias entradas y varias salidas (MU-MIMO) y beamforming.

IEEE 802.11ax (también conocido como Wi-Fi 6) Lanzado en 2019, utiliza tanto la banda de frecuencia de 2.4 GHz como la de 5 GHz y ofrece mejoras en eficiencia espectral, capacidad de red y rendimiento en entornos densos con múltiples dispositivos conectados.

Cada estándar de la familia IEEE 802.11 define aspectos como la modulación, los protocolos de acceso al medio, la seguridad, la gestión de energía y la interoperabilidad, entre otros. Estos estándares han permitido el desarrollo y la adopción masiva de tecnologías inalámbricas para la conectividad de dispositivos y redes en una amplia variedad de aplicaciones, desde redes domésticas y empresariales hasta entornos industriales y de IoT (Internet de las cosas).

Canalización

El espacio de espectro, o ancho de banda es organizado en las normas mediante canales con anchos de banda definidos, como se muestra en la tabla a continuación:

Canal	Frecuencia (GHz)	Ancho de banda (MHz)
1	2.412	20
2	2.417	20
3	2.422	20
4	2.427	20
5	2.432	20
6	2.437	20
7	2.442	20
8	2.447	20
9	2.452	20
10	2.457	20
11	2.462	20
12	2.467	20
13	2.472	20
14	2.484	20
36	5.18	20
40	5.2	20
44	5.22	20
48	5.24	20
52	5.26	20
56	5.28	20
60	5.3	20
64	5.32	20
100	5.5	40
104	5.52	40
108	5.54	40
112	5.56	40
116	5.58	40
120	5.6	40
124	5.62	40
128	5.64	40
132	5.66	40
136	5.68	40
140	5.7	40
149	5.745	80
153	5.765	80
157	5.785	80
161	5.805	80
165	5.825	20

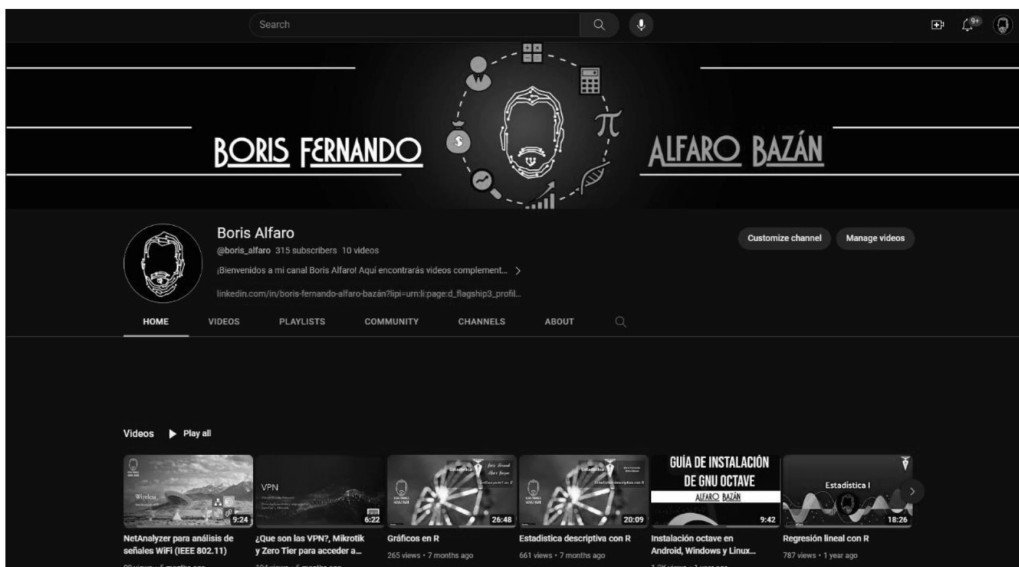


Figura 5.1 - Portada del canal de YouTube @boris_alfaro
Fuente: www.youtube.com

El canal de YouTube @boris_alfaro presenta un video tutorial sobre el uso de la aplicación Net Analyzer para analizar redes Wi-Fi desde dispositivos móviles.

Net Analyzer es una app disponible para Android e iOS que permite escanear y caracterizar las redes inalámbricas cercanas. Entre sus funciones se encuentran:

- Detección de puntos de acceso Wi-Fi y canales utilizados.
- Medición de niveles de señal y calidad de las redes detectadas.
- Identificación de canales con mayor o menor saturación.
- Análisis de la actividad e interferencias en las bandas de 2.4GHz y 5GHz.
- Gráficas y estadísticas detalladas por red y canal.
- Ubicación aproximada de los AP mediante técnicas de triangulación.
- Comparación de mediciones en diferentes ubicaciones.
- Exportación de reportes para documentación y optimización.

La app convierte cualquier smartphone en un analizador de espectro Wi-Fi, siendo de gran utilidad para técnicos e ingenieros de redes inalámbricas. Permite optimizar el desempeño y la cobertura mediante la selección adecuada de canales.

El video tutorial de Boris Alfaro muestra el paso a paso para utilizar la versión gratuita de Net Analyzer. Es un excelente recurso práctico para conocer las capacidades de la aplicación.

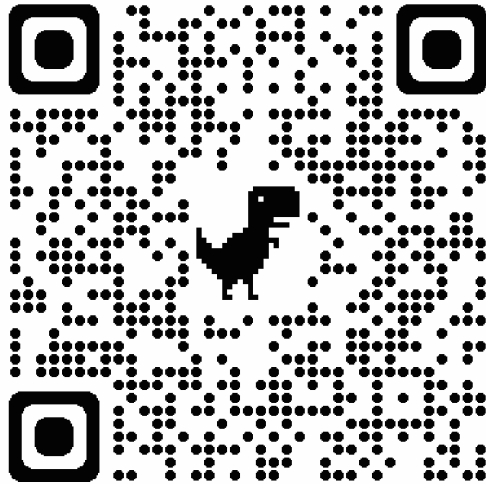


Figura 5.2 - QR al video NetAnalyzer para análisis de señales WiFi (IEEE 802.11)
NetAnalyzer para análisis de señales WiFi (IEEE 802.11)



<https://youtu.be/PGoCmwhe0yw>
Fuente: www.youtube.com

5.2 Nomenclatura y estándares en redes inalámbricas

Es importante conocer cómo nombramos los elementos en el rubro, por lo que cabe mencionar que la norma que rige la estructura más convencional es la norma IEEE 802.11, en esta se distinguen dos maneras de trabajar, como se desarrolla a continuación.

Estándar IEEE 802.11 Conjunto de especificaciones técnicas para redes inalámbricas de área local (WLAN).

WLAN (Wireless Local Area Network) Red de área local inalámbrica que permite la comunicación entre dispositivos a través de ondas de radio.

SSID (Service Set Identifier) Identificador único que se asigna a una red inalámbrica para distinguirla de otras redes en el área.
BSSID (Basic Service Set Identifier) Dirección MAC única asociada a un punto de acceso inalámbrico.

STA (Station) Dispositivo cliente o estación que se conecta a un punto de acceso inalámbrico para acceder a una red WLAN.

AP (Access Point) Dispositivo central que actúa como punto de acceso para conectar dispositivos inalámbricos a una red WLAN.

ESSID (Extended Service Set Identifier) Identificador único utilizado para identificar un conjunto de puntos de acceso inalámbricos que pertenecen a una misma red WLAN.

MAC (Media Access Control) Protocolo

de control de acceso al medio que gestiona el acceso de los dispositivos a un medio de transmisión compartido.

PHY (Physical Layer) Capa física que se encarga de la transmisión de los datos a través del medio de comunicación físico (ondas de radio).

CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) Método de acceso al medio utilizado en redes WLAN para evitar colisiones entre transmisiones.

RTS/CTS (Request to Send/Clear to Send) Protocolo utilizado para evitar colisiones en redes WLAN, donde una estación emite una solicitud de envío (RTS) antes de transmitir datos y espera una respuesta de autorización (CTS) del destinatario.

Beacon Paquete de señalización emitido periódicamente por un punto de acceso para anunciar su presencia y proporcionar información sobre la red WLAN.

Roaming Capacidad de un dispositivo para moverse entre diferentes puntos de acceso mientras mantiene una conexión continua a una red WLAN.

WEP (Wired Equivalent Privacy) Protocolo de seguridad utilizado para cifrar las comunicaciones inalámbricas en las primeras versiones del estándar IEEE 802.11.

WPA (Wi-Fi Protected Access) Protocolo de seguridad más avanzado que reemplazó a WEP, diseñado para proporcionar una mayor protección de las comunicaciones inalámbricas.

WPA2 (Wi-Fi Protected Access 2)
Versión mejorada de WPA que utiliza cifrado más fuerte y proporciona mejor seguridad en las redes WLAN.

WPA3 (Wi-Fi Protected Access 3)
Última versión del protocolo de seguridad Wi-Fi, que ofrece mejoras adicionales en la autenticación y cifrado de las redes WLAN.

EAP (Extensible Authentication Protocol)
Protocolo de autenticación flexible utilizado en redes WLAN para autenticar clientes y dispositivos.

DFS (Dynamic Frequency Selection)
Mecanismo utilizado en ciertos canales de 5 GHz para evitar interferencias con los sistemas de radar y otras aplicaciones.

MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)
Tecnología que utiliza múltiples antenas para mejorar el rendimiento y la capacidad de transmisión en las redes WLAN.

Beamforming Técnica que permite dirigir las señales de radio hacia dispositivos específicos, mejorando así la calidad y el alcance de la comunicación inalámbrica.

Mesh Networking Topología de red en la que los puntos de acceso inalámbrico se interconectan entre sí para crear una red robusta y sin interrupciones.

Estas son algunas de las terminologías clave utilizadas en el estándar IEEE 802.11. Cabe mencionar que hay muchas más especificaciones y términos relacionados con diferentes versiones y extensiones del estándar que pueden ser relevantes en contextos específicos.

5.3 Tecnologías de modulación utilizadas en comunicaciones inalámbricas

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) es una técnica de modulación utilizada en comunicaciones inalámbricas que distribuye la señal de datos en un ancho de banda más amplio que el necesario para transmitir la información. Esta técnica se basa en la utilización de una secuencia pseudoaleatoria llamada secuencia de chips, que se multiplica por los bits de datos antes de su transmisión.

Secuencia de chips En DSSS, se utiliza una secuencia de chips pseudoaleatoria como referencia para modular los datos. Los chips son pulsos cortos de duración T_c , donde T_c es el período de la portadora. La secuencia de chips se compone de valores $+1$ y -1 .

Multiplicación por la secuencia de chips Antes de transmitir los datos, cada bit se multiplica por la secuencia de chips correspondiente. Por ejemplo, si el bit de datos es 1 , se multiplica por la secuencia de chips $+1$; si el bit de datos es 0 , se multiplica por la secuencia de chips -1 .

Expansión espectral La multiplicación por la secuencia de chips tiene el efecto de dispersar la energía de la señal en un ancho de banda más amplio. Esto se conoce como expansión espectral. La señal resultante ocupa un ancho de banda mayor que el ancho de banda necesario para transmitir los datos originales.

Resistencia a interferencias DSSS ofrece una buena resistencia a las interferencias. Debido a la dispersión de la energía en un ancho de banda más amplio, la señal DSSS puede resistir mejor las interferencias y el ruido. Si una parte de la señal es afectada por interferencias, aún es posible reconstruir los datos originales a partir de las otras partes de la señal.

Recepción y recuperación de datos En el receptor, se realiza el proceso inverso para recuperar los datos originales. La señal recibida se demodula multiplicándola nuevamente por la secuencia de chips correspondiente. Luego, se realiza un filtrado y decodificación para recuperar los bits de datos originales.

DSSS fue utilizado en el estándar IEEE 802.11b, que fue una de las primeras implementaciones de Wi-Fi ampliamente adoptadas. Ofrece una velocidad de transmisión de hasta 11 Mbps y utiliza la banda de frecuencia de 2.4 GHz. DSSS proporciona una buena resistencia a las interferencias y es adecuado para aplicaciones de redes inalámbricas de área local (WLAN) en entornos domésticos y de oficina.

A continuación, veremos el funcionamiento del DSSS, mediante un script de octave.

Script Octave/Matlab para generar la modulación DSSS

```
1 fc = 2e6; % Frecuencia de la portadora
2 Tc = 1/fc; % Periodo de la portadora
3
4 data= [ 1 0 1 1 0 1 0 0 ]; % Datos a transmitir
5
6 chipSeq= [ 1 -11 -11-11 -1]; % Secuencia de chips
7
8 t = 0: Tc/100:Tc*(Length(data) * Length (chipSeq) ); % Tiempo de muestreo
9
10 % Generación de la señal DSSS
11 signal = zeros ( 1, Length(t));
12 index = 1;
13
14 for i = 1 : Length (data)
15     for j = 1 : Length (chipSeq)
16         signal (index) = data(i) * chipSeq ( j );
17         index = index + 1 ;
18     end
19 end
20
21 % Gráfica de la señal DSSS
22 plot ( t , signal );
23 xlabel ( ' Tiempo ' );
24 ylabel ( ' Amplitud ' );
25 title ( ' Señal DSSS ' );
```

Script 5.1 - Generación de modulación DSSS.

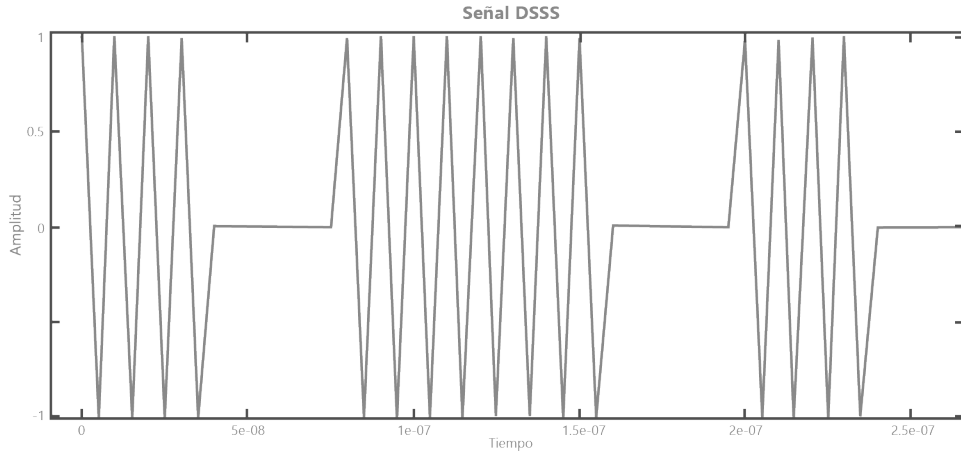


Figura 5.3 - Resultado del script Señal DSSS
Fuente: Elaboración propia

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

OFDM divide la señal de datos en múltiples subportadoras ortogonales en frecuencia. Cada subportadora lleva una parte de los datos y se superponen en el dominio de la frecuencia. Esto permite transmitir múltiples datos en paralelo y mejorar la eficiencia espectral. Además, OFDM es resistente a la interferencia causada por el desvanecimiento selectivo en el canal.

Script Octave/Matlab para generar la modulación OFDM

```
1 fc = 2e6; % Frecuencia de la portadora
2 Tc = 1/fc; % Periodo de la portadora
3 data = [ 1 0 1 1 0 1 0 0 ]; % Datos a transmitir
4 nSubcarriers = Length(data); % Números de subportadoras
5 t = 0: Tc/100:Tc*nSubcarriers; % Tiempo de muestreo
6
7 % Geneación de la señal OFDM
8
9 signal = zeros ( 1, Length ( t ) );
10 for i = 1:nSubcarriers
11     subcarriers = data (i) ;
12     signal = signal + subcarrier * cos (2*pi*i/Tc*t) ;
13 end
14
15 % Gráfica de la señal OFDM
16
17 plot ( t, signal ) ;
18 xlabel ( ' Tiempo' ) ;
19 ylabel ( ' Amplitud' ) ;
20 title ( ' Señal OFDM' ) ;
```

Script 5.2 - Generación de modulación OFDM.

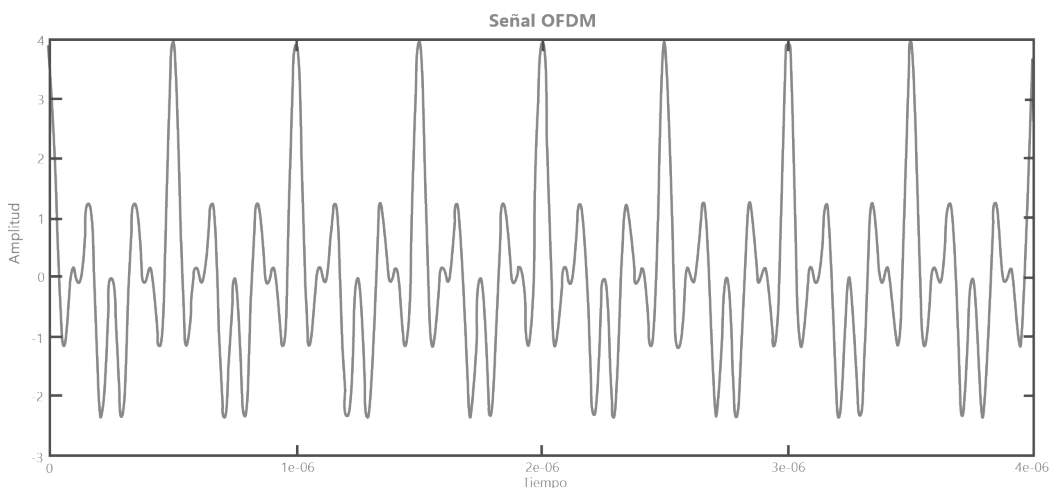


Figura 5.4 - Resultado del script Señal DSSS
Fuente: Elaboración propia

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)

OFDMA es una extensión de OFDM que permite el acceso múltiple de usuarios en el dominio de la frecuencia. Divide el ancho de banda total en subportadoras, y cada subportadora se asigna a un usuario diferente. Esto permite la transmisión simultánea de múltiples usuarios, lo que mejora la eficiencia y capacidad del sistema.

