



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE CIENCIAS, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

RETOS EN EL DISEÑO DE ANTENAS PARA APLICACIONES IOT

TRABAJO MONOGRÁFICO
PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERO EN REDES

PRESENTA

JESÚS FRANCISCO ESTRADA CORTEZ

SUPERVISORES

DR. JAVIER VÁZQUEZ CASTILLO

M.T.I. VLADIMIR VENIAMIN CABAÑAS VICTORIA

DR. JAIME SILVERIO ORTEGÓN AGUILAR

M.T.I. MELISSA BLANQUETO ESTRADA

M.S.I. LAURA YÉSICA DÁVALOS CASTILLA



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, MARZO DE 2023





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE CIENCIAS, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

TRABAJO MONOGRÁFICO TITULADO

“RETOS EN EL DISEÑO DE ANTENAS PARA APLICACIONES IOT”

ELABORADO POR

JESÚS FRANCISCO ESTRADA CORTEZ

BAJO SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DEL PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO EN REDES

COMITÉ SUPERVISOR

SUPERVISOR:

DR. JAVIER VAZQUEZ CASTILLO

SUPERVISOR:

M.T.I. VLADIMIR VENIAMIN CABAÑAS VICTORIA

SUPERVISOR:

DR. JAIME SILVERIO ORTEGÓN AGUILAR

SUPERVISORA SUPLENTE:

M.T.I. MELISSA BLANQUETO ESTRADA

SUPERVISORA SUPLENTE:

M.S.I. LAURA YÉSSICA DÁVALOS CASTILLA



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, MARZO DE 2023



Resumen

Muchas de las aplicaciones IoT demandan ciertos requerimientos en cuanto a ancho de banda, frecuencia de operación, entre otros; hoy en día existen muchos tipos de aplicaciones orientadas a IoTs, lo cual impactará en los requerimientos y especificaciones de diseño de las antenas. Sin embargo, surge un requerimiento de diseño que sobresale a la hora de diseñar antenas para IoT, la miniaturización.

En el capítulo 1 se describen los objetivos del proyecto, así como su alcance y la metodología utilizada para llevarlo a cabo.

En el capítulo 2 analizamos los diferentes puntos que se tienen que tomar en cuenta en el diseño de estas antenas y su producción, los factores ambientales y por supuesto los factores humanos, así como ejemplos de las antenas más usadas en dispositivos de este tamaño, sus especificaciones y formas de elaborarlas.

El capítulo 3 contiene las fases para el diseño de las antenas. así como la descripción de los componentes mas importantes para su construcción.

El capítulo 4 muestra que la complejidad del diseño de la antena es independiente de la complejidad del dispositivo al que va acoplada, esto quiere decir que no importa si el dispositivo es muy complejo puede ir acoplado a una antena de muy simple diseño o por el contrario un dispositivo muy simple puede requerir un diseño de antena compleja por las diferentes características del ambiente u otros factores, algunos de los cuales pueden ser por ejemplo; si el dispositivo va a estar fijado a la pared o ser manejado por el usuario. Otra cosa a tomar en cuenta en el diseño de antenas es la capacidad de evaluar la efectividad de una antena ya que, aunque tengas la hoja de datos de tu antena, su desempeño varia con el entorno y el dispositivo, la mayoría del tiempo se basa en prueba y error ya que para poder medirlo de la mejor manera posible sin tener que someter a cambios constantes es requerida de una cámara de eco y esa herramienta no es algo que esté disponible para todos.

Agradecimientos

Este trabajo monográfico no hubiera sido posible sin el apoyo de varias personas a las que me gustaría expresar mi agradecimiento.

En primer lugar, a mi tutor el M.T.I. Vladimir Veniamin Cabañas Victoria quien me ha estado presente en cada uno de los pasos de la realización de este trabajo y ha demostrado una capacidad de empatía y comprensión sin los cuales este trabajo no hubiera sido posible.

A mi familia, que me apoyaron en todo este proceso y por la paciencia y amor.

Dedicatoria

Dedico este trabajo con gran amor a toda mi familia por el apoyo incondicional, por siempre impulsarme a ser mejor y lograr con éxito mi carrera

Contenido

Resumen	i
Agradecimientos	ii
Dedicatoria.....	iii
Contenido	i
Tabla de ilustraciones	iv
Capítulo 1 Introducción	1
Objetivo general	2
Objetivos particulares:	2
Alcance	2
Metodología de la investigación.....	2
Metodología para una investigación documental.....	3
Capítulo 2 Marco Teórico	4
Las antenas.....	4
Diagrama de radiación	5
Plano Azimut.....	5
Plano de elevación.....	6
Características importantes de una antena.....	7
VSWR.....	9
Efectos en el cable:.....	9
¿Por qué es importante el VSWR?	10
¿Cómo afecta la VSWR al rendimiento de un sistema transmisor?	10

Tipos de antenas	12
Antenas isotrópicas.....	12
Antenas Omnidireccionales.....	12
Antena Direccional.....	13
Modelos de antenas	14
Antenas Dipolo.....	14
Antenas Dipolo Multi-Elemento.	15
Antenas Yagi.	16
Antenas Panel Plano (Flat Panel).	16
Antenas Parabólicas.	18
Antenas Microstrip	19
Capítulo 3 Diseño de una antena	21
Fases del diseño de la antena.	21
Especificación de requerimientos.....	21
Conceptuado de hardware.	21
Desarrollo del hardware.	21
Validación de hardware.....	22
Producción.	22
El impacto de la antena en el Link Budget.....	22
¿Qué es el Link Budget?.....	23
La sensibilidad de la antena	23
Sensibilidad en el espacio cercano	23
Sensibilidad en el espacio lejano	23
Sensibilidad de las antenas al entorno e integración de diseño	24

Parámetros de la antena que importan.....	26
Volumen.....	26
Ubicación de la antena.....	26
Otros componentes cercanos a la antena.	26
El encapsulado del dispositivo.	27
Consideraciones para la elección de una antena	27
Interna o externa.....	27
Nivel de integración.	28
Capacidad de inversión de recursos y tiempo.	29
Prototipos.....	29
El entorno del dispositivo.	29
Volumen de producción.	29
El mejor tipo de antena para IoT.....	30
Las antenas PCB.....	30
¿Qué es una antena PCB?	30
Ventajas de una antena PCB.....	30
Aplicaciones.....	31
Tamaño.....	31
Forma y grosor.....	32
El Ground Plane.....	32
Impedancia	32
Ancho de banda.....	33
Eficiencia	33
Diseño de antenas PCB.....	34

Retos en el diseño de antenas PCB.....	34
Tipos de antenas PCB	35
Capítulo 4 Conclusiones	40
Bibliografía	42

Tabla de ilustraciones

Figura 1 Plano Azimuth horizontal de una antena Litebeam AC GEN2 Ubiquiti.	5
Figura 2 Plano de elevación horizontal de una antena Litebeam AC GEN2 Ubiquiti.	6
Figura 3 Patrón de radiación de una antena estándar. (Creación propia).....	7
Figura 4 Calculo de la ganancia de una antena (Creación propia)	8
Figura 5 Esquema de propagación de antena wifi omnidireccional. (Padrisa, 2016)	13
Figura 6 Patrón de ganancia de las antenas direccionales. (Padrisa, 2016)	14
Figura 7 a) Patrón de elevación de un dipolo genérico b) Patrón de azimuth de un dipolo genérico c) Patrón de radiación 3D. (WNI, s.f.).....	14
Figura 8 Patrón de Elevación de una antena multi-dipolo. (WNI, s.f.).....	15
Figura 9 Construcción de una antena Yagi. (WNI, s.f.).....	16
Figura 10 Patrón de Radiación en Elevación Yagi. (WNI, s.f.).....	16
Figura 11 Patrón de Elevación Flat Panel de Alta Ganancia. (WNI, s.f.)	17
Figura 12 Patrón de Azimut Flat Panel de Alta Ganancia. (WNI, s.f.).....	18
Figura 13 Patrón de Elevación de Plato Parabólico. (WNI, s.f.).....	19
Figura 14 Patrón de Elevación de una antena multi-dipolo. (WNI, s.f.).....	20
Figura 15 El Link Budget (Creación propia).....	22

Figura 16 Campo cercano vs campo lejano (Creación propia)	24
Figura 17 Antena unipolar plegada sobre un PCB grande y uno chico. (Creación propia).....	25
Figura 18 Antena de microbanda.	28
Figura 19 Antena de hélice. (Shootthedevegru, 2008)	28
Figura 20 Ejemplo de bajo nivel de integración. (Yohann Robert, 2016)	29
Figura 21 Ejemplo de alto nivel de integración. (Yohann Robert, 2016)	29
Figura 22 Diferentes formas de la antena de ciclo. (Y, Electronics desk, 2022) ...	35
Figura 23 Estructura de una antena Microstrip. (Y, Electronics Desk, 2022)	36
Figura 24 Antena en forma de F invertida (izquierda) típica y antena PIFA típica (derecha). (Miron, 2018)	37
Figura 25 La antena PIFA permite montar varios componentes debajo de ella, como un módulo RF. (Miron, 2018)	38
Figura 26 Antena de ranura del radar marino. (Isolution, 2020)	38
Figura 27 Patrón de radiación omnidireccional de una antena de ranura. (Isolution, 2020).....	39

Capítulo 1 Introducción

Muchas de las aplicaciones IoT demandan ciertos requerimientos en cuanto a ancho de banda, frecuencia de operación, entre otros; hoy en día existen muchos tipos de aplicaciones orientadas a IoTs, lo cual impactará en los requerimientos y especificaciones de diseño de las antenas. Sin embargo, surge un requerimiento de diseño que sobresale a la hora de diseñar antenas para IoT, la miniaturización. En este documento, analizaremos los diferentes puntos que se tienen que tomar en cuenta en el diseño de estas antenas y su producción, los factores ambientales y por supuesto los factores humanos, así como ejemplos de las antenas más usadas en dispositivos de este tamaño, sus especificaciones y formas de elaborarlas.

El diseño de la antena es la parte más engañosa del diseño de dispositivos. La complejidad del diseño de la antena es independiente de la complejidad del dispositivo al que va acoplada, esto quiere decir que no importa si el dispositivo es muy complejo puede ir acoplado a una antena de muy simple diseño o por el contrario, un dispositivo muy simple puede requerir un diseño de antena compleja por las diferentes características del ambiente u otros factores, algunos de los cuales pueden ser por ejemplo; si el dispositivo va a estar fijado a la pared o será manipulado por el usuario. Otra cosa que tomar en cuenta en el diseño de antenas es la capacidad de evaluar la efectividad de una antena ya que, aunque tengas la hoja de datos de tu antena, su desempeño varía con el entorno y el dispositivo, la mayoría del tiempo se basa en prueba y error, ya que para poder medirlo de la mejor manera posible sin tener que someter a cambios constantes es requerida de una cámara de eco y este tipo de herramientas no es algo que esté disponible para todos.

