

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**

**SIMULACIÓN DE ARREGLOS DE ANTENAS DISTRIBUIDAS EN
UN ÁNGULO SÓLIDO DE 4π sr PARA LA CONFORMACIÓN DE
PATRONES DE RADIACIÓN CUASI ISOTRÓPICOS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

DAVID ALEJANDRO VERDEZOTO ESCOBAR
davidave95@gmail.com

DIRECTOR: DR.-ING. HERNÁN VINICIO BARBA MOLINA
hernan.barba@epn.edu.ec

CODIRECTOR: M.SC. RAMIRO EDUARDO MOREJÓN TOBAR
ramiro.morejon@epn.edu.ec

Quito, enero 2020

AVAL

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por David Alejandro Verdezoto Escobar, bajo nuestra supervisión.

Dr.-Ing. Hernán Vinicio Barba Molina
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

M.Sc. Ramiro Eduardo Morejón Tobar
CODIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo David Alejandro Verdezoto Escobar, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración dejo constancia de que la Escuela Politécnica Nacional podrá hacer uso del presente trabajo según los términos estipulados en la Ley, Reglamentos y Normas vigentes.

DAVID ALEJANDRO VERDEZOTO ESCOBAR

DEDICATORIA

A mi madre, por estar para mí siempre, enseñarme que la dedicación siempre da frutos y darme el valor que necesité para salir adelante. A mi padre por ser el ejemplo a seguir a lo largo de mi vida y por todo el apoyo que me ha brindado. A mi hermano por estar junto a mí y ofrecerme su ayuda incondicional.

AGRADECIMIENTO

A mis padres por ser el pilar de mi vida, por el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de ella, por el tiempo y entrega que me ofrecieron para llegar a ser la persona que soy, por sus consejos y enseñanzas que fueron de gran importancia para alcanzar todo lo que he logrado. A mi hermano por acompañarme a lo largo de estos años y brindarme su infinita amistad y confianza.

A mi familia por apoyarme en todo lo que he necesitado. En especial a Alicia, Oswaldo y Regulo que me dieron su total apoyo.

A mis amigos por sus consejos, por haber estado a mi lado en los buenos y malos momentos, por la ayuda que me brindaron para superar cualquier adversidad y por todo lo vivido en este tiempo.

Al Dr. Hernán Barba por la amistad, confianza y ayuda brindada que fue fundamental para el desarrollo de este trabajo de titulación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AVAL	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.2 ALCANCE	3
1.3 MARCO TEÓRICO.....	4
1.3.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE UNA ANTENA	4
1.3.2 ESTADO DEL ARTE	8
2 METODOLOGÍA.....	18
2.1 POSICIONAMIENTO DE ANTENAS EN UN ÁNGULO SÓLIDO DE 4π sr.	18
2.1.1 DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS EQUIDISTANTES EN UNA ESFERA	18
2.2 MODELADO DE DIFERENTES ESTRUCTURAS DE ARREGLOS DE ANTENAS.....	21
2.2.1 MODELADO DE ANTENAS	22
2.3 METODO DE ANÁLISIS	36
2.3.1 DISTRIBUCIÓN DE ANTENAS TIPO DIPOLO	37
2.3.2 DISTRIBUCIÓN DE ANTENAS TIPO MONOPOLO.....	38
2.3.3 DISTRIBUCIÓN DE ANTENAS <i>PATCH</i>	39
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
3.1 ESTRUCTURAS CON ANTENAS DIPOLO	42
3.2 ESTRUCTURAS CON ANTENAS MONOPOLO	48
3.3 ESTRUCTURAS CON ANTENAS <i>PATCH</i>	54
3.4 DISCUSIÓN	60
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
4.1 CONCLUSIONES.....	61

4.2	RECOMENDACIONES	63
5	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
	ANEXOS	66

RESUMEN

Este trabajo de titulación presenta un estudio realizado en diferentes configuraciones de arreglos de antenas, basado en simulaciones en CST Studio Suite, para la obtención de patrones de radiación cuasi isotrópicos. Cada arreglo está conformado individualmente por elementos radiantes con característica de radiación omnidireccional (antenas tipos alambre monopolo y dipolo) así como como elementos radiantes direccionales (antenas planares *microstrip – patch*).

En el Capítulo 1 se resume brevemente las principales características de un elemento radiante (antena) y se establece el estado del arte mismo que compendia aquellos trabajos reportados en la literatura científica y relacionados al tema en cuestión.

Seguidamente, el Capítulo 2 detalla la metodología del presente estudio. En él se describen de manera gráfica los algoritmos de posicionamiento los cuales proponen la ubicación de los elementos radiantes en cada uno de los arreglos a modelar en la herramienta de simulación. Para cada algoritmo se presenta la pseudocodificación respectiva. Asimismo, se especifican los elementos radiantes propuestos para este trabajo además de su modelado y optimización en CST Studio Suite. Finalmente, se presenta cada arreglo de antenas posicionadas en el ángulo sólido de 4π sr conforme al algoritmo de distribución escogido.

Una vez que las diferentes configuraciones de los arreglos han sido establecidas, en el Capítulo 3 se presentan los resultados obtenidos de las simulaciones. En cada simulación se considera diferentes escenarios de alimentación basados, en primera instancia, en un cambio de fase progresivo. Posteriormente se optimiza el escenario de alimentación, basado en los resultados previos, para la obtención de aquellos patrones de radiación deseados.

En el Capítulo 4 se discute las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

Las simulaciones en CST Studio Suite fueron realizadas gracias al apoyo del GRE-ITeAM-UPV.

PALABRAS CLAVE: Patrón isotrópico, Monopolo, Dipolo, Patch, CST Studio Suite.

ABSTRACT

This work shows a study carried out in different configurations of antenna arrays, based on simulations in CST Studio Suite, to obtain quasi-isotropic radiation patterns. Each array is individually constituted by radiating elements with omnidirectional radiation characteristics (such as wire antennas monopole and dipole) as well as those with directional radiation characteristics (planar microstrip antennas – antennas patch).

Chapter 1 briefly summarizes the main characteristics of a radiating element (antenna) and establishes the state of the art which abstracts those works reported in the scientific literature and related to this subject.

Next, Chapter 2 details the methodology of the present study. It describes graphically the positioning algorithms which propose the location of the radiating elements in each of the arrays to be modeled in the simulation tool. For each algorithm the respective pseudocoding is presented. Likewise, the radiant elements proposed for this work are specified along with their modeling and optimization in CST Studio Suite. Finally, each antenna array positioned on the solid angle of 4π sr is presented according to the chosen distribution algorithm.

Once the different array configurations have been established, Chapter 3 presents the results obtained from the simulations. In each simulation different feeding scenarios are considered based, initially, on a progressive phase change. Subsequently, the feeding scenario is optimized, based on the results previously obtained, to obtain those desired radiation patterns.

Chapter 4 discusses the conclusions and recommendations of this work.

CST simulations were supported by GRE-ITeAM-UPV.

KEYWORDS: Isotropic radiation pattern, Monopole, Dipole, Patch, CST Studio Suite

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad las comunicaciones inalámbricas son utilizadas por una gran parte de los sistemas de comunicación, lo que se refleja en un aumento de la CAGR (*Compound Annual Growth Rate*) del 53% de 2015 y 2020, alcanzando 30,6 exabytes por mes para el 2020 [1]. Para la transmisión de la información, este tipo de comunicaciones emplea ondas de radiofrecuencia (RF) facilitando de esta manera la operación en lugares de difícil acceso así como la flexibilidad y movilidad de usuarios [2].

Para conseguir esta transmisión de información por medio de ondas de radiofrecuencia, los sistemas inalámbricos poseen elementos primordiales que permiten la transformación de señales eléctricas en energía propagada llamados antenas [3]. Una antena trabaja bajo el principio de dualidad, es decir, puede operar en modo de transmisión (conversión de señales eléctricas en ondas electromagnéticas) o en modo de recepción (conversión de ondas electromagnéticas en señales eléctricas) [4].

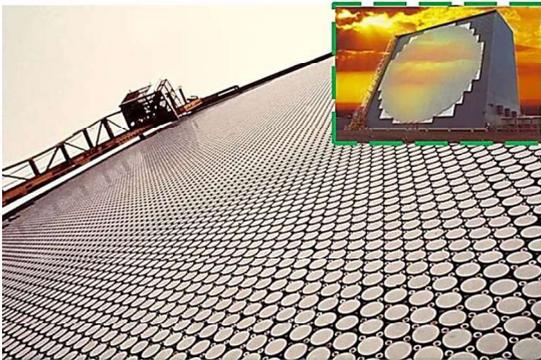
Los medios de propagación normalmente utilizados en los sistemas de comunicación son entes naturales (aire, vacío y agua salada) mismos que permiten la transmisión de las ondas electromagnéticas mas no influyen en el direccionamiento de las mismas. Para esto último, tanto el diseño de la estructura geométrica de una antena así como la disposición de ésta dentro de un arreglo (de antenas), describirán un determinado patrón de radiación así como una dirección de propagación de las ondas radiadas por la antena o el arreglo de antenas, respectivamente [4].

Las antenas que operan en modo de transmisión normalmente requieren un patrón de radiación definido por un haz de alta directividad. En términos de realizaciones físicas, un haz de alta directividad se consigue por medio de un incremento físico de la apertura de la antena (v.g. antenas parabólicas o arreglos de antenas) [4]. En casos puntuales, un haz de alta directividad no es requerido para transmisión de señales, v.g., en la transmisión de señales de control y monitoreo para aviones bajo el estándar ADS-B [5]. En este caso, las antenas de las aeronaves al momento de la transmisión requieren de un patrón de radiación más bien amplio que permita una mayor cobertura con el fin de que la antena más cercana pueda receptor su señal [5].

En el caso de los sistemas radar, las antenas operan irradiando energía electromagnética y detectando el eco devuelto por la reflexión en objetos. La ubicación angular del objetivo se encuentra con una antena direccional (ancho de haz estrecho) para detectar el ángulo de llegada de la señal de eco. La resolución de ángulos requiere (eléctricamente) antenas grandes. En la Figura 1.1 (a) se aprecia, de manera ejemplar, la gran apertura del

AN/FPS - 108 *Cobra Dane* que es un arreglo de antenas en fase (*phased arrays*) en banda L para el sistema radar correspondiente.

Para la recepción de ondas electromagnéticas el requerimiento de alta directividad (y por lo tanto de alta ganancia) no es obligatorio ya que las señales que llegan a la respectiva antena provienen de diferentes direcciones [6]. Una baja directividad está relacionada con patrones de radiación cuya forma se aproxime al modelo isotrópico de radiación (Directividad = 0 dBi). Esto se observa en la Figura 1.1 (b) en donde se aprecia un arreglo de dipolos para cobertura cuasi isotrópica.



(a)



(b)

Figura 1.1. Arreglos de antenas. (a) *AN/FPS-108 Cobra Dane* [7], (b) *Disk-loaded dipoles antenna* [8]

1.1 OBJETIVOS

El objetivo general de este Proyecto Técnico es:

- Estudiar, por medio de simulación electromagnética tridimensional, diferentes estructuras de arreglos de antenas dipolo, monopolo y *patches* distribuidas sobre un ángulo sólido de 4π sr para la conformación de patrones de radiación cuasi isotrópicos.

Los objetivos específicos del Proyecto Técnico son:

- Describir brevemente el modelo de radiación isotrópica, así como el estado del arte en estructuras radiantes que presentan radiación cuasi isotrópica.
- Definir el método de análisis, limitación de los grados de libertad.
- Describir el algoritmo de posicionamiento de las antenas en las estructuras tridimensionales.

- Simular diferentes estructuras de antenas usando monopolos, dipolos y *patches*.
- Analizar los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas de las estructuras.

1.2 ALCANCE

En el presente trabajo de titulación se realizará el estudio de diferentes estructuras de arreglos de antenas dipolo, monopolo y *patches* distribuidas sobre un ángulo sólido de 4π sr, por medio de simulación electromagnética tridimensional utilizando la herramienta de simulación CST Studio Suite, con el fin de obtener patrones de radiación lo más cercano posible al modelo isotrópico.

En primer lugar, se presentará una breve descripción de lo que es un patrón de radiación isotrópico, sus características principales y los métodos con los que se podría obtener este patrón. Además, se detallará el estado del arte en estructuras que presentan radiación cuasi isotrópica.

Seguidamente, se describirá la metodología para cubrir el estudio técnico. Debido a la gran cantidad de grados de libertad (número de antenas a utilizarse, posicionamiento de las antenas sobre el ángulo sólido, polarización y alimentación) se propone inicialmente un número determinado de antenas, con una polarización fija y posicionadas de acuerdo a un método basado en la cantidad de elementos radiantes, para el análisis de los patrones de radiación. El algoritmo de distribución de las antenas en estructuras tridimensionales sobre un ángulo sólido de 4π sr será implementado con la ayuda de MATLAB.

La esfera sobre la cual se posicionarán los elementos radiantes presentará un radio que dependerá de la estructura y posición de las antenas. Principalmente, se tomará en cuenta que tanto los dipolos, así como las antenas *patch*, ambos tangentes a la esfera, no entren en contacto para evitar el posible acoplamiento galvánico que pueda suscitarse. Cabe recalcar que la frecuencia de operación no es factor determinante para el desarrollo del presente proyecto.

Se realizará el modelado y simulación de las estructuras tridimensionales en CST Studio Suite usando antenas monopolo, dipolo y *patches*. El algoritmo de alimentación de las antenas estará basado en el cambio de fase progresivo en función de la posición de los elementos.

Una vez definida la metodología del estudio se analizarán los patrones de radiación obtenidos y se optimizará la cantidad de antenas utilizadas, así como la alimentación de

las mismas para la obtención de un patrón de radiación lo más cercano posible al modelo isotrópico.

1.3 MARCO TEÓRICO

En esta sección se presenta las características principales de una antena como el patrón de radiación, regiones de campo, etc. Asimismo, se establece el estado del arte en el cual se observa trabajos que involucran antenas con un patrón de radiación cuasi isotrópico.

1.3.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE UNA ANTENA [4]

Patrón de radiación

El patrón de radiación de una antena está definido como una función matemática o una representación gráfica de las propiedades de radiación de una antena como una función de coordenadas espaciales. Las antenas pueden presentar diferentes patrones de radiación dependiendo del diseño de su estructura geométrica y de su disposición dentro de un arreglo de antenas. La Figura 1.2 ilustra como ejemplo el patrón de radiación de un dipolo Hertziano. El patrón de radiación de una antena se puede expresar como la representación espacial de la energía emitida por la misma.

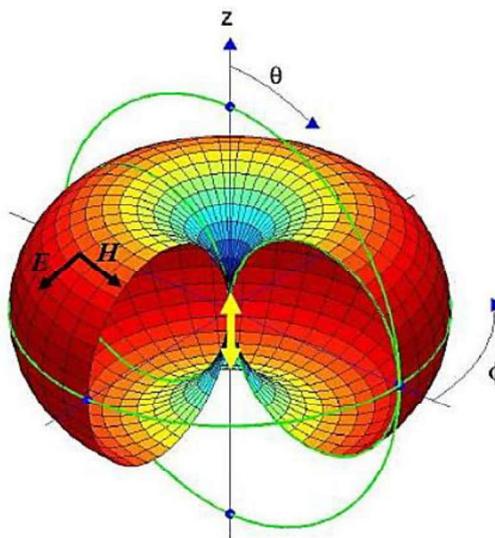


Figura 1.2. Diagrama de radiación de un dipolo Hertziano [4]

Regiones de campo

El espacio que rodea a una antena usualmente se subdivide en tres regiones como se observa en la Figura 1.3. El campo cercano reactivo, campo cercano radiante conocido como región de Fresnel y campo lejano conocida como región de Fraunhofer. La región del

campo cercano reactivo está definida como la porción del campo cercano más próximo a la antena en donde predominan las componentes reactivas de los campos electromagnéticos. Finalmente, el campo lejano está definido como la región del campo de una antena donde las componentes de campo angulares predominan frente a las radiales, esto es, aquellas que dependen de la distancia con respecto a la antena.

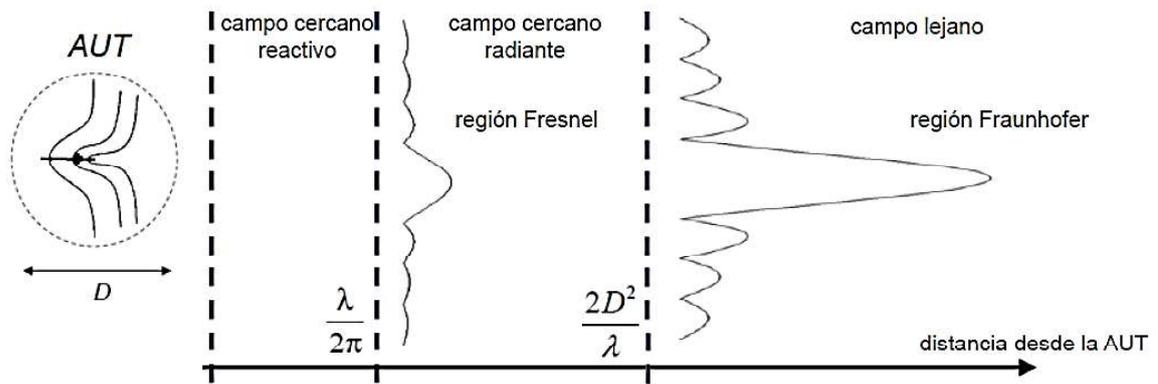


Figura 1.3. Regiones de campo de una AUT (*Antenna Under Test*) [4]

Directividad de una antena

La directividad es una de las propiedades más importantes que describe el funcionamiento de una antena. En [4], la directividad se define como la razón entre la intensidad de radiación en una dirección dada y la intensidad de radiación promedio en todas las direcciones. La directividad guarda una relación directa con el ancho del lóbulo de radiación (haz), es así que, a mayor directividad, el ancho del haz es más estrecho (evidenciado por la reducción del ángulo de media potencia -HPBW (*Half-Power Beam Width*)-[4]). En la Figura 1.4 se ilustra el concepto de directividad de un elemento radiante.

Radiador Isotrópico

Un radiador isotrópico es un radiador ideal (sin pérdidas de radiación), es decir, emite la misma intensidad de radiación en todas las direcciones, distribuyendo la energía en el espacio uniformemente, en un ángulo sólido de 4π sr. Es una antena que se toma como referencia para comparar el comportamiento de antenas reales [3].

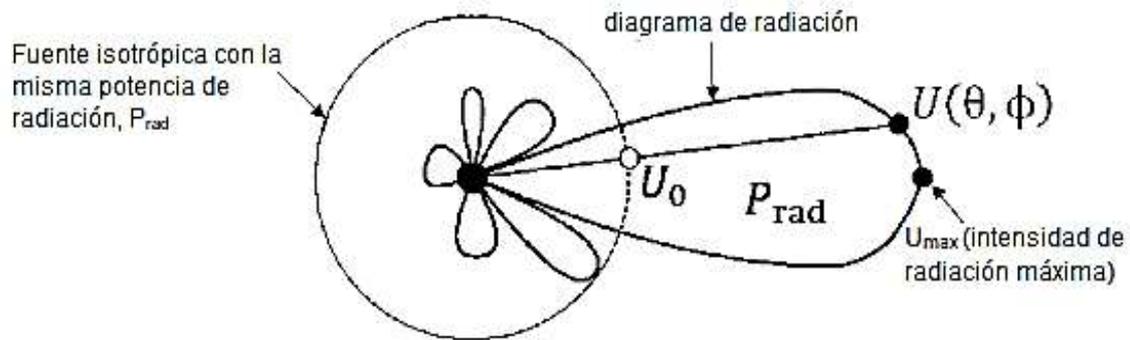


Figura 1.4. Directividad de una antena [4]

VSWR

VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) es una medida que describe el acoplamiento de una antena con la línea de transmisión a la que está conectada. Este parámetro proporciona una medida de la cantidad de potencia que refleja la antena versus la potencia aceptada por la misma [9]. Con la ecuación (1.1) se calcula el VSWR:

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (1.1)$$

En donde Γ es el coeficiente de reflexión en la interfaz línea de transmisión – antena.

Polarización

La polarización de una onda radiada está definida como la propiedad de una onda electromagnética que describe la variación de la dirección en el tiempo y la magnitud relativa del vector de campo eléctrico. La Figura 1.5 ejemplifica la polarización de una onda. La polarización es entonces la curva trazada desde el punto final del vector que representa el campo eléctrico instantáneo.

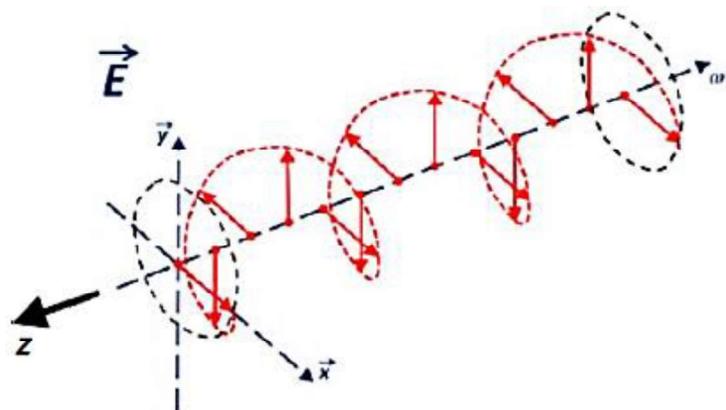


Figura 1.5. Polarización de una onda electromagnética [4]

Polarización lineal

Una onda está polarizada linealmente en un punto dado en el espacio si el vector de campo eléctrico en ese punto está siempre orientado a lo largo de la misma línea recta en cada instante de tiempo como se observa en la Figura 1.6. Esto se logra si el vector de campo eléctrico posee solo una componente o si posee dos componentes lineales ortogonales en fase.

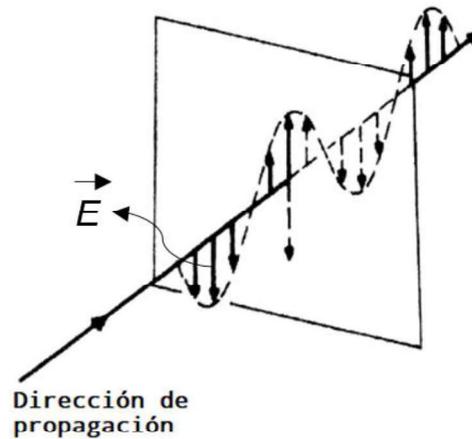


Figura 1.6. Polarización lineal [4]

Polarización circular

Una onda tiene polarización circular en un punto dado en el espacio si el vector de campo eléctrico en ese punto traza un círculo como una función del tiempo como se observa en la Figura 1.7. La polarización circular puede presentarse como polarización circular derecha (RHCP) o polarización circular izquierda (LHCP), dependiendo de la dirección en la que el campo eléctrico rota mientras la onda se propaga.

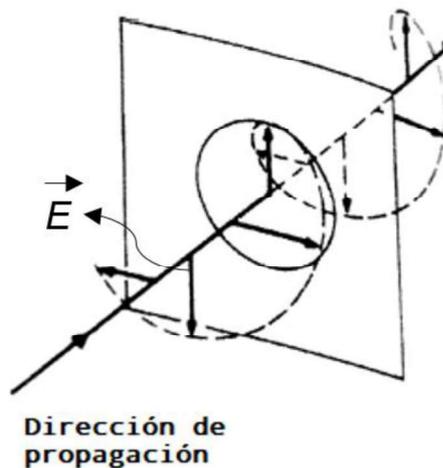


Figura 1.7. Polarización circular (RHCP) [4]

Polarización elíptica

Una onda se polariza elípticamente si la punta del vector de campo eléctrico traza un lugar geométrico elíptico en el espacio como se observa en la Figura 1.8. Está polarizado elípticamente a la derecha si el vector de campo gira en sentido dextrorso, y está polarizado elípticamente a la izquierda si el vector de campo de la elipse gira en sentido sinistrorso. Además del sentido de rotación, las ondas polarizadas elípticamente también se especifican por su relación axial cuya magnitud es la relación del eje mayor al eje menor.

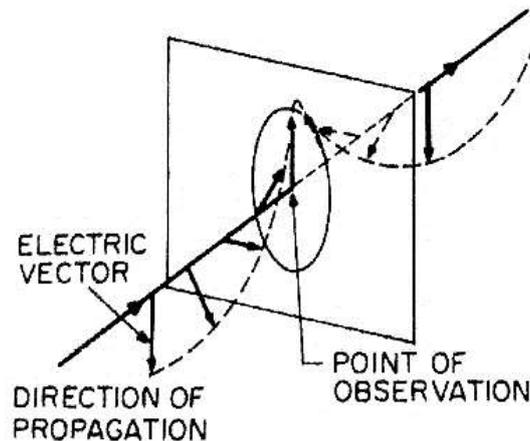


Figura 1.8. Polarización elíptica [4]

1.3.2 ESTADO DEL ARTE

Las antenas que son utilizadas para la transmisión de señales electromagnéticas, por lo general, presentan un patrón de radiación definido por un haz de alta directividad. En ciertos casos, no se requiere de un haz de alta directividad para la transmisión de señales, v.g., en la transmisión de señales de control y monitoreo para aviones bajo el estándar ADS- B [5]. Para este caso, las antenas utilizadas para la transmisión requieren de un patrón de radiación amplio que permita una mayor cobertura con el fin de que cualquier transmisor en el espacio circundante tenga acceso a la antena [5].

Para la recepción de señales electromagnéticas no es necesario una alta directividad ya que las señales que llegan a la respectiva antena provienen de diferentes direcciones [6]. Una baja directividad está relacionada con patrones de radiación cuya forma se aproxima al modelo isotrópico de radiación (Directividad = 0 dBi) por lo que será necesario de antenas que posean esta característica.

Algunos de los proyectos que se han desarrollado involucran sistemas de antenas duales que operan en ambientes interiores como se observa en la Figura 1.9 (a).

En [10] se analiza la diversidad de patrones de antena. Un método para conseguir dicha diversidad es combinar las señales de dos antenas de tal manera que se produzcan dos patrones de antena diferentes. En este trabajo se utilizaron dos dipolos, el método de diversidad de patrón de antena considerado se basa en la idea de antenas parásitas conmutadas. Este concepto de antena permite un espaciado de antena mucho más pequeño y proporciona múltiples patrones de radiación.

Se demostró que es posible cambiar el patrón de la antena activa al terminar la antena parásita en tierra o en circuito abierto. Luego, la ganancia de diversidad se obtiene seleccionando el mejor patrón de antena. La ganancia de diversidad puede explicarse por el hecho de que diferentes patrones de antena reciben diferentes conjuntos de ondas multitrayecto. Esta ganancia será mayor si los dos conjuntos son completamente independientes. En la Figura 1.9 (b) se observa que los patrones de radiación tienen una superposición mínima.

Además, se demostró mediante una comparación entre valores teóricos y experimentales de la ganancia de diversidad que, debido al acoplamiento mutuo entre las dos antenas en la práctica, la ganancia de diversidad no se aproximará a 0 dBi. En el caso de las antenas parásitas de conmutación, es posible un bajo coeficiente de correlación de patrón de antena. Finalmente, se concluye que la diversidad de patrones de antena es una mejor opción que la diversidad de espacio para uso en dispositivos portátiles.

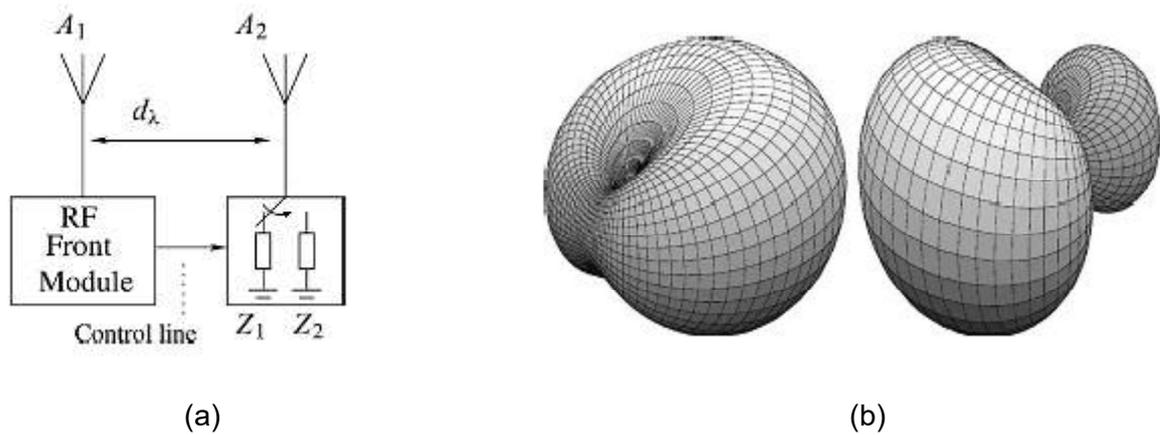


Figura 1.9. Diversidad de patrón de radiación. (a) Concepto de *parasitic switching* con dos dipolos, (b) Patrones de radiación [10]

Por otra parte en [11] se analizaron cavidades electromagnéticas con ranuras radiantes grabadas en sus caras que desempeñan el papel de antenas con diversidad. La estructura propuesta consiste en una cavidad en la que se graban tres ranuras rectangulares (Figura 1.10). Cada ranura irradia en una dirección diferente a las demás y con una

polarización ortogonal. Por lo tanto, las señales recibidas o transmitidas por cada ranura no están correlacionadas. La estructura es alimentada por tres sondas coaxiales. Como cada modo está acoplado a una sola ranura, la potencia de cada puerto de entrada se irradia a través de una sola ranura. Como los modos son ortogonales, el acoplamiento entre cada puerto es muy bajo.

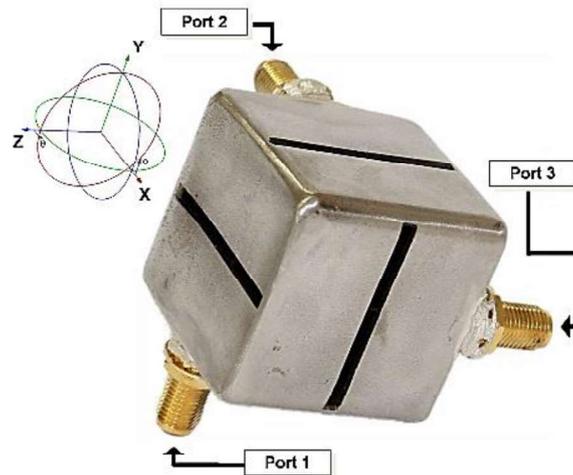


Figura 1.10. Cavidad con polarización de campo eléctrico [11]

Tomando como punto de partida este tipo de geometría, se pueden diseñar varias configuraciones de antena para proporcionar señales no correlacionadas. Como ejemplo, se presenta una antena de tres puertos que combina la polarización y la diversidad de patrones de radiación. La estructura trabaja en la banda de 5 GHz. Dado que hay disponibles tres canales no correlacionados, esta estructura se puede utilizar en sistemas MIMO de multiplexación espacial. El estudio de la antena propuesta demuestra que este tipo de estructuras son adecuadas para los esquemas de comunicación de diversidad. En la Figura 1.11 se observa el patrón de radiación resultante de la estructura.

