

**ARREGLO LINEAL DE PARCHE RECTANGULAR PARA UNA ANTENA
MICROSTRIP**

**YULI ANDREA ÁLVAREZ PIZARRO
ADRIANA MARÍA MURILLO NIÑO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA-SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA**

2012

**ARREGLO LINEAL DE PARCHE RECTANGULAR PARA UNA ANTENA
MICROSTRIP**

YULI ANDREA ÁLVAREZ PIZARRO

ADRIANA MARIA MURILLO NIÑO

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título
de**

Ingeniero Electrónico.

Director

FABIO ALONSO GUZMÁN SERNA

Ingeniero Electrónico

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA-SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

BUCARAMANGA

SEPTIEMBRE DEL 2012

Nota de aceptación

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, septiembre del 2012

Quiero Agradecerle a Dios y a mi virgencita. Siempre me han llevado de la mano y han hecho de mí la persona que soy hoy.

A Gilberto Álvarez Rodríguez, el **AMOR DE MI VIDA**. Mi padre que me invita a soñar todos los días y me demuestra que es el mejor papa del mundo. Gracias por hacer esto realidad, Te amo.

Dedico este proyecto a Rosa María Pizarro Ramírez, mi mejor amiga en el mundo, mi mami. Gracias por desvelarte conmigo, por madrugar conmigo, por estresarte conmigo, por ser mi motor y el pilar de mi familia. Eres lo **MAXIMO**, te amo con todo mi corazón y este logro es todo tuyo.

A mi hermano Juan Gilberto Álvarez Pizarro. Te Amo mucho, eres mi médico favorito en el mundo y espero que esto te impulse a lograr todos tus sueños. **Eres grande como el mar.**

A Samy, Vancho, Remy y Chiqui... mis bebes hermosos.

A Fabio Guzmán Serna. Profe... no tengo palabras para agradecer todo lo que me colaboro en este proyecto. Su **APOYO** en todo momento, sus conocimientos y enseñanzas me han formado como una gran ingeniera.

A Carlos Alberto Grimaldos Trillos, mi amigo incondicional. Gracias baby por tu apoyo a lo largo de la carrera, como siempre te lo he dicho... no sé qué hubiera hecho sin ti.

A mis amigos, con su apoyo, comprensión y cariño hoy soy una Ingeniera Electrónica.

Yuli Andrea Álvarez Pizarro

Es mi deseo como sencillo gesto de agradecimiento, dedicar el presente proyecto de grado, en primera instancia a Dios, por el simple hecho de concederme el maravilloso regalo de la vida y siempre darme la mano, porque cuando las fuerzas faltaron, él siempre estuvo a mi lado; porque todo es posible en él que me bendice y me fortalece.

A mis padres, Lilia Inés Niño y José Murillo, quiénes permanentemente me apoyaron con espíritu alentador, contribuyendo incondicionalmente a lograr las metas y objetivos propuestos; pero principalmente a mi madre, quien es y será siempre el pilar fundamental en mi formación y educación, porque además de mi madre, es mi amiga, y mi fuerza incondicional.

A los docentes que me han acompañado durante todo este proceso de aprendizaje, brindándome siempre su orientación en la adquisición de conocimientos y afianzando mi formación como estudiante universitaria.

Dedico este trabajo de igual manera a Fabio Alonso Guzmán Serna, quien me ha orientado en todo momento, siendo su participación activa una ayuda invaluable en el desarrollo de este proyecto que enmarca el último escalón hacia un futuro.

A mis familiares y amigos, que de una u otra forma, siempre estuvieron presentes con su apoyo, colaboración y con una mano amiga siempre dispuesta, en especial a Hermes Alberto Archila, por recordarme que los sueños no son solo sueños y que no hay barrera grande para un corazón con propósito.

Adriana María Murillo Niño

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Dios en primer lugar, por concedernos el regalo más grande y valioso: el de la existencia, por bendecirnos inmensamente cada día y por permitirnos llegar al final de este primer escalón de toda una vida profesional.

A Fabio Alonso Guzmán Serna, porque además de ser nuestro director y el apoyo fundamental de este proyecto, es nuestro consejero y amigo, siendo sus conocimientos y energía la inspiración para alcanzar esta importante meta.

A la Universidad Pontificia Bolivariana, por permitir nuestra formación como profesionales, como personas y como ciudadanas, contando siempre con la mejor formación integral.

A todas las personas que hicieron posible la realización de este proyecto, a todas y todos quienes de una u otra forma han colocado un granito de arena para que este logro tenga sentido.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
I. OBJETIVOS	19
1.1 Objetivo General	19
1.2 Objetivos Específicos.....	19
II. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 INTRODUCCIÓN	20
2.2 ANTENAS MICROSTRIP	20
2.2.1 RESEÑA HISTÓRICA	20
2.3 Método de los Momentos.....	30
III. MODELADO DE LA CORRIENTE DEL PARCHE MICROSTRIP UTILIZANDO EL MÉTODO DE LOS MOMENTOS	33
3.1 Mathematica 8	33
3.1.1 Función Sinc.....	40
IV. DESARROLLO DEL MODELO MATEMATICO PARA EL PATRÓN DE RADIACIÓN	43
4.1 Tipos de parches	43
4.2 Método de diseño	44
V. ARREGLO LINEAL DE PARCHE RECTANGULAR PARA UNA ANTENA MICROSTRIP	50
5.1 Factor de Arreglo	50
5.1.1 Arreglos lineales	50
5.1.2 Alimentación por linea microstrip.....	59
5.2 Dimensiones de la Antena	53
VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS	58
6.1 Análisis del Patrón de Radiación en los Arreglos lineales	58
6.1.1. Antena Microstrip de Arreglo Lineal Diseño No1.	58
VII. INTERFAZ GRÁFICA EN EL SOFTWARE MATHEMATICA 8	86

7.1 INTRODUCCIÓN	86
7.2 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE.....	86
7.3 DESARROLLO DE LA INTERFAZ	98
7.3.1 REPRESENTACIÓN GRÁFICA.....	98
7.3.2 COMANDOS BÁSICOS UTILIZADOS.....	103
7.3.3 PROGRAMACIÓN DE LA INTERFAZ	103
OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES	129
BIBLIOGRAFIA	134

GLOSARIO

Permeabilidad: Enfocado en la física es también denominado permeabilidad magnética, siendo esta la capacidad de una sustancia o medio para atraer y hacer pasar a través de sí los campos magnéticos, la cual está dada por la relación entre la intensidad de campo magnético existente y la inducción magnética que aparece en el interior de dicho material.

Permitividad: También llamada constante dieléctrica absoluta. Es una constante física que describe cómo un campo eléctrico afecta y es afectado por un medio. También llamado Permitividad eléctrica (ϵ). Está muy relacionada con la susceptibilidad eléctrica.

Microstrip: es un tipo de línea de transmisión eléctrica que pueden ser fabricados utilizando placa de circuito impreso, y se utiliza para transmitir señales de microondas.

Dieléctrico: Es un aislante, capaz de mantener un campo eléctrico en estado de equilibrio, sin que pase corriente eléctrica por él. Por lo que en algunos casos es utilizado como aislante eléctrico. Tiene una característica importante, que es el poder establecer en él un campo eléctrico interno si es sometido a un campo eléctrico externo.

Longitud de onda: Es el período espacial de una onda, es decir, la distancia que hay de punto a punto. La longitud de onda describe cuán larga es la onda.

Eficiencia: medida de la pérdida de potencia en una antena.

Resistencia de radiación: La resistencia de radiación es una resistencia de la antena en c.a y es igual a la relación de la potencia radiada por la antena al cuadrado de la corriente en su punto de alimentación.

Ganancia: indica la cantidad de señal captada que se concentra en el alimentador.

Impedancia de una antena: Se puede definir la impedancia de entrada mediante la relación tensión-corriente en ese punto de entrada donde el transmisor produce corrientes y campos. Esta impedancia poseerá una parte real $Re(w)$ y una parte imaginaria $Ri(w)$, dependientes de la frecuencia. La parte real se denomina resistencia de antena y la parte imaginaria, reactancia de antena.

Patrón de radiación: Es un diagrama polar que representa las intensidades de los campos o las densidades de potencia en varias posiciones angulares en relación con una antena.

MPA: Microstrip Patch Antenna.

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Excitación en el cable de una Antena Microstrip Circular	28
Figura 2. Geometría de una Antena Microstrip de Parche Triangular	29
Figura 3. Distribución de la corriente en el largo del parche rectangular usando el Método de los Momentos con una función sinusoidal.	32
Figura 4. Valor de la Corriente en forma de Pirámide en Mathematica 8	37
Figura 5. Corriente Modelada con el Método de los Momentos formando una Pirámide	38
Figura 6. Función Sinc simétrica empleando el Método de los Momentos	40
Figura 7. Corriente en el parche. Dirección teta	41
Figura 8. Corriente en el parche. Dirección ϕ	42
Figura 9. Antena Microstrip de parche Rectangular	43
Figura 10. Tipos de Parche de Antenas Microstrip.	43
Figura 11. Campo Eléctrico	46
Figura 12. Patrón de Radiación de una Antena Microstrip de un parche. Coordenadas Polares	47
Figura 13. Simulación Patrón de Radiación	47
Figura 14. Campo lejano. Geometría y Diagrama de fasores de N-elementos de la matriz de fuentes isotrópicas colocados a lo largo del eje z.	51
Figura 15. Antena Microstrip con Parche Rectangular.	53
Figura 16. Antena Microstrip No.1. Arreglo Lineal con Alimentación en Paralelo	54
Figura 17. Antena Microstrip No.2. Arreglo Lineal con Alimentación en Paralelo	54
Figura 18. Antena Microstrip No.3. Arreglo lineal con Alimentación en Paralelo	55
Figura 19. Patrón de Radiación para un arreglo lineal de parches rectangulares	55
Figura 20. Simulación Patrón de Radiación para un Arreglo Lineal en Mathematica 8	56
Figura 21. Patrón de Radiación para un arreglo de diez parches. Simulador de Mathematica 8	56
Figura 22. Patrón de Radiación. Coordenadas Polares	57
Figura 23. Antena No.1	58
Figura 24. Patrón de Radiación Antena No1.	59
Figura 25. Campo Eléctrico y Magnético en coordenadas cartesianas. Antena No1.	60
Figura 26. Patrón de Radiación en 3D. Antena No1.	60
Figura 27. Grafica Patrón de Radiación del campo medido con el LVDAM-ANTy la simulación de Mathematica 8 con su respectivo Error Antena No1.	63
Figura 28. Error Antena 1	64

Figura 29. Patrón de Radiación Simulación de Mathematica 8. Lóbulo Principal más directivo.	64
Figura 30. Grafica Patrón de Radiación del campo medido con el Lab-Volt y la simulación de Mathematica 8 corregido. Antena No1.	67
Figura 31. Error corregido Antena No1.	67
Figura 32. Antena No2.	68
Figura 33. Patrón de Radiación Ante Microstrip No2.	69
Figura 34. Patrón de Radiación 3D Antena No2.	70
Figura 35. Patrón de Radiación. Coordenadas Cartesianas Antena No2.	70
Figura 36. Grafica Patrón de Radiación del campo medido con el LVDAM-ANTy la simulación de Mathematica 8 corregido. Antena No2.	73
Figura 37. Error Antena No2.	73
Figura 38. Antena Microstrip Diseño No.3.	74
Figura 39. Patrón de Radiación Antena Microstrip Diseño No.3	75
Figura 40. Patrón de radiación 3D Antena Microstrip Diseño No. 3	76
Figura 41. Patrón De Radiación coordenadas cartesianas Diseño No 3.	76
Figura 42. Grafica Patrón de Radiación del campo medido con el LVDAM-ANT y la simulación de Mathematica 8. Antena No3.	79
Figura 43. Error Antena No.3	79
Figura 44. Antena Microstrip diseño No 4.	80
Figura 45. Patrón de Radiación Antena Microstrip Diseño No.3	81
Figura 46. Gráfica del Error y Patrón de Radiación del campo medido con el LVDAM-ANT y la simulación de Mathematica 8. Antena No3.	83
Figura 47. Notebook en Mathematica 8	88
Figura 48. Toolbox en Mathematica 8	91
Figura 49. Celdas empleadas en Mathematica 8	92
Figura 50. Help en Mathematica 8	94
Figura 51. Operaciones en Mathematica 8	95
Figura 52. Funciones en Mathematica 8	95
Figura 53. Comandos en Mathematica 8	96
Figura 54. Vectores y Matrices en Mathematica 8	96
Figura 55. Limites en Mathematica 8	97
Figura 56. Derivadas en Mathematica 8	97
Figura 57. Integrales en Mathematica 8	97
Figura 58. Ejemplo No 1 en Mathematica 8	98
Figura 59 Lista de datos por Mathematica 8	99
Figura 60. Visualización de los datos en Mathematica 8	100
Figura 61. Modificación de Graficas en Mathematica 8	101
Figura 62. Corriente aplicando el método de los momentos (MoM)	102

Figura 63. Modelado de la Corriente con el método de los momentos	102
Figura 64. Generación de vectores en Mathematica 8	103
Figura 65. Diseño de la Interfaz en Mathematica 8	104
Figura 66. Código en Mathematica 8	105
Figura 67. Código en Mathematica 8 para la interfaz grafica	106
Figura 68. Pestaña de ecuaciones en Mathematica 8	106
Figura 69. Código para el patrón de radiación del campo eléctrico en theta	108
Figura 70. Campo eléctrico en theta	108
Figura 71. Código empleado en Mathematica 8 para calcular el campo eléctrico en θ	109
Figura 72. Campo eléctrico en θ	110
Figura 73. Código en Mathematica 8. Patrón de radiación Método de los Momentos (MoM)	111
Figura 74. Pestañas del Campo Eléctrico en Theta	111
Figura 75. Código empleado en Mathematica 8 para el patrón de radiación para el arreglo microstrip	112
Figura 76. Patrón de Radiación en θ . Mathematica 8	113
Figura 77. Código empleado para hallar el Patrón de Radiación en coordenadas polares	114
Figura 78. Patrón de Radiación en coordenadas polares	114
Figura 79. Código empleado en la pestaña Extras en Mathematica 8	115
Figura 80. Pestaña de Extras en Mathematica 8	117
Figura 81. Código empleado en la pestaña de características básicas de la Interfaz en Mathematica 8	117
Figura 82. Pestaña de Características básicas en la interfaz de Mathematica 8	118
Figura 83. Código empleado en la pestaña del Factor de Arreglo en la interfaz en Mathematica 8	119
Figura 84. Código empleado para el Factor de Arreglo en Mathematica 8	120
Figura 85. Pestaña de Ecuaciones del Factor de arreglo en Mathematica 8	120
Figura 86. Código empleado en el Factor de arreglo	121
Figura 87. Pestaña del FA en Mathematica 8	121
Figura 88. Pestaña del Factor de Arreglo	122
Figura 89 Pestaña de Ecuaciones del FA en Mathematica 8	123
Figura 90. Creación de la Interfaz en Mathematica 8	124
Figura 91. Interfaz de usuario en Mathematica 8	125
Figura 92. Código empleado en la Interfaz de Usuario Final en Mathematica 8	125
Figura 93. Interfaz Final en Mathematica 8	126

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Largo del Parche	34
Tabla 2. Ancho del Parche	35
Tabla 3. Valor de la función triangular para el largo de la Antena Microstrip.	36
Tabla 4. Valor de la función triangular para el ancho de la Antena Microstrip.	36
Tabla 5. Datos Tomados con el LVDAM-ANTVS el Patrón Simulado en Mathematica 8 y su respectivo Error. Antena No1.	61
Tabla 6. Datos Simulados y Datos medidos por el LVDAM-ANT. Corrección en el Patrón de Radiación Antena No.1	65
Tabla 7. Datos Simulados y Datos medidos por el LVDAM-ANT. Corrección en el Patrón de Radiación Antena No.2.	71
Tabla 8. Datos Simulados y Datos medidos por el LVDAM-ANT. Corrección en el Patrón de Radiación Antena No.3	77
Tabla 9. Datos Simulados y Datos medidos por el LVDAM-ANT. Patrón de Radiación Antena No.4.	81

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Método de los momentos para un hilo conductor	130
--	-----

RESUMEN GENERAL

TÍTULO: ARREGLO LINEAL DE PARCHE RECTANGULAR
PARA UNA ANTENA MICROSTRIP

AUTORES: YULI ANDREA ÁLVAREZ PIZARRO
ADRIANA MARÍA MURILLO NIÑO

FACULTAD: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR: Esp. FABIO ALONSO GUZMAN SERNA

RESUMEN

El presente proyecto de grado está basado en el diseño, la construcción y el posterior análisis del patrón de radiación de un arreglo lineal de parche rectangular para una antena microstrip. Los cálculos pertinentes para el desarrollo del proyecto, se realizan con la ayuda de Mathematica 8 y luego de la construcción de un prototipo de antena, se realizan las pruebas mediante el módulo LVDAM-ANT desarrollado por LAB-VOLT y adquirido por la universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga. Al término, se contrastaron los resultados experimentales, con los obtenidos teóricamente.

PALABRAS CLAVES: Microstrip, Mathematica 8, Lab-Volt.

GENERAL ABSTRACT

TITLE: ARREGLO LINEAL DE PARCHE RECTANGULAR
PARA UNA ANTENA MICROSTRIP

AUTHOR: YULI ANDREA ÁLVAREZ PIZARRO
ADRIANA MARÍA MURILLO NIÑO

FACULTY: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR: Esp. FABIO ALONSO GUZMAN SERNA

ABSTRACT

This draft grade is based on the design, construction and analysis of the radiation pattern of a linear array of rectangular patch microstrip antenna. The required calculations to the project, conducted with the help of Mathematica 8 and after the construction of a prototype antenna, tests are performed by LVDAM-ANT module developed by Lab-Volt and acquired by the Pontificia Bolivariana Bucaramanga University. Finally, the experimental results were compared with those theoretically obtained.

KEYWORDS: Microstrip, Mathematica 8, Lab-Volt.

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos atrás, las antenas han sido imprescindibles en las telecomunicaciones. Su gama de aplicaciones se ha ido expandiendo con los años y su fin de miniaturización ha hecho de éstas un importante e interesante punto de demanda en la comercialización y posterior implementación en gran variedad de instrumentos electrónicos. Teniendo en cuenta su alto desempeño, bajo costo, facilidad de fabricación e instalación, tamaño y peso aptos, las antenas se han convertido en componente fundamental de todos los sistemas de radiocomunicaciones.

Teniendo en cuenta la gran versatilidad y variedad de las antenas, el presente proyecto se centró en un arreglo lineal de parche rectangular para una antena microstrip. La cual fue modelada aplicando el método de los momentos en Mathematica 8. El manual de la interfaz gráfica se puede observar en el Capítulo VII. La corriente en el parche se encuentra descrita en el Capítulo III.

Mediante el Módulo LVDAM-ANT desarrollado por LAB-VOLT y adquirido para el laboratorio de la Universidad Pontificia Bolivariana, se obtienen los datos reales de la visualización del patrón de radiación de la antena y posteriormente se hace su respectiva comparación con los datos teóricos obtenidos con la ayuda de Mathematica 8. El análisis de resultados y el error que se genera de la comparación de las antenas vs el simulador no supera el 5% y está consignado en el Capítulo VI.

En el Capítulo IV se muestra el modelo matemático desarrollado en el presente proyecto para simular el patrón de radiación de uno o varios parches y en el Capítulo V se muestra el FA (Factor de Arreglo) utilizado e implementado en las antenas construidas.

I. OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

- Construir una antena microstrip con arreglo lineal de parches rectangulares.

1.2 Objetivos Específicos

- Escoger los métodos para el modelado matemático de los parámetros de la antena.
- Realizar la construcción de la antena basándose en los resultados obtenidos al haber cumplido el primer objetivo.
- Hacer las pruebas necesarias para contrastar los resultados experimentales con los teóricos.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

Una antena es un elemento conductor metálico diseñado con la finalidad de emitir o recibir ondas electromagnéticas hacia o desde el espacio libre. El método de los momentos es uno de los más usados en la actualidad para determinar los campos emitidos o recibidos por estructuras radiantes; se utiliza para analizar antenas microstrip de forma rectangular y no rectangular. Las corrientes superficiales se utilizan para modelar el parche microstrip y el volumen de polarización de las corrientes por el bloque dieléctrico. El método requiere el cálculo preciso de la matriz de impedancia, siendo capaz de predecir con exactitud las corrientes, impedancia, y la frecuencia de resonancia de la antena.

2.2 ANTENAS MICROSTRIP

Las antenas microstrip también llamadas antenas tipo parche, son un revolucionario descubrimiento de las comunicaciones y por tanto, un componente fundamental de todos los sistemas de radiocomunicaciones. El estándar IEEE (IEEEstd 145-1983) define la antena como “un medio para irradiar o recibir ondas de radio”.

Los primeros diseños forman parte de los años 50, y se empiezan a utilizar en sistemas a partir de los años 70. Las características de las antenas dependen de la relación entre sus dimensiones y la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia transmitida o recibida, y su estructura consiste en un parche metálico (dimensiones comparables a la longitud de onda λ), sobre un sustrato dieléctrico que no posee pérdidas. El grosor oscila entre 0.003λ y 0.05λ dependiendo del fin al cual esté destinada. La constante dieléctrica (ϵ_r) puede tomar valores típicos entre 2 y 12 y en la parte inferior de la estructura se tiene un plano conductor perfecto.

2.2.1 RESEÑA HISTÓRICA

Hace años se han venido realizando diversas investigaciones concernientes a este tipo de antenas, muy aplicables y adaptables a diferentes sistemas. Algunos trabajos plasmados recrean su diseño, aplicaciones, ventajas, métodos de solución, características, entre otras, como los presentados a continuación, dónde puede verse a su vez, la evolución de estas a través de los años.

1981: Se presenta el trabajo “Análisis de una antena microstrip usando el método de los momentos”, por Edward H. Newman y PravitTulyathan. En esta sección, como su título lo indica, se presenta la solución del método de los momentos para antenas microstrip. En primer lugar, es analizada la microcinta aire-dieléctrico y, a continuación una modificación teniendo en cuenta el bloque dieléctrico.

Se evidencia, que para poder apreciar la solución de éste método (MoM), es de gran utilidad contrastarlo con otras técnicas de análisis de microstrip. Enumerándose a continuación: los modelos de la línea de transmisión, las soluciones modales, y si hay un bloque dieléctrico presente, las corrientes de volumen equivalente de polarización en la región ocupada por el parche([3] EDWARD H. NEWMAN, 1981).

1982: En este año se publica un documento llamado “Input Impedance and Mutual Coupling of Rectangular Microstrip Antennas” (impedancia de entrada y enganche mutuo de Antenas microstrip rectangulares), por David M. Pozar.

Es presentada la solución del método de los momentos con el problema de la impedancia de entrada y el enganche mutuo de elementos de una antena microstrip rectangular. La formulación usa la función de Green para considerar rigurosamente el material sólido conectado con una tierra dieléctrica, para la presencia del sustrato y las ondas superficiales. Son utilizados tanto la base entera (EB) como los modos de expansión sinusoidal piecewise (PWS), mostrando así, sus ventajas. Los cálculos de impedancia de entrada y el enganche mutuo son comparados con datos moderados y otros cálculos. El método presente puede manejar el borde (microstrip) o el tipo de alimentación coaxial, y puede ser generalizado para tratar los elementos de la antena de forma arbitraria.

El empleo creciente de tecnología de las antenas microstrip requiere métodos de análisis capaces de predecir con exactitud la impedancia de entrada, el enganche mutuo, y la radiación de estas antenas. Dos métodos que han sido algo acertados para calcular la impedancia de entrada y la radiación son el modelo de línea de transmisión, y el modelo de cavidad. Aunque han resultado ser de gran utilidad para predecir la impedancia de entrada, los dos métodos nombrados, rigurosamente no representan la presencia de ondas superficiales sobre el sustrato de la antena, y no representan el enganche mutuo entre elementos de la antena. Careciendo así de un modo conveniente de solución de exactitud.

La Sección II describe la teoría del método. Es desarrollada la función de Green y valorada su eficiente evaluación, además son dadas las definiciones de los modos de extensión y los elementos de la matriz de impedancia. La sección III del documento presenta resultados numéricos para la impedancia de entrada y el enganche mutuo para varias geometrías de antenas. Estos resultados son comparados con algunas medidas y con otras soluciones. También es presentado un diseño de una curva de datos para la resistencia resonante de un elemento

rectangular con el ancho y la alimentación variables([3] EDWARD H. NEWMAN, 1981).

1988: Se presenta el trabajo “Analysis of slot loaded microstrip antenna using moment method” (análisis de carga de ranura microstrip usando el método de los momentos). En este estudio, se analiza el comportamiento de las antenas microstrip reactivamente cargadas.

El objetivo principal ha sido diseñar la antena ofreciendo diversidad de polarización y de frecuencia. Una antena microstrip cargada, una ranura delgada, o las líneas microstrip pueden ser manejadas en el modo de cinta dual. En esta publicación se plantea la solución del método de los momentos para analizar el problema de la antena microstrip cargada de una ranura delgada e inclinada([4] NASA. , 1988).

2005: Este trabajo lleva el nombre de “Design of microstrip antenna for wireless Communication at 2.4 ghz.” (Diseño de antena microstrip para comunicación inalámbrica de 2.4Ghz), desarrollado por: A.B. Mutiara, R.Refianti, Rachmansyah; dónde presenta una antena microstrip tipo parche de banda ancha para la comunicación inalámbrica. En su forma más básica, una antena parche microstrip consiste en un pedazo radiante sobre un lado de un sustrato dieléctrico que tiene un plano de tierra del otro lado. El pedazo generalmente es hecho de material conductor como el cobre o el oro y puede tomar cualquier forma posible. Un pedazo rectangular es usado como el radiador principal. Hay varias ventajas de este tipo de antena: Dimensiones del plano pequeñas, estructura simple, bajo costo y fácil fabricación, por esta razón es muy atractiva para usos prácticos.

Esta antena microstrip tipo parche rectangular es diseñada para el uso de comunicación inalámbrico que trabaja en 2.4 GHZ([13] A.B. MUTIARA, 2005).

2005: En este año se propone un documento que incluye temas sobre el “Analytical calculation of input impedance of rectangular microstrip patch antennas on finite ground planes” (cálculo analítico de una impedancia de entrada para una antena microstrip de parche rectangular en planos de tierra finitos).

Un algoritmo heurístico analíticamente-basado, es propuesto en este trabajo por D. Chatterjee and E. Chettiar, que calcula la impedancia de entrada para el modelo canónico de una antena microstrip rectangular alimentada por sonda, sobre un plano de tierra finito rectangular. La fórmula del modelo de cavidad para la impedancia de entrada de una antena microstrip alimentada por sonda sobre un plano de tierra infinito es modificada incorporando el sustrato y el truncamiento del plano de tierra en términos del factor de calidad de la onda superficial correspondiente, Q_{sw}^{finite} . Al obtener las deducciones de esta técnica heurística, se advierte que estos resultados informan que sea de gran importancia un algoritmo rápido para el diseño de parches microstrip de banda ancha sobre planos finitos,

que más adelante pueden ser optimizados para comprender las características de banda ancha sobre planos finitos.

El objetivo de este documento es investigar los efectos de los truncamientos de plano de tierra sobre las frecuencias resonantes de un pedazo del parche. El conocimiento cuantitativo de este efecto podría permitir las inclusiones del tamaño del plano de tierra en los cálculos de diseño iniciales([5] D. Chatterjee, 2005).

2006: En este año se publica el documento “Parametric Study of the Rectangular Microstrip Antenna using Cavity Model” (Estudio Paramétrico de la Antena de Microtira Rectangular que usa Modelo de Cavidad) por el Prof. Dr. Jamal W. Salman, Prof. Dr. Mudhaffer M. Ameen, Star O. Hassan.

El trabajo está basado en un modelo de cavidad para el diseño asistido por el computador, el cual es presentado y desarrollado para estudiar la antena microstrip rectangular. El parche es descrito mediante parámetros geométricos y eléctricos. La frecuencia resonante, la resistencia resonante, la amplitud de banda, la eficacia y otros parámetros eléctricos de RMSA (Rectangular Microstrip Antenna) han sido presentados como una función para variar la dimensión del parche y los parámetros del sustrato.

La exactitud y la utilidad del método son investigadas a través de una comparación con los resultados experimentales así como con otros métodos teóricos.

El objetivo de este trabajo es usar el modelo de cavidad para estudiar las antenas microstrip rectangulares que funcionan en la gama (de 3GHz) excitadas alimentación coaxial. Por esta razón es presentado un programa escrito en Fortran-77, que está basado en el modelo de cavidad y desarrollado por primera vez antes de este trabajo. Además, este programa también ha sido modificado para investigar el efecto de varios parámetros sobre el funcionamiento de antenas microstrip rectangulares que funcionan en la gama (de 3GHz)([14] Jamal W. Salman, 2006).

2008: En esta oportunidad, se presenta el “Diseño de un prototipo de antena Sectorial para telefonía móvil, que opere En la banda de 800 mhz”, por José A lacutone P. Aquí se plantea, como su nombre hace alusión, el diseño de un prototipo de Antena Sectorial para telefonía móvil basado en tecnología planar, que opere en la banda de 800 MHz.

Para llevar a cabo este proyecto, fueron estudiados diferentes métodos matemáticos para el diseño de antenas planas, con el propósito de seleccionar el que más se adaptara al diseño y permitiera a su vez evaluar los software de simulación.

Para determinar los valores preliminares de la estructura fue escogido el modelo de cavidad; y mediante simulación se ajustaron las dimensiones de la alimentación, a fin de obtener las características eléctricas requeridas que aseguraran la compatibilidad con las operadoras de telefonía móvil del país. Se realizaron pruebas para la alimentación, concluyendo la utilización de sondas en forma de L ya que se encontraron en estas, mejores características en cuanto a rigidez mecánica, punto de alimentación y acoplamiento de impedancia. Obteniendo como prototipo final, un arreglo de cuatro radiadores rectangulares de media longitud de onda, alimentados por el tipo de sonda expuesto anteriormente, cuyo diseño cumplió las características requeridas.