Objetivo general

Analizar los retos actuales en el diseño de antenas que son utilizadas para implementar Internet de las Cosas.

Objetivos particulares:

- Revisar el estado del arte sobre antenas utilizadas en aplicaciones IoT.
- Identificar los retos actuales en el diseño de antenas para dispositivos IoT.
- Determinar los modelos de antenas más utilizados en aplicaciones IoT.
- Analizar la metodología de diseño de algunos modelos de antenas miniatura para aplicaciones en IoT.

Alcance

El proyecto se centrará en las antenas en miniatura, desde explicar los diferentes retos a los que se puede llegar a enfrentar un diseñador de antenas o un líder de proyecto de algún dispositivo.

Metodología de la investigación.

Investigación documental:

- Se estudia el objeto de interés a través de los documentos existentes sobre la materia, es decir, leyendo lo que otros escribieron al respecto.
- Se conforma un archivo de documentos o fuentes duraderas de diverso tipo: escritos, grabaciones audiovisuales, grabaciones sonoras, etc.
- Se acude a la cita textual como mecanismo de comprobación o de evidencia, para sustentar los argumentos ofrecidos.

Metodología para una investigación documental

Cada investigación documental es particular y distinta, pero en líneas generales debe cumplir con una metodología que consiste en:

Arqueo de fuentes. Luego de elegir un tema o al menos un área de interés para investigar, el primer paso es consultar qué textos hay disponibles y a nuestro alcance al respecto, yendo a lo más específico posible.

Revisión de fuentes. Una vez que sepamos qué hay sobre el tema, podremos comenzar a filtrar el contenido, descartando aquello que no tenga que ver con nuestro punto de vista específico, e incorporando otros textos nuevos en caso de que hiciera falta sobre la marcha.

Cotejo del material. Se trata de una revisión más minuciosa del material seleccionado, pero esta vez tomando citas textuales que nos permitan cartografiar los argumentos que sostendrán nuestra investigación.

Interpretación del material. La etapa en que ponemos nuestro granito de arena a lo dicho por otros, construyendo un punto de vista propio que ponga en relación lo leído y ofrezca una mirada novedosa, propia, del material.

Conclusiones. El cierre de la investigación, que consiste en alcanzar conclusiones o respuestas finales a partir de todo lo anterior, recogiendo los puntos más importantes y explicando su significado en un marco más amplio de cosas. (Etecé, 2021)

Capítulo 2 Marco Teórico

Las antenas

La antena es un circuito eléctrico especial, realizado con el fin de que radie al espacio o reciba del espacio energía electromagnética. Una antena transmisora es la que se conecta a la salida de un transmisor para distribuir al espacio la señal de la radiofrecuencia generada mientras que una antena receptora es un componente destinado a la captación de las ondas electromagnéticas procedentes de una antena transmisora más o menos lejana.

En ambos casos, el principio de funcionamiento es el mismo. Esto significa que el cálculo, las funciones y las características de una antena destinada a la transmisión son también válidos para una antena receptora. Así pues, una antena apropiada para emitir del mejor modo posible (con el rendimiento más alto) una señal de una determinada frecuencia es apropiada también para recibir del mejor modo posible una señal de iguales características. A pesar de esa reciprocidad de empleo, las antenas transmisoras se construyen con una estructura algo diferente de las receptoras. Ello se debe a los motivos que a continuación se indica y son comprensibles fácilmente:

En primer lugar, las antenas emisoras al recibir toda la potencia que suministra el transmisor deben realizarse de modo que toleren fuertes corrientes y tensiones. Por el contrario, esta condición no es necesaria para las antenas receptoras que sólo son atravesadas por señales muy débiles determinadas por los campos electromagnéticos presentes en el espacio y generados, muchas veces, a grandes distancias.

En segundo lugar, los transmisores suelen funcionar en una sola frecuencia (o banda de frecuencia más bien reducida) y, por lo tanto, las dimensiones de sus antenas se calculan expresamente y con precisión para obtener el máximo rendimiento a la frecuencia de emisión. En cambio, los receptores deben captar señales dentro de una amplia gama de frecuencias, por lo que las antenas de

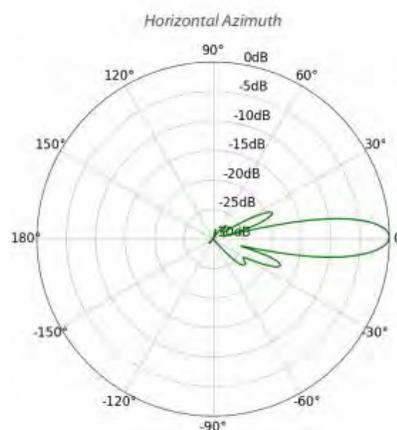
recepción no se prevén, salvo excepciones, para una frecuencia concreta, sino de manera que proporcionen un buen rendimiento sobre una amplia gama. (Ramos, 2003).

Diagrama de radiación

Es la representación gráfica de las características de radiación de una antena, en función de la dirección (coordenadas en azimut y elevación). Lo más habitual es representar la densidad de potencia radiada, aunque también se pueden encontrar diagramas de polarización o de fase. Atendiendo al diagrama de radiación, podemos hacer una clasificación general de los tipos de antena y podemos definir la directividad de la antena (antena isotrópica, antena directiva, antena bidireccional, antena omnidireccional).

Dentro de los diagramas de radiación podemos definir diagrama copolar aquel que representa la radiación de la antena con la polaridad deseada y contrapolar al diagrama de radiación con polaridad contraria a la que ya tiene.

Figura 1 Plano Azimuth horizontal de una antena Litebeam AC GEN2 Ubiquiti.



Plano Azimut. El resultado de cortar el patrón horizontal en 3D a lo largo del plano XY. También conocido como patrón horizontal.

Plano de elevación. El resultado de cortar en 3D a lo largo del plano XZ o YZ. También conocido como patrón vertical.

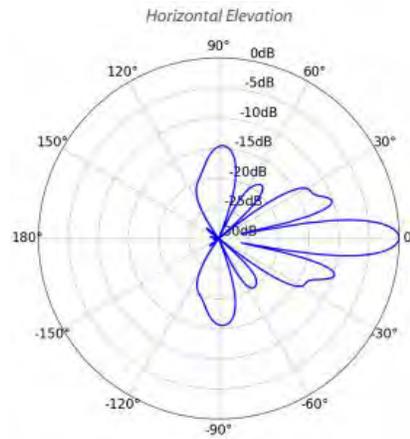


Figura 2 Plano de elevación horizontal de una antena Litebeam AC GEN2 Ubiquiti.

Los parámetros más importantes del diagrama de radiación son:

- **Dirección de apuntamiento:** Es la de máxima radiación. Directividad y Ganancia.
- **Lóbulo principal:** Es el margen angular en torno a la dirección de máxima radiación.
- **Lóbulos secundarios:** Son el resto de los máximos relativos, de valor inferior al principal.
- **Ancho de haz:** Es el margen angular de direcciones en las que el diagrama de radiación de un haz toma un valor de 3dB por debajo del máximo. Es decir, la dirección en la que la potencia radiada se reduce a la mitad.
- **Relación de lóbulo principal a secundario (SLL):** Es el cociente en dB entre el valor máximo del lóbulo principal y el valor máximo del lóbulo secundario.
- **Relación delante-atrás (FBR):** Es el cociente en dB entre el valor de máxima radiación y el de la misma dirección y sentido opuesto. (Hernandez, 2016)

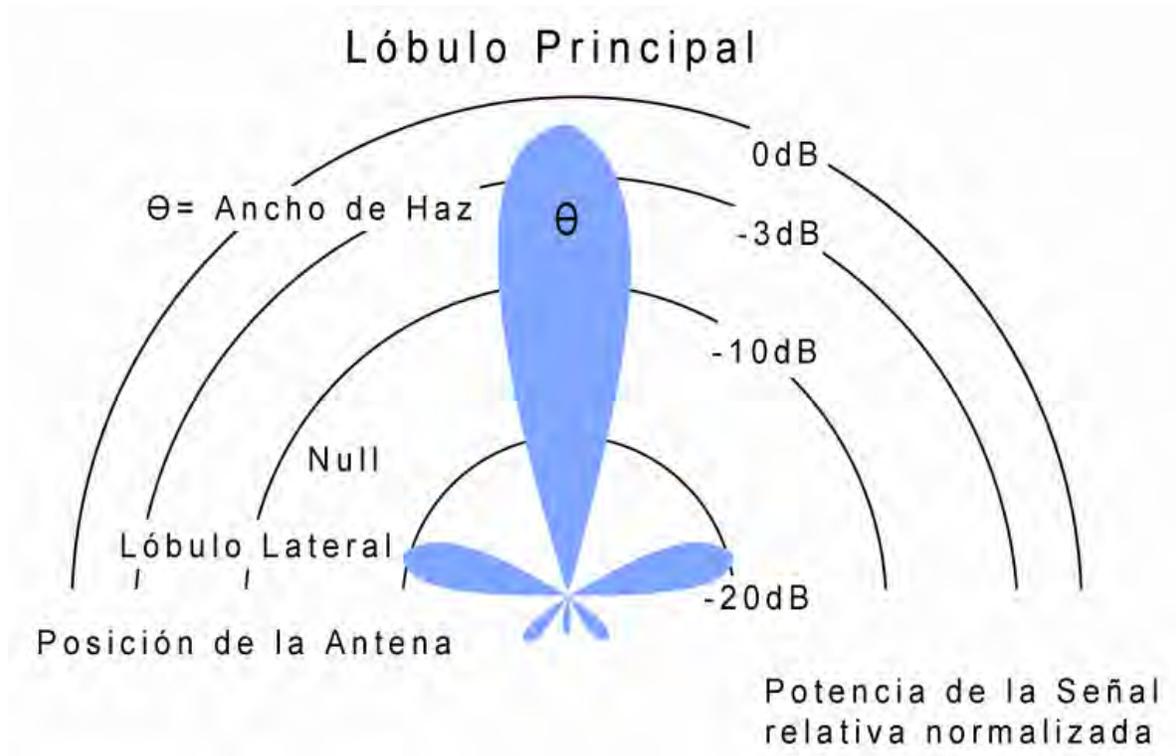


Figura 3 Patrón de radiación de una antena estándar. (Creación propia)

Características importantes de una antena.