A continuación, se presenta una tabla comparativa entre las técnicas de modulación expuestas secciones arriba, destacando las características que han logrado que las comunicaciones inalámbricas modernas hayan sido una realidad.

Aspecto	DSSS	OFDM	OFDMA
Descripción	Distribuye la señal en un ancho de banda más amplio mediante secuencias de chips.	Divide la señal en múltiples subportadoras ortogonales en frecuencia.	Permite el acceso múltiple de usuarios en el dominio de la frecuencia mediante asignación de subportadoras.
Resistencia a interferencias	Buena resistencia a interferencias y desvanecimiento selectivo.	Buena resistencia a interferencias y desvanecimiento selectivo.	Buena resistencia a interferencias y desvanecimiento selectivo.
Eficiencia espectral	Menos eficiente en términos de espectro.	Mayor eficiencia espectral.	Mayor eficiencia espectral.
Velocidad de transmisión	Menor velocidad de transmisión comparada con OFDM y OFDMA.	Mayor velocidad de transmisión comparada con DSSS.	Mayor velocidad de transmisión comparada con DSSS y OFDM.
Acceso múltiple	No permite el acceso múltiple de usuarios.	No permite el acceso múltiple de usuarios.	Permite el acceso múltiple de usuarios en el dominio de la frecuencia.
Utilizado en estándares	IEEE 802.11b	IEEE 802.11a, 802.11g, 802.11n, 802.11ac	IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6), IEEE 802.11ah (Wi-Fi HaLow)
Ejemplo de aplicación	Redes inalámbricas de área local (WLAN)	Redes inalámbricas de área local (WLAN)	Redes inalámbricas de área local (WLAN), redes celulares 5G

El estándar IEEE 802.11 especifica las tecnologías de redes inalámbricas Wi-Fi más utilizadas. A continuación, se presenta un resumen de sus principales características:

Estándar	Banda de frecuencia	Velocidad máxima	Alcance máximo	Características destacadas	Año	Canales	Técnica de modulación
802.11b	2.4 GHz	11 Mbps	35-100 metros	Primera versión ampliamente adoptada de Wi-Fi	1999	11-Jan	DSSS
802.11a	5 GHz	54 Mbps	35-100 metros	Utiliza una banda de frecuencia diferente a 802.11b	1999	12-165	OFDM
802.11g	2.4 GHz	54 Mbps	35-100 metros	Compatible con 802.11b pero con mayor velocidad	2003	13-Jan	OFDM
802.11n	2.4 GHz / 5 GHz	Hasta 600 Mbps	70-250 metros	MIMO (Multiple Input Multiple Output) para mayor rendimiento	2009	1-13 (2.4 GHz), 36-165 (5 GHz)	OFDM
802.11ac	5 GHz	Hasta 6.9 Gbps	35-100 metros	Utiliza tecnología MIMO y anchos de canal más amplios	2013	36-165	OFDM
802.11ax (Wi-Fi 6)	2.4 GHz / 5 GHz	Hasta 9.6 Gbps	70-250 metros	Mayor eficiencia en entornos densos y mejor rendimiento en general	2019	1-11 (2.4 GHz), 36-165 (5 GHz)	OFDMA
802.11ay	60 GHz	Hasta 40 Gbps	10 metros	Alta velocidad y ancho de banda en corto alcance	2020	Varios canales disponibles en 60 GHz	OFDM

5.4 Protocolos propietarios basados en 802.11: Ubiquiti AirMax, MiktoTik Nstream y Nv2

Ubiquiti AirMax

AirMax es una tecnología de red inalámbrica desarrollada por la empresa de telecomunicaciones Ubiquiti Networks. Se utiliza en dispositivos de red, como routers y puntos de acceso, para ofrecer conexiones de alta velocidad y rendimiento en entornos de red inalámbrica.

La tecnología AirMax se basa en el estándar IEEE 802.11, que define las especificaciones de las redes inalámbricas. Sin embargo, AirMax utiliza técnicas y algoritmos propios para mejorar el rendimiento de la red y optimizar la capacidad de transmisión de datos.

Algunas de las características principales de la tecnología AirMax son:

- Protocolo TDMA (Time Division Multiple Access): AirMax utiliza un esquema de acceso múltiple por división de tiempo, lo que permite que varios dispositivos compartan el mismo canal de transmisión de manera eficiente y evita colisiones de datos.
- Calidad de servicio (QoS): AirMax prioriza el tráfico de datos en función de su importancia y asigna recursos de manera equitativa para garantizar una experiencia de red óptima.
- Latencia reducida: AirMax utiliza técnicas de optimización de la latencia para minimizar el tiempo de respuesta en la transmisión de datos, lo que resulta en una comunicación más fluida y rápida.
- Alcance extendido: Los dispositivos AirMax utilizan antenas de alta ganancia y técnicas de potencia de transmisión para ampliar el alcance de la señal inalámbrica, lo que permite una mayor cobertura de red.
- Gestión centralizada: La tecnología AirMax se puede gestionar de forma centralizada a través de un software de administración, lo que facilita la configuración, monitorización y mantenimiento de la red inalámbrica.

La tecnología AirMax es ampliamente utilizada en aplicaciones de redes inalámbricas de largo alcance, como enlaces punto a punto y punto a multipunto, ofreciendo un rendimiento confiable y eficiente para satisfacer las necesidades de conectividad en entornos empresariales, proveedores de servicios de Internet y otros escenarios de red inalámbrica.

MiktoTik Nstream

NStream es un protocolo implementado por MikroTik en sus dispositivos de red, como enrutadores y puntos de acceso, para mejorar el rendimiento y la eficiencia de las conexiones inalámbricas. Proporciona una solución para la transmisión de datos enlaces punto a punto y punto a multipunto.

La tecnología NStream de MikroTik ofrece las siguientes características:

- Mayor capacidad de transmisión: NStream utiliza técnicas de multiplexación y codificación eficientes para aumentar la capacidad de transmisión de datos en las redes inalámbricas. Esto permite más datos transmitidos en un tiempo determinado.
- Mejora del rendimiento: NStream aprovecha el ancho de banda disponible de manera más eficiente al optimizar el uso del espectro inalámbrico y reducir la interferencia entre enlaces inalámbricos cercanos. Esto resulta en un rendimiento mejorado y una mayor estabilidad de la conexión.
- Reducción de la latencia: NStream busca minimizar la latencia de la red inalámbrica al utilizar técnicas de procesamiento y transmisión más rápidas. Esto es especialmente importante para aplicaciones en tiempo real, como VoIP (Voz sobre Protocolo de Internet) y videoconferencias.

- Configuración y ajustes flexibles: MikroTik ofrece opciones de configuración y ajustes avanzados para adaptar NStream a los requisitos específicos de cada enlace inalámbrico. Esto permite personalizar la configuración según las condiciones y características de la red.

Es importante tener en cuenta que NStream es una tecnología específica de MikroTik y está diseñada para ser utilizada en sus dispositivos de red. Otros fabricantes pueden tener tecnologías similares con nombres diferentes.

MikroTik NV2

NV2 (Nstream Version 2) es una tecnología de protocolo desarrollada por MikroTik para mejorar el rendimiento y la eficiencia de las redes inalámbricas punto a punto y punto a multipunto. Es utilizado en los dispositivos de red de MikroTik, como enrutadores y puntos de acceso, para optimizar la transmisión de datos en enlaces inalámbricos.

Las características principales de NV2 son:

- Mejor rendimiento: NV2 utiliza un protocolo de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) para garantizar un rendimiento óptimo en entornos con múltiples dispositivos inalámbricos. Permite que varios dispositivos compartan el mismo canal de forma eficiente y evita colisiones de datos.
- Alta capacidad: NV2 mejora la capacidad de transmisión al permitir una mejor utilización del ancho de banda disponible. Aprovecha al máximo el espectro inalámbrico y reduce la interferencia, lo que resulta en una mayor capacidad de datos transmitidos.
- Latencia baja: NV2 está diseñado para minimizar la latencia en las conexiones inalámbricas. Proporciona una transmisión rápida y una respuesta ágil, lo que beneficia especialmente a aplicaciones en tiempo real como VoIP y videoconferencias.
- Tolerancia a interferencias: NV2 emplea técnicas avanzadas de cancelación de interferencias para mitigar los efectos de las interferencias externas. Esto permite mantener un enlace estable y confiable, incluso en entornos con altos niveles de ruido.

Es importante tener en cuenta que NV2 es una tecnología específica desarrollada por MikroTik y está diseñada para ser utilizada en sus dispositivos de red. Otros fabricantes pueden tener tecnologías similares con nombres diferentes.

5.5 Cuestionario

Capítulo 5: Tecnologías y Estándares en
Redes Inalámbricas



<https://forms.office.com/r/4vXXnR5rVk>

5.6 Conclusiones

- El estándar IEEE 802.11 ha sido fundamental para el desarrollo y adopción masiva de las redes inalámbricas Wi-Fi. Define aspectos clave como la operación en infraestructura y ad hoc, la seguridad, el acceso al medio y la interoperabilidad.
- Las diferentes versiones de 802.11 (a, b, g, n, ac, ax) han ido evolucionando para incrementar la velocidad, eficiencia espectral, capacidad y rendimiento general de las redes Wi-Fi. La tecnología Wi-Fi continuará desarrollándose para satisfacer nuevas necesidades.
- La canalización en las bandas ISM de 2.4GHz y 5GHz permite la operación simultánea de múltiples redes Wi-Fi en un área determinada. La selección cuidadosa de los canales minimiza las interferencias.
- Tecnologías de modulación como DSSS, OFDM y OFDMA han permitido lograr altas velocidades de transmisión, resistencia a interferencias y mayor eficiencia espectral en las redes Wi-Fi. OFDMA facilita el acceso múltiple de usuarios.
- Existen tecnologías propietarias como Ubiquiti AirMax, MikroTik Nstream y Nv2 que mejoran el rendimiento de redes inalámbricas basadas en 802.11 al optimizar la transmisión, reducir la latencia y mitigar interferencias.
- El análisis y optimización del espectro radioeléctrico mediante herramientas como Net Analyzer es indispensable para el despliegue y mantenimiento de redes Wi-Fi de alto rendimiento.
- En definitiva, el estándar 802.11 y los protocolos basados en él han transformado las comunicaciones al hacer posible la conectividad inalámbrica ubicua que disfrutamos hoy. Su continua evolución permitirá satisfacer las crecientes necesidades de movilidad y ancho de banda.



Capítulo 6:

Configuración de equipos de comunicaciones inalámbricas

Llegamos finalmente al capítulo más práctico y esperado de nuestro estudio: la configuración de escenarios reales de comunicación inalámbrica. En él, utilizaremos equipos de las reconocidas marcas MikroTik y Ubiquiti como referencia.

Antes de sumergirnos en la configuración, aclaremos algunos conceptos clave relacionados con el hardware y software de estas soluciones líderes en el mercado:

RouterBOARD - Plataforma de hardware creada por MikroTik, que incorpora las prestaciones distintivas de la marca. Existe una amplia gama de modelos con diversos procesadores, chipsets de switching, y funciones específicas para escenarios como enlaces inalámbricos, switching de capa 2, redes celulares 5G, Internet de las Cosas, enrutamiento de alto rendimiento, entre muchos otros.

RouterOS - Sistema operativo desarrollado por MikroTik, basado en Linux, con un robusto set de funciones enfocadas a la gestión de redes. Es ampliamente utilizado en los dispositivos RouterBOARD de MikroTik, proveyendo una interfaz consistente entre hardware y software.

AiROS - Sistema operativo de Ubiquiti, también basado en Linux, optimizado específicamente para la configuración y gestión de redes inalámbricas. Equipos como las radios NanoStation o los puntos de acceso UniFi lo incorporan, entregando una experiencia de usuario simplificada.

EdgeOS – Sistema operativo de Ubiquiti, basado en VyOS, dirigido a su línea de productos de networking cableado como routers y switches. Provee routing y switching de alto desempeño con múltiples funciones avanzadas.

Con estos conceptos internalizados, estamos listos para sumergirnos en la configuración e implementación de diversos escenarios wireless y wired utilizando el hardware y software de estas marcas líderes, aplicando todos los conocimientos desarrollados a lo largo del libro. ¡Manos a la obra!

6.1 Clasificaciones de redes de datos

Dado que el tema central de este libro requiere sólidos conocimientos sobre redes de datos, lo que representa un área de estudio muy extensa, esta sección se enfocará en introducir intensivamente los conceptos fundamentales.

Sin embargo, se recomienda enfáticamente al lector complementar el contenido aquí presentado buscando información adicional a través de otros recursos educativos. Las redes de datos constituyen una disciplina amplia y en constante evolución, que amerita una formación integral más allá de lo cubierto en un solo texto.

La intención de este capítulo es sentar las bases esenciales sobre terminología, topologías, dispositivos, protocolos y estándares de red, como punto de partida para el estudio específico de redes inalámbricas. Los lectores son invitados a explorar con mayor profundidad cada elemento introducido, según su interés y necesidad de dominio del tema.

Abordaremos esta introducción a las redes informáticas con un enfoque teórico-práctico, enfatizando en los conceptos clave tanto como en su aplicación real en el diseño e implementación de soluciones de

red. El objetivo es motivar al lector para que continúe cultivando sus conocimientos y habilidades en este apasionante campo, esencial para desplegar el potencial total de las modernas tecnologías inalámbricas.

6.1.1 Modelo de referencia OSI

El modelo OSI (Open Systems Interconnection) ha sido mencionado en repetidas ocasiones a lo largo del libro, y con razón. Comprender este modelo resulta fundamental para entender prácticamente cualquier otro aspecto de las redes de computadoras y comunicaciones digitales.

El modelo OSI se ha convertido en uno de los estándares más difundidos y longevos en la industria por su detallada separación en capas lógicas y la flexibilidad para adaptarse a distintos modelos de red, incluso décadas después de su creación.

Propuesto en la década de 1970, el modelo OSI proporciona un marco de referencia general para el diseño de redes de computadoras, al dividir las complejas tareas de comunicación en niveles de

abstracción más simples y encapsulados. Las siete capas que componen el modelo (física, enlace, red, transporte, sesión, presentación y aplicación) separan las diferentes áreas funcionales que intervienen en la transmisión de datos a través de medios digitales.

La gran ventaja del modelo OSI es que permite a ingenieros y desarrolladores especializarse en un nivel específico, sin necesidad de conocer los detalles complejos de toda la pila de comunicaciones. También facilita la interoperabilidad entre equipos de distintos fabricantes. Por estas razones, aún en la era de Internet, el modelo OSI sigue siendo un estándar valioso en el diseño de redes modernas.

L1 o Capa 1 Física

La capa física o capa 1 del modelo OSI se encarga de los aspectos físicos y eléctricos de la transmisión de datos. Define las características de los medios de transmisión, las señales eléctricas, los niveles de energía, las interfaces físicas y los esquemas de modulación.

En esta capa se define uno de los aspectos más importantes para el diseño de redes: el medio de transmisión. Este determina en gran parte la velocidad, costos, facilidad de implementación y nivel de especialización requerido. Los principales medios son:

- **Alámbricos:** Utilizan cables metálicos para guiar las señales eléctricas. Ejemplos son el par trenzado y el cable coaxial. Ofrecen ancho de banda moderado y requieren tendido de cable.

- **Inalámbricos:** Basados en la propagación de ondas electromagnéticas en espacio libre. Permiten movilidad, pero son susceptibles a interferencia. Requieren planificación del espectro.
- **Ópticos:** Emplean señales lumínicas en fibra óptica. Proporcionan muy alta capacidad y baja interferencia, pero requieren conversiones opto-eléctricas.

Anteriormente se categorizaban en alámbricos e inalámbricos. Hoy es más común clasificarlos como guiados (cables y fibra) o no guiados (inalámbricos).

Otros aspectos de la capa física son los niveles de señal, las interfaces eléctricas, los conectores, los esquemas de modulación, las frecuencias portadoras y los estándares de transmisión como los de la familia IEEE 802.

L2 o Capa 2 Red

Querido lector, tiene razón en que la capa 2 del modelo OSI se denomina capa de enlace de datos. Pero la clave para comunicar datos en esta capa es la tecnología MAC (Medium Access Control o Control de Acceso al Medio), y gracias a esta tecnología nosotros podemos ya conformar redes, por eso me tomo el atrevimiento de presentarlo así, pero espero convencerlo en la práctica y con la descripción de la L3.

El MAC hace posible que dispositivos de una red intercambien datos de forma unicast, es decir de host a host, sin intervención de otros equipos. Esto se logra mediante un sistema de direcciones MAC únicas asignadas a cada interfaz de red.

La dirección MAC es un identificador de 48 o 64 bits que funciona como el código de identidad para cada dispositivo en una red de nivel 2. Se representa normalmente en formato hexadecimal.

Al enviar una trama o frame de datos, se incluyen las direcciones MAC de origen y destino en la cabecera de la trama. Así, cada equipo puede examinar el destino MAC para determinar si los datos se le están dirigiendo a él.

De esta manera, el protocolo MAC resuelve de forma eficiente cómo gestionar el acceso al medio compartido para que múltiples hosts puedan comunicarse de forma directa, sin colisiones.