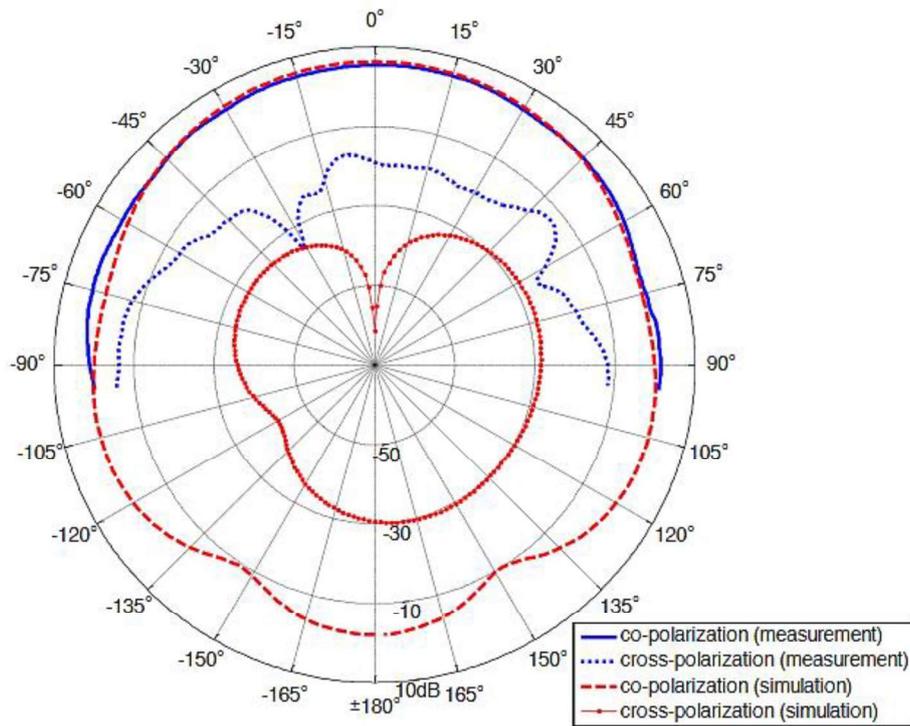


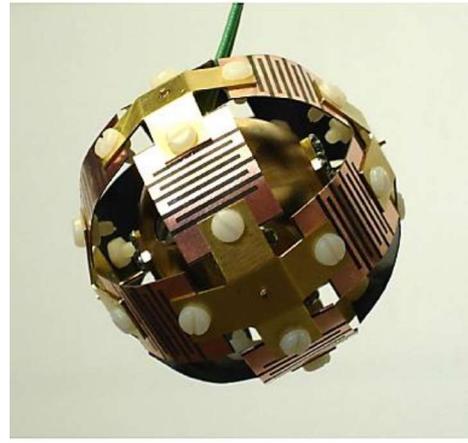
Figura 1.11. Patrón de radiación medido (plano yz) [11]

También se han analizado nuevas antenas con polarización de tres elementos y diversidad de patrones para frecuencias de alrededor de 1,5 GHz para cobertura isotrópica, cubriendo todas las direcciones y cualquier polarización lineal (Figura 1.12) [8]. Sobre la base de tres dipolos perpendiculares, las antenas pueden proporcionar una cobertura isotrópica completa. Fue posible un diseño de banda ancha con un VSWR < 1,5 en un 15% del total de la banda. El patrón de radiación y la ganancia son similares a los de un dipolo de media longitud de onda. Las aplicaciones que este tipo de antenas pueden encontrar son aquellas que utilizan, en redes de sensores, etiquetas insensibles a la orientación.

Las antenas propuestas se basan en 3 dipolos de media longitud de onda co-centrados, montados de manera perpendicular. Se demostró que esta estructura cubre la recepción desde cualquier dirección con cualquier dirección de polarización lineal con una ganancia, en el peor de los casos, de -3 dBi (la ganancia en el mejor caso es de $+2,2$ dBi).



(a)



(b)



(c)

Figura 1.12. Antenas con polarización cuasi isotrópica. (a) Antena dipolo cargada en disco, diámetro exterior máximo de 75 mm, (b) Antena dipolo plegada cargada inductivamente, diámetro exterior máximo de 64 mm, (c) Antena dipolo de carga cruzada, diámetro exterior máximo de 84 mm [8]

La Figura 1.12 (a) representa la realización más genérica de la idea conceptual, antenas dipolo cargadas con discos. En la Figura 1.12 (b), se observa la utilización de placas de circuito delgadas con estructuras *meander* de cobre grabadas para proporcionar carga inductiva a la estructura del dipolo plegado. En la Figura 1.12 (c), se observa una estructura de antenas dipolo con tiras de plástico que conectan las cargas de los dipolos para aumentar la estabilidad mecánica. También cuenta con un condensador en serie en el brazo del dipolo, lo que hace que sea más fácil lograr una impedancia de alimentación de 50Ω en el conector.

Tabla 1.1. Características de las estructuras de tres elementos para cobertura cuasi isotrópica

Tipo de antena	Volumen normalizado de la esfera envolvente en los bordes de la banda [λ_0^3]	Ganancia máxima en banda media [dBi]
Antena dipolo cargada en disco	0,023 ... 0,035	2,3
Antena dipolo de carga cruzada	0,042 ... 0,060	2,3
Antena dipolo plegada cargada inductivamente	0,011 ... 0,018	2,3

Para realizar una comparación de las características de las tres antenas, el ancho de banda de impedancia se define en $S_{11} = -15$ dB. Como se detalla en la Tabla 1.1, la antena dipolo plegada cargada inductivamente muestra el tamaño más pequeño. Las mediciones en una cámara anecoica muestran que los patrones de radiación en los planos principales son similares a los patrones de radiación dipolo típicos. A partir de la ganancia medida, se obtiene una eficiencia de radiación de aproximadamente 96% tanto para el disco cargado como para las antenas con carga cruzada. La ganancia de la antena dipolo plegada cargada inductivamente es ligeramente menor y corresponde a una eficiencia de radiación de aproximadamente 82%.

Igualmente se realizó el análisis de un sistema de antenas conmutable montado sobre una superficie cilíndrica (Figura 1.13) [12]. Este sistema es simulado, implementado y verificado por medio de medidas experimentales. Consiste en varias antenas de triple polarización que trabajan en la banda de 2,4 GHz. Esta configuración de antenas muestra un patrón cuasi isotrópico sin ningún nulo sobre una superficie esférica completa.

Específicamente, este diseño podría proporcionar una cobertura del 100% con una ganancia mayor a 0 dBi sobre la superficie esférica completa. Se pueden obtener valores de ganancia de hasta 2,5 dBi sobre el 90% de una superficie esférica cuando se utiliza un sistema de antena de diseño de tres elementos.

Además, se muestra que el rendimiento del sistema de antenas no se deteriora con el aumento del diámetro del cilindro de montaje. Por lo tanto, el sistema de antenas propuesto puede usarse convenientemente en diferentes portadoras cilíndricas de diámetros diferentes, como aviones y satélites.

En la Figura 1.13 (a) se observa la distribución de dos, tres y cuatro elementos radiantes sobre la superficie cilíndrica. Además, en la Figura 1.13 (b) se observa la ganancia total en 3D de un sistema de antenas compuesto por 3 elementos.

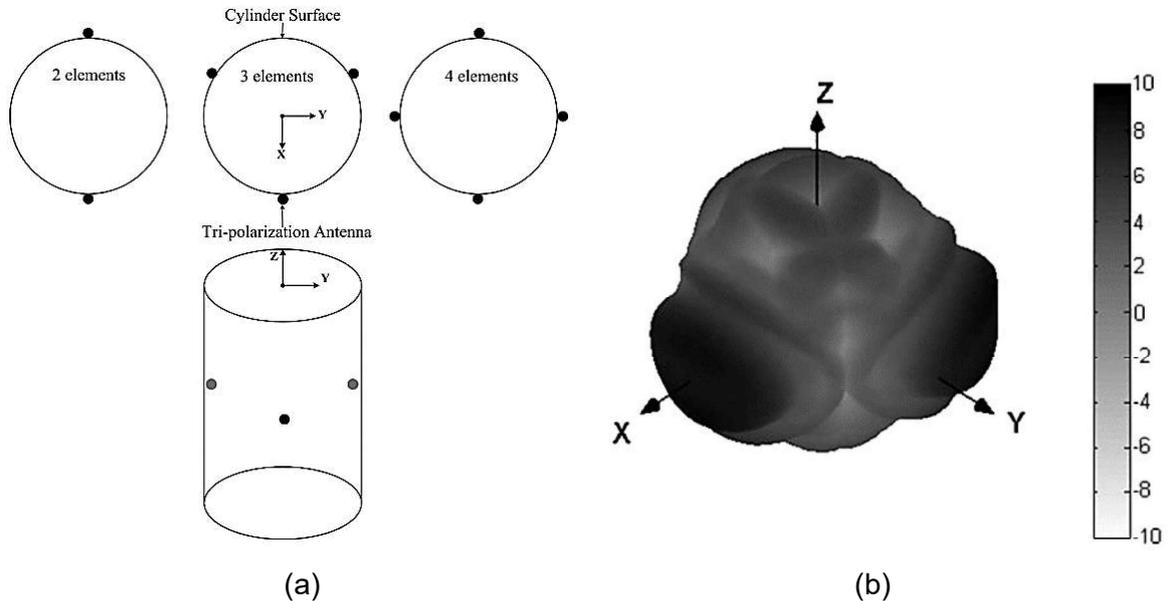


Figura 1.13. Antenas conmutables alrededor de una superficie cilíndrica.

(a) Esquema, (b) Patrón de ganancia total tridimensional [12]

Sumado a esto se realizó el estudio de un radiador de bucle colocado sobre un plano de tierra truncado. Con esto se propone una antena integrada activa auto-oscilante con radiación casi isótropa AIA (*Active Integrated Antenna*) [13]. En la Figura 1.14 (a) se observa el diseño que se realiza incorporando un transistor inestable en una antena de bucle en un plano de tierra truncado. El radiador, se puede ver como equivalente a un par de momentos dipolares eléctricos y magnéticos colocados en conjunto. Estos momentos son coexistentes y perpendiculares entre sí.

El diseño se realiza mediante una antena de bucle parcialmente blindada, con esto, se pueden generar simultáneamente momentos dipolares eléctricos y magnéticos equivalentes, lo que da lugar a una radiación casi uniforme en términos del campo eléctrico total. La antena bucle funciona como el radiador principal, el resonador selectivo de frecuencia y la trayectoria de retroalimentación del transistor inestable al mismo tiempo. Además de las características de radiación casi isotrópica, la AIA propuesta demuestra un buen ruido de fase y alta eficiencia de conversión simultáneamente.

En la Figura 1.14 (b) se observa el resultado del par de momentos dipolares, patrones omnidireccionales en dos planos principales. El campo eléctrico total se vuelve casi isótropo con una cobertura total en todo el espacio.

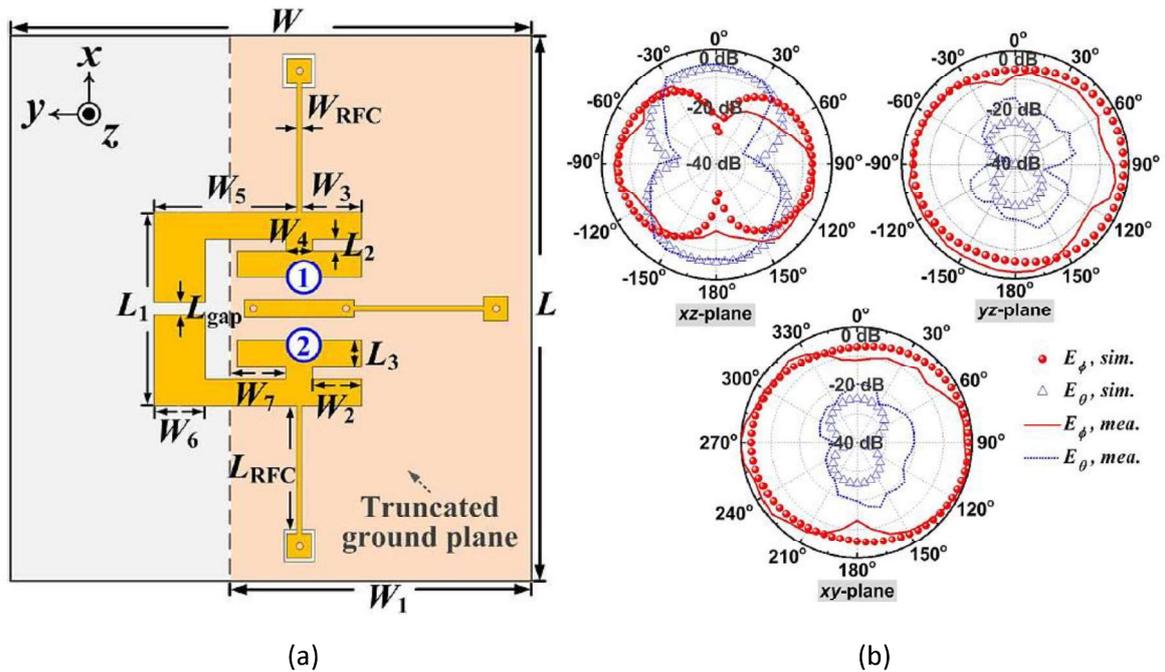


Figura 1.14. Radiador de bucle AIA con radiación cuasi isotrópica.
 (a) Estructura, (b) Patrones de radiación normalizados simulados y medidos de la antena propuesta auto oscilante [13]

Otro trabajo involucra el análisis de una antena de resonador dieléctrico (*Dielectric Resonator Antenna – DRA*) [14]. La Figura 1.15 (a) muestra la estructura de este tipo de antena. La DRA utiliza un plano de tierra pequeño que también sirve como dipolo eléctrico. La DRA se excita en su modo lateral amplio fundamental mediante una sonda coaxial y se irradia como un dipolo magnético, mientras que el pequeño plano del suelo se irradia como un dipolo eléctrico. Al combinar los dipolos eléctrico y magnético, se puede obtener un patrón de radiación casi isotrópico.

Dado que las características básicas de una DRA son independientes de la forma, la idea propuesta también puede realizarse utilizando DRAs cilíndricos y hemisféricos. Además, se pueden usar otros esquemas de alimentación para la DRA, tales como los métodos de acoplamiento por ranura y alimentado por línea *microstrip*. Todo esto aumenta la flexibilidad del diseño.

La Figura 1.15 (b) y la Figura 1.15 (c) muestran los patrones de radiación simulados y medidos de la estructura DRA cuasi isotrópica.

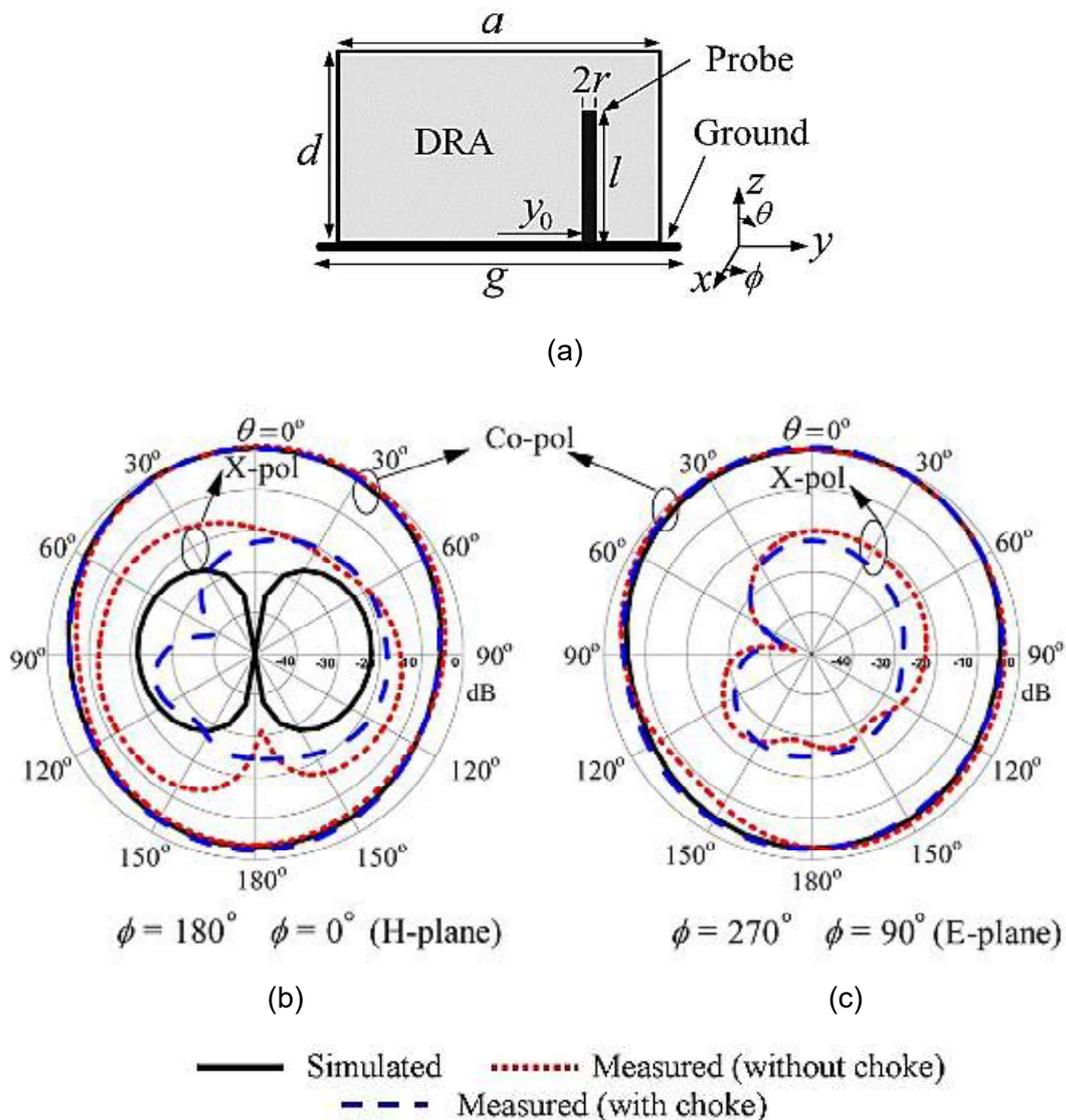


Figura 1.15. Antena de resonador dieléctrico. (a) Estructura, (b) Patrón de radiación de la DRA (plano H), (c) Patrón de radiación de la DRA (plano E) [15]

Por otro lado se analizó una antena tipo *patch* con un patrón de radiación casi isotrópico [15]. En la Figura 1.16 se observa la configuración de la antena compacta cortocircuitada tipo parche con cobertura cuasi isotrópica. La antena está compuesta por un parche radiante, un pequeño plano de tierra que tiene las mismas dimensiones que el parche superior y una pared lateral metálica que conecta los dos primeros. Se utiliza un cable coaxial para la alimentación de la antena. Debido a las propiedades propias de los campos eléctrico y magnético, las corrientes correspondientes se encuentran no solo perpendiculares sino también en cuadratura entre sí, y, por lo tanto, la antena *patch* puede proporcionar un patrón de radiación casi isotrópico sin involucrar un circuito de alimentación complejo.

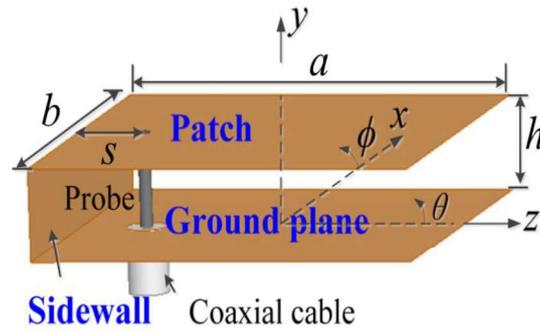


Figura 1.16. Antena tipo parche con cobertura cuasi isotrópica [15]

Para su comprobación, diseñaron y midieron un prototipo que trabaja en la banda WLAN de 2,4 GHz. Se obtiene un acuerdo razonable entre los resultados calculados, simulados y medidos. Se ha demostrado que la diferencia entre las densidades de potencia de radiación máxima y mínima es de 2 dB en toda la superficie de radiación esférica y la diferencia se puede reducir aún más a 0,9 dB utilizando un perfil más bajo.

La Figura 1.17 muestra el patrón de radiación del campo total. Se observa un patrón isotrópico en la simulación. Las diferencias entre las densidades de potencia de radiación máxima y mínima se indican en 1,88 dB (simulación). En comparación con el patrón teórico, el patrón simulado se vuelve más uniforme debido a la distribución de la corriente real. Los patrones de radiación son muy estables en toda la banda operativa.

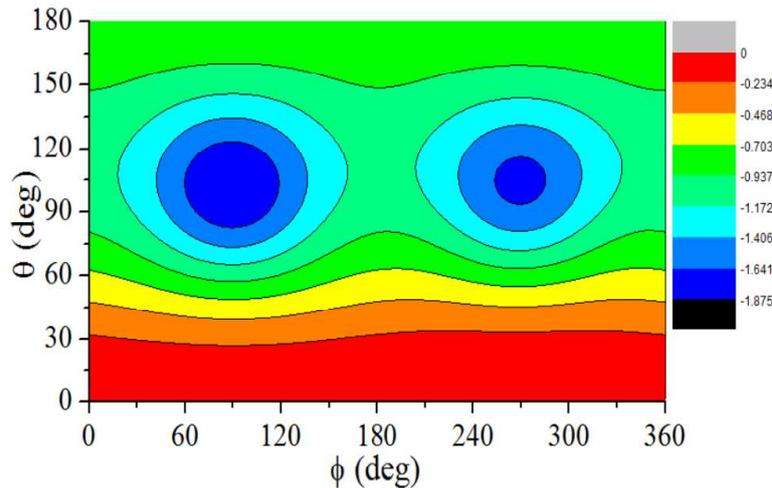


Figura 1.17. Patrón de radiación de la antena *patch* a 2,44 GHz [15]

2 METODOLOGÍA

Este capítulo presenta la metodología empleada para el proyecto de titulación.

2.1 POSICIONAMIENTO DE ANTENAS EN UN ÁNGULO SÓLIDO DE 4π sr

Con el fin de lograr una radiación cuasi uniforme, se considerará en una primera aproximación que las antenas deben ocupar una posición en la cual todas estén distribuidas de manera equidistante en un ángulo sólido de 4π sr.

2.1.1 DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS EQUIDISTANTES EN UNA ESFERA [16]

Existen dos maneras cualitativamente diferentes con las que se puede lograr la equidistribución de puntos en una superficie. La primera se basa en colocar los puntos al azar de modo que la probabilidad de ocupar alguna región específica sea proporcional al área de esa región (estadísticas de Poisson bidimensionales). Esto resulta en una equidistribución promedio. La segunda es colocar puntos de forma regular de modo que la distancia en dos direcciones ortogonales sea siempre la misma a nivel local. Esta última generalmente proporciona un mejor resultado sin fluctuaciones y sin solapamiento accidental.

La forma más sencilla de crear puntos en la superficie de una esfera es utilizar coordenadas esféricas, en las que un punto se coloca a través de sus dos coordenadas angulares, el ángulo polar $\theta \in [0, \pi]$ y el ángulo acimutal $\phi \in [0; 2\pi]$ (Figura 2.1). Si la esfera tiene un radio r , las coordenadas cartesianas de ese punto vienen dadas por:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = r \begin{pmatrix} \sin \theta \cos \phi \\ \sin \theta \sin \phi \\ \cos \theta \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

Colocación aleatoria

Para colocar puntos de manera uniforme en la superficie de una esfera se debe analizar el área del objeto, en este caso, el diferencial de área de la esfera descrita como:

$$dA = r^2 \sin \theta \, d\theta \, d\phi = r \, d(r \cos \theta) \, d\phi = r \, dz \, d\phi \quad (2.2)$$

Por lo tanto, se observa que es correcto elegir ϕ y equidistribuirlo de $[0; 2\pi]$, al igual que z y equidistribuirlo de $[-r; r]$. este procedimiento está dado por el Algoritmo 2.1, el cual coloca N puntos equidistribuidos aleatoriamente en la superficie de una esfera de radio r .

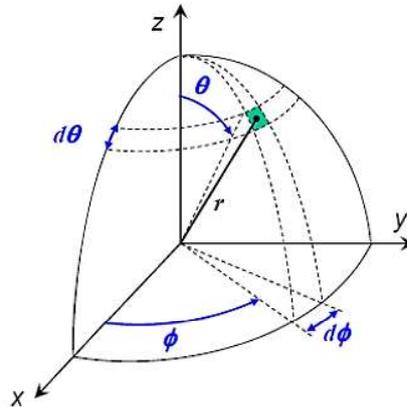


Figura 2.1. Elemento diferencial de superficie [4]

```

repeat  $N$  times
{
  Choose  $z$  equidistributed from  $[-r; r]$ 
  Choose  $\phi$  equidistributed from  $[0; 2\pi]$ 
  Set  $x = \sqrt{r^2 - z^2} \cos \phi$ 
  Set  $y = \sqrt{r^2 - z^2} \sin \phi$ 
}

```

Algoritmo 2.1. Colocación aleatoria de puntos equidistribuidos en una esfera [16]

Un ejemplo gráfico resultante del Algoritmo 2.1 para 5000 puntos ($N = 5000$) se observa en la Figura 2.2.

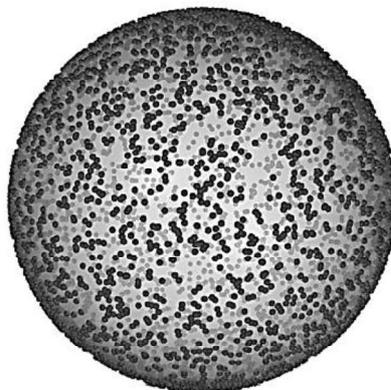


Figura 2.2. Colocación aleatoria ($N = 5000$) [16]

Colocación regular

La equidistribución regular se puede lograr al elegir círculos de latitud a intervalos constantes d_θ y en estos círculos los puntos a una distancia d_ϕ , de manera que $d_\theta \simeq d_\phi$ y $d_\theta d_\phi$ sea igual al área promedio por punto. Como resultado se tiene el Algoritmo 2.2:

```
Set  $N_{\text{count}} = 0$ 
Set  $a = \frac{4\pi r^2}{N}$  y  $d = \sqrt{a}$ 
Set  $M_\theta = \text{round} \left[ \frac{\pi}{d} \right]$ 
Set  $d_\theta = \frac{\pi}{M_\theta}$  y  $d_\phi = \frac{a}{d_\theta}$ 
For each  $m$  in  $0 \dots M_\theta - 1$ 
do
  {
    Set  $\theta = \frac{\pi(m + 0,5)}{M_\theta}$ 
    Set  $M_\phi = \text{round} \left[ \frac{2\pi \sin \theta}{d_\phi} \right]$ 
    For each  $n$  in  $0 \dots M_\phi - 1$ 
      do
        {
          Set  $\phi = \frac{2\pi n}{M_\phi}$ 
          Create point using Ecuación (2.1)
           $N_{\text{count}} += 1$ 
        }
      }
  }
```

Algoritmo 2.2. Colocación regular de puntos equidistribuidos en una esfera [16]

La Figura 2.3 muestra un ejemplo de utilización del Algoritmo 2.2, en el cual se colocan N_{count} puntos, con N_{count} muy cerca de N , como se observa en la Figura 2.3. La ubicación regular es mucho más uniforme: no se producen agrupaciones locales (puntos casi sentados uno encima del otro) ni se producen fluctuaciones globales de \sqrt{N} . Para configurar por ejemplo un “estado líquido”, el Algoritmo 2.2 aparece como el más adecuado.

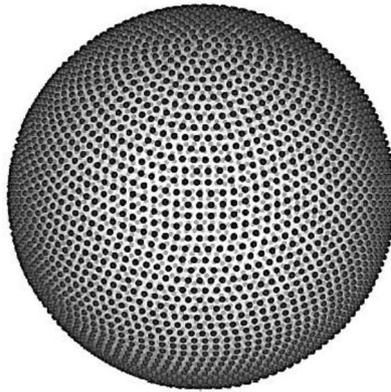


Figura 2.3. Colocación regular de puntos ($N = 4999$) [16]

2.2 MODELADO DE DIFERENTES ESTRUCTURAS DE ARREGLOS DE ANTENAS

En esta sección, las estructuras presentadas son modeladas con la herramienta de simulación CST Studio Suite (ANEXO C).

CST Studio Suite es un paquete de software de análisis 3D EM de alto rendimiento para diseñar, analizar y optimizar componentes y sistemas electromagnéticos.

Los solucionadores de campos electromagnéticos para aplicaciones en todo el espectro EM están contenidos dentro de una única interfaz de usuario en CST Studio Suite. Los solucionadores se pueden acoplar para realizar simulaciones híbridas, brindando al diseñador la flexibilidad de analizar sistemas completos formados por múltiples componentes de una manera eficiente y directa.

Los temas comunes de análisis EM incluyen el rendimiento y la eficiencia de antenas y filtros, compatibilidad electromagnética e interferencia electromagnética (EMC / EMI), exposición del cuerpo humano a campos EM, efectos electromecánicos en motores y generadores, y efectos térmicos en alta potencia.

CST Studio Suite es utilizado en empresas líderes de tecnología e ingeniería a nivel mundial. Ofrece considerables ventajas, facilitando ciclos de desarrollo más cortos y costos reducidos. La simulación permite el uso de prototipos virtuales. El rendimiento del dispositivo puede ser optimizado al identificar posibles problemas de cumplimiento y mitigarlos al principio del proceso de diseño. Se puede reducir la cantidad de prototipos físicos necesarios y minimizar el riesgo de fallas [17].

2.2.1 MODELADO DE ANTENAS

Antena Dipolo [4]

Una de las antenas tipo alambre más utilizadas es el dipolo de media longitud de onda ($L = \lambda/2$), debido a que su resistencia de entrada es de aproximadamente 73Ω , es decir, muy cercana a las impedancias características de 50Ω o 75Ω de las líneas de transmisión comerciales. Consta de dos elementos conductores rectilíneos colineales de igual longitud, alimentados en el centro, y de radio bastante menor que el largo como se muestra en la Figura 2.4 (a).

El patrón de radiación tridimensional se muestra en la Figura 2.4 (b) y es del tipo omnidireccional. Para este patrón tridimensional, se ha eliminado un sector angular de 90° para ilustrar las variaciones del patrón del plano de elevación. En el plano vertical (plano E), el dipolo presenta un patrón de radiación bidireccional, y en el plano horizontal (plano H) el campo es omnidireccional.

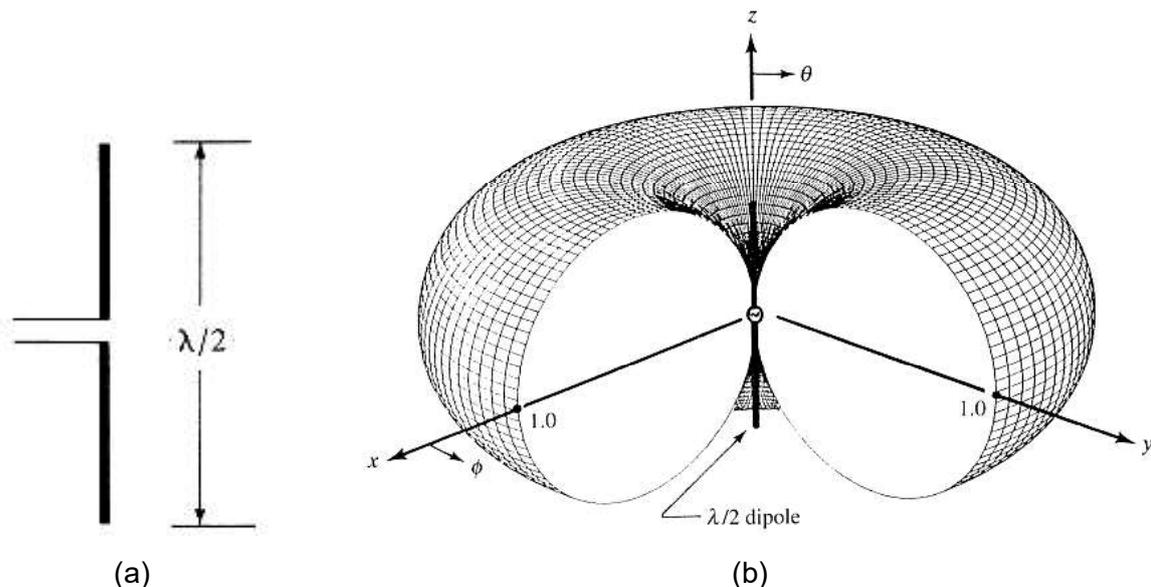


Figura 2.4. Antena dipolo de media longitud de onda.

(a) Estructura, (b) Patrón de radiación tridimensional [4]

La Figura 2.4 muestra una antena dipolo de $L = \lambda/2 = L_{ideal}$, directividad $\cong 2,16$ dBi, resistencia de radiación $\approx 73 \Omega$.