Distintas antenas tienen distintas propiedades. Algunas de ellas son:

Ganancia: Es una función del tamaño, la frecuencia y la eficiencia de una antena. Es la relación entre la intensidad de campo irradiado por la antena en la dirección de máxima radiación, respecto de la intensidad de campo que irradiaría una antena isotrópica (que es la antena hipotética que irradia con igual intensidad en todas direcciones) o de otra antena tomada como referencia (tal como el dipolo elemental). Por supuesto, la antena no inventa energía de la nada, así que toda la intensidad de campo que irradia en una dirección es a expensas de la intensidad de campo que deja de irradiar en las otras direcciones.

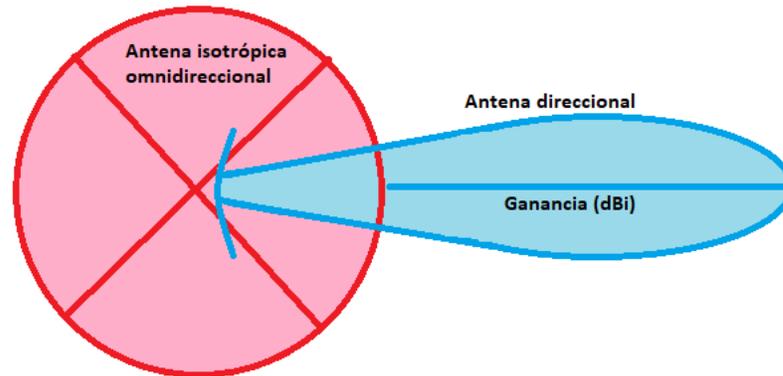


Figura 4 Cálculo de la ganancia de una antena (Creación propia)

La ganancia de una antena aumenta concentrando la radiación de ésta en una dirección en particular. Esto se hace mediante la reducción de la elevación y patrón azimut.

Frecuencia de operación: También llamada frecuencia de resonancia. Es la frecuencia a la cual la antena irradia toda la potencia que incide sobre ella (excepto pérdidas). Las dimensiones de los elementos irradiantes de la antena determinan la frecuencia de operación

Polarización: Es el plano en el cual vibra el componente de campo eléctrico de la onda electromagnética irradiada por la antena. En antenas dipolo, coincide con la orientación de la misma (vertical u horizontal). Una antena dipolo es 10 veces menos sensible (-20 dB) a una onda polarizada a 90° respecto de la dirección de polarización para la cual se diseña la antena.

Ángulo de apertura: Es una manera de indicar la directividad de una antena, especificando el ángulo sólido que hay que apartarse respecto de la dirección de máxima radiación para que la intensidad de campo irradiado se reduzca a la mitad (-6dB).

Estas características varían de un tipo a otro de antena, por lo tanto, deben tenerse en cuenta al decidirse por un tipo u otro de antena. (Ramos, 2003)

VSWR

La relación de ondas estacionarias de voltaje (VSWR) se define como la relación entre las ondas estacionarias de voltaje transmitidas y reflejadas en frecuencia de radio (RF) sistema de transmisión eléctrica. A veces, VSWR también se pronuncia como "viswar". VSWR es una medida de la eficiencia con la que se transmite la energía de RF desde la fuente de energía, a través de una línea de transmisión y hacia la carga. Un ejemplo común es un amplificador de poder conectado a una antena a través de una línea de transmisión. El VSWR se utiliza como una medida de eficiencia para todo lo que transporta RF, incluidas las líneas de transmisión, los cables eléctricos e incluso la señal en el aire. (INC., 2021)

Efectos en el cable:

El valor de la relación de onda estacionaria permite una declaración sobre las pérdidas de transmisión en el cable. Sólo está determinado por el cable y el valor de la resistencia de terminación (por ejemplo, una antena) y no puede ser cambiado por ninguna medida tomada en el transmisor.

SWR = 1. En este caso ideal no hay reflexión en el extremo del cable porque la resistencia de terminación tiene el valor correcto de, por ejemplo, 50 Ω . La energía suministrada al cable se consume completamente en el terminador. Los voltajes y las corrientes tienen el mismo valor en todas partes del cable. Las pérdidas de energía en el cable son mínimas. Sin embargo, esto no significa que la antena se irradie particularmente bien, porque si la antena se reemplaza por una carga ficticia con la resistencia correcta, no se irradia potencia cuando la $SWR = 1$.

SWR \approx 2. Una buena SWR sólo significa que hay casi coincidencia de energía entre el cable y la antena. No da ninguna declaración sobre si la antena irradia el pozo de energía suministrado. Los voltajes y corrientes difieren ligeramente en diferentes puntos del cable. Las pérdidas de energía en el cable se incrementan ligeramente.

SWR > 5. Una mala SWR significa que la impedancia de onda del cable difiere mucho del valor de la resistencia terminal. Sólo una pequeña parte de la energía

suministrada se consume en ella, la mayoría se refleja de vuelta al transmisor. Los voltajes y corrientes varían mucho en diferentes puntos del cable. Se producen pérdidas de calor innecesariamente altas en el cable. Con ciertos diseños, como la "escalera de gallinas" (un cable doble aislado en aire de longitud definida con precisión y suspendido libremente entre el transmisor y la antena) utilizado en los primeros días de la tecnología de radio, estas pérdidas eran relativamente bajas incluso con una alta SWR. La razón de esto es que incluso con altos voltajes, el aire apenas genera pérdidas dieléctricas.

$SWR = \infty$. Cuando el extremo del cable está abierto o en cortocircuito, se produce un reflejo completo de la energía. El cable actúa como un circuito oscilante cuyas longitudes de onda de resonancia y frecuencias dependen sólo de la longitud y la estructura del cable. (Koax24, 2021)

¿Por qué es importante el VSWR?

El valor de VSWR presenta la potencia reflejada de la carga a la fuente. A menudo se usa para describir cuánta energía se pierde desde la fuente (generalmente un amplificador de alta frecuencia) a través de una línea de transmisión (generalmente un cable coaxial) hasta la carga (generalmente una antena).

En el peor de los casos su transmisor se quema debido a un exceso de energía y la razón principal de esto es que toda la energía se refleja (por ejemplo, por un circuito abierto o cortocircuito) al final de la línea, luego ninguna se absorbe, produciendo una perfecta "onda estacionaria" en la línea. Ésta es una situación indeseada. De hecho, cuando la energía que se debe irradiar regresa al transmisor con toda su fuerza, generalmente quemará los componentes electrónicos allí.

¿Cómo afecta la VSWR al rendimiento de un sistema transmisor?

Hay varias formas en que VSWR afecta el rendimiento de un sistema transmisor, o cualquier sistema que pueda usar RF e impedancias coincidentes.

Aunque el término VSWR se usa normalmente, tanto el voltaje como las ondas estacionarias actuales pueden causar problemas. Algunos de los efectos se detallan a continuación:

A. Los amplificadores de potencia del transmisor se pueden dañar:

El aumento de los niveles de voltaje y corriente observados en el alimentador como resultado de las ondas estacionarias puede dañar los transistores de salida del transmisor. Los dispositivos semiconductores son muy confiables si funcionan dentro de los límites especificados, pero las ondas estacionarias de voltaje y corriente en el alimentador pueden causar daños catastróficos si hacen que el dispositivo funcione fuera de sus límites.

B. La protección PA reduce la potencia de salida:

En vista del peligro muy real de que los altos niveles de SWR causen daños al amplificador de potencia, muchos transmisores incorporan circuitos de protección que reducen la salida del transmisor a medida que aumenta la SWR. Esto significa que una mala coincidencia entre el alimentador y la antena dará como resultado un SWR alto que hará que la salida se reduzca y, por lo tanto, una pérdida significativa en la potencia transmitida.

C. Los niveles de alto voltaje y corriente pueden dañar el alimentador:

Es posible que los altos niveles de voltaje y corriente causados por la alta relación de onda estacionaria puedan dañar el alimentador. Aunque en la mayoría de los casos los alimentadores funcionarán bien dentro de sus límites y la duplicación de voltaje y corriente debería poder adaptarse, hay algunas circunstancias en las que se pueden causar daños. Los máximos actuales pueden causar un calentamiento local excesivo que podría distorsionar o derretir los plásticos utilizados, y se sabe que los altos voltajes causan arcos en algunas circunstancias.

D. Los retrasos causados por reflejos pueden causar distorsión:

Cuando una señal se refleja por falta de coincidencia, se refleja de nuevo hacia la fuente, y luego se puede reflejar nuevamente hacia la antena. Se introduce un retraso igual al doble del tiempo de transmisión de la señal a lo largo del alimentador. Si se transmiten datos, esto puede causar interferencia entre símbolos, y en otro ejemplo donde se transmitía televisión analógica, se veía una imagen "fantasma". (INC., 2021)

Tipos de antenas

Una de las maneras más comunes de clasificar las antenas es por la forma de su radiación y las direcciones que ésta toma. De esta clasificación se obtienen 3 tipos de antenas:

Antenas isotrópicas

Consiste en antenas cuya radiación de potencia se transmite uniformemente en todas las direcciones. En este caso el diagrama de radiación se ve como una esfera perfecta. Es importante tener en cuenta que no es posible obtener este tipo de antena en la práctica, ya que para conseguir radiación en todas las direcciones por igual es necesario tener una corriente eléctrica concentrada en un punto adimensional, lo que es físicamente imposible. A pesar de que esta antena no se puede construir en la realidad, se puede estudiar matemáticamente, y tanto su patrón de radiación, como su ganancia y directividad, se usan como una escala de comparación en el estudio de otras antenas.

Antenas Omnidireccionales

Su objetivo es irradiar o recibir radiación en la mayor cantidad de direcciones posibles. En general se considera una antena omnidireccional si es capaz de irradiar en todas las direcciones de un plano con una distribución relativamente uniforme; obteniéndose una escasa radiación en el eje sobrante debido a las limitaciones físicas de las antenas. Las antenas omnidireccionales se utilizan cuando se quiere transmitir una señal a muchos receptores o cuando la posición del receptor es

desconocida, de modo que es necesario abarcar la mayor cantidad de espacio. Un ejemplo de antena Omnidireccional en la antena de dipolo.