2009: Este año se publica otro documento titulado “Capacity of linear rectangular microstrip antenna arrays” (capacidad de arreglo lineal de antena microstrip rectangular), cuyos autores son Christos Kalialakis, Ana Collado, Apostolos Georgiadis.

Las arquitecturas MIMO han propuesto extensamente el uso de múltiples antenas tanto en el transmisor como el receptor en sistemas de comunicaciones inalámbricos para mejorar la capacidad del sistema.

Con este trabajo, es investigada la dependencia de la capacidad de los sistemas 2xM MIMO sobre el enganche mutuo entre la transmisión y las antenas de encubrimiento teniendo en cuenta el coeficiente de correlación dado por el modelo de Clarke. Las series lineales de antenas microstrip rectangulares son consideradas tanto en la transmisión como en los finales del encubrimiento.

En este documento, es estudiado también el efecto del enganche mutuo entre elementos de la antena microstrip sobre la capacidad del sistema para varias configuraciones serie. Además, es investigado el impacto de correspondencia de impedancia no ideal de los elementos de la antena. También se muestra el desajuste de impedancia y su efecto significativo sobre la capacidad. Ya que en el caso de un sistema 2x2 MIMO la variación de ángulo del enganche tiene un impacto relativamente pequeño sobre la capacidad.

Con este trabajo serán utilizadas las series lineales de antenas microstrip en fines de encubrimiento y de transmisión. Se consideraran el enganche mutuo diferente, y los grados de correlación entre las antenas de parche microstrip para determinar el funcionamiento del sistema en términos de su capacidad.

En la Sección II es descrito el canal y acoplando bajo consideración. En la Sección III, es presentada la formulación de la capacidad para un arreglo de antena multi-elemento. El método de evaluación de la capacidad, que incorpora el arreglo de la matriz de impedancia es adoptado en el presente trabajo. Este método proporciona la capacidad de evaluar el efecto de desajuste de impedancia.

Finalmente, en la Sección IV son presentados los resultados de la simulación para varias configuraciones de sistema([6] Christos Kalialakis, 2009).

2011: Se muestra a través de este documento llamado “Performance Analysis of Corporate Feed Rectangular Patch Element and Circular PatchElement 4x2 Microstrip Array Antennas” realizado por Md. Tanvirlshtaique-ulHuque, Md. Al-AminChowdhury, Md. KamalHosain , Md. ShahAlam, un arreglo rectangular de antena microstrip con los pasos detallados del proceso de diseño, y funcionando en la Banda-X (8 GHz a 12 GHz).

Se plantea el método de análisis, diseño y desarrollo de estos arreglos de antenas explicado completamente y analizado para 4x2 series. La simulación ha sido realizada usando el simulador de antena SONNET, para calcular la distribución de corriente, la respuesta de pérdida y el modelo de radiación. Las antenas propuestas son diseñadas usando Taconic TLY-5, el sustrato dieléctrico con la permitividad, $\epsilon_r = 2.2$ y la altura, $h = 1.588$ mm.

La ventaja de estas antenas simuladas es encontrado arriba de 6 dB y la magnitud del lóbulo lateral se mantiene menor que la del lóbulo principal. La frecuencia de operación de estas antenas es 10 GHz, y es así como estas antenas son convenientes para el uso de Banda-X.

Este documento presenta el procedimiento de diseño, la característica y el análisis de funcionamiento correspondiente tanto del arreglo rectangular de antenas microstrip como de circulares y provee un promedio para escoger el eficaz basado en sus parámetros de funcionamiento para conseguir la eficiente eficacia de radiación.

También se investigó el funcionamiento de la alimentación del arreglo tanto en el caso del elemento del parche rectangular como en el caso del elemento del parche circular, ya que esto proporciona una mejor directividad así como la eficacia de radiación y reducir las fluctuaciones de rayo sobre una cinta de frecuencias comparadas a la serie de alimentación ([15] Tanvir Ishtaique-ul Huque, 2011).

2011: Es expuesto el trabajo, de tesis para alcanzar el título de magister, por Ahmed Fatthi Alsager con el nombre de “Design and Analysis of Microstrip Patch Antenna Arrays”(diseño y análisis de un arreglo de antena microstrip tipo parche). Dónde son diseñadas y probadas las antenas parche compactas rectangulares para dispositivos de GPS en 1.57542 GHz, y para una señal de TV de satélite en 11.843 GHz y 11.919 GHz. La parte final de este trabajo ha sido concentrada en el estudio de un arreglo de antena con dos y cuatro elementos. Las antenas trabajadas en el presente documento, así como las expuestas en los diferentes ejemplos y las propiamente diseñadas han sido fabricadas y probadas en el laboratorio([11] Ahmed Fatthi, 2011).

2011: Design and Performance Analysis of Microstrip Array Antennas with Optimum Parameters for X-band Applications, con Md. TanvirIshtaique-ul Huque¹, Md. Kamal Hosain², Md. Shihabul Islam³, and Md. Al-AminChowdhury.

Este pape rmuestra antenas del tipo serie cuyas ventajas son: simples, bajo precio y técnicas de alimentación convenientes, también el sustrato dieléctrico para usos en la gama de frecuencia de 10 GHZ.

El sistema de alimentación de óptimo grado se decide basándose en la simulación de diferentes parámetros de la antena. La simulación ha sido realizada por TAN " ET, el simulador de la versión V12.56. Este es un simulador de antena disponible y actualmente comercializado. Las antenas diseñadas proporcionan pérdidas de retorno en la gama de -4.21db a - 25.456dB en frecuencias alrededor 10GHz usando Taconic TLY-5. Un sustrato dieléctrico con la permitividad, $\epsilon_r = 2.2$ y la altura, $h=1.588$ mm.

El beneficio de estas antenas simuladas es encontrado sobre 15dB y la etiqueta de lóbulo de lado es mantenida más abajo que el lóbulo principal. Desde entonces, la frecuencia de resonancia de estas antenas está alrededor 10GHz. Estas antenas son convenientes para usos de X-cinta como la comunicación de satélite, radares, médicos, y otros sistemas inalámbricos.

Además de las investigaciones cronológicas presentadas, basadas anteriormente, basadas exclusivamente en antenas microstrip rectangulares y arreglos con éstas; que demuestran, entre otras cosas, su significativo avance a través de los años; se encuentran cientos de variadas geometrías. El estudio de las antenas microstrip es propiamente amplio y diverso sin centrarse únicamente en parches rectangulares, deja ver su extenso glosario de posibles representaciones. Las geometrías con mayor aplicabilidad son las esféricas, elípticas, cuadradas, de dipolo, circulares, triangulares y por supuesto, las rectangulares trabajadas en el presente documento.

Entre algunos trabajos basados en otro tipo de geometría diferente a la discutida en este proyecto de grado, se encuentran:

1985: Analysis of Elliptical and Circular Microstrip Antennas Using Moment Method (Análisis de antenas microstrip elípticas y circulares utilizando el Método de los Momentos), desarrollado por M.C.Bailey y M. D. Deshpande

En este trabajo, se presenta el método de cálculo de la impedancia de entrada de cualquiera, sea de una circular o de una antena microstrip ligeramente elíptica excitada por una sonda coaxial. Utilizando la ecuación integral de reacción y la función diádica de Green exacta, el espesor del sustrato finito se tiene encuentra en la formulación. Se obtiene una buena concordancia con los resultados

experimental es para un parche elíptico y se presenta un procedimiento de diseño para una antena circularmente polarizada.

En este trabajo se presenta un modelo analítico para la impedancia de cualquiera de los parches, sea circular o elíptico, basadas en un técnica anterior ([21] M.D Desphande, 1982) para la impedancia de una antena microstrip de forma conocida. La técnica utiliza la función diádica de Green exacta ([22] MC. Bailey, 1982) Y la ecuación de reacción integral en conjunto con el método de los momentos para determinar la densidad de corriente superficial en el parche. La corriente del parche se utiliza luego para predecir las propiedades de impedancia de la antena microstrip.

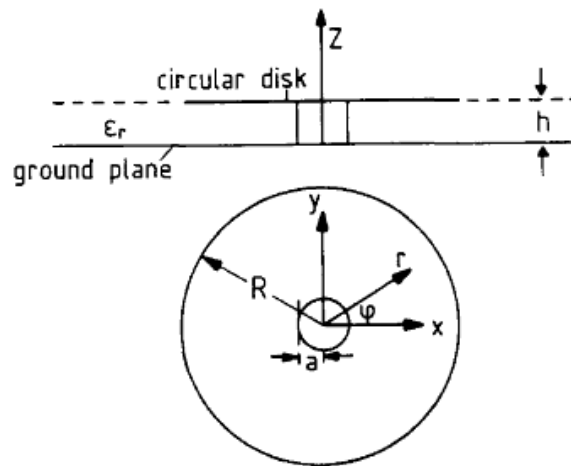
La impedancia del parche ligeramente elíptico se calcula modelando las corrientes ortogonales en el parche elíptico a través de la superposición de las corrientes que existen en dos parches circulares concéntricos cuyos diámetros son iguales a los ejes mayor y menor de la elipse. Al representar la corriente del parche de esta manera, la distribución de la corriente puede expresarse como una combinación de funciones de Bessel y funciones trigonométricas.

1989: Moment-Method Solution of the Center-Fed Microstrip Disk Antenna Invoking Feed and Edge Current Singularities (Solución del método de los momentos de una antena microstrip de disco con alimentación-central y singularidades de corrientes de borde), realizado por Shlomo Pinhas, Shmuel Shtrikman y David Treves.

En el presente documento se estudió el problema de una antena microstrip de disco excitada por una sonda en su centro usando un enfoque del método de los momentos para la evaluación de la corriente superficial en el disco. La novedad del trabajo es un tratamiento cuidadoso de los efectos singulares de la sonda y del borde del disco en la superficie actual en el disco. Esto se hace por una inclusión en una adecuada forma de una corriente de modo de fijación y una corriente de borde en la superficie actual en el disco. La inclusión de estas dos corrientes se acelera en una excelente manera para la tasa de convergencia de la solución de método de los momentos, y les permite obtener la impedancia de entrada en un amplio rango de frecuencias, incluyendo el límite de frecuencia cero. Además, la influencia de la sonda en la impedancia de entrada se tiene en cuenta de una manera correcta y precisa.

Finalmente, realizan una comparación entre los resultados medidos y calculados y se obtiene un buen resultado ([22] MC. Bailey, 1982).

Figura 1. Excitación en el cable de una Antena Microstrip Circular



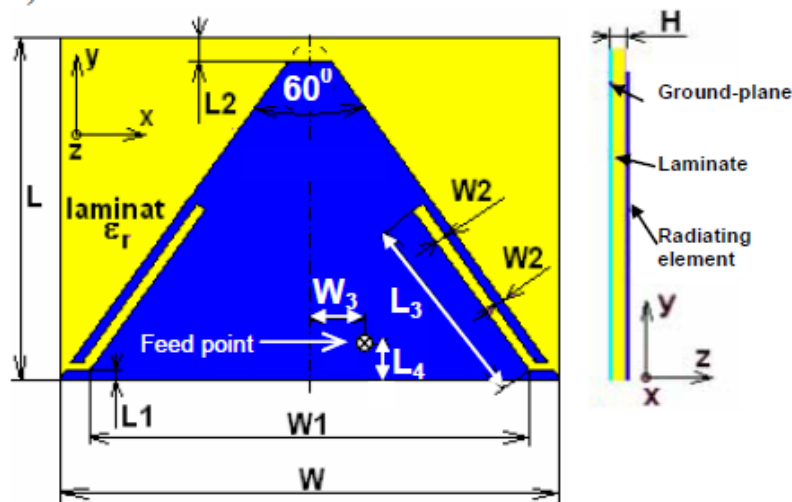
Fuente:[22] MC. Bailey, M. D. (1982). *Integral equation formulation of microstrip antennas*.IEEE.

2012: En este año se presenta el proyecto llamado: Elaboración de un software para la simulación del patrón de radiación de una antena microcinta circular con la herramienta Matlab. Realizado por Gabriel Enrique García Otero, Roxana Lamus Avendaño. En este proyecto se analizan las antenas microcinta circular, en primer lugar se definen los parámetros de caracterización de la antena, analizando luego estas características que describen la antena mediante el método de cavidades resonantes, para luego construir los prototipos teniendo en cuenta la investigación realizada hasta el momento, se prueba este prototipo en el laboratorio obteniendo datos reales mediante el software LVDAM-ANT. Como segunda parte del proyecto, se realiza el diseño e implementación de un software con la herramienta Matlab, para calcular los parámetros de diseño de la antena microcinta circular y posteriormente realizar una comparación entre los datos reales y los teóricos. Con este simulador se realiza la toma del parámetro fundamental de la antena, siendo este, su patrón de radiación ([24] Gabriel Enrique Garcial Otero, 2012).

2006: Se realiza un proyecto basado en una antena microstrip con parche triangular, llamado "Triangular microstrip antennaloadedby slots forgps applications" (Antena microstrip Triangular cargado por ranuras para aplicaciones GPS), a cargo del investigador wojciech j. krzysztofik.

Al cargar correctamente las ranuras dispuestas en un parche microstrip triangular equilátero, son presentadas una doble frecuencia y operaciones con banda ancha. Se describen a través del proyecto, los detalles de la frecuencia dual propuesta y los diseños de banda ancha y se presentan y discuten los resultados simulados de los parámetros de cerca-lejos y de campo.

Figura 2. Geometría de una Antena Microstrip de Parche Triangular



Fuente: [23] SACADA Geometry of TMA, a. I. (2006). Retrieved from www.ctsystems.com/zeland/publi/eucap2006/360598wk.pdf.

Se demuestra el diseño realizado utilizando un par de cables de derivación integrado en el parche triangular que actúan como ranuras laterales como se muestra en la figura. Con los cables derivados embebidos en el parche, se encuentra un nuevo modo resonante que tiene la misma polarización de plano con una frecuencia de resonancia más baja.

Por último, es presentado y discutido el diseño de la antena y los resultados de las simulaciones por ordenador para un Satélite GPS con sistema receptor de navegación, operando a L1 (1575 MHz) y L2 (1227 MHz) bandas de frecuencia.

Teniendo en cuenta la importancia de los libros para una correcta y gratificante documentación, no se reparó únicamente en los anteriores estudios. Se investigaron algunos libros fundamentales para el completo desarrollo de los objetivos planteados en el presente trabajo de grado, los cuales se nombrarán a continuación:

Elements of engineering electromagnetics: El Potencial de campo eléctrico ya sea en un hilo conductor, en placas paralelas o en una superficie circular, necesita de un método numérico para ser resuelto. Se deben obtener datos precisos y contundentes que ayuden a definir todo tipo de parámetros.

La distribución de carga en un hilo conductor, se utilizó como punto de partida para la aplicación del método de los momentos en la antena microstrip. Otros ejemplos como la utilización en un par de placas paralelas dieron forma al modelamiento de la corriente en el parche ([19] Narayana Rao, 1994).

FUNDAMENTOS DE LAS ANTENAS: Este manual distribuido por el personal del LAB-VOLT, plantea fundamentos de todo tipo de antenas.

Enseña a medir y comparar características fundamentales de las antenas patrón del equipo de laboratorio o de cualquier tipo que se desee realizar y se encuentre dentro de la frecuencia específica (1GHz o 10 GHz) que maneja el transmisor.

Se hallan los parámetros de la impedancia del parche, del acople y de la línea de alimentación. Así como arreglos de parches rectangulares, dipolos y circulares ([9] Personal del Lab-Volt, 1998)

Stutzman Antenna Theory: La distribución de corriente en la antena para un dipolo es uniforme o sinusoidal. La aplicación del método de los momentos y la utilización de software en la simulación ayudan a la obtención de resultados para hallar los campos que radia la antena ([10] WARREN L. STUTZMAN, 1998).

Microstrip Antenna Design Handbook: Una antena microstrip es un parche y un plano de tierra en un sustrato. Los diseños más empleados en este tipo de antenas son: parches de tipo rectangular y parches de tipo circular. Aunque también se puede encontrar información sobre otro tipo de diseños como: parches con forma de dipolos, triangulares, anillos y arreglos. Todas estas antenas son empleadas en medicina, telefonía móvil y sistemas de comunicación modernos.

Los métodos empleados para hallar los parámetros de las antenas son: líneas de transmisión, diferencias finitas, dominio espectral, cavidades resonantes (Transversal Magnético) entre otros.

Otro aspecto empleado es la elección del sustrato que hace favorecedor la directividad y el patrón de radiación en la antena.

El modelo Transversal Magnético (TM_{10}) es el utilizado para hallar los parámetros del parche rectangular con el que posteriormente se realiza un arreglo. ([11] Ahmed Fatthi, 2011)

Modern Antenna Handbook Constantine Balanis: Según el autor las antenas son los ojos y los oídos de los sistemas de comunicaciones. Los parámetros y las definiciones, los elementos, los arreglos, la síntesis de los métodos, el modelado y la simulación son el enfoque para el diseño ([2] BALANIS, 2008).

2.3 Método de los Momentos

El Método de los Momentos, aplicado a problemas en la teoría electromagnética, fue introducido por Roger F. Harrington en 1967 en su documento, "Métodos de matriz para Problemas De campo" ([17] R.F, 1967). Poggio y Burke dieron auge al

método estableciendo esta técnica como la base en el diseño de conexiones de arreglos de antenas durante los años 70, con la implementación de éste en los laboratorios nacionales Lawrence Livermore.

El método de los momentos es uno de los más usados en la actualidad para determinar los campos emitidos o recibidos por estructuras radiantes. En el primer caso se infiere que una fuente externa establece corrientes variables en el tiempo en los conductores de la antena, y se calculan los campos generados por éstas (antena emisora), mientras que por otro lado se infiere que una onda (habitualmente plana) incide sobre la estructura induciendo corrientes variables en el tiempo sobre ella. Este último caso puede analizarse desde el punto de vista de la fuerza electromotriz útil inducida sobre los conductores (antena receptora) o con el objetivo de calcular los campos re-irradiados por la estructura para analizar sus propiedades de dispersión (scattering) de ondas electromagnéticas ([18], 2004).

El corazón del método expuesto reside en la linealidad de las ecuaciones de Maxwell, que desde el punto de vista matemático se puede representar mediante operadores lineales aplicados a funciones de las coordenadas espaciales y de tiempo.

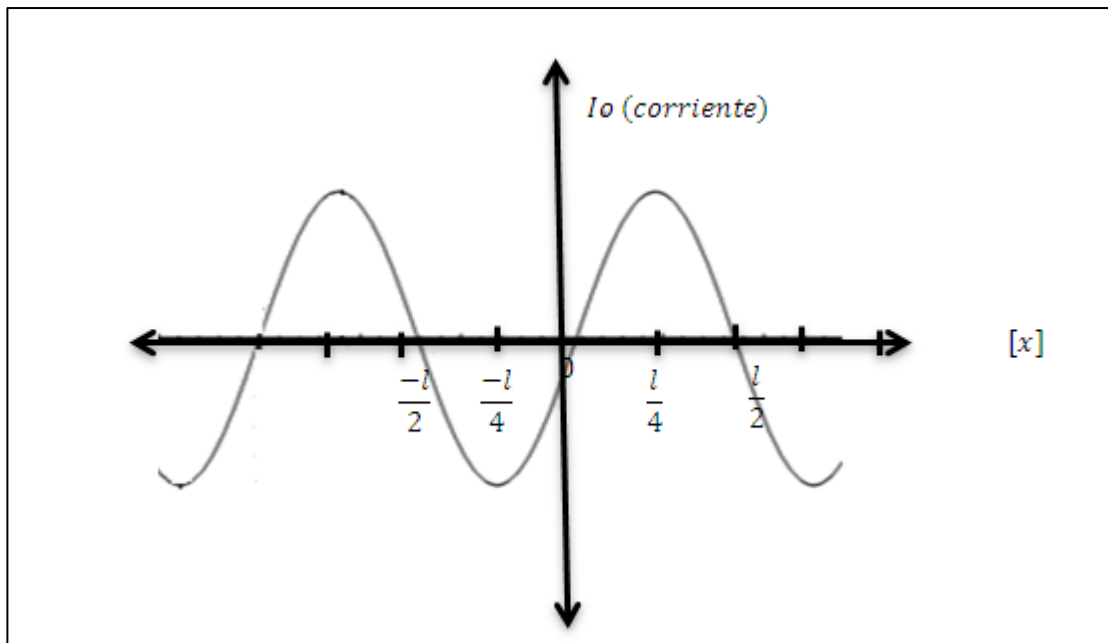
En el Anexo 1, se puede observar claramente un ejemplo del método de los momentos para estudiar la distribución de carga en un hilo conductor ([19] Narayana Rao, 1994). La técnica consiste en encontrar la distribución de carga sobre los conductores sostenidos en potenciales constantes conocidos. Así el problema es el inverso del problema de encontrar el potencial para una distribución de carga conocida.

La determinación de la distribución de carga empleando el método de momentos consiste en dividir la superficie en un número finito de segmentos, asumiendo la densidad de carga uniforme en cada segmento, estableciendo y solucionando un juego de ecuaciones algebraicas.

La corriente en el parche rectangular de la antena microstrip se modeló empleando el método de los momentos similar al que se ve en el Anexo 1.

En la Figura 3 se observa la partición de la función de n -elementos asumiendo que esta es la corriente en el parche y es uniforme.

Figura 3. Distribución de la corriente en el largo del parche rectangular usando el Método de los Momentos con una función sinusoidal.



Fuente: Autor

Para que el Método de los momentos sea válido debe haber una distribución uniforme en el largo y en el ancho del parche. El cálculo de esta distribución se realizó empleando el software Mathematica 8.

III. MODELADO DE LA CORRIENTE DEL PARCHE MICROSTRIP UTILIZANDO EL MÉTODO DE LOS MOMENTOS

3.1 Mathematica 8

Mathematica es reconocida como la mejor aplicación para la computación del mundo. Es la única plataforma de desarrollo que integra cómputos plenamente corrientes de trabajo completos, haciendo que se pase de ideas preliminares a soluciones individuales o a nivel de empresa ([1] Wolfram).

Mathematica está en el mercado desde hace más de 20 años. Con millones de usuarios y compañías. Es la base de muchos de los proyectos más asombrosos e innovadores del mundo.

Mathematica 8 es la última actualización de este software. Es utilizada en Ingeniería, Biotecnología y Medicina, Desarrollo de aplicaciones y entrega de contenidos, Diseño, Arte y Entretenimiento, Finanzas, Estadística y Análisis de Negocios, Ciencia entre otros.

El método de los momentos en Mathematica 8 se empleó para hallar la corriente en el largo y el ancho del parche tomando una función triangular, calculando su pendiente y distribuyendo de manera uniforme los vectores en el eje de tal manera que cumpliera el principio fundamental del método como se muestra a continuación:

Ecuación 3.1

$$xl_{neg} = N[Table[x = -(\frac{l}{aa - m}), \{m, 1, aa - 1\}]]$$

La Ecuación 3.1 permite hallar los valores en el eje negativo del largo del parche.

Ecuación 3.2

$$xl1 = Reverse[xl_{neg}]$$

El comando reverse me permite cambiar de posición el vector y así visualizar los valores del largo del parche de manera uniforme. De tal manera que la distribución

del vector positiva sea igual y se puedan unir estos dos vectores formando el vector total que permite observar el equivalente del largo del parche.

Ecuación 3.3

$$xlpos = N[Table[xx = \frac{l}{aa - i}, \{i, 1, aa - 1, 1\}]]$$

La ecuación 3.4 me permite observar los valores del vector positivo.

Ecuación 3.4

$$unionejex = Union[xl1, xlpos]$$

El comando union mostrado en la Ecuación 3.4 me permite unir los dos vectores para formar el vector del largo del parche.

En el modelado de la corriente se utilizaron 100 datos, para comodidad del lector se mostraran solo 10 datos, los cuales pueden visualizarse en la Tabla 1.

Tabla 1. Largo del Parche

Largo
-0.0075
-0.00375
-0.0025
-0.001875
0.001875
0.0025
0.00375
0.0075

De igual manera calculamos el vector para el ancho del parche, como se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Ancho del Parche

Ancho
-0.00948683
-0.00474342
-0.00316228
-0.00237171
0.00237171
0.00316228
0.00474342
0.00948683

La Ecuación que se escogió para modelar la corriente en el parche como se dijo anteriormente es una función Triangular.

Ecuación 3.5

$$y_{lp} = h + \left(\frac{2 * h}{l} * x_{l1}\right)$$

La Ecuación 3.5 muestra el valor de la función con pendiente positiva que se utilizó para calcular los valores de la corriente en el parche.

Ecuación 3.6

$$y_{ln} = N\left[h + \left(\frac{(-2) * h}{l}\right) * x_{lpos}\right]$$

La Ecuación 3.6 muestra el valor de la función con pendiente negativa para el modelado de la corriente.

$$\text{unionpiramidel} = \text{Join}[\text{yIp}, \text{yIn}]$$

El comando Join permite reunir las dos funciones y formar el valor total de la corriente en el largo del parche.

En la Tabla 3. Se pueden observar los valores del largo de la corriente.

Tabla 3. Valor de la función triangular para el largo de la Antena Microstrip.

Largo
0
0.000266667
0.0004
0.0004
0.000266667
0

En la Tabla 4. Se pueden observar los valores de la corriente en el ancho del parche.

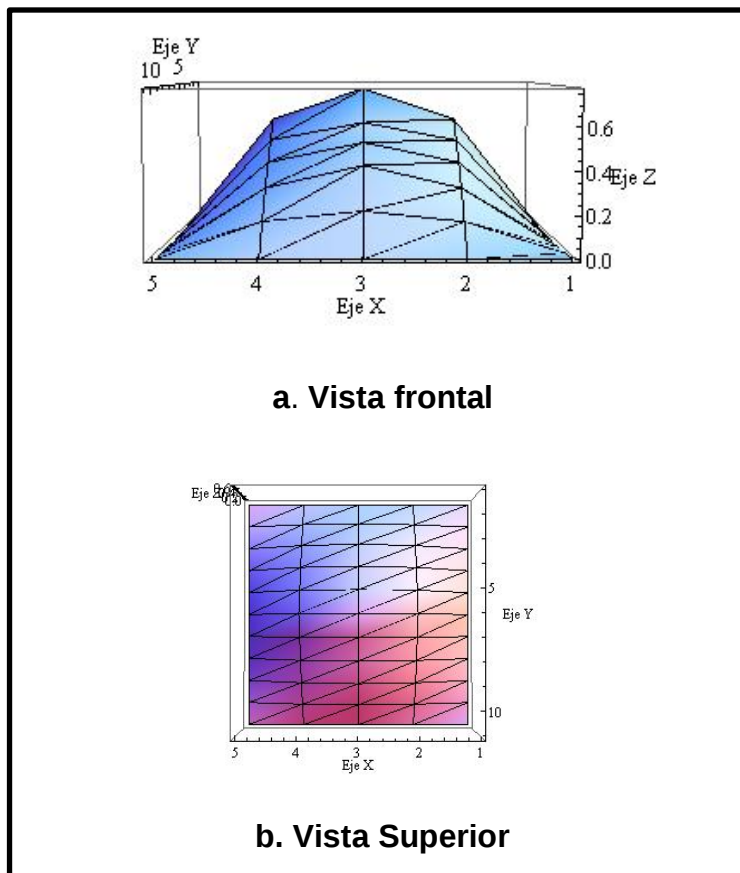
Tabla 4. Valor de la función triangular para el ancho de la Antena Microstrip.

Ancho
0
0.000266667
0.0004
0.0004
0.000266667
0

El comando **ListPlot3D** permite graficar en puntos vistos como alturas a partir del eje x la corriente en el parche. De esta manera se puede formar la función que se

desea. Al tomarse pocos datos se obtuvo una pirámide como la mostrada en la Figura 4.

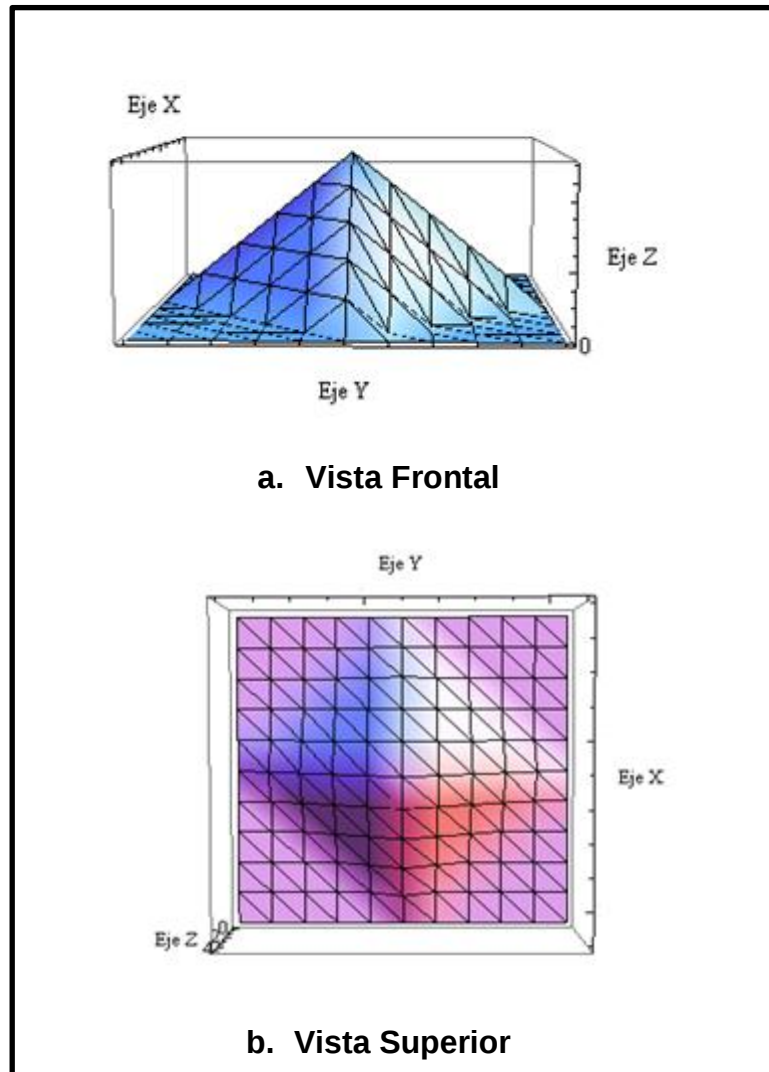
Figura 4. Valor de la Corriente en forma de Pirámide en Mathematica 8



Fuente:([1] Wolfram)

Con todos los datos se obtiene la pirámide que forma la corriente como se muestra en la Figura 5.