Permite interconexión plug-and-play de dispositivos en la misma LAN sin configuración manual de rutas, facilitando enormemente la escalabilidad de redes de nivel 2. Las direcciones MAC son únicas para cada adaptador de red producido.

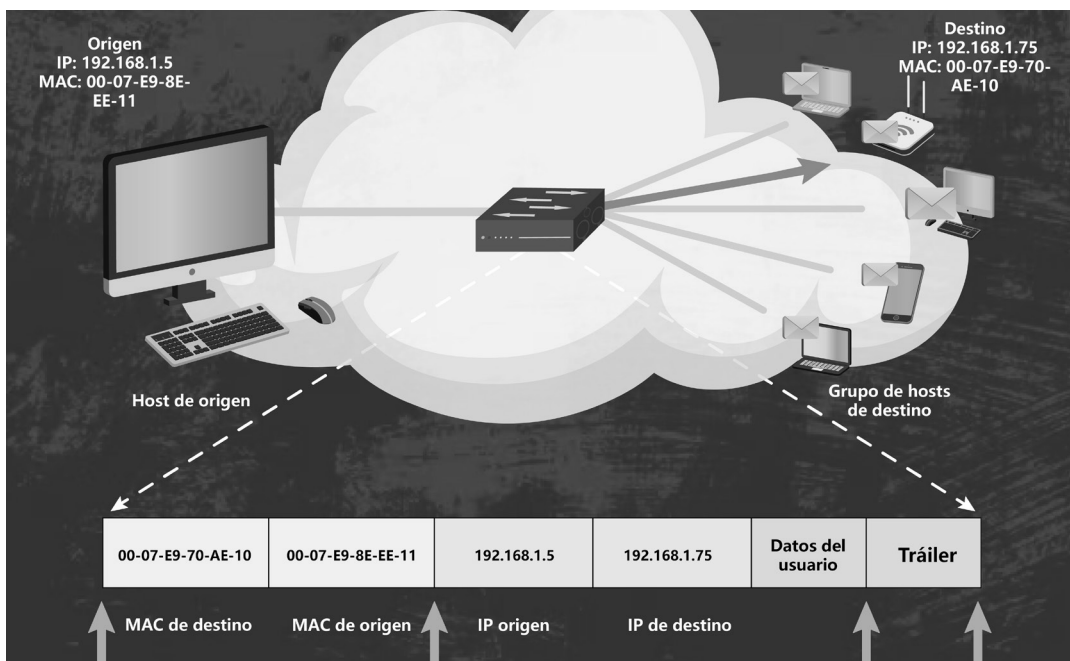


Figura 6.1 - Trama de datos
Fuente: Elaboración propia

L3 o Capa3 Inter-redes

Evidentemente, si conformamos redes en la capa 2 del modelo OSI, podemos ver de forma más práctica cómo los datos llegan a destinos y orígenes específicos gracias a las direcciones MAC. Sin embargo, la función de la capa 3 o de red es diferente.

La capa de red está diseñada para permitir la comunicación entre grupos de hosts o subredes de forma flexible y escalable. Por ejemplo, imaginemos un grupo de 30 hosts en una red L2 y otro grupo de 50 hosts en otra red L2. Incluso si ambos grupos tienen diferente direccionamiento IP, la capa 3 hace posible que se comuniquen entre sí, pero sin unirlos en un mismo dominio de broadcast.

Esta segmentación en subredes provista por la capa de red nos permite crear arquitecturas más robustas y escalables. Al aislar dominios de broadcast, las tormentas de broadcast que se produzcan en una subred no se propagarán fuera de ese segmento específico. Esto optimiza el rendimiento y la estabilidad.

Además, al enrutar el tráfico entre subredes basándose en las direcciones IP, se posibilita crecer la red agregando nuevos segmentos, sin necesidad de rediseñar todo el esquema de direccionamiento como sería en una única red de capa 2.

En resumen, la capa de red aporta segmentación lógica, control de dominios de broadcast, enrutamiento escalable y crecimiento flexible, conceptos cruciales en redes de cierta complejidad. Permite un grado de organización y desempeño difícil de lograr solo con conmutación de capa 2.

6.1.2 Redes por área

Como ya se mencionará al iniciar, el término área puede ser confuso, ya que efectivamente la implicación no guarda relación con el espacio. Sin embargo, aplicaremos lo antes analizado para poder desarrollar esta terminología que encontraremos comúnmente en nuestros dispositivos y su configuración.

Por ejemplo, una WAN puede cubrir múltiples países y continentes, mientras que una LAN puede estar limitada a un único edificio de oficinas.

Sin embargo, el término "área" puede inducir a pensar que LAN se refiere siempre a espacios pequeños, MAN a ciudades, y WAN a países o regiones extensas.

Lo cierto es que los límites no están definidos por área y una LAN también podría abarcar múltiples edificios, o una WAN limitarse a una única ciudad, dependiendo de las necesidades.

Quizás términos más genéricos como "red de alcance local", "red de alcance metropolitano" y "red de largo alcance" reflejarían mejor que el área cubierta depende de cada implementación particular y no está predeterminada.

En cualquier caso, la terminología LAN, MAN y WAN está ampliamente adoptada y entendida en redes informáticas y telecomunicaciones.

LAN (Local Área Network)

La clasificación de LAN se asocia a la capa 2 o de enlace de datos del modelo OSI.

Esto quiere decir que una LAN se define más por la topología y tecnología de red utilizada que por la extensión física o área geográfica que cubre.

Por ejemplo, sería factible tener una LAN que abarque dos ciudades distantes, si se extiende el segmento lógico de nivel 2 entre los puntos de conexión en ambas ubicaciones.

En este caso, la LAN actuaría como una WAN desde el punto de vista geográfico, pero seguiría siendo considerada LAN porque los dispositivos en ambos extremos pertenecen al mismo dominio de broadcast y capa de enlace de datos.

Similarmente, una MAN (Metropolitan Area Network) podría utilizar enlaces inalámbricos para interconectar LANs separadas físicamente en un extenso campus empresarial o universitario.

La clasificación no depende estrictamente de la distancia, sino de aspectos lógicos y tecnológicos de funcionamiento en la capa de enlace de datos. La topología, medios de transmisión y protocolos determinan si una red es LAN, MAN o WAN.

WAN (Wide Area Network)

La clasificación WAN está ligada a la capa 3 o de red del modelo OSI.

Ante el crecimiento de las redes LAN y la cantidad de hosts conectados, comenzaron a surgir problemas de escalabilidad y excesivo tráfico de broadcast que afectaban el rendimiento.

Al implementar enrutamiento entre subredes y separar la red en segmentos lógicos mediante equipos de nivel 3, se logra controlar el dominio de broadcast y mejorar la escalabilidad.

Las WAN permiten interconectar sucursales o sedes remotas de una organización que pueden estar distribuidas geográficamente, cada una con su propia LAN independiente.

El tráfico entre las distintas subredes es enrutado selectivamente sólo hacia los destinos específicos, evitando la difusión indiscriminada.

Además, al utilizar direccionamiento lógico, se simplifica la reenumeración ante cambios o crecimiento de la red. También se habilita el acceso directo a Internet público mediante enrutamiento.

WWAN (Wireless Wide Area Network)

El término backhaul se refiere a los enlaces troncales de una red que llevan el tráfico de agregación desde el núcleo de la red hasta la periferia. Los backhails funcionan como la "columna vertebral" de conectividad.

Estos enlaces troncales pueden operar en las capas 2 o 3 del modelo OSI, dependiendo de los requerimientos de la red:

- En capa 2, el backhaul actúa como una extensión de la LAN, propagando el dominio de broadcast y los mismos segmentos lógicos presentes en el núcleo de red hacia los sitios remotos.
- En capa 3, el backhaul conecta distintas subredes mediante enrutamiento entre ellas. Cada sitio remoto forma una subred independiente.

Aunque pudiera pensarse que siempre operan en capa 3, también es perfectamente viable y conveniente en muchos casos implementar backhails de capa 2 mediante tecnologías como bridges o pseudowires (túneles) Ethernet sobre redes WAN.

Esto permite llevar todos los segmentos de la LAN de forma transparente sobre enlaces troncales incluso inalámbricos. La ventaja es simplificar la administración al tener una LAN unificada.

La desventaja puede ser un rendimiento limitado si hay mucho tráfico broadcast. En definitiva, la decisión de backhails layer 2 o layer 3 depende de las necesidades concretas de conectividad, rendimiento y escalabilidad para cada red.

WLAN (Wireless Local Area Network)

Comúnmente referidas como Wi-Fi, las WLAN corresponden al segmento de red inalámbrica de acceso, donde los usuarios finales se conectan de forma inalámbrica a través de puntos de acceso Wi-Fi.

Las WLAN brindan movilidad y flexibilidad al permitir que los usuarios se conecten desde cualquier punto dentro del área de cobertura inalámbrica, sin necesidad de una conexión cableada fija.

Normalmente la WLAN se conecta mediante un enlace troncal o backbone a la red cableada principal, permitiendo a los usuarios acceder a todos los servicios y aplicaciones de la red corporativa o de área local de forma inalámbrica.

Las WLAN se rigen por estándares como 802.11 (Wi-Fi) que definen aspectos como la operación en las bandas ISM, la modulación, los protocolos de acceso al medio y la interoperabilidad entre equipos de diferentes fabricantes.

6.1.3 Perspectiva DHCP

El protocolo DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) permite a los dispositivos de una red obtener configuraciones IP automáticamente. Los puertos WAN usualmente obtienen direcciones IP de las redes a las que se conectan mediante DHCP cliente.

En cambio, los puertos LAN permiten que los clientes finales se conecten, por lo que normalmente están asociados a servidores DHCP que proveen direcciones IP automáticamente a los dispositivos en ese segmento de red.

La alternativa es la asignación manual de direcciones IP estáticas. Aunque esto requiere mayor esfuerzo en la administración de la red, al tener que configurar cada dispositivo individualmente, brinda un mayor control y seguridad sobre los equipos conectados, ya que se conoce qué IP tiene asignada.

El uso de DHCP presenta ventajas de automatización y reducción de trabajo manual, pero puede dificultar la trazabilidad y el bloqueo de accesos no autorizados, al no tener IPs predecibles y estáticas.

En la práctica, suele utilizarse una combinación de ambos métodos: DHCP para la mayoría de los equipos, junto con direcciones estáticas para dispositivos críticos como servidores, impresoras, etc. Esto aprovecha las ventajas de la automatización sin perder el control detallado cuando sea necesario.

También existen opciones intermedias como DHCP con reserva, donde se asignan IPs fijas a ciertos dispositivos, pero manteniendo la ventaja de configuración centralizada del servidor DHCP. La mejor estrategia depende de las necesidades específicas de cada red.

Finalmente, después de asignar una dirección IP a un dispositivo, es posible "fijar" o asociar permanentemente esa dirección IP con la MAC del dispositivo, evitando así cambios en la dirección IP asignada originalmente.

Esta vinculación o binding entre dirección IP y MAC se realiza mediante la función de "reserva de DHCP" en el servidor DHCP. La reserva DHCP permite especificar manualmente la dirección IP que se le dará a un dispositivo en particular, identificado por su MAC.

Así, cuando ese dispositivo se conecte a la red y solicite una dirección IP al servidor DHCP, recibirá la IP reservada previamente para su MAC. Esto evita que se le asigne una IP diferente si está disponible, como con la asignación dinámica por DHCP.

La reserva DHCP resulta útil para dispositivos críticos como impresoras de red, cámaras IP, servidores, dispositivos IoT, etc., a los cuales se necesita acceder siempre a través de la misma dirección IP conocida de antemano. También aplica para estaciones de trabajo fijas.

Así, la reserva DHCP unida a la vinculación de IP y MAC proporciona consistencia en la dirección de dispositivos de red. Permite una administración sencilla al eliminar cambios indeseados de IP sin necesidad de configuración estática.

6.1.4 Bridged o Routed?

Tanto en los sistemas telefónicos como en los sistemas de comunicación inalámbrica, con el fin de simplificar las configuraciones, los puertos físicos se abstraen en interfaces lógicas bridged (capa 2) y routed (capa 3).

Las interfaces bridged funcionan como un puente de red, reenviando tramas entre los puertos físicos sin modificarlas. Permiten conectar equipos en la misma red lógica y broadcast domain.

Las interfaces routed funcionan como un router, trabajando en capa 3 e interconectando diferentes redes lógicas. Analizan los paquetes IP y toman decisiones de enrutamiento entre redes basadas en la tabla de enrutamiento configurada.

Por defecto, cada interfaz bridged crea su propio dominio de broadcast aislado. En cambio, las interfaces routed separan el tráfico en diferentes subredes, como se explicó anteriormente con el direccionamiento DHCP.

Esta abstracción simplifica enormemente la configuración, ya que el administrador no necesita preocuparse por los puertos físicos individuales. Simplemente define el tipo de interfaz lógica requerida, bridged o routed, y el equipo mapea esto internamente a los puertos reales.

Permite crear fácilmente enlaces trunk para agregar ancho de banda, establecer VLANs para segregar tráfico, e interconectar equipos con diferentes esquemas de red, entre otras ventajas.

Por lo tanto, recuerde que:

Bridged: Redes L2 empleadas en extensiones de oficinas, como sucursales u oficinas remotas.

Routed: Redes con mayores niveles de seguridad, con posibilidades de escalabilidad y mayor facilidad de atención a múltiples clientes.

6.2 Seguridad en redes inalámbricas

Pongámonos en contexto, todos estamos utilizando y compartiendo los mismos recursos de red inalámbrica. Incluso si un nuevo usuario o dispositivo se conecta a la red, puede acceder a estos recursos compartidos sin mayores restricciones.

Así funcionan las redes inalámbricas de forma predeterminada. Debemos reconocer que existen ingeniosos mecanismos de seguridad implementados, como cifrado WPA2, VLANs, firewalls, etc. que nos protegen frente a accesos no autorizados. Sin embargo, es importante recordar que no existe una seguridad total e infalible. Por más robustos que sean nuestros mecanismos de protección, siempre existirán vulnerabilidades que pueden ser explotadas por atacantes experimentados.

Es recomendable implementar todas las medidas de seguridad necesarias, pero sin presumir públicamente del nivel de seguridad logrado. Un exceso de confianza en las defensas puede atraer a hackers ávidos de nuevos desafíos, dispuestos a invertir todo su tiempo en encontrar alguna brecha. La prudencia y discreción son claves para no tentar a los atacantes.

Las redes inalámbricas son por defecto más vulnerables al permitir acceso abierto. Si bien contamos con sólidas herramientas de seguridad, debemos ser conscientes de que ningún sistema es 100% seguro. La actitud más sensata es implementar todas las medidas posibles, probar su efectividad, pero sin promocionarlas públicamente como infalibles e inexpugnables.

6.2.1 Encriptación

La encriptación es un proceso mediante el cual se transforma información de modo que no pueda ser leída por terceros no autorizados. Para poder descifrar los datos encriptados se requiere tener una clave o contraseña especial. Existen dos formas principales de realizar la encriptación:

Encriptación simétrica:

En este método se utiliza una misma clave secreta tanto para cifrar como para descifrar la información. La clave se comparte entre el emisor y receptor autorizado. Su principal desventaja es que, al depender de una única clave, si esta es robada el sistema completo queda comprometido.

Encriptación asimétrica:

También conocida como criptografía de clave pública. Se basa en un par de claves complementarias: una clave pública que se comparte abiertamente y una clave privada que se mantiene en secreto. La clave pública sirve para encriptar mensajes y la privada para desencriptarlos. De este modo se solventa el problema de compartir la clave secreta.

El mayor beneficio de la encriptación asimétrica es la capacidad de verificar la identidad y autenticidad del emisor. Al encriptar con la clave privada, el receptor puede desencriptar con la pública y corroborar quién envió el mensaje. También permite firmar digitalmente documentos de modo seguro.

6.2.2 SSID Oculto

Ocultar el nombre de red (SSID) de una red WiFi no representa por sí solo un nivel extra de seguridad, pero sin duda puede aportar cierta protección adicional.

Aunque ocultar el SSID no evita que un atacante pueda detectar la red e intentar conectarse, hace que el proceso sea más complicado en comparación a si el nombre estuviera visible. En lugar de simplemente conectarse al SSID que se muestra, el atacante tendría que averiguar el nombre real de la red para asociarse a ella.

Esto no representa una barrera infranqueable, ya que existen técnicas para obtener el SSID oculto analizando los paquetes de la red. Además, una vez que el intruso conoce o adivina el nombre, puede conectarse normalmente. Por lo tanto, no se trata de un mecanismo de seguridad fuerte.

Sin embargo, ocultar el SSID suma una capa extra de dificultad y filtrado previo. Los atacantes oportunistas posiblemente pasen de largo las redes sin nombre visible y enfocarán sus intentos donde el SSID se muestra abiertamente. De este modo, esta simple medida puede disuadir a intrusos casuales.

Si bien ocultar el SSID no representa por sí solo una barrera de seguridad infranqueable ni reemplaza medidas más fuertes como WPA2, puede considerarse una capa adicional útil de "seguridad por oscuridad" contra accesos no autorizados casuales.

Se recomienda combinarlo con técnicas de seguridad más robustas como parte de una estrategia de defense-in-depth.

6.2.3 Control por MAC

Finalmente, controlar el acceso a la red WiFi mediante las direcciones MAC de las interfaces de los clientes es una buena manera de mantener el control sobre quién está utilizando nuestros recursos.

La MAC es un identificador único que tiene asignado cada tarjeta de red, lo cual permite distinguir unívocamente a cada dispositivo. Al configurar una lista blanca de MACs autorizadas en el punto de acceso, podemos garantizar que sólo los clientes reconocidos y verificados previamente puedan conectarse.