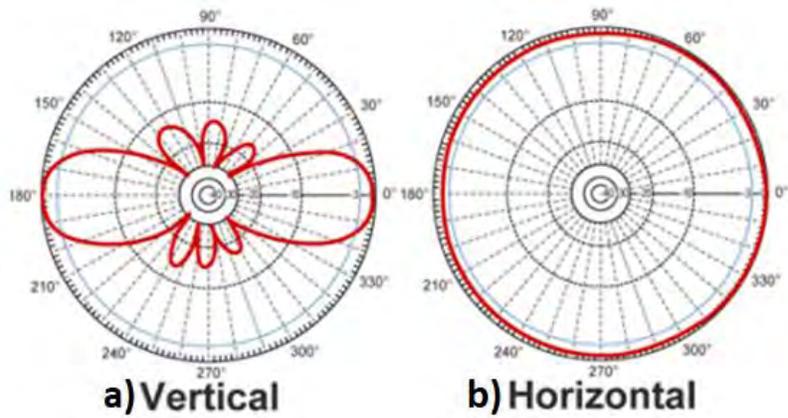


Figura 5 Esquema de propagación de antena wifi omnidireccional. (Padrisa, 2016)

Ventajas de las antenas omnidireccionales:

- Dan cobertura a 360° en horizontal, esto significa que si la ponemos en el centro dará señal a todo el mundo que esté a su alrededor.

Desventajas de las antenas omnidireccionales:

- Cuanto más grande es la ventana que abrimos para dar cobertura (360° es el máximo), más interferencias van a entrar en nuestra ventana.
- Dar cobertura en todas las direcciones es recibir y generar interferencias en todas direcciones.

Antena Direccional

La función de este tipo de antena es irradiar o recibir radiación en una dirección específica, inhibiendo la cantidad de radiación en las otras direcciones lo mayor posible. Estas antenas son necesarias cuando se quiere transmitir una gran cantidad de información, de modo que la mayor cantidad de potencia se concentra en un área pequeña. También se utilizan cuando se desea que la señal transmitida no sea captada por otros receptores, ya sea inconscientemente o de manera intencional. Ejemplos de antenas direccionales son la antena Yagi-Uda y la antena parabólica. (Franco Curotto, 2012)

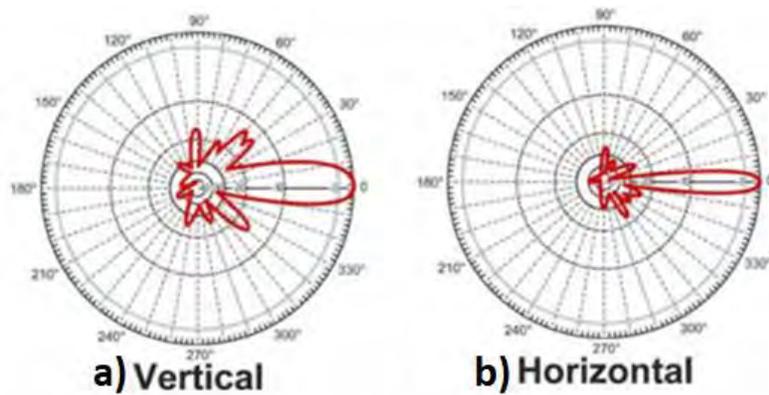


Figura 6 Patrón de ganancia de las antenas direccionales. (Padrisa, 2016)

Modelos de antenas

Antenas Dipolo.

Todas las antenas de dipolo tienen un patrón de radiación generalizado. Primero el patrón de elevación muestra que una antena de dipolo es mejor utilizada para transmitir y recibir desde el lado amplio de la antena. Es sensible a cualquier movimiento fuera de la posición perfectamente vertical. Se puede mover alrededor de 45 grados de la verticalidad antes que el desempeño de la antena se degrade más de la mitad. Otras antenas de dipolo pueden tener diferentes cantidades de variación vertical antes que sea notable la degradación.

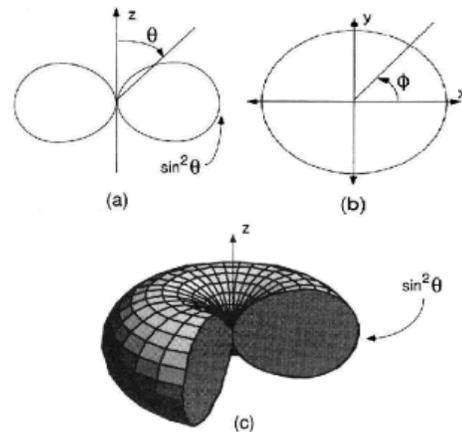


Figura 7 a) Patrón de elevación de un dipolo genérico b) Patrón de azimuth de un dipolo genérico c) Patrón de radiación 3D. (WNI, s.f.)

Un ejemplo de patrón de elevación puede verse en la figura 7a. A partir del patrón de azimuth se ve que las antenas operan igualmente bien en 360 grados alrededor de la antena. Físicamente las antenas dipolo son cilíndricas por naturaleza, y pueden ser usadas con formas específicas en el exterior para cumplir con especificaciones de medida. Estas antenas son usualmente alimentadas a través

de una entrada en la parte inferior, pero también pueden tener el conector en el centro de esta.

Antenas Dipolo Multi-Elemento.

Las antenas multi-elemento tipo dipolo cuentan con algunas de las características generales del dipolo simple. Cuentan con un patrón de elevación y azimut similar al de la antena dipolo simple. La diferencia más clara entre ambas es la direccionalidad de la antena en el plano de elevación, y el incremento en ganancia debido a la utilización de múltiples elementos. Con el uso de múltiples elementos en la construcción de la antena, esta puede ser configurada para diferentes ganancias, lo cual permite diseños con características físicas similares. Tal como se puede ver en el patrón de elevación de la Fig. 8, múltiples antenas de dipolo son muy direccionales en el plano vertical. Debido a que la antena de dipolo irradia igualmente bien en todas las direcciones del plano horizontal, es capaz de operar igualmente bien en configuración horizontal.

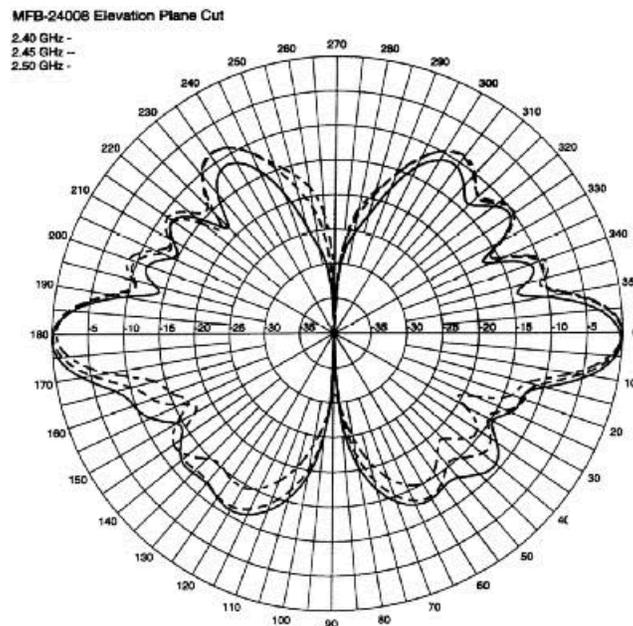


Figura 8 Patrón de Elevación de una antena multi-dipolo. (WNI, s.f.)

Antenas Yagi.

Estas se componen de un arreglo de elementos independientes de antena, donde solo uno de ellos transmite las ondas de radio. El número de elementos (específicamente, el número de elementos directores) determina la ganancia y directividad. Las antenas Yagi no son tan direccionales como las antenas parabólicas, pero son más direccionales que las antenas panel.

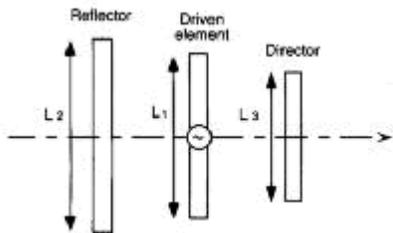


Figura 9 Construcción de una antena Yagi. (WNI, s.f.)

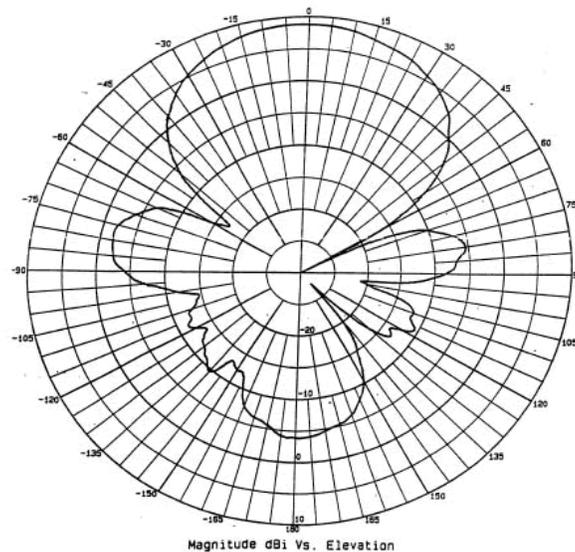


Figura 10 Patrón de Radiación en Elevación Yagi. (WNI, s.f.)

Antenas Panel Plano (Flat Panel).

Las antenas de panel plano, como su nombre lo dice, son un panel con forma cuadrada o rectangular. y están configuradas en un formato tipo patch. Las antenas tipo Flat Panel son muy direccionales ya que la mayoría de su potencia radiada es

una sola dirección ya sea en el plano horizontal o vertical. En el patrón de elevación y en el patrón de azimut se puede ver la directividad de la antena Flat Panel. Las antenas Flat Panel pueden ser fabricadas en diferentes valores de ganancia de acuerdo con su construcción. Esto puede proveer excelente directividad y considerable ganancia.

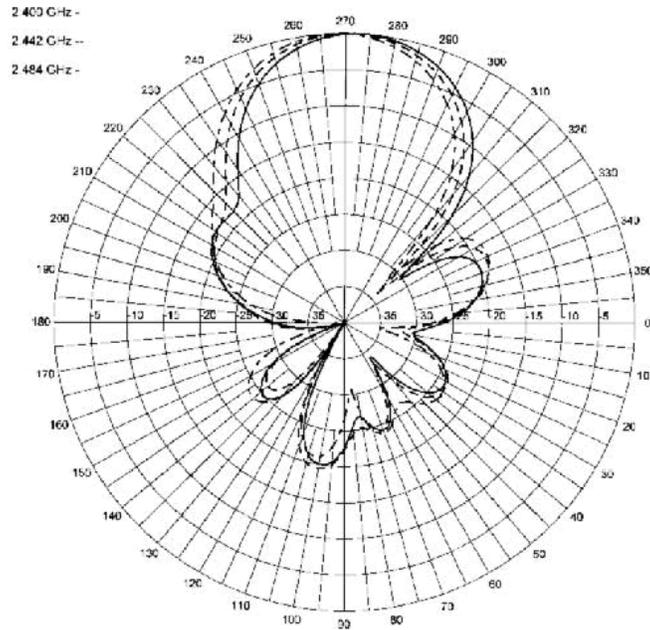


Figura 11 Patrón de Elevación Flat Panel de Alta Ganancia. (WNI, s.f.)