El cálculo de la longitud de onda (λ) se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\lambda = c_0/f \quad (2.3)$$

Donde c_0 : velocidad de la luz (3×10^8 m/s)

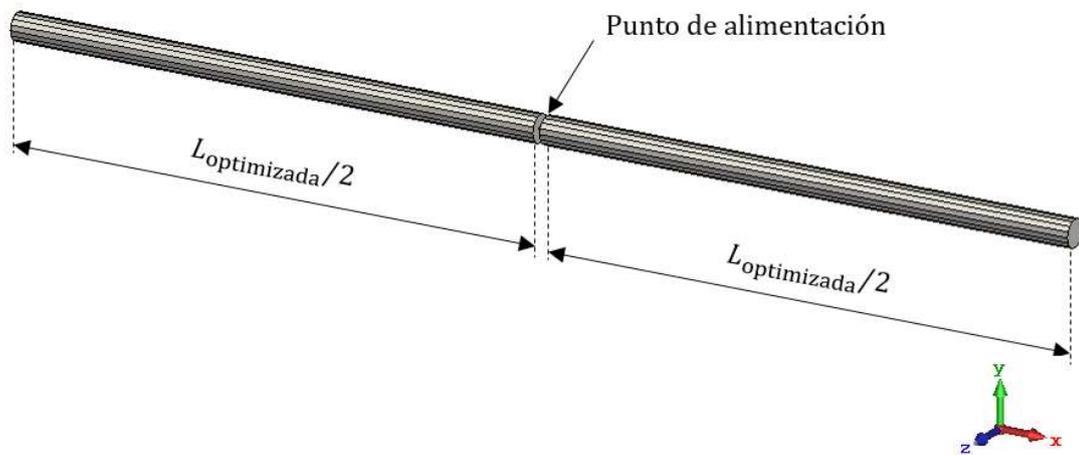
f : frecuencia de trabajo (para este caso $f = 850$ MHz)

La longitud ideal del dipolo ($\lambda/2$) a simular es entonces:

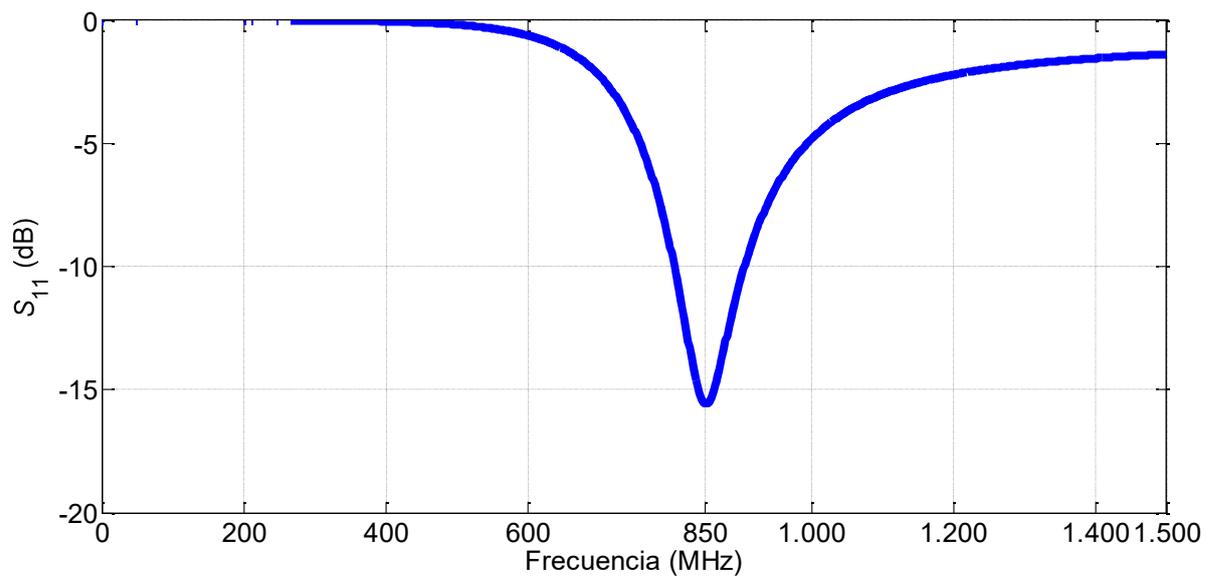
$$L_{\text{ideal}} = 176,47 \text{ mm}$$

Si bien en el presente trabajo de titulación, el enfoque está dado a la parte radiante de las antenas y no a su comportamiento circuital, se ha optimizado la longitud del dipolo usando la herramienta CST Studio Suite de tal manera que el dipolo sea resonante a 850 MHz.

$$L_{\text{optimizada}} = 157,67 \text{ mm}$$



(a)



(b)

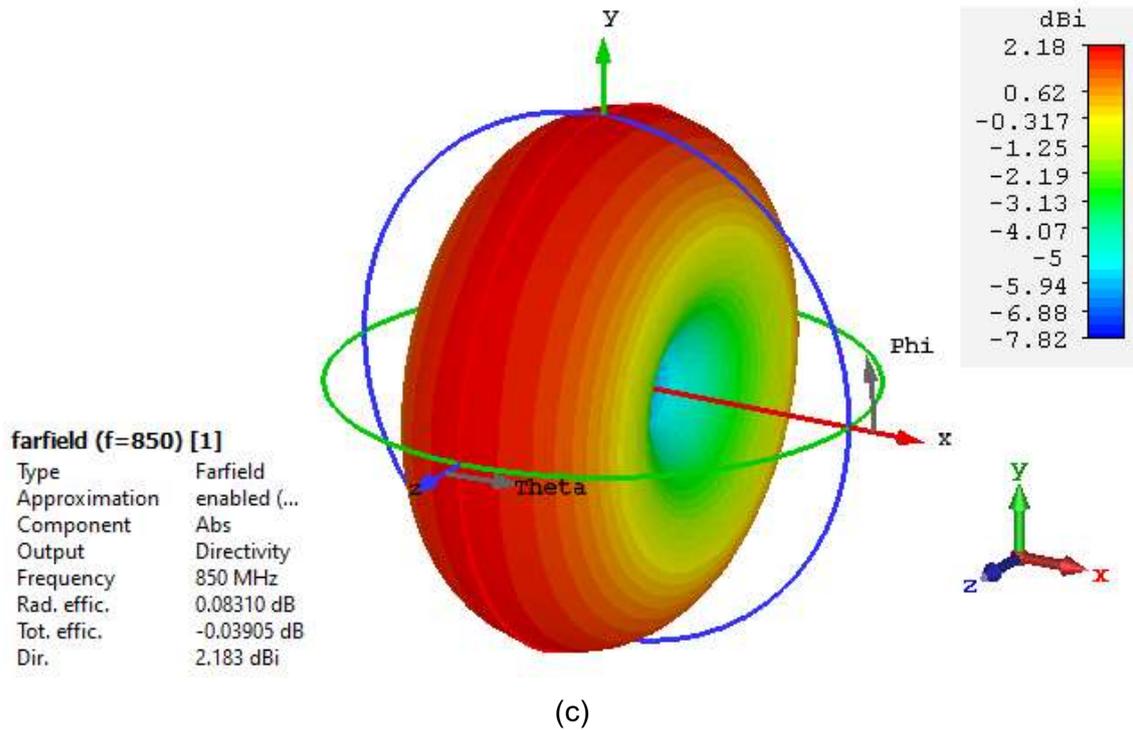


Figura 2.5. Antena dipolo modelada y simulada en CST Studio Suite.

(a) Estructura, (b) Parámetro S_{11} , (c) Patrón de radiación

Para el modelado de esta antena entonces se utilizan dos cilindros de longitud $L_{\text{optimizada}}/2$ y radio 2 mm con alimentación en el centro como se observa en la Figura 2.5 (a). La Figura 2.5 (b) y (c) ilustran el parámetro S_{11} (parámetro de optimización) y el patrón de radiación del dipolo modelado, respectivamente.

A continuación se presenta un ejemplo para la obtención de la posición de un punto en el caso de $n = 6$ elementos radiantes (Figura 2.6) y la colocación de la antena en dicho lugar.

Con el Algoritmo 2.2 codificado en MATLAB (ANEXO A) se encuentra la posición del punto en el que la antena es colocada, en el ángulo sólido de 4π sr. Asimismo, los ángulos de azimut ϕ y elevación θ de dicho punto son determinados con la ayuda del *script* respectivo codificado en MATLAB (ANEXO B):

$$\phi = 0^\circ$$

$$\theta = 45^\circ$$

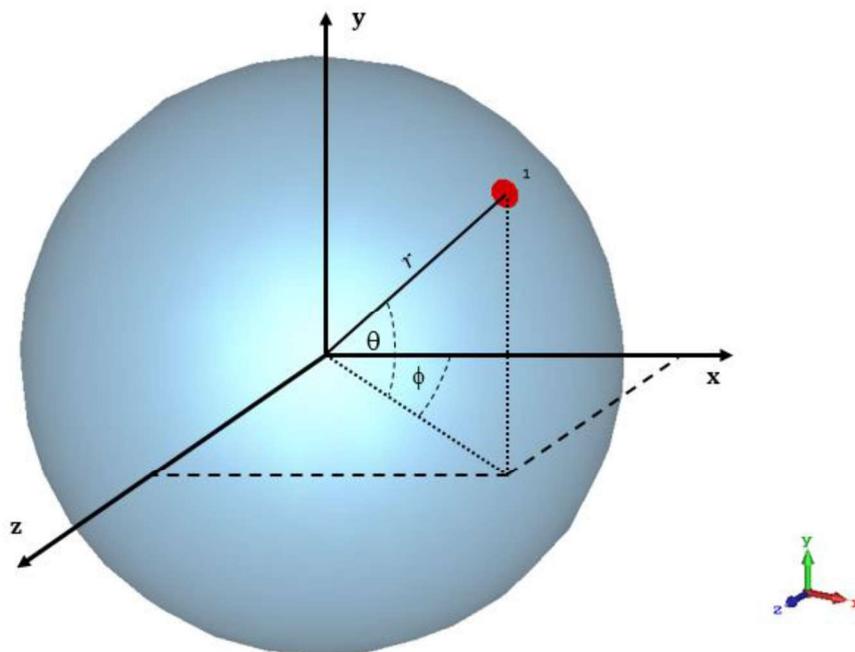


Figura 2.6. Posición para la colocación de una antena en la esfera

Las siguientes ecuaciones nos permiten colocar el punto en la estructura de CST Studio Suite usando la función “*Local Coordinate System Properties*” de la herramienta “*Local WCS*” como se indica en la Figura 2.7.

$$x: r \cos(\theta) \cos(\phi)$$

$$y: r \sin(\theta)$$

$$z: r \cos(\theta) \sin(\phi)$$

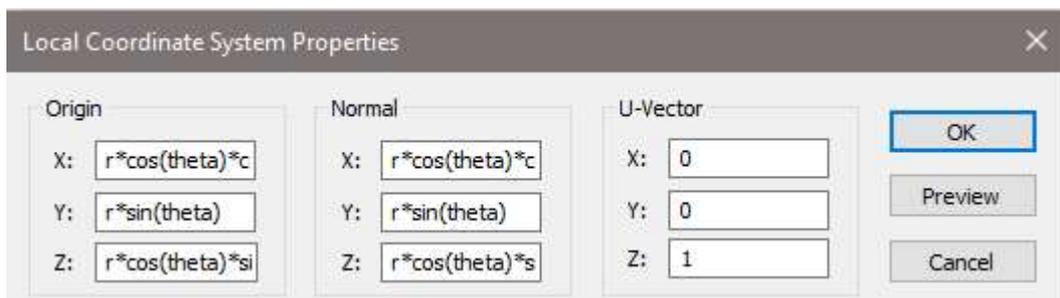
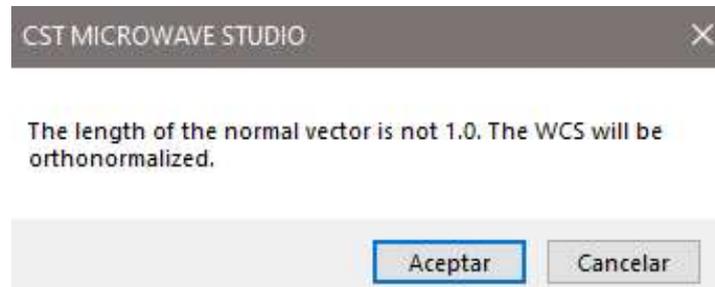


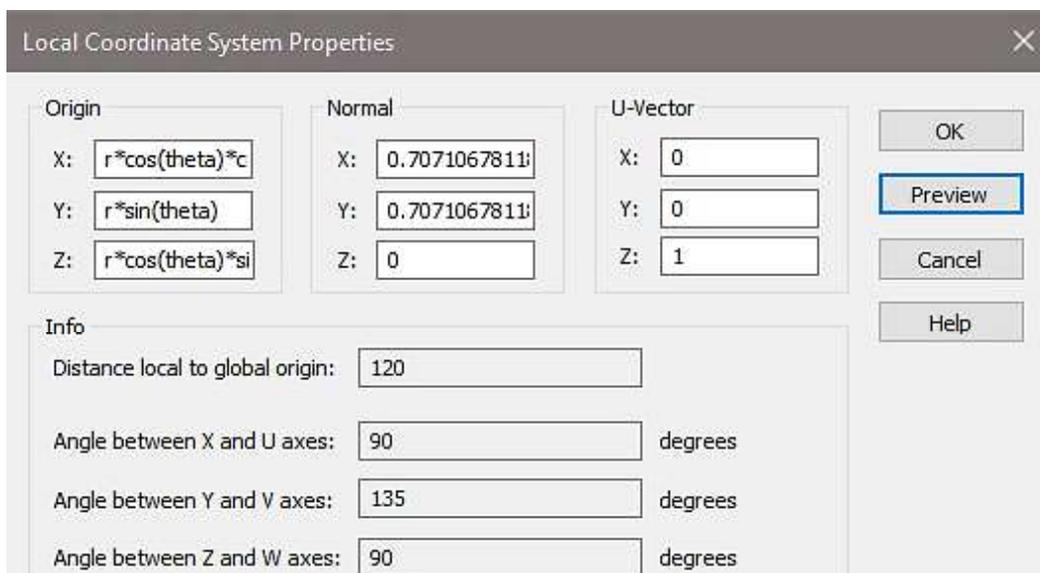
Figura 2.7. Función *Local Coordinate System Properties* de la herramienta *Local WCS* de CST Studio Suite

En la ventana “*Local Coordinate System Properties*” solo se ingresan los datos del origen y en el contenedor “*Normal*” se ingresan los mismos datos (Figura 2.7) para que con los datos ingresados en “*U-Vector*” se establezca la dirección de los ejes de coordenadas.

Posteriormente “*Local Coordinate System Properties*” realiza la ortonormalización de estos valores automáticamente como se observa en la Figura 2.8 (a) y (b).



(a)



(b)

Figura 2.8. Función *Local Coordinate System Properties*.

(a) Ortonormalización, (b) Resultados

Con esto el origen de los ejes de coordenadas de *Local WCS* se posicionan en $(r, \theta, \phi) = (r, 45^\circ, 0^\circ)$ para la colocación de la antena.

El mismo procedimiento se sigue para la colocación de las restantes cinco antenas que constituyen la estructura ($n = 6$ elementos radiantes).

Antena Monopolo [18]

Mediante la utilización de monopolos es posible montar antenas de menor longitud física. La polarización de este tipo de antenas es lineal.

Al instalar el monopolo sobre un plano de tierra, según la teoría de imagen de antenas, puede ser modelado como un dipolo. El monopolo y el plano de tierra se configuran con una alimentación de tipo desbalanceada.

La directividad de una antena monopolo está directamente relacionada con la de una antena dipolo. La directividad (en unidades lineales) de un monopolo es el doble de la directividad de una antena de dipolo.

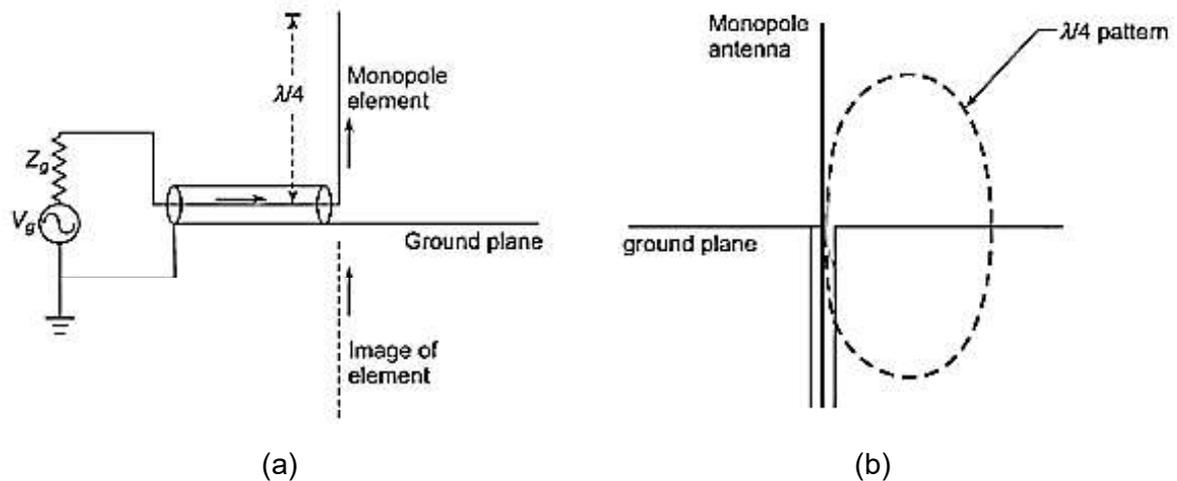


Figura 2.9. Antena monopolo. (a) Estructura, (b) Patrón de radiación para un plano de masa infinito [18]

La Figura 2.9 (a) muestra la estructura de una antena monopolo de un cuarto de longitud de onda con plano de tierra, mientras que en la Figura 2.9 (b) muestra su patrón de radiación.

La longitud ideal de la antena monopolo a simular es $L = \lambda/4 = L_{ideal}$

El cálculo de λ se obtiene de la ecuación (2.3).

La longitud ideal del monopolo ($\lambda/4$) a simular es entonces:

$$L_{ideal} = 88,24 \text{ mm}$$

Ya que en el modelo de simulación, un plano de tierra infinito no es realizable en la práctica, se optó por dimensionar un plano de tierra en forma de disco en la base del monopolo como se observa en la Figura 2.11 (a).

Usando la herramienta CST Studio Suite se optimiza el valor de la longitud del dipolo (de tal manera que sea resonante, parámetro S_{11}) al igual que el radio del plano de tierra en el que se coloca el mismo (verificando el patrón de radiación). En la Figura 2.10 se observa

que el valor del parámetro S_{11} se estabiliza desde un radio de 40 mm por lo cual se toma este valor para el modelamiento del mismo.

$$L_{\text{optimizada}} = 94,93 \text{ mm}$$

$$R_{\text{optimizado}} = 40 \text{ mm}$$

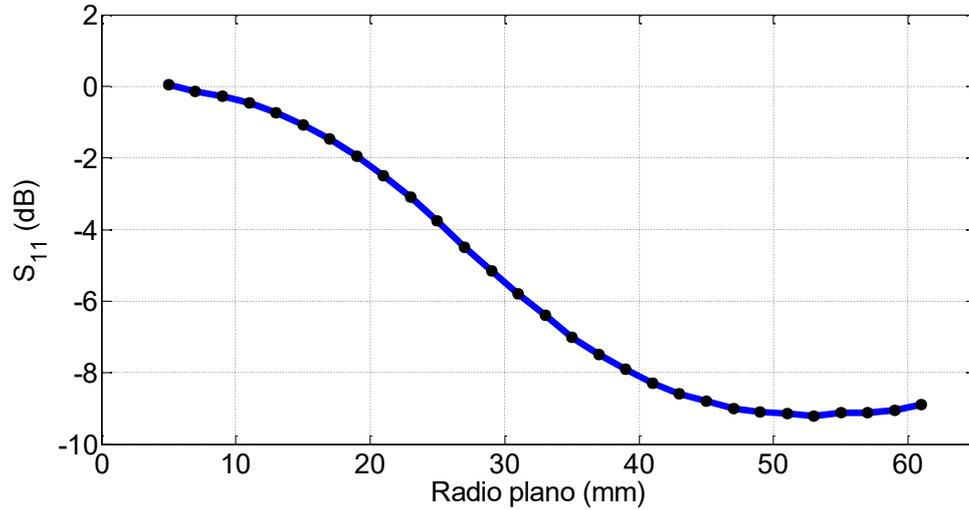
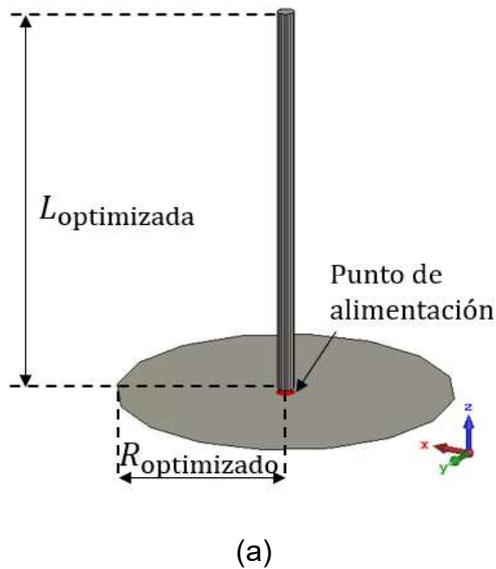
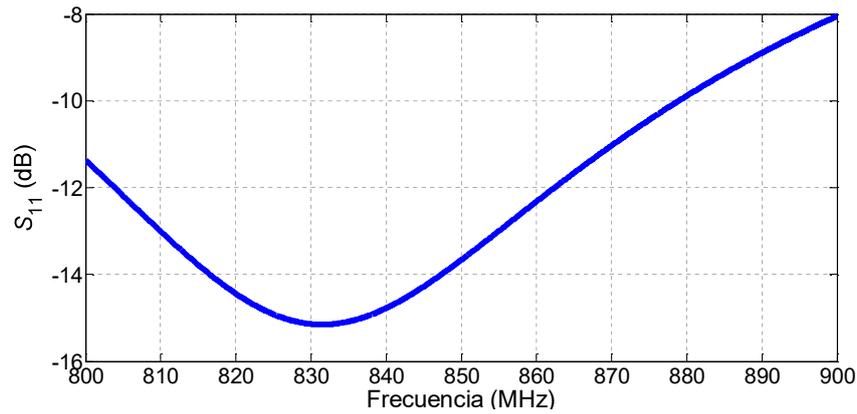


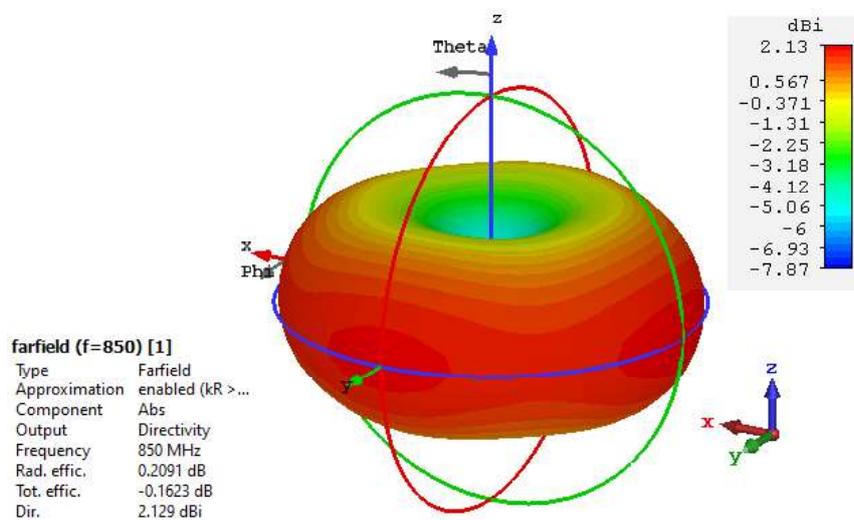
Figura 2.10. Coeficiente de reflexión a 850 MHz en función del radio del plano de masa para la optimización de la longitud del monopolo de un cuarto de longitud de onda

La Figura 2.11 (b) y (c) muestran el parámetro S_{11} y el patrón de radiación de la antena tipo monopolo simulada.





(b)



(c)

Figura 2.11. Antena monopolo modelada y simulada en CST Studio Suite.

(a) Estructura, (b) Parámetro S_{11} , (c) Patrón de radiación

Antena Microstrip (Patch) [4]

La Figura 2.12 muestra una antena *patch*. Las antenas *microstrip* consisten en un *strip* metálico (parche) muy delgado ($t \ll \lambda_0$, donde λ_0 es la longitud de onda en el vacío) colocado sobre un sustrato de espesor h ($h \ll \lambda_0$, generalmente $0,003\lambda_0 \leq h \leq 0,05\lambda_0$) sobre un plano de tierra. El parche *microstrip* está diseñado para que su patrón de radiación sea normal al plano del parche.

Existen numerosos sustratos que se pueden utilizar para el diseño de antenas *microstrip*, y sus constantes dieléctricas generalmente están en el rango de $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$. Los más deseables para un buen rendimiento de la antena son sustratos gruesos cuya constante dieléctrica está en el extremo inferior del rango porque proporcionan una mejor eficiencia y mayor ancho de banda.

El parche radiante puede ser cuadrado, rectangular, circular, elíptico, triangular o cualquier otra forma geométrica. Cuadrado, rectangular y circular son los más comunes debido a la facilidad de análisis y fabricación. Las polarizaciones lineales y circulares se pueden lograr con elementos individuales o conjuntos de antenas *microstrip*.

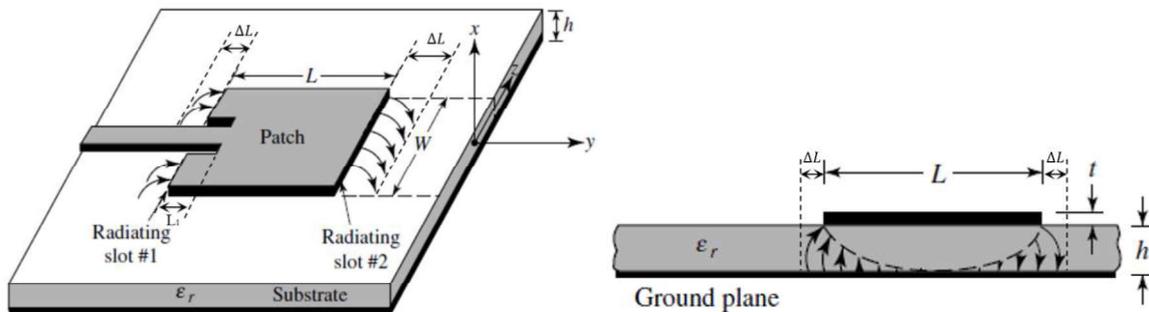


Figura 2.12. Estructura de una antena *microstrip* tipo parche [4]

Diseño de una antena tipo patch

Para el diseño de la antena tipo *patch* se eligió el sustrato Rogers RO4003C que posee las siguientes características dieléctricas y mecánicas:

$$\epsilon_r = 3,55$$

$$\tan \delta = 0,0027$$

$$h = 1,524 \text{ mm}$$

Para el cálculo del ancho del parche W se considera una frecuencia $f = 850 \text{ MHz}$, lo que resulta:

$$\lambda = 352,94 \text{ mm}$$

$$W = \frac{c_0}{2 f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$$

donde c_0 : velocidad de la luz

f_r : frecuencia de trabajo (para este caso $f_r = 850 \text{ MHz}$)

$$W = 116,99 \text{ mm}$$

Debido a la propagación Quasi-TEM propia de estructuras *microstrip*, se debe considerar una permitividad efectiva que se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2}$$

$$\epsilon_{\text{eff}} = 3,46069$$

Asimismo, se calcula la longitud del parche L tomando en consideración las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\Delta L}{h} = 0,412 \frac{(\epsilon_{\text{eff}} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,262 \right)}{(\epsilon_{\text{eff}} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,813 \right)}$$

$$\Delta L = 0,48033 \text{ mm}$$

$$L = \frac{c_0}{2f_r \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} - 2(\Delta L)$$

$$L = 93,901 \text{ mm}$$

Para calcular la longitud a la cual se va a colocar la alimentación de la antena se debe considerar la impedancia de entrada del parche $R_{\text{in}}(0)$ y, por ende, la conductancia asociada a la excitación de ambos *slots* radiantes. En la estructura seleccionada se cumple que $W \ll \lambda$, entonces la conductancia asociada a un *slot* está dada por:

$$G_1 = \frac{1}{90} \left(\frac{W}{\lambda} \right)^2$$

$$G_1 = 1,22099 \times 10^{-3} \text{ S}$$

Con este resultado, la impedancia $R_{\text{in}}(0)$ será:

$$R_{\text{in}}(0) = \frac{1}{2G_1}$$

$$R_{\text{in}}(0) = 409,503 \Omega$$

Ahora, el parche va a ser alimentado con una sonda coaxial de impedancia característica 50Ω , con ello $R_{\text{in}}(L_1) = 50 \Omega$. La longitud sobre el parche a la cual la onda coaxial será conectada es:

$$R_{\text{in}}(L_1) \approx R_{\text{in}}(0) \cos^2 \left(\frac{\pi L_1}{L} \right) \approx \frac{1}{2G_1} \cos^2 \left(\frac{\pi L_1}{L} \right)$$

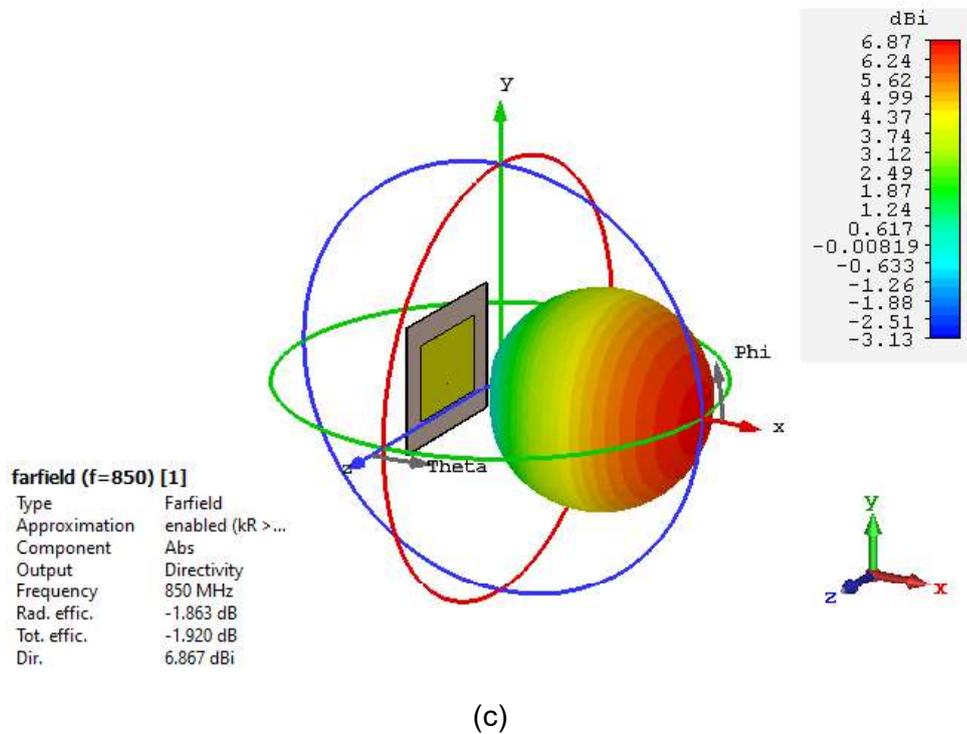
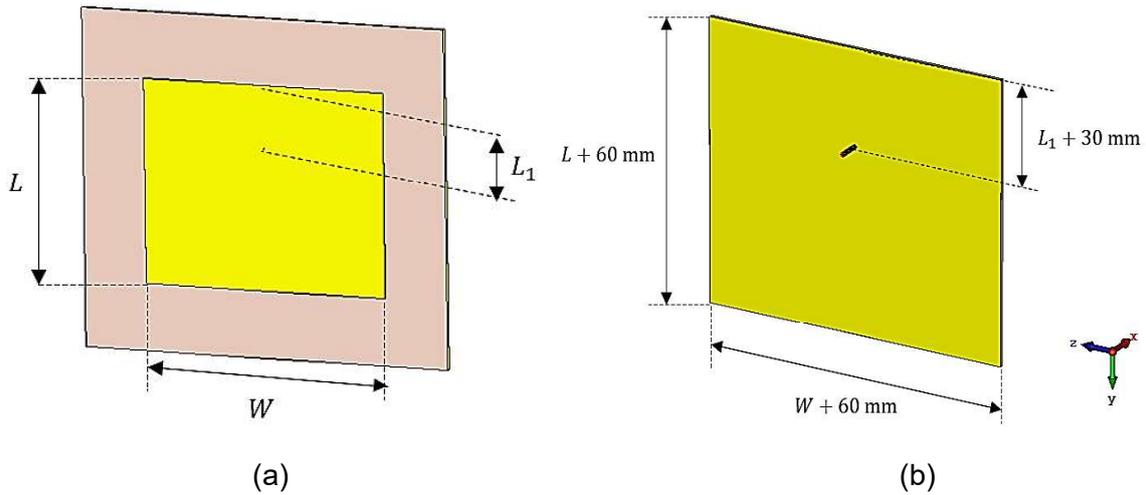
$$L_1 = 36,28 \text{ mm}$$

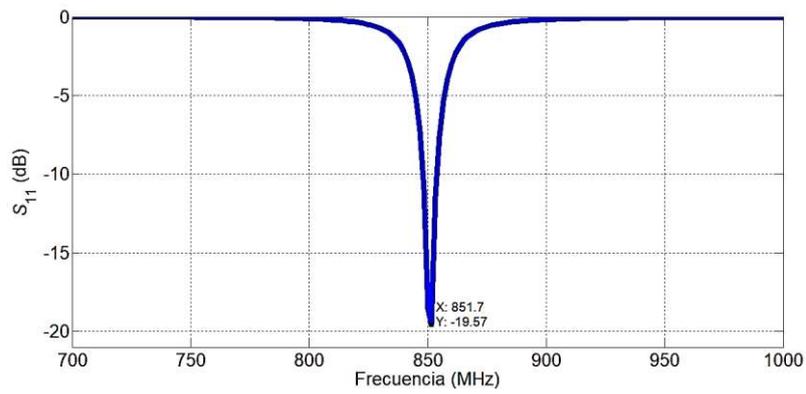
Usando la herramienta CST Studio Suite se optimiza el valor de cada una de las longitudes de la antena tipo *patch* obteniendo los siguientes valores:

$$L = 92,02 \text{ mm}$$

$$L_1 = 28,32 \text{ mm}$$

Variación de la longitud del plano de masa

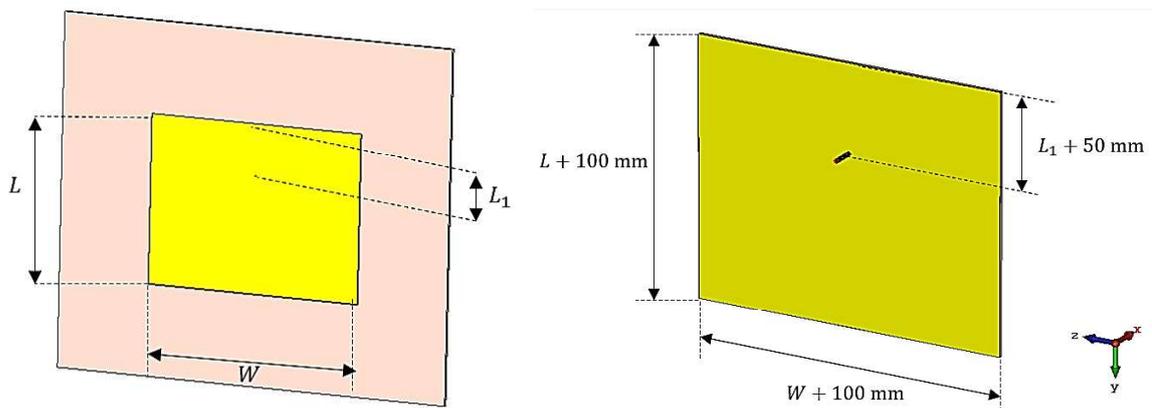




(d)

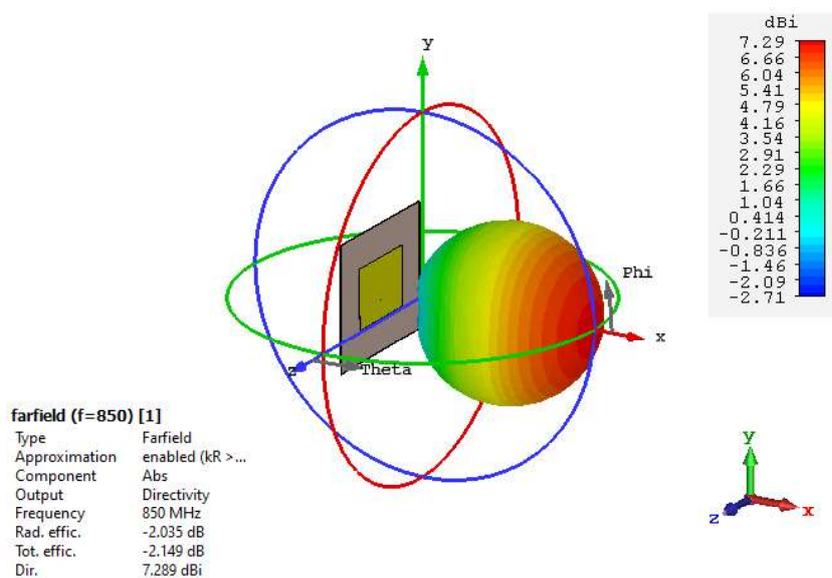
Figura 2.13. Antena *patch* modelada y simulada en CST Studio Suite.