Esta medida refuerza la seguridad porque, aunque un intruso consiga averiguar la contraseña WiFi, no podrá unirse a menos que spoofee una MAC autorizada. Además, nos obliga a registrar formalmente cada nuevo dispositivo antes de permitir su acceso.

Sin embargo, hay que tomar en cuenta que las MAC pueden ser falsificadas. Un atacante avanzado podría obtener una MAC permitida e imitarla. Por ello, el filtrado por MAC debe usarse como capa adicional de seguridad, no como la única.

En conclusión, el control de acceso mediante listas blancas de MAC mejora la seguridad de la red WiFi al restringir la conectividad sólo a clientes verificados y registrados previamente. Requiere un proceso formal de autorización explícita para nuevos dispositivos. Aunque no es infalible, agrega una valiosa capa extra en la estrategia de defense-in-depth.

6.3 Configuración de radio y antena

Si usted es nuevo en los equipos MikroTik, le recomendamos revisar el Anexo D, donde se explica cómo descargar el software para conectarse a estos dispositivos. Para Ubiquiti, solo requiere tener bien configurada la red de su computadora y un navegador web.

Cabe destacar el trabajo elegante de MikroTik en su interfaz gráfica con Winbox, WebFig y la App MikroTik. Todas siguen una lógica similar, prácticamente idéntica a la línea de comandos. De ahí la recomendación de comenzar por la interfaz gráfica para adquirir destreza en línea de comandos.

Nota importante: Si ingresa a un menú como "ip address" y presiona Enter, estará dentro con sus opciones. Para volver a la raíz, teclee "/" en cualquier momento. Además, si un comando presenta problemas o quiere detenerlo, dado que es Linux, presione Ctrl + C para cancelar el proceso.

Algunos comandos de uso frecuente:

`print` El comando "print" es muy útil para visualizar el estado actual de cualquier configuración, dependiendo del menú en el que se utilice. Veamos algunos ejemplos:

/ip address print	Muestra las direcciones IP configuradas en las interfaces.
/interface print	Lista las interfaces de red disponibles.
/ip route print	Despliega las rutas configuradas.
/queue simple print	Indica colas de calidad de servicio existentes.
/tool netwatch print	Detalla pruebas de monitoreo configuradas.
/system routerboard print	Muestra info del hardware RouterBOARD.

Como se puede apreciar, el comando print devuelve resultados diferentes según se use en cada menú, mostrando en pantalla el estado actual de los parámetros de configuración correspondientes.

Incluso en algunos menús puede que print no retorne ningún output si no hay nada configurado aún. Pero en general print es una manera rápida de verificar la configuración de distintos aspectos en MikroTik sin necesidad de navegar por todos los menús. Un comando muy útil para el día a día.

```
[ admin@MikroTik] /ip/address> print
Flags: D - DYNAMIC
Columns: ADDRESS, NETWORK, INTERFACE
# ADDRESS NETWORK INTERFACE
0 192.168.13.1/24 192.168.13.0 LAN
1 D 192.168.1.172/24 192.168.1.0 wlan1
2 192.168.1.1/24 192.168.1.0 ether8
```

```
[ admin@MikroTik] /system/routerboard> print
routerboard: yes
model: CRS109-8G-1S-2HnD
serial-number: ██████████
firmware_type: ar9344
factory-firmware: 3.22
current-firmware: 7.8
upgrade-firmware: 7.11.2
```

print es una forma sencilla de visualizar el estado de cualquier configuración, cuyo resultado dependerá del menú en el que se ejecute. Una herramienta indispensable en MikroTik.

export El comando "export" es extremadamente útil en MikroTik, ya que permite obtener una copia de los comandos configurados en el dispositivo. De esta manera, export funciona para respaldar la configuración actual y almacenarla en un archivo de texto plano. Algunos usos del comando export:

- Generar copia de seguridad completa de la configuración, ejecutando simplemente "export" desde el menu raíz.
- Respalda parte de la configuración, por ejemplo, rutas IP: /ip route export file=rutas
- Volcar la configuración para lectura o edición: /interface export file=interfaces.txt
- Respaldo antes de realizar cambios peligrosos, para poder revertir.
- Migrar la configuración rápidamente entre equipos.

Así, export resulta invaluable para respaldar los comandos ingresados en el dispositivo, recuperar la configuración ante cualquier problema y clonar la configuración entre equipos MikroTik.

Al ejecutarse desde diferentes menús, exportará solo la parte de la configuración relacionada. Un comando imprescindible en la caja de herramientas de MikroTik.

```
[ admin@MikroTik ] /ip/address> export
# 2023-09-29 06:38: 03 by RouterOS 7.11.2
# 2023-09-29 06:38: 03 by RouterOS 7.11.2
#
# model = CRS109-8G-1S-2HnD
# serial number = 5DD805918DF6

/ip address

add address=192.168.13.1/24 interface=LAN network=192.168.13.0
add address=192.168.1.1/24 interface=ether8 network=192.168.1.0
```

remove El comando "remove" en MikroTik permite eliminar elementos específicos de la configuración que ya no se desean. Es muy útil para deshacer cambios que no funcionan como esperado.

Remove requiere como parámetro un número entero que identifica el registro a eliminar. Este número se obtiene ejecutando "print" en el menú correspondiente.

Por ejemplo, para eliminar una dirección IP de una interfaz:

1. Mostramos las IPs configuradas con print:

```
/ip address print
```

2. Identificamos el número del registro a remover, en la columna "#".
3. Ejecutamos remove pasando ese número como parámetro:

```
/ip address remove numero
```

De esta manera remove nos permite "desconfigurar" elementos específicos que hemos definido previamente en MikroTik. Es especialmente útil al hacer pruebas y necesitar deshacer cambios rápidamente.

```
[ admin@MikroTik ] /ip/address> print
Flags: D - DYNAMIC
Columns: ADDRESS, NETWORK, INTERFACE
# ADDRESS NETWORK INTERFACE
0 192.168.13.1/24 192.168.13.0 LAN
1 D 192.168.1.172/24 192.168.1.0 wlan1
2 192.168.1.1/24 192.168.1.0 ether8
```

Como puede apreciar existe una primera columna denominada “#” es de ahí que extraemos el parámetro numérico, por lo tanto, nuestro comando será:

```
# [ admin@MikroTik] /ip/address> remove 2
```

Junto con print y export, remove completa una triada de comandos esenciales para respaldar, inspeccionar y limpiar la configuración en estos equipos. Definitivamente comandos que todo administrador MikroTik debe conocer a fondo.

```
system/reset-configuration no-defaults = yes
```

El comando "reset-configuration" en MikroTik es una poderosa herramienta que limpia totalmente la configuración del equipo, devolviéndolo al estado original de fábrica 0.0.0.0. Este comando se ejecuta desde el menú raíz y elimina toda la configuración realizada previamente en el dispositivo, incluyendo:

- Direcciones IP
- Rutas
- Reglas de firewall
- Interfaces bridge
- VLANs
- Users y passwords
- Y cualquier otro parámetro configurado.

Queda el equipo limpio, como si se hubiera restaurado a su estado inicial sin configurar. Dada su capacidad de eliminar toda la configuración, este comando debe utilizarse con precaución y solo cuando sea absolutamente necesario resetear por completo el router. Es recomendable respaldar la configuración existente con export antes de ejecutar reset-configuration.

Modos de configuración inalámbrico de MikroTik

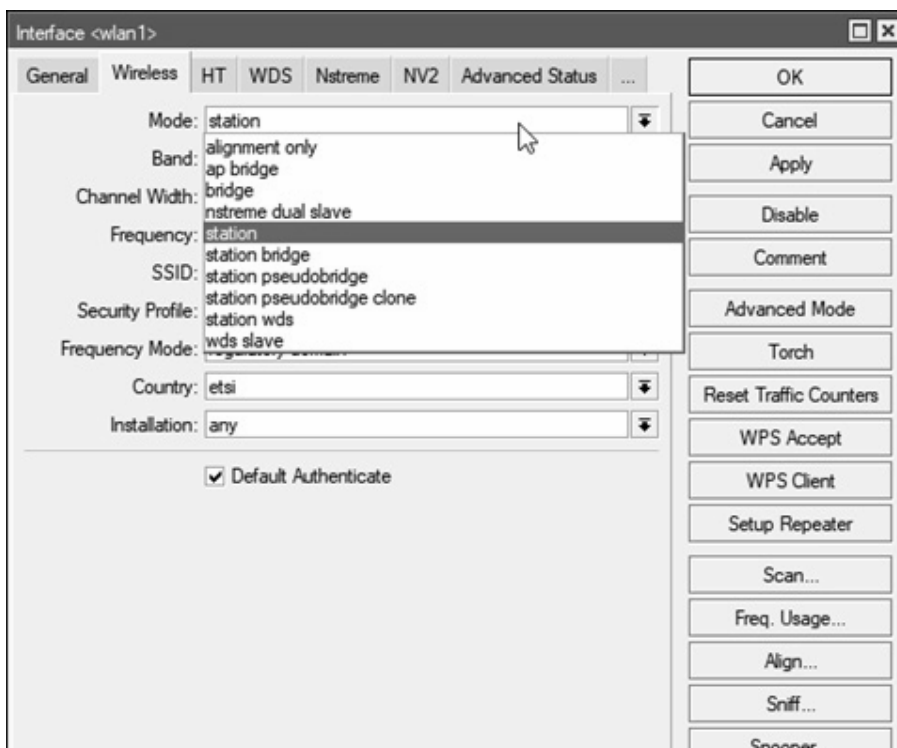


Figura 6.2 – Modos de operación de las interfaces wlan en RouterOS
Fuente: MikroTik Winbox

Modo station

Este es un modo estándar en MikroTik RouterOS para configurar interfaces inalámbricas como clientes o estaciones.

Este modo permite que el dispositivo MikroTik se conecte a un punto de acceso inalámbrico existente como una estación o cliente más. La interfaz inalámbrica en modo station no puede participar en un bridge L2, solo puede usarse en capa 3 para enrutamiento. Las principales características y uso del modo station son:

- Permite que el RouterOS se conecte a redes inalámbricas existentes como una estación.
- No puede participar en bridges de capa 2, solo se puede usar para enrutamiento IP en capa 3.
- Útil para conectar el RouterOS de forma inalámbrica a otras redes y segmentos, aumentando la cobertura de la red.
- Se comporta como cualquier otro cliente inalámbrico, obteniendo una dirección IP del punto de acceso o router al que se conecta.

- No provee acceso a otros dispositivos, solo se conecta el RouterOS a la red inalámbrica.
- Es un modo simple y estándar para agregar conectividad inalámbrica al RouterOS y extender la red a segmentos inalámbricos.

Modo station-wds

El modo station-wds en MikroTik RouterOS funciona únicamente con puntos de acceso RouterOS. Al establecer la conexión, se crea una interfaz WDS independiente en el punto de acceso para una estación específica.

La interfaz WDS puede considerarse como una conexión punto a punto entre el punto de acceso y la estación. Lo que se envía a través de WDS se entrega exclusivamente a esa estación. Lo que la estación envía al punto de acceso se recibe solo a través de la interfaz WDS, preservando las direcciones de capa 2.

Es compatible con todos los protocolos inalámbricos, excepto 802.11 hacia dispositivos no RouterOS. Utiliza un formato de trama de 4 direcciones con 802.11; otros medios internos para nstreme/nv2.

Es seguro para bridge de capa 2 y proporciona mayor control administrativo al punto de acceso a través de la interfaz WDS independiente. No es posible conectarse a un CAP gestionado por CAPsMAN con este modo.

Modo station-pseudobridge

Desde el punto de vista de la conexión inalámbrica, este modo es igual al modo station estándar. Tiene un soporte limitado para puentes de capa 2 a través de algunos servicios implementados en la estación:

- Traducción de dirección MAC para paquetes IPv4 - la estación mantiene una tabla de mapeo IPv4 a MAC y reemplaza la dirección MAC de origen con su propia dirección al enviar tramas al AP (para poder usar el formato de trama de 3 direcciones). También reemplaza la dirección MAC de destino con la dirección de la tabla de mapeo para tramas recibidas del AP. Los mapeos IPv4 a MAC también se crean para tramas con encapsulamiento VLAN.
- Traducción de una sola dirección MAC para el resto de protocolos - la estación aprende la dirección MAC de origen de la primera trama reenviada no-IPv4 y la usa como predeterminada para la traducción inversa. Esta dirección MAC se usa para reemplazar la dirección de destino de tramas recibidas del AP si no se puede realizar el mapeo IPv4 a MAC (por ejemplo, tramas no-IPv4 o mapeo faltante).

Este modo está limitado al bridge de datos a un solo dispositivo conectado a la estación (mediante traducción de una sola dirección MAC) y algo de soporte para puenteo de tramas IPv4. El bridge de protocolos no-IP a más de un dispositivo no funcionará. La traducción de dirección MAC limita el acceso al dispositivo de la estación desde el AP al basado en IPv4. El resto de los protocolos los traducirá la única dirección MAC y la propia estación no los recibirá.

Este modo está disponible para todos los protocolos excepto nv2 y debe evitarse cuando sea posible. El uso de este modo solo puede justificarse si el AP no es compatible con un mejor modo bridge (por ejemplo, cuando se usa un AP no RouterOS) o si solo se debe conectar un dispositivo de usuario final a la red a través del dispositivo de la estación.

Modo station-pseudobridge-clone

Este modo es igual al modo station-pseudobridge, excepto que se conecta al AP usando una dirección MAC "clonada" - es decir, either la dirección configurada en el parámetro station-bridge-clone-mac (si está configurado) o la dirección de origen de la primera trama reenviada.

Esto esencialmente aparece en el AP como si el dispositivo de usuario final conectado a la estación se hubiera conectado directamente al AP.

Las principales características de este modo son:

- Usa una dirección MAC clonada en lugar de la dirección real de la interfaz inalámbrica.
- Permite el puenteo L2 limitado igual que el modo station-pseudobridge.
- En el AP se ve como un cliente final en lugar del RouterOS.
- Útil cuando el AP tiene seguridad MAC habilitada o para hacer transparente la presencia del RouterOS.
- La dirección MAC clonada puede configurarse manualmente o aprenderse de la primera trama reenviada.
- Sigue teniendo las mismas limitaciones de puenteo L2 que el modo station-pseudobridge.
- Debe usarse con precaución ya que confunde la presencia del RouterOS en la red inalámbrica.

Modo station-bridge

Este modo solo funciona con puntos de acceso RouterOS y proporciona soporte para bridge transparente e independiente de protocolo en el dispositivo de la estación. El punto de acceso RouterOS acepta clientes en modo station-bridge cuando se habilita mediante el parámetro bridge-mode.

En este modo, el AP mantiene una tabla de reenvío con información sobre qué direcciones MAC son accesibles a través de qué dispositivo de estación.

Este modo es propietario de MikroTik y no puede usarse para conectarse a dispositivos de otras marcas.

Este modo es seguro para usar en bridge y es el modo preferido a menos que existan razones específicas para usar el modo station-wds. Con el modo station-bridge no es posible conectarse a un CAP controlado por CAPsMAN.

Las principales características del modo station-bridge son:

- Permite bridge transparente entre el RouterOS y el AP RouterOS.
- El AP maneja la tabla de reenvío de direcciones MAC accesibles vía cada estación.
- Independiente del protocolo, puentea todas las tramas Ethernet.
- Preferible sobre station-wds cuando sea posible.
- No puede usarse para conectarse a APs que no sean RouterOS.
- No es compatible con CAPsMAN.

6.3.1 Configuración AP (Access Point)

MiktoTik

Antes de nada, la configuración del AP es el encargado de tener la seguridad configurada de la red, es por este motivo que ingresaremos a Wireless -> Security Profiles y añadiremos un nuevo perfil de seguridad como se muestra en la Figura.

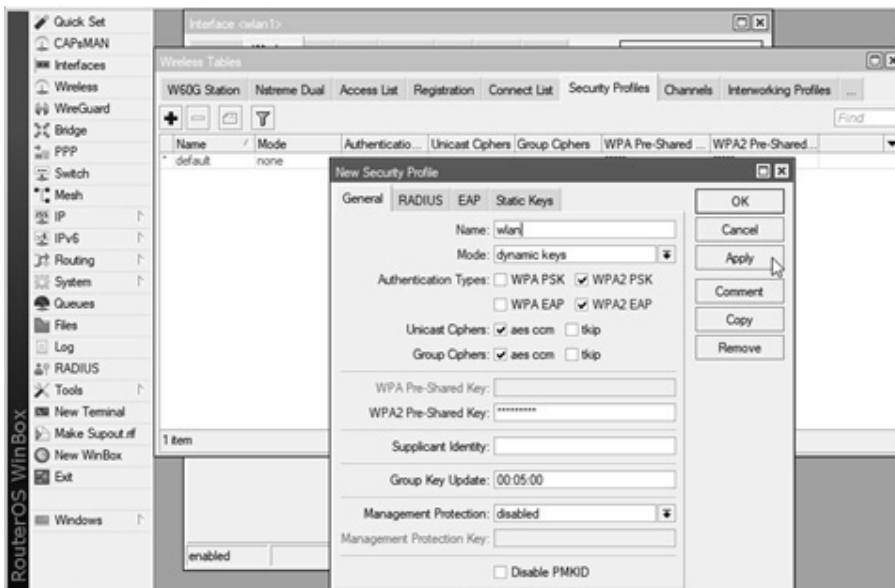


Figura 6.3 – Configuración de perfiles de seguridad
Fuente: MikroTik Winbox

Ahora si configuraremos la interfaz inalámbrica, en este caso la wlan1, para esto ingresamos a Wireless -> WiFi Interfaces y hacemos doble click en wlan1.