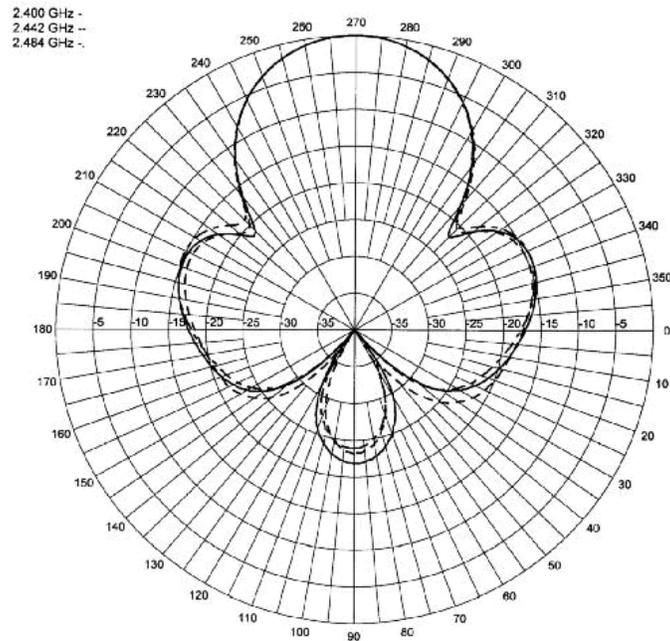


Figura 12 Patrón de Azimut Flat Panel de Alta Ganancia. (WNI, s.f.)

Antenas Parabólicas.

Las antenas parabólicas usan características físicas, así como antenas de elementos múltiples para alcanzar muy alta ganancia y direccionalidad. Estas antenas usan un plato reflector con la forma de una parábola para enfocar las ondas de radio recibidas por la antena a un punto focal. La parábola también funciona para capturar la energía radiada por la antena y enfocarla en un haz estrecho al transmitir. Como puede verse en la Figura 5, la antena parabólica es muy direccional. Al concentrar toda la potencia que llega a la antena y enfocarla en una sola dirección, este tipo de antena es capaz de proveer muy alta ganancia.

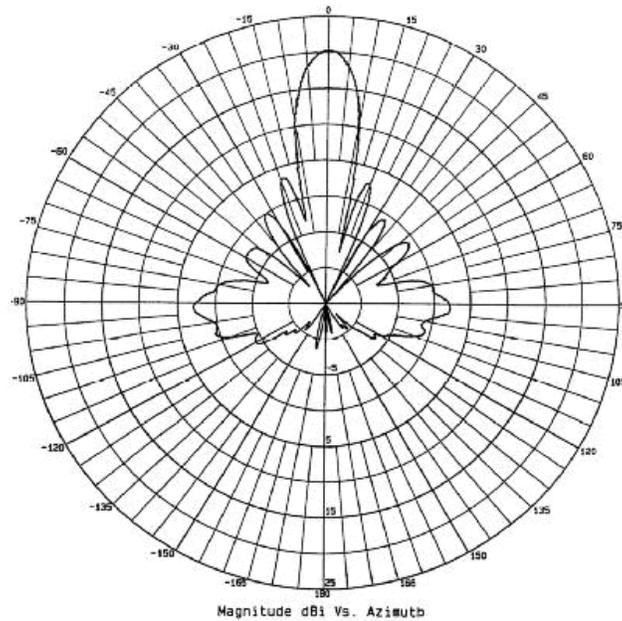


Figura 13 Patrón de Elevación de Plato Parabólico. (WNI, s.f.)

Antenas Microstrip

Estas antenas pueden ser hechas para emular cualquiera de los diferentes tipos de antenas antes mencionados. Las antenas microstrip ofrecen varios detalles que deben de ser considerados. Debido a que son manufacturadas con pistas en circuito impreso, pueden ser muy pequeñas y livianas. Esto tiene como costo no poder manejar mucha potencia como es el caso de otras antenas, además están hechas para rangos de frecuencia muy específicos. En muchos casos, esta limitación de frecuencia de operación puede ser benéfico para el desempeño del radio. Debido a sus características las antenas microstrip no son muy adecuadas para equipos de comunicación de banda amplia. (WNI, s.f.)

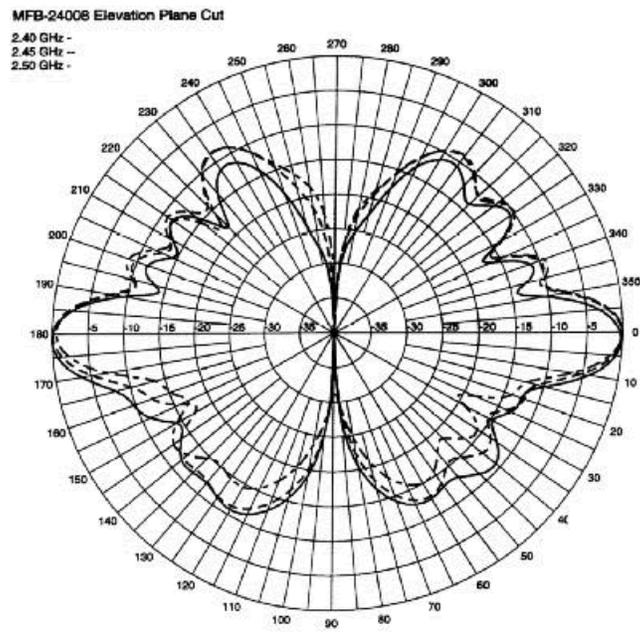


Figura 14 Patrón de Elevación de una antena multi-dipolo. (WNI, s.f.)

Capítulo 3 Diseño de una antena

Fases del diseño de la antena.

Especificación de requerimientos.

- Protocolos y bandas.
 - Definir el ancho de banda de la antena.
- Objetivo de desempeño de alcance.
 - Definir qué tan lejos se desea que llegue el radio de la señal.
- Objetivo de certificación.
 - Las reglas que tienes que seguir en diseño de antenas dependiendo del área donde te encuentres. Ej. Para USA es la FCC.
- Casos de uso.
 - Definir para que se va a usar el dispositivo y los diferentes ambientes en los que se maneja.
- Dimensiones del producto.
 - Fijar las dimensiones del producto que te ayudaran a elegir la correcta topología de la antena.

Conceptuado de hardware.

Al término de esta fase probablemente se requiera volver al paso 1 y cambiar algunas opciones ya establecidas.

- Definición de la cubierta o carcasa.
- Volumen de la antena y localización.
 - Tamaño de la antena y donde se va a ubicar.
- Topología de la antena.
 - Seleccionar algunas opciones de topologías y elegir la más conveniente.
- Tecnología de manufacturación.
 - Si se requiere diseñar una antena específicamente para el dispositivo, seleccionar la tecnología de manufacturación lo más pronto posible es importante para establecer el nivel de libertad al diseñar la antena.
- Selección de dispositivos clave y PCB.

Desarrollo del hardware.

- Diseño de antena
 - Conector de la antena

Si se necesita un circuito de conector de antena se agrega.

- Interconexión.
 - Conectar la antena con el dispositivo y con el módulo RF.
- Detallado de ruteo en el PCB.

Validación de hardware.

La antena no siempre queda a la primera, probablemente se tengan que hacer varios prototipos antes del diseño final, mientras las evaluaciones no arrojen los datos deseados se regresa al paso anterior.

- Evaluación de desempeño de radiación.
- Certificación.
 - Se realizan cuando la antena ya esté lista.

Producción.

- Proceso de manufacturación.
- Estabilidad de ensamblaje.

EL IMPACTO DE LA ANTENA EN EL LINK BUDGET

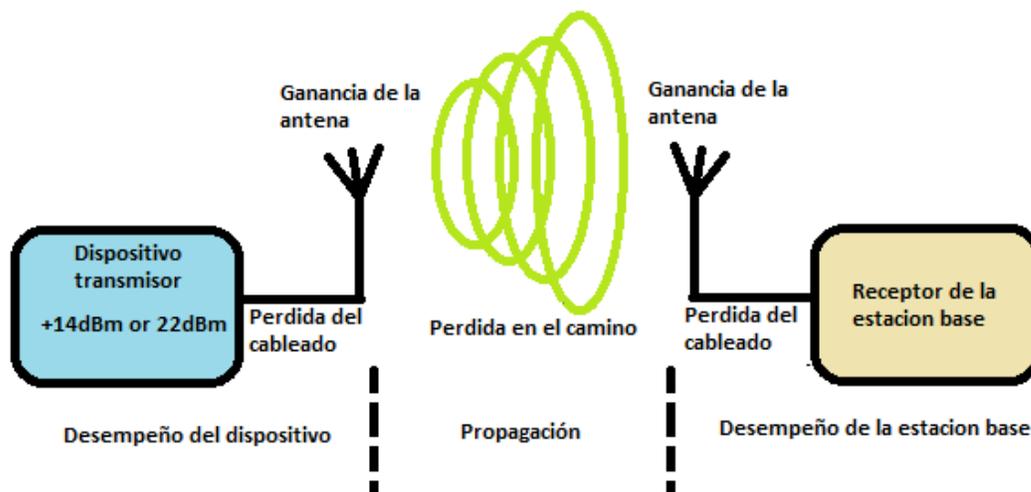


Figura 15 El Link Budget (Creación propia)

¿Qué es el Link Budget?

Es un número que nos ayudara a saber el área de cobertura de la red, la estación base es ubicada de acuerdo con este número, por lo que es muy importante. En resumen, el Link Budget es el poder de cobertura del dispositivo menos la sensibilidad del receptor de la estación base.

La sensibilidad de la antena

Sensibilidad en el espacio cercano

$< \frac{2D^2}{\lambda}$, En esta ecuación λ , es el ancho de banda de la radiación o la señal electromagnética y D es la dimensión máxima lineal de la antena. (Analysis, 2020)

Lo más inmediato a la antena, esto afecta más que nada a las propiedades de la antena.

- La cubierta o carcasa del dispositivo.
- La mano de un usuario sosteniendo el dispositivo.
- Dispositivo sobre un mueble de madera, concreto o metal.