- (a) Estructura (vista frontal), (b) Estructura (vista posterior),
 (c) Patrón de radiación, (d) Parámetro S_{11}

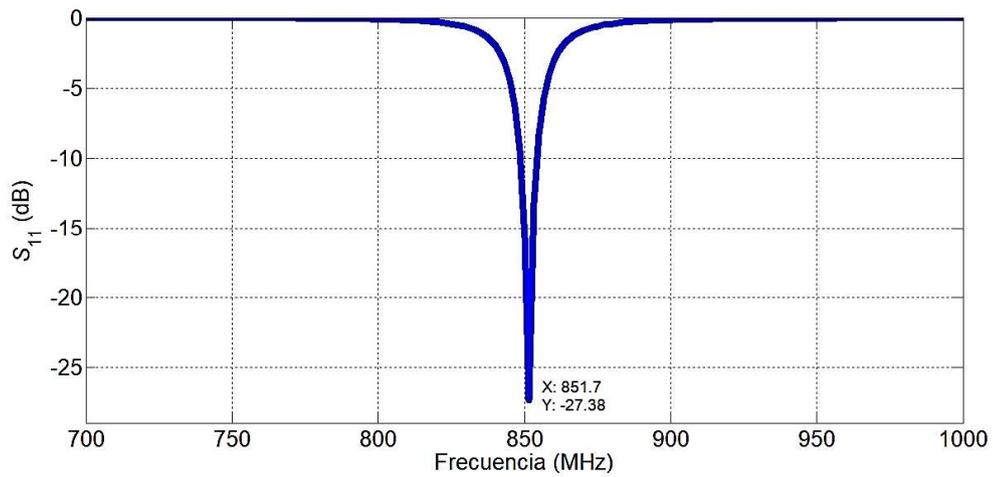


(a)

(b)



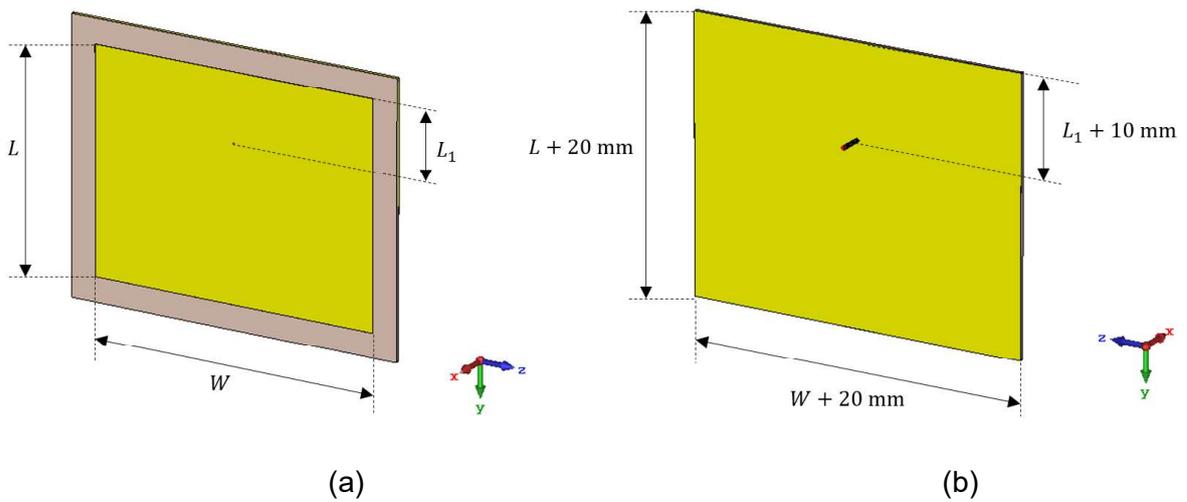
(c)



(d)

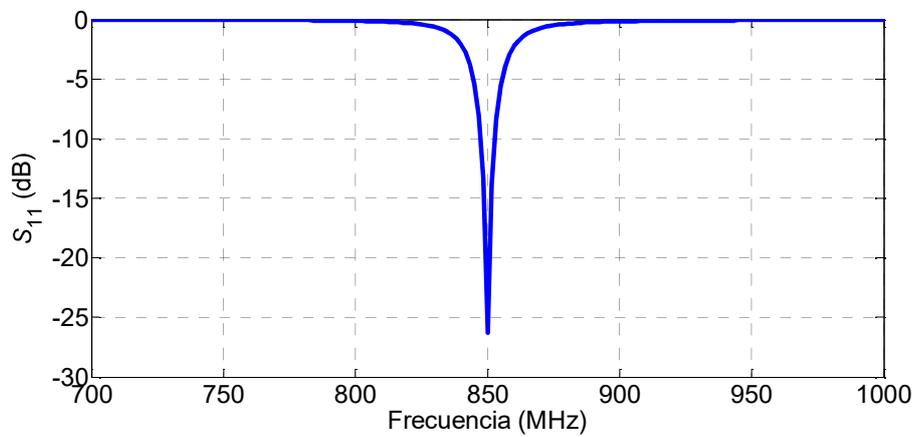
Figura 2.14. Antena *patch* modelada y simulada en CST Studio Suite.

- (a) Estructura (vista frontal), (b) Estructura (vista posterior),
 (c) Patrón de radiación, (d) Parámetro S_{11}



(a)

(b)



(c)

causa del gran tamaño eléctrico de las mismas. En la Figura 2.16 se observa el patrón de radiación del campo exportado de la antena *patch* previamente modelada para ser simulada en lo posterior con el método de solución de ecuaciones integrales.

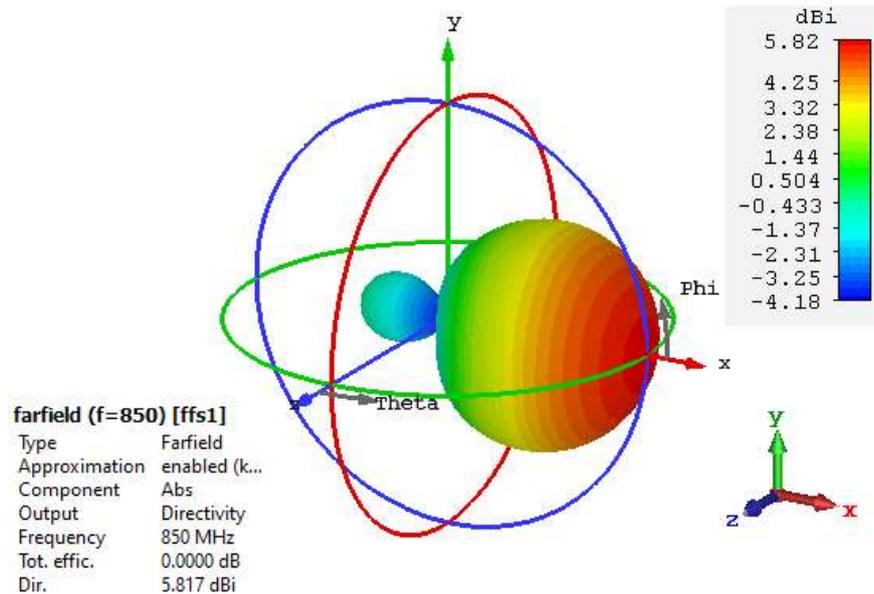


Figura 2.16. Patrón de radiación exportado antena *patch*

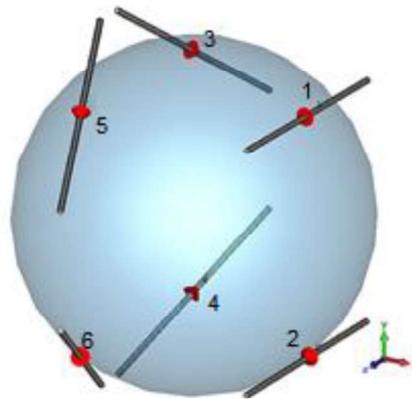
2.3 METODO DE ANÁLISIS

Debido a la gran cantidad de grados de libertad (número de antenas a utilizarse, posicionamiento de las antenas sobre el ángulo sólido, polarización conjunta, alimentación, dirección, entre otros) se propone un número determinado de elementos, estructuras con 6, 8 y 12 antenas, con una polarización fija y posicionadas de acuerdo al Algoritmo 2.2 y con orientación fija basado en la cantidad de elementos radiantes, para el análisis de los patrones de radiación.

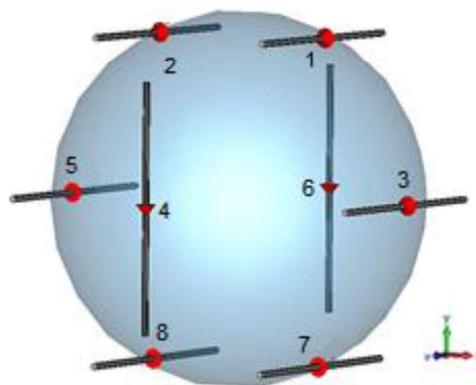
La esfera sobre la cual se posicionan los elementos radiantes presenta un radio que depende de la estructura y posición de las antenas. Principalmente, se toma en cuenta que tanto los dipolos, así como las antenas *patch*, ambos tangentes a la esfera, no entren en contacto para evitar el posible acoplamiento galvánico que pueda así suscitarse. Cabe recalcar que tanto la frecuencia de operación como el acople circuital no son factores determinantes para el desarrollo del presente proyecto en el cual únicamente la combinación en campo lejano de los elementos radiantes es de interés.

2.3.1 DISTRIBUCIÓN DE ANTENAS TIPO DIPOLO

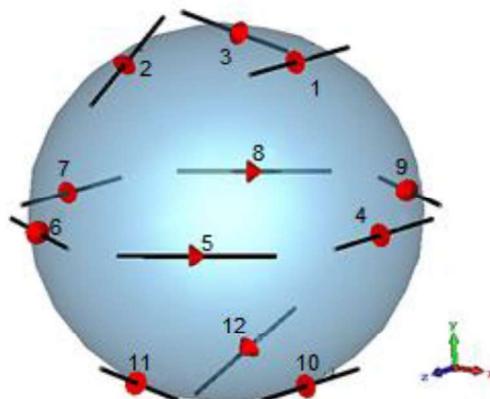
La Figura 2.17 muestra la distribución de antenas dipolo en un ángulo sólido de 4π sr.



(a)



(b)



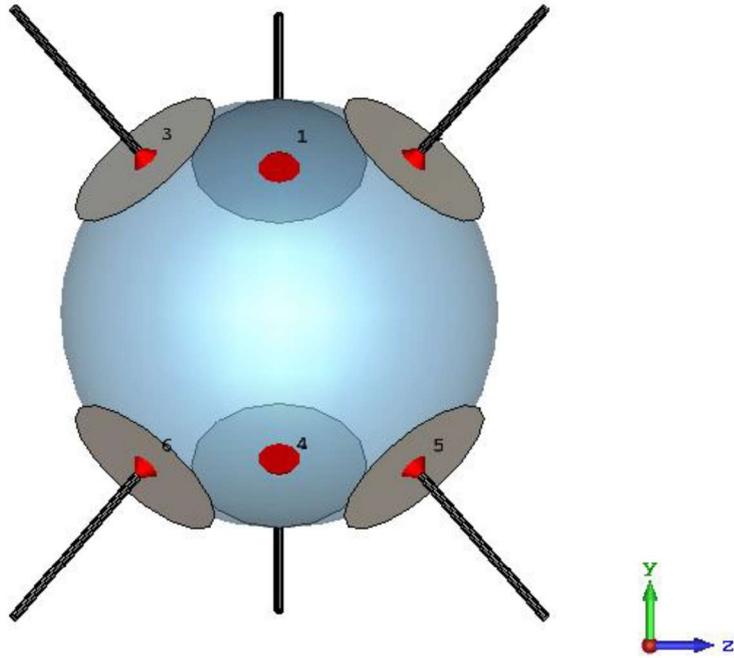
(c)

Figura 2.17. Estructura con antenas dipolo.

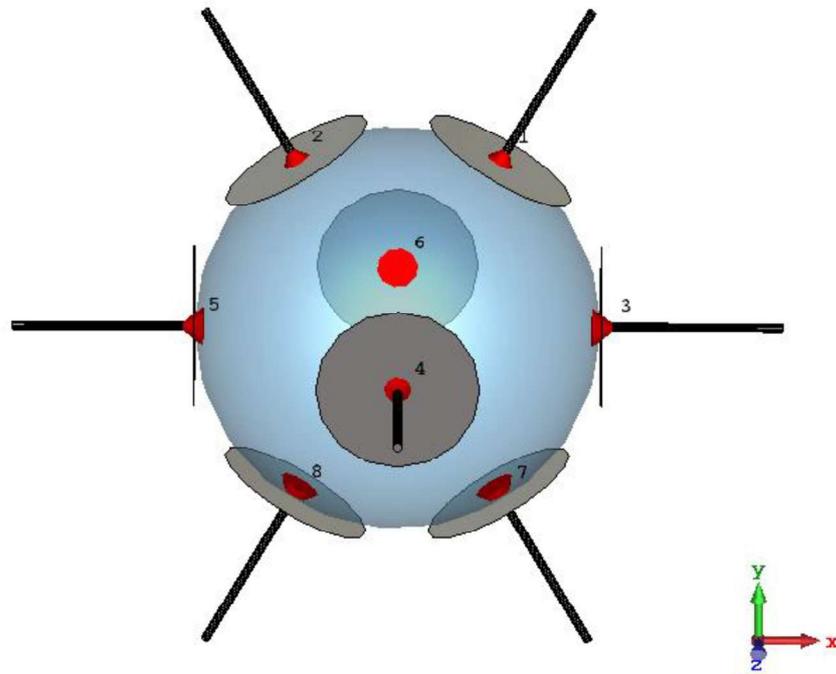
(a) 6 elementos, (b) 8 elementos, (c) 12 elementos

2.3.2 DISTRIBUCIÓN DE ANTENAS TIPO MONOPOLO

La Figura 2.18 muestra la distribución de antenas monopolo en un ángulo sólido de 4π sr.



(a)



(b)

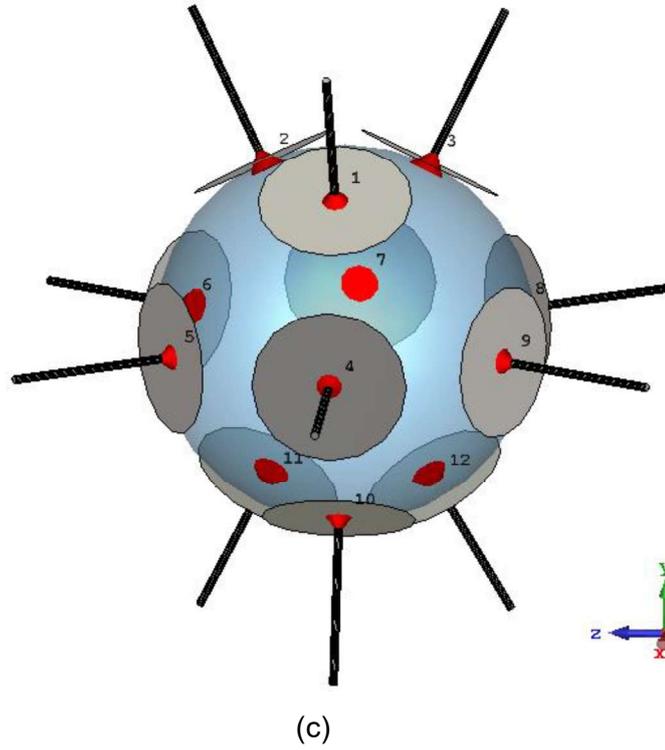


Figura 2.18. Estructura con antenas monopolo.
 (a) 6 elementos, (b) 8 elementos, (c) 12 elementos

2.3.3 DISTRIBUCIÓN DE ANTENAS *PATCH*

La Figura 2.19 muestra la distribución de antenas tipo *patch* en un ángulo sólido de 4π sr (para FEM). La Figura 2.20 muestra la distribución de los patrones de radiación de antenas tipo *patch* en un ángulo sólido de 4π sr (para MLFMM).

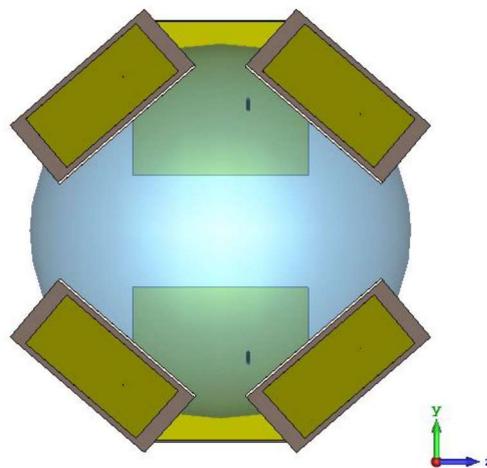
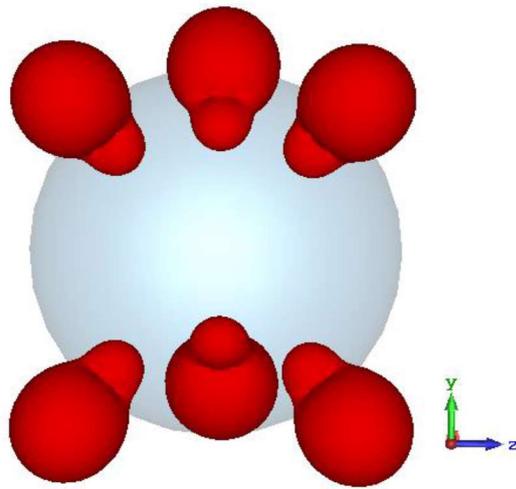
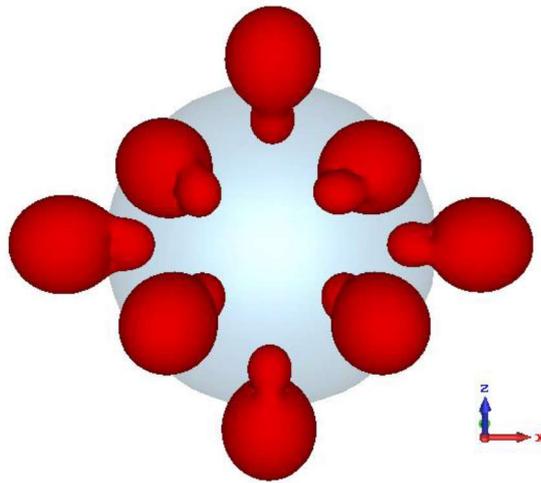


Figura 2.19. Estructura con 6 antenas tipo *patch*



(a)



(b)

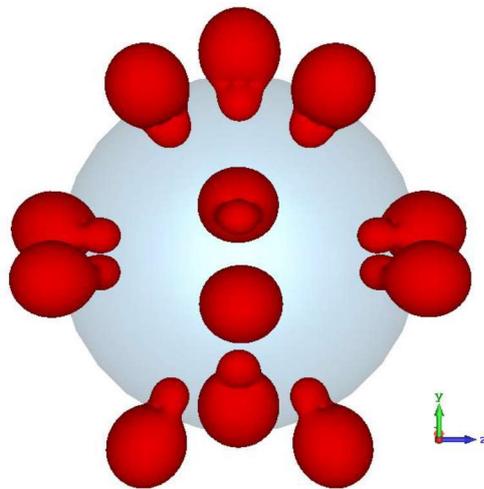


Figura 2.20. Estructura con patrones de radiación (antena *patch*).
(a) 6 antenas, (b) 8 antenas, (c) 12 antenas

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizadas las simulaciones en CST Studio Suite de las estructuras de arreglos de antenas en un ángulo sólido de 4π sr, se realiza la combinación de resultados.

Para este proceso se utiliza la herramienta “*Post-Processing*” de CST Studio Suite con la opción “*Combine Results*”. En ella se ingresa un valor de amplitud de alimentación y un ángulo de fase en grados para la misma (Figura 3.1). Al pulsar en el botón *Combine* se obtiene la combinación de los patrones de radiación de todas las antenas de la estructura con el plan de amplitud y fase ingresados.

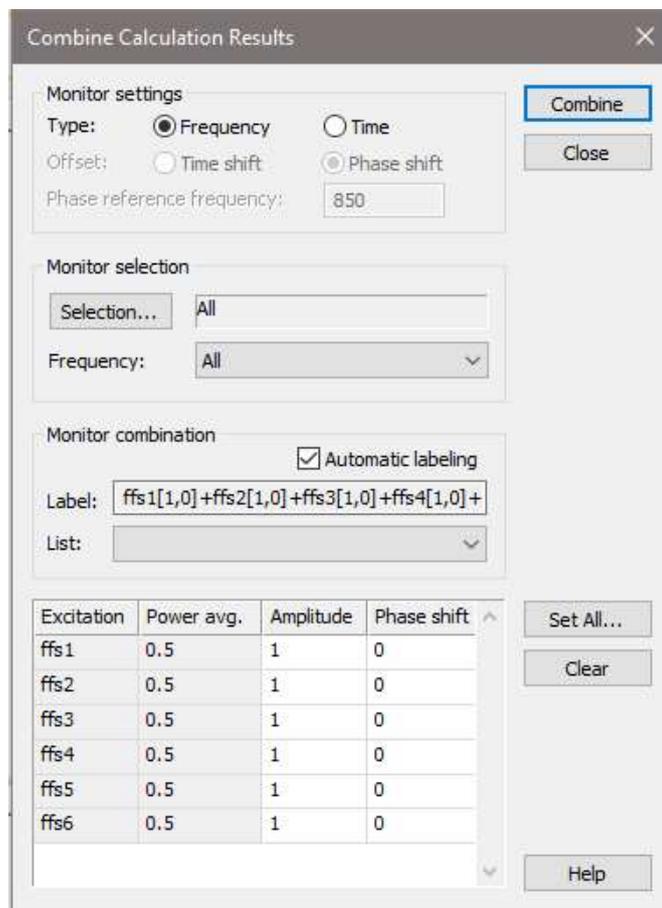


Figura 3.1. Ventana “*Combine Results*” de la herramienta “*Post Processing*” de CST Studio Suite. Ejemplo: 6 antenas representadas por su patrón de radiación (ffs1 ... ffs6) con igual amplitud y fase de excitación.

La combinación de los resultados se la realizó con valores de amplitud iguales para cada antena. Para la fase de alimentación se empleó un cambio de fase progresivo de acuerdo al número de antenas utilizadas. Posteriormente se optimizaron los valores del desplazamiento de fase para cada elemento radiante.

3.1 ESTRUCTURAS CON ANTENAS DIPOLO

La Tabla 3.1 muestra los diferentes valores de fase de alimentación que se asignaron a los diferentes elementos radiantes del arreglo con 6 antenas dipolo. Se puede apreciar que el experimento número 15 muestra la menor directividad.

Tabla 3.1. Directividad para experimentos de una estructura de 6 antenas dipolo.

ANTENA DIPOLO	Fase de cada elemento radiante (°)						Directividad (dBi)
	Experimento	#1	#2	#3	#4	#5	
1	0	0	0	0	0	0	5,15
2	0	30	60	90	120	150	4,88
3	0	45	90	135	180	225	4,67
4	0	60	120	180	240	300	4,84
5	0	-30	-60	-90	-120	-150	5,04
6	0	45	45	90	225	225	4,16
7	0	45	90	90	225	225	4,31
8	0	45	135	90	225	225	4,35
9	30	45	90	90	225	225	3,91
10	45	15	90	90	225	225	3,80
11	45	30	135	90	225	255	3,86
12	45	45	90	90	225	225	3,79
13	60	45	90	90	225	225	4,04
14	90	45	90	90	225	225	5,04
15	45	30	90	90	225	225	3,57

La Figura 3.2 ilustra un resumen de la directividad en función de los experimentos.

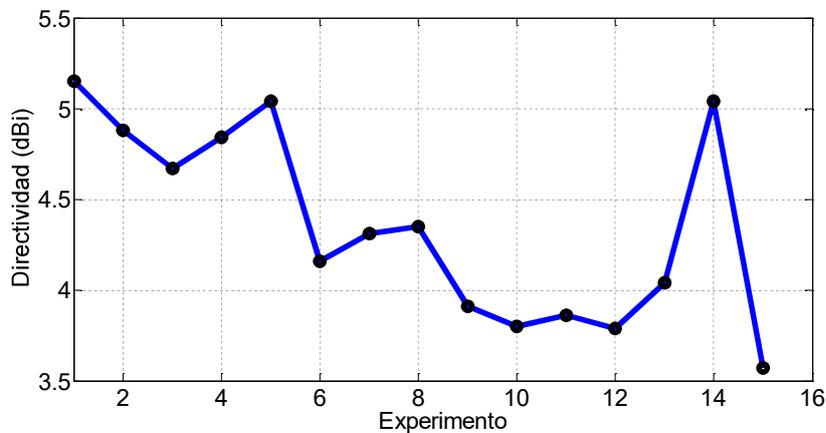
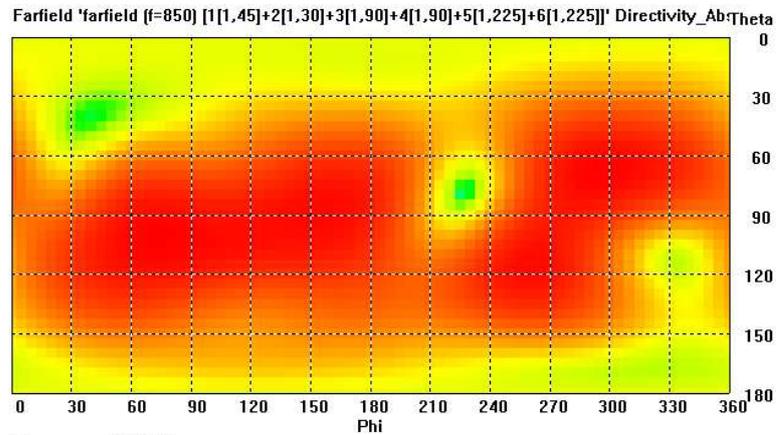


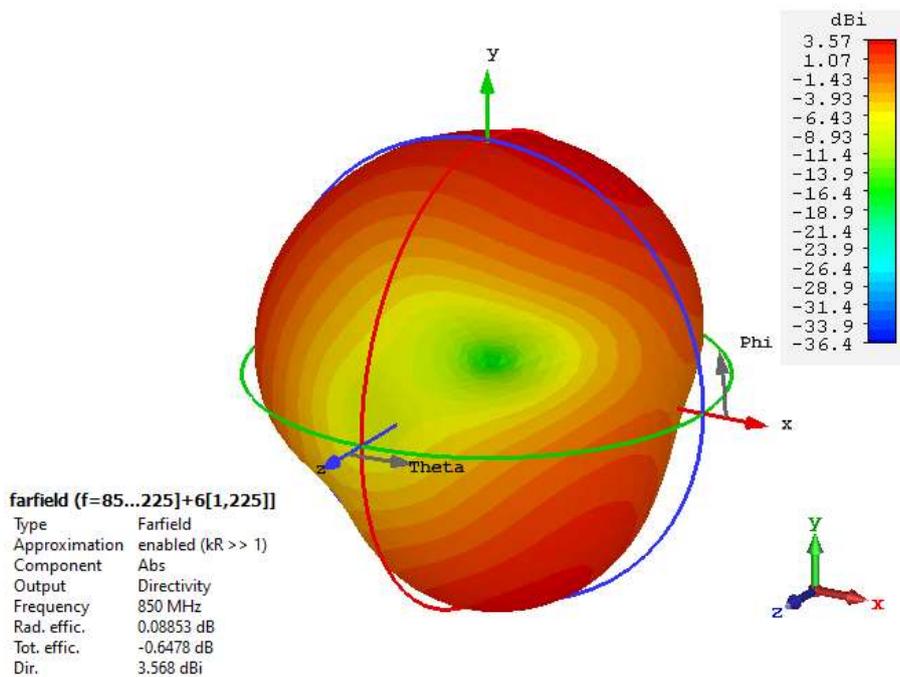
Figura 3.2. Directividad obtenida versus experimentos para una estructura de 6 antenas dipolo



Frequency = 850 MHz
 Rad. effic. = 0.08853 dB
 Tot. effic. = -0.6478 dB
 Dir. = 3.568 dBi



(a)



(b)

Figura 3.3. Patrón de radiación de un arreglo de 6 antenas dipolo.