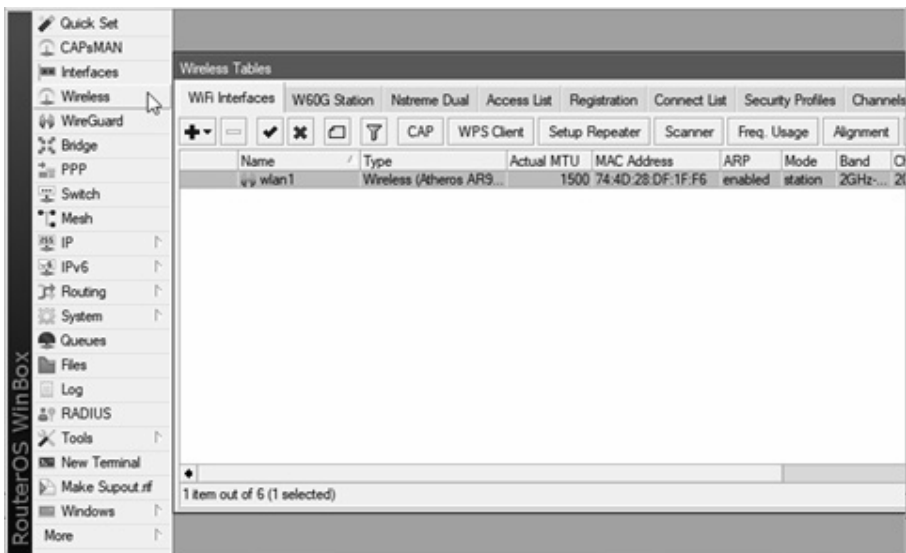


Figura 6.4 – Interfaces inalámbricas en RouterOS
Fuente: MikroTik Winbox

La siguiente Figura, muestra la mayoría de los parámetros de configuración para la creación de un AP

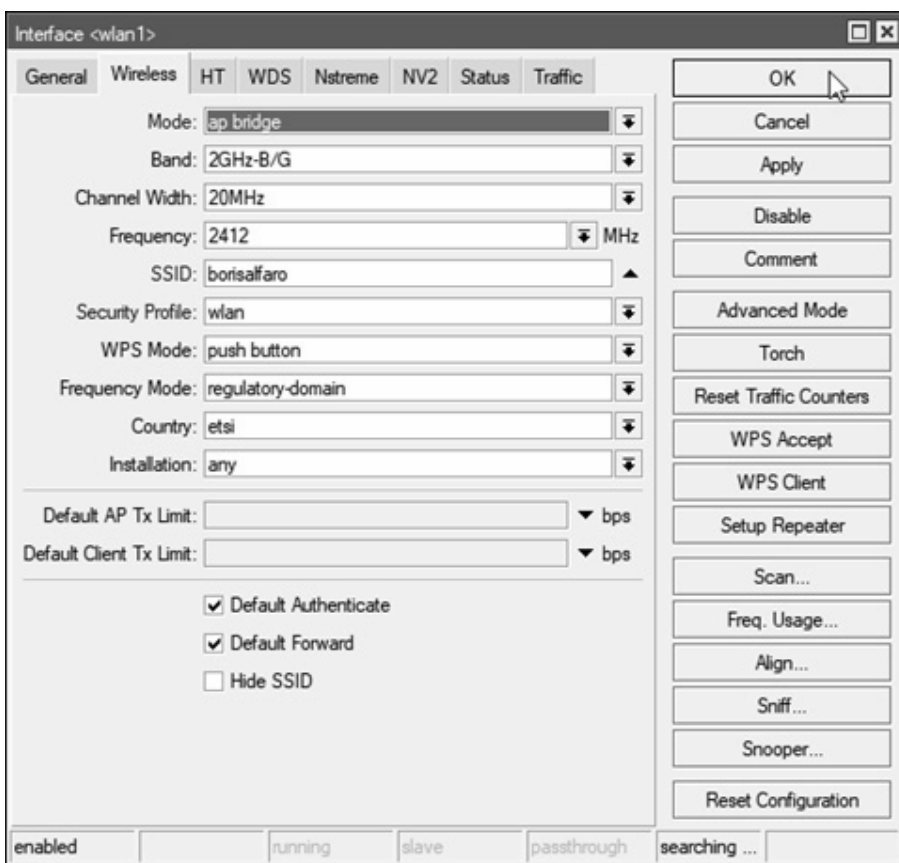


Figura 6.5 – Configuración de AP
Fuente: MikroTik Winbox

Considere que con la configuración realizada su red se verá, pero no terminará de realizar conexión activa porque la red no está configurada con IP, solo se ha preparado la red para operar en L2. Para culminar esta configuración remítase a la sección 6.4.

6.3.2 Configuración CPE o station

MiktoTik

Al comparar la configuración de un punto de acceso (AP) con un cliente inalámbrico o CPE (Customer Premises Equipment), se aprecia una gran diferencia en complejidad. Esto se debe a que el CPE debe alinearse a los parámetros definidos en el AP, tales como:

- Protocolo inalámbrico (WiFi, propiedad del AP)
- Banda de frecuencia
- Canal
- Perfil de seguridad y cifrado
- SSID (nombre de la red inalámbrica)

Por este motivo, existen herramientas que simplifican la configuración de CPEs, como la función "Scan" o escaneo. Con solo un par de clics el CPE puede detectar las redes inalámbricas disponibles y configurarse automáticamente.

El proceso típico sería:

1. Conectarse a la interfaz de administración del CPE
2. Iniciar la herramienta de escaneo de redes WiFi
3. Seleccionar el SSID de la red del AP que se desea conectar
4. El equipo configurará automáticamente el protocolo, canal, cifrado y otros parámetros para conectarse al AP
5. Guardar la configuración

De esta manera, la instalación de CPEs cliente es muy simple en contraste con el AP, reduciendo la curva de aprendizaje y acelerando el despliegue de enlaces inalámbricos punto a punto o punto a multipunto. La configuración experta queda del lado del administrador del AP.

6.4 Configuración de Networking

6.4.1 Direccionamiento IP

MikroTik

Una de las primeras tareas en la configuración de networking es asignar una dirección IP a las interfaces. En MikroTik, esto se logra con el siguiente comando:

```
[ admin@MikroTik ]> ip address add address = 192.168.1.1/24 interface = ether1
```

Donde:

- ip address: Menú de configuración IP.
- add: Comando para añadir configuración.
- address: Parámetro que almacena la dirección IP con máscara en formato CIDR.
- interface: Define la interfaz a configurar (ether1, bridge, wlan, etc).

Este comando asigna la dirección 192.168.0.1/24 a la interfaz ether1 del RouterOS. De forma gráfica, los mismos pasos en Winbox serían:

1. Ir al menú IP -> Addresses
2. Hacer click en el botón + para agregar una nueva dirección.
3. Ingresar la IP y máscara en el campo "Address", y seleccionar la interfaz ether1.
4. Hacer click en OK para agregar la configuración.

Como podemos ver, la lógica de configuración vía Winbox es totalmente coherente y equivalente a ingresar el comando por la línea de instrucciones en RouterOS. Esta consistencia entre la interfaz gráfica y los comandos CLI es una virtud de MikroTik que facilita el aprendizaje.

6.4.2 Cliente DHCP

Cuando nos conectamos a una red que provee acceso a Internet mediante DHCP en MikroTik, existen algunas opciones adicionales muy útiles en la configuración IP:

- Use Peer DNS: Permite obtener automáticamente los servidores DNS asignados por el ISP, instead de tener que configurarlos manualmente. Muy práctico.
- Use Peer NTP: Sincroniza la fecha y hora del RouterOS con el servidor NTP del ISP al conectarse. Evita tener que ajustar manualmente la hora.
- Add Default Route: Agrega una ruta predeterminada apuntando al gateway del ISP, para permitir el enrutamiento a Internet luego de obtener IP. Se ahorra una configuración adicional

Estas funcionalidades se activan fácilmente en la pestaña "Advanced" de la configuración IP con DHCP en Winbox o CLI.

De esta manera, con solo 3 clicks podemos minimizar la configuración inicial, obteniendo automáticamente DNS, NTP y rutas default del ISP. RouterOS simplifica tareas comunes de networking para un despliegue rápido y sencillo.

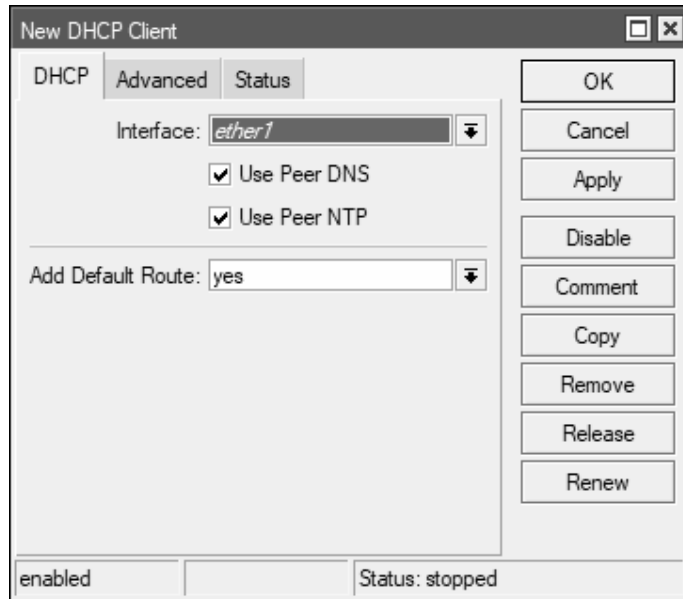


Figura 6.2 - Configuración DHCP Client
Fuente: Mikrotik Winbox

La configuración por la línea de comandos para obtener IP mediante DHCP e incluir DNS, NTP y ruta default en Mikrotik es similar.

Note que las opciones mostradas por defecto en la interfaz gráfica serán las mismas que se apliquen en el comando, como se observa en la imagen anterior donde DNS, NTP y ruta default están habilitadas.

Por lo tanto, no es necesario especificar estas opciones explícitamente en el comando DHCP cliente, a menos que se requiera deshabilitar alguna. El comando sería simplemente:

```
/ip dhcp-client add interface= ether1
```

Aunque las opciones avanzadas no se indiquen en el comando, sí se aplicarán si están activas en la configuración IP de la interfaz.

De todas formas, es buena práctica verificar con un print que el comando DHCP cliente se haya aplicado correctamente, obteniendo la IP dinámica y las opciones requeridas:

```
/ip dhcp-client print
```

Aunque las opciones avanzadas no se indiquen en el comando, si se aplicarán si están activas en la configuración IP de la interfaz.

De todas formas, es buena práctica verificar con un print que el comando DHCP cliente se haya aplicado correctamente, obteniendo la IP dinámica y las opciones requeridas:

```
[ admin@MikroTik ] > ip dhcp-client add interface = wlan1
[ admin@MikroTik ] > ip dhcp-client print
Columns: INTERFACE, USE-PEER-DNS, ADD-DEFAULT-ROUTE, STATUS, ADDRESS
#  INTERFACE USE-PEER-DNS  ADD-DEFAULT-ROUTE STATUS ADDRESS
0  wlan1      yes                yes                bound   192.168.1.172/24
```

Si no se desea configurar la WAN mediante DHCP cliente, le recomendamos revisar cuidadosamente las siguientes secciones, ya que deberá configurar manualmente la IP como se explicó en la sección 6.3.1. Además, en lugar de las configuraciones 6.4.5 y 6.4.6, deberá realizar las siguientes:

- Configurar la puerta de enlace predeterminada (default gateway) indicando la IP del router WAN al cual se conectará el dispositivo. Esto permitirá que el tráfico saliente se enrute correctamente hacia internet.
- Configurar los servidores DNS primario y secundario para la resolución de nombres de dominio. Normalmente se utilizan los DNS provistos por el ISP, o DNS públicos como los de Google u OpenDNS.
- Si va a conectar el dispositivo a varias subredes LAN, habilitar el routing entre interfaces y configurar las rutas estáticas necesarias entre las subredes.
- Si el ISP requiere autenticación PPPoE, habilitar PPPoE cliente e ingresar el nombre de usuario y contraseña provistos.
- Si se utiliza NAT de destino (DNAT) para acceder a servidores en la red local, definir las reglas DNAT requeridas.

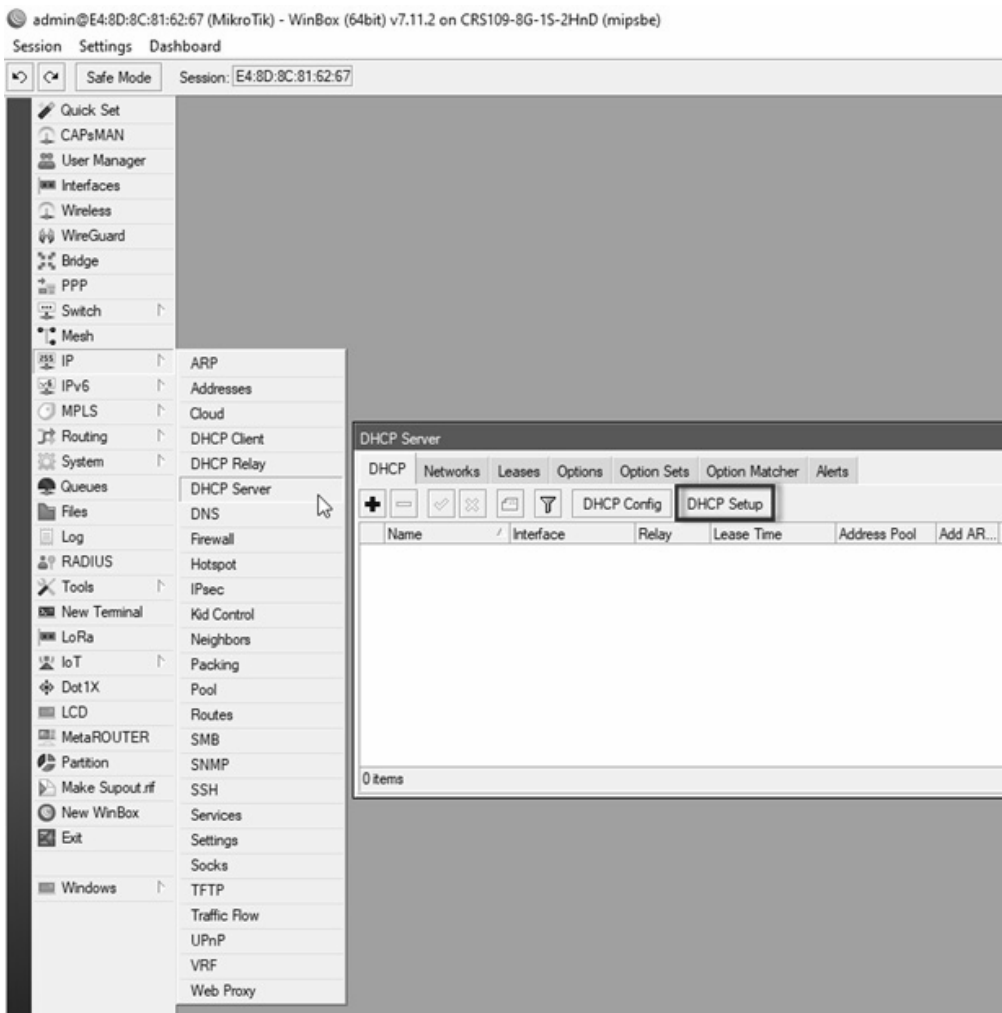


Figura 6.3 - Acceso al Wizard de DHCP Setup
Fuente: MikroTik Winbox

Como se mencionó, si se realizaron previamente todas las configuraciones recomendadas, el proceso de configurar el servidor DHCP será muy sencillo y directo. Básicamente será:

- Ingresar a la interfaz de administración del router/firewall.
- Ir a la sección de configuración de DHCP server.
- Seleccionar la interfaz LAN previamente configurada en la que se habilitará DHCP.
- Activar la opción para habilitar el servidor DHCP en esa interfaz.
- Ingresar el rango de direcciones IP que se entregarán vía DHCP a los clientes de la red local. Asegurarse que no entren en conflicto con IPs estáticas o reservadas.
- Indicar la puerta de enlace predeterminada y los servidores DNS que se proporcionarán. Utilizar los configurados previamente.
- Opcionalmente, ajustar parámetros como lease time, dominio, tiempos de renovación, etc.

Con estos sencillos pasos ya tendremos un servidor DHCP funcionando en la red local, entregando direcciones IP e información de red a los clientes de forma automática.

Luego se pueden agregar opciones más avanzadas como reservas de IP para ciertos dispositivos, seguridad DHCP, entre otros. Pero con la configuración básica es suficiente para comenzar a proporcionar el servicio DHCP en la LAN.