Sensibilidad en el espacio lejano

$> \frac{2D^2}{\lambda}$

Lo que está más lejano de la antena, esto sola mente afecta la propagación de la señal.

- Vegetación
- Edificios
- Otras antenas

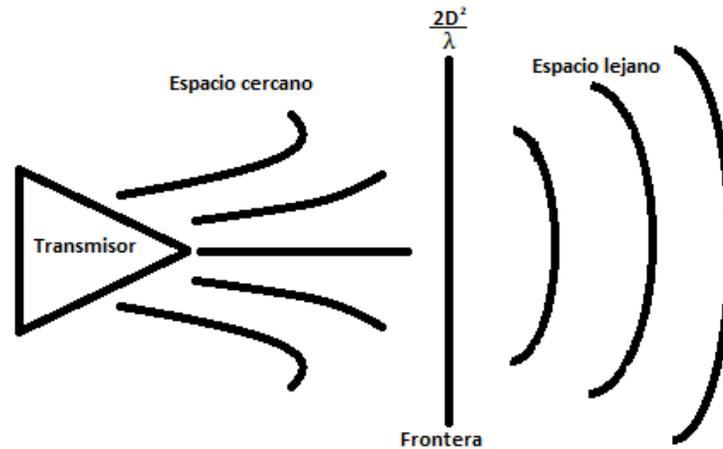
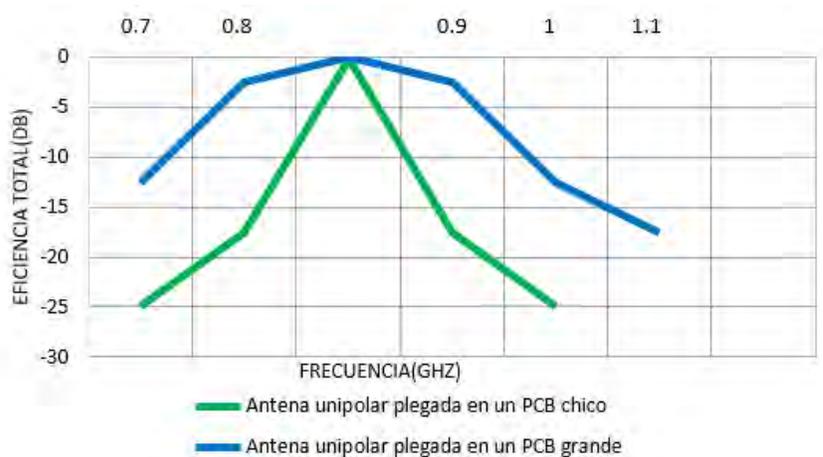


Figura 16 Campo cercano vs campo lejano (Creación propia)

Sensibilidad de las antenas al entorno e integración de diseño

Sensibilidad al tamaño del PCB

La antena no es el único elemento que afecta en el dispositivo a la hora de la propagación de la señal, el PCB también tiene repercusión en ésta, ya que a través de este también pasa corriente que ayuda y actúa también como antena, como se puede ver en la gráfica 1 y en la figura 17, un PCB más grande en teoría tiene mayor eficiencia que uno pequeño y también tenemos una reducción en términos de ancho de banda.



Gráfica 1 Comparación de desempeño de antena entre diferentes tamaños de PCB

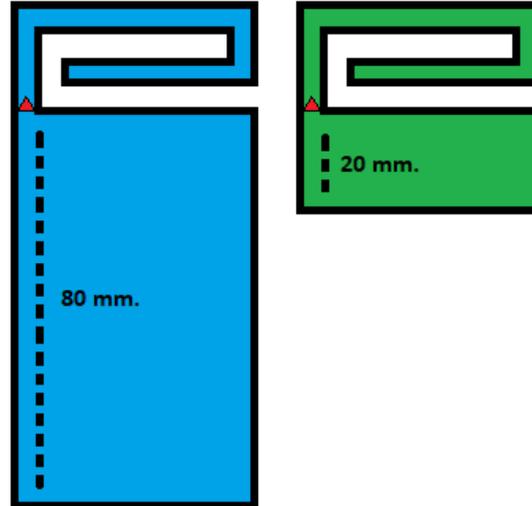


Figura 17 Antena unipolar plegada sobre un PCB grande y uno chico. (Creación propia)

Sensibilidad al encapsulado o cubierta

El encapsulado de una antena puede afectar la configuración de la antena, no tanto su desempeño, por esta razón al encapsular se debe hacer una afinación final después de la encapsulación, no es suficiente hacer pruebas con un encapsulado prototipo, tiene que ser con el encapsulado final, ya que va a variar. Otros componentes que pueden afectar también la configuración de la antena son las baterías, el cableado y los displays, mayormente los componentes grandes son los que causan problemas.

Otro punto para tener en cuenta es que no es suficiente con tomar en cuenta el datasheet (o hoja de especificaciones) de la antena. El datasheet está escrito para una configuración o plataforma ideal, lo más importante es entender ésto y adaptarlo a la situación, si aún se guarda alguna duda deberías contactar al distribuidor para aclararlas.

Parámetros de la antena que importan

Volumen.

El tamaño de la antena limita la eficiencia y el ancho de banda, por lo cual, si la antena no tiene suficiente volumen (tamaño de la antena), puede llegar de forma negativa alguno de estos parámetros; además mientras más pequeña sea la antena más difícil será la implementación, entonces, mientras no sea necesario reducir el tamaño de la antena, es mejor que no se haga ya que solo causara problemas en varios niveles.

Ubicación de la antena.

Dependiendo de la topología de la antena no podremos ponerlo donde queramos, tenemos 2 opciones:

- *On ground*

Un ejemplo sería las antenas de parche, se pueden poner sobre el ground plane del dispositivo o sobre el PCB.

- *Off ground*

Son colocadas a un lado o fuera del PCB o del ground plane, de este tipo de colocación tenemos las antenas monopolo.

Otros componentes cercanos a la antena.

Los otros componentes que estén cerca de la antena tendrán un impacto en el desempeño de esta, por ejemplo, tener un elemento como la batería al costado.

También hay que tomar en cuenta los materiales de los que estén hechos algunos de los componentes, por ejemplo, si se tienen muchas piezas de metal cercanas podría afectar el ancho de banda.

Otro elemento que puede llegar a causar problemas es el cableado, tener muchos cables cerca de la antena

El encapsulado del dispositivo.

De la misma manera que en otros puntos el material del que este hecho la cobertura es muy importante, y tiene un impacto en la configuración de la antena, pero más que nada hay que evitar un encapsulado completamente de metal, solamente en las partes completamente necesarias.

Como resumen, podemos decir que una antena es sensible a casi todo y debemos tomar en cuenta todo esto al configurarla, por eso es por lo que cada antena es única para cada dispositivo.

Consideraciones para la elección de una antena

Interna o externa.

Las antenas internas son la opción principal si lo que quieres es tener un dispositivo bonito, agradable a la vista, y sin que afecte a la simetría de tu dispositivo, pero si lo que quieres es que sea lo más eficiente posible, puede que no sea la mejor opción, ya que como se vio antes el desempeño de una antena interna es negativamente afectado por varios elementos del mismo dispositivo y aún más si no se quiere invertir mucho en el diseño de la antena, entonces una antena externa se ve como la mejor opción, pero todo depende de las necesidades de cada dispositivo. En resumen, las antenas externas son más fáciles de implementar y las internas más difíciles, especialmente si tenemos un dispositivo muy pequeño con un alto nivel de integración.

Ejemplos de antenas usadas en teléfonos celulares serian:

Interna

○ Antena de microbanda

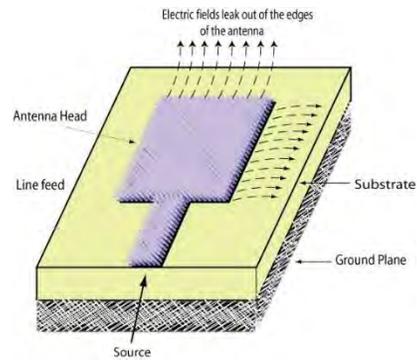


Figura 18 Antena de microbanda.

○ Antena F invertida

Externa

○ Antena monopolo retráctil

○ Antena hélice

Figura 19 Antena de hélice.
(Shootthedevgru, 2008)

Nivel de integración.

El nivel de integración se refiere a que tan integrada este la antena al dispositivo.



Figura 20 Ejemplo de bajo nivel de integración. (Yohann Robert, 2016)



Figura 21 Ejemplo de alto nivel de integración. (Yohann Robert, 2016)

Capacidad de inversión de recursos y tiempo.

- Capacidad de diseño de antenas.
- Conocimientos.
- Equipo.
- Tiempo límite.

Prototipos.

Lo mejor es que se realicen varias versiones antes de la definitiva.

El entorno del dispositivo.

También se tiene que tomar a consideración el uso de que va a estar rodeado el dispositivo o como va a ser usado.

- Sostenido.
- Sobre un vehículo.
- Fijado en una pared.
- Bajo tierra.

Volumen de producción.

- Precio
- Tecnología disponible.
- Complejidad de ensamblado.

(Yohann Robert, 2016)

El mejor tipo de antena para IoT

Como ya vimos existen muchos tipos de antena, todas tienen un uso o área en la que se desempeñan de forma más óptima, los dispositivos IoT no son la excepción. Para que una antena pueda ser usada en un dispositivo IoT tiene que ser pequeña y cumplir con todas las necesidades para el objetivo al que queremos llegar; aun con este requerimiento todavía quedan varios tipos de antenas que se pueden usar, pero en este capítulo hablaremos de las que para mí son las ideales.

Las demandas de los consumidores y la industria evidencian la necesidad de dispositivos inalámbricos más pequeños. Dispositivos compatibles con tecnología móviles, aplicaciones bluetooth de baja energía (BLE), sistemas de comunicación personal, aplicaciones para el Internet de las cosas (IoT), tecnologías médicas, sistemas de asistencia al conductor avanzados para automóviles, así como otras tecnologías innovadoras. Cada una de estas y otras aplicaciones requieren antenas en las PCB que reduzca la huella física y los costes sin que el rendimiento se vea afectado. Es más, los diseños de antenas en PCB deben asimismo responder a las exigencias de frecuencia que van de la típica banda de 2,4 GHz a frecuencias de onda milimétrica. (Peterson, 2020)

Las antenas PCB

¿Qué es una antena PCB?

Una antena PCB es una solución muy flexible y económica que se usa ampliamente en la industria inalámbrica.

Normalmente usado en PCB FR4 de resina de fibra de vidrio o PCB flexible, un canal es impreso en el sustrato para obtener la topología deseada para la antena. Varios tipos de antena como los monopolos, dipolos, antenas tipo F impresas pueden hacerse de esta manera.