(a) Patrón de radiación 2D, (b) Patrón de radiación 3D

En la Figura 3.3 (a) y (b) se observa que existe una mejor cobertura entre el ángulo Phi de 30° a 210° y el ángulo Theta de 30° a 150°.

La Tabla 3.2 muestra los diferentes valores de fase de alimentación que se asignaron a los diferentes elementos radiantes del arreglo con 8 antenas dipolo. En este caso el experimento número 11 muestra la menor directividad.

Tabla 3.2. Directividad para experimentos de una estructura de 8 antenas dipolo.

ANTENA DIPOLO	Fase de cada elemento radiante (°)								Directividad (dBi)
Experimento	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	5,89
2	0	30	60	90	120	150	180	210	3,85
3	0	45	90	135	180	225	270	315	5,75
4	0	60	120	180	240	300	0	60	5,91
5	0	-30	-60	-90	-120	-150	-180	-210	4,14
6	0	45	225	-45	90	45	180	135	5,39
7	0	60	300	-45	60	135	240	180	4,26
8	0	60	330	-45	120	135	225	180	4,22
9	0	60	330	-45	90	150	60	90	3,34
10	0	60	330	-45	90	150	90	90	2,93
11	0	60	330	-45	90	150	90	100	2,61
12	0	60	330	-45	90	150	90	130	2,76
13	30	60	300	-45	150	135	135	90	3,44
14	30	60	330	-45	90	120	120	120	3,18
15	30	60	330	-45	90	150	120	120	2,86
16	30	60	330	-45	120	150	120	120	3,02

La Figura 3.4 ilustra un resumen de la directividad en función de los experimentos.

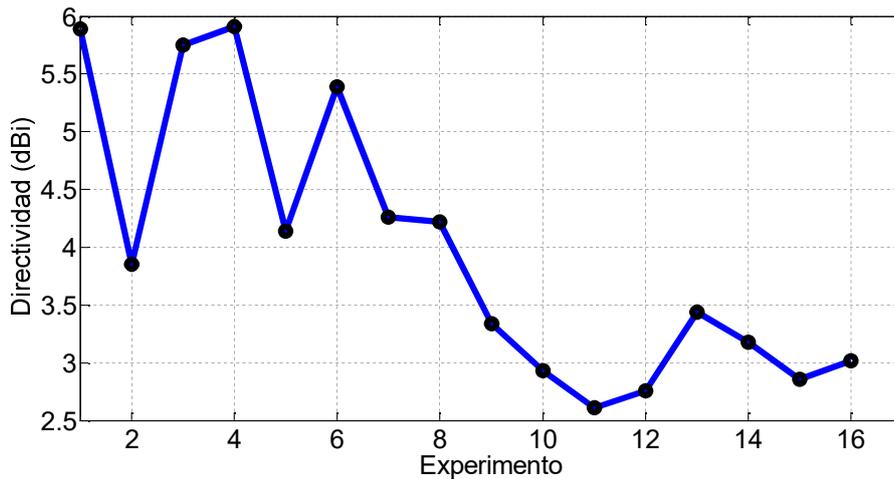
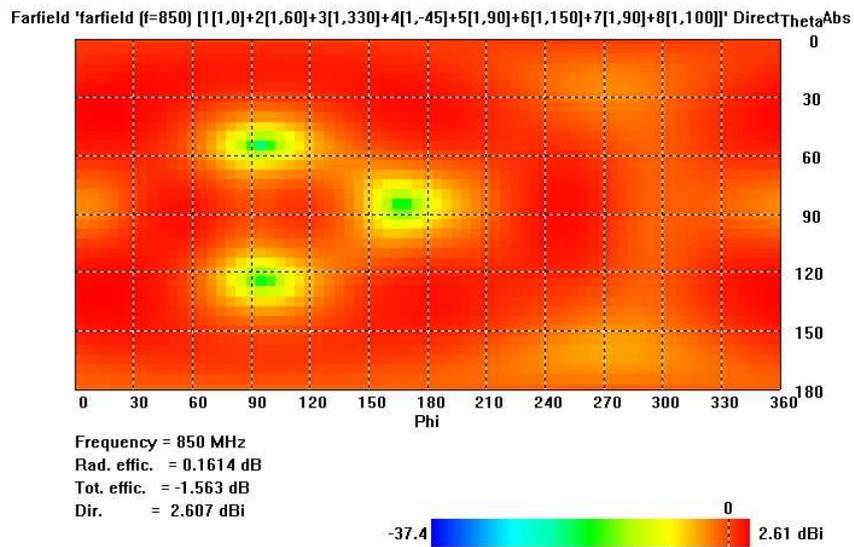
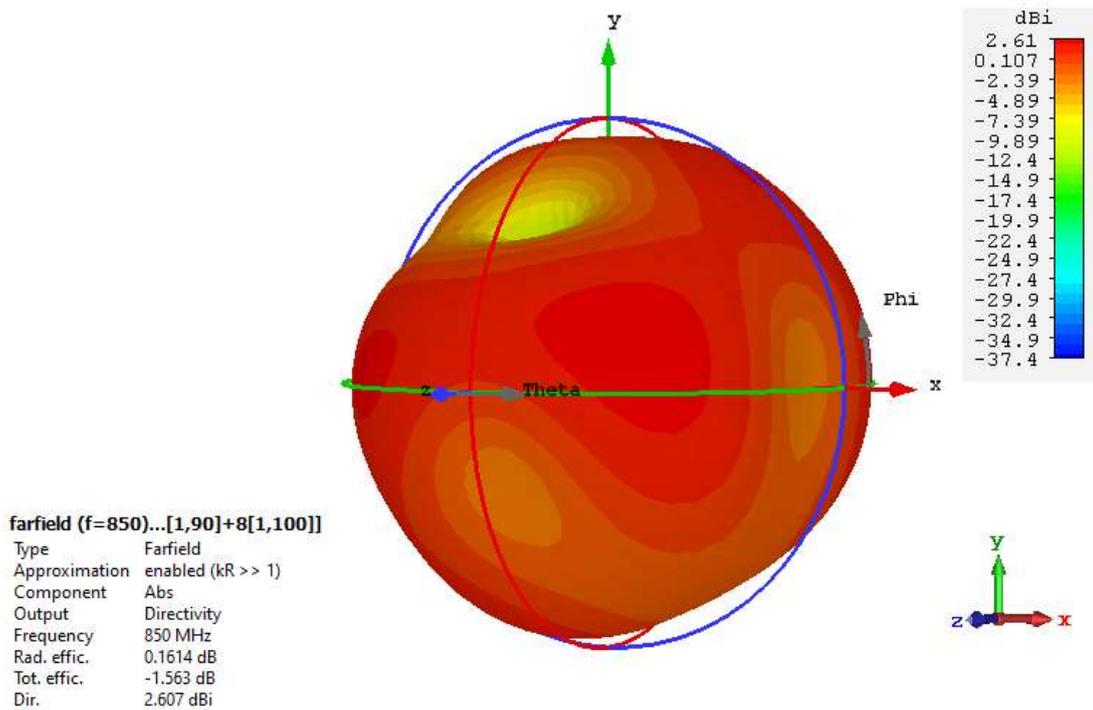


Figura 3.4. Directividad obtenida versus experimentos para una estructura de 8 antenas dipolo



(a)



(b)

Figura 3.5. Patrón de radiación de un arreglo de 8 antenas dipolo.

(a) Patrón de radiación 2D, (b) Patrón de radiación 3D

En la Figura 3.5 (a) y (b) se observa que existen valles entre el ángulo Phi de 60° a 180° y el ángulo Theta de 30° a 150° .

La Tabla 3.3 muestra los diferentes valores de fase de alimentación que se asignaron a los diferentes elementos radiantes del arreglo con 12 antenas dipolo. Se puede apreciar que el experimento número 12 muestra la menor directividad.

Tabla 3.3. Directividad para experimentos de una estructura de 12 antenas dipolo.

ANTENA DIPOLO	Fase de cada elemento radiante (°)												Directividad (dBi)	
	Experi- mento	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11		#12
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,11
2	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	330	6,07
3	0	45	90	135	180	225	270	315	0	45	90	135	135	6,25
4	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	110	5,72
5	0	60	120	180	240	300	0	60	120	180	240	300	300	6,73
6	-45	-180	-270	-30	-60	-90	-120	-150	-180	60	60	180	180	4,26
7	-60	-180	-270	0	0	0	0	0	0	90	180	270	270	4,38
8	90	-180	-270	-30	-30	-30	-30	-30	-30	90	180	270	270	4,43
9	90	-180	-270	-30	-60	-90	-120	-150	-180	60	60	180	180	3,88
10	-90	-180	-270	-30	-60	-90	-120	-150	-180	60	90	180	180	4,16
11	-90	-180	-270	0	-60	-90	-150	-180	-180	60	60	180	180	3,54
12	-90	-180	-270	0	-30	-90	-150	-150	-180	60	60	180	180	3,46
13	-90	-180	-270	0	-90	-90	-150	-150	-180	60	60	180	180	3,79
14	-90	-180	-270	0	0	0	0	0	30	90	180	270	270	4,12
15	-90	-180	-270	30	0	0	0	-30	30	90	180	270	270	3,76
16	-270	-180	-90	30	0	-30	0	-30	0	270	180	90	90	3,64
17	45	180	270	30	60	90	120	150	180	-60	-120	-180	-180	4,23
18	60	180	270	30	60	90	120	150	180	-60	-120	-180	-180	4,05
19	90	180	270	30	60	90	120	150	180	-60	-120	-180	-180	3,83
20	90	180	300	30	60	90	120	150	180	-60	-120	-180	-180	3,78

La Figura 3.6 ilustra un resumen de la directividad en función de los experimentos.

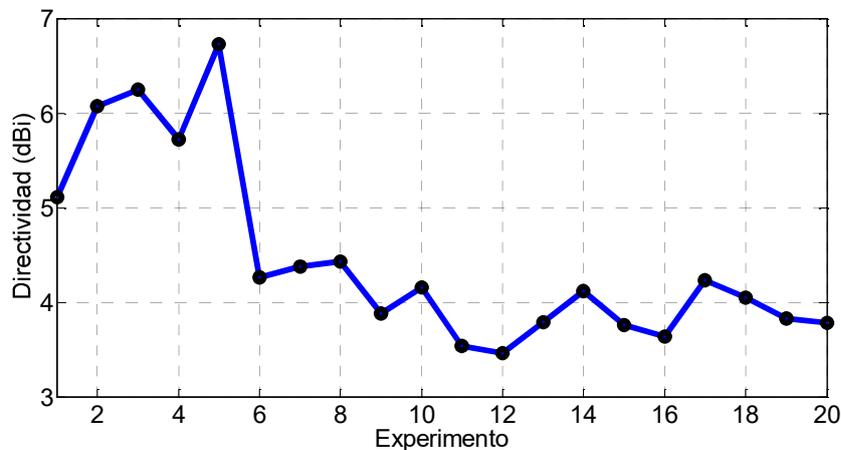
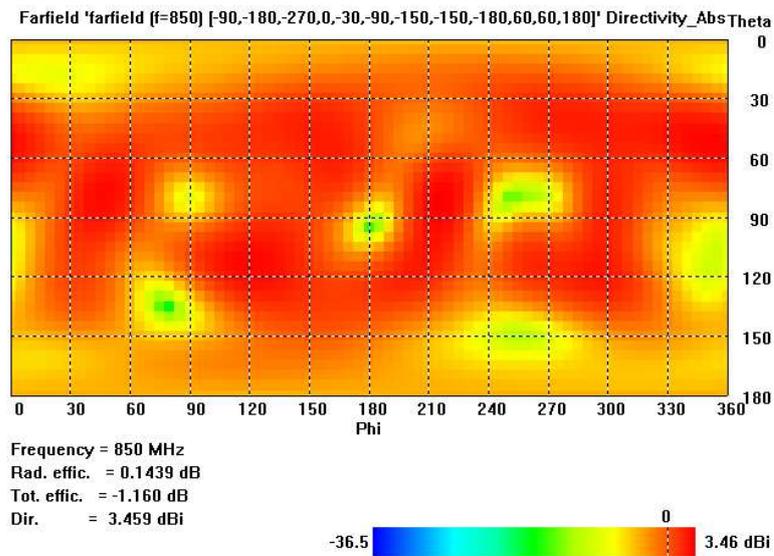
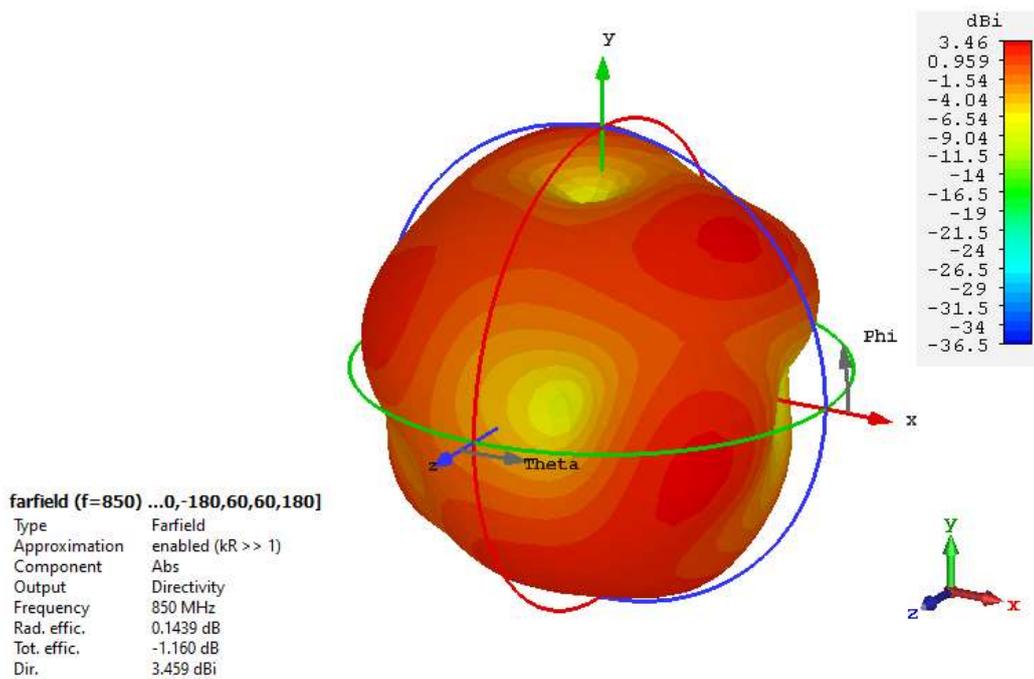


Figura 3.6. Directividad obtenida versus experimentos para una estructura de 12 antenas dipolo



(a)



(b)

Figura 3.7. Patrón de radiación de un arreglo de 12 antenas dipolo.

(a) Patrón de radiación 2D, (b) Patrón de radiación 3D

En la Figura 3.7 (a) y (b) se observa que existen valles entre el ángulo Phi de 0° a 360° y el ángulo Theta de 0° a 30° y de 150° a 180° .

3.2 ESTRUCTURAS CON ANTENAS MONOPOLO

La Tabla 3.4 muestra los diferentes valores de fase de alimentación que se asignaron a los diferentes elementos radiantes del arreglo con 6 antenas monopolo. Se puede apreciar que los experimentos número 1 y 11 muestran la menor directividad.

Tabla 3.4. Directividad para experimentos de una estructura de 6 antenas monopolo

ANTENA MONOPOLO	Fase de cada elemento radiante (°)						Directividad (dBi)
	Experimento	#1	#2	#3	#4	#5	
1	0	0	0	0	0	0	3,26
2	0	30	60	90	120	150	5,22
3	0	45	90	135	180	225	4,77
4	0	60	120	180	240	300	4,98
5	-45	45	-90	-45	0	-90	5,08
6	-45	45	-90	-45	0	-45	4,65
7	-45	45	-90	-45	0	0	4,30
8	-45	45	-135	-45	45	135	4,01
9	-45	45	180	-45	45	-180	3,84
10	-45	45	180	45	-45	-180	3,79
11	-45	-45	-45	-45	-45	-45	3,26
12	-60	60	180	60	-60	-180	4,10
13	0	100	200	0	-100	-200	4,01
14	0	120	240	0	120	240	3,47
15	45	90	135	-45	-90	-135	3,84
16	90	180	270	270	180	90	4,26

La Figura 3.8 ilustra un resumen de la directividad en función de los experimentos.

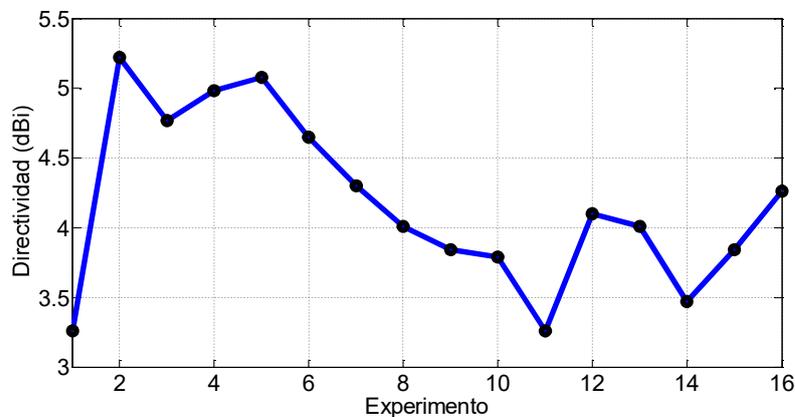
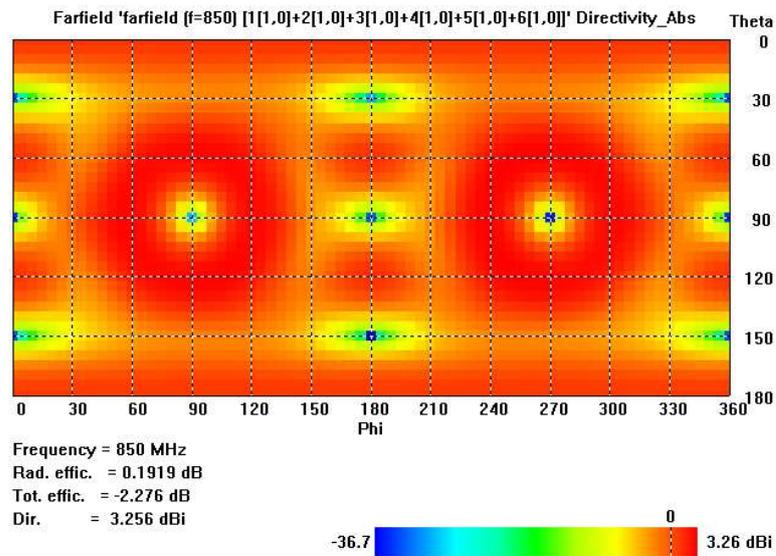
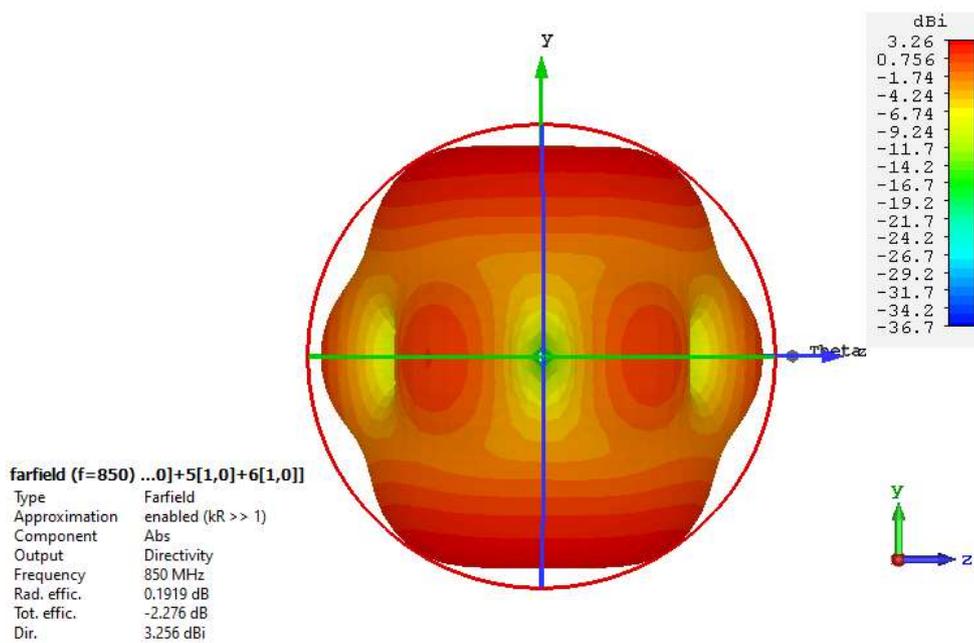


Figura 3.8. Directividad obtenida versus experimentos para una estructura de 6 antenas monopolo



(a)



(b)

Figura 3.9. Patrón de radiación de un arreglo de 6 antenas monopolo.

(a) Patrón de radiación 2D, (b) Patrón de radiación 3D

En la Figura 3.9 (a) y (b) se observa que existen valles en los ángulos Phi 0° y Theta 30°, Phi 0° y Theta 90°, Phi de 0° y Theta 150°, Phi de 180° y Theta 30°, Phi de 180° y Theta 90°, Phi de 180° y Theta 150°.

La Tabla 3.5 muestra los diferentes valores de fase de alimentación que se asignaron a los diferentes elementos radiantes del arreglo con 8 antenas monopolo. Se puede apreciar que el experimento número 10 muestra la menor directividad.

Tabla 3.5. Directividad para experimentos de una estructura de 8 antenas monopolo.

ANTENA MONOPOLO	Fase de cada elemento radiante (°)								Directividad (dBi)
Experimento	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	6,31
2	0	30	60	90	120	150	180	210	4,71
3	0	45	90	135	180	225	270	315	3,94
4	0	90	180	270	0	90	180	270	4,10
5	-30	30	30	0	-30	0	-30	30	3,84
6	-30	30	30	180	-30	180	-30	30	3,35
7	-40	40	40	0	-40	0	-40	40	3,52
8	-40	40	40	300	-40	300	-40	40	2,68
9	-45	45	45	270	-45	270	-45	45	2,46
10	-45	45	45	300	-45	300	-45	45	2,38
11	-45	45	45	320	-45	320	-45	45	2,88
12	-50	50	50	300	-50	300	-50	50	2,72
13	-60	60	35	70	105	140	-60	60	3,43
14	-70	70	35	70	105	140	-70	70	3,29
15	-90	90	35	70	105	140	-90	90	3,33
16	-90	90	40	80	120	160	-90	90	3,06
17	-90	90	90	0	-90	0	-90	90	3,84
18	-135	135	35	70	105	140	-135	135	3,69
19	45	-45	30	60	90	120	-45	45	4,66
20	45	-45	45	90	135	180	-45	45	4,65
21	90	-90	30	60	90	120	90	-90	4,88

La Figura 3.10 ilustra un resumen de la directividad en función de los experimentos.

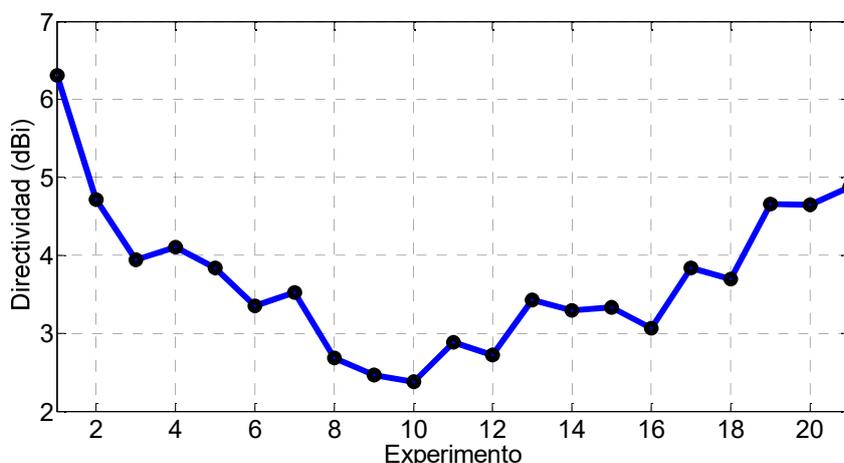
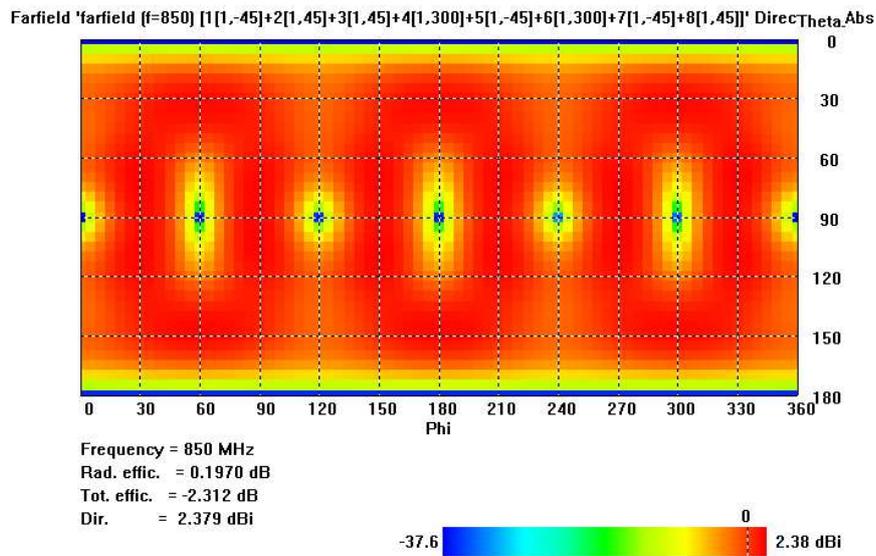
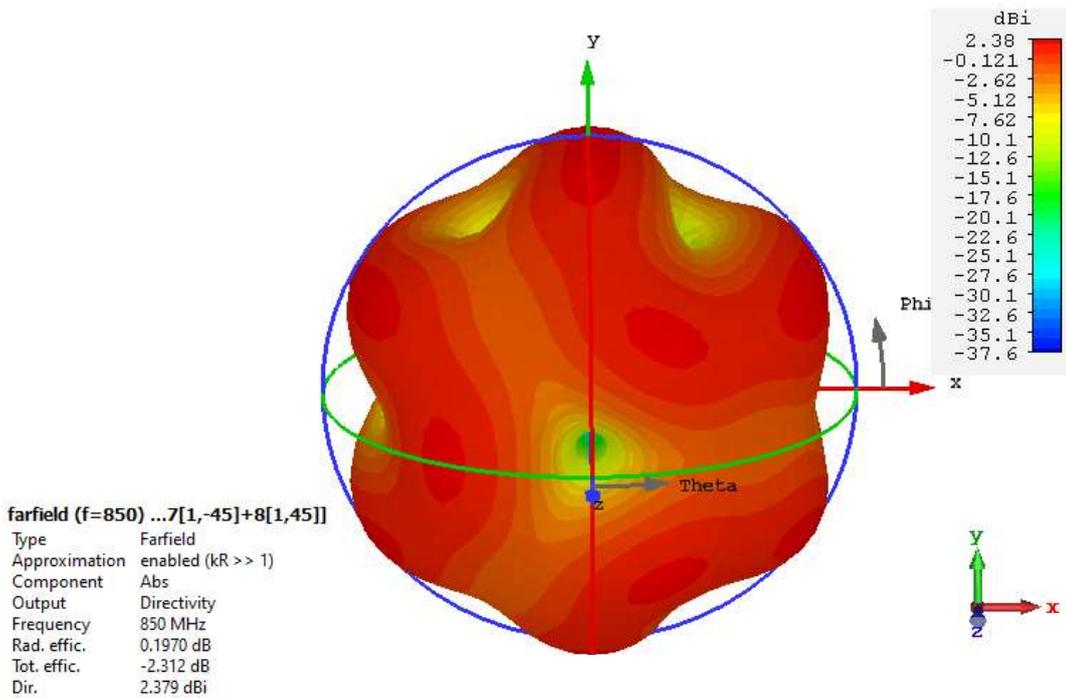


Figura 3.10. Directividad obtenida versus experimentos para una estructura de 8 antenas monopolo



(a)



(b)

Figura 3.11. Patrón de radiación de un arreglo de 8 antenas monopolo.

(a) Patrón de radiación 2D, (b) Patrón de radiación 3D

En la Figura 3.11 (a) y (b) se observa que existen valles en los ángulos Phi 0°, 60°, 120°, 180°, 240°, 300° y Theta 90°

La Tabla 3.6 muestra los diferentes valores de fase de alimentación que se asignaron a los diferentes elementos radiantes del arreglo con 12 antenas monopolo. Se puede apreciar que el experimento número 20 muestra la menor directividad.

Tabla 3.6. Directividad para experimentos de una estructura de 12 antenas monopolo.

ANTENA DIPOLO	Fase de cada elemento radiante (°)												Directividad (dBi)	
	Experi- mento	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11		#12
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,47
2	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	4,34	
3	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	4,79	
4	0	45	90	135	180	225	270	315	0	45	90	135	6,21	
5	0	60	120	180	240	300	0	60	120	180	240	300	6,26	
6	0	-30	-60	-90	-120	-150	-180	-210	-240	-270	-300	-330	5,39	
7	-10	-20	-30	210	240	270	300	330	0	120	150	180	4,19	
8	-45	-90	-130	210	240	270	300	330	0	120	150	180	5,20	
9	-90	-120	-150	210	240	270	300	330	0	120	150	180	5,37	
10	0	-10	210	210	240	270	300	330	0	120	150	180	4,13	
11	20	10	0	210	240	270	300	330	0	120	150	180	3,95	
12	30	20	10	210	240	270	300	330	0	120	150	180	3,84	
13	30	60	90	0	45	90	135	180	225	30	60	90	4,83	
14	30	60	90	120	150	180	210	240	270	-30	-60	-90	4,33	
15	50	40	30	210	240	270	300	330	0	120	150	180	3,84	
16	150	-60	30	210	240	270	300	330	0	120	150	180	3,56	
17	180	-30	30	210	240	270	300	330	0	120	150	180	3,50	
18	180	-60	30	210	240	270	300	330	0	-270	120	0	4,41	
19	180	-60	30	210	240	270	300	330	0	-270	150	180	3,56	
20	180	-60	30	210	240	270	300	330	0	120	150	180	3,26	
21	180	-60	60	210	240	270	300	330	0	120	150	180	3,79	
22	210	-60	30	210	240	270	300	330	0	120	150	180	3,84	

La Figura 3.12 ilustra un resumen de la directividad en función de los experimentos.