Figura 5. Corriente Modelada con el Método de los Momentos formando una Pirámide



Fuente: ([1] Wolfram)

La recta que forma la función triangular que se simuló en Mathematica 8 tiene las siguientes rectas que la componen:

Ecuación 3.8

$$y = 1 - x \quad (a)$$

$$y = 1 + x \quad (b)$$

Dónde:

$$x = \rho * \cos \theta \quad (a)$$

$$y = \rho * \sin \theta \quad (b)$$

Transformando a coordenadas esféricas podemos calcular **F1 y F2**. Estas son las funciones que representan la corriente y se definen como:

Ecuación 3.9

$$F2 = 1 - x \quad Ux \quad (a)$$

$$F1 = 1 + x \quad Ux \quad (b)$$

Ux Se muestra en la Ecuación 3.10

Ecuación 3.10

$$Ux = \cos \theta \quad U\rho - \sin \theta \quad U\theta \quad (a)$$

$$Uy = \sin \theta \quad U\rho + \cos(\theta)U\theta \quad (b)$$

$$dl = d\rho U\rho + \rho d\theta U\theta \quad (c)$$

Resolviendo las integrales de línea de la corriente sobre la trayectoria en x se obtienen las corrientes **I1 y I2**.

Ecuación 3.11

$$I1\rho = 1 = 1 + \cos \theta + 1 - \frac{\cos^2 \theta}{2} \quad (a)$$

$$I2\rho = 1 = \cos \theta - 1 + \frac{\cos^2 \theta}{2} - 1 \quad (b)$$

La pendiente de la recta puesta sobre el eje x expuesta en la Ecuación 3.12 es la función Sinc. Esta función permite variar el patrón de radiación en la simulación y hacerlo más o menos directivo.

Ecuación 3.12

$$\tan\beta = \tan\alpha \cong \frac{\rho \text{Sen}\Delta\theta}{\Delta\theta} = \rho \text{Sinc}(\Delta\theta)$$

3.1.1 Función Sinc

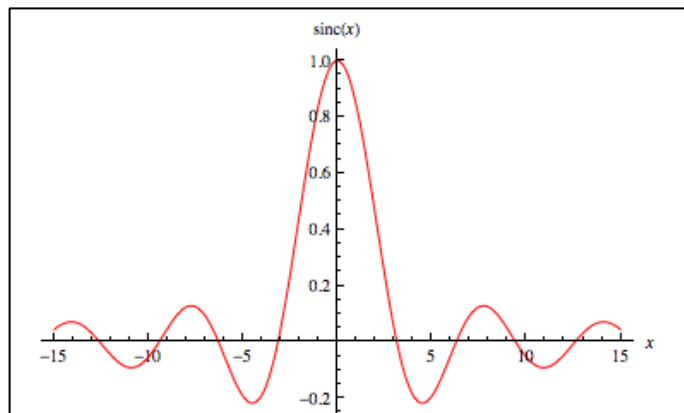
La función sinc, también llamada la "función de muestreo," es una función que se plantea con frecuencia en el procesamiento de señales y transforma la teoría de Fourier. El nombre completo de la función es "seno cardinal", pero es comúnmente conocido por su abreviatura, "sinc". Hay dos definiciones de uso común ([1] Wolfram). El adoptado en este trabajo define como se muestra en la Ecuación 3.8

Ecuación 3.13

$$\text{sinc } x = \begin{cases} 1, & x = 0 \\ \frac{\text{Sinx}}{x}, & \text{otro valor} \end{cases}$$

En la Figura 6. Se puede observar el comportamiento simétrico que tiene esta función.

Figura 6. Función Sinc simétrica empleando el Método de los Momentos



Fuente: ([1] Wolfram)

La simulación del patrón de Radiación se hace en coordenadas esféricas. La corriente en r , teta (θ) y fi (ϕ) se muestra a continuación:

Ecuación 3.14

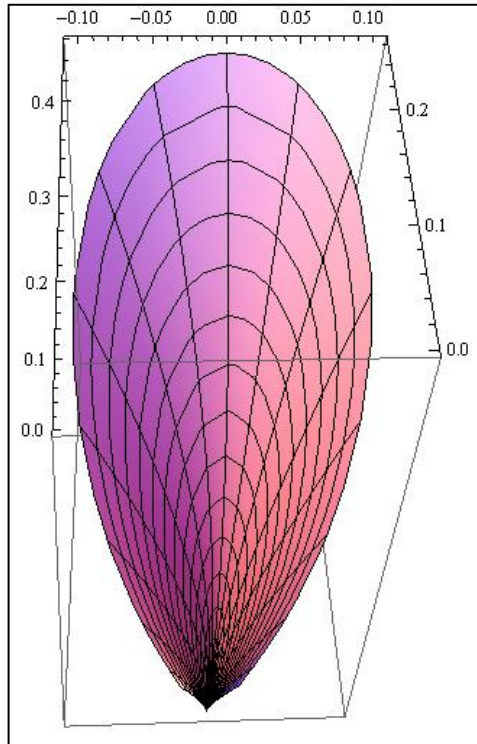
$$I_r = r * \sin^2 \theta * \cos^2 \phi + \frac{\sin r * \sin \theta * \cos \phi}{r * \sin \theta * \cos \phi} * \cos \theta \quad (a)$$

$$I_{\theta} = r * \sin \theta * \cos \theta * \cos^2 \phi - \frac{\sin r * \sin \theta * \cos \phi}{r * \cos \phi} \quad (b)$$

$$I_{\phi} = -r * \sin \theta * \sin \phi * \cos \phi$$

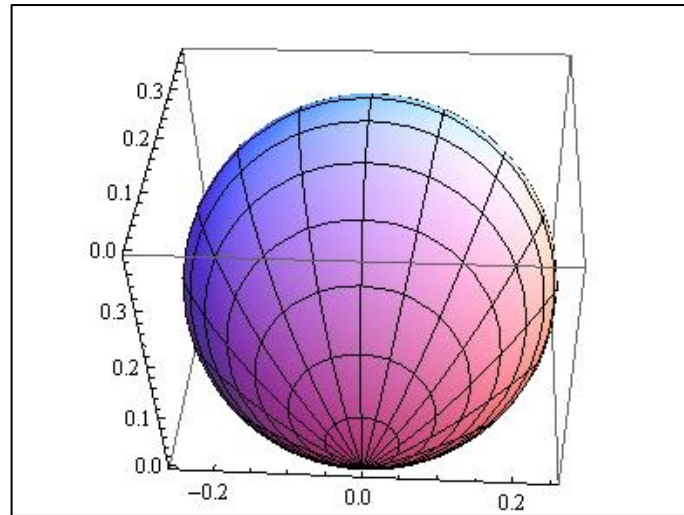
La corriente en r puede despreciarse. En la Figura 7. Y la Figura 8. Se pueden observar las corrientes en teta y en fi.

Figura 7. Corriente en el parche. Dirección teta



Fuente: ([1] Wolfram)

Figura 8. Corriente en el parche. Dirección $\hat{f}_i$

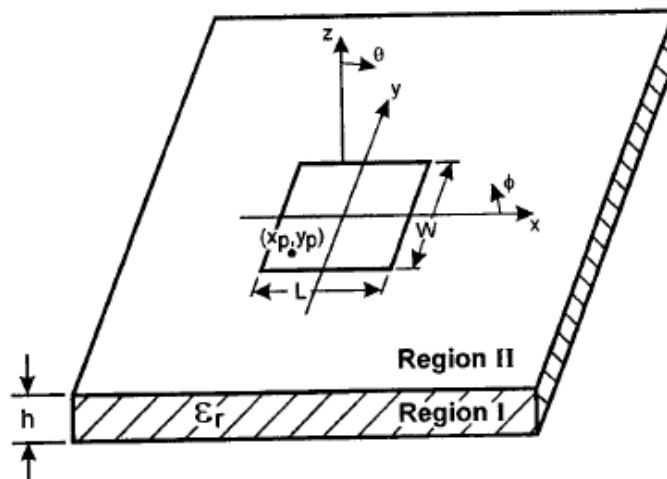


Fuente: ([1] Wolfram)

IV. DESARROLLO DEL MODELO MATEMATICO PARA EL PATRÓN DE RADIACIÓN

Una antena de la tecnología microstrip, mejor conocida como antena parche (MPA), consiste en un parche conductor con cualquier tipo de geometría y un plano de tierra. En la Figura 9 podemos observar la configuración básica para este tipo de antenas.

Figura 9. Antena Microstrip de parche Rectangular

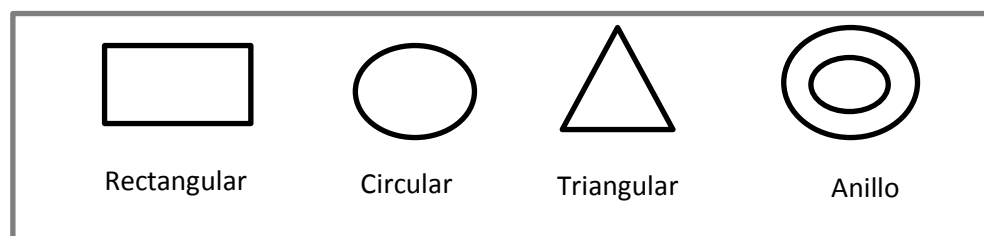


Fuente: RAMESH GARG, P. S. (2001). *MICROSTRIP ANTENNA DESIGN HANDBOOK*. ARTECH HOUSE INC.

4.1 Tipos de parches

En las antenas microstrip se pueden encontrar varios tipos de parches que emplean características específicas y diseños innovadores que mejoran los parámetros. Los tipos de parches más conocidos son rectangulares, circulares y anillos.

Figura 10. Tipos de Parche de Antenas Microstrip.



Fuente: Autor

4.2 Método de diseño

El método de diseño de antenas microstrip utilizado para el desarrollo del proyecto se explicará a continuación:

4.2.1 Método del Transversal Magnético TM_{10}

El método del transversal magnético emplea cavidades resonantes. La distribución de campo puede dividirse en dos regiones:

1. Campo interior
2. Campo exterior

Los campos exteriores son los campos que están por fuera de la cavidad resonante. Estos determinan la radiación del parche. $h < \lambda_0$.

Si se considera la región de la antena entre el parche y el plano de tierra con un dieléctrico delgado. La distribución de campo en esta región puede describirse por TM modos en z con $\frac{\partial}{\partial z} = 0$. El resultado se obtendrá en componentes de campo E_z, H_x y H_y . El campo eléctrico debe satisfacer la ecuación de onda ([8] RAMESH GARG, 2001).

Ecuación 4.1

$$\nabla_x \nabla_x E_z - k^2 E_z = -j\omega\mu_0 J$$

Ó

$$\frac{\partial^2 E_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E_z}{\partial y^2} + k^2 E_z = j\omega\mu_0 J$$

Donde

$$k^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r$$

Y J es la densidad de corriente debido al cable coaxial o a la alimentación microstrip.

El campo eléctrico en la cavidad del parche puede expresarse en términos de varios modos de la cavidad como:

Ecuación 4.2

$$E_z(x, y) = \sum A_{mn} * \psi_{mn}(x, y)$$

Los coeficientes A_{mn} se obtienen por la excitación de corriente

Despejando, se obtiene:

Ecuación 4.3

$$E_z(x, y) = j\omega\mu_0 I_0 \frac{\psi_{mn}(x, y) * \psi_{mn}(x_0, y_0)}{k^2 - k_{mn}^2} * G_{mn}$$

Dónde:

I_0 Es la corriente modelada por el método de los momentos mostrada en el capítulo anterior.

Ecuación 4.4

$$\psi_{mn}(x, y) = \frac{\epsilon_m \epsilon_n}{LW} * \cos(k_m x) * \cos(k_n y)$$

$m, n = 0, 1, 2, p, \dots$

$$\epsilon_p = \begin{cases} 1 & \text{para } p = 0 \\ 2 & \text{para } p \neq 0 \end{cases}$$

Con:

$$k_m = \frac{m\pi}{L}, \quad k_n = \frac{n\pi}{W}, \quad k_{mn}^2 = k_m^2 + k_n^2$$

$\psi_{mn}(x, y)$ Corresponden a los vectores de campo eléctrico en modo ortogonal o funciones propias.

El campo eléctrico total inducido por el parche se muestra en la Ecuación 4.5

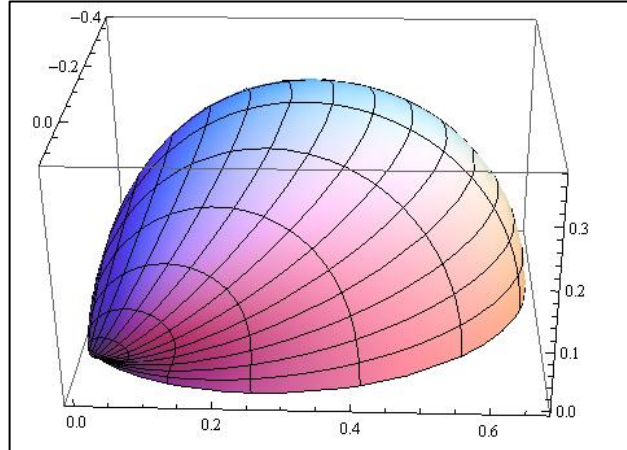
Ecuación 4.5

$$E_{teta} = \frac{\sin\left[\frac{k * w * \sin[\theta] * \sin[\phi]}{2}\right]}{\frac{(k * w * \sin[\theta] * \sin[\phi])}{2}} * \cos\left[\frac{k}{2} * l * \sin \theta * \cos \phi * i_{teta}\right] \quad (a)$$

$$E_{fi} = \frac{\sin[(k * w * \sin[\theta] * \sin[\phi]) / 2]}{(k * w * \sin[\theta] * \sin[\phi]) / 2} * \cos[k * l / 2 * \cos \theta * \sin \phi * i_{fi}] \quad (b)$$

Aplicando la Ecuación 4.5 se obtiene el campo eléctrico que radia la Antena microstrip para un solo parche y puede observarse en la Figura 11.

Figura 11. Campo Eléctrico



Fuente: ([1] Wolfram).

El patrón de Radiación en coordenadas polares se muestra en la Figura 12.

Modificando el campo eléctrico se obtiene la ecuación para el patrón de radiación mostrada a continuación:

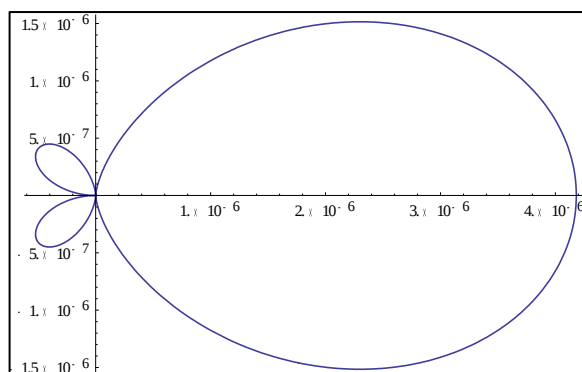
Ecuación 4.6

$$e_{\theta} = \text{Sinc } n * \theta - \text{Pi} * \frac{\frac{\sin k_1 * w_1 * \sin \theta * \sin \phi}{2}}{\frac{k_1 * w_1 * \sin \theta * \sin \phi}{2}} * i_{\theta}$$

Donde

$n = \text{cantidad de parches en la Antena Microstrip}$

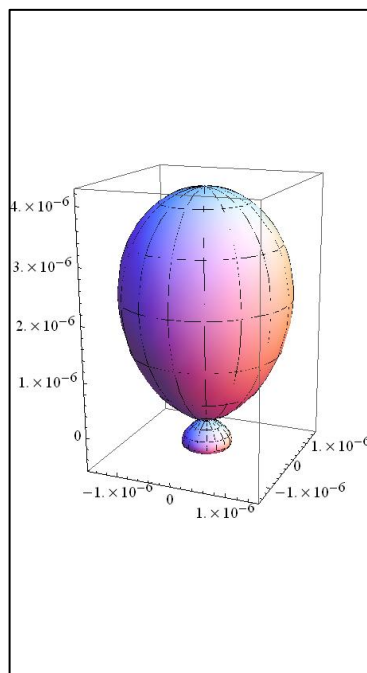
**Figura 12. Patrón de Radiación de una Antena Microstrip de un parche.
Coordenadas Polares**



Fuente:([1] Wolfram)

El patrón de radiación simulado por Mathematica 8 para un solo parche se muestra en la Figura 13.

Figura 13. Simulación Patrón de Radicación



Fuente: ([1] Wolfram)

El cálculo de las dimensiones de la antena microstrip debe tener ciertos parámetros iniciales:

- Permitividad

$$\epsilon_r = 4$$

Ecuación 4.7

- Frecuencia de trabajo

$$f_0 = 10 * 10^9$$

Ecuación 4.8

- Espesor del dieléctrico

$$h = 0.8 * 10^{-3}$$

Ecuación 4.9

- Velocidad de la luz

$$c = 300 * 10^6$$

Ecuación 4.10

- Perdidas Tangenciales

$$\delta_{eff} = \tan \delta + \frac{\nabla a}{h} + \frac{p_r}{w_a * w_t}$$

Ecuación 4.11

- Longitud de onda en el vacío

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0}$$

Ecuación 4.12

- Longitud de onda en el medio dieléctrico

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\epsilon_r}$$

Ecuación 4.13

- Largo de la antena

$$l = \frac{c}{2 * f_0 * \epsilon_r}$$

Ecuación 4.14

- Ancho de la antena

Ecuación 4.15

$$w = \frac{c}{2 * f0 \frac{er+1}{2}}$$

V. ARREGLO LINEAL DE PARCHE RECTANGULAR PARA UNA ANTENA MICROSTRIP

La manera más eficaz de crear Antenas Microstrip de Alta Ganancia y mayor directividad, es por medio de arreglos. Estos ya sean lineales o matriciales, permiten al diseñador jugar con el patrón de radiación y crear características únicas en la antena.

Los arreglos de antenas se construyen con repeticiones de elementos radiantes formando un conjunto lineal. La forma de estos parches puede ser idéntica o diferente y su estructura puede ser configurada como un conjunto lineal, plano o un volumen. Todos los elementos tienen una distancia que para este caso es la misma entre cada parche rectangular.

El patrón de radiación que se desee se puede conseguir sumando los campos lejanos de cada elemento.

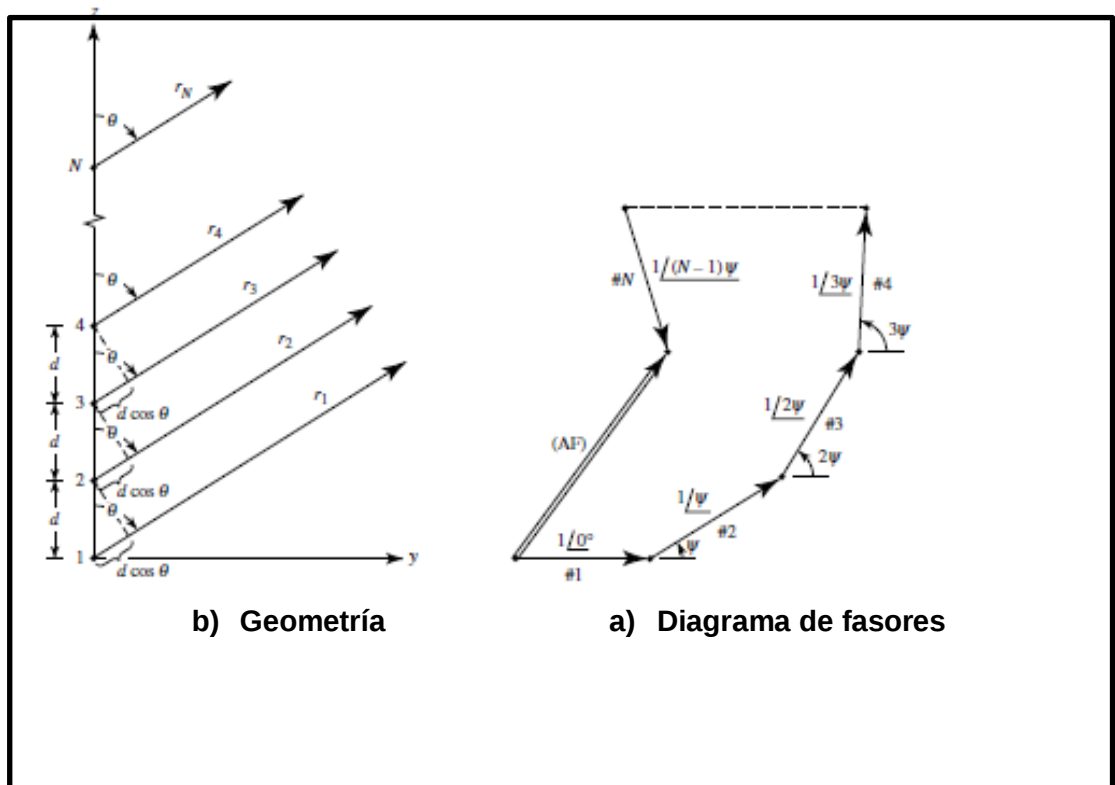
5.1 Factor de Arreglo

El factor de arreglo (Patrón de radiación del arreglo asumiendo que los elementos utilizados son antenas isotrópicas o ideales) de una antena es de vital importancia en el momento de calcular el patrón de radiación real de la misma ([20] GUSTAVO DE JOSE QUINTERO RODRIGUEZ, 2012).

5.1.1 Arreglos lineales

Un conjunto lineal de N elementos uniformemente espaciados y situados a lo largo del eje z como se muestra en el sistema de coordenadas dado en la Figura 14.

Figura 14. Campo lejano. Geometría y Diagrama de fasores de N-elementos de la matriz de fuentes isotrópicas colocados a lo largo del eje z.



Fuente: BALANIS, C. A. (2008). *MODERN ANTENNA HANDBOOK*. John Wiley & Sons, Inc.

El factor de Arreglo empleado en la construcción del arreglo lineal de parches rectangulares se ilustra a continuación:

Ecuación 5.1

$$k = \frac{2\pi}{0.03}$$

Ecuación 5.2

$$dx = 0.03 \text{ }^2$$

Donde dx es el espacio entre cada uno de los parches.

Ecuación 5.3

$$\theta_0 = \pi/2 \quad (a)$$

$$\phi_0 = 0 \quad (b)$$

Los valores de θ_0 y ϕ_0 mencionados anteriormente se deben a la ubicación del lóbulo principal. Para este caso estará sobre el eje x.

Ecuación 5.4

$$n = 4 \quad (a)$$

$$m = 1 \quad (b)$$

n es el número de parches en el eje x y m el número de parches en el eje y. Tipos de alimentación.

Ecuación 5.5

$$f_i = \text{Abs}[\text{ArcTan}[\frac{\text{Sin}[\theta_0] * \text{Sin}[\phi_0] + n * \frac{0.003}{1}}{\text{Sin}[\theta_0] * \text{Cos}[\phi_0] + \frac{0.03}{dx}}]]$$

Ecuación 5.6

$$\text{teta} = \text{Abs}[\text{ArcSin}[\frac{\text{Sin}[\theta_0] * \text{Cos}[\phi_0] + m * \frac{0.03}{dx}}{\text{Cos}[\phi_0}}]]$$

Ecuación 5.7

$$b_x = \text{Abs}[-k * dx * (\text{Sin}[\theta_0] * \text{Sin}[\phi_0])]]$$

Ecuación 5.8

$$y_x = \text{Abs}[k * dx * \text{Sin}[\theta] * \text{Sin}[\phi] + b_x]$$

El FA (factor de arreglo) para el arreglo lineal de antenas tipo parche se muestra en la Ecuación 5.9

$$FA = \frac{1}{n} * \frac{\sin[\frac{n}{2} * yx]}{\sin[\frac{yx}{2}]}$$

Ecuación 5.9

El valor del factor de arreglo de las Antenas Microstrip empleadas en el presente proyecto es de 0.9999511357911265

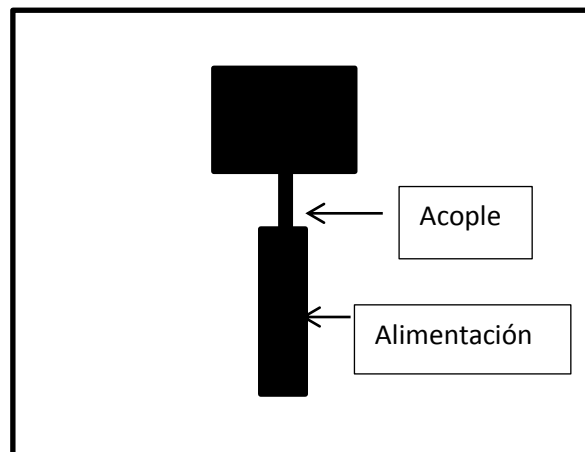
El método utilizado para la alimentación de la Antena Microstrip se explica a continuación:

5.1.2 Alimentación por línea microstrip:

Este tipo de alimentación es muy utilizada por su fácil diseño, análisis y manufactura.

A continuación en la Figura 15 se puede observar el diseño de una antena microstrip de parche rectangular con acople de impedancias para obtener la alimentación por medio de la línea.

Figura 15. Antena Microstrip con Parche Rectangular.



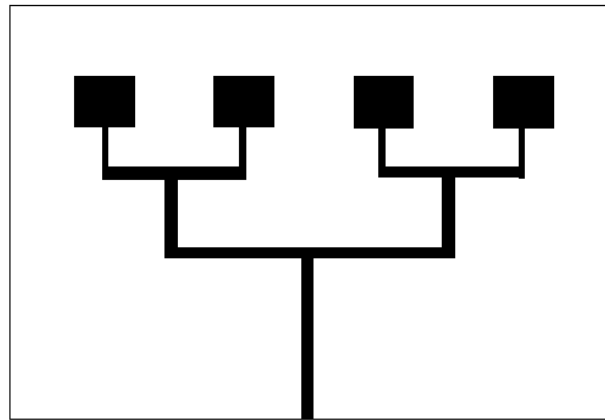
Fuente: Autor

5.2 Dimensiones de la Antena

El cálculo de las dimensiones se realizó utilizando Mathematica 8. Con las Ecuaciones 4.13 y 4.14 del capítulo anterior se puede realizar el cálculo del ancho y el largo de la antena Microstrip.

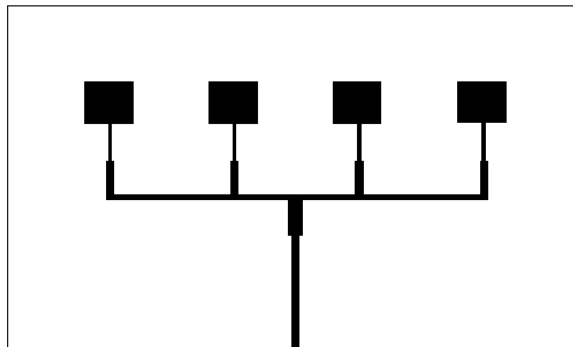
Algunos de los arreglos lineales empleados para la construcción de las antenas del presente proyecto se muestran a continuación:

Figura 16. Antena Microstrip No.1. Arreglo Lineal con Alimentación en Paralelo



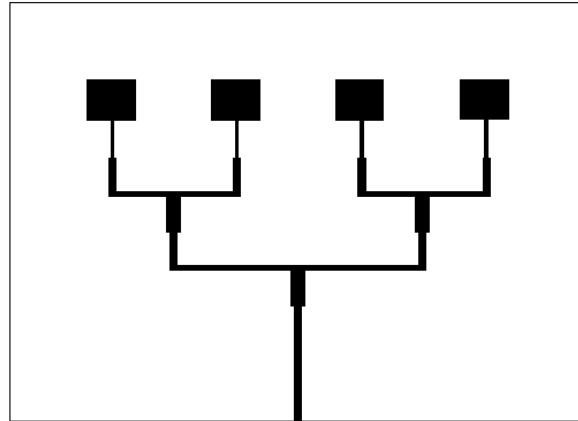
Fuente: ([26]EAGLE)

Figura 17. Antena Microstrip No.2. Arreglo Lineal con Alimentación en Paralelo



Fuente: ([26]EAGLE)

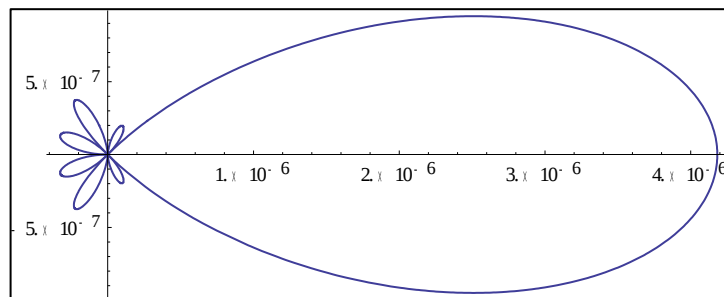
Figura 18. Antena Microstrip No.3. Arreglo lineal con Alimentación en Paralelo



Fuente:([26]EAGLE)

El patrón de radiación para un arreglo de cuatro parches rectangulares modelado en Mathematica 8 se muestra en la Figura 19.

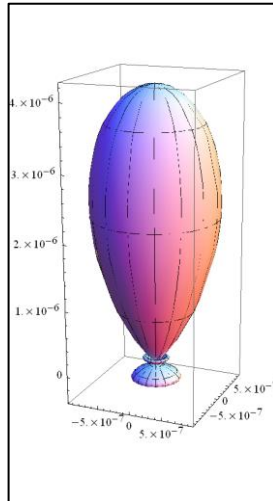
Figura 19. Patrón de Radiación para un arreglo lineal de parches rectangulares



Fuente: ([1] Wolfram)

La simulación generada por el arreglo se puede observar a continuación en la Figura 20.