Ventajas de una antena PCB

En vez de utilizar un cable tridimensional que se extienda sobre la PCB o un chip con una antena, las antenas en PCB son unas pistas dibujadas en una placa de

circuito impreso. En función del tipo de antena y de las restricciones de espacio, el tipo de pistas utilizadas para las antenas en PCB pueden ser rectas, de tipo F invertida, serpenteantes, circulares o curvadas ondulantes. (Peterson, 2020)

- Impacto mínimo en el dispositivo.
- Ligera.
- Diseño flexible; tamaño, forma, cable, conector completamente personalizable y sin costo en herramientas.
- Precios bajos.

Aplicaciones

Una antena PCB con cable es adecuada para aplicaciones móviles, áreas donde se requieren antenas internas o donde no hay mucho espacio o volumen disponible.

Tamaño

Mientras más grande el área de la superficie de la antena (o volumen), en general, mayor es el desempeño en términos de ganancia y características de radiación. (Taoglas, 2015)

El tamaño del mapa de PCB determinará la frecuencia de resonancia; cuanto mayor es la regularidad, más corto es el mapa. Cada antena necesita una ubicación fuera de la placa de circuito impreso. Esto se especifica como una ubicación sobre el mapa de la antena donde seguramente no se pueden utilizar rastros de cobre o carga de tierra en ningún tipo de capa de la PCB.

Los rastros más grandes suelen ser mucho mejores, ya que generalmente ofrecen una mayor transferencia de datos. El mapa seguramente puede ser dorado o protegido con una máscara de soldadura. La eficiencia eléctrica de la antena será establecida por el producto de sustrato que se utilice., su densidad, y su consistencia dieléctrica (ϵR). (T&C)

Forma y grosor

Una antena PCB puede hacerse en cualquier forma 2D para facilitar su posicionamiento dentro del producto y se pueden hacer huecos en la antena para poner tornillos.

El grosor estándar de un FR4 es de 0.8 mm. Una antena PCB flexible son de perfil superbajo 0.5 mm. (Taoglas, 2015)

El Ground Plane

Junto con la observación de esos parámetros, las antenas en PCB requieren un plano de tierra de un tamaño apropiado para un rendimiento óptimo. Desde una perspectiva de diseño simple, la antena se comporta como un resonador LC. La frecuencia de resonancia se reduce con los incrementos de la inductancia o la capacitancia. Los planos de tierra más grandes incrementan la capacitancia y reducen la frecuencia de resonancia. Una mejor conexión a tierra logra una mejor pérdida de retorno. Al establecer la conexión a tierra correcta permitimos que la antena en PCB presente un mejor rendimiento. (Peterson, 2020)

Las antenas dipolares se pueden clasificar de 2 maneras; por ser en gran parte independientes del ground plane en términos de rendimiento y las antenas planas como la antena tipo F interactúan más con el plano de tierra. En general, deseamos una separación de 20 mm del principal ground plane por razones de eficiencia. (Taoglas, 2015)

Impedancia

Los circuitos de RF en dispositivos móviles deben diseñarse para unos 50 Ohmios de impedancia característica en la fuente (módulo RF), línea de transmisión (canales del PCB o cable coaxial) y carga (antena). En la práctica a veces la impedancia característica del circuito no es de 50 ohmios a diferentes bandas transmisoras y receptoras. Esto requiere que la impedancia de la antena debe cambiarse para que coincida con la impedancia característica real del circuito. Para una antena celular, esto es más efectivo al calibrar la antena en la etapa de prueba

activa en el aire cuando el dispositivo está encendido y utilizando los números TRP y TIS como guía para encontrar la mejor impedancia para la antena. Se debe tener cuidado al mismo tiempo de que los armónicos en el sistema no superan el límite del cumplimiento normativo. (Taoglas, 2015)

Ancho de banda

El ancho de banda de una antena mide la respuesta de frecuencia de la antena. Para ponerlo en una perspectiva diferente, el ancho de banda mide la capacidad de la antena de emparejar la alimentación de la señal sobre toda la banda de interés. Cuando estamos trabajando en un dispositivo BLE, las pérdidas superiores ocurren a 2,33 GHz y 2,55 GHz, mientras que las pérdidas inferiores y la mejor eficiencia se da entre 2,40 GHz y 2,48 GHz. La mayoría de los dispositivos para consumidores usan un ancho de banda superior que minimiza los efectos de desintonización causados por los entornos de funcionamiento. (Peterson, 2020)

Eficiencia

La eficiencia de la radiación describe la cantidad de potencia no reflejada disipada como calor o pérdida térmica en una antena. Una eficiencia de radiación del 100% indica que toda la potencia no reflejada se radia en el espacio libre. En las antenas en PCB, la pérdida térmica se produce por la pérdida dieléctrica en el sustrato FR4 y la pérdida de conductor en las pistas. Las antenas en PCB con un factor de forma pequeño tienen la mínima pérdida térmica y la máxima eficiencia de radiación. (Peterson, 2020)

La eficiencia es una buena medición general de una antena omnidireccional para sistemas de comunicación móvil como GSM y WLAN. Una antena PCB se puede diseñar para tener una alta eficiencia (>30% a 50% +) si el área de superficie de la antena es lo suficientemente grande. Es más difícil lograr una alta eficiencia para más de dos bandas o en cubiertas de factores muy compactos. La eficiencia de la antena se relaciona directamente con los resultados de TRP/TIS de un dispositivo en pruebas OTA si el módulo tiene una impedancia de 50 Ohms. (Taoglas, 2015)

Diseño de antenas PCB

El diseño de antenas en PCB empieza con el establecimiento de parámetros de rendimiento clave. Estos parámetros incluyen:

- Pérdida de retorno
- Ancho de banda
- Eficiencia de la radiación
- Esquema de radiación
- Ganancia.

(Peterson, 2020)

Retos en el diseño de antenas PCB

Varios retos diferentes confrontan a los equipos que buscan diseñar antenas en PCB de alto rendimiento. Algunas aplicaciones pueden utilizar varias antenas tanto en el transmisor como en el receptor para mejorar el rendimiento de un sistema de antenas. No obstante, los elementos de la antena que se encuentran cerca pueden empezar a interactuar acoplándose entre sí. Cada reacción entre los elementos afecta a la posibilidad de que la impedancia del conjunto al emparejarlo sea buena y a la pérdida de energía. Es más, el acoplamiento electromagnético interrumpe el esquema de radiación de la antena, inhibe la ganancia y afecta a la frecuencia de resonancia.

Otro desafío es solucionar el efecto de la caja en la sensibilidad de la antena. En muchos casos el plástico de las cajas tiene una constante dieléctrica superior al aire. La ausencia de espacio suficiente entre la antena y la caja hace que la antena vea una constante dieléctrica efectiva superior. Como resultado, la longitud eléctrica de la antena incrementa y la frecuencia de resonancia se disminuye. Los equipos de diseño deberían siempre verificar el rendimiento de la antena al emparejarse con la red en la caja de plástico final en su sitio y el producto en un escenario de uso habitual. (Peterson, 2020)

Tipos de antenas PCB

Antena de ciclo

El tipo más simple de antena PCB es la antena de ciclo. Es un simple ciclo cerrado de PCB que está conectado a una terminal receptora o transmisora. Esta antena puede ser un ciclo circular o rectangular. La eficiencia de esta antena depende del tamaño del ciclo y de la calidad del cobre que se use en su diseño. Cuando se revisa su ancho de banda, las antenas de ciclo son muy ineficientes, por eso no son usadas normalmente como transmisoras sino como receptoras.

Como la antena de ciclo tiene un patrón direccional, es usada para buscar el transmisor también llamado buscador de dirección de radio o radio direction finding (RDF). Para resonar a la frecuencia de operación, uno debe adaptar un capacitor en paralelo con la antena. Una red de impedancia similar es esencial para alcanzar un nivel máximo de eficiencia. (Team, 2021)

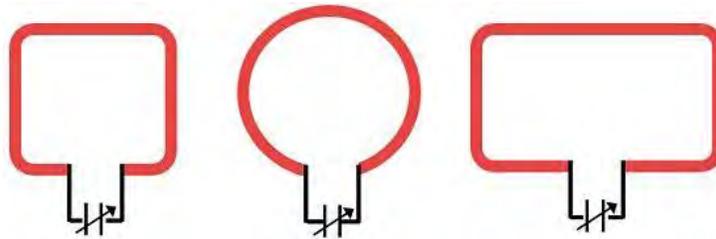


Figura 22 Diferentes formas de la antena de ciclo. (Y, Electronics desk, 2022)

Aplicaciones de las antenas de ciclo.

Como ya discutimos anteriormente, las antenas de ciclo se usan mayormente con el propósito de recibir señal. Por lo tanto, se usan mayormente para:

- Identificadores de dirección en la aviación.
- En receptores de radio, para recibir ondas de alta frecuencia.
- Las antenas de ciclo también se pueden usar como transmisores de ultra alta frecuencia.
- En dispositivos RFID o dispositivos de identificación por radiofrecuencia, para detectar la posición del transmisor. (Y, Electronics desk, 2022)

Antena de parche

La antena de parche luce como un parche rectangular o circular de cobre sobre el PCB. El ancho de la antena de parche es más o menos de la mitad del ancho de banda de las ondas de radio. La practicidad de las antenas de parche es en las frecuencias de microondas porque las ondas cortas ayudan al diseño de antenas de tamaño reducido. Gracias a la facilidad del diseño sobre circuitos impresos, los dispositivos portables sin cables mayormente usan antenas de parche.

Las antenas WLAN y las antenas en fase usan este tipo de antena para tener una máxima ganancia con mínimo ancho de banda. Existe un problema con el ancho de banda en este tipo de antena, pero aumentando el grosor del dieléctrico entre la antena y el ground plane el ancho de banda de la antena de parche puede ser incrementado. (Team, 2021)

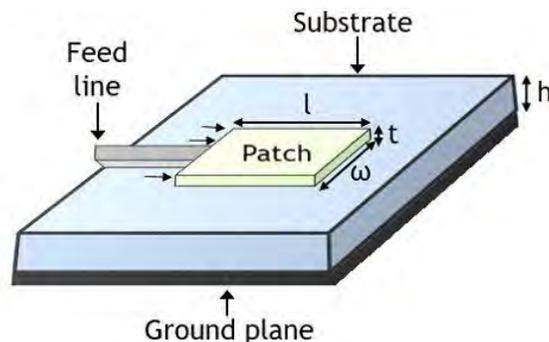


Figura 23 Estructura de una antena Microstrip. (Y, Electronics Desk, 2022)

Aplicaciones de la antena de parche.