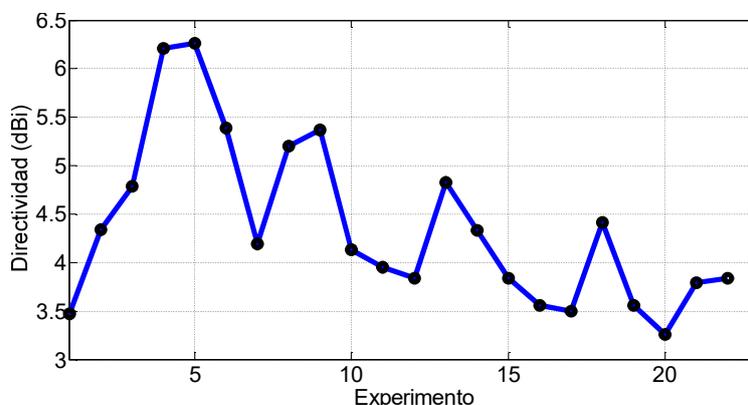
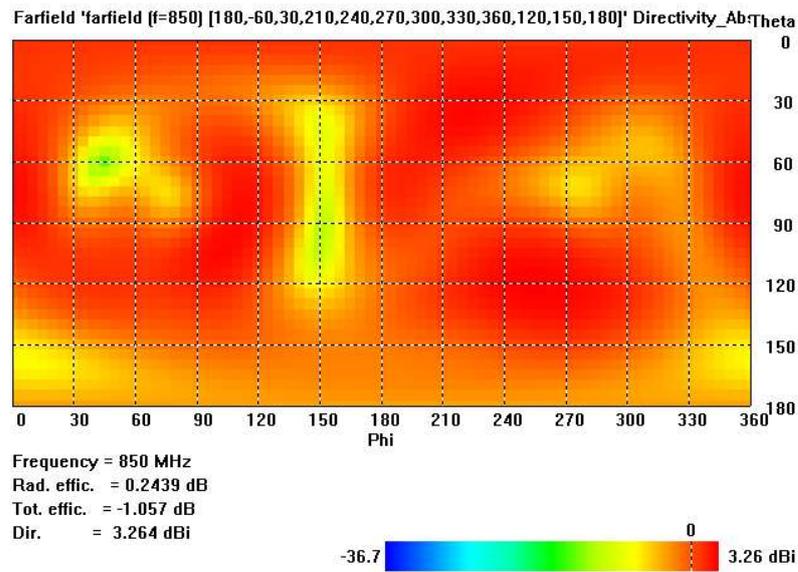
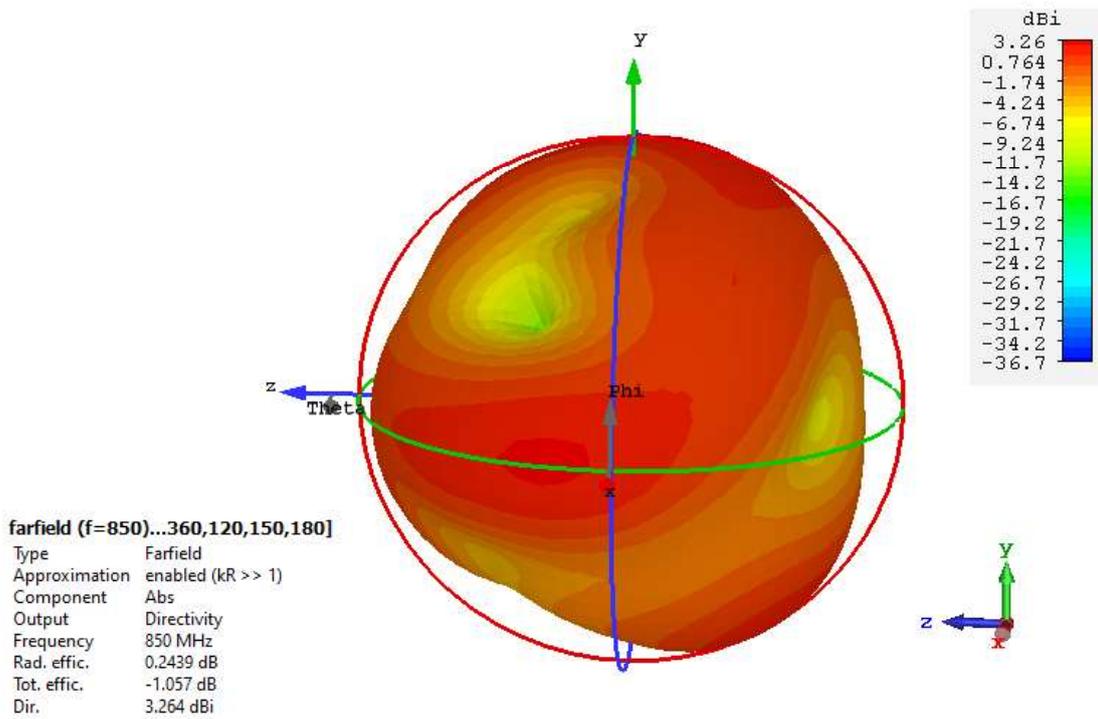


Figura 3.12. Directividad obtenida versus experimentos para una estructura de 12 antenas monopolo



(a)



(b)

Figura 3.13. Patrón de radiación de un arreglo de 12 antenas monopolo.

(a) Patrón de radiación 2D, (b) Patrón de radiación 3D

En la Figura 3.13 (a) y (b) se observa que existe un valle en los ángulos Phi de 0° a 360° y Theta de 150° a 180° .

3.3 ESTRUCTURAS CON ANTENAS *PATCH*

La Tabla 3.7 muestra los diferentes valores de fase de alimentación que se asignaron a los diferentes elementos radiantes del arreglo con 6 antenas *patch*. En este caso el experimento número 15 muestra la menor directividad.

Tabla 3.7. Directividad para experimentos de una estructura de 6 antenas *patch*.

ANTENA <i>PATCH</i>	Fase de cada elemento radiante (°)						Directividad (dBi)
	Experimento	#1	#2	#3	#4	#5	
1	0	0	0	0	0	0	2,39
2	0	30	60	90	120	150	3,86
3	0	45	90	135	180	225	3,29
4	0	60	120	180	240	300	3,05
5	-45	45	180	45	-45	-180	3,60
6	-60	0	-60	60	0	-60	3,42
7	-60	0	60	60	0	-60	2,77
8	-60	60	120	60	-60	-120	3,08
9	-110	-60	120	90	0	-210	1,59
10	-120	-60	120	60	-30	-180	2,45
11	-120	-60	120	60	-60	-90	2,51
12	-120	-60	120	60	0	-180	2,04
13	-120	-60	120	70	0	-210	1,68
14	-120	-60	120	90	0	-210	1,56
15	-120	-60	150	90	0	-210	1,51
16	-120	-90	120	90	0	-210	1,81
17	0	60	120	180	-60	-120	2,55
18	0	60	120	180	0	-120	2,91
19	60	120	180	-60	-120	-180	4,36

La Figura 3.14 ilustra un resumen de la directividad en función de los experimentos.

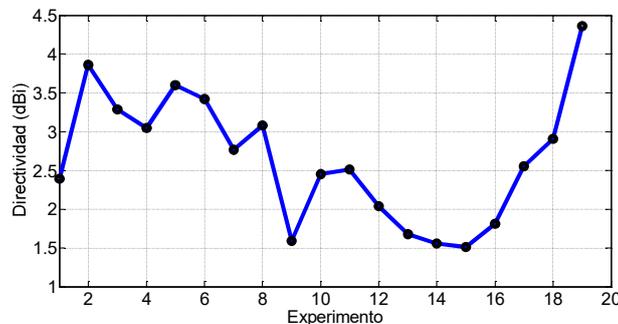
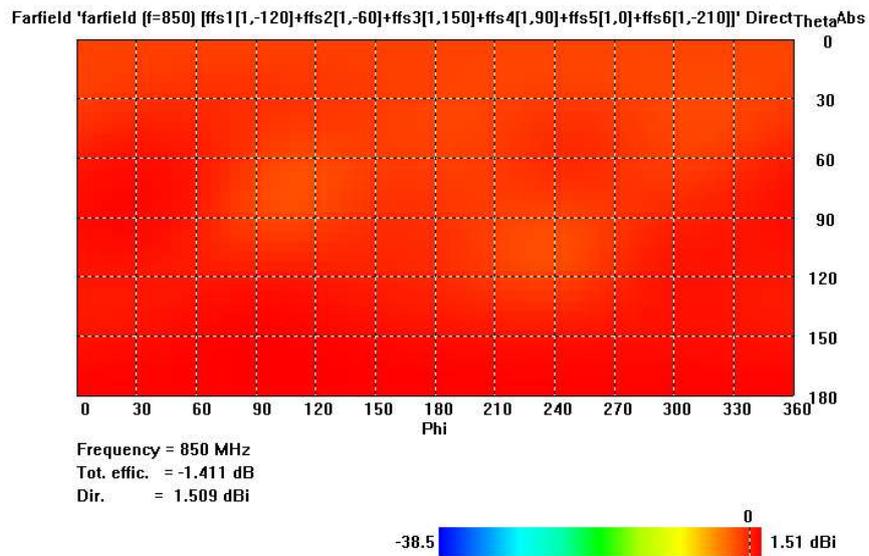
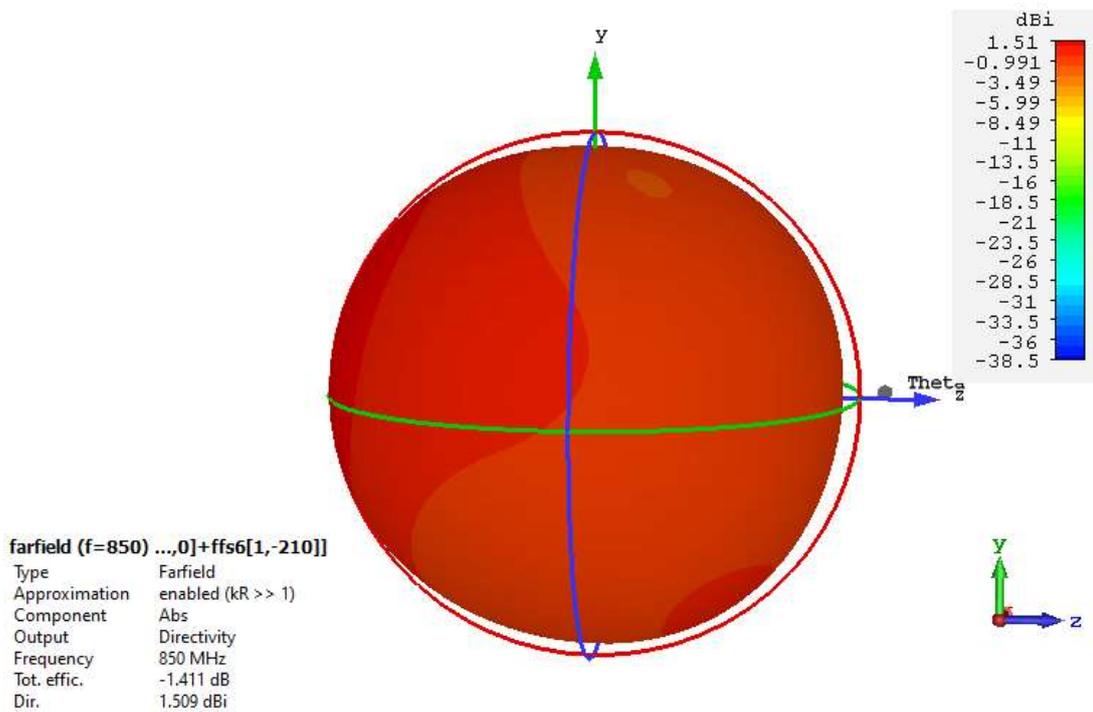


Figura 3.14. Directividad obtenida versus experimentos para una estructura de 6 antenas *patch*



(a)



(b)

Figura 3.15. Patrón de radiación de un arreglo de 6 antenas *patch*.

(a) Patrón de radiación 2D, (b) Patrón de radiación 3D

En la Figura 3.15 (a) y (b) se observa una buena cobertura en todo el rango de los ángulos Phi y Theta.

La Tabla 3.8 muestra los diferentes valores de fase de alimentación que se asignaron a los diferentes elementos radiantes del arreglo con 8 antenas *patch*. Se puede apreciar que el experimento número 13 muestra la menor directividad.

Tabla 3.8. Directividad para experimentos de una estructura de 8 antenas *patch*.

ANTENA <i>PATCH</i>	Fase de cada elemento radiante (°)								Directividad (dBi)	
	Experimento	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7		#8
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,89
2	30	60	90	120	150	180	210	240	240	3,90
3	45	90	135	180	225	270	315	0	0	3,62
4	60	120	180	240	300	0	60	120	120	3,30
5	-20	-40	-60	-80	-20	-40	-60	-80	-80	1,91
6	-30	-60	-90	-90	-30	-60	-90	-120	-120	1,77
7	-30	-60	-90	-120	-30	-30	-90	-120	-120	1,72
8	-30	-60	-90	-120	-30	-60	-90	-120	-120	1,53
9	-30	-60	-90	-120	-30	-60	-120	-120	-120	2,00
10	-30	-60	-90	-150	-30	-60	-90	-120	-120	1,69
11	-35	-70	-105	-140	-35	-70	-105	-140	-140	1,71
12	-45	-90	-135	-315	-45	-90	-135	-180	-180	1,68
13	-60	-60	-90	-120	-30	-60	-90	-120	-120	1,50
14	0	-90	-135	0	-45	-315	-135	-180	-180	2,31
15	30	60	90	120	30	60	90	120	120	3,29
16	45	90	135	180	-45	-90	-135	-180	-180	3,91
17	90	-90	-135	-315	-45	-90	-135	-180	-180	2,89
18	0	0	0	-45	0	-90	-135	-190	-190	2,86

La Figura 3.16 ilustra un resumen de la directividad en función de los experimentos.

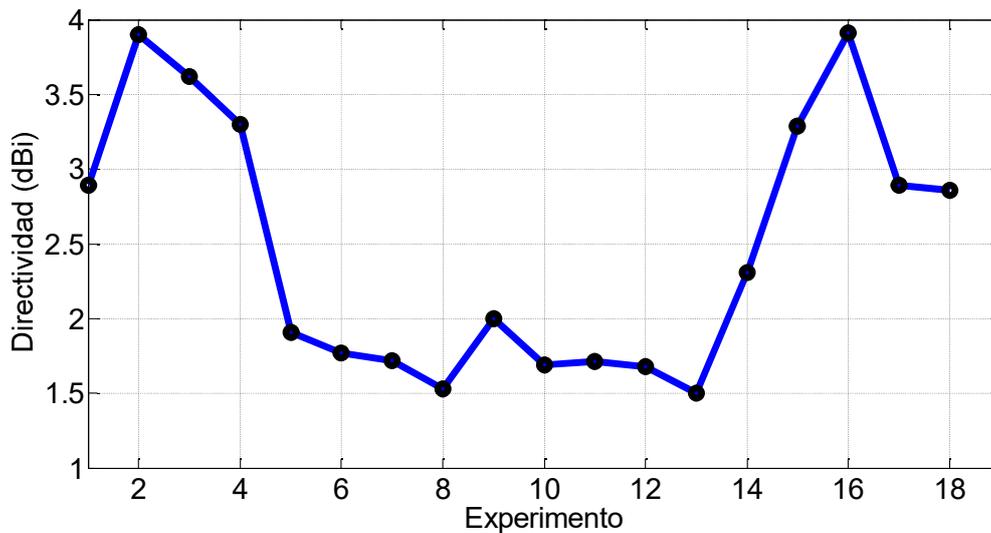


Figura 3.16. Directividad obtenida versus experimentos para una estructura de 8 antenas *patch*

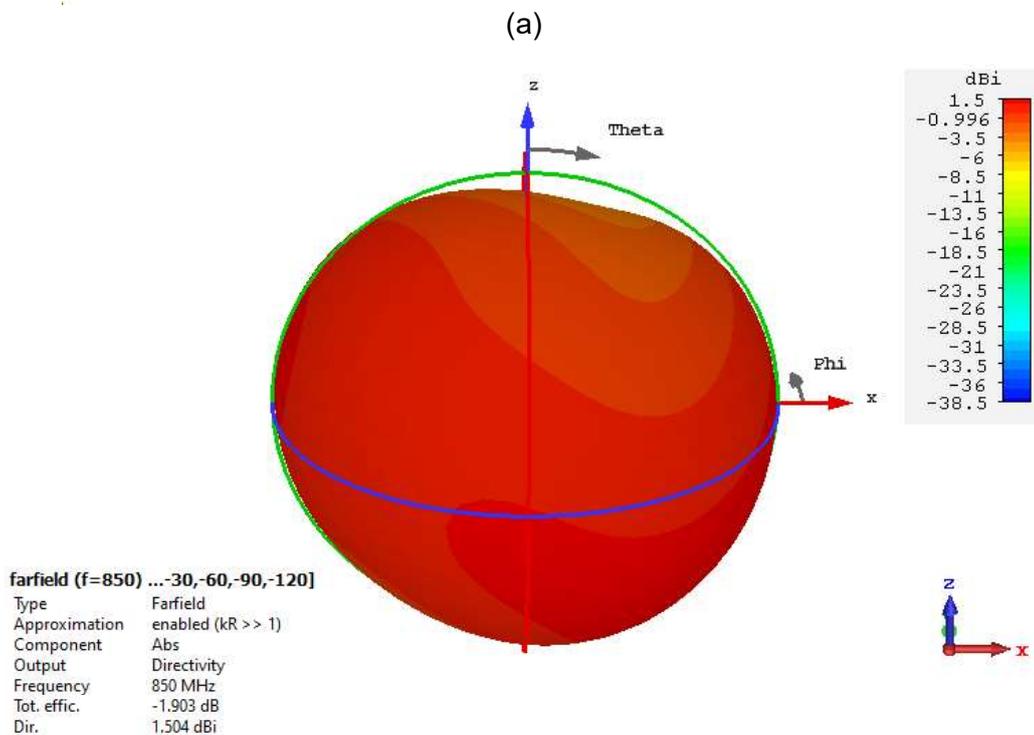
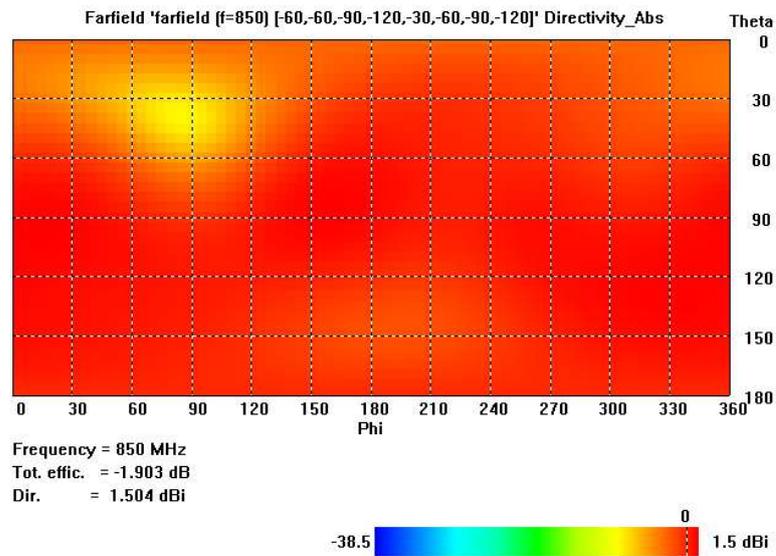


Figura 3.17. Patrón de radiación de un arreglo de 8 antenas *patch*.

(a) Patrón de radiación 2D, (b) Patrón de radiación 3D

En la Figura 3.17 (a) y (b) se observa que existe un pequeño valle en los ángulos Phi de 60° a 120° y Theta de 0° a 60° .

La Tabla 3.9 muestra los diferentes valores de fase de alimentación que se asignaron a los diferentes elementos radiantes del arreglo con 12 antenas *patch*. Para este caso el experimento número 16 muestra la menor directividad.

Tabla 3.9. Directividad para experimentos de una estructura de 12 antenas *patch*.

ANTENA PATCH	Fase de cada elemento radiante (°)												Directividad (dBi)	
	Experi- mento	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11		#12
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,15
2	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	5,17
3	0	45	90	135	180	225	270	315	0	45	90	135	180	4,09
4	0	60	120	180	240	300	0	60	120	180	240	300	360	3,34
5	0	90	180	270	0	90	180	270	0	90	180	270	360	3,20
6	-30	-60	-90	-30	-60	-90	-120	-150	-180	-90	-180	-270	-360	2,74
7	-40	-85	-130	30	60	90	120	150	180	-40	-85	-130	-180	2,70
8	-45	-90	-135	30	60	90	120	150	-90	-45	-90	-135	-180	2,86
9	-45	-90	-135	30	60	90	120	150	180	-45	-90	-135	-180	2,64
10	30	60	90	-30	-60	-90	-120	-150	-180	-45	-90	-135	-180	2,74
11	45	90	135	-30	-60	-90	-120	-150	-180	-45	-90	-135	-180	2,58
12	45	90	135	-30	-60	-90	-120	-150	-180	-70	-140	-210	-280	2,13
13	60	120	180	-30	-60	-90	-120	-150	-180	-90	-180	-270	-360	2,29
14	60	120	180	-40	-80	-120	-160	-200	-240	-90	-180	-270	-360	2,09
15	70	140	210	-30	-60	-90	-120	-150	-180	-90	-180	-270	-360	1,79
16	90	180	270	-30	-60	-90	-120	-150	-180	-90	-180	-270	-360	1,69
17	90	180	270	-40	-80	-120	-160	-200	-240	-90	-180	-270	-360	2,06
18	120	240	0	-20	-40	-60	-80	-100	-120	-90	-180	-270	-360	2,17

La Figura 3.18 ilustra un resumen de la directividad en función de los experimentos.

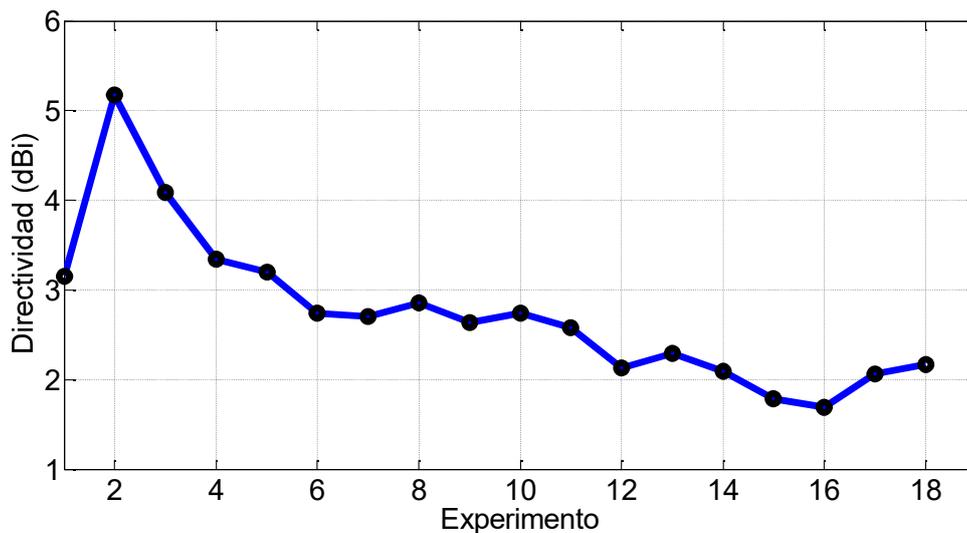
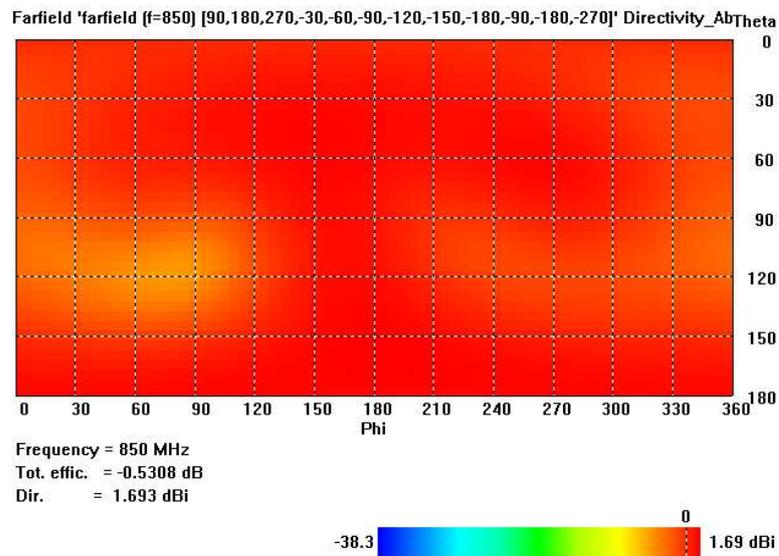


Figura 3.18. Directividad obtenida versus experimentos para una estructura de 12 antenas *patch*



(a)

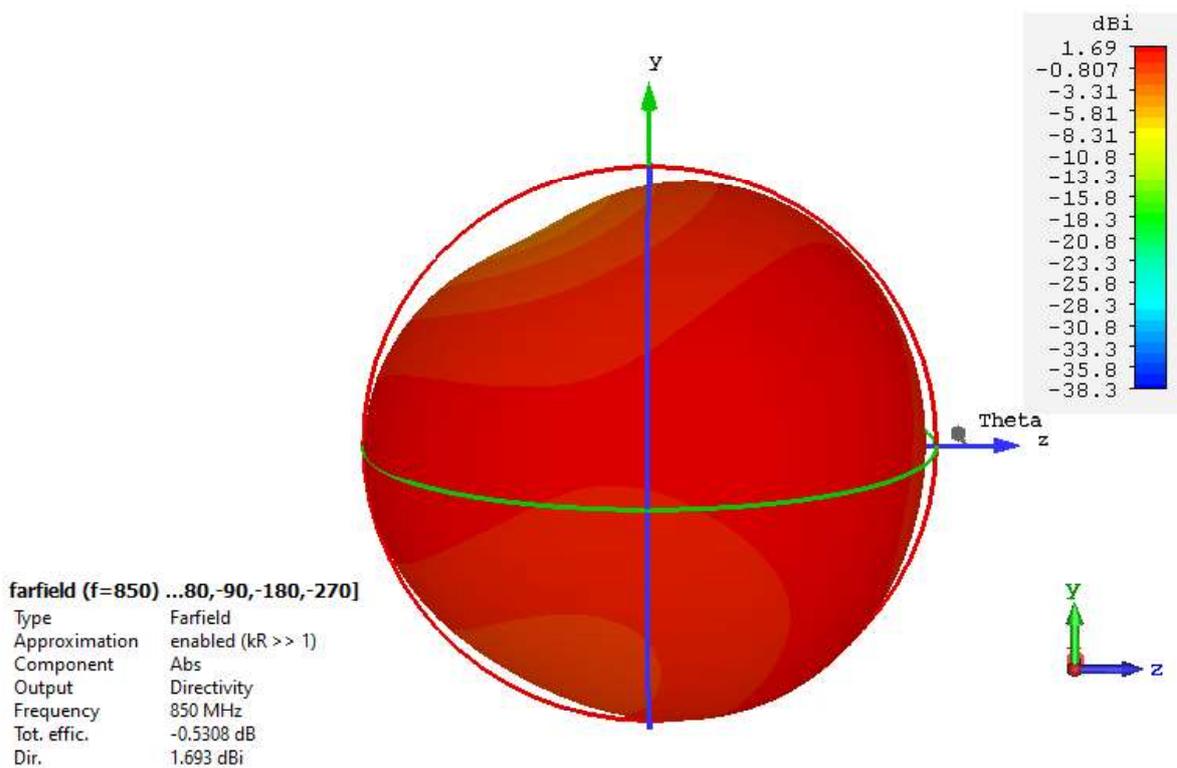


Figura 3.19. Patrón de radiación de un arreglo de 12 antenas *patch*.

(a) Patrón de radiación 2D, (b) Patrón de radiación 3D

En la Figura 3.19 (a) y (b) se observa que existe un pequeño valle en los ángulos Phi de 30° a 120° y Theta de 90° a 150°.

3.4 DISCUSIÓN

Tomando en cuenta los patrones de radiación de las tres estructuras con antenas tipo dipolo, se obtiene un mejor resultado con el arreglo de 8 antenas. Este resultado es el más próximo al modelo de radiación isotrópico que se alcanza. Uno de los factores que influye en esto es la distribución de los elementos radiantes en el ángulo sólido de 4π sr, así como la naturaleza de radiación de los elementos.

Al igual que sucedió con los arreglos de las antenas tipo dipolo, el mejor resultado de las simulaciones de las estructuras con antenas tipo monopolo se lo encuentra en la estructura de 8 elementos, es decir, con una directividad menor a las otras.

Con las estructuras que involucran antenas tipo *patch* los mejores resultados se obtienen en la estructura de 6 antenas. Esta estructura posee el patrón de radiación más uniforme de todos los casos analizados (estructuras con 6, 8 y 12 antenas dipolo; estructuras con 6, 8 y 12 antenas monopolo; estructuras con 6, 8 y 12 antenas *patch*) muy cercano al modelo isotrópico de propagación y una directividad de 1,51 dBi.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

En el presente trabajo de titulación se ha realizado un estudio, basado en simulaciones realizadas con CST Studio Suite, con diferentes arreglos de antenas monopolo, dipolo y *patch* con el fin de obtener patrones de radiación cuasi isotrópicos.

En primer lugar, el proyecto ha contemplado, como punto de partida, la recopilación de trabajos similares para establecer el estado del arte. Como resultado de esta investigación se han presentado 9 antenas con patrones de radiación desde los -20 dBi hasta los $3,1$ dBi. Asimismo, dichos patrones de radiación han sido obtenidos con estructuras tipo slots, monopolos, *patch*. Dichas estructuras han sido utilizadas en aplicaciones tales como dispositivos portátiles, aviones, satélites, entre otras.

Con el fin de posicionar de una manera equidistante a las estructuras, objeto del presente estudio, dos algoritmos han sido descritos. El primero contempla la distribución aleatoria homogénea de elementos dentro de una esfera (ángulo sólido 4π sr). El segundo algoritmo por su parte permite, en el mismo espacio en cuestión, la distribución regular (igualmente homogénea) de elementos.

Para cada algoritmo se ha presentado la pseudocodificación respectiva. Dado que el segundo algoritmo permite una distribución de elementos para la configuración de estructuras en “estado líquido”, se determinó que éste resulta adecuado para la distribución posterior de los elementos para su estudio (antenas). Este algoritmo fue implementado en MATLAB.

Tres tipos de elementos radiantes fueron propuestos para conformar la antena cuyo patrón de radiación fue el objeto de estudio. Por motivos de construcción y considerando sus características de radiación, se escogieron elementos radiantes del tipo dipolo, monopolo y *patch*.

En primera instancia, estos elementos fueron modelados aisladamente en la herramienta de simulación CST Studio Suite en la cual se partió desde el modelo teórico hasta llegar a una estructura optimizada. Para esto, se tomó en cuenta principalmente el acoplamiento de las estructuras en estrecha relación con los parámetros teóricos radiantes (característica de radiación y directividad).

En virtud del objetivo planteado en el presente proyecto, se remarcó que no es de interés los parámetros circuitales (acoplamiento, ganancia, pérdidas, etc.) en tanto que éstos pueden ser optimizados en futuros trabajos por medio de novedosas redes de alimentación y/o estructuras circuitales.

Debido a las diferentes características de cada elemento radiante que conforma la antena, tales como polarización, direccionamiento y alimentación, se estableció ciertos criterios para limitar el análisis. Esta limitación permitió conformar grupos de antenas para establecer un patrón de comportamiento normalizado sencillo de analizar.

Se simularon antenas con 6, 8 y 12 elementos radiantes. En cada simulación se consideraron diferentes escenarios de alimentación basados, en primer lugar, en el cambio de fase progresivo y después en un cambio de fase optimizado basado en resultados previos.

Como resultado de las diversas experimentaciones se notó que, al combinar arreglos realizados con elementos radiantes que poseen patrones de radiación omnidireccionales (antena dipolo y antena monopolo), éstos mostraron un valor de directividad mayor a aquellos cuyos elementos radiantes poseen patrones de radiación directivos (antena *patch*).

Desde el punto de vista de alimentación de las antenas y al tener resultados similares en la directividad de los patrones de radiación con las estructuras de 6 y 8 elementos radiantes, se prevé una ventaja en futuras implementaciones de aquella estructura con 6 elementos ya que su red de alimentación es simple. Este fenómeno se debe a la interferencia constructiva y destructiva en campo lejano.

Al aumentar el número de antenas dipolo de 6 elementos a 8 elementos se obtuvieron menos valles en el patrón de radiación y una menor directividad, es decir, se mejora el patrón de radiación acercándose al modelo cuasi isotrópico buscado.

El mejor resultado se obtuvo al combinar 6 antenas *patch* con un escenario de alimentación de, para las 3 antenas ubicadas en el hemisferio superior, (-120° , -60° , $+150^\circ$), y para las 3 antenas ubicadas en el hemisferio inferior, ($+90^\circ$, 0° , -210°). Esta distribución y escenario de alimentación produjo un arreglo con una directividad de 1,51 dBi lo que representa un error absoluto de 0,41 con respecto al modelo isotrópico.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de titulación pueden utilizarse en lo posterior en novedosos diseños de antenas no solo con patrones de radiación isotrópicos si no también con patrones de radiación propietarios requeridos. Asimismo, los diferentes

tipos de simulación realizados en CST Studio Suite y utilizados en este trabajo, aportan al desarrollo de estructuras eléctricamente grandes sin la necesidad de costosos equipos de computación.

4.2 RECOMENDACIONES

Basado en la experiencia adquirida en la simulación de estructuras dispuestas en una esfera se recomienda, en primera instancia, la elaboración de un plan mecánico que permita construir un prototipo que contenga las estructuras aquí planteadas.

Una vez construido un producto tangible, éste requerirá la implementación de una red de alimentación. En lo posible, se recomienda que esta red de alimentación sea adaptiva con el fin de suministrar la alimentación necesaria conforme la cantidad de elementos radiantes a alimentar. Nótese además que la adaptabilidad de esta red debería considerar paralelamente la fase de alimentación de los elementos.