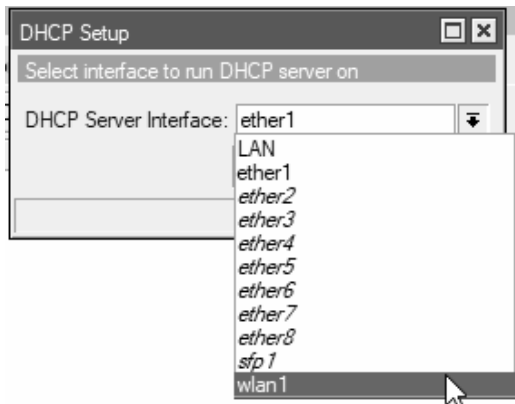


Figura 6.4 - Selección de la Interfaz que proveera DHCP
Fuente: MikroTik Winbox

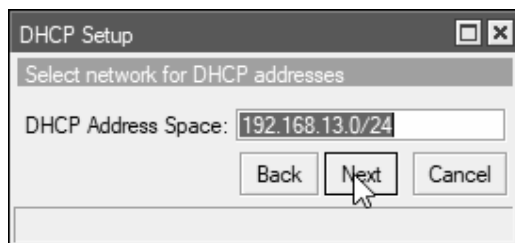


Figura 6.5 - Selección del espacio de direcciones DHCP
Fuente: MikroTik Winbox

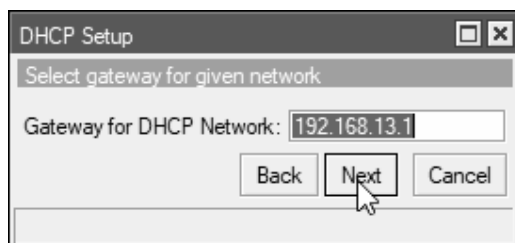


Figura 6.6 - Selección del gateway para el servidor DHCP
Fuente: MikroTik Winbox

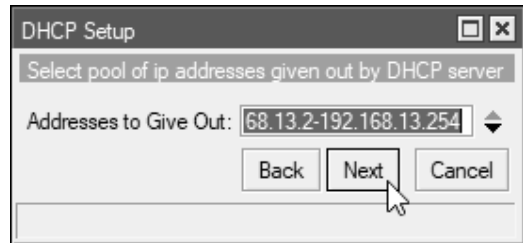


Figura 6.7 - Espacio de direcciones IP del pool del servidor DHCP
Fuente: MikroTik Winbox

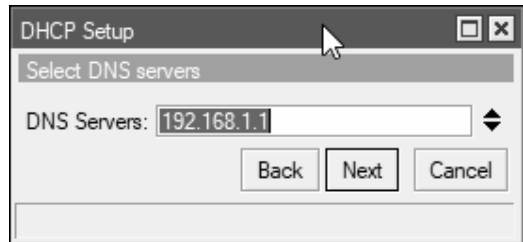


Figura 6.8 - Servidor DNS
Fuente: MikroTik Winbox

Ahora configuraremos el parámetro Lease Time, que es el tiempo que el servidor esperará a un dispositivo que se desconectó antes de poner a disposición la IP que se le otorgó.

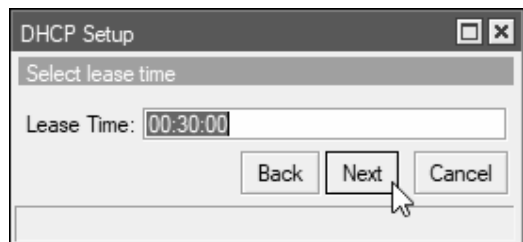


Figura 6.9 - Lease Time servidor DHCP
Fuente: MikroTik Winbox

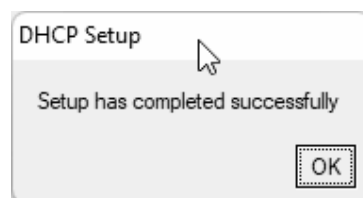


Figura 6.10 - Finalización servidor DHCP
Fuente: MikroTik Winbox

En línea de comandos la configuración se realiza de forma idéntica, como se observa a continuación:

```
[ admin@MikroTik ] > ip dhcp-server setup
Select interface to run DHCP server on

dhcp server interface: LAN
Select network for DHCP addresses

dhcp address space:192.168.13.0/24
Select gateway for given network

gateway for dhcp network:192.168.13.1
Select pool of ip addresses given cut by DHCP server

addresses to give out: 192.168.13.2-192.168.13.254
Select DNS servers

dns servers: 192.168.1.1
Select lease time

lease time:1800
```

6.4.4 Enmascaramiento

La conexión WAN configurada hasta este punto debería permitirnos conectar nuestro o nuestros segmentos LAN a internet. Para lograr esto, es necesario realizar un NAT (Network Address Translation) en nuestro MikroTik, a este proceso normalmente se le conoce como "NATear".

En cuanto a RouterOS, este proceso conserva una convención de la industria relacionada a las distribuciones Linux, donde se le denomina "IP masquerade". Así que comúnmente también nos referimos a esto como "enmascarar el segmento".

Para realizar el NAT en MikroTik/RouterOS se recomienda seguir estos pasos:

6. Ir a la sección "IP" -> "Firewall" en el menú de configuración.
7. Hacer click en el botón "+" para agregar una nueva regla de firewall.
8. En el campo "Chain" seleccionar "srcnat". Esto indica que se trata de una regla de NAT de origen (source NAT).
9. En el campo "Out. Interface" seleccionar la interfaz WAN configurada previamente.
10. Marcar la opción "Masquerade" para habilitar el enmascaramiento de direcciones.

11. En el campo "Src. Address" indicar la subred de la interfaz LAN que se desea NATear.
12. Hacer click en OK para guardar la regla NAT.

Con esto ya debería permitirse el enrutamiento y traducción de direcciones de la LAN hacia WAN, logrando la conectividad a internet deseada. Se pueden agregar reglas adicionales para segmentos LAN adicionales.

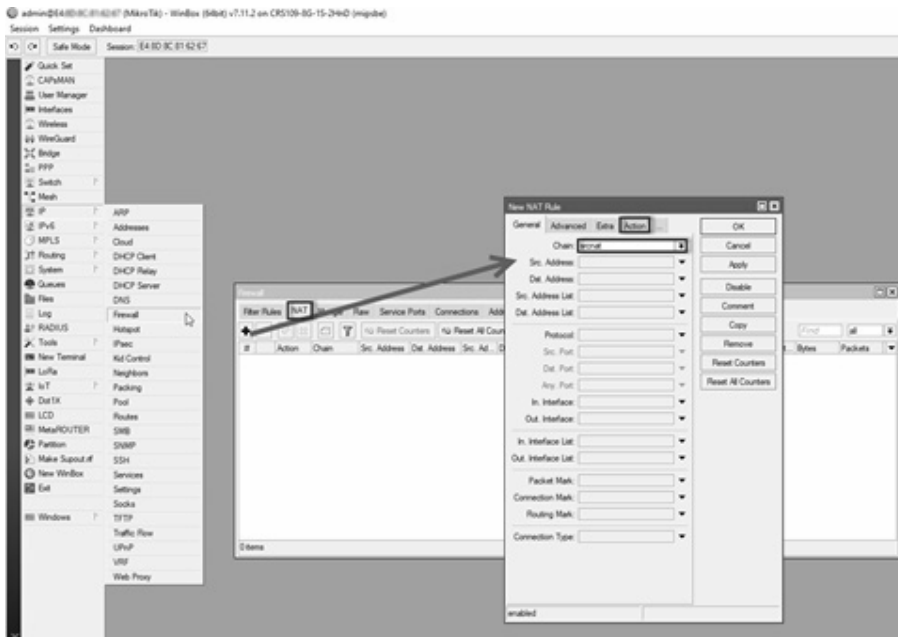


Figura 6.11 -Configuración NAT
Fuente: MikroTik Winbox



Figura 6.12 - Configuración NAT acción masquerade
Fuente: Mikrotik Winbox

Ahora veremos cómo realizar la configuración en línea de comandos:

```
[ admin@MikroTik ] > ip firewall nat add chain=srcnat action=masquerade
```

6.4.5 DNS

Para realizar la configuración del Domain Name System, seguiremos los siguientes pasos:

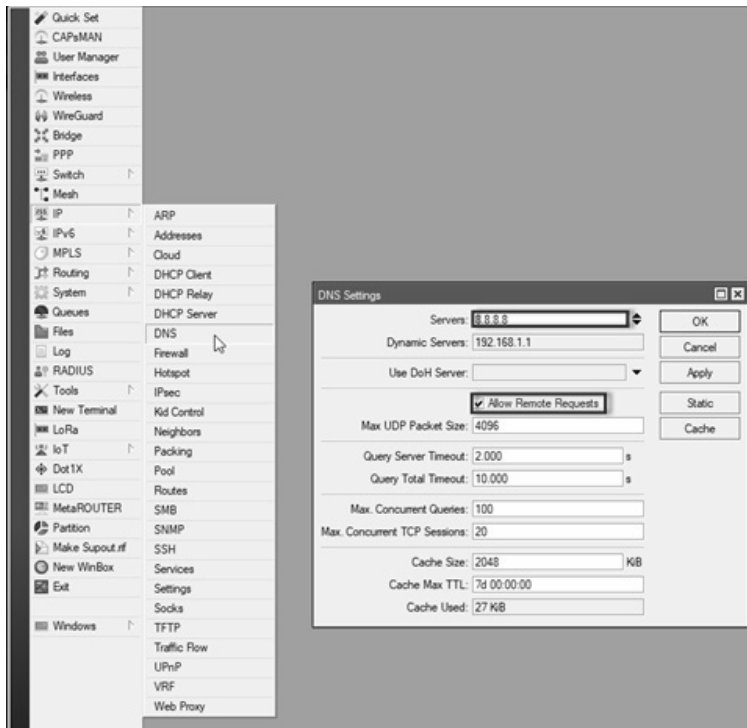


Figura 6.13 - Configuración DNS
Fuente: Mikrotik Winbox

Si la red en la que estamos trabajando posee su propio servidor DNS, entonces debemos configurar la dirección de ese servidor en el parámetro "servers" del DHCP server.

Por ejemplo, en lugar de usar el servidor 8.8.8.8 de Google como se muestra en el ejemplo, se debería indicar la IP del servidor DNS local de la red.

Esto evita tener que hacer consultas DNS constantes hacia internet y reduce el uso de ancho de banda para este propósito.

Además, habilitar la opción "allow remote requests" convierte nuestro equipo Mikrotik en un servidor DNS caché. Esto nos brinda varias ventajas:

- Los dispositivos de la red local usarán al Mikrotik como servidor DNS primario, en lugar de consultar directamente al externo.
- Las consultas DNS se resolverán más rápidamente al obtenerse respuestas de la caché.
- Se disminuye tráfico DNS hacia internet.
- Permite la implementación de opciones avanzadas como split DNS, DNS dinámico, etc.

6.4.6 Ruta por defecto

La ruta por defecto (default route) es aquella que nos permite conectarnos a internet. Comprender su funcionamiento es necesario:

Cuando un router recibe un paquete, intenta reenviarlo hacia la red de destino consultando su tabla de rutas. El router buscará una ruta que coincida exactamente con la red de destino del paquete.

Si no existe una ruta específica, el router verificará si posee una ruta por defecto (ruta 0.0.0.0/0). En caso de tener configurada una ruta por defecto, el router enviará el paquete por esa ruta, sin importar el destino.

Esto es conveniente para el funcionamiento de internet, donde no conocemos necesariamente la red de destino de antemano, pero esperamos que algún router downstream conocerá dicho destino y encaminará el paquete adecuadamente.

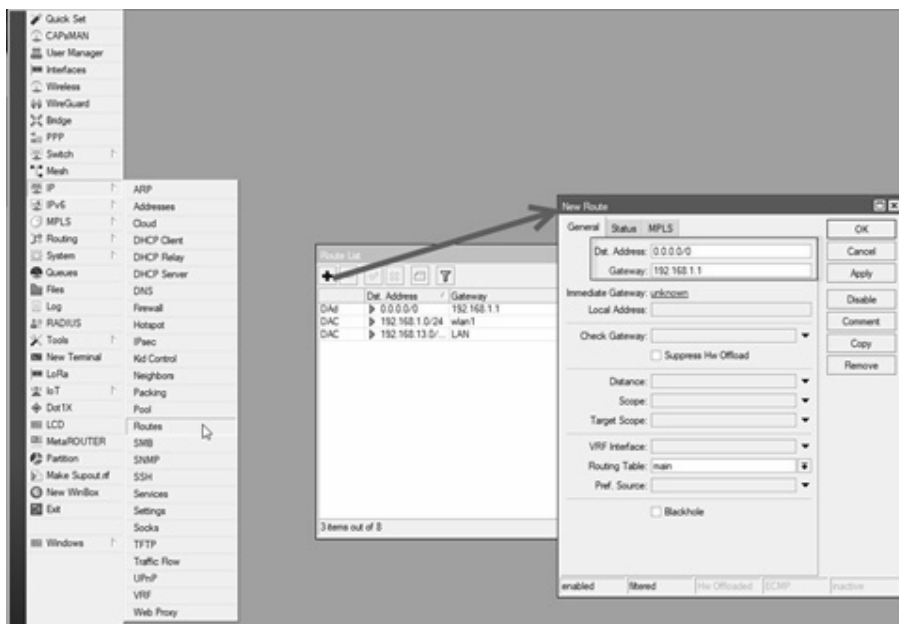


Figura 6.14 - Configuración Ruta estática
Fuente: MikroTik Winbox

En línea de comando

```
[ admin@MikroTik ] > ip route add dst-address=0.0.0.0/0 gateway=192.168.1.1
```

Siempre recuerde configurar la ruta de destino con la máscara 0, es decir 0.0.0.0/0, ya que solo la IP 0.0.0.0 no definirá la ruta.

6.4.7 Enrutamiento

Otra de las configuraciones esenciales es la del enrutamiento, esta configuración es muy sencilla, recordemos que existen tres tipos de rutas:

Directamente Conectado: Estas rutas son las que se crearán cuando configuremos algún segmento de red, el router automáticamente creará una ruta, que le permitirá a todos aquellos que tengan como gateway este dispositivo alcanzar la mencionada red.

Rutas estáticas: Este tipo de rutas permiten un dominio total de las redes que nuestro router manejará, siempre y cuando la red no sea muy extensa, puede ser la forma más adecuada de manejar nuestra red. Al crecer ya no se recomienda este tipo de enrutamiento porque su complejidad se incrementa exponencialmente, requiriendo mucha administración y mantenimiento de la red.

Rutas dinámicas: La mejor opción cuando se tratan de redes grandes (con muchos segmentos de red) y que sean muy dinámicas, presentando cambios constantemente. Este tipo se apoya en protocolos de enrutamiento como:

- RIP (Routing Information Protocol) (120)
- EIGRP (Enhanced Interior Gateway Routing Protocol) (90)
- OSPF (Open Shortest Path First) (110)
- BGP (Border Gateway Protocol) (20)
- IS-IS (Intermediate System to Intermediate System) (115)
- RIPv2 (Routing Information Protocol version 2) (120)
- BABEL (Convergencia inmediata) (N/A)
- EIGRPv6 (EIGRP para IPv6) (90)
- OSPFv3 (OSPF para IPv6) (110)
- ISISv6 (IS-IS para IPv6) (115)

Entre paréntesis se hallan los valores de las distancias administrativas, que es el criterio de selección que usará el router para definir por donde enviar los datos, se prefiere los que tengan valores más bajos, es así que la ruta estática tiene una distancia de 1 y la directamente conectada de 0.

Dado que como se indicó, las rutas directamente conectadas aparecen de forma automática no requieren de mayor explicación, veremos entonces la creación de 3 rutas estáticas, y dejaremos de lado el enrutamiento dinámico para otro libro más especializado en networking que complemente el presente.

Consideremos entonces la topología mostrada en la Figura

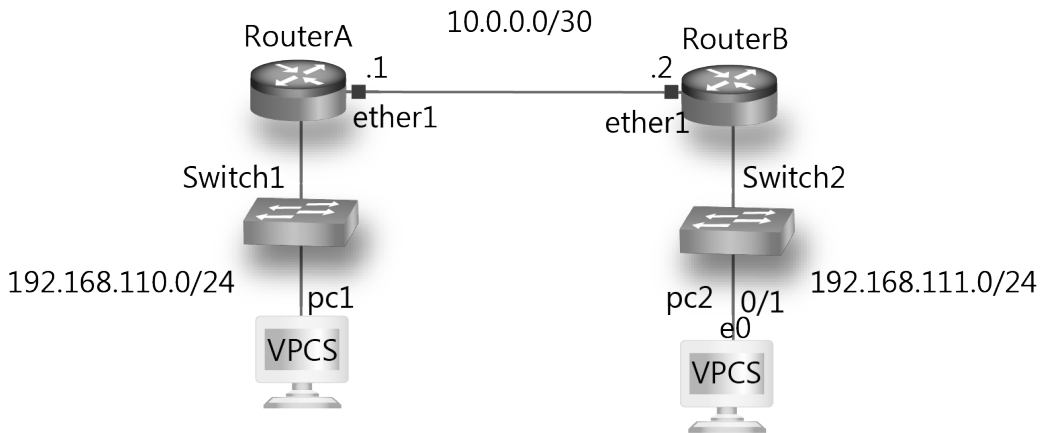


Figura 6.15 - Topología ejemplo enrutamiento estático
Fuente: Elaboración propia

Tome en cuenta que las configuraciones deben realizarse a ambos routers para completar la ruta estática.