- La estructura de bajo perfil que ofrecen las antenas microstrip es de gran ayuda en las comunicaciones inalámbricas. Es esta la razón por la que estas antenas muestran compatibilidad con dispositivos que son para sostener en las manos, como teléfonos móviles o tabletas.
- Debido a la estructura delgada de estas antenas, son usadas en las comunicaciones sobre misiles.
- Comunicación satelital y aplicaciones de microondas también hacen uso de estas antenas debido a su tamaño reducido.

- El sistema GPS (Global Positioning System) es una de las mayores ventajas de las antenas microstrip. Ya que hacen más fácil el rastreo de vehículos terrestres y marítimos)
(Y, Electronics desk, 2022)

Antena F invertida

Una antena F invertida es un tipo de antena utilizada en comunicaciones inalámbricas. Consiste en una antena monopolo que corre paralela a un plano de tierra y conectada a tierra en un extremo. La antena se alimenta a un punto intermedio lejos del extremo conectado a tierra. Este diseño tiene dos ventajas sobre una antena simple, monopolo: la antena es más corta y compacta, y la adaptación de impedancia puede ser controlada por el diseñador sin la necesidad de componentes externos para la adaptación. (Kripkit, 2021)

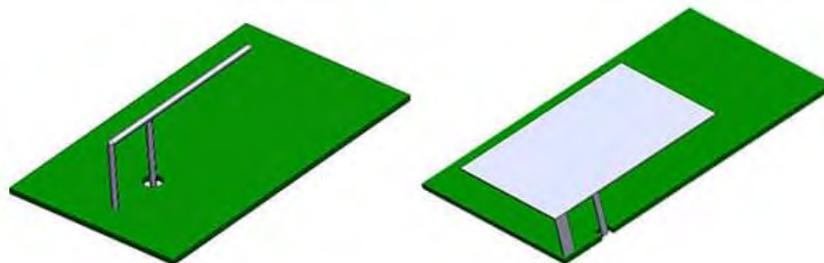


Figura 24 Antena en forma de F invertida (izquierda) típica y antena PIFA típica (derecha). (Miron, 2018)

Su uso más extendido es como una antena F invertida planar, a menudo conocida como PIFA, de la antena F invertida Planar inglesa, en dispositivos móviles inalámbricos por sus propiedades compactas. PIFA se puede imprimir utilizando el formato microstrip, una tecnología ampliamente utilizada que permite que los componentes RF impresos se fabriquen como parte de la misma placa de circuito impreso utilizada para montar otros componentes. (Kripkit, 2021)

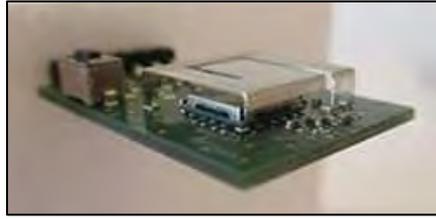


Figura 25 La antena PIFA permite montar varios componentes debajo de ella, como un módulo RF. (Miron, 2018)

Antena de ranura

El último tipo de antena PCB en la lista es la antena de ranura. Tiene este nombre por la forma en la que está estructurada, incluye una placa de metal que tiene varias ranuras o cortes en ella. Los campos magnéticos y eléctrico son al contrario que en el dipolo. (Team, 2021)



Figura 26 Antena de ranura del radar marino. (Isolution, 2020)

La antena de ranura es un ejemplo de antena de apertura. Se hace una ranura rectangular en la hoja conductora. Estas antenas de ranura se pueden formar simplemente haciendo un corte en la superficie, donde se montan.

El rango de frecuencia utilizado para la aplicación de la antena de ranura es 300 MHz a 30 GHz. Funciona en rangos de frecuencia UHF y SHF. (Isolution, 2020)

Aplicaciones de la antena de ranura.

En conjuntos la antena de ranura se usa en la aviación. La superficie metálica de la aeronave permite la formación de la ranura directamente sobre ella. También se usan en sistemas de radar portátiles. (Team, 2021)

Las siguientes son aplicaciones de la antena de ranura:

- Generalmente para propósitos de navegación por radar
- Utilizado como una matriz alimentada por una guía de ondas (Isolution, 2020)

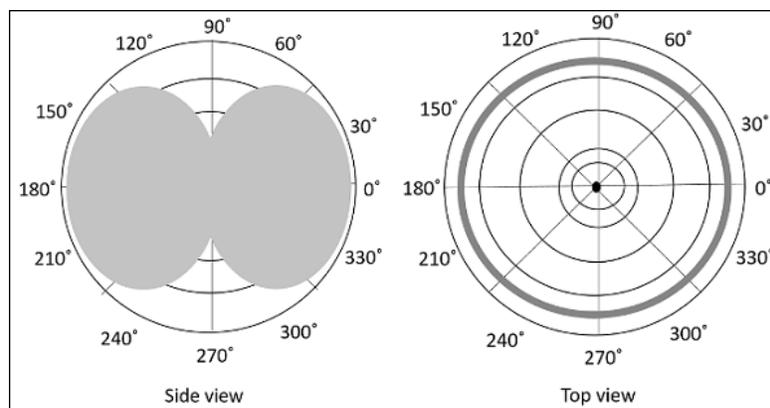


Figura 27 Patrón de radiación omnidireccional de una antena de ranura. (Isolution, 2020)

Ventajas

- Se puede fabricar y ocultar dentro de objetos metálicos.
- Puede proporcionar comunicaciones encubiertas con un pequeño transmisor

Desventajas

- Niveles más altos de polarización cruzada
- Menor eficiencia de radiación

CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES

Este documento es una recopilación de todo lo que uno necesita saber para el diseño de antenas, desde lo más básico hasta los más complejo, pasando por las definiciones hasta el mismo proceso de diseño, toda persona que esté interesada en diseñar puede encontrar toda la orientación necesaria en este documento.

Con toda la información que pudimos observar en este documento podemos concluir que el reto del diseño de una antena, empieza mucho antes de diseñar la antena misma, primero se necesita saber los requerimientos del dispositivo con el que se va a trabajar; la manera en la que este dispositivo se va manejar, si será utilizado sujetado con la mano o sobre alguna superficie, la cubierta y el material del que estará hecho, el tamaño y muchas otras variables referentes al dispositivo mismo. Además, el diseño de la antena viene con sus propios retos como: manufacturación, implementación, integración y fase de evaluaciones, que siempre puede resultar en que se reinicie todo el proceso, por eso es importante revisar paso por paso.

Con esta recopilación busco ayudar a los líderes de proyecto o a las personas que buscan diseñar su propio dispositivo, poniendo a la mano toda la información que hay al respecto y traduciéndola de los diferentes idiomas en la que está disponible, más que nada el inglés, ya que se entiende que no todos tienen cierto dominio del inglés, y tratan de buscar información en su propio idioma, en este caso el español, el problema con esto es que la mayoría de la información viene en inglés y en español es muy escasa, sobre todo en estos temas, aun mas en formatos más digeribles como conferencias y clases en línea.

Se puede concluir que el idioma fue uno de los retos principales de esta monografía, la traducción de todos los términos técnicos, siglas y protocolos, y que todo tuviera sentido en conjunto, armar una guía de pasos bien detallada, para que todo se pueda entender, partiendo desde una conferencia de Webinar completa, todo ya

visto y explicado de forma que cualquiera lo pueda entender, con sus términos técnicos ya diluidos.

BIBLIOGRAFÍA

- Etecé, E. e. (05 de 08 de 2021). *Concepto.de*. Obtenido de Concepto.de.: <https://concepto.de/investigacion-documental/>
- Franco Curotto, S. E. (2012). *Antenas, Polarización y Diagramas de Radiación*. Octubre: 23.
- Hernandez, J. Z. (27 de Abril de 2016). *Allteinco*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/allteinco/unidad-3-antenas/3-3-ganancia-y-polarizacion>
- INC., F. I. (12 de Marzo de 2021). *Fmuser*. Obtenido de <https://es.fmuser.net/content/?2220.html>
- Isolution. (2020). *Isolution*. Obtenido de Isolution: <https://isolution.pro/es/t/antenna-theory/antenna-theory-slot/teoria-de-la-antena-ranura>
- Koax24. (17 de Mayo de 2021). Obtenido de <https://www.koax24.de/es/servicio/glosario/mil-4.html>
- Kripkit. (14 de 02 de 2021). *Kripkit*. Obtenido de Kripkit: <https://kripkit.com/antena-f-invertida/>
- Miron, R. (30 de 04 de 2018). *Digi-Key*. Obtenido de Digi-Key: <https://www.digikey.com.mx/es/blog/proant-pifas-planar-inverted-f-antennas>
- Padrisa, P. (23 de Junio de 2016). *SISADMIT*. Obtenido de <https://www.sysadmit.com/2016/06/wifi-tipos-de-antena-buenas-practicas-capitulo-5.html>
- Peterson, Z. (09 de Abril de 2020). *Altium*. Obtenido de Altium: <https://resources.altium.com/es/p/best-pcb-antenna-design-software>
- Ramos, Y. A. (2003). *Líneas de Transmisión y guías de onda*. Cholula, Puebla: Departamento de Ingeniería Electrónica. Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla.

- Shootthedevelop. (5 de Febrero de 2008). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia:
https://en.wikipedia.org/wiki/File:UHF_CB_with_rubber_ducky_exposed.jpg
- T&C. (s.f.). *PCBantennas*. Obtenido de PCBantennas: <https://pcbantennas.com/>
- Taoglas. (Julio de 2015). *Taoglas Antenna Solutions*. Obtenido de Taoglas Antenna Solutions:
<https://cdn.taoglas.com/wp-content/uploads/2015/07/PCB-Antenna-Application-Note-APN-13-8-001.A.pdf>
- Team, P. (24 de Marzo de 2021). *PCBONLINE*. Obtenido de PCBONLINE:
<https://www.pcbonline.com/blog/pcb-antenna-basics.html>
- WNI. (s.f.). *WNI MÉXICO S.A.* Obtenido de https://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=62:ant-enassoporte&catid=31:general&Itemid=79
- Y, R. (2022). *Electronics desk*. Obtenido de Electronics desk:
<https://electronicsdesk.com/loop-antenna.html>
- Y, R. (2022). *Electronics Desk*. Obtenido de Electronics Desk:
<https://electronicsdesk.com/loop-antenna.html>
- Yohann Robert. (12 de Julio de 2016). *Antenna device essentials for SIGFOX Ready devices*. Mexico: SIGFOX.