El presente trabajo de titulación concluyó que la mejor opción para la obtención de patrones de radiación cuasi isotrópicos son las antenas directivas. Basado en esta conclusión, se recomienda entonces la investigación con otro tipo de elementos que presenten mejor directividad que la antena *patch* (en lo posible mayor a 8 dBi), v.g. Yagi-Uda, reflectores, refractores, etc. Al igual que se consideró en la estructuración con elementos tipo parche, la esfera deberá proveer el espacio necesario sobre el cual estos elementos radiantes a investigar puedan ser montados sin obstrucción mecánica entre ellos.

Finalmente, con el fin de aprovechar las ventajas del simulador, se recomienda la implementación de este tipo de arreglos con elementos conformados ya que el estudio teórico de éstos conlleva un complejo análisis matemático. Sin embargo, se prevé que estos elementos conformados podrán reducir el tamaño de la esfera y mejorar la eficiencia en cuanto al número de elementos con respecto a la obtención del modelo isotrópico de radiación.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2015–2020," Cisco, White Paper, February 2016, [Online]. Available: https://www.cisco.com/c/dam/m/en_in/innovation/enterprise/assets/mobile-white-paper-c11-520862.pdf.
- [2] P. Gralla, *Como Funcionan Las Redes Inalambricas/How Wireless Works (Tecnología Multimedia/Multimedia Technology)*. Anaya Publishers, 2006.
- [3] J. D. Kraus, *Antennas*. 1988.
- [4] C. A. Balanis, *Antenna theory: analysis and design*. John Wiley & sons, 2016.
- [5] D. McCallie, J. Butts, and R. Mills, "Security analysis of the ADS-B implementation in the next generation air transportation system," *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, vol. 4, no. 2, pp. 78–87, 2011.
- [6] H. H. Beverage, C. W. Rice, and E. W. Kellogg, "The wave antenna a new type of highly directive antenna," *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, vol. 42, pp. 215–266, 1923.
- [7] R. L. Haupt and Y. Rahmat-Samii, "Antenna array developments: A perspective on the past, present and future," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 57, no. 1, pp. 86–96, 2015.
- [8] D. Psychogiou and J. Hesselbarth, "Diversity antennas for isotropic coverage," *3rd European Wireless Technology Conference*, 2010, pp. 101–104.
- [9] M. D. Foegelle, "Antenna pattern measurement: concepts and techniques," *Compliance Engineering*, vol. 19, no. 3, pp. 22–33, 2002.
- [10] P. Mattheijssen, M. H. Herben, G. Dolmans, and L. Leyten, "Antenna-pattern diversity versus space diversity for use at handhelds," *IEEE Transactions on vehicular Technology*, vol. 53, no. 4, pp. 1035–1042, 2004.
- [11] J. Sarrazin, Y. Mahé, S. Avrillon, and S. Toutain, "Investigation on cavity/slot antennas for diversity and MIMO systems: The example of a three-port antenna," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 7, pp. 414–417, 2008.
- [12] Z. Zhang, X. Gao, W. Chen, Z. Feng, and M. F. Iskander, "Study of conformal switchable antenna system on cylindrical surface for isotropic coverage," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 59, no. 3, pp. 776–783, 2010.

- [13] C.-H. Wu and T.-G. Ma, "Miniaturized self-oscillating active integrated antenna with quasi-isotropic radiation," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, no. 2, pp. 933–936, 2013.
- [14] Y.-M. Pan, K. W. Leung, and K. Lu, "Compact quasi-isotropic dielectric resonator antenna with small ground plane," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, no. 2, pp. 577–585, 2013.
- [15] Y. Pan and S. Zheng, "A compact quasi-isotropic shorted patch antenna," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 2771–2778, 2017.
- [16] M. Deserno, "How to generate equidistributed points on the surface of a sphere," *If Polymerforschung* (Ed.), p. 99, 2004.
- [17] "CST Studio Suite 2011," Computer Simulation Technology AG, 2013.
- [18] S. K. Das, *Antenna and wave propagation*. Tata McGraw-Hill Education, 2013.

ANEXOS

ANEXO A. Código de MATLAB para la colocación de puntos equidistantes en una esfera.

ANEXO B. Código de MATLAB para la transformación de coordenadas rectangulares a coordenadas esféricas.

ANEXO C. Herramienta de simulación CST Studio Suite.

ANEXO D. Captura de pantalla de todas las configuraciones realizadas en simulaciones en CST Studio Suite con los diferentes cambios de fase para la alimentación de los elementos radiantes analizados.

ANEXO A

```
function [X,Y,Z,N_new] = mySphere(N)

%% Generate Node xyz positions
% Used 2004 paper by Markus Deserno, Max-Planck-Institut:
% "How to generate equidistributed points on the surface of a
sphere"
% Enforces constant intervalles d_theta ~ d_phi
% Assumes unit radius
% Does not replace MATLAB "sphere" function

% Create Sphere 3D Geometry Centered at (x,y,z) = (0,0,0)
%
% N: target number of nodes
% N_new: final number of nodes
% X,Y,Z: column vectors of length N_new containing node
coordinates

r_unit = 1;

Area = 4*pi*r_unit^2/N;
Distance = sqrt(Area);
M_theta = round(pi/Distance);
d_theta = pi/M_theta;
d_phi = Area/d_theta;

N_new = 0;
for m = 0:M_theta-1

    Theta = pi*(m+0.5)/M_theta;
    M_phi = round(2*pi*sin(Theta)/d_phi); % not exact

    for n = 0:M_phi-1
        Phi = 2*pi*n/M_phi;

        N_new = N_new + 1;

        X(N_new) = sin(Theta)*cos(Phi);
        Y(N_new) = sin(Theta)*sin(Phi);
        Z(N_new) = cos(Theta);

    end
end

% Demonstrate the mySphere function
N = 6;
[X,Y,Z,N_new] = mySphere(N);

switch 2
    case 1
        % double the radius
        X = X.*2;
```

```

        Y = Y.*2;
        Z = Z.*2;
    case 2
        % offset sphere
        X = X + 1;
        Y = Y + 1;
        Z = Z + 1;
end

figure
grid on
for i = 1:N_new
    hold on
    plot3(X(i),Y(i),Z(i), 'k*')
end

hold on
[x,y,z] = sphere;
mesh(x+1,y+1,z+1)
colormap(autumn(5))

```

ANEXO B

```
x=input('x: ');
y=input('y: ');
z=input('z: ');

[azimut,elevacion,rad]=cart2sph(x,y,z);

fprintf ('///%d, %d, %d///\n', x, y, z)
fprintf ('radio= %f \n',rad);
fprintf ('fi= %f \n',elevacion);
fprintf ('teta= %f \n',azimut);

grados_teta= elevacion * 180 / pi;
fprintf ('grados_teta= %f \n',grados_teta);

rotacion111=180-grados_teta;
fprintf ('rotacion111= %f \n\n',rotacion111);

grados_azimut= azimut * 180 / pi;
fprintf ('grados_azimut= %f \n',grados_azimut);

rotacion222=180-grados_azimut;
fprintf ('rotacion222= %f \n\n',rotacion222);
```

ANEXO C

CST STUDIO SUITE

Descripción del producto

CST Studio Suite es un paquete de software de análisis 3D EM de alto rendimiento para diseñar, analizar y optimizar componentes y sistemas electromagnéticos (EM).

Los solucionadores de campos electromagnéticos para aplicaciones en todo el espectro EM están contenidos dentro de una única interfaz de usuario en CST Studio Suite. Los solucionadores se pueden acoplar para realizar simulaciones híbridas, brindando a los ingenieros la flexibilidad de analizar sistemas completos formados por múltiples componentes de una manera eficiente y directa. El codiseño con otros productos SIMULIA permite integrar la simulación EM en el flujo de diseño e impulsa el proceso de desarrollo desde las primeras etapas.

Los temas comunes de análisis EM incluyen el rendimiento y la eficiencia de antenas y filtros, compatibilidad electromagnética e interferencia (EMC / EMI), exposición del cuerpo humano a campos EM, efectos electromecánicos en motores y generadores, y efectos térmicos en alta potencia. dispositivos.

CST Studio Suite se utiliza en empresas líderes de tecnología e ingeniería de todo el mundo. Ofrece considerables ventajas de producto a mercado, facilitando ciclos de desarrollo más cortos y costos reducidos. La simulación permite el uso de prototipos virtuales. El rendimiento del dispositivo se puede optimizar, identificar posibles problemas de cumplimiento y mitigarlos al principio del proceso de diseño, se puede reducir la cantidad de prototipos físicos necesarios y minimizar el riesgo de fallas y retiros de pruebas.

Solvers

Solucionadores de simulación que utilizan métodos como el método de elementos finitos (FEM), la técnica de integración finita (FIT) y el método de matriz de línea de transmisión (TLM). Estos representan los solucionadores de propósito general más potentes para tareas de simulación de alta frecuencia. Los solucionadores adicionales para aplicaciones especializadas de alta frecuencia, como estructuras eléctricamente grandes o altamente resonantes, complementan a los solucionadores de uso general. CST Studio Suite incluye solucionadores FEM dedicados a aplicaciones estáticas y de baja frecuencia, como dispositivos electromecánicos, transformadores o sensores. Junto a estos, hay métodos de simulación disponibles para problemas de dinámica de partículas cargadas, electrónica y multifísica.

Opciones de intercambio de datos

La excelente integración del flujo de trabajo disponible en CST Studio Suite proporciona opciones confiables de intercambio de datos que ayudan a reducir la carga de trabajo del ingeniero de diseño.

CST Studio Suite es reconocida por sus excelentes capacidades de importación de datos CAD y EDA. Los sofisticados mecanismos de curación, que restauran la integridad de los

datos defectuosos o no conformes, son particularmente importantes, ya que incluso un elemento dañado puede evitar el uso de toda la parte.

Se pueden importar modelos completamente parametrizados y los cambios de diseño se reflejan instantáneamente en el modelo de simulación debido al enlace bidireccional entre CAD y simulación. Esto significa que los resultados de las optimizaciones y los estudios de diseño paramétrico se pueden volver a importar directamente al modelo maestro. Esto mejora la integración del flujo de trabajo y reduce el tiempo y el esfuerzo necesarios para optimizar un diseño.

Optimización

CST Studio Suite ofrece rutinas de optimización automática para sistemas y dispositivos electromagnéticos. Los modelos CST Studio Suite se pueden parametrizar con respecto a sus dimensiones geométricas o propiedades de material. Esto permite a los usuarios estudiar el comportamiento de un dispositivo a medida que cambian sus propiedades.

Los usuarios pueden encontrar los parámetros de diseño óptimos para lograr un efecto determinado o cumplir un objetivo determinado. También pueden adaptar las propiedades del material para adaptarse a los datos medidos.

CST Studio Suite contiene varios algoritmos de optimización automática, tanto locales como globales. Los optimizadores locales proporcionan una convergencia rápida, pero corren el riesgo de converger a un mínimo local en lugar de la mejor solución general. Por otro lado, los optimizadores globales buscan en todo el espacio del problema, pero generalmente requieren más cálculos.

Las técnicas informáticas de alto rendimiento se pueden utilizar para acelerar la simulación y la optimización de sistemas muy complejos o problemas con grandes cantidades de variables. El rendimiento de los optimizadores globales en particular puede mejorarse enormemente con el uso de la informática distribuida.

Modelado de sistemas electromagnéticos

Con System Assembly and Modeling (SAM), CST Studio Suite proporciona un entorno que simplifica la gestión de proyectos de simulación, permitiendo la construcción intuitiva de sistemas electromagnéticos (EM) y la gestión directa de flujos de simulación complejos mediante modelado esquemático.

El marco SAM se puede utilizar para analizar y optimizar un dispositivo completo que consta de múltiples componentes individuales. Estos se describen por cantidades físicas relevantes, como corrientes, campos o parámetros S. SAM permite el uso de la tecnología de resolución más eficiente para cada componente.

SAM ayuda a los usuarios a comparar los resultados de diferentes solucionadores o configuraciones de modelos dentro de un proyecto de simulación y realizar el procesamiento posterior automáticamente. SAM facilita la configuración de una secuencia vinculada de ejecuciones de solucionador para simulaciones híbridas y multifísicas. Por ejemplo, utilizando los resultados de la simulación EM para calcular los efectos térmicos, luego la deformación estructural y luego otra simulación EM para analizar la desintonización.

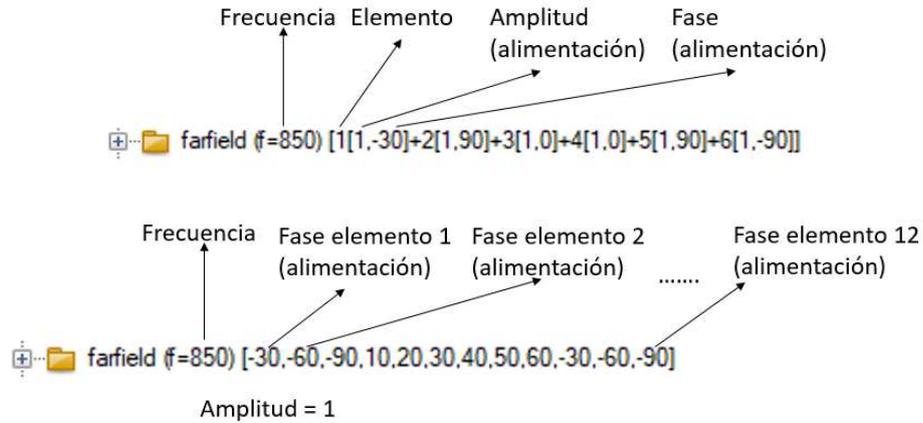
Esta combinación de diferentes niveles de simulación ayuda a reducir el esfuerzo computacional requerido para analizar un modelo complejo con precisión.

Interfaz de usuario

El entorno de diseño de CST Studio Suite es una interfaz de usuario intuitiva utilizada por todos los módulos. Comprende una herramienta de modelado interactivo en 3D, una herramienta de diseño esquemático, un preprocesador para los solucionadores electromagnéticos y herramientas de procesamiento posterior adaptadas a las necesidades de la industria.

La interfaz basada en cinta utiliza pestañas para mostrar todas las herramientas y opciones necesarias para configurar, llevar a cabo y analizar una simulación, agrupadas según su posición en el flujo de trabajo. Las pestañas contextuales significan que las opciones más relevantes para la tarea siempre están a solo un clic de distancia. Además, el Asistente de proyectos y la Guía de inicio rápido brindan orientación a los nuevos usuarios y ofrecen acceso a una amplia gama de funciones. La herramienta de modelado interactivo en 3D en el corazón de la interfaz utiliza el núcleo CAD 3D de ACIS. Esta poderosa herramienta permite construir modelos complejos dentro de CST Studio Suite y editarlos paramétricamente con un simple enfoque WYSIWYG.

ANEXO D



Experimentos para la estructura con 6 antenas dipolo.

Navigation Tree

- farfield (f=850) [1[1,-30]+2[1,90]+3[1,0]+4[1,0]+5[1,90]+6[1,-90]]
- farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,90]+4[1,90]+5[1,225]+6[1,225]]
- farfield (f=850) [1[1,-60]+2[1,60]+3[1,0]+4[1,0]+5[1,60]+6[1,-60]]
- farfield (f=850) [1[1,-60]+2[1,90]+3[1,0]+4[1,0]+5[1,90]+6[1,-90]]
- farfield (f=850) [1[1,-90]+2[1,90]+3[1,0]+4[1,0]+5[1,90]+6[1,-90]]
- farfield (f=850) [1[1,-90]+2[1,90]+3[1,45]+4[1,-45]+5[1,90]+6[1,-90]]
- farfield (f=850) [1[1,-90]+2[1,90]+3[1,45]+4[1,0]+5[1,90]+6[1,-90]]
- farfield (f=850) [1[1,-120]+2[1,90]+3[1,0]+4[1,0]+5[1,90]+6[1,-90]]
- farfield (f=850) [1[1,-120]+2[1,120]+3[1,0]+4[1,0]+5[1,120]+6[1,-120]]
- farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,-30]+3[1,-60]+4[1,-90]+5[1,-120]+6[1,-150]]
- farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,0]+3[1,0]+4[1,0]+5[1,0]+6[1,0]]
- farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,0]+3[1,180]+4[1,0]+5[1,0]+6[1,0]]
- farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,30]+3[1,60]+4[1,90]+5[1,120]+6[1,150]]
- farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,45]+3[1,45]+4[1,90]+5[1,225]+6[1,225]]
- farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,45]+3[1,90]+4[1,90]+5[1,225]+6[1,225]]
- farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,45]+3[1,90]+4[1,90]+5[1,225]+6[1,270]]
- farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,45]+3[1,90]+4[1,135]+5[1,135]+6[1,225]]
- farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,45]+3[1,90]+4[1,135]+5[1,180]+6[1,225]]
- farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,45]+3[1,90]+4[1,135]+5[1,225]+6[1,225]]
- farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,45]+3[1,135]+4[1,90]+5[1,225]+6[1,225]]
- farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,60]+3[1,120]+4[1,180]+5[1,240]+6[1,300]]
- farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,-30]+3[1,30]+4[1,-60]+5[1,90]+6[1,-90]]
- farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,-30]+3[1,60]+4[1,-60]+5[1,90]+6[1,-90]]
- farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,-30]+3[1,60]+4[1,-60]+5[1,90]+6[1,0]]
- farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,-30]+3[1,90]+4[1,-60]+5[1,90]+6[1,-90]]
- farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,45]+3[1,90]+4[1,90]+5[1,225]+6[1,225]]
- farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,90]+4[1,-30]+5[1,-60]+6[1,-90]]
- farfield (f=850) [1[1,45]+2[1,-45]+3[1,90]+4[1,-90]+5[1,135]+6[1,-135]]
- farfield (f=850) [1[1,45]+2[1,15]+3[1,90]+4[1,90]+5[1,225]+6[1,225]]
- farfield (f=850) [1[1,45]+2[1,30]+3[1,60]+4[1,90]+5[1,225]+6[1,225]]
- farfield (f=850) [1[1,45]+2[1,30]+3[1,90]+4[1,90]+5[1,225]+6[1,225]]
- farfield (f=850) [1[1,45]+2[1,30]+3[1,135]+4[1,90]+5[1,225]+6[1,225]]
- farfield (f=850) [1[1,45]+2[1,45]+3[1,90]+4[1,90]+5[1,225]+6[1,225]]
- farfield (f=850) [1[1,45]+2[1,60]+3[1,90]+4[1,90]+5[1,225]+6[1,225]]
- farfield (f=850) [1[1,60]+2[1,45]+3[1,90]+4[1,90]+5[1,225]+6[1,225]]

- farfield (f=850) [1[1,90]+2[1,-90]+3[1,180]+4[1,-180]+5[1,270]+6[1,-270]]
- farfield (f=850) [1[1,90]+2[1,0]+3[1,180]+4[1,0]+5[1,0]+6[1,-90]]
- farfield (f=850) [1[1,90]+2[1,0]+3[1,180]+4[1,180]+5[1,0]+6[1,90]]
- farfield (f=850) [1[1,90]+2[1,45]+3[1,90]+4[1,90]+5[1,225]+6[1,225]]

Experimentos para la estructura con 8 antenas dipolo.

Navigation Tree

- Farfields
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,0]+3[1,0]+4[1,0]+5[1,0]+6[1,0]+7[1,0]+8[1,0]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,90]+6[1,150]+7[1,60]+8[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,90]+6[1,150]+7[1,60]+8[1,120]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,90]+6[1,150]+7[1,90]+8[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,90]+6[1,150]+7[1,90]+8[1,100]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,90]+6[1,150]+7[1,90]+8[1,110]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,90]+6[1,150]+7[1,90]+8[1,120]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,90]+6[1,150]+7[1,90]+8[1,130]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,90]+6[1,150]+7[1,120]+8[1,120]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,90]+6[1,180]+7[1,90]+8[1,120]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,120]+6[1,90]+7[1,225]+8[1,180]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,120]+6[1,135]+7[1,225]+8[1,180]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,150]+6[1,135]+7[1,135]+8[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-60]+5[1,90]+6[1,180]+7[1,90]+8[1,120]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-60]+5[1,90]+6[1,180]+7[1,120]+8[1,120]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,0]+4[1,-45]+5[1,150]+6[1,135]+7[1,135]+8[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,270]+4[1,-45]+5[1,150]+6[1,135]+7[1,135]+8[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,300]+4[1,-45]+5[1,120]+6[1,135]+7[1,225]+8[1,180]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,300]+4[1,-45]+5[1,150]+6[1,135]+7[1,135]+8[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,300]+4[1,0]+5[1,150]+6[1,135]+7[1,135]+8[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,45]+6[1,150]+7[1,120]+8[1,120]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,60]+6[1,150]+7[1,120]+8[1,120]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,90]+6[1,120]+7[1,120]+8[1,120]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,90]+6[1,150]+7[1,120]+8[1,120]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,90]+6[1,150]+7[1,150]+8[1,120]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,90]+6[1,150]+7[1,150]+8[1,150]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,90]+6[1,150]+7[1,180]+8[1,120]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,120]+6[1,135]+7[1,225]+8[1,180]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,120]+6[1,150]+7[1,120]+8[1,120]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,150]+6[1,135]+7[1,30]+8[1,180]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,150]+6[1,135]+7[1,90]+8[1,180]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,150]+6[1,135]+7[1,135]+8[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,150]+6[1,135]+7[1,135]+8[1,180]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,150]+6[1,135]+7[1,180]+8[1,180]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,150]+6[1,150]+7[1,225]+8[1,180]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,150]+6[1,150]+7[1,120]+8[1,120]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,330]+4[1,-45]+5[1,150]+6[1,180]+7[1,90]+8[1,90]]

- ⊕ farfield (f=850) [1[1.30]+2[1.60]+3[1.330]+4[1.-45]+5[1.150]+6[1.180]+7[1.225]+8[1.180]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.30]+2[1.60]+3[1.330]+4[1.-45]+5[1.180]+6[1.135]+7[1.135]+8[1.90]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.30]+2[1.60]+3[1.330]+4[1.-45]+5[1.180]+6[1.135]+7[1.225]+8[1.180]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.30]+2[1.60]+3[1.330]+4[1.-45]+5[1.180]+6[1.180]+7[1.90]+8[1.90]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.30]+2[1.60]+3[1.330]+4[1.0]+5[1.120]+6[1.135]+7[1.135]+8[1.90]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.30]+2[1.60]+3[1.330]+4[1.0]+5[1.120]+6[1.135]+7[1.225]+8[1.180]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.30]+2[1.60]+3[1.330]+4[1.0]+5[1.150]+6[1.135]+7[1.135]+8[1.90]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.30]+2[1.60]+3[1.330]+4[1.0]+5[1.150]+6[1.135]+7[1.135]+8[1.135]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.30]+2[1.60]+3[1.330]+4[1.45]+5[1.150]+6[1.135]+7[1.135]+8[1.135]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.30]+2[1.60]+3[1.330]+4[1.90]+5[1.150]+6[1.135]+7[1.135]+8[1.135]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.30]+2[1.90]+3[1.330]+4[1.-45]+5[1.120]+6[1.135]+7[1.225]+8[1.180]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.60]+2[1.60]+3[1.330]+4[1.-45]+5[1.90]+6[1.150]+7[1.120]+8[1.120]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.60]+2[1.60]+3[1.330]+4[1.-45]+5[1.120]+6[1.135]+7[1.225]+8[1.180]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.60]+2[1.60]+3[1.330]+4[1.-45]+5[1.150]+6[1.135]+7[1.135]+8[1.90]]

- ⊕ farfield (f=850) [1[1.-30]+2[1.60]+3[1.300]+4[1.-45]+5[1.120]+6[1.135]+7[1.240]+8[1.180]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.-60]+2[1.60]+3[1.300]+4[1.-45]+5[1.120]+6[1.135]+7[1.240]+8[1.180]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.-30]+3[1.-60]+4[1.-90]+5[1.-120]+6[1.-150]+7[1.-180]+8[1.-210]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.0]+3[1.0]+4[1.0]+5[1.0]+6[1.0]+7[1.0]+8[1.0]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.30]+3[1.60]+4[1.90]+5[1.120]+6[1.150]+7[1.180]+8[1.210]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.30]+3[1.150]+4[1.0]+5[1.60]+6[1.0]+7[1.120]+8[1.90]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.45]+3[1.90]+4[1.135]+5[1.180]+6[1.225]+7[1.270]+8[1.315]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.45]+3[1.225]+4[1.-45]+5[1.90]+6[1.-45]+7[1.180]+8[1.135]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.45]+3[1.225]+4[1.-45]+5[1.90]+6[1.45]+7[1.180]+8[1.135]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.45]+3[1.225]+4[1.-90]+5[1.90]+6[1.90]+7[1.180]+8[1.135]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.45]+3[1.225]+4[1.0]+5[1.90]+6[1.0]+7[1.180]+8[1.135]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.45]+3[1.225]+4[1.45]+5[1.90]+6[1.45]+7[1.180]+8[1.135]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.60]+3[1.120]+4[1.180]+5[1.240]+6[1.300]+7[1.0]+8[1.60]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.60]+3[1.300]+4[1.-45]+5[1.0]+6[1.135]+7[1.240]+8[1.180]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.60]+3[1.300]+4[1.-45]+5[1.60]+6[1.135]+7[1.240]+8[1.180]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.60]+3[1.300]+4[1.-45]+5[1.120]+6[1.-45]+7[1.240]+8[1.180]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.60]+3[1.300]+4[1.-45]+5[1.120]+6[1.45]+7[1.240]+8[1.180]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.60]+3[1.300]+4[1.-45]+5[1.120]+6[1.90]+7[1.240]+8[1.180]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.60]+3[1.300]+4[1.-45]+5[1.120]+6[1.135]+7[1.225]+8[1.180]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.60]+3[1.300]+4[1.-45]+5[1.120]+6[1.135]+7[1.240]+8[1.180]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.60]+3[1.300]+4[1.-90]+5[1.60]+6[1.135]+7[1.240]+8[1.180]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.60]+3[1.300]+4[1.-90]+5[1.120]+6[1.135]+7[1.240]+8[1.180]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.60]+3[1.300]+4[1.-135]+5[1.60]+6[1.135]+7[1.240]+8[1.180]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.60]+3[1.300]+4[1.0]+5[1.60]+6[1.135]+7[1.240]+8[1.180]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.60]+3[1.300]+4[1.0]+5[1.120]+6[1.0]+7[1.240]+8[1.180]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.60]+3[1.300]+4[1.45]+5[1.120]+6[1.45]+7[1.240]+8[1.180]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.60]+3[1.330]+4[1.-45]+5[1.120]+6[1.135]+7[1.225]+8[1.180]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.90]+3[1.225]+4[1.-45]+5[1.90]+6[1.-90]+7[1.180]+8[1.135]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.0]+2[1.90]+3[1.225]+4[1.-45]+5[1.90]+6[1.90]+7[1.180]+8[1.135]]
- ⊕ farfield (f=850) [1[1.30]+2[1.60]+3[1.300]+4[1.-45]+5[1.120]+6[1.135]+7[1.240]+8[1.180]]

Experimentos para la estructura con 12 antenas dipolo.

Navigation Tree

- ⊖ Farfields
 - ⊕ farfield (f=850) [-30,-60,-90,10,20,30,40,50,60,-30,-60,-90]
 - ⊕ farfield (f=850) [-30,-60,-90,30,60,90,120,150,180,-30,-60,-90]
 - ⊕ farfield (f=850) [-30,180,270,30,60,90,120,150,180,-60,-120,-180]
 - ⊕ farfield (f=850) [-45,-180,-270,-30,-60,-90,-120,-150,-180,60,60,180]
 - ⊕ farfield (f=850) [-60,-120,-180,0,0,0,0,90,180,270]

- ⊕ farfield (f=850) [-60,-120,-180,30,60,90,120,150,180,60,120,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-60,-180,-270,0,0,0,0,0,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-120,0,-60,-120,-180,-240,-300,60,60,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-180,0,-60,-120,-180,-240,-300,60,60,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,-30,-30,-30,-30,-30,30,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,-30,-60,-90,-120,-150,-180,-60,-120,-180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,-30,-60,-90,-120,-150,-180,60,30,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,-30,-60,-90,-120,-150,-180,60,60,150]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,-30,-60,-90,-120,-150,-180,60,60,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,-30,-60,-90,-120,-150,-180,60,60,210]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,-30,-60,-90,-120,-150,-180,60,90,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,-30,-60,-90,-120,-150,-180,60,120,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,-30,-60,-90,-120,-150,-180,60,150,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,-30,0,-30,0,-30,30,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,-30,0,0,0,-30,30,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,-30,30,-30,0,-30,30,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,-45,-90,-135,-180,-225,-270,60,120,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,-30,-90,-150,-150,-180,60,60,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,-60,-90,-90,-150,-180,60,60,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,-60,-90,-120,-150,-180,60,60,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,-60,-90,-150,-90,-180,60,60,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,-60,-90,-150,-120,-180,60,60,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,-60,-90,-150,-150,-180,60,60,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,-60,-90,-150,-180,-180,60,60,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,-60,-90,-150,-210,-180,60,60,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,-60,-90,-180,-150,-180,60,60,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,-60,-120,-180,-240,-300,60,60,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,-60,-120,-180,-240,-300,60,120,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,-90,-90,-150,-150,-180,60,60,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,-120,-90,-120,-150,-180,60,60,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,-30,-30,-30,30,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,-90,-150,-120,-180,60,60,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,0,-30,-30,30,90,180,270]

- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,0,-60,-30,30,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,0,0,-30,30,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,0,0,0,-30,90,180,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,0,0,0,0,-90,-180,-270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,0,0,0,0,60,60,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,0,0,0,0,60,120,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,0,0,0,0,90,150,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,0,0,0,0,90,180,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,0,0,0,0,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,0,0,0,0,90,180,300]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,0,0,0,0,90,210,240]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,0,0,0,0,90,210,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,0,0,0,0,90,210,300]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,0,0,0,0,90,240,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,0,0,0,0,100,200,300]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,0,0,0,0,110,220,330]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,0,0,0,30,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,0,0,0,60,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,0,0,0,30,30,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,0,30,-30,-30,30,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,90,180,270,0,90,-60,-120,-180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,0,90,180,270,0,90,60,120,180]

- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,20,40,60,80,100,120,60,120,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,30,-30,0,0,-30,30,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,30,-60,-90,-120,-150,-180,60,60,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,30,0,-30,-30,-30,30,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,30,0,-30,0,-30,0,60,120,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,30,0,-30,0,-30,0,60,120,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,30,0,-30,0,-30,0,100,150,200]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,30,0,-30,0,-30,0,100,200,300]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,30,0,-30,0,-30,0,120,210,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,30,0,-30,0,-30,0,150,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,30,0,-30,0,-30,30,60,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,30,0,-30,0,-30,30,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,30,0,-30,0,-30,120,60,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,30,0,0,0,-30,30,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,30,0,30,0,-30,30,90,180,270]

- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,30,30,0,0,-30,30,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,30,60,90,120,150,180,60,120,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,45,0,0,0,-30,30,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-300,0,-60,-120,-180,-240,-300,60,60,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,0,0,-60,-120,-180,-240,-300,60,60,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,0,0,0,90,180,270,0,90,-60,0,0]
- ⊕ farfield (f=850) [-100,-200,-300,30,0,-30,0,-30,0,100,200,300]
- ⊕ farfield (f=850) [-120,-180,-270,-30,-60,-90,-120,-150,-180,60,60,180]
- ⊕ farfield (f=850) [-120,-180,-270,0,0,0,0,0,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [-260,-170,-80,30,0,-30,0,-30,0,260,170,80]
- ⊕ farfield (f=850) [-270,-180,-90,20,0,-20,0,-20,20,270,180,90]
- ⊕ farfield (f=850) [-270,-180,-90,30,0,-30,0,-30,0,100,200,300]
- ⊕ farfield (f=850) [-270,-180,-90,30,0,-30,0,-30,0,270,180,90]
- ⊕ farfield (f=850) [-270,-180,-90,30,0,-30,0,-30,0,300,200,100]
- ⊕ farfield (f=850) [-270,-180,-90,45,0,-45,0,-45,45,270,180,90]
- ⊕ farfield (f=850) [-300,-200,-100,30,0,-30,0,-30,0,260,170,80]
- ⊕ farfield (f=850) [0,-30,-60,30,60,90,120,150,180,-60,-120,-180]
- ⊕ farfield (f=850) [0,-30,30,30,60,90,120,150,180,-60,-120,-180]
- ⊕ farfield (f=850) [0,-180,-270,30,0,-30,0,-30,0,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [0,-180,-270,30,0,-30,0,-30,0,120,210,270]
- ⊕ farfield (f=850) [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]
- ⊕ farfield (f=850) [0,0,0,0,90,180,270,0,90,0,0,0]
- ⊕ farfield (f=850) [0,0,0,30,60,90,120,150,180,0,0,0]
- ⊕ farfield (f=850) [0,10,20,30,40,50,60,70,80,90,100,110]
- ⊕ farfield (f=850) [0,30,60,90,120,150,180,210,240,270,300,330]
- ⊕ farfield (f=850) [0,45,90,135,180,225,270,315,0,45,90,135]
- ⊕ farfield (f=850) [0,60,120,180,240,300,0,60,120,180,240,300]
- ⊕ farfield (f=850) [0,90,180,30,60,90,120,150,180,-60,-120,-180]

- ⊕ farfield (f=850) [30,60,90,10,20,30,40,50,60,-30,-60,-90]
- ⊕ farfield (f=850) [30,60,90,10,20,30,40,50,60,30,60,90]
- ⊕ farfield (f=850) [45,180,270,30,60,90,120,150,180,-60,-120,-180]
- ⊕ farfield (f=850) [45,180,270,45,90,135,180,225,270,-60,-120,-180]
- ⊕ farfield (f=850) [60,120,180,30,60,90,120,150,180,-60,-120,-180]
- ⊕ farfield (f=850) [60,180,270,30,60,90,120,150,180,-60,-120,-180]
- ⊕ farfield (f=850) [90,90,90,0,0,0,0,0,0,90,90,90]
- ⊕ farfield (f=850) [90,120,270,30,60,90,120,150,180,-60,-120,-180]
- ⊕ farfield (f=850) [90,180,225,30,60,90,120,150,180,-60,-120,-180]
- ⊕ farfield (f=850) [90,180,270,-30,-60,-90,-120,-150,-180,-60,-120,-180]
- ⊕ farfield (f=850) [90,180,270,20,40,60,80,100,120,-60,-120,-180]
- ⊕ farfield (f=850) [90,180,270,30,60,90,120,150,180,-45,-90,-135]
- ⊕ farfield (f=850) [90,180,270,30,60,90,120,150,180,-60,-120,-180]

- + farfield (f=850) [90,180,270,30,60,90,120,150,180,-90,-180,-270]
- + farfield (f=850) [90,180,270,45,90,135,180,225,270,-60,-120,-180]
- + farfield (f=850) [90,180,300,0,60,90,120,150,150,-60,-120,-180]
- + farfield (f=850) [90,180,300,0,60,90,120,150,180,-60,-120,-180]
- + farfield (f=850) [90,180,300,30,60,90,120,150,180,-60,-90,-150]
- + farfield (f=850) [90,180,300,30,60,90,120,150,180,-60,-90,-180]
- + farfield (f=850) [90,180,300,30,60,90,120,150,180,-60,-120,-180]
- + farfield (f=850) [90,180,300,30,60,90,120,150,180,-60,-150,-150]
- + farfield (f=850) [90,180,300,30,60,90,120,150,180,-60,-150,-180]
- + farfield (f=850) [90,180,300,30,60,90,120,150,180,-90,-120,-180]
- + farfield (f=850) [90,180,300,60,60,90,120,150,180,-60,-120,-180]
- + farfield (f=850) [90,180,330,30,60,90,120,150,180,-60,-120,-180]
- + farfield (f=850) [90,180,330,60,60,90,120,150,180,-60,-120,-180]
- + farfield (f=850) [90,210,270,30,60,90,120,150,180,-60,-120,-180]
- + farfield (f=850) [120,150,180,30,60,90,120,150,180,-60,-120,-180]
- + farfield (f=850) [120,180,270,30,60,90,120,150,180,-60,-120,-180]

Experimentos para la estructura con 6 antenas monopolo.