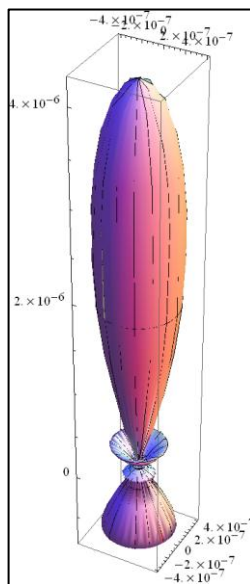
Figura 20. Simulación Patrón de Radiación para un Arreglo Lineal en Mathematica 8



Fuente: ([1] Wolfram)

Al simular diez parches en el arreglo, se puede observar que el lóbulo es más angosto y mucho más directivo, en la Figura 21 se puede ver mejor el comportamiento del patrón de radiación.

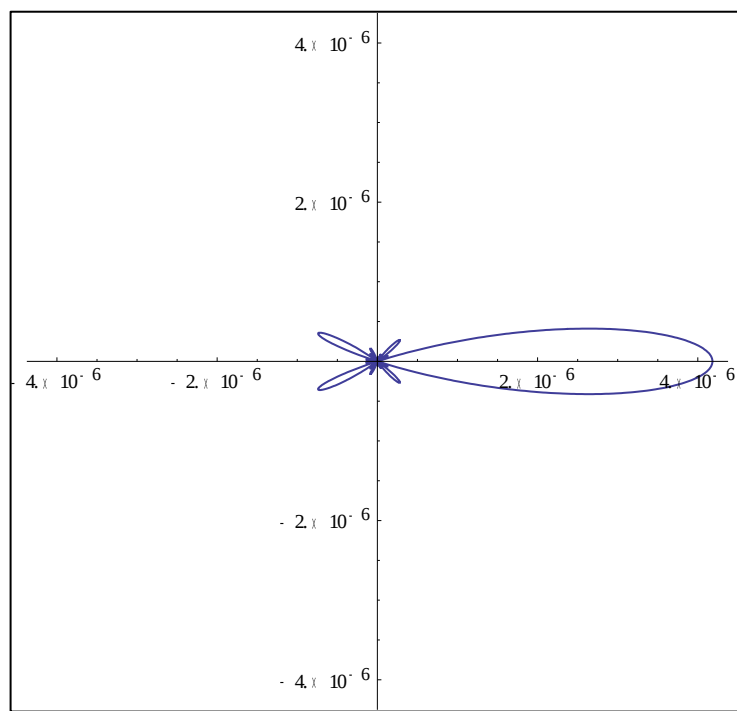
Figura 21. Patrón de Radiación para un arreglo de diez parches. Simulador de Mathematica 8



Fuente: ([1] Wolfram)

A continuación se puede observar el patrón en coordenadas polares:

Figura 22. Patrón de Radiación. Coordenadas Polares



Fuente: ([1] Wolfram)

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

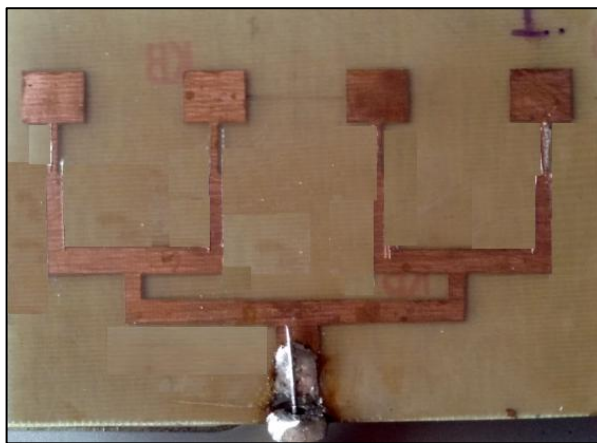
6.1 Análisis del Patrón de Radiación en los Arreglos lineales

El análisis de resultados de las antenas diseñadas en el presente documento se basó en la comparación de las mediciones hechas con el **LVDAM-ANT**. Y las medidas del Campo Eléctrico tomadas del simulador realizado en Mathematica 8.

6.1.1. Antena Microstrip de Arreglo Lineal Diseño No1.

En la Figura 23 se puede observar la Antena No1. A la cual se le realizaron mediciones con el **LVDAM-ANT** de Lab-Volt.

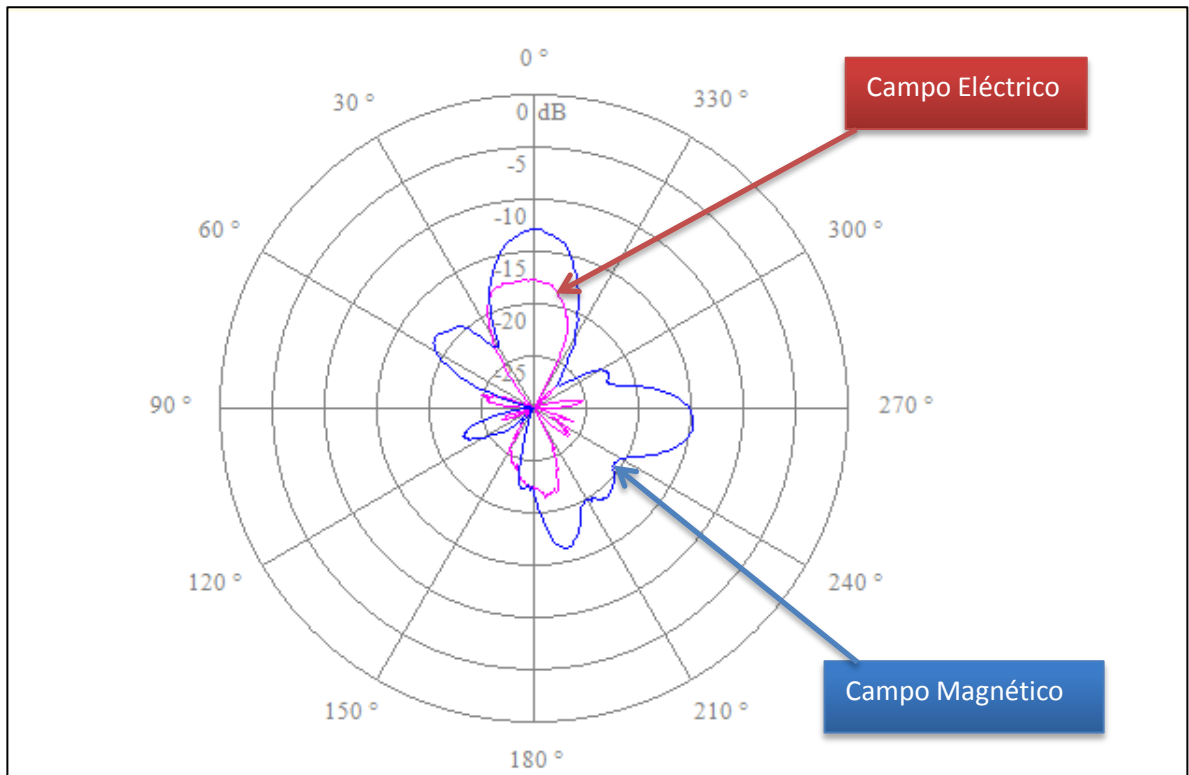
Figura 23. Antena No.1



Fuente: Autor

El patrón de Radiación efectuado por el Campo Eléctrico y el Campo Magnético de este Arreglo Lineal se puede observar en la Figura 24.

Figura 24. Patrón de Radiación Antena No1.

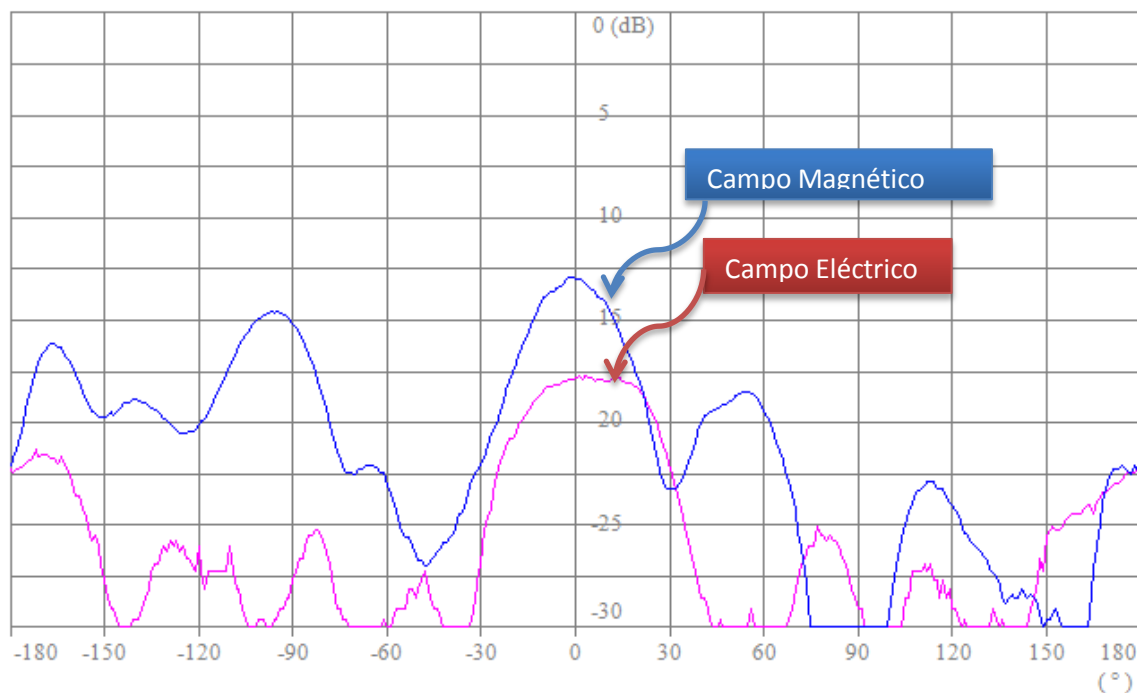


Fuente: ([27]LVDAM-ANT)

El lóbulo trasero que presenta el campo Eléctrico se debe al ruido generado por el cable de alimentación.

En la Figura 25. Se pueden apreciar los lóbulos principales del campo Eléctrico y el campo Magnético de la Antena.

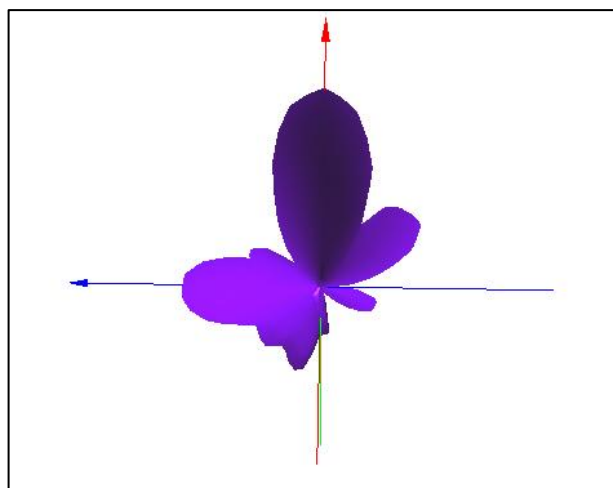
**Figura 25. Campo Eléctrico y Magnético en coordenadas cartesianas.
Antena No1.**



Fuente: ([27]LVDAM-ANT)

En la Figura 26 se puede observar el patrón de radiación en 3D.

Figura 26. Patrón de Radiación en 3D. Antena No1.



Fuente: ([27]LVDAM-ANT)

En la Tabla 5. Se pueden observar los valores del Campo Eléctrico medido por el LVDAM-ANTy el Simulador de Mathematica 8. Teniendo en cuenta que el patrón de radiación no es totalmente directivo. La toma de datos se dio en las regiones de 0 a 30 grados y 330 a 360 grados.

Tabla 5. Datos Tomados con el LVDAM-ANTVS el Patrón Simulado en Mathematica 8 y su respectivo Error. Antena No1.

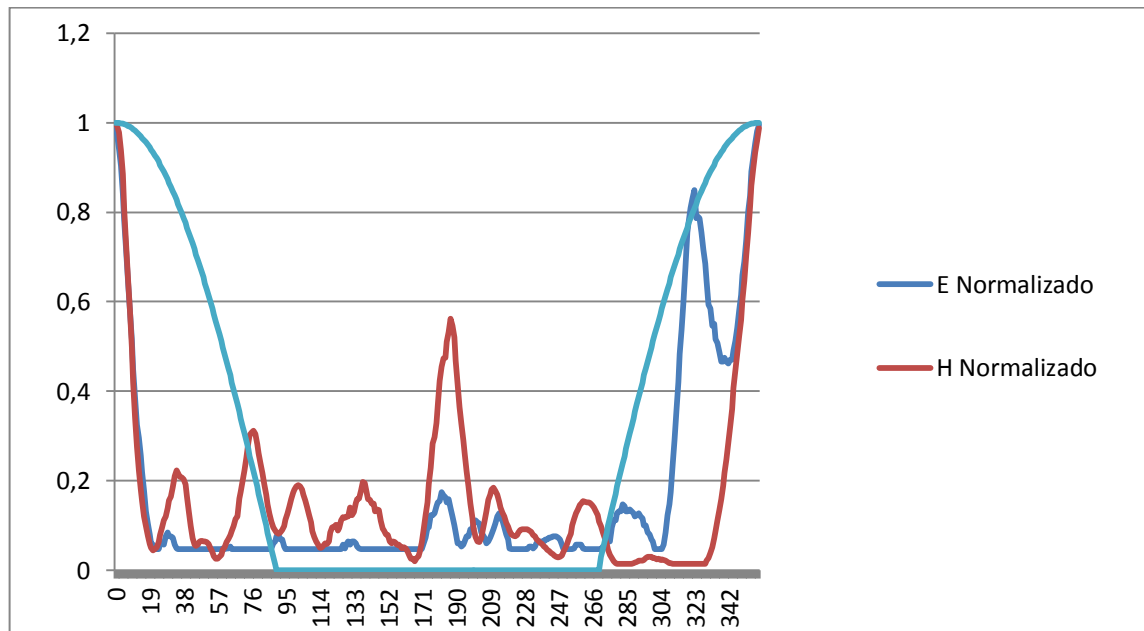
E Simulado	E LVDAM-ANT	Error %
1,000000	0,960777889	3,922211058
0,999761	0,970579245	2,918861469
0,999283	0,980385772	1,891043316
0,998565	1	0,143678161
0,997609	0,970579245	2,709434277
0,996174	1	0,38406145
0,994500	0,990191058	0,433301184
0,992587	0,980385772	1,229262832
0,990196	0,95097916	3,960520431
0,987566	0,960777889	2,712514926
0,984696	0,960777889	2,429015698
0,981588	0,941180672	4,116502542
0,978001	0,95097916	2,762962129
0,974175	0,95097916	2,381078818
0,970110	0,980385772	1,059238349
0,965806	0,990191058	2,524857731
0,961023	0,990191058	3,035058566
0,956002	0,941180672	1,550335902
0,950741	0,921592645	3,065884293
0,945242	0,931386631	1,465750258
0,939264	0,911802965	2,923625288
0,933286	0,892228312	4,399210858
0,926829	0,872663879	5,844160461
0,920134	0,814029231	11,53143862
0,913199	0,7847458	14,06632795
0,905787	0,726248085	19,82129119
0,898135	0,677571297	24,55795628
0,890483	0,628964306	29,36818665

0,882353	0,570731706	35,31707327
0,873984	0,512612273	41,34761898
0,865375	0,454616297	47,46600295
0,847202	0,082878522	90,21738693
0,856289	0,110874838	87,05170136
0,865375	0,120248869	86,10442747
0,873984	0,176825543	79,76786812
0,882353	0,205283007	76,73459258
0,890483	0,22430399	74,81097507
0,898135	0,272003192	69,71466061
0,905787	0,329468577	63,62625162
0,913199	0,387132828	57,60697862
0,920134	0,425669957	53,73825982
0,926829	0,454616297	50,94929429
0,933286	0,493265794	47,14738532
0,939264	0,493265794	47,48376907
0,945242	0,541656551	42,69649137
0,950741	0,580428862	38,94986161
0,956002	0,609541108	36,24059748
0,961023	0,648398498	32,53041757
0,965806	0,677571297	29,84394251
0,970110	0,706768199	27,14556059
0,974175	0,755485268	22,44871402
0,978001	0,7847458	19,76022163
0,981588	0,823796609	16,07509332
0,984696	0,853109936	13,36314348
0,987566	0,892228312	9,653782077
0,990196	0,892228312	9,893774445
0,992587	0,911802965	8,138761776
0,994500	0,911802965	8,315460479
0,996174	0,911802965	8,469515154
0,997609	0,941180672	5,656338192
0,998565	0,941180672	5,746705684
0,99928264	0,9539838	4,533135842
0,99976088	0,981553554	1,821168048
1	0,99538479	0,461521049

En la Figura 27. Se observan la gráfica de los Patrones tomados y simulados con su respectivo error.

El error generado por el Patrón simulado Vs el Patrón tomado por el LVDAM-ANTno es el esperado debido al ancho del lóbulo principal.

Figura 27. Grafica Patrón de Radiación del campo medido con el LVDAM-ANTy la simulación de Mathematica 8 con su respectivo Error Antena No1.

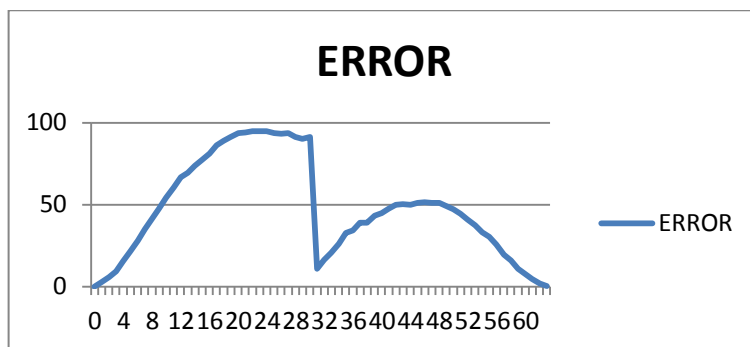


Fuente: Microsoft Excel

Se puede observar que el ruido generado por el cable de alimentación y las reflexiones causadas por los cables y los marcos metálicos de las ventanas en el laboratorio de comunicaciones (lugar en el cual se tomaron las mediciones) provocan picos en el Patrón de radiación que en teoría no deberían existir.

En la Figura 28 se observa el error medido para los ángulos de 0 a 30 y de 330 a 360 grados.

Figura 28. Error Antena 1

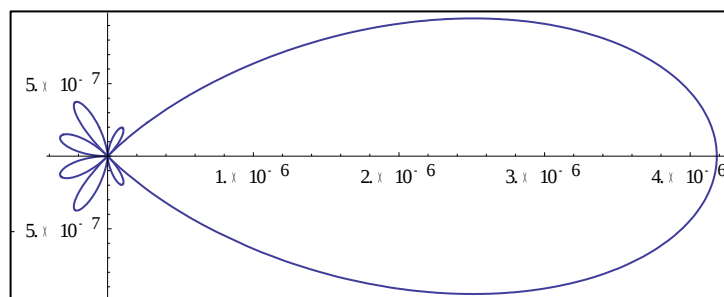


Fuente: Microsoft Excel

El Ancho de banda de 3 dB para esta antena es de 48 grados y de 10 dB de 71 grados.

Con las correcciones al patrón de radiación generado por la simulación mostrado en la Figura 29 se realizó el cálculo de nuevos datos del Error. Estos se muestran en la Tabla 6.

Figura 29. Patrón de Radiación Simulación de Mathematica 8. Lóbulo Principal más directivo.



Fuente:([1] Wolfram)

Tabla 6. Datos Simulados y Datos medidos por el LVDAM-ANT. Corrección en el Patrón de Radiación Antena No.1

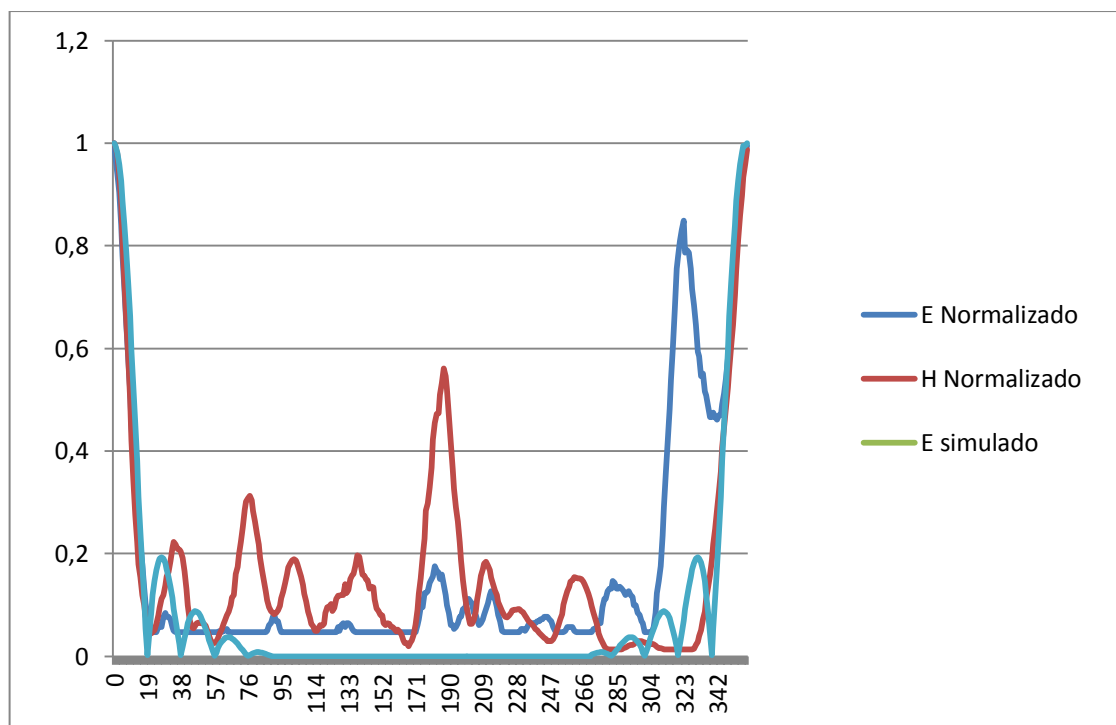
E Simulado	ELVDAM-ANT	Error %
1	0,960778	
0,995217599	0,970579	2,379881318
0,981348637	0,980386	2,346716225
0,958393113	1,000000	2,291822279
0,926829268	0,970579	2,216343102
0,887135342	1,000000	2,121422319
0,840028694	0,990191	2,008775365
0,786226686	0,980386	1,880117678
0,726924916	0,950979	1,738308315
0,662840746	0,960778	1,585062714
0,595169775	0,960778	1,423239933
0,524868484	0,941181	1,255127221
0,453371593	0,950979	1,084155449
0,381635581	0,950979	0,912611865
0,31061693	0,980386	0,742783718
0,241511239	0,990191	0,577530065
0,175274988	0,990191	0,419138156
0,112864658	0,941181	0,269895238
0,054997609	0,921593	0,131516748
0,00215208	0,931387	0,005146308
0,044715447	0,911803	0,106928834
0,085365854	0,892228	0,204136865
0,119560019	0,872664	0,285905973
0,147297944	0,814029	0,352236159
0,168101387	0,784746	0,401983798
0,182687709	0,726248	0,436864327
0,190817791	0,677571	0,456305933
0,193208991	0,628964	0,462024052
0,19010043	0,570732	0,454590497
0,182209469	0,512612	0,435720703
0,170014347	0,454616	0,406558293
0,19010043	0,059197	0,454590497
0,193208991	0,059197	0,462024052
0,190817791	0,064341	0,456305933

0,182687709	0,082879	0,436864327
0,168101387	0,110875	0,401983798
0,147297944	0,120249	0,352236159
0,119560019	0,176826	0,285905973
0,085365854	0,205283	0,204136865
0,044715447	0,224304	0,106928834
0,00215208	0,272003	0,005146308
0,054997609	0,329469	0,131516748
0,112864658	0,387133	0,269895238
0,175274988	0,425670	0,419138156
0,241511239	0,454616	0,577530065
0,31061693	0,493266	0,742783718
0,381635581	0,493266	0,912611865
0,453371593	0,541657	1,084155449
0,524868484	0,580429	1,255127221
0,595169775	0,609541	1,423239933
0,662840746	0,648398	1,585062714
0,726924916	0,677571	1,738308315
0,786226686	0,706768	1,880117678
0,840028694	0,755485	2,008775365
0,887135342	0,784746	2,121422319
0,926829268	0,823797	2,216343102
0,9492683	0,853110	2,291822279
0,958292683	0,892228	2,346716225
0,958393113	0,892228	2,379881318
0,981348637	0,911803	2,391317557
0,995217599	0,911803	2,379997938
1	0,911802965	2,391317557
0,995266367	0,941180672	0
1	0,941180672	2,391317557

Los datos de error obtenidos contrastan las pruebas para la Antena No1. El patrón simulado se aproxima más al patrón medido como se corrobora en la tabla 6, el error no supera el 3% para un ancho de 10 dB.

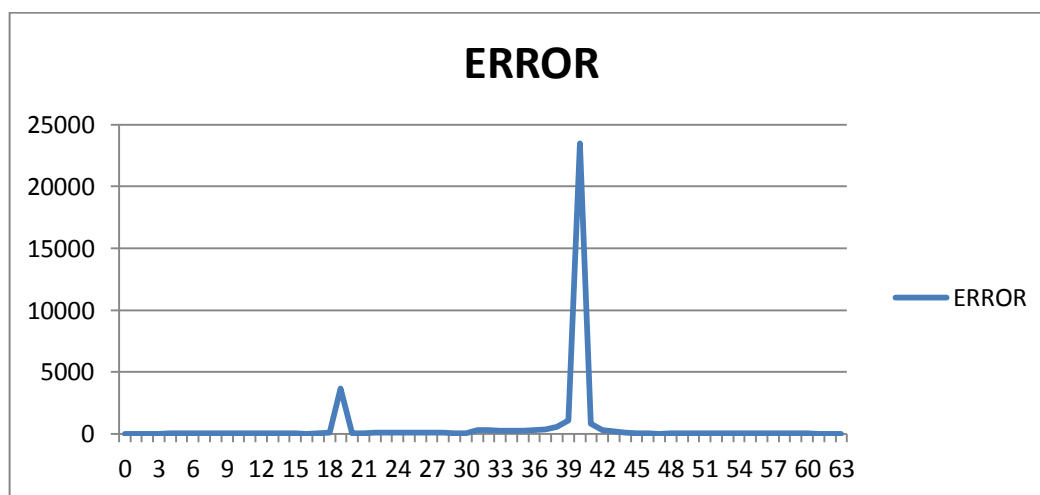
Las Figuras 30 y 31 muestran la simulación del Patrón de Radiación corregido vs los datos obtenidos en el LVDAM-ANT y su respectivo Error.

Figura 30. Grafica Patrón de Radiación del campo medido con el Lab-Volt y la simulación de Mathematica 8 corregido. Antena No1.



Fuente: Excel

Figura 31. Error corregido Antena No1.



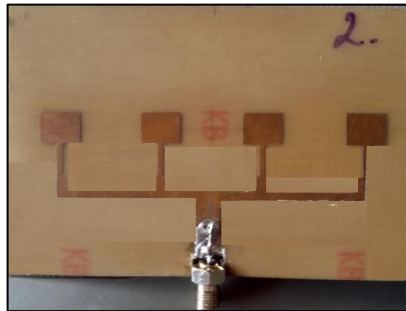
Fuente: Excel

Al observar la disminución del error contrastando los datos obtenidos y los datos del simulador, se comprueba la efectividad de este, teniendo en cuenta que el lóbulo comparado debe ser el de un arreglo lineal y dependiendo de los parches es más o menos directivo.

6.1.2 Arreglo Lineal de Antena Microstrip Diseño No2.

En la Figura 32 se puede observar la Antena No2. A la cual se le realizaron mediciones con el Laboratorio de Antenas **LVDAM-ANT**.

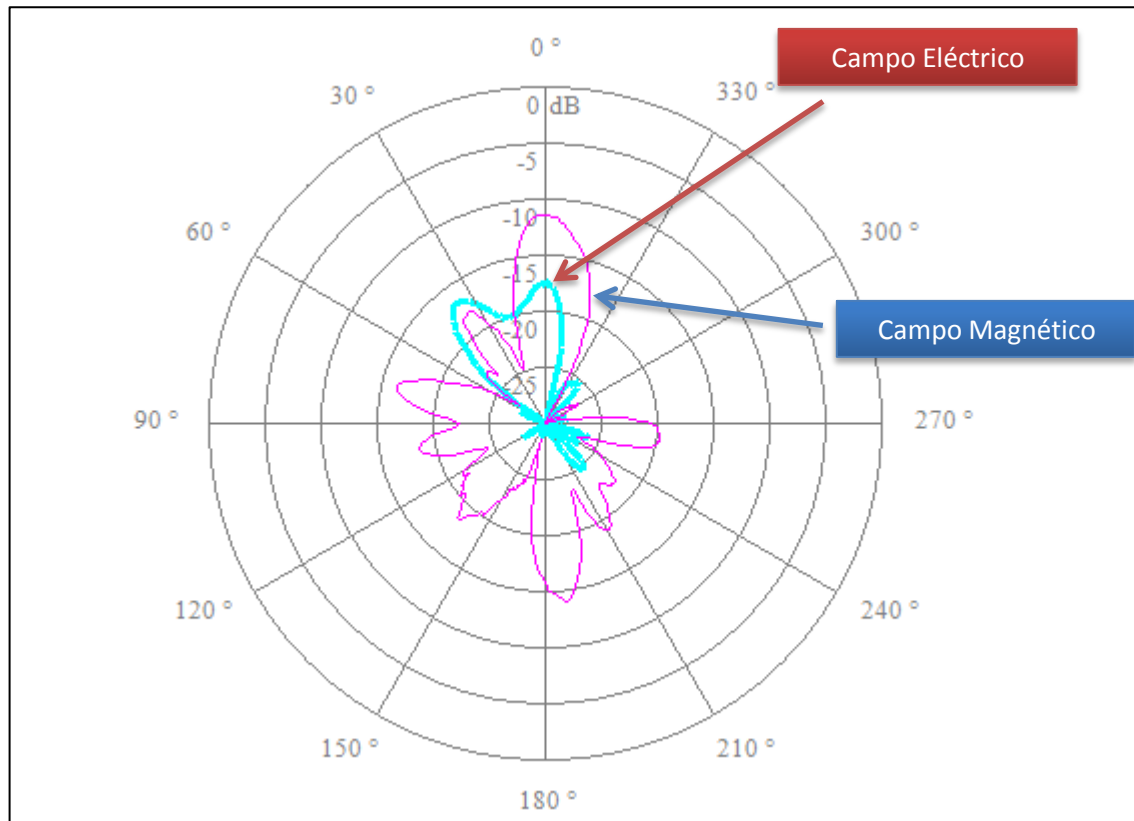
Figura 32. Antena No2.