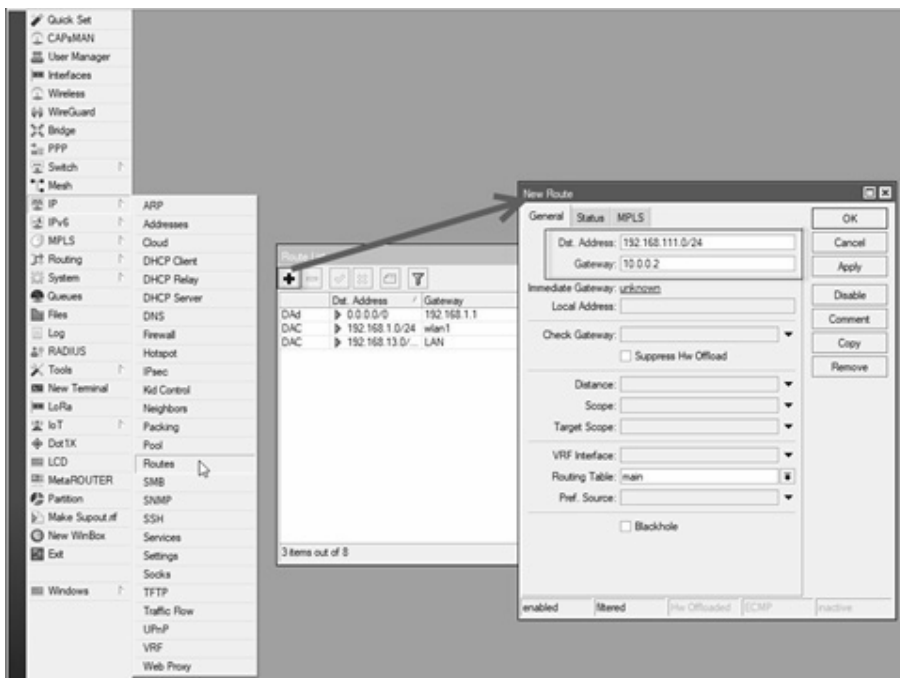


Figura 6.15 - Configuración de ruta estática router A
Fuente: MikroTik Winbox

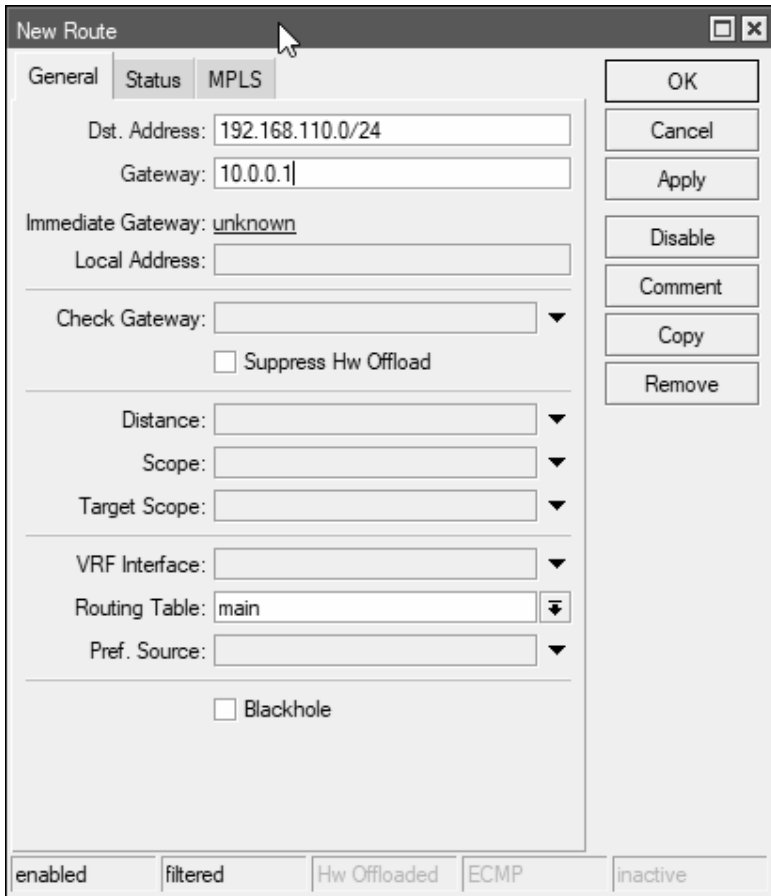


Figura 6.15 - Configuración de ruta estática router B
Fuente: MikroTik Winbox

Vamos un poco más allá, emplearemos la siguiente topología donde aplicaremos todo lo aprendido hasta ahora, para facilitar más la comprensión mostraremos los scripts con comentarios de RouterOS de los dispositivos. Tome en cuenta que lo que venga después del signo “#” no es tomado en cuenta por RouterOS.

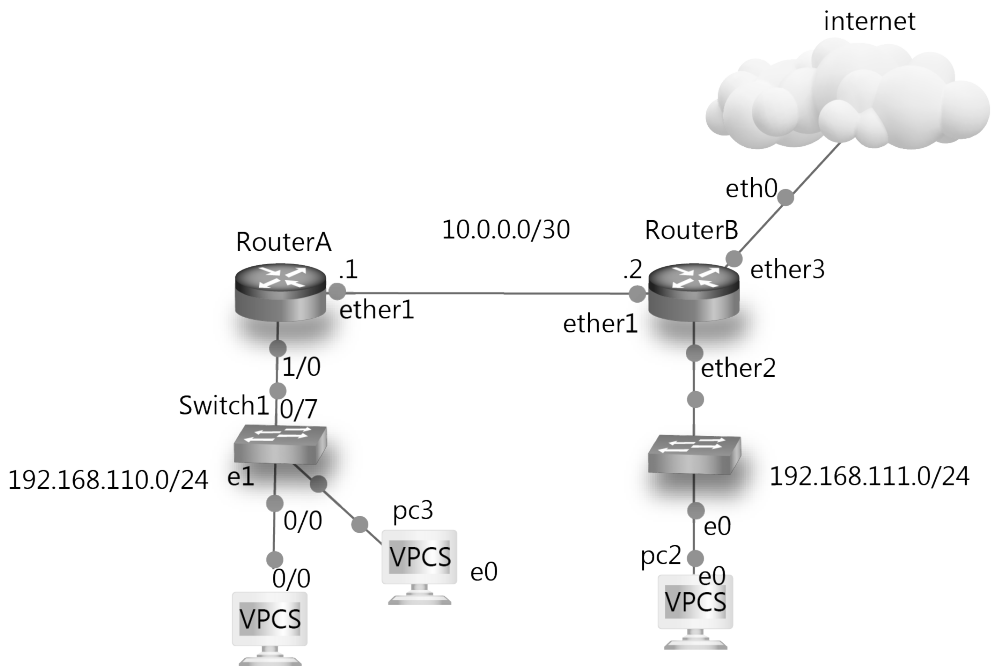


Figura 6. - Topología de práctica
Fuente: Elaboración propia

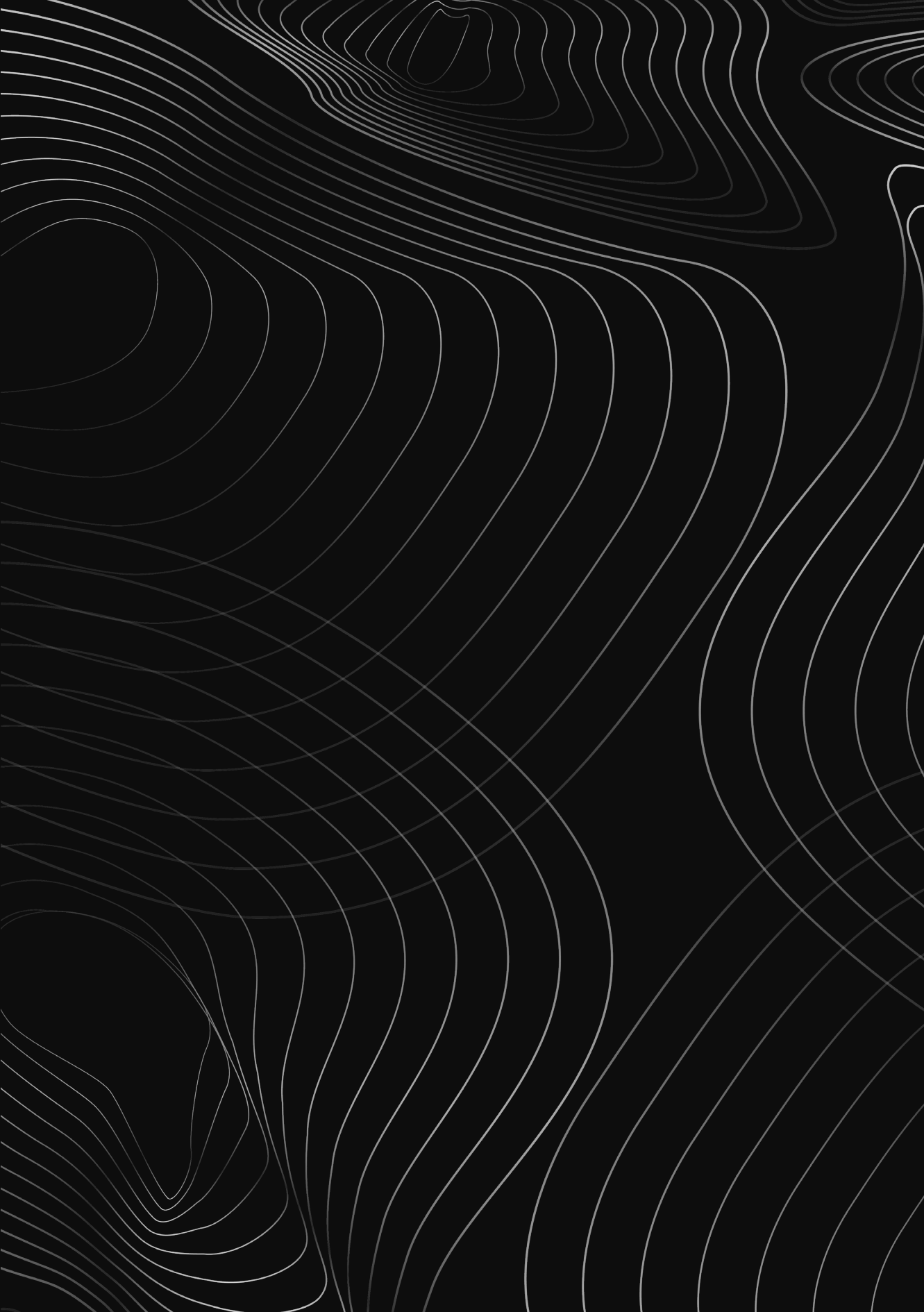
Configuración del Router A:

```

/ip pool
add name= dhcp_pool0 ranges = 192.168.110.2, 192.168.110.254
/ip dhcp-server
add address-pool= dhhp_pool0 interface= ether2 mane= dhcp1
/ip address
add address = 192.168.110.1/24 interface= ether2 network= 192.168.110.0
add address = 10.0.0.1/30 interface= ether1 network= 10.0.0.0
/ip dhcp-client
add interface= ether1
/ip dhcp-server network
add address = 192.168.110.0/24 gateway= 192.168.110.1
/ip dns
add allow-remote-requets= yes seervers = 10.0.0.2
/ip firewall nat
add action= masquerade chain= srcnat
/ip route
add dst-address= 0.0.0.0/0 gateway= 10.0.0.2
add dst-address= 192.168.111.0/24 gateway= 10.0.0.2
/system identity
set name = RA
[ admin@RA] >

```



Anexo A

Infografía

LÍNEA DEL TIEMPO

COMUNICACIONES INALÁMBRICA

JAMES CLERK MAXWELL

Publica la teoría
electromagnética,
predice ondas de
radio

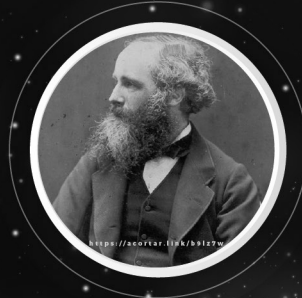
1864



1831

MICHAEL FARADAY

Demuestra la inducción
electromagnética,
posibilitando las
comunicaciones
inalámbricas.



1887

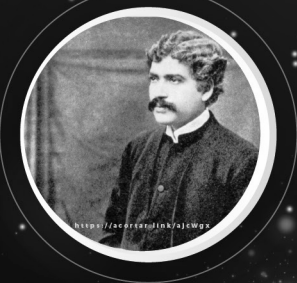
HEINRICH HERZ

Demuestra
experimentalmente
electromagnética

JAGADISH BOSE

Transmite señales
inalámbricas a
corta distancia.

1894



TZ

ondas
as.



1895

GUGLIELMO MARCONI

Transmite señales
de radio a 2.4 km.

MARCONI

Realiza la primera
transmisión
transatlántica de
radio.

1901



F

LEE DE FOREST

Inventa el audión,
amplificador de
señales de radio.



1906

REGINALD FESSENDEN

Transmite la voz
por radio por
primera vez.



1907



1913

EDWIN ARMSTRONG

Inventa el oscilador
y receptor
superheterodino.

PRIMERA ESTACIÓN

De radio comercial KDKA,
100.000 receptores vendidos
en 3 meses.

1920



EDWIN ARMSTRONG

Presenta la FM,
calidad de audio
superior.

1935



1927

PHILO FARNSWORTH

Primera transmisión
de TV por Philo Far-
nsworth.

IG

RED DE CELDAS

Celulares: AT&T propone concepto de celdas hexagonales para telefonía móvil.



1941

HEDY LAMARR

Crea sistema de espectro ensanchado para comunicaciones seguras.

1941



1947

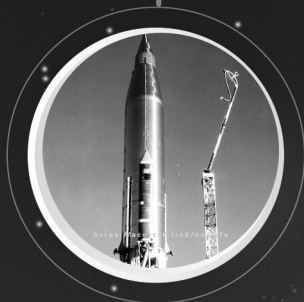
INVENCIÓN

Del transistor, miniaturiza la electrónica.

SCORE EN ÓRBITA

Primer satélite de comunicaciones SCORE en órbita.

1958



1960

THEODORE MAIMAN

Inventa el láser, revolución en fibra óptica.

MARTIN COOPER

Motorola realiza primera llamada con prototipo celular.

1973



AMERITECH

Ameritech lanza el primer sistema celular AMPS en EEUU.



1979

PRIMERA RED CELULAR
1G en Japón, NTT 450 MHz, analógica.

1983



1991

TELEFONÍA 2G
Telefonía 2G digital, 10 veces más capacidad que 1G.



WIFI

IEEE 802.11b,
WiFi de 11 Mbps
de uso masivo.

2001



2007

STEVE JOBS

Presenta el
iPhone, expande
smartphones.

IOT

Crecimiento
exponencial del
IoT empieza a
acelerar.

2008



CELULAR

Más de 5 mil millones de personas (66% mundial) tienen celular.



2009

REDES 4G

Alcanzan 100 Mbps,
12 veces 3G.

2019



2020

IOT

Más de 30 mil millones de dispositivos IoT conectados.







Anexo B

Cuestionarios

Capítulo 1: Fundamentos de las comunicaciones inalámbricas

1. Las ondas se pueden caracterizar por su:

- a) Amplitud
- b) Frecuencia
- c) Longitud de onda
- d) Todas las anteriores

Respuesta: d

2. La unidad básica para medir la frecuencia es:

- a) El Hertz [Hz]
- b) El Ohm [Ω]
- c) El Watt [W]
- d) El Voltio [V]

Respuesta: a

3. ¿Qué causa el fenómeno de interferencia en las ondas?

- a) La superposición de dos o más ondas en un punto
- b) El medio por el que se propaga la onda
- c) La polarización de la onda
- d) La difracción de la onda

Respuesta: a

4. La velocidad de propagación de una onda depende de:

- a) Las propiedades del medio
- b) La amplitud de la onda
- c) La polarización de la onda
- d) La frecuencia de la onda

Respuesta: a

5. ¿Cuál de los siguientes NO es un tipo de polarización en ondas electromagnéticas?

- a) Circular
- b) Elíptica
- c) Isotrópica
- d) Lineal

Respuesta: c

6. La atenuación en una onda electromagnética puede deberse a:

- a) Absorción por el medio
- b) Dispersión
- c) Reflexión
- d) Todas las anteriores

Respuesta: d

7. Un aspecto clave del experimento de Faraday (en el contexto de este libro) fue:

- a) Descubrir la inducción electromagnética
- b) Inventar el motor eléctrico
- c) Desarrollar la primera bobina
- d) Ninguna de las anteriores

Respuesta: a

8. La ley de Lenz establece que:

- a) El sentido del campo magnético depende de la corriente eléctrica
- b) El sentido de la corriente eléctrica depende del campo magnético
- c) No hay relación entre corriente y campo magnético
- d) La intensidad del campo magnético es proporcional a la corriente

Respuesta: a

9. Para convertir potencia en dBm se utiliza la ecuación:

- a) $\text{dBm} = 10\log(P/1\text{mW})$
- b) $\text{dBm} = 10P$
- c) $\text{dBm} = P/1\text{mW}$
- d) $\text{dBm} = \log(P)$

Respuesta: a

10. Si una antena tiene 0 dBi, significa que es:

- a) Isotrópica
- b) Unidireccional
- c) Omnidireccional
- d) Bidireccional

Respuesta: a

11. La ganancia en dBm se utiliza para medir:

- a) La potencia de salida de un amplificador
- b) La sensibilidad de un receptor
- c) La direccionalidad de una antena
- d) La impedancia de un cable

Respuesta: a

12. Una señal con potencia de 2 mW expresada en dBm es:

- a) 0 dBm
- b) 3 dBm
- c) 10 dBm
- d) 20 dBm

Respuesta: b

13. Una pérdida de 3 dB equivale a reducir la potencia a la:

- a) Mitad
- b) Tercera parte
- c) Cuarta parte
- d) Décima parte

Respuesta: a

14. La polarización de una onda electromagnética es:

- a) La dirección de oscilación
- b) La dirección de propagación
- c) La amplitud de oscilación
- d) La fase de oscilación

Respuesta: a

15. Una de las aplicaciones de la difracción es en el diseño de:

- a) Antenas
- b) Amplificadores
- c) Receptores
- d) Transmisores

Respuesta: a

16. ¿Cuál es la propagación predominante en ondas sonoras?

- a) Transversal
- b) Longitudinal

Respuesta: b

17. La reflexión ocurre cuando una onda pasa de un medio:

- a) Menos denso a uno más denso
- b) Más denso a uno menos denso
- c) De igual densidad

Respuesta: a

18. ¿Qué produce el fenómeno de refracción en las ondas?