Navigation Tree

- Farfields
 - Farfield Cuts
 - farfield (f=850) [1[1,-30]+2[1,-60]+3[1,-90]+4[1,-120]+5[1,-150]+6[1,-180]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,-45]+3[1,-45]+4[1,-45]+5[1,-45]+6[1,-45]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,0]+3[1,-90]+4[1,-45]+5[1,0]+6[1,-90]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,0]+3[1,45]+4[1,90]+5[1,135]+6[1,180]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,-90]+4[1,-45]+5[1,0]+6[1,-45]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,-90]+4[1,-45]+5[1,0]+6[1,-90]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,-90]+4[1,-45]+5[1,0]+6[1,0]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,-90]+4[1,-45]+5[1,0]+6[1,45]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,-90]+4[1,-45]+5[1,45]+6[1,-90]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,-90]+4[1,-45]+5[1,45]+6[1,0]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,-90]+4[1,-45]+5[1,45]+6[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,-90]+4[1,45]+5[1,-45]+6[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,-135]+4[1,-45]+5[1,45]+6[1,135]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,0]+4[1,-45]+5[1,45]+6[1,0]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,135]+4[1,45]+5[1,-45]+6[1,0]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,180]+4[1,-45]+5[1,45]+6[1,-180]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,180]+4[1,45]+5[1,-45]+6[1,-180]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,180]+4[1,45]+5[1,-45]+6[1,0]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,180]+4[1,45]+5[1,-45]+6[1,180]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,90]+3[1,-90]+4[1,-45]+5[1,90]+6[1,-90]]
 - farfield (f=850) [1[1,-60]+2[1,60]+3[1,90]+4[1,60]+5[1,-60]+6[1,-90]]
 - farfield (f=850) [1[1,-60]+2[1,60]+3[1,180]+4[1,60]+5[1,-60]+6[1,-180]]
 - farfield (f=850) [1[1,-60]+2[1,60]+3[1,210]+4[1,60]+5[1,-60]+6[1,-210]]
 - farfield (f=850) [1[1,-90]+2[1,90]+3[1,180]+4[1,90]+5[1,-90]+6[1,0]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,0]+3[1,0]+4[1,0]+5[1,0]+6[1,0]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,30]+3[1,60]+4[1,90]+5[1,120]+6[1,150]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,45]+3[1,90]+4[1,135]+5[1,180]+6[1,225]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,60]+3[1,120]+4[1,180]+5[1,240]+6[1,300]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,100]+3[1,200]+4[1,0]+5[1,-100]+6[1,-200]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,120]+3[1,240]+4[1,0]+5[1,-120]+6[1,-240]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,120]+3[1,240]+4[1,0]+5[1,120]+6[1,240]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,130]+3[1,260]+4[1,0]+5[1,-130]+6[1,-260]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,90]+4[1,-30]+5[1,-60]+6[1,-90]]
 - farfield (f=850) [1[1,30]+2[1,60]+3[1,90]+4[1,120]+5[1,150]+6[1,180]]

- farfield (f=850) [1[1,45]+2[1,0]+3[1,0]+4[1,-45]+5[1,0]+6[1,0]]
- farfield (f=850) [1[1,45]+2[1,45]+3[1,45]+4[1,-45]+5[1,-45]+6[1,-45]]
- farfield (f=850) [1[1,45]+2[1,90]+3[1,135]+4[1,-45]+5[1,-90]+6[1,-135]]
- farfield (f=850) [1[1,60]+2[1,0]+3[1,0]+4[1,-60]+5[1,0]+6[1,0]]
- farfield (f=850) [1[1,60]+2[1,0]+3[1,0]+4[1,0]+5[1,0]+6[1,0]]
- farfield (f=850) [1[1,60]+2[1,0]+3[1,0]+4[1,60]+5[1,0]+6[1,0]]
- farfield (f=850) [1[1,60]+2[1,120]+3[1,180]+4[1,240]+5[1,300]+6[1,0]]
- farfield (f=850) [1[1,90]+2[1,180]+3[1,270]+4[1,0]+5[1,90]+6[1,180]]
- farfield (f=850) [1[1,90]+2[1,180]+3[1,270]+4[1,90]+5[1,180]+6[1,270]]
- farfield (f=850) [1[1,90]+2[1,180]+3[1,270]+4[1,270]+5[1,180]+6[1,90]]
- farfield (f=850) [1[1,180]+2[1,180]+3[1,180]+4[1,-180]+5[1,-180]+6[1,-180]]
- farfield (f=850) [1[1,180]+2[1,180]+3[1,180]+4[1,180]+5[1,180]+6[1,180]]

Experimentos para la estructura con 8 antenas monopolo.

Navigation Tree

- Farfields
 - Farfield Cuts
 - farfield (f=850) [1[1,-30]+2[1,30]+3[1,30]+4[1,0]+5[1,-30]+6[1,0]+7[1,-30]+8[1,30]]
 - farfield (f=850) [1[1,-30]+2[1,30]+3[1,30]+4[1,180]+5[1,-30]+6[1,180]+7[1,-30]+8[1,30]]
 - farfield (f=850) [1[1,-30]+2[1,30]+3[1,30]+4[1,300]+5[1,-30]+6[1,300]+7[1,-30]+8[1,30]]
 - farfield (f=850) [1[1,-40]+2[1,40]+3[1,35]+4[1,70]+5[1,105]+6[1,140]+7[1,-40]+8[1,40]]
 - farfield (f=850) [1[1,-40]+2[1,40]+3[1,40]+4[1,0]+5[1,-40]+6[1,0]+7[1,-40]+8[1,40]]
 - farfield (f=850) [1[1,-40]+2[1,40]+3[1,40]+4[1,300]+5[1,-40]+6[1,300]+7[1,-40]+8[1,40]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,45]+4[1,0]+5[1,-45]+6[1,0]+7[1,-45]+8[1,45]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,45]+4[1,90]+5[1,-45]+6[1,90]+7[1,-45]+8[1,45]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,45]+4[1,180]+5[1,-45]+6[1,180]+7[1,-45]+8[1,45]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,45]+4[1,270]+5[1,-45]+6[1,270]+7[1,-45]+8[1,45]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,45]+4[1,300]+5[1,-45]+6[1,300]+7[1,-45]+8[1,45]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,45]+3[1,45]+4[1,320]+5[1,-45]+6[1,320]+7[1,-45]+8[1,45]]
 - farfield (f=850) [1[1,-45]+2[1,90]+3[1,90]+4[1,0]+5[1,-45]+6[1,0]+7[1,-45]+8[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,-50]+2[1,50]+3[1,35]+4[1,70]+5[1,105]+6[1,140]+7[1,-50]+8[1,50]]
 - farfield (f=850) [1[1,-50]+2[1,50]+3[1,50]+4[1,300]+5[1,-50]+6[1,300]+7[1,-50]+8[1,50]]
 - farfield (f=850) [1[1,-60]+2[1,60]+3[1,35]+4[1,70]+5[1,105]+6[1,140]+7[1,-60]+8[1,60]]
 - farfield (f=850) [1[1,-60]+2[1,60]+3[1,60]+4[1,0]+5[1,-60]+6[1,0]+7[1,-60]+8[1,60]]
 - farfield (f=850) [1[1,-70]+2[1,70]+3[1,35]+4[1,70]+5[1,105]+6[1,140]+7[1,-70]+8[1,70]]
 - farfield (f=850) [1[1,-80]+2[1,80]+3[1,35]+4[1,70]+5[1,105]+6[1,140]+7[1,-80]+8[1,80]]
 - farfield (f=850) [1[1,-80]+2[1,80]+3[1,40]+4[1,80]+5[1,120]+6[1,160]+7[1,-80]+8[1,80]]
 - farfield (f=850) [1[1,-90]+2[1,90]+3[1,-90]+4[1,80]+5[1,120]+6[1,160]+7[1,-90]+8[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,-90]+2[1,90]+3[1,-270]+4[1,80]+5[1,120]+6[1,160]+7[1,-90]+8[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,-90]+2[1,90]+3[1,35]+4[1,70]+5[1,105]+6[1,140]+7[1,-90]+8[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,-90]+2[1,90]+3[1,40]+4[1,80]+5[1,120]+6[1,160]+7[1,-60]+8[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,-90]+2[1,90]+3[1,40]+4[1,80]+5[1,120]+6[1,160]+7[1,-80]+8[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,-90]+2[1,90]+3[1,40]+4[1,80]+5[1,120]+6[1,160]+7[1,-90]+8[1,70]]
 - farfield (f=850) [1[1,-90]+2[1,90]+3[1,40]+4[1,80]+5[1,120]+6[1,160]+7[1,-90]+8[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,-90]+2[1,90]+3[1,40]+4[1,80]+5[1,120]+6[1,160]+7[1,-90]+8[1,100]]
 - farfield (f=850) [1[1,-90]+2[1,90]+3[1,45]+4[1,90]+5[1,135]+6[1,180]+7[1,-90]+8[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,-90]+2[1,90]+3[1,50]+4[1,100]+5[1,150]+6[1,200]+7[1,-90]+8[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,-90]+2[1,90]+3[1,90]+4[1,0]+5[1,-90]+6[1,0]+7[1,-90]+8[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,-90]+2[1,90]+3[1,90]+4[1,90]+5[1,-90]+6[1,90]+7[1,-90]+8[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,-90]+2[1,90]+3[1,90]+4[1,180]+5[1,-90]+6[1,180]+7[1,-90]+8[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,-90]+2[1,90]+3[1,90]+4[1,300]+5[1,-90]+6[1,300]+7[1,-90]+8[1,90]]
 - farfield (f=850) [1[1,-100]+2[1,100]+3[1,35]+4[1,70]+5[1,105]+6[1,140]+7[1,-100]+8[1,100]]
 - farfield (f=850) [1[1,-135]+2[1,135]+3[1,35]+4[1,70]+5[1,105]+6[1,140]+7[1,-135]+8[1,135]]
 - farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,0]+3[1,0]+4[1,0]+5[1,0]+6[1,0]+7[1,0]+8[1,0]]

- farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,30]+3[1,60]+4[1,90]+5[1,120]+6[1,150]+7[1,180]+8[1,210]]
- farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,45]+3[1,90]+4[1,135]+5[1,180]+6[1,225]+7[1,270]+8[1,315]]
- farfield (f=850) [1[1,0]+2[1,90]+3[1,180]+4[1,270]+5[1,0]+6[1,90]+7[1,180]+8[1,270]]
- farfield (f=850) [1[1,45]+2[1,-45]+3[1,30]+4[1,60]+5[1,90]+6[1,120]+7[1,-45]+8[1,45]]
- farfield (f=850) [1[1,45]+2[1,-45]+3[1,45]+4[1,90]+5[1,135]+6[1,180]+7[1,-45]+8[1,45]]
- farfield (f=850) [1[1,90]+2[1,-90]+3[1,30]+4[1,60]+5[1,90]+6[1,120]+7[1,90]+8[1,-90]]

Experimentos para la estructura con 12 antenas monopolo.

- Farfields
- Farfield Cuts
- farfield (f=850) [-10,-20,-30,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [-30,-60,-90,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [-45,-90,-130,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [-90,-120,-150,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [-90,-180,-270,45,90,135,180,225,270,-90,-180,-270]
- farfield (f=850) [0,-5,-10,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [0,-10,-20,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [0,-20,-40,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [0,-30,-60,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [0,-45,-90,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [0,0,0,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [0,30,60,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [0,90,-90,0,0,0,0,0,0,90,-90]
- farfield (f=850) [0,90,-90,45,90,135,180,225,270,0,90,-90]
- farfield (f=850) [0,90,180,0,0,0,0,0,0,90,180]
- farfield (f=850) [1[1,0]2[1,0]3[1,0]4[1,0]5[1,0]6[1,0]7[1,0]8[1,0]9[1,0]10[1,0]11[1,0]12[1,0]]
- farfield (f=850) [1[1,0]2[1,0]3[1,0]4[1,45]5[1,90]6[1,135]7[1,180]8[1,225]9[1,0]10[1,0]11[1,0]12[1,0]]

- farfield (f=850) [20,10,0,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [20,40,60,80,100,120,140,160,180,200,220,240]
- farfield (f=850) [30,0,-30,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [30,0,0,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [30,10,-10,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [30,15,0,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [30,20,10,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [30,60,90,0,45,90,135,180,225,30,60,90]
- farfield (f=850) [30,60,90,120,-30,180,210,240,270,30,60,90]
- farfield (f=850) [30,60,90,120,150,180,210,-30,270,0,-60,-90]
- farfield (f=850) [30,60,90,120,150,180,210,-30,270,0,-60,-180]
- farfield (f=850) [30,60,90,120,150,180,210,-30,270,90,-60,-180]
- farfield (f=850) [30,60,90,120,150,180,210,-30,270,180,-60,-90]
- farfield (f=850) [30,60,90,120,150,180,210,-30,270,180,-60,-180]
- farfield (f=850) [30,60,90,120,150,180,210,240,270,-30,-60,-90]
- farfield (f=850) [30,60,90,120,150,180,210,240,270,300,330,360]
- farfield (f=850) [30,60,90,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [45,90,135,0,0,0,0,0,45,90,135]
- farfield (f=850) [50,40,30,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [90,180,270,0,0,0,0,0,90,180,270]
- farfield (f=850) [140,160,180,20,40,60,80,100,120,200,220,240]
- farfield (f=850) [150,-60,30,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [180,-30,30,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [180,-45,0,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [180,-45,45,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
- farfield (f=850) [180,-60,0,210,240,270,300,330,360,120,150,180]

- farfield (f=850) [180,-60,30,210,240,270,-180,330,360,120,150,180]
 - farfield (f=850) [180,-60,30,210,240,270,-300,330,360,120,150,180]
 - farfield (f=850) [180,-60,30,210,240,270,300,330,360,-120,150,180]
 - farfield (f=850) [180,-60,30,210,240,270,300,330,360,-270,120,0]
 - farfield (f=850) [180,-60,30,210,240,270,300,330,360,-270,150,180]
 - farfield (f=850) [180,-60,30,210,240,270,300,330,360,120,150,-30]
 - farfield (f=850) [180,-60,30,210,240,270,300,330,360,120,150,-90]
 - farfield (f=850) [180,-60,30,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
 - farfield (f=850) [180,-60,60,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
 - farfield (f=850) [180,-90,0,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
 - farfield (f=850) [180,-180,0,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
-
- farfield (f=850) [180,0,0,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
 - farfield (f=850) [180,0,30,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
 - farfield (f=850) [180,90,0,210,240,270,300,330,360,120,150,180]
 - farfield (f=850) [210,-60,30,210,240,270,300,330,360,120,150,180]

Experimentos para la estructura con 6 antenas *patch*.

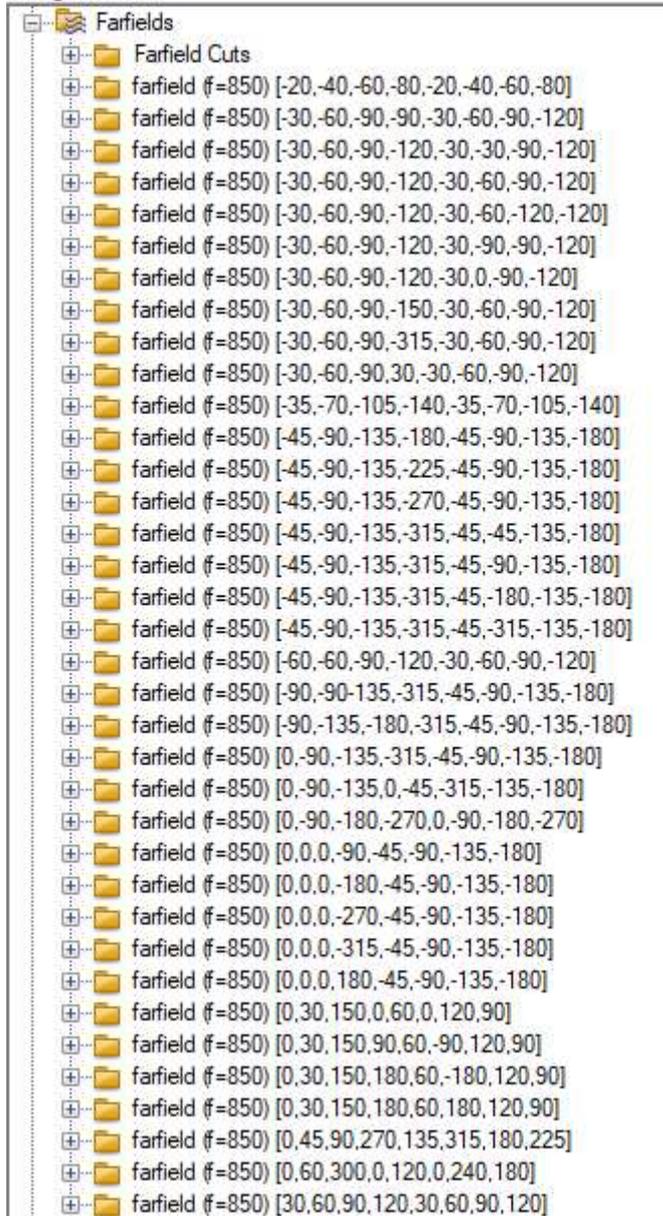
Navigation Tree

- Farfields
 - Farfield Cuts
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-45]+ffs2[1,45]+ffs3[1,120]+ffs4[1,45]+ffs5[1,-45]+ffs6[1,-120]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-45]+ffs2[1,45]+ffs3[1,180]+ffs4[1,45]+ffs5[1,-45]+ffs6[1,-180]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-45]+ffs2[1,45]+ffs3[1,180]+ffs4[1,45]+ffs5[1,-45]+ffs6[1,0]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-60]+ffs2[1,-120]+ffs3[1,60]+ffs4[1,60]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-60]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-60]+ffs2[1,0]+ffs3[1,-60]+ffs4[1,60]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-60]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-60]+ffs2[1,0]+ffs3[1,60]+ffs4[1,0]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-60]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-60]+ffs2[1,0]+ffs3[1,60]+ffs4[1,60]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-60]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-60]+ffs2[1,0]+ffs3[1,60]+ffs4[1,120]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-60]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-60]+ffs2[1,0]+ffs3[1,120]+ffs4[1,60]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-60]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-60]+ffs2[1,60]+ffs3[1,0]+ffs4[1,-60]+ffs5[1,60]+ffs6[1,0]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-60]+ffs2[1,60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,-60]+ffs5[1,60]+ffs6[1,120]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-60]+ffs2[1,60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,60]+ffs5[1,-60]+ffs6[1,-120]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-60]+ffs2[1,60]+ffs3[1,180]+ffs4[1,-60]+ffs5[1,60]+ffs6[1,0]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-90]+ffs2[1,-45]+ffs3[1,90]+ffs4[1,90]+ffs5[1,-45]+ffs6[1,-90]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-90]+ffs2[1,0]+ffs3[1,90]+ffs4[1,90]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-90]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-110]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,90]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-210]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-50]+ffs3[1,120]+ffs4[1,90]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-210]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,90]+ffs4[1,120]+ffs5[1,-60]+ffs6[1,-90]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,-120]+ffs5[1,-60]+ffs6[1,120]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,60]+ffs5[1,-30]+ffs6[1,-180]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,60]+ffs5[1,-60]+ffs6[1,-90]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,60]+ffs5[1,-60]+ffs6[1,-120]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,60]+ffs5[1,-60]+ffs6[1,-150]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,60]+ffs5[1,-60]+ffs6[1,-180]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,60]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-180]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,60]+ffs5[1,30]+ffs6[1,-150]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,60]+ffs5[1,30]+ffs6[1,-180]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,70]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-180]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,70]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-210]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,90]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-180]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,90]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-200]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,90]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-210]]
 - farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,90]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-240]]

farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,120]+ffs5[1,-60]+ffs6[1,-60]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,120]+ffs5[1,-60]+ffs6[1,-90]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,120]+ffs5[1,-60]+ffs6[1,-120]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,120]+ffs5[1,-60]+ffs6[1,-150]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,120]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-210]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,130]+ffs4[1,90]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-210]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,140]+ffs4[1,90]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-210]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,150]+ffs4[1,90]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-210]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,180]+ffs4[1,90]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-210]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-70]+ffs3[1,120]+ffs4[1,90]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-210]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,-90]+ffs3[1,120]+ffs4[1,90]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-210]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,0]+ffs3[1,120]+ffs4[1,120]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-120]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,-120]+ffs2[1,60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,120]+ffs5[1,60]+ffs6[1,-120]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,-130]+ffs2[1,-60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,90]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-210]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,0]+ffs2[1,0]+ffs3[1,0]+ffs4[1,0]+ffs5[1,0]+ffs6[1,0]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,0]+ffs2[1,30]+ffs3[1,60]+ffs4[1,90]+ffs5[1,120]+ffs6[1,150]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,0]+ffs2[1,45]+ffs3[1,90]+ffs4[1,135]+ffs5[1,180]+ffs6[1,225]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,0]+ffs2[1,60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,180]+ffs5[1,-30]+ffs6[1,-150]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,0]+ffs2[1,60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,180]+ffs5[1,-60]+ffs6[1,-120]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,0]+ffs2[1,60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,180]+ffs5[1,-120]+ffs6[1,-60]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,0]+ffs2[1,60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,180]+ffs5[1,0]+ffs6[1,-120]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,0]+ffs2[1,60]+ffs3[1,120]+ffs4[1,180]+ffs5[1,240]+ffs6[1,300]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,0]+ffs2[1,90]+ffs3[1,180]+ffs4[1,0]+ffs5[1,-90]+ffs6[1,-180]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,0]+ffs2[1,90]+ffs3[1,180]+ffs4[1,270]+ffs5[1,0]+ffs6[1,90]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,60]+ffs2[1,120]+ffs3[1,180]+ffs4[1,-60]+ffs5[1,-120]+ffs6[1,-180]]
 farfield (f=850) [ffs1[1,135]+ffs2[1,315]+ffs3[1,0]+ffs4[1,90]+ffs5[1,45]+ffs6[1,180]]

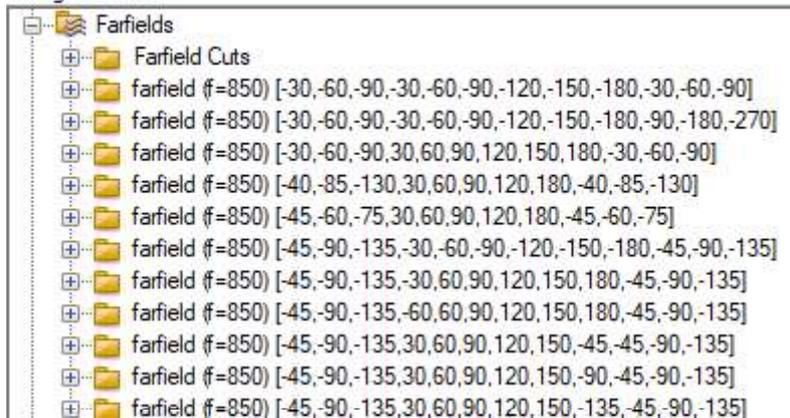
Experimentos para la estructura con 8 antenas *patch*.

Navigation Tree



Experimentos para la estructura con 12 antenas *patch*.

Navigation Tree



- ⊕ farfield (f=850) [-45,-90,-135,30,60,90,120,150,45,-45,-90,-135]
- ⊕ farfield (f=850) [-45,-90,-135,30,60,90,120,150,90,-45,-90,-135]
- ⊕ farfield (f=850) [-45,-90,-135,30,60,90,120,150,135,-45,-90,-135]
- ⊕ farfield (f=850) [-45,-90,-135,30,60,90,120,150,180,-45,-90,-135]
- ⊕ farfield (f=850) [-45,-90,-135,30,60,90,120,150,180,45,90,135]
- ⊕ farfield (f=850) [-45,-90,-135,30,60,90,120,150,225,-45,-90,-135]
- ⊕ farfield (f=850) [-45,-90,-135,45,90,135,180,225,270,-45,-90,-135]
- ⊕ farfield (f=850) [-45,-95,-140,30,60,90,120,180,-45,-95,-140]
- ⊕ farfield (f=850) [-45,0,45,30,60,90,120,-150,-180,-45,0,45]
- ⊕ farfield (f=850) [-45,0,45,30,60,90,120,150,180,-45,0,45]
- ⊕ farfield (f=850) [-50,-80,-110,30,60,90,120,180,-50,-80,-110]
- ⊕ farfield (f=850) [-50,-100,-150,30,60,90,120,150,180,-50,-100,-150]
- ⊕ farfield (f=850) [-60,-90,-120,30,60,90,120,180,-60,-90,-120]
- ⊕ farfield (f=850) [-60,-120,-180,30,60,90,120,150,-90,-60,-120,-180]
- ⊕ farfield (f=850) [-60,-120,-180,30,60,90,120,150,180,-60,-120,-180]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-60,-30,30,60,90,120,180,-90,-60,-30]
- ⊕ farfield (f=850) [-90,-180,-270,30,60,90,120,150,-90,-90,-180,-270]
- ⊕ farfield (f=850) [0,-45,-90,30,60,90,120,150,180,0,-45,-90]
- ⊕ farfield (f=850) [0,-60,-120,30,60,90,120,150,180,0,-60,-120]
- ⊕ farfield (f=850) [0,-90,-180,30,60,90,120,150,180,0,-90,-180]
- ⊕ farfield (f=850) [0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0]
- ⊕ farfield (f=850) [0,0,0,30,60,90,120,180,0,0,0]
- ⊕ farfield (f=850) [0,30,60,90,120,150,180,210,240,270,300,330]
- ⊕ farfield (f=850) [0,45,90,135,180,225,270,315,0,45,90,135]
- ⊕ farfield (f=850) [0,60,120,180,240,300,0,60,120,180,240,300]
- ⊕ farfield (f=850) [0,90,180,270,0,90,180,270,0,90,180,270]
- ⊕ farfield (f=850) [30,60,90,-30,-60,-90,-120,-150,-180,-45,-90,-135]
- ⊕ farfield (f=850) [30,60,90,-30,-60,-90,-120,-150,-180,30,60,90]
- ⊕ farfield (f=850) [30,60,90,120,150,180,210,240,270,300,330,360]
- ⊕ farfield (f=850) [45,90,135,-30,-60,-90,-120,-150,-180,-30,-60,-90]
- ⊕ farfield (f=850) [45,90,135,-30,-60,-90,-120,-150,-180,-45,-90,-135]
- ⊕ farfield (f=850) [45,90,135,-30,-60,-90,-120,-150,-180,-50,-100,-150]
- ⊕ farfield (f=850) [45,90,135,-30,-60,-90,-120,-150,-180,-55,-110,-165]
- ⊕ farfield (f=850) [45,90,135,-30,-60,-90,-120,-150,-180,-60,-120,-180]
- ⊕ farfield (f=850) [45,90,135,-30,-60,-90,-120,-150,-180,-70,-140,-210]
- ⊕ farfield (f=850) [45,90,135,-30,-60,-90,-120,-150,-180,-90,-180,-270]
- ⊕ farfield (f=850) [45,90,135,-30,-60,-90,-120,-150,-180,45,90,135]
- ⊕ farfield (f=850) [45,90,135,30,60,90,120,150,180,-45,-90,-135]

- ⊕ farfield (f=850) [60,120,180,-20,-40,-60,-80,-100,-120,-90,-180,-270]
- ⊕ farfield (f=850) [60,120,180,-30,-60,-90,-120,-150,-180,-90,-180,-270]
- ⊕ farfield (f=850) [60,120,180,-30,-60,-90,-120,-150,-180,60,120,180]
- ⊕ farfield (f=850) [60,120,180,-40,-80,-120,-160,-200,-240,-90,-180,-270]
- ⊕ farfield (f=850) [70,140,210,-30,-60,-90,-120,-150,-180,-90,-180,-270]
- ⊕ farfield (f=850) [70,140,210,-40,-80,-120,-160,-200,-240,-90,-180,-270]
- ⊕ farfield (f=850) [90,180,270,-20,-40,-60,-80,-100,-120,-90,-180,-270]
- ⊕ farfield (f=850) [90,180,270,-30,-60,-90,-120,-150,-180,-70,-140,-220]
- ⊕ farfield (f=850) [90,180,270,-30,-60,-90,-120,-150,-180,-90,-180,-270]
- ⊕ farfield (f=850) [90,180,270,-30,-60,-90,-120,-150,-180,-100,-200,-300]
- ⊕ farfield (f=850) [90,180,270,-40,-80,-120,-160,-200,-240,-90,-180,-270]
- ⊕ farfield (f=850) [90,180,270,-45,-90,-135,-180,-225,-270,-90,-180,-270]
- ⊕ farfield (f=850) [90,180,270,0,0,0,0,0,0,-90,-180,-270]
- ⊕ farfield (f=850) [100,200,300,-30,-60,-90,-120,-150,-180,-90,-180,-270]
- ⊕ farfield (f=850) [100,200,300,-30,-60,-90,-120,-150,-180,-100,-200,-300]
- ⊕ farfield (f=850) [120,240,0,-20,-40,-60,-80,-100,-120,-90,-180,-270]
- ⊕ farfield (f=850) [120,240,0,-20,-40,-60,-80,-100,-120,-120,-240,0]

ORDEN DE EMPASTADO