Fuente: Autor

El diseño empleado para esta antena fue el de un Arreglo Lineal tipo Serie con alimentación en paralelo. La alimentación de $\frac{\lambda}{2}$ se mantuvo al igual que en el diseño anterior. En la Figura 33 se puede observar el patrón de radiación del Campo Eléctrico y el Campo Magnético.

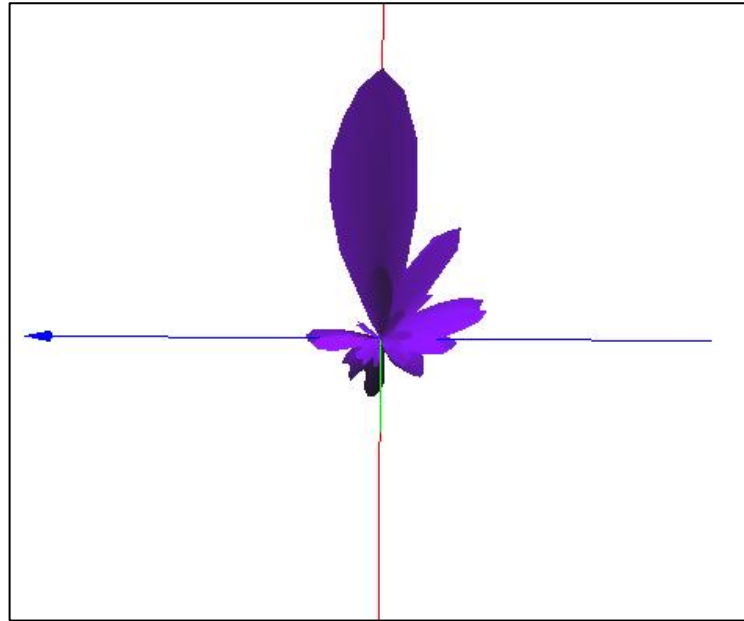
Figura 33. Patrón de Radiación Ante Microstrip No2.



Fuente: ([27]LVDAM-ANT)

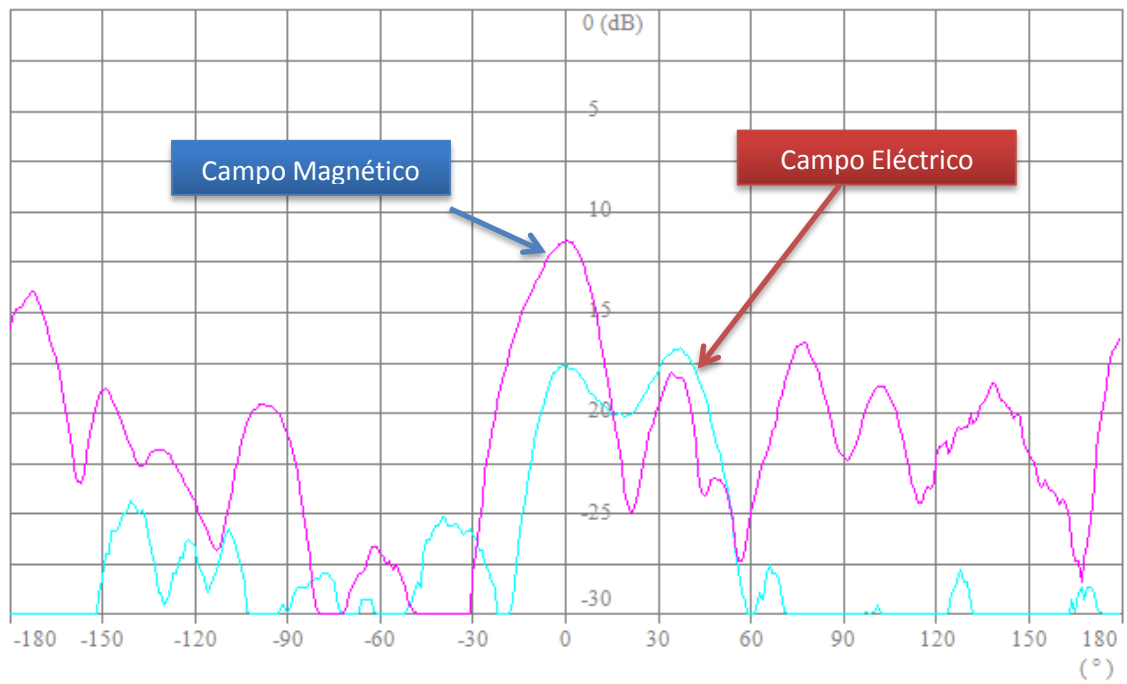
Observando la Figura 33 el patrón del Campo Eléctrico no es perfecto, como es la intención en el presente proyecto. Tiene buena potencia y excelente directividad. En las Figuras 34 y 35 se puede observar en 3D y en coordenadas cartesianas respectivamente.

Figura 34. Patrón de Radiación 3D Antena No2.



Fuente: ([27]LVDAM-ANT)

Figura 35. Patrón de Radiación. Coordenadas Cartesianas Antena No2.



Fuente: ([27]LVDAM-ANT)

Con el defecto que posee esta antena se realizaron los cálculos precisos para comprobar y definir si es de utilidad este tipo de arreglo o si se tiene algo por mejorar en el acople de impedancias y/o alimentación. En la Tabla 7. Se puede observar el valor de los datos tomados con el LVDAM-ANT contrastados con los obtenidos en la simulación y su respectivo Error.

Tabla 7. Datos Simulados y Datos medidos por el LVDAM-ANT. Corrección en el Patrón de Radiación Antena No.2.

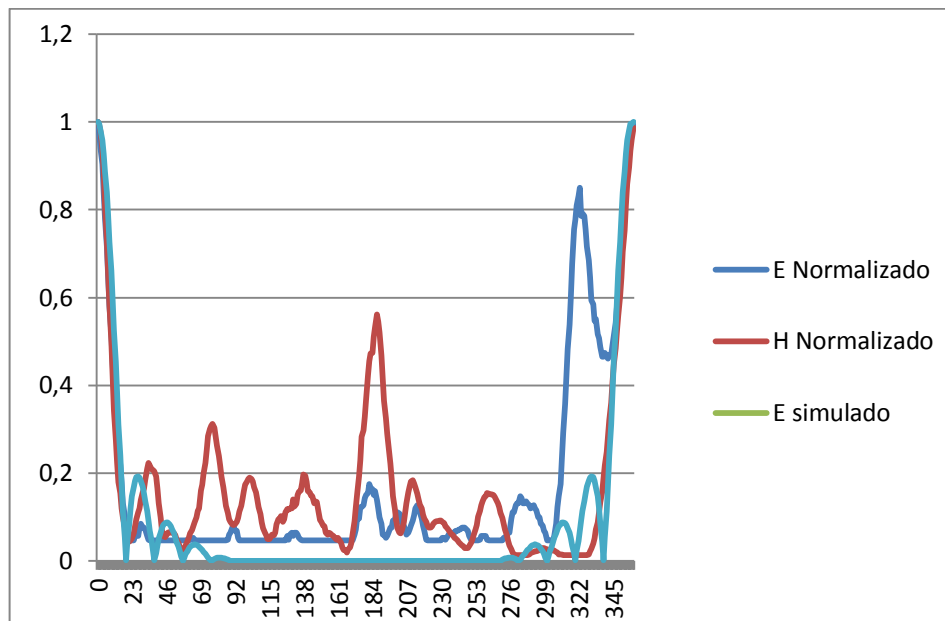
E Simulado	E LVDAM-ANT	Error %
1,000000	1	0
0,995218	0,972350854	2,297662861
0,981349	0,940244929	4,188491847
0,958393	0,903757678	5,700733283
0,926829	0,840428942	9,322140441
0,887135	0,78221835	11,82649215
0,840029	0,715764245	14,79288151
0,786227	0,645716672	17,87143784
0,726925	0,58082861	20,09785378
0,662841	0,516693502	22,04862099
0,595170	0,449107182	24,5413325
0,524868	0,386512906	26,36004679
0,453372	0,324650443	28,39197504
0,381636	0,296030187	22,43118775
0,310617	0,255414177	17,77197156
0,241511	0,219130081	9,267128684
0,175275	0,179110481	2,188271654
0,112865	0,131497047	16,50861238
0,054998	0,103933128	88,97754051
0,002152	0,080438507	3637,709282
0,044715	0,060964357	36,33847186
0,085366	0,057082765	33,13161837
0,119560	0,047730502	60,07820831
0,147298	0,047730502	67,59594831
0,168101	0,047730502	71,60612256
0,182688	0,057082765	68,75391068
0,190818	0,060964357	68,05100973
0,193209	0,057082765	70,4554304
0,190100	0,076535513	59,7394318

0,182209	0,084345322	53,70969342
0,170014	0,076535513	54,98290897
0,190100	0,755546155	297,4457889
0,193209	0,715764245	270,4611476
0,190818	0,685011717	258,9873434
0,182688	0,645716672	253,453812
0,168101	0,593745047	253,2065132
0,147298	0,585130855	297,2430579
0,119560	0,546529992	357,1176855
0,085366	0,55080516	545,2289015
0,044715	0,516693502	1055,514559
0,002152	0,508199227	23514,32407
0,054998	0,487020228	785,5298239
0,112865	0,465924985	312,8174338
0,175275	0,465924985	165,8251416
0,241511	0,474352288	96,41002671
0,310617	0,465924985	49,99986818
0,381636	0,461715017	20,98322064
0,453372	0,470137615	3,698075249
0,524868	0,470137615	10,42753956
0,595170	0,491249363	17,46063339
0,662841	0,512444693	22,68962096
0,726925	0,542256791	25,40401639
0,786227	0,58082861	26,12453634
0,840029	0,615341208	26,74759655
0,887135	0,658783935	25,74031223
0,926829	0,689394795	25,61793003
0,958393	0,737831173	23,01372342
0,981349	0,800068183	18,47258424
0,995218	0,83593017	16,00528659
0,995218	0,890131151	10,55914285
1,000000	0,921974692	7,802530785
0,99928264	0,9539838	4,533135842
0,99976088	0,981553554	1,821168048
1	0,99538479	0,461521049

El ancho de banda para 3 dB es de 55 grados y para 10 dB es de 72 grados.

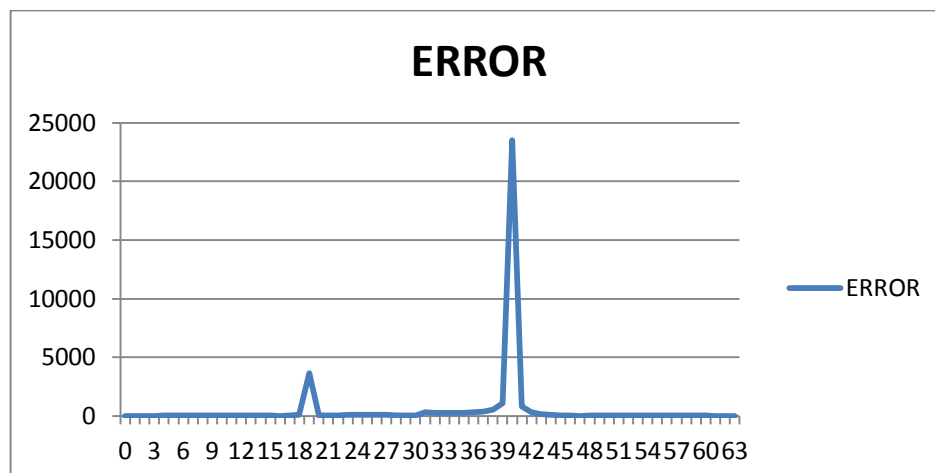
En las Figuras 36 y 37 se observan el comportamiento del Patrón Simulado en Mathematica 8 VS el Patrón obtenido del LVDAM-ANTy su respectivo Error.

Figura 36. Grafica Patrón de Radiación del campo medido con el LVDAM-ANTy la simulación de Mathematica 8 corregido. Antena No2.



Fuente: Excel

Figura 37. Error Antena No2.



Fuente: Excel

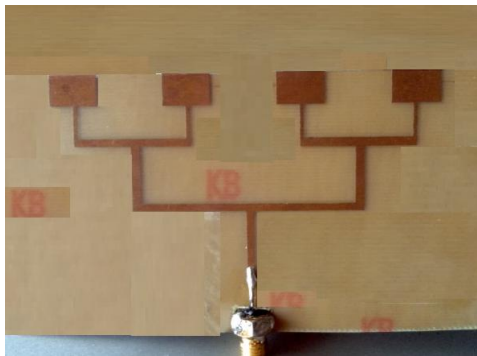
Como se puede observar en la Tabla 7 y en los gráficos anteriores, El error debido al patrón de radiación es muy grande ya que el LVDAM-ANT muestra una antena con un lobulo principal muy grande y partido en dos.

La antena no se descartó del todo, debido a que los valores de campo eléctrico tomados no son exactos. Los problemas con el cable de alimentación y las reflexiones ya antes mencionadas no arrojan datos precisos.

6.1.3 Arreglo Lineal de Antena Microstrip Diseño No3.

En la Figura 38 se puede observar la Antena Microstrip de Arreglo Lineal de Parches Rectangulares No3. Con acople y alimentación en paralelo.

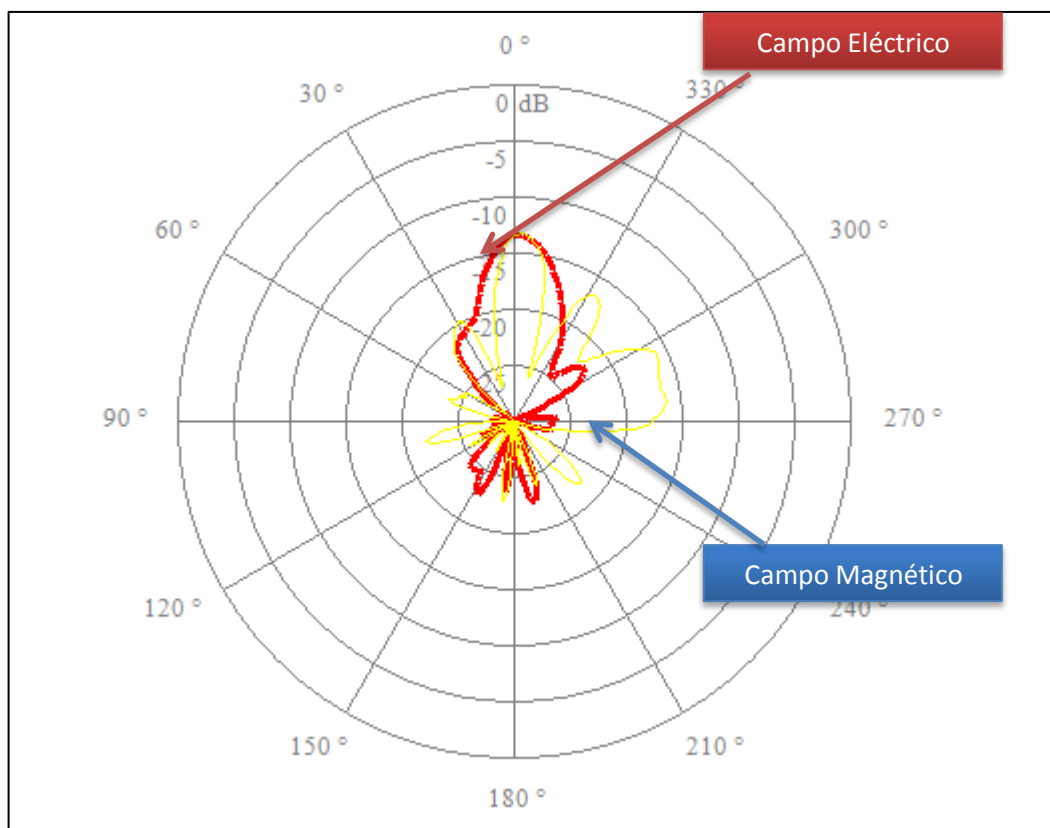
Figura 38. Antena Microstrip Diseño No.3.



Fuente: Autor

En la Figura 39 se puede observar la Antena No3. A la cual se le realizaron mediciones con el Laboratorio de Antenas **LVDAM-ANT**.

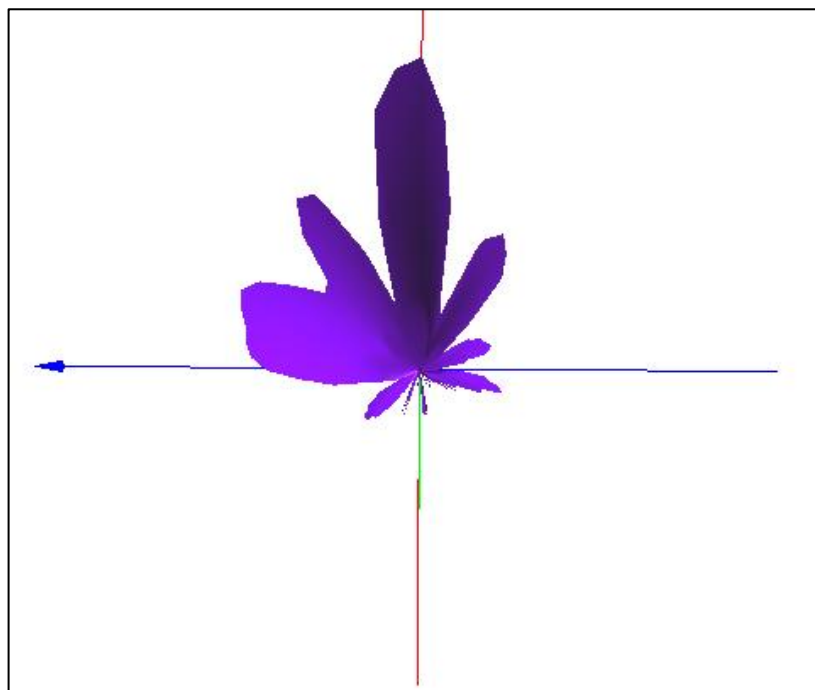
Figura 39. Patrón de Radiación Antena Microstrip Diseño No.3



Fuente: ([27]LVDAM-ANT)

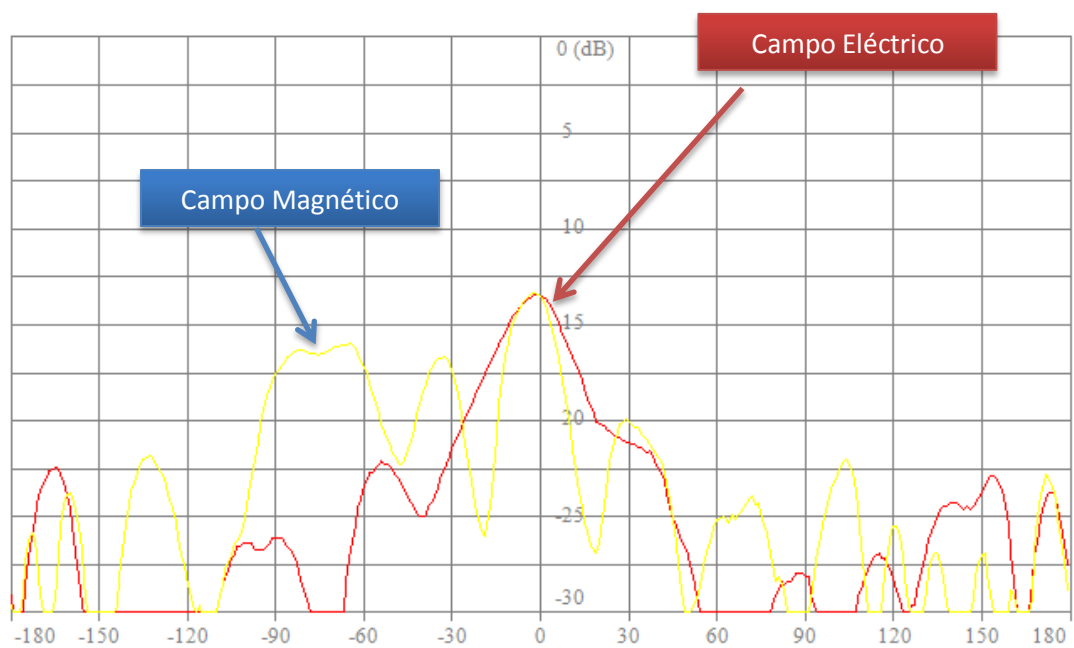
En las Figuras 40 y 41 se puede observar el patrón de radiación en 3D y coordenadas cartesianas respectivamente.

Figura 40. Patrón de radiación 3D Antena Microstrip Diseño No. 3



Fuente: ([27]LVDAM-ANT)

Figura 41. Patrón De Radiación coordenadas cartesianas Diseño No 3.



Fuente: ([27]LVDAM-ANT)

En la Tabla 8 se pueden observar los datos obtenidos del LVDAM-ANT con los adquiridos en el simulador de Mathematica 8.

Tabla 8. Datos Simulados y Datos medidos por el LVDAM-ANT. Corrección en el Patrón de Radiación Antena No.3

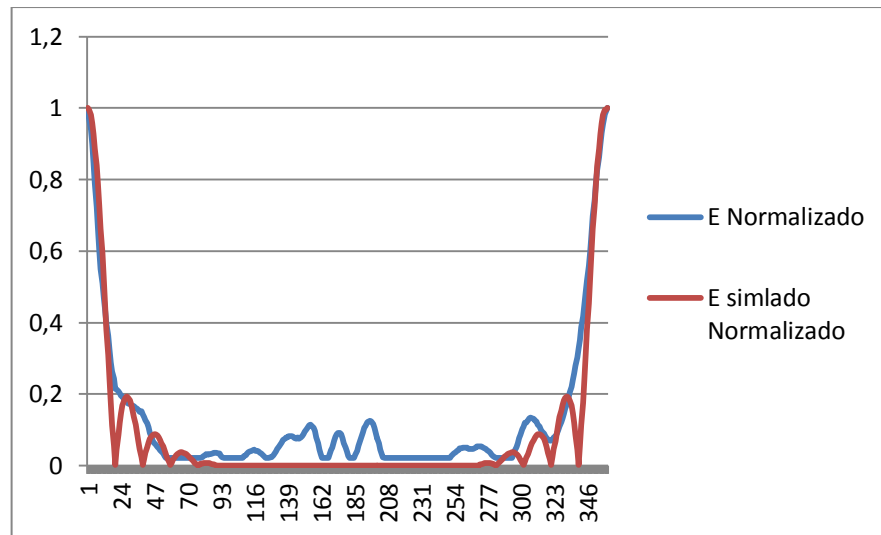
Grados	E Simulado	E LVDAM-ANT	Error (%)
0	1,000000	0,990387157	0,961284284
1	0,995218	0,971240983	2,409183267
2	0,981349	0,94035102	4,177681144
3	0,958393	0,900367894	6,054427871
4	0,926829	0,847022604	8,610719095
5	0,887135	0,790010748	9,94811458
6	0,840029	0,722931253	3,93969544
7	0,786227	0,661638853	5,84629919
8	0,726925	0,601611321	7,23886369
9	0,662841	0,549085531	7,16177157
10	0,595170	0,509838937	4,33722641
11	0,524868	0,471175825	10,22973568
12	0,453372	0,437074028	3,594747716
13	0,381636	0,399511238	4,683959671
14	0,310617	0,364460108	17,33427046
15	0,241511	0,324224628	34,24825666
16	0,175275	0,288429714	64,55839916
17	0,112865	0,264270082	134,1477721
18	0,054998	0,244037743	43,7242791
19	0,002152	0,214951262	88,068658
20	0,044715	0,01314689	6,6739537
21	0,085366	0,007742809	3,3558622
22	0,119560	0,202353164	9,24818659
23	0,147298	0,195188848	2,51294816
24	0,168101	0,193402017	5,05081605
25	0,182688	0,184489647	0,986348685
26	0,190818	0,182711549	2,248158047
27	0,193209	0,182711549	5,433205596
28	0,190100	0,173846519	8,55017056
29	0,182209	0,172077861	5,56041779

30	0,190100	0,159742692	15,96931578
331	0,193209	0,173846519	10,02151683
332	0,190818	0,188049854	1,450565365
333	0,182688	0,204148409	11,74720512
334	0,168101	0,160374327	1,09607932
335	0,147298	0,140379817	3,19292114
336	0,119560	0,258733105	6,4043688
337	0,085366	0,279105889	6,9526128
338	0,044715	0,303431036	8,5821352
339	0,002152	0,328026553	2,30049
340	0,054998	0,350970003	8,1550237
341	0,112865	0,387769815	3,5706289
342	0,175275	0,417231414	8,0438983
343	0,241511	0,451059672	6,76549993
344	0,310617	0,485352197	6,25426394
345	0,381636	0,51805277	5,74540621
346	0,453372	0,559510189	3,41095
347	0,524868	0,597372189	3,81368997
348	0,595170	0,64651261	8,626586366
349	0,662841	0,698700413	5,409997381
350	0,726925	0,742902808	2,198011312
351	0,786227	0,792271439	0,768830812
352	0,840029	0,826382287	1,624516765
353	0,887135	0,863167341	2,701729899
354	0,926829	0,898032388	3,107031822
355	0,958393	0,930899935	2,868674442
356	0,981349	0,954572679	2,728485822
357	0,995218	0,983195767	1,207960194
358	0,995218	0,992789099	0,244016985
359	1,000000	1	0

Al observar la Tabla anterior, en algunos grados se alcanza un error bastante grande. Esto se debe a la anchura del lóbulo principal.

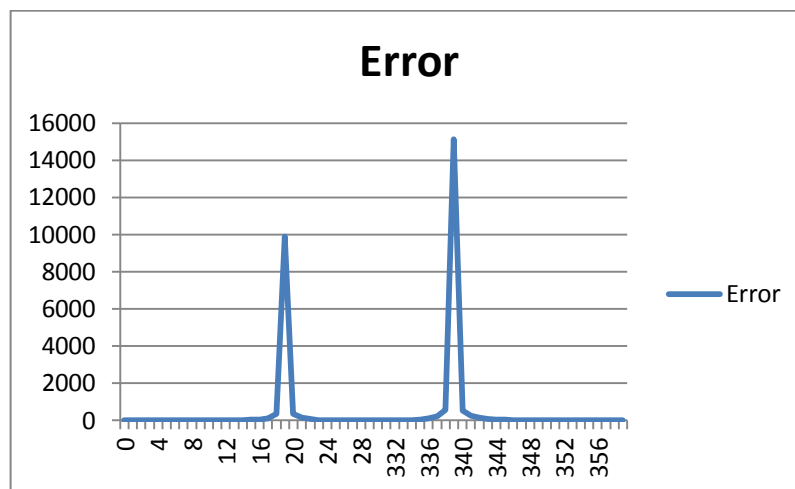
En las Figuras 42 y 43 se observan el comportamiento del Patrón Simulado en Mathematica 8 VS el Patrón obtenido del LVDAM-ANT y su respectivo Error.

Figura 42. Grafica Patrón de Radiación del campo medido con el LVDAM-ANT y la simulación de Mathematica 8. Antena No3.



Fuente: Excel

Figura 43. Error Antena No.3



Fuente: Excel

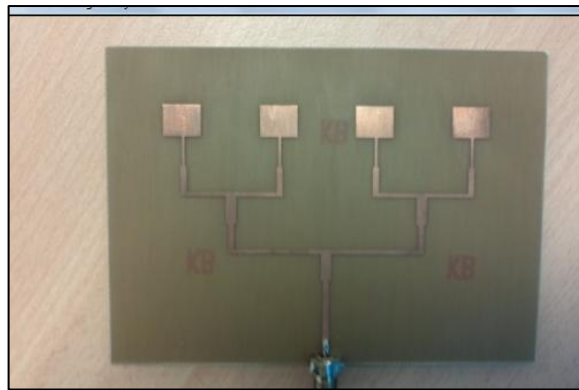
En algunos grados el error es muy grande, debido a la anchura del lóbulo principal. Se puede observar que el simulador aplicando el método de los momentos demostró eficiencia y aplicabilidad.

6.1.4 Arreglo Lineal de Antena Microstrip Diseño No4.

La antena No 4. Se realizó acoplando 35.35 ohmios entre la impedancia del parche y la línea de alimentación microstrip con el fin de evitar pérdidas al momento de tomar los datos con el kit del laboratorio de antenas. Obteniendo un patrón de radiación directivo y mejorar la potencia en la antena microstrip.

En la figura 44 se puede observar la antena No 4.

Figura 44. Antena Microstrip diseño No 4.