- a) Cambio de dirección al cambiar de medio
- b) Cambio de amplitud al cambiar de medio
- c) Cambio de frecuencia al cambiar de medio
- d) Ninguna de las anteriores

Respuesta: a

19. Según la conservación de la energía, en una transmisión inalámbrica se produce:

- a) Conversión de energía eléctrica a electromagnética
- b) Conversión de energía electromagnética a eléctrica
- c) Creación de energía a partir de la nada
- d) Destrucción de energía

Respuesta: a

20. Las ondas electromagnéticas sufren atenuación en el espacio libre debido a:

- a) Absorción
- b) Dispersión natural de la energía
- c) Interferencia
- d) Reflexión

Respuesta: b

Capítulo 2: Transmisión de Ondas y Propagación en el Espacio

1. ¿Qué produce un dipolo al ser excitado con una corriente alterna?

- a) Campo magnético
- b) Campo eléctrico
- c) Ondas electromagnéticas
- d) Ninguna de las anteriores

Respuesta: c

2. ¿En qué instante del periodo se genera la máxima deformación del campo electromagnético alr DTU DTU6

- a) $T/4$
- b) $T/2$
- c) $3T/4$
- d) T

Respuesta: a

3. La relación ideal entre la longitud de onda λ y la longitud L de un dipolo es:

- a) $L = \lambda$
- b) $L = \lambda/2$
- c) $L = 2\lambda$
- d) $L = \lambda/4$

Respuesta: b

4. ¿Qué tipo de antena tiene un diseño en forma de hélice?

- a) Yagi-Uda
- b) Parabólica
- c) Bocina
- d) Helicoide

Respuesta: d

5. ¿Qué capa de la atmósfera contiene la capa de ozono?

- a) Troposfera
- b) Mesosfera
- c) Estratosfera
- d) Ionosfera

Respuesta: c

6. La inclinación del eje de rotación de la Tierra es de aproximadamente:

- a) 10 grados
- b) 45 grados
- c) 23.5 grados
- d) 90 grados

Respuesta: c

7. El gas mayoritario en la composición de la atmósfera terrestre es:

- a) Helio
- b) Oxígeno
- c) Dióxido de carbono
- d) Nitrógeno

Respuesta: d

8. La capa más cercana a la superficie terrestre es la:

- a) Mesosfera
- b) Ionosfera
- c) Exosfera
- d) Troposfera

Respuesta: d

9. La presión atmosférica en la tropósfera:

- a) Permanece constante
- b) Aumenta con la altitud
- c) No tiene relación con la altitud
- d) Disminuye con la altitud

Respuesta: d

10. ¿Qué fenómeno atmosférico permite las comunicaciones de radio de onda corta?

- a) Viento
- b) Ablación
- c) Refracción
- d) Reflexión ionosférica

Respuesta: d

11. Las pérdidas por espacio libre dependen de:

- a) La potencia de transmisión
- b) La ganancia de antena
- c) La distancia y frecuencia
- d) La modulación

Respuesta: c

12. A mayor frecuencia de la señal, las pérdidas en el espacio libre:

- a) Disminuyen
- b) Permanecen igual
- c) Aumentan
- d) Se vuelven cero

Respuesta: c

13. ¿Qué material NO provoca grandes pérdidas en microondas?

- a) Metal
- b) Agua
- c) Vidrio
- d) Madera

Respuesta: d

14. Las zonas de Fresnel modelan:

- a) Pérdidas por reflexión
- b) Interferencia con otras señales
- c) El espacio libre necesario entre antenas
- d) Absorción atmosférica

Respuesta: c

15. Si un obstáculo bloquea más del 40% de la primera zona de Fresnel, se tendrá:

- a) Aumento de la potencia
- b) Dispersión de la onda
- c) Pérdidas significativas
- d) Ganancia de antena

Respuesta: c

16. Para obtener un enlace robusto se debe analizar:

- a) La modulación
- b) Las zonas de Fresnel
- c) El canal de propagación
- d) La línea de vista

Respuesta: c

17. ¿Cuál de estas NO es una causa de atenuación de señales inalámbricas?

- a) Dispersión geométrica
- b) Contaminación electromagnética
- c) Aumento de la potencia isotrópica
- d) Condiciones climáticas adversas

Respuesta: c

18. Las zonas de Fresnel permiten determinar:

- a) La modulación ideal
- b) La frecuencia de operación
- c) La altura mínima de las antenas
- d) El ancho de banda necesario

Respuesta: c

19. ¿Qué produce pérdidas por dispersión de las ondas electromagnéticas?

- a) La propagación en el vacío
- b) Los obstáculos metálicos
- c) La lluvia intensa
- d) La estratosfera

Respuesta: c

20. La relación entre longitud de onda y frecuencia viene dada por:

- a) $\lambda = c/f$
- b) $\lambda = f/c$
- c) $f = c/\lambda$
- d) $f = \lambda/c$

Respuesta: a

Capítulo 3: Espectro Electromagnético y Ancho de Banda

1. El espectro electromagnético abarca un rango de frecuencias que se extiende desde:

- a) Ondas de radio hasta rayos gamma
- b) Infrarrojo hasta ultravioleta
- c) Microondas hasta luz visible

Respuesta: a) Ondas de radio hasta rayos gamma

2. Las ondas de radio y microondas se usan ampliamente en comunicaciones inalámbricas por su capacidad de:

- a) Penetrar objetos sólidos
- b) Transmisión a largas distancias
- c) Enviar grandes cantidades de energía

Respuesta: b) Transmisión a largas distancias

3. Cuando múltiples señales utilizan la misma frecuencia pueden interferir entre sí. (V/F)

Respuesta: V

4. El ancho de banda indica:

- a) El rango de frecuencias que ocupa una señal
- b) La modulación utilizada por una señal
- c) La potencia de transmisión de una señal

Respuesta: a) El rango de frecuencias que ocupa una señal

5. Un mayor ancho de banda permite alcanzar _____ velocidades de transmisión.

- a) menores
- b) iguales
- c) mayores

Respuesta: c) mayores

6. Las señales de video requieren _____ ancho de banda que las de audio.

- a) menor
- b) igual
- c) mayor

Respuesta: c) mayor

7. Las autoridades asignan porciones específicas del espectro a diferentes tecnologías según sus requerimientos de ancho de banda. (V/F)

Respuesta: V

8. Las ondas de mayor ancho de banda se propagan igual de bien que las de menor ancho. (V/F)

Respuesta: F

9. En aplicaciones como el control industrial se prioriza _____ sobre la velocidad de transmisión.

- a) capacidad
- b) confiabilidad
- c) eficiencia espectral

Respuesta: b) confiabilidad

10. La interferencia electromagnética se genera por:

- a) Señales deseadas que se combinan
- b) Señales no deseadas que se acoplan a sistemas
- c) Ruido ambiental natural

Respuesta: b) Señales no deseadas que se acoplan a sistemas

11. El ruido en telecomunicaciones puede deberse a múltiples fuentes tanto internas como externas al sistema de comunicación. (V/F)

Respuesta: V

12. Técnicas como filtrado y codificación de señal ayudan a _____ los efectos de la interferencia y el ruido.

- a) amplificar
- b) monitorear
- c) mitigar

Respuesta: c) mitigar

13. La UIT es un organismo internacional que regula el uso del espectro a nivel global. (V/F)

Respuesta: V

14. Los gobiernos adaptan las regulaciones internacionales del espectro a través de _____.

- a) Leyes nacionales
- b) Acuerdos regionales
- c) Estándares abiertos

Respuesta: a) Leyes nacionales

15. Un adecuado control del espectro promueve el desarrollo ordenado de las telecomunicaciones. (V/F)

Respuesta: V

16. El espectro electromagnético se puede segmentar en bandas de frecuencia. (V/F)

Respuesta: V

17. La _____ es la unidad más común para medir la potencia de las señales de telecomunicaciones.

- a) Miliwatt
- b) Decibelio
- c) Hertz

Respuesta: b) Decibelio

18. Una potencia de señal demasiado alta puede causar interferencias en otros sistemas. (V/F)

Respuesta: V

19. Los equipos de telecomunicaciones deben cumplir estándares técnicos establecidos en las regulaciones del espectro. (V/F)

Respuesta: V

20. Comprender los conceptos del espectro electromagnético es clave para el desarrollo de tecnologías inalámbricas. (V/F)

Respuesta: V

Capítulo 4: Sistemas de comunicaciones inalámbricos

1. Las antenas convierten las señales _____ en ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio.

- a) Mecánicas
- b) Eléctricas
- c) Químicas
- d) Térmicas

Respuesta: b) Eléctricas

2. Un parámetro clave de las antenas es la _____, medida en decibeles isotrópicos (dBi).

- a) Impedancia
- b) Directividad
- c) Ganancia
- d) Selectividad

Respuesta: c) Ganancia

3. Antenas más grandes y de mayor ganancia pueden causar niveles significativos de _____ en áreas aledañas.

- a) Radiación
- b) Refracción
- c) Difracción
- d) Reflexión

Respuesta: a) Radiación

4. La potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) del sistema completo conformado por radio y antena, debe limitarse para cumplir con normativas que restringen la contaminación electromagnética. (V/F)

Respuesta: V

5. Los radios consisten en un _____ de potencia caracterizado por su ganancia máxima.

- a) Oscilador
- b) Modulador
- c) Amplificador
- d) Demodulador

Respuesta: c) Amplificador

6. A diferencia de las antenas, incrementar la ganancia del radio no altera significativamente sus _____ .

- a) Dimensiones físicas
- b) Frecuencia de operación
- c) Selectividad
- d) Impedancia

Respuesta: a) Dimensiones físicas

7. La gestión inteligente del tráfico por parte del sistema operativo es clave para aprovechar al máximo la capacidad de la red. (V/F)

Respuesta: V

8. Los protocolos específicos empaquetaron, transportaron y ensamblaron los datos en ceros y unos para mostrar las letras comprensibles en pantalla. (V/F)

Respuesta: V

9. Los enlaces punto a punto se utilizan para conectar _____ sitios remotos.

- a) Tres
- b) Cuatro
- c) Cinco
- d) Dos

Respuesta: d) Dos

10. Los enlaces punto multipunto buscan conectar a todos los clientes a la red principal de forma _____.

- a) Secuencial
- b) Simultánea
- c) Alternada
- d) Diferida

Respuesta: b) Simultánea

11. Las torres son pintadas de dos colores, blanco y rojo, indicando la altura de la estructura. (V/F)

Respuesta: V

12. Las torres monopolo requieren _____ para brindar estabilidad.

- a) Tirantes
- b) Péndolas
- c) Rendas
- d) Puntales

Respuesta: c) Rendas

13. Las torres tubulares están fabricadas con tramos de _____ de acero unidos por bridas.

- a) Barras
- b) Vigas
- c) Tubo
- d) Ángulos

Respuesta: c) Tubo

14. Las torres milimétricas son de _____ para small cells y 5G.

- a) Gran altura
- b) Mediana altura
- c) Baja altura
- d) Altura variable

Respuesta: c) Baja altura

15. Los ISP de nivel 1 se conocen también como _____.

a) Provinciales

b) Municipales

c) Globales

d) Locales

Respuesta: c) Globales

16. Los ISP de nivel 3 dependen de los niveles 1 y 2 para ofrecer acceso a Internet a sus clientes. (V/F)

Respuesta: V

17. Según el INE, el 2021 el internet en hogares urbanos en Bolivia fue de _____.

a) 45,7%

b) 60,4%

c) 15,2%

d) 28,7%

Respuesta: b) 60,4%

18. Los WISP utilizan tecnologías inalámbricas como WiFi, WiMAX y enlaces de microondas. (V/F)

Respuesta: V

19. Los WISP en Bolivia proveen cobertura de _____ en zonas rurales.

a) Primera milla

b) Segunda milla

c) Última milla

d) Penúltima milla

Respuesta: c) Última milla

20. Fomentar el crecimiento de redes WISP permite reducir la _____ en zonas desatendidas.

- a) Congestión
- b) Contaminación
- c) Brecha digital
- d) Interferencia

Respuesta: c) Brecha digital

Capítulo 5: Tecnologías y Estándares en Redes Inalámbricas

1. Las antenas convierten las señales eléctricas en ondas electromagnéticas que se propagan por el _____

Respuesta: espacio.

2. Los enlaces punto a punto se utilizan para conectar dos sitios remotos normalmente con antenas _____

Respuesta: altamente direccionales.

3. Los ISP de menor nivel dependen de los más grandes para poder ofrecer a sus clientes acceso a _____

Respuesta: Internet.

4. Los radios de alta potencia no causan problemas si se implementan controles adecuados.

Respuesta: Falso

5. En Bolivia al 2023 existen proveedores de internet clasificados como Tier 1.

Respuesta: Falso

6. Los WISP cumplen un importante rol social en zonas rurales y periurbanas.

Respuesta: Verdadero

7. ¿Qué tipo de enlace se utiliza para dar conectividad a múltiples usuarios en un área geográfica?

- a) Punto a punto
- b) Punto a multipunto
- c) Mallado
- d) Satelital

Respuesta: b

8. ¿Qué departamento de Bolivia tiene la menor penetración de acceso a internet en hogares?

- a) Santa Cruz
- b) La Paz
- c) Cochabamba
- d) Potosí

Respuesta: d

9. ¿Qué bandas del espectro suelen utilizar los WISP de bajo costo para dar servicio?

- a) 450 MHz
- b) 850 MHz
- c) 2.4 y 5 GHz
- d) 600 MHz

Respuesta: c

10. Los enlaces punto a punto pueden manejarse en la _____ del modelo OSI.

Respuesta: capa 2

11. Al 2023, _____ es la empresa proveedora de internet fijo y móvil más grande en Bolivia.

Respuesta: Entel

12. La _____ se refiere a la red de agregación entre centrales locales e intermedias.

Respuesta: segunda milla

13. Las antenas de mayor tamaño siempre son mejores porque proveen más ganancia.

Respuesta: Verdadero

14. Los sistemas operativos de gestión de tráfico definen si la operación es en capa 2 o 3.

Respuesta: Verdadero

15. Los ISP Tier 1 no dependen de otras redes para dar conectividad global.

Respuesta: Verdadero

16. ¿Qué provee la inteligencia que hace usable la información en redes de comunicación?

- a) Las antenas
- b) Los radios
- c) Los routers
- d) Los sistemas operativos y protocolos

Respuesta: d

17. ¿Qué tecnología es la más utilizada para acceso a internet en hogares bolivianos?

- a) ADSL
- b) Cable
- c) Fibra óptica
- d) Telefonía móvil 3G/4G

Respuesta: d

18. ¿Qué factor NO se considera para clasificar ISPs por niveles?

- a) Tamaño de su red
- b) Capacidad de conectividad
- c) Zona geográfica
- d) Cantidad de usuarios

Respuesta: d

19. ¿Qué desventaja tiene un enlace inalámbrico punto a multipunto?

- a) Complejidad en la implementación
- b) Costo elevado
- c) Probabilidad de interferencias
- d) Velocidad limitada

Respuesta: c

20. ¿Qué tipo de estructuras NO requieren cálculo estructural?

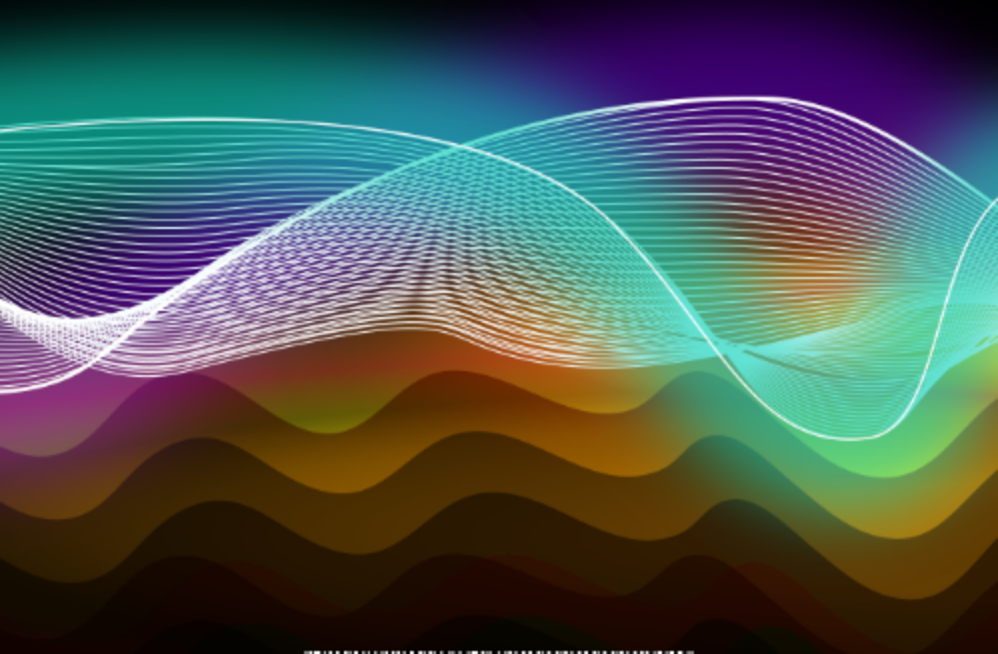
- a) Autoportantes
- b) Tubulares
- c) Reticuladas
- d) Arriostradas

Respuesta: b

21. ¿Qué componente es el más costoso en infraestructura inalámbrica?

- a) Las antenas
- b) Los radios
- c) Las estructuras
- d) El cableado

Respuesta: c



978-99974-22-22-4