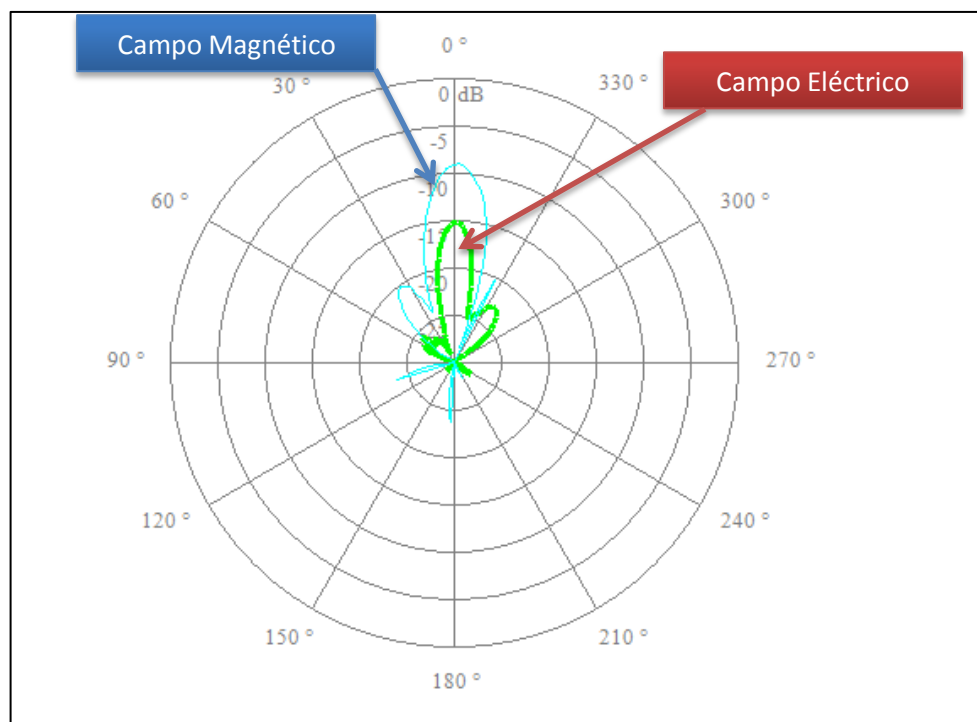


Fuente: Autor

Al contrastar los datos del simulador de Mathematica 8 y los arrojados por el LVDAM-ANT se puede observar el Error en la Tabla

En la Figura 45 se puede observar la Antena No3. A la cual se le realizaron mediciones con el Laboratorio de Antenas **LVDAM-ANT**.

Figura 45. Patrón de Radiación Antena Microstrip Diseño No.3



Fuente: ([27]LVDAM-ANT)

Tabla 9. Datos Simulados y Datos medidos por el LVDAM-ANT. Patrón de Radiación Antena No.4.

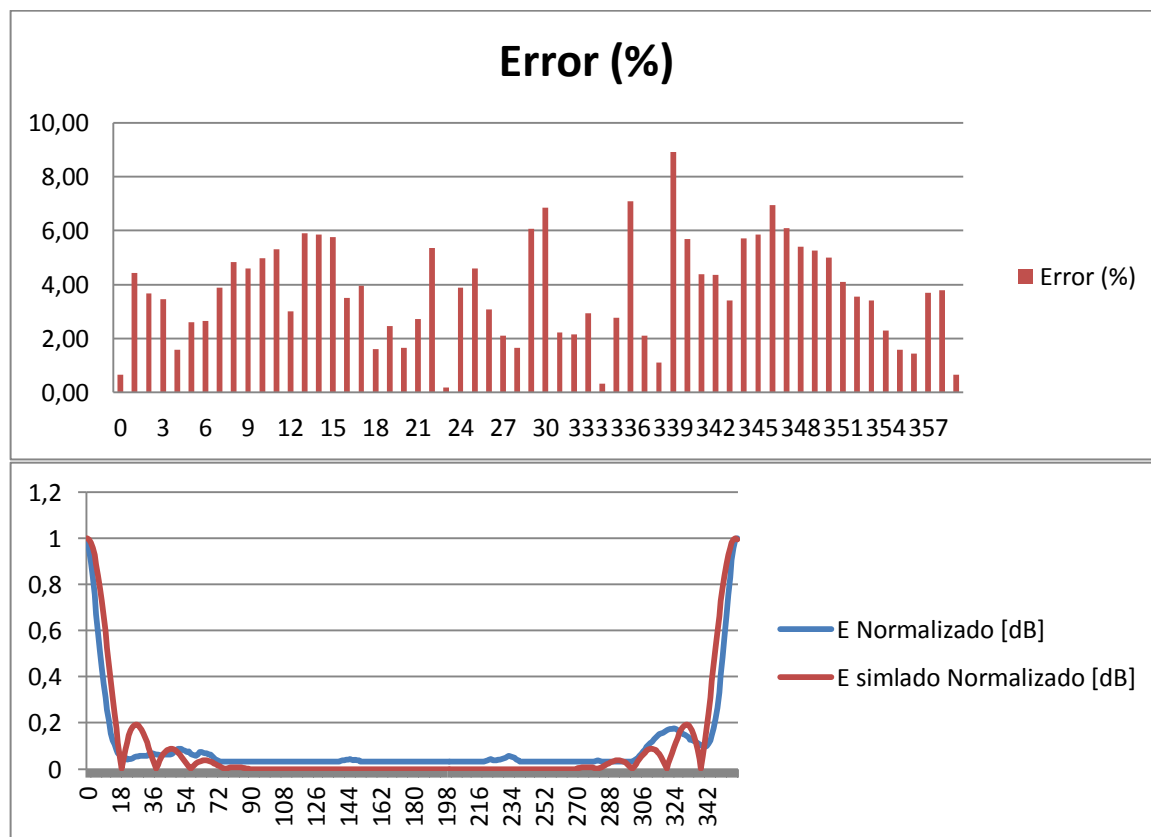
Grados	E Simulado [dB]	E Lab-volt [dB]	Error (%)
0	1	0,993439	0,66
1	0,995217599	0,951036	4,44
2	0,981348637	0,896208	3,68
3	0,958393113	0,829457	3,45
4	0,926829268	0,754491	1,59
5	0,887135342	0,668809	2,61
6	0,840028694	0,590960	2,65
7	0,786226686	0,511861	3,90
8	0,726924916	0,437364	4,83
9	0,662840746	0,367276	4,59
10	0,595169775	0,309563	4,99

11	0,524868484	0,255577	5,31
12	0,453371593	0,213067	3,00
13	0,381635581	0,152999	5,91
14	0,31061693	0,124697	5,85
15	0,241511239	0,106827	5,77
16	0,175274988	0,081488	3,51
17	0,112864658	0,068902	3,95
18	0,054997609	0,061378	1,60
19	0,00215208	0,063884	2,47
20	0,044715447	0,058875	1,67
21	0,085365854	0,048886	2,73
22	0,119560019	0,041422	5,35
23	0,147297944	0,043908	0,19
24	0,168101387	0,043908	3,88
25	0,182687709	0,046396	4,60
26	0,190817791	0,051380	3,07
27	0,193208991	0,053876	2,12
28	0,19010043	0,053876	1,66
29	0,182209469	0,056374	6,06
30	0,170014347	0,056374	6,84
331	0,19010043	0,147833	2,23
332	0,193208991	0,142676	2,15
333	0,190817791	0,137528	2,93
334	0,182687709	0,127259	0,34
335	0,168101387	0,129823	2,77
336	0,147297944	0,122138	7,08
337	0,119560019	0,117025	2,12
338	0,085365854	0,111922	1,11
339	0,044715447	0,106827	8,91
340	0,00215208	0,104283	5,70
341	0,054997609	0,099202	4,38
342	0,112864658	0,096665	4,35
343	0,175274988	0,099202	3,40
344	0,241511239	0,109373	5,71
345	0,31061693	0,124697	5,85
346	0,381635581	0,145254	6,94
347	0,453371593	0,176360	6,10
348	0,524868484	0,218348	5,40

349	0,595169775	0,266298	5,26
350	0,662840746	0,331424	5,00
351	0,726924916	0,406339	4,10
352	0,786226686	0,483014	3,57
353	0,840028694	0,576178	3,41
354	0,887135342	0,662763	2,29
355	0,926829268	0,754491	1,59
356	0,958393113	0,829457	1,45
357	0,981348637	0,905833	3,70
358	0,995217599	0,957531	3,79
359	1	0,993439	0,66

A continuación se muestran los gráficos de los datos tomados antes mencionados.

Figura 46. Gráfica del Error y Patrón de Radiación del campo medido con el LVDAM-ANT y la simulación de Mathematica 8. Antena No3.



Fuente: Excel

Se puede observar la eficiencia del simulador al contrastar datos de cada uno de los diseños y obtener un error que no supera el 10% en la mayoría de ángulos a los que se tomó el valor del campo eléctrico.

VII. INTERFAZ GRÁFICA EN EL SOFTWARE MATHEMATICA 8

7.1 INTRODUCCIÓN

El Software Mathematica es un programa utilizado en ingeniería, áreas científicas y computacionales y propiamente en matemáticas. Originalmente fue plasmada por Stephen Wolfram, llevando su apellido la compañía Wolfram Research ubicada en Illinois. Stephen continúa siendo el líder del grupo de programadores y matemáticos que cada día trabajan en el desarrollo del producto. Mathematica no es solo un sistema de álgebra computacional, como es considerado, sino también un poderoso lenguaje de programación de propósito general.

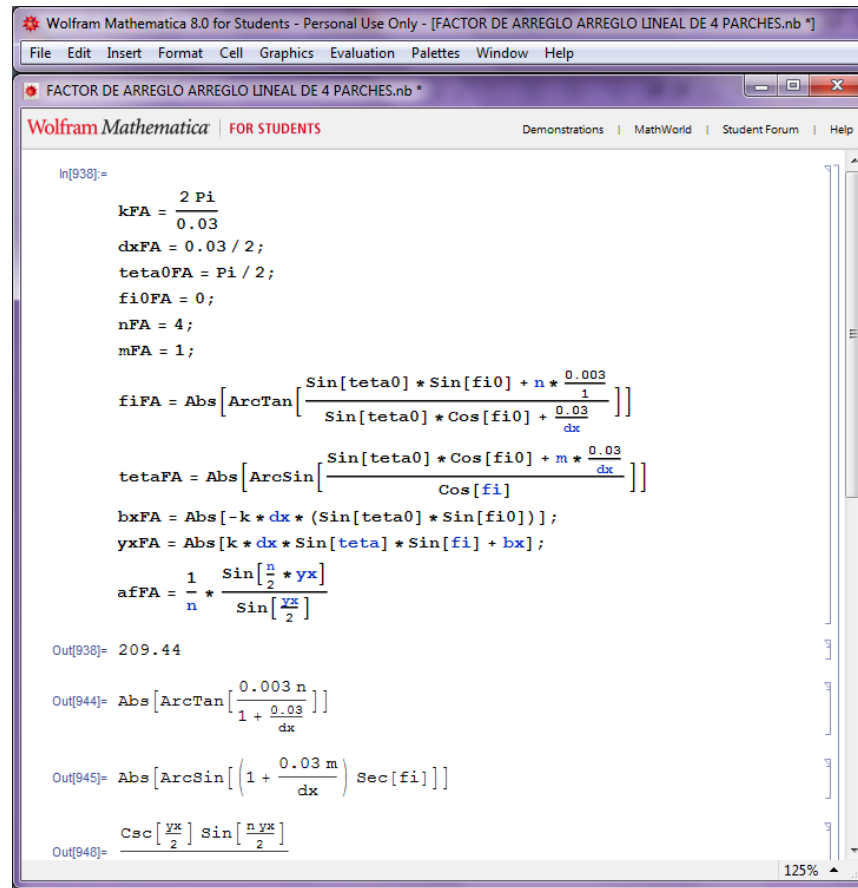
7.2 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

Realizando una descripción interna del programa, se encuentra que pueden distinguirse dos grandes partes. Una de ellas, llamada núcleo (*Kernel*), siendo esta la encargada de ejecutar todos los comandos y realizar los cálculos necesarios. La otra parte del programa es la interfaz del usuario (*Front-End*). El *Front-End* posee un espacio dinámico dónde pueden crearse diferentes clases de documentos interactivos, incluir texto, gráficos, botones, pestañas, colores, y dónde se incluirán todos los comandos a evaluar por el núcleo; a ese tipo de documentos se los denomina *Notebooks*. La manera de interactuar entre estas dos partes la dirige el usuario, dependiendo de la finalidad de su programa, ya que el núcleo no realiza ninguna acción hasta que el usuario no se lo indique pulsando simultáneamente las teclas *Shift* más *Enter*, teniendo en cuenta que si no quiere mostrarse el resultado deseado, la acción debe terminar con un “punto y coma”. Si lo que se pulsa es únicamente la tecla *Enter*, Mathematica lo asumirá como un cambio de línea dentro de la misma celda y la entrada no se evaluará. Una vez pulsado *Shift* más *Enter*, se evaluarán todos los *inputs* introducidos en la celda efectuada.

Una vez cargado el núcleo, se está en condiciones de interactuar con *Mathematica*. A una entrada (*input*) dado por el usuario, el programa arrojará una salida (*output*) asignado con el mismo número del input introducido; lo que permite al usuario citar en cualquier momento la entrada o la salida obtenida con su número respectivo cuántas veces se necesite a través del código empleado.

En la Figura No 47, se muestra el *Notebook*, donde se han realizado algunas operaciones sencillas. Con cada entrada (*input*) que se ha introducido, y una vez que se ha pulsado *Shift+Enter*, el núcleo muestra una salida(*output*)y todos ellos van enumerados consecutivamente; en el caso en que se coloque al final de una ecuación, o línea de código introducida, un “punto y coma”, no se mostrará la respuesta en el núcleo; aunque internamente la ejecute, no habrá una salida (*Output*) visible.

Figura 47. Notebook en Mathematica 8



Fuente: ([1] Wolfram)

Existen en el *Software Mathematica* muchos símbolos y abreviaciones de comandos que pueden utilizarse sin necesidad de hacer uso de las diferentes paletas (que se explicarán en párrafos siguientes). Por ejemplo, el símbolo % se utiliza para referirse a la salida (*output*) inmediatamente anterior; pueden usarse %, %, %, %, para la penúltimo, antepenúltimo, y así sucesivamente, o usar %n donde n es el número de la salida (*output*). También están las comillas "Texto" que permiten introducir texto dentro de un comando, obteniendo por ejemplo botones con algún nombre requerido o pantallas emergentes con un título asignado, dependiendo de la aplicación. Así mismo, pueden introducirse variables necesarias sin recurrir a la paleta, escribiendo el nombre de la variable, como por

ejemplo Theta, Zeta, pi, Curly Epsilon, Alpha... El usuario debe tener en cuenta que la mayoría de comandos comienzan con mayúscula y cuando el comando consta de dos palabras, aunque se escriban sin espacio entre ellas, cada una inicia con letra mayúscula.

Además, cada salida y entrada lleva una forma de corchete situado a la derecha de la pantalla demarcando lo que se designa como celdas (*Cell*). Esta diferenciación por celdas permitirá al usuario, entre muchas más cosas, cambiar su estilo y formato, suprimirlas sencillamente y aglomerarlas o dispersarlas por bloques de trabajo, según el usuario quiera trabajar en el núcleo. También conviene citar que los *inputs* pueden re-calcularse todas las veces que se desee, por si algún dato hace falta modificarse, no teniendo que volver a escribir o copiar y pegar la ecuación nuevamente. Se debe tener en cuenta que la nueva salida sustituirá a la antigua asignándole a ambos una nueva numeración.

Otro aspecto a resaltar, es que a la hora de escribir comandos, debe tenerse especial cuidado con:

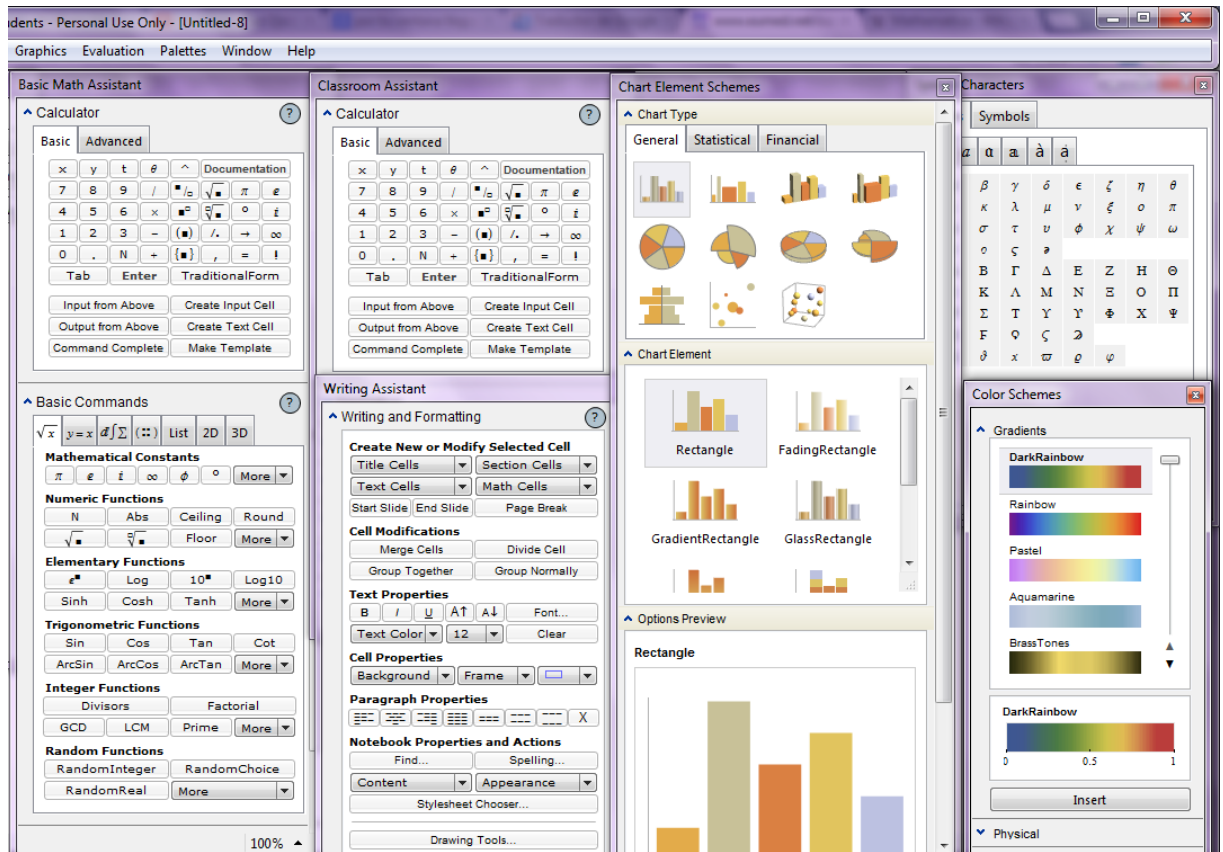
- Los espacios, ya que algún espacio entre una o más variables, el *Software Mathematica* lo traduce como un signo de multiplicación.
- Los paréntesis, corchetes y llaves, ya que estos cumplen funciones muy diferentes. Por ejemplo, los corchetes se utilizan únicamente en la descripción de funciones dónde demarcan su argumento; no debe hacerse uso de los corchetes como suele hacerse en matemática básica, utilizándolos como un segundo nivel de paréntesis. Por el contrario, éstos últimos se utilizan para designar prioridades en las operaciones a efectuar o para realizar agrupaciones necesarias para la correcta evaluación de algún comando introducido. Y las llaves, en última instancia, se utilizan para definir listas de componentes, como las vistas siempre en las matrices o vectores.

- Las mayúsculas y minúsculas, ya que para el *Software Mathematica* una letra mayúscula tiene diferente asignación para la misma letra minúscula. Y como se decía en párrafos anteriores, todas las variables, funciones, constantes y en general, comandos incorporados al programa empiezan con mayúscula, y si se compone de dos palabras al no llevar espacio entre ellas, cada una comienza con letra mayúscula, por ejemplo, LightBlue (azul claro), para darle color a alguna celda, botón u otro elemento.
- No dar un mismo nombre a dos variables, ecuaciones, o comandos, puesto que el *Software Mathematica* sobre-escribe la primera variable (el primer *Output*) con la segunda (el último *Output* arrojado con el mismo nombre).

Una de las novedades más importantes que se introdujo desde la versión 3.0 hasta la versión actual y que ha hecho más fácil y dócil el manejo del programa, es lo que se denominan paletas (*palettes*). Las paletas son pequeñas ventanas que se pueden activar (o desactivar) y que contienen algunas de las operaciones, órdenes e instrucciones más utilizadas por el usuario. Son básicamente diez paletas principales que contienen todo lo necesario para que la experiencia con el *Software Mathematica* sea fructífera y de fácil operación. Pero no solo le proporciona al usuario la facilidad de contar con ellas apenas las requiera, sino que además le ofrece la posibilidad de escribir, y por tanto resolver, de la misma forma que se escribe en un block de notas.

Se puede observar en la Figura No 48, lo enunciado anteriormente:

Figura 48. Toolbox en Mathematica 8

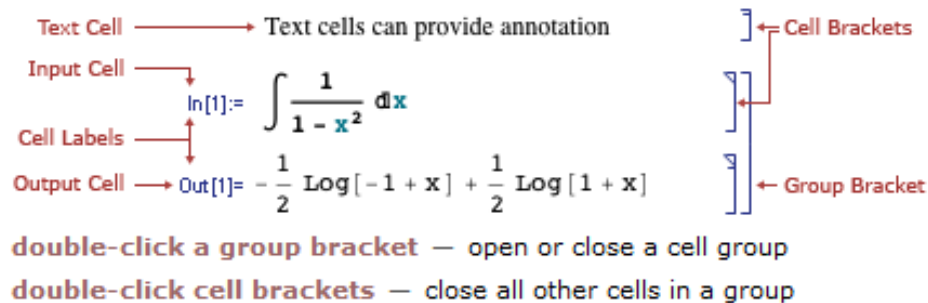


Fuente: ([1] Wolfram)

Se observan paletas como: Basic Math Assistant (asistente básico de mathematica), Classroom Assistant (asistente de clase), Writing Assistant (asistente de escritura), Basic Commands (comandos básicos), Characters (caracteres), Color Schemes (Esquemas de colores).

En la figura No 49 se muestran las celdas a utilizar con un ejemplo sencillo para mayor comprensión de las mismas.

Figura 49. Celdas empleadas en Mathematica 8



Fuente: ([1] Wolfram)

Además de todo lo descrito, el *Software Mathematica* cuenta con suficientes aplicaciones para que el usuario realice cualquier tarea que requiera, incluso sin necesidad de adquirir la versión completa del programa. Cuenta, por ejemplo, con aplicaciones de edición de documentos (.nb) dónde se pueden visualizar documentos de trabajo, y aunque no se podrán utilizar para realizar operación alguna y no contienen el núcleo del programa, son creados por la misma compañía (Wolfram Research, Inc.) y son un recurso muy útil para el usuario. En estas aplicaciones se pueden crear documentos como artículos o libros, para tal finalidad, *Mathematica* incorpora opciones de formato de texto, pudiendo así variar la fuente, el tamaño y estilo de la letra, justificación del texto, entre otras opciones.

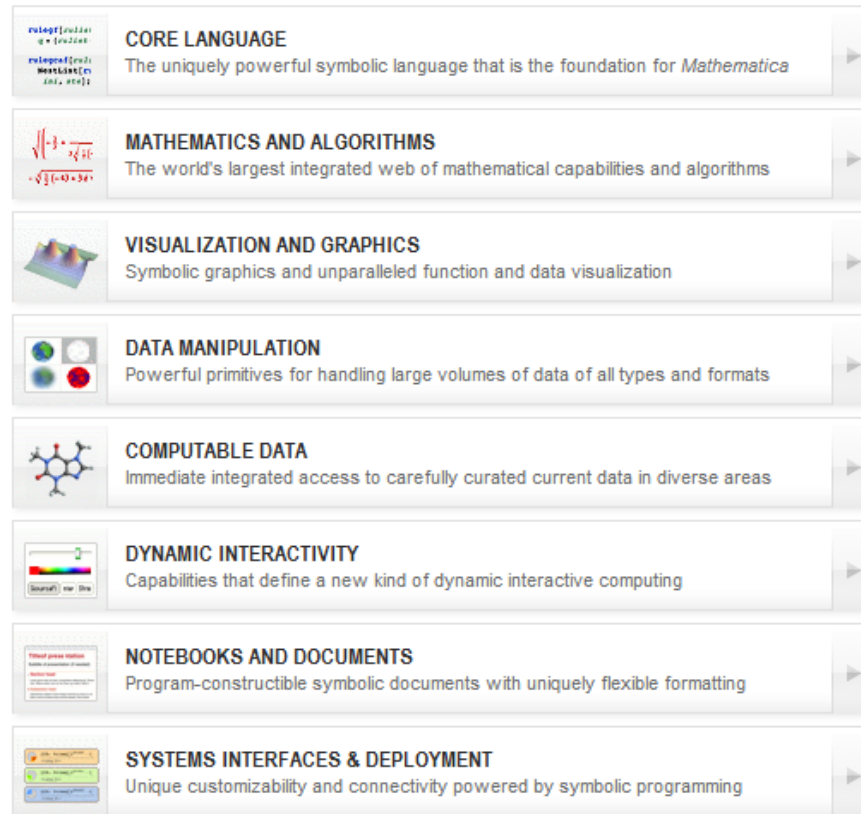
Para poder realizar esta edición de texto y recordando lo enunciado sobre los *Inputs* y *Outputs*. Conviene saber que el *Software Mathematica* distingue entre celdas de tipo *input*, *output*, celdas de texto, y otro tipo de celdas, como por ejemplo, poner título a un documento nuevo. Por esto, si se intenta escribir texto dentro de una celda de tipo *input*, el *Software Mathematica* tomará el texto como una ecuación e intentará evaluarlo, y sin comprender lo que debe hacer, el *Software Mathematica* arroja diferentes errores. Entonces, cuando se requiera escribir algún tipo de texto se debe dividir la celda en dos celdas distintas,

incluyendo así en la primera celda el texto, que puede ser modificable en color, tamaño y estilo, y en la segunda celda las operaciones y funciones requeridas, que aunque tienen un estilo por defecto, existen varios comandos para modificarlas al gusto del usuario. También es posible introducir texto dentro de un *input* o una celda evaluable empleando (*comentario*).

Para introducir el texto que describe las diferentes ecuaciones en la Interfaz Gráfica de Usuario del presente proyecto de grado, (encontrado en la pestaña ECUACIONES y en la pestaña ARREGLO) se insertó en un *input* y se le asignó una variable para utilizarla luego en un comando Column y poder imprimirla en dónde se requiere. Esto se puede observar en el código presentado en la siguiente sección.

Además de los programas de texto descritos, como se dijo, el *Software Mathematica* cuenta con muchas más aplicaciones, en la figura No 50 se presenta un menú básico de estas.

Figura 50. Help en Mathematica 8



Fuente: ([1] Wolfram)

Algo imprescindible a la hora de trabajar en cualquier tipo de programa, más si este utiliza lenguaje de programación, es la ayuda. En el *Software Mathematica* la ayuda es bastante completa; al abrir el programa, se puede encontrar dentro del menú *Help*, al desplegarse, las opciones *Help Browser* o *Master Index*, en los cuales puede encontrarse y acceder a gran cantidad de información, ejemplos, enlaces, correcciones, que pueden ser indispensables para ayudarle al usuario resolviendo dudas y como guía en sus proyectos.

A continuación se presenta un menú de las funciones de calculadora básicas de *Mathematica*:

En la figura No 51 se resumen algunas de las operaciones matriciales más usuales, como el cálculo del determinante, los auto-valores o valores propios, los auto-vectores o vectores propios, la inversa, entre otras.

Figura 51. Operaciones en Mathematica 8

Operación	Notación en Mathematica
Inversa	<code>Inverse[a]</code>
Determinante	<code>Det[a]</code>
Valores propios	<code>Eigenvalues[a]</code>
Vectores propios	<code>Eigenvectors[a]</code>
Polinomio característico	<code>CharacteristicPolynomial[a,x]</code>
Rango	<code>MatrixRank[a]</code>
Traspuesta	<code>Transpose[a]</code>
Traza	<code>Tr[a]</code>
Reducida por filas	<code>RowReduce[a]</code>
Matriz Diagonal	<code>DiagonalMatrix[{a11,a22,...}]</code>
Matriz Identidad nxn	<code>IdentityMatrix[n]</code>
Espacio nulo de a	<code>NullSpace[a]</code>

Fuente: ([1] Wolfram)

En la figura No 52 se ilustran algunas de las funciones con su respectiva sintaxis

Figura 52. Funciones en Mathematica 8

Función	Notación en Mathematica
$\sqrt{x}$	<code>Sqrt[x]</code>
e^x	<code>E^x</code> o bien <code>Exp[x]</code>
$\ln(x)$	<code>Log[x]</code>
$\log_a(x)$	<code>Log[a,x]</code>
$\text{sen}(x)$	<code>Sin[x]</code>
$\cos(x)$	<code>Cos[x]</code>
$\text{tg}(x)$	<code>Tan[x]</code>
$\text{cotg}(x)$	<code>Cot[x]</code>
$\sec(x)$	<code>Sec[x]</code>
$\text{cosec}(x)$	<code>Csc[x]</code>
$\arcsen(x)$	<code>ArcSin[x]</code>
$\text{sh}(x)$	<code>Sinh[x]</code>
$\text{arcsh}(x)$	<code>ArcSinh[x]</code>

Fuente: ([1] Wolfram)

La figura No 53 ilustra algunos de los comandos algebraicos utilizados

Figura 53. Comandos en Mathematica 8

Orden	Significado
Expand[x]	Forma expandida (efectúa sumas, productos, potencias...).
Factor[x]	Factoriza x (escribe x como producto de factores mínimos).
Together[x]	Escribe todos los términos de x con un denominador común.
Apart[x]	Separa x en términos con denominadores lo más simples posible.
Cancel[x]	Cancela factores comunes que posean numerador y denominador.
Simplify[x]	Simplifica x siguiendo reglas algebraicas estándar.
FullSimplify[x]	Simplifica x usando reglas algebraicas más potentes.
TrigExpand[x]	Expande expresiones trigonométricas en suma de términos.
TrigFactor[x]	Factoriza expresiones trigonométricas en producto de términos.

Fuente: ([1] Wolfram)

La figura No 54 representa algunos comandos necesarios para trabajar con vectores y matrices.

Figura 54. Vectores y Matrices en Mathematica 8

Table[<i>expr</i> , { <i>imax</i> }]	genera un vector con <i>imax</i> copias de <i>expr</i> .
Table[<i>expr</i> , { <i>i</i> , <i>imax</i> }]	genera un vector variando <i>expr</i> desde <i>i</i> =1 hasta <i>i</i> = <i>imax</i> .
Table[<i>expr</i> , { <i>i</i> , <i>imin</i> , <i>imax</i> }]	genera un vector variando <i>expr</i> desde <i>i</i> = <i>imin</i> hasta <i>i</i> = <i>imax</i> .
Table[<i>expr</i> , { <i>i</i> , <i>imin</i> , <i>imax</i> , <i>di</i> }]	genera un vector variando desde <i>imin</i> hasta <i>imax</i> con saltos <i>di</i> .

Operación	Notación en Mathematica
Inversa	Inverse[a]
Determinante	Det[a]
Valores propios	Eigenvalues[a]
Vectores propios	Eigenvectors[a]
Polinomio característico	CharacteristicPolynomial[a, x]
Rango	MatrixRank[a]
Traspuesta	Transpose[a]
Traza	Tr[a]
Reducida por filas	RowReduce[a]
Matriz Diagonal	DiagonalMatrix[{a11, a22, ...}]
Matriz Identidad nxn	IdentityMatrix[n]
Espacio nulo de a	NullSpace[a]

Fuente: ([1] Wolfram)

La figura No 55 para el cálculo de límites

Figura 55. Límites en Mathematica 8

<code>Limit[expr, x→x0]</code>	Límite de expr cuando x tiende a x0 .
<code>Limit[expr, x→x0, Direction→1]</code>	Límite lateral por la izquierda.
<code>Limit[expr, x→x0, Direction→-1]</code>	Límite lateral por la derecha.

Fuente: ([1] Wolfram)

La figura No 56 para la derivación, se pueden sacar los comandos de la respectiva paleta o escribiendo los comandos

Figura 56. Derivadas en Mathematica 8

<code>D[f[x], x]</code>	Derivada (o derivada parcial) de f con respecto a x .
<code>D[f[x], {x, n}]</code>	Derivada parcial n-ésima de f con respecto a x .
<code>D[f[x1, x2, ...], x1, x2, ...]</code>	Derivada parcial de f con respecto a x1, x2, ...

Fuente: ([1] Wolfram)

La figura No 57 para la integración

Figura 57. Integrales en Mathematica 8

<code>Integrate[f, x]</code>	para una primitiva de f con respecto a la variable x .
<code>Integrate[f, {x, xmin, xmax}]</code>	para la integral definida de f con respecto a x en el intervalo xmin y xmax .
<code>Integrate[f, {x, xmin, xmax}, {y, ymin, ymax}]</code>	para la integral múltiple (doble) de f con respecto a x e y (se verá más adelante).

Fuente: ([1] Wolfram)

7.3 DESARROLLO DE LA INTERFAZ

7.3.1 REPRESENTACIÓN GRÁFICA

- REPRESENTACIÓN GRÁFICA EN 2D

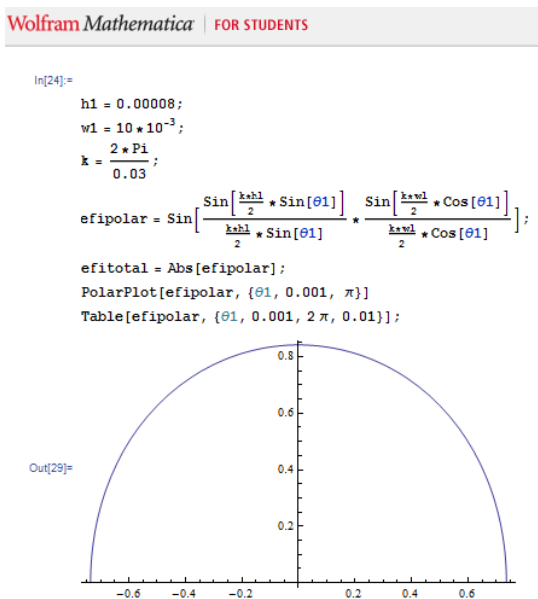
Para realizar representaciones gráficas en dos dimensiones de funciones se utiliza el comando **Plot[función,{x,xmin,xmax}]** donde x es la variable independiente y x_{min} x_{max} son los extremos del intervalo del dominio de la función que se va a representar.

- REPRESENTACIÓN GRÁFICA EN COORDENADAS POLARES

Para realizar la representación de diferentes funciones en coordenadas polares se utiliza el comando **PolarPlot[x[t],{t,tmin,tmax}]** donde $x[t]$ es la función y t es el ángulo.

La figura No 58 muestra un ejemplo de la representación desarrollada en el presente proyecto, donde se grafica en 2D una imagen en coordenadas polares.

Figura 58. Ejemplo No 1 en Mathematica 8



Fuente: ([1] Wolfram)

- **GRÁFICAS DE LISTAS DE DATOS**

Cuando el usuario necesita graficar datos obtenidos de una tabla, o del análisis de alguna ecuación, se utilizan las gráficas de listas de datos.

El análisis de la gráfica puede realizarse a través de esta representación, viendo cómo se dispone la nube de puntos de esta.

La figura No 59 muestra una lista de datos arrojados por *Mathematica*.

Figura 59 Lista de datos por Mathematica 8

Wolfram Mathematica | FOR STUDENTS | Demonstrations | MathiWor

```
a = {0.563018551710975`, 0.608399123056094`, 0.09442296084860297`, -0.5063690921807505`, -0.6416027165486469`,
-0.1869558467738035`, 0.4395843931001723`, 0.6619649408681771`, 0.27574644803541537`, -0.3640010059780592`,
-0.6690783690534405`, -0.35901752110970664`, 0.28113165982847654`, 0.662800671276975`, 0.4351023778330991`,
-0.1926349968633902`, -0.6432574554930505`, -0.502478247210757`, 0.10028237268089985`, 0.6108397605402773`,
0.5597967416141918`, -0.005922385812447746`, -0.5661962506042604`, -0.6059108197329881`, -0.08855615045105243`,
0.5102202635166834`, 0.6398977110669876`, 0.1812620477761601`, -0.44403196655310095`, -0.6610773490877873`,
-0.270339630444817`, 0.36895597048977685`, 0.6690259505453366`, 0.3540059063196781`, -0.2864948438934616`,
-0.6635844748580016`, -0.43058627187797605`, 0.19829905306626602`, 0.6448617982942254`, 0.49854803340098597`,
-0.10613392683329548`, -0.6132325410170569`, -0.556531072683476`, 0.011844307571612686`, 0.569329589380662`,
0.6033750454735493`, 0.08268240118310949`, -0.5140314595333153`, -0.6381425725914095`, -0.17555404599782945`,
0.44844474976534077`, 0.6601379654539546`, 0.26491163068126633`, -0.3738820264457257`, -0.6689211176346218`,
-0.34896655424817313`, 0.2918355800269444`, 0.6643162902221619`, 0.4260364290329577`, -0.20394757158737883`,
-0.6464156192936912`, -0.49457875863091494`, 0.11197716480735886`, 0.6155772770670024`, 0.5532218007248373`,
-0.017765301260605167`, -0.572418322602441`, -0.6007919988992392`, -0.07680217328380046`, 0.5178023816780555`,
0.636337438592179`, 0.16983228867992015`, -0.4528223970371759`, -0.6591468635413682`, -0.2594628740301939`,
0.3787787879130057`, 0.6687638785319616`, 0.3438998597098743`, -0.2971534497855435`, -0.6649960600522405`,
-0.42145320574055783`, 0.20958010985007106`, 0.6479187967902771`, 0.4905707338411227`, -0.11781162875682978`,
-0.617873785034385`, -0.5498691849607218`, 0.023684902935318965`, 0.5754622083266983`, 0.5981618823348659`,
0.07091592750022496`, -0.5215327345543217`, -0.6344824504557494`, -0.16409722414221461`, 0.45716456542278316`,
0.6581041209755086`, 0.2539937874045433`, -0.38364587125517996`, -0.6685542455525522`, -0.33880621966301694`,
0.3024480365187128`, 0.6656237311073792`, 0.41683696105974083`, -0.21519622653077605`, -0.649371213049633`,
-0.48652427300895723`, 0.1236368615235212`, 0.6201218850415315`, 0.5464734880097387`, -0.0296026487608158`,
-0.5784610081242954`, -0.5954849017927667`, -0.0650241250514242`, 0.5252222259446531`, 0.6325777534737127`,
0.15834930174801917`, -0.4614709147570785`, -0.6570098194265837`, -0.24850479931131175`, 0.38848289516232387`,
0.6682922351151592`, 0.33368603317829154`, -0.30771892540139345`, -0.6661992542272365`, -0.412188056637807`,
0.2207954815936158`, 0.650772754313427`, 0.4824396931239653`, -0.1294524066731678`, -0.6223214010028851`,
-0.5430349758661189`, 0.03551807504770123`, 0.5814144870984972`, 0.5927612669567026`, 0.05912722759221166`}
```

Fuente: ([1] Wolfram)

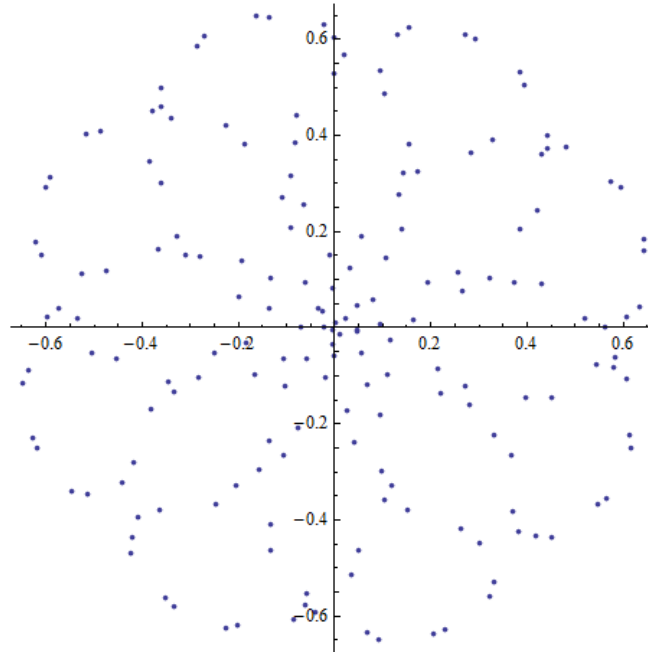
Teniendo en cuenta que los datos son tomados en coordenadas polares, se utiliza el comando **ListPolarPlot[a]** , siendo [a] los datos que desean graficarse.

La figura No 60 muestra la gráfica correspondiente a la tabla de datos de la figura anterior

Figura 60. Visualización de los datos en Mathematica 8

Wolfram Mathematica | FOR STUDENTS

```
ListPolarPlot[a]
```



Fuente: ([1] Wolfram)

Si se desean mostrar los puntos unidos por segmentos, se utiliza **ListPlot [tabla, PlotJoined → True]**; para agregarse las trazas de una malla para guiarse a la hora de mirar el valor de los datos, se utiliza **ListPlot [tabla, PlotJoined → True, GridLines → Automatic]**, existen otro tipo de comandos para personalizar la gráfica, como para hacerle saber a *Mathematica* el inicio de la gráfica, el final, la forma de centrado, entre otras.

- **GRÁFICAS EN COORDENADAS ESFÉRICAS**

Se realizan con el comando **SphericalPlot3D[]**. Las gráficas en 3D se enuncian a continuación.

- **GRÁFICAS EN 3D**

Las gráficas en 3D se realizan empleando el comando **Plot3D[f,{x,xmin,xmax},{y,ymin,ymax}]**. Al igual que con los comandos anteriores, puede agregarse otros comandos dentro de este para variar el color, poner texto, poner nombre a los ejes, rotar la gráfica, dibujar la malla, entre muchas opciones más. En la figura No 61 se muestran algunas opciones que se utilizan para realizar modificaciones a la gráfica en cuestión.

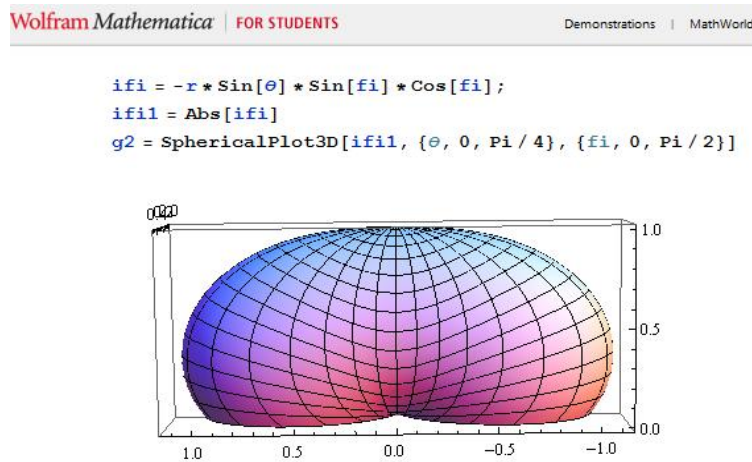
Figura 61. Modificación de Graficas en Mathematica 8

Opción	Valor por defecto	Descripción
Axes	True	incluye los ejes.
AxesLabel	None	etiqueta los ejes; <i>zlabel</i> etiqueta el eje z y <i>{xlabel, ylabel, zlabel}</i> etiqueta todos los ejes.
Boxed	True	encierra el gráfico 3D en una caja.
ColorFunction	Automatic	colores para ser usados; Hue [] usa una sucesión de tonos.
TextStyle	\$TextStyle	estilo por defecto para el texto.
FaceGrids	None	mallla sobre las caras de la caja; All dibuja una mallla en cada cara.
HiddenSurface	True	representa la superficie como un sólido.
Lighting	True	simula focos de luz sobre la superficie.
Mesh	True	mallla sobre la superficie.
PlotRange	Automatic	especifica un rango en las coordenadas; puede ser <i>All</i> , <i>{zmin, zmax}</i> o <i>{{xmin, xmax}, {ymin, ymax}, {zmin, zmax}}</i> .
Shading	True	colorea la superficie.
ViewPoint	{1.3, -2.4, 2}	punto en el espacio desde el que se ve la superficie.
PlotPoints	25	número de puntos en cada dirección a evaluar; <i>{nx,ny}</i> especifica números diferentes en cada eje.

Fuente: ([1] Wolfram)

La figura No 62 corresponde a una gráfica en 3D en coordenadas esféricas de un patrón de radiación.

Figura 62. Corriente aplicando el método de los momentos (MoM)



Fuente: ([1] Wolfram)

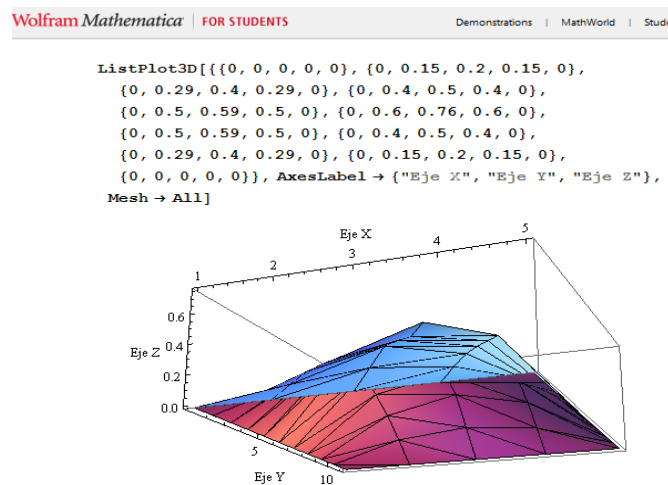
Cuando se tiene el gráfico en 3D, el usuario puede dar click sostenido sobre él para girarlo a su gusto, apreciando mejor todo el contorno de la figura.

- **GRÁFICA DE LISTADO DE DATOS EN 3D**

Se utiliza el comando **ListPlot3D[]**, se trabaja igual que el comando mencionado en el anterior enunciado de gráfica de listado de datos.

La figura No 63 corresponde a la gráfica en 3D de la tabla empleada para modelar la corriente de un parche.

Figura 63. Modelado de la Corriente con el método de los momentos



Fuente: ([1] Wolfram)

7.3.2 COMANDOS BÁSICOS UTILIZADOS

- `Table [ ]`: Con este comando es posible generar vectores, la figura No 64 ilustra la sintaxis con las diferentes posibilidades de este comando.

Figura 64. Generación de vectores en Mathematica 8

<code>Table[<i>expr</i>, {<i>imax</i>}]</code>	genera un vector con <i>imax</i> copias de <i>expr</i> .
<code>Table[<i>expr</i>, {<i>i</i>, <i>imax</i>}]</code>	genera un vector variando <i>expr</i> desde <i>i</i> =1 hasta <i>i</i> = <i>imax</i> .
<code>Table[<i>expr</i>, {<i>i</i>, <i>imin</i>, <i>imax</i>}]</code>	genera un vector variando <i>expr</i> desde <i>i</i> = <i>imin</i> hasta <i>i</i> = <i>imax</i> .
<code>Table[<i>expr</i>, {<i>i</i>, <i>imin</i>, <i>imax</i>, <i>di</i>}]</code>	genera un vector variando desde <i>imin</i> hasta <i>imax</i> con saltos <i>di</i> .

Fuente: ([1] Wolfram)

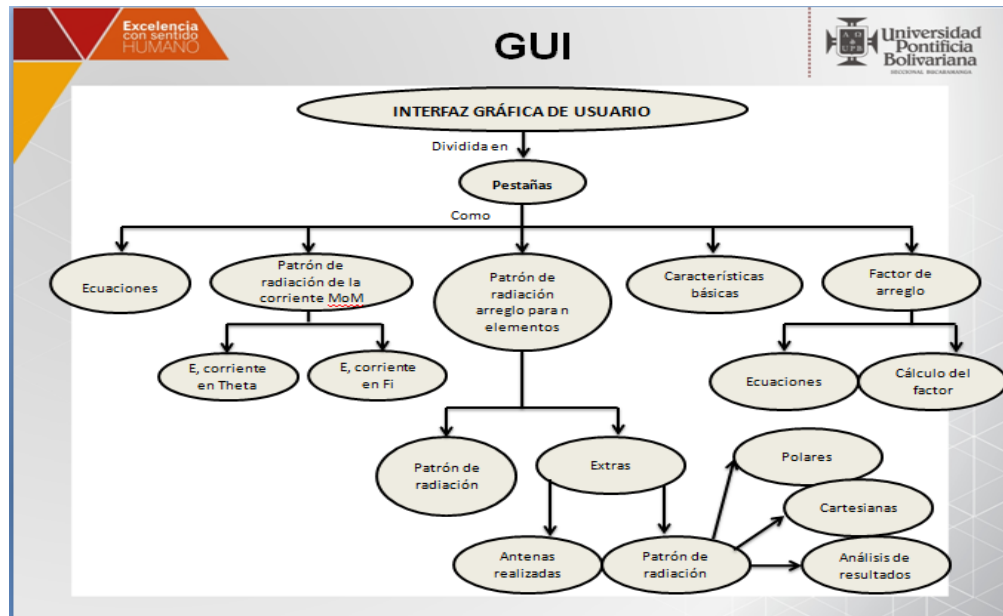
- `Background -> color` : especifica el color del fondo
- `ImageSize`: permite modificarle el tamaño a la imagen
- `CreateDocument`: como su nombre lo indica, permite crear un nuevo documento, por tanto, hace aparecer una nueva ventana emergente.
- `WindowSize->Ws`: con este comando se le asigna el tamaño a la ventana, siendo Ws cualquier tamaño requerido por el usuario. Se encuentra: Full, que pone la ventana en presentación a pantalla completa, Large, Medium, Small.

7.3.3 PROGRAMACIÓN DE LA INTERFAZ

- **Diseño**

El diseño de la interfaz creada, se muestra en el mapa de conceptos de la Figura 65 teniendo así una idea amplia de la programación que se explicará y desarrollará en esta sección.

Figura 65. Diseño de la Interfaz en Mathematica 8



Fuente: ([1] Wolfram)

La interfaz gráfica de usuario (GUI) se programa teniendo en cuenta todos los conceptos aportados en la sección anterior.

- **Pestaña Ecuaciones**

En primera instancia, se programa la pestaña de ECUACIONES, que es sin duda la más importante de la interfaz, debido a que contiene las ecuaciones y fórmulas necesarias para que el software Mathematica 8 realice los cálculos de los diseños que el usuario requiera y los todos los tipos de gráficos (en 3D, en coordenadas polares, en coordenadas cartesianas, etc). Así mismo, se muestran, con el fin de que el usuario pueda tener a su alcance las distintas fórmulas que requiere para desarrollar su diseño.

Para incluir dentro de la pestaña todo el texto necesario a visualizar, se realiza una lista de las ecuaciones en una sola celda y se le asigna un nombre a cada

ecuación, escribiéndola entre comillas y asignando con una flecha ($\rightarrow$). Esta lista de ecuaciones incluye a las variables aa, cc, ee, gg, ii, kkk, ll, mm, nnn, pp, rr, uu, vv, ww, yy. Se le asignan variables con estos nombres, para que no haya posibilidad de que en todo el código se le asigne igual nombre a otra variable y Mathematica llegue a sobre-escribir alguna de ellas.

Procediendo luego a incluir estas variables asignadas en una columna, con el comando “Column” para que quede lo más organizado posible; se puede decorar con colores, dejarle un contorno visible o dejarlo sin contorno, centrarlo, manejar a gusto el cuadro subiendo o bajando el ancho y el largo, etc.

El código realizado se presenta a continuación en la Figura 66:

Figura 66. Código en Mathematica 8

```
In[388]:=
aa = "FRECUENCIA DE TRABAJO "  $\rightarrow$  "(10*109)"; bb = "ESPESOR DEL DIELECTRICO "  $\rightarrow$  "(h=0.8*10-3)";
cc = "VELOCIDAD DE LA LUZ "  $\rightarrow$  "(c=300*106)"; dd = "PERDIDAS TANGENCIALES "  $\rightarrow$  "(h=δeff=1)";
ee = "LONGITUD DE ONDA EN EL VACIO "  $\rightarrow$  "(j=λ0=N[ $\frac{c}{f0}$ ])"; ff = "LONGITUD DE ONDA EN EL MEDIO "  $\rightarrow$  "(l=λd= $\frac{\lambda0}{\sqrt{er}}$ )";

gg = "k = CONSTANTE DE FASE "  $\rightarrow$  "( $\frac{2 * \text{Pi}}{0.03}$ )"; hh = "w = ANCHO DEL PARCHE "  $\rightarrow$  "(N[ $\frac{c}{2 * f0 * \sqrt{\frac{\text{permitividad} + 1}{2}}}$ ])";

ii = "ereff = "  $\rightarrow$  "( $(\frac{\text{permitividad} + 1}{2} + \frac{\text{permitividad} - 1}{2}) * (1 + (12 * \frac{h}{w})^2)^{-\frac{1}{2}}$ )"; jj = "l = "  $\rightarrow$  "(N[ $\frac{c}{2 * f0 * \sqrt{ereff}}$ ])";

kkk = "CAMPO ELÉCTRICO EN TETA = "  $\rightarrow$  "( $\frac{\text{Sin}[\frac{k111 * w111 * \text{Sin}[a] * \text{Sin}[fi]}{2}]}{\frac{(k111 * w111 * \text{Sin}[a] * \text{Sin}[fi])}{2}} * \text{Cos}[\frac{k111}{2} * l111] * \text{Sin}[a] * \text{Cos}[fi]$ )";

ll = "CAMPO ELÉCTRICO EN TETA TOTAL = "  $\rightarrow$  "(Abs[e111teta])";

mm = "CAMPO ELÉCTRICO EN FI = "  $\rightarrow$  "( $\frac{\text{Sin}[(k111 * w111 * \text{Sin}[p] * \text{Sin}[o]) / 2]}{(k111 * w111 * \text{Sin}[p] * \text{Sin}[o]) / 2} * \text{Cos}[(k111 * l111) / 2] * \text{Cos}[p] * \text{Sin}[p]$ )";

nnn = "CAMPO ELÉTRICO EN FI TOTAL = "  $\rightarrow$  "(Abs[e111fi])"; oo = "ESPESOR DEL DIELECTRICO = "  $\rightarrow$  "(0.00008)";

pp = "FRECUENCIA ANGULAR = w "  $\rightarrow$  "(10*10-3)"; qq = "efipolar = "  $\rightarrow$  "( $\text{Sin}[\frac{\frac{k * h1}{2} * \text{Sin}[\theta1]}{\frac{k * h1}{2} * \text{Sin}[\theta1]} * \frac{\text{Sin}[\frac{k * w1}{2} * \text{Cos}[\theta1]}{\frac{k * w1}{2} * \text{Cos}[\theta1]}]$ )");

rr = "efitotal = "  $\rightarrow$  "(Abs[efipolar])"; ss = "z = "  $\rightarrow$  "( $\frac{\text{Sin}[x]}{x}$ )"; tt = "r = "  $\rightarrow$  "( 1 )";

uu = "sinc1 = "  $\rightarrow$  "(Plot3D[z,{x,0,20},{y,0,20}])";

vv = "ir = "  $\rightarrow$  "( $r * \text{Sin}[\theta \text{mom}]^2 * \text{Cos}[\theta \text{mom}] + \frac{\text{Sin}[r * \text{Sin}[\theta \text{mom}] * \text{Cos}[f \text{mom}]]}{r * \text{Sin}[\theta \text{mom}] * \text{Cos}[f \text{mom}]} * \text{Cos}[f]$ )";

ww = "CORRIENTE EN TETA = "  $\rightarrow$  "( $r * \text{Sin}[m] * \text{Cos}[n] * \text{Cos}[n]^2 - \frac{\text{Sin}[r * \text{Sin}[m * \text{Cos}[n]]]}{r * \text{Cos}[n]}$ )"; xx = "itetal = "  $\rightarrow$  "(Abs[iteta])";

yy = "CORRIENTE EN FI = "  $\rightarrow$  "( $-r * \text{Sin}[f] * \text{Sin}[g] * \text{Cos}[g]$ )"; zz = "ifil = "  $\rightarrow$  "(Abs[ifi])"; aaa = "irl = "  $\rightarrow$  "(Abs[ir])";
```

Fuente: ([1] Wolfram)

Para imprimir las variables asignadas, ya organizadas y con los colores escogidos por el programador, se ejecuta el siguiente código mostrado en la Figura 67.

Figura 67. Código en Mathematica 8 para la interfaz grafica

```
In[401]:=
Text[Grid[{{Column[{aa, bb, cc, dd, ee, ff, gg, hh, ii, jj, kkk, ll}, Center,
  ItemSize -> {36, 3}, Frame -> True, Background -> {{LightYellow, LightBlue}},
  FrameStyle -> Directive[Black, Thick, Dashed]],
Column[{mm, nnn, oo, pp, qq, rr, ss, tt, uu, vv, ww, xx, yy, zz, aaa}, Center,
  ItemSize -> {36, 2.4}, Frame -> True, Background -> {{LightYellow, LightBlue}},
  FrameStyle -> Directive[Black, Thick, Dashed]]}]]]
```

Fuente: ([1] Wolfram)

Obteniendo como resultado lo observado en la Figura 68 con el nombre de Out[401].

Figura 68. Pestaña de ecuaciones en Mathematica 8

FRECUENCIA DE TRABAJO $\rightarrow (10 \cdot 10^9)$	CAMPO ELÉCTRICO EN FI $\rightarrow$ $\left(\frac{\sin[k_{111} \cdot w_{111} \cdot \sin[p] \cdot \sin[q]/2]}{(k_{111} \cdot w_{111} \cdot \sin[p] \cdot \sin[q]/2)} \cdot \cos[(k_{111} \cdot l_{111})/2] \cdot \cos[p] \cdot \sin[p] \right)$
ESPESOR DEL DIELECTRICO $\rightarrow (h=0.8 \cdot 10^{-3})$	CAMPO ELÉCTRICO EN FI TOTAL $\rightarrow (Abs[e_{111fi}])$
VELOCIDAD DE LA LUZ $\rightarrow (c=300 \cdot 10^6)$	ESPESOR DEL DIELECTRICO $\rightarrow (0.00008)$
PERDIDAS TANGENCIALES $\rightarrow (h=\delta_{eff}=1)$	FRECUENCIA ANGULAR $\omega \rightarrow (10 \cdot 10^{-3})$
LONGITUD DE ONDA EN EL VACIO $\rightarrow (j=\lambda_0=N[\frac{c}{f}])$	$efipolar \rightarrow \left(\sin\left[\frac{k \cdot h}{2} \cdot \sin[\theta_1]\right] \cdot \sin\left[\frac{k \cdot w}{2} \cdot \cos[\theta_1]\right] \right)$
LONGITUD DE ONDA EN EL MEDIO $\rightarrow (l=\lambda_d=\frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}})$	$efitotal \rightarrow (Abs[efipolar])$
$k = \text{CONSTANTE DE FASE} \rightarrow (\frac{2 \cdot \pi}{0.03})$	$z \rightarrow \left(\frac{\sin[h]}{x} \right)$
$w = \text{ANCHO DEL PARCHE} \rightarrow (N[\frac{c}{2 \cdot \pi \sqrt{\frac{\text{permutividad}-1}{2}}}])$	$r \rightarrow (1)$
$\epsilon_{eff} \rightarrow \left(\left(\frac{\text{permutividad}-1}{2} + \frac{\text{permutividad}-1}{2} \right) \cdot \left(1 + \left(12 \cdot \frac{h}{w} \right) \right)^{-1} \right)$	$\sincl \rightarrow (Plot3D[z, \{x, 0, 20\}, \{y, 0, 20\}])$
$l \rightarrow (N[\frac{c}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}}}])$	$ir \rightarrow (r \cdot \sin[\theta_{mom}]^2 \cdot \cos[\theta_{mom}]^2 + \frac{\sin[r \cdot \sin[\theta_{mom}] \cdot \cos[\theta_{mom}]]}{r \cdot \sin[\theta_{mom}] \cdot \cos[\theta_{mom}]} \cdot \cos[f])$
CAMPO ELÉCTRICO EN TETA $\rightarrow$ $\left(\frac{\sin[\frac{k_{111} \cdot w_{111} \cdot \sin[a] \cdot \sin[b]}{2}]}{(k_{111} \cdot w_{111} \cdot \sin[a] \cdot \sin[b])} \cdot \cos[\frac{k_{111}}{2} \cdot l_{111}] \cdot \sin[a] \cdot \cos[fi] \right)$	$\text{CORRIENTE EN TETA} \rightarrow (r \cdot \sin[m] \cdot \cos[n] \cdot \cos[n]^2 - \frac{\sin[r \cdot \sin[m] \cdot \cos[n]]}{r \cdot \cos[n]})$
CAMPO ELÉCTRICO EN TETA TOTAL $\rightarrow (Abs[e_{111teta}])$	$itetal \rightarrow (Abs[iteta])$
	$\text{CORRIENTE EN FI} \rightarrow (-r \cdot \sin[f] \cdot \sin[g] \cdot \cos[g])$
	$ifi1 \rightarrow (Abs[ifi])$
	$ir1 \rightarrow (Abs[ir])$

Fuente: ([1] Wolfram)

- **Pestaña patrón de radiación de la corriente MoM**

Esta pestaña, contiene dos pestañas internas, que son “CAMPO ELÉCTRICO CORRIENTE EN THETA” y “CAMPO ELÉCTRICO CORRIENTE EN FI”.

- **Campo eléctrico de la corriente en Theta**

En esta sub-pestaña, se presenta el campo eléctrico de la corriente en Theta, dónde el usuario tiene posibilidad de observar el gráfico en 3D del campo eléctrico en tiempo real, pudiendo modificar los datos de ángulo Theta, ángulo Fi, Permitividad, espesor del dieléctrico, frecuencia de diseño y contorno, con el fin de que la interfaz le muestre el diseño que va realizando según los datos ingresados. El usuario podrá ingresar datos por medio de una barra deslizadora, o ingresándolos en forma de texto seguido de “Aceptar”.

Para que el gráfico dependa de estos parámetros, se ingresan las ecuaciones necesarias, dejando en ellas estos parámetros indicados, para luego incluirlos en las barras deslizadoras.

El código empleado con In[402], se muestra a continuación en la Figura 69:

Figura 69. Código para el patrón de radiación del campo eléctrico en theta

```
PATRÓN DE RADIACIÓN CAMPO ELÉCTRICO EN THETA;
Manipulate[
  SphericalPlot3D[
    Abs[
      Sin[
        
$$\frac{k_{111} N \left[ \frac{c}{2 \pi f_0 \sqrt{\frac{\text{permitividad} + 1}{2}}} \right] \sin[a] \sin[\phi_i]}{2}$$

      ],
      Sin[
        
$$\frac{k_{111} N \left[ \frac{c}{2 \pi f_0 \sqrt{\frac{\text{permitividad} + 1}{2}}} \right] \sin[a] \sin[\phi_i]}{2}$$

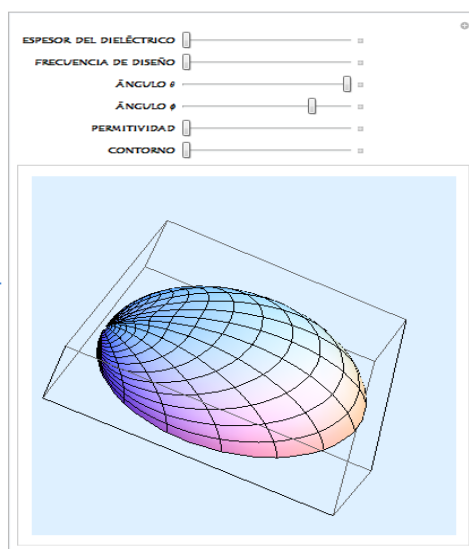
      ]
    ],
    Cos[
      
$$\frac{N \left[ \frac{c}{2 \pi f_0 \sqrt{\frac{\text{permitividad} + 1}{2}}} \right]}{2} \cdot N \left[ \frac{c}{2 \pi f_0} \cdot \left( \left( \frac{\text{permitividad} + 1}{2} + \frac{\text{permitividad} - 1}{2} \right) \cdot \left( 1 + \frac{12 \cdot \frac{h}{N \left[ \frac{c}{2 \pi f_0 \sqrt{\frac{\text{permitividad} + 1}{2}}} \right]} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right] \right] \cdot \sin[a] \cdot \cos[\phi_i]$$

    ],
    {a, 0.1,  $\theta_{\text{etae}} \cdot \pi$ }, { $\phi_i$ , 0.1,  $\phi_{\text{etae}} \cdot \pi$ }, SphericalRegion -> True, PlotRange -> All, Ticks -> None, BaseStyle -> Opacity[Contorno], Background -> LightBlue,
    ImageSize -> {500, 500}], {{h, 0.0005, "ESPESOR DEL DIELECTRICO"}, 0.0005, 5}, {{f0, 6 000 000 000, "FRECUENCIA DE DISEÑO"}, 6 000 000 000, 40 000 000 000},
    {{ $\theta_{\text{etae}}$ , 0.1, "ÁNGULO  $\theta$ "}, 0.1, 1}, {{ $\phi_{\text{etae}}$ , 0.1, "ÁNGULO  $\phi$ "}, 0.1, 0.5}, {{permitividad, 0.1, "PERMITIVIDAD"}, 0.1, 10}, {{Contorno, 1, "CONTORNO"}, 1, 0},
    LabelStyle -> Directive[Black, Bold, Medium, FontFamily -> "TempusSansITC"]]
```

Fuente: ([1] Wolfram)

En la figura 70 se observa lo obtenido al ejecutar el código anterior con variable de salida Out[403].

Figura 70. Campo eléctrico en theta



Fuente: ([1] Wolfram)

- **Campo eléctrico de la corriente en Fi**

En esta sub-pestaña, se presenta el campo eléctrico de la corriente en Fi, cómo en la sub-pestaña anterior, el usuario tiene posibilidad de observar el gráfico en 3D del campo eléctrico en tiempo real, pudiendo modificar parámetros cómo: ángulo Theta, ángulo Fi, permitividad, espesor del dieléctrico, frecuencia de diseño y contorno; con el fin de que la interfaz le muestre el diseño que va realizando según los datos ingresados. También, el usuario podrá ingresar los datos por medio de una barra deslizadora, o en forma de texto seguido de la tecla “Aceptar”.

Para que el gráfico dependa de estos parámetros, se ingresan las ecuaciones necesarias, dejando en ellas estos parámetros indicados, para luego incluirlos en las barras deslizadoras.

El código empleado con In[406], se muestra a continuación en la Figura 71:

Figura 71. Código empleado en Mathematica 8 para calcular el campo eléctrico en fi

PATRÓN DE RADIACIÓN CAMPO ELÉCTRICO EN FI;

```
Manipulate[
  SphericalPlot3D[

$$\frac{\sin\left[k_{111} \cdot N \left[ \frac{c}{2 \cdot f0 \cdot \sqrt{\frac{\text{permitividad}+1}{2}}} \right] \cdot \sin[p] \cdot \sin[\phi] \right]}{\left[ k_{111} \cdot N \left[ \frac{c}{2 \cdot f0 \cdot \sqrt{\frac{\text{permitividad}+1}{2}}} \right] \cdot \sin[p] \cdot \sin[\phi] \right]} \cdot$$

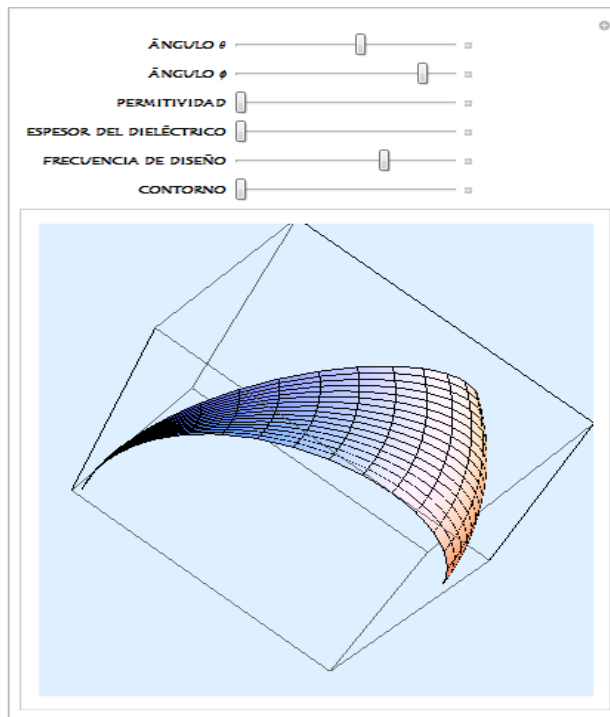

$$\cos\left[ k_{111} \cdot N \left[ \frac{c}{2 \cdot f0 \cdot \sqrt{\frac{\text{permitividad}+1}{2}}} \right] \cdot \left( \frac{\text{permitividad}+1}{2} + \frac{\text{permitividad}-1}{2} \right) \cdot \left( 1 + \left( 12 \cdot \frac{h}{N \left[ \frac{c}{2 \cdot f0 \cdot \sqrt{\frac{\text{permitividad}+1}{2}}} \right]} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \right] \cdot \cos[p] \cdot \sin[p] \right], \{p, 0.001, \phi_{fi01} \cdot \pi\},$$

    {phi01, 0.001, "ÁNGULO φ"}, 0.001, 0.5}, {{phi01, 0.001, "ÁNGULO φ"}, 0.001, 1/4}, {{permitividad, 0.1, "PERMITIVIDAD"}, 0.1, 10},
    {{h, 0.0005, "ESPESOR DEL DIELECTRICO"}, 0.0005, 5}, {{f0, 6 000 000 000, "FRECUENCIA DE DISEÑO"}, 6 000 000 000, 40 000 000 000}, {{Contorno, 1, "CONTORNO"}, 1, 0},
    LabelStyle -> Directive[Black, Bold, Medium, FontFamily -> "TempusSansITC"]]
```

Fuente: ([1] Wolfram)

En la Figura 72 se observa lo obtenido al ejecutar el código anterior con variable de salida Out[407]. Ya se han variado parámetros como el ángulo theta, el ángulo ϕ y la frecuencia de diseño, para ir moldeando el gráfico en 3D del campo eléctrico en Fi.

Figura 72. Campo eléctrico en Fi



Fuente: ([1] Wolfram)

Estos resultados de las sub-pestañas obtenidas se incluyen en la pestaña principal, con el siguiente código mostrado en la Figura 73 y teniendo en cuenta los nombres de las variables de salida generados.

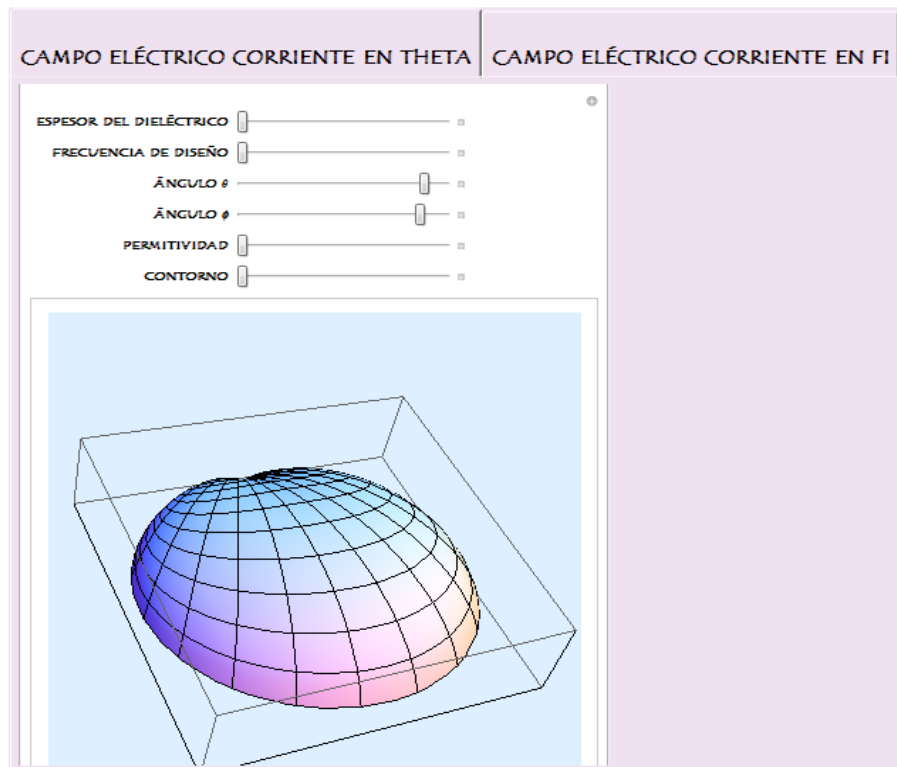
Figura 73. Código en Mathematica 8. Patrón de radiación Método de los Momentos (MoM)

```
PATRÓN DE RADIACIÓN CORRIENTE CON EL MÉTODO DE LOS MOMENTOS;
Grid[Table[TabView[{"
CAMPO ELÉCTRICO CORRIENTE EN THETA" → Out[403],
"
CAMPO ELÉCTRICO CORRIENTE EN FI" → Out[407]}, LabelStyle → Directive[Black, Bold, Medium, 18, FontFamily → "TempusSansITC"],
Background → LightPurple, ImageSize → {w, h}], {w, {700}}, {h, {760}}]]
```

Fuente: ([1] Wolfram)

Obteniendo la pestaña final del campo eléctrico de la corriente con el método de los momentos, mostrado en la Figura 74 con variable de salida Out[357].

Figura 74. Pestañas del Campo Eléctrico en Theta



Fuente: ([1] Wolfram)

- **Pestaña Patrón de radiación arreglo para n elementos**

En esta pestaña, se busca que el usuario pueda diseñar su patrón de radiación para el arreglo con el número de elementos o parches que desee (n), y con cualquier valor de espacio entre estos. Pudiendo variar a su vez la permitividad y la frecuencia.

Esta pestaña cuenta con tres sub-pestañas: Patrón de radiación para n elementos, patrón de radiación en coordenadas polares y una sub-pestaña de extras donde se muestran las antenas diseñadas en el proyecto con sus respectivos patrones de radiación y análisis de resultados.

- **Patrón de radiación para el arreglo**

En esta sub-pestaña el usuario podrá variar además del número de elementos, la permitividad y la frecuencia observando en tiempo real las modificaciones que va realizando en un gráfico en 3D del patrón obtenido.

El código utilizado, con variable de entrada In[420] se muestra en la Figura 75.

Figura 75. Código empleado en Mathematica 8 para el patrón de radiación para el arreglo microstrip

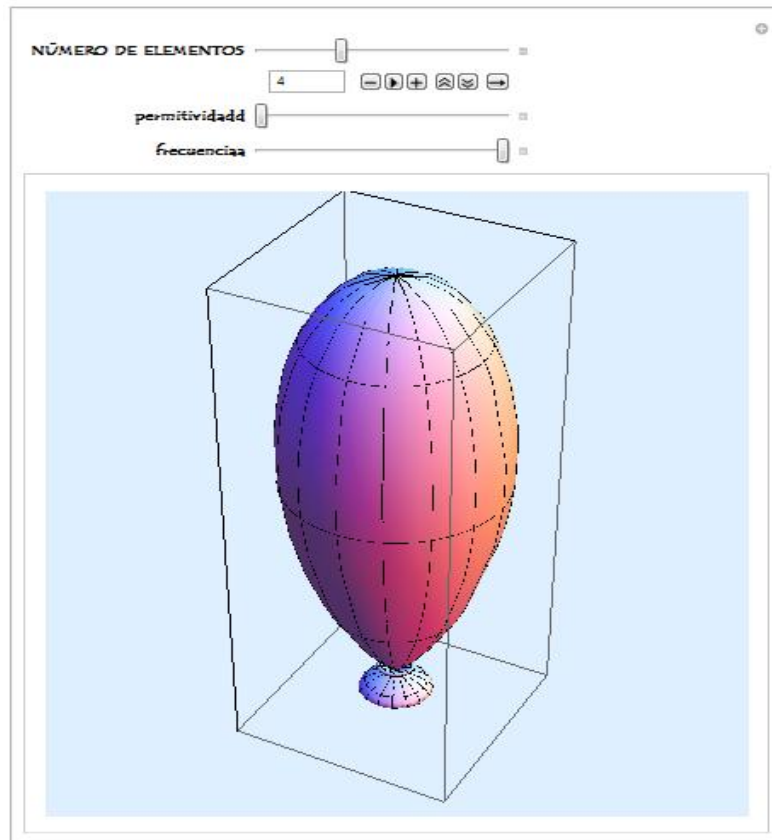
```
Manipulate[SphericalPlot3D[
$$\frac{1}{2 \sqrt{2 \left( k_{LMCM} + N \left[ \frac{300 \cdot 10^6}{2 \cdot \text{frecuencias} \sqrt{\frac{\text{permitividad}+1}{2}}} \right] \cdot \sin(\theta) \sin(\phi_{MCM}) \right)} \cdot \frac{\sin[k_{LMCM} + N \left[ \frac{300 \cdot 10^6}{2 \cdot \text{frecuencias} \sqrt{\frac{\text{permitividad}+1}{2}}} \right]]}{2 \cdot \text{frecuencias} \sqrt{\frac{\text{permitividad}+1}{2}}} \cdot \frac{\sin[\theta] \sin[\phi_{MCM}]}{2} \cdot \frac{1}{2 \cdot \cos[(k_{LMCM} + l_{LMCM}) / 2]} \cdot \cos[\theta] \cdot \sin[\phi_{MCM}] \cdot \text{sinc}((\theta - \pi) n) \cdot \sin \left( k_{LMCM} + N \left[ \frac{300 \cdot 10^6}{2 \cdot \text{frecuencias} \sqrt{\frac{\text{permitividad}+1}{2}}} \right] \cdot \sin(\theta) \sin(\phi_{MCM}) \right), \{\theta, 0.0001, \pi\}, \{\phi, 0.0001, 2 \pi\},$$

SphericalRegion -> True, PlotRange -> All, Ticks -> None, Background -> LightBlue, ImageSize -> {550, 550}], {{nn, 1, "NÚMERO DE ELEMENTOS"}, 1, 10},
{permitividad, 0.1, 10}, {frecuencias, 600 000, 5 000 000}, LabelStyle -> Directive[Black, Bold, Medium, FontFamily -> "TempusSansITC"]]
```

Fuente: ([1] Wolfram)

La pestaña obtenida es la mostrada en la Figura 76 con el número de elementos en 4 ingresado por el usuario usando el cuadro de texto seguido de “Aceptar” y la frecuencia al máximo.

Figura 76. Patrón de Radiación en Fi. Mathematica 8



Fuente: ([1] Wolfram)

- **Patrón de radiación en coordenadas polares**

Esta sub-pestaña muestra el patrón de radiación de la pestaña “patrón de radiación para el arreglo” pero esta vez en coordenadas polares, a manera de muestra para el usuario.

El código ejecutado se muestra a continuación en la Figura 77:

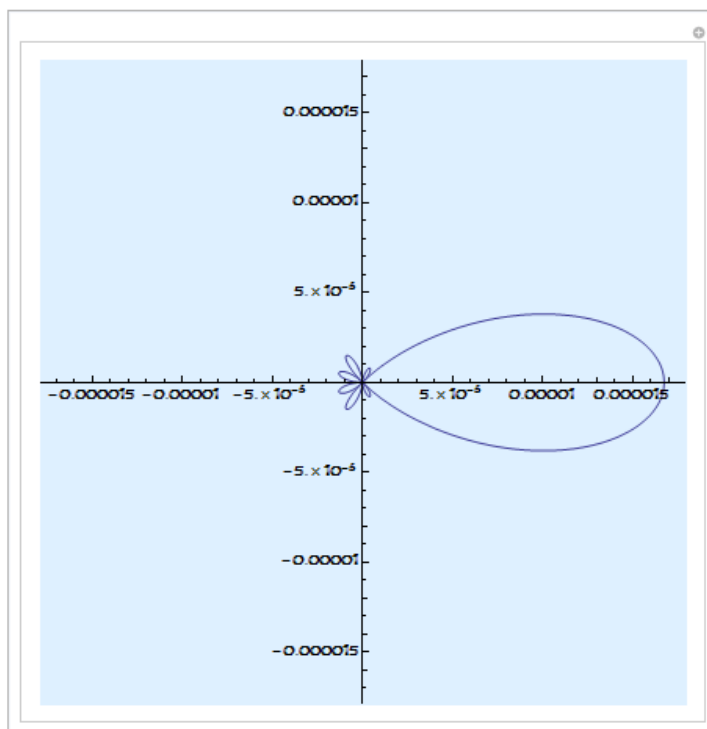
Figura 77. Código empleado para hallar el Patrón de Radiación en coordenadas polares

```
Manipulate[PolarPlot[elfi, { $\theta$ , 0.001, 2 Pi}, PlotRange -> All, Background -> LightBlue, ImageSize -> {550, 550},
  LabelStyle -> Directive[Black, Bold, Medium, FontFamily -> "TempusSansITC"]]]
```

Fuente: ([1] Wolfram)

El resultado de ejecutar este código se muestra en la Figura 78.

Figura 78. Patrón de Radiación en coordenadas polares



Fuente: ([1] Wolfram)

- **Extras**

Esta sub-pestaña se descompone a su vez en 5 sub-pestañas, tales como: antenas, patrón de radiación en 3D, patrón de radiación en coordenadas polares, patrón de radiación en coordenadas cartesianas y una de análisis de resultados.

La sub-pestaña de “Antenas” la muestra al usuario 4 de las antenas diseñadas en el proyecto. Y en las otras sub-pestañas se muestran los gráficos para cada una de estas antenas arrojados por el software Lab-Volt de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, en los diferentes tipos de coordenadas, y al final, en la sub-pestaña de “Análisis de resultados”, se muestra, el análisis del porcentaje de error, patrón de radiación de un solo parche vs el patrón del arreglo lineal diseñado en el presente proyecto y por último, arreglo lineal vs simulador dónde se muestra la comparación de los datos teóricos normalizados con los datos prácticos también normalizados.

A continuación se muestra el código que crea cada una de estas Sub-pestañas que van dentro de la pestaña de “Extras” mostrada en la Figura 79.

Figura 79. Código empleado en la pestaña Extras en Mathematica 8

```
Grid[Table[TabView[{"
ANTENAS" -> Column@Table[
  {{Button[ " ANTENA 1 " , Print[CreateDocument[Import["C:\\Users\\Adriana\\Desktop\\Pruebas\\Aislante\\antena 1\\antena 1.jpg"]]],
    ImageSize -> 650, BaseStyle -> {FontFamily -> "TempusSansITC", 18, Bold}, Background -> LightPurple}},
  {Button[ " ANTENA 2 " , Print[CreateDocument[Import["C:\\Users\\Adriana\\Desktop\\Pruebas\\Aislante\\antena 2\\antena 2.jpg"]]],
    ImageSize -> 650, ImageSize -> Full, BaseStyle -> {FontFamily -> "TempusSansITC", 18, Bold}, Background -> LightBlue}},
  {Button[ " ANTENA 3 " , Print[CreateDocument[Import["C:\\Users\\Adriana\\Desktop\\Pruebas\\Aislante\\antena 3\\antena 3.jpg"]]],
    ImageSize -> 650, ImageSize -> Full, BaseStyle -> {FontFamily -> "TempusSansITC", 18, Bold}, Background -> LightPurple}},
  {Button[ " ANTENA 4 " , Print[CreateDocument[Import["C:\\Users\\Adriana\\Desktop\\Pruebas\\Aislante\\antena 6\\antena 6.jpg"]]],
    ImageSize -> 650, ImageSize -> Full, BaseStyle -> {FontFamily -> "TempusSansITC", 18, Bold}, Background -> LightBlue}}], "

PATRÓN DE RADIACIÓN EN 3D" -> Column@Table[
  {{Button[ " P. de R. 3D ANTENA 1 " , Print[CreateDocument[Import["C:\\Users\\Adriana\\Desktop\\Pruebas\\Aislante\\antena 1\\3D.jpg"]]],
    ImageSize -> 650, BaseStyle -> {FontFamily -> "TempusSansITC", 18, Bold}, Background -> LightPurple}},
  {Button[ " P. de R. 3D ANTENA 2 " , Print[CreateDocument[Import["C:\\Users\\Adriana\\Desktop\\Pruebas\\Aislante\\antena 2\\3D.jpg"]]],
    ImageSize -> 650, ImageSize -> Full, BaseStyle -> {FontFamily -> "TempusSansITC", 18, Bold}, Background -> LightBlue}},
  {Button[ " P. de R. 3D ANTENA 3 " , Print[CreateDocument[Import["C:\\Users\\Adriana\\Desktop\\Pruebas\\Aislante\\antena 3\\3D.jpg"]]],
    ImageSize -> 650, ImageSize -> Full, BaseStyle -> {FontFamily -> "TempusSansITC", 18, Bold}, Background -> LightPurple}},
  {Button[ " P. de R. 3D ANTENA 4 " , Print[CreateDocument[Import["C:\\Users\\Adriana\\Desktop\\Pruebas\\Aislante\\antena 6\\3D.jpg"]]],
    ImageSize -> 650, ImageSize -> Full, BaseStyle -> {FontFamily -> "TempusSansITC", 18, Bold}, Background -> LightBlue}}], "

```

PATRÓN DE RADIACIÓN EN

COORDENADAS POLARES" → Column@Table[

```
{Button[ " P.de R. POLARES ANTENA 1 " , Print[CreateDocument[Import["C:\\Users\\Adriana\\Desktop\\Pruebas\\
Aislante\\antena 1\\polares.jpg"]]], ImageSize → 650, BaseStyle → {FontFamily → "TempusSansITC", 18, Bold},
Background → LightPurple]],
{Button[ " P.de R. POLARES ANTENA 2 " , Print[CreateDocument[Import["C:\\Users\\Adriana\\Desktop\\Pruebas\\
Aislante\\antena 2\\polares.jpg"]]], ImageSize → 650, ImageSize → Full, BaseStyle → {FontFamily → "TempusSansITC",
18, Bold}, Background → LightBlue]],
{Button[ " P.de R. POLARES ANTENA 3 " , Print[CreateDocument[Import["C:\\Users\\Adriana\\Desktop\\Pruebas\\
Aislante\\antena 3\\polares.jpg"]]], ImageSize → 650, ImageSize → Full, BaseStyle → {FontFamily → "TempusSansITC",
18, Bold}, Background → LightPurple]], {Button[ " P.de R. POLARES ANTENA 4 " ,
Print[CreateDocument[Import["C:\\Users\\Adriana\\Desktop\\Pruebas\\
Aislante\\antena 6\\polares.jpg"]]], ImageSize → 650, ImageSize → Full, BaseStyle → {FontFamily → "TempusSansITC",
18, Bold}, Background → LightBlue]]}, " , "
```

PATRÓN DE RADIACIÓN EN

COORDENADAS CARTESIANAS" → Column@Table[

```
{Button[ " P.de R. CARTESIANAS ANTENA 1 " ,
Print[CreateDocument[Import["C:\\Users\\Adriana\\Desktop\\Pruebas\\Aislante\\antena 1\\patron cartesianas.jpg"]]],
ImageSize → 650, BaseStyle → {FontFamily → "TempusSansITC", 18, Bold}, Background → LightPurple]],
{Button[ " P.de R. CARTESIANAS ANTENA 2 " ,
Print[CreateDocument[Import["C:\\Users\\Adriana\\Desktop\\Pruebas\\Aislante\\antena 2\\patron cartesianas.jpg"]]],
ImageSize → 650, ImageSize → Full, BaseStyle → {FontFamily → "TempusSansITC", 18, Bold}, Background → LightBlue]],
{Button[ " P.de R. CARTESIANAS ANTENA 3 " ,
Print[CreateDocument[Import["C:\\Users\\Adriana\\Desktop\\Pruebas\\Aislante\\antena 3\\patron cartesianas.jpg"]]],
ImageSize → 650, ImageSize → Full, BaseStyle → {FontFamily → "TempusSansITC", 18, Bold}, Background → LightPurple]],
{Button[ " P.de R. CARTESIANAS ANTENA 4 " ,
Print[CreateDocument[Import["C:\\Users\\Adriana\\Desktop\\Pruebas\\Aislante\\antena 6\\Patron cartesianas.jpg"]]],
ImageSize → 650, ImageSize → Full, BaseStyle → {FontFamily → "TempusSansITC", 18, Bold}, Background → LightBlue]]}, " , "
```

ANÁLISIS DE RESULTADOS" → Column@Table[

```
{Button[ " ARREGLO LINEAL vs SIMULADOR " ,
Print[CreateDocument[Import["C:\\Users\\Adriana\\Desktop\\Pruebas\\Aislante\\Analisis\\Arreglo vs simulador.jpg"]]],
ImageSize → 650, BaseStyle → {FontFamily → "TempusSansITC", 18, Bold}, Background → LightPurple]],
{Button[ " PORCENTAJE DE ERROR " , Print[CreateDocument[Import["C:\\Users\\Adriana\\Desktop\\Pruebas\\Aislante\\
Analisis\\Error %.jpg"]]], ImageSize → 650, ImageSize → Full, BaseStyle → {FontFamily → "TempusSansITC", 18, Bold},
Background → LightBlue]],
{Button[ " ANTENA DE UN PARCHE vs ARREGLO " , Print[CreateDocument[Import["C:\\Users\\Adriana\\Desktop\\Pruebas\\
Aislante\\Analisis\\comparacion 1 parche vs arreglo.jpg"]]], ImageSize → 650, ImageSize → Full,
BaseStyle → {FontFamily → "TempusSansITC", 18, Bold}, Background → LightPurple]]}, " , "],
LabelStyle → Directive[Black, Bold, Medium, 14, FontFamily → "TempusSansITC"], Background → LightPurple,
ImageSize → {w, h}, {w, {400}}, {h, {600}}]]
```

Fuente: ([1] Wolfram)

Este código ejecutado, arroja las sub-pestañas completas para “Extras”, como se muestra en la Figura 80.

Figura 80. Pestaña de Extras en Mathematica 8

ANTENAS	PATRÓN DE RADIACIÓN EN 3D	PATRÓN DE RADIACIÓN EN COORDENADAS POLARES	PATRÓN DE RADIACIÓN EN COORDENADAS CARTESIANAS	ANÁLISIS DE RESULTADOS
{	ANTENA 1			
{	ANTENA 2			
{	ANTENA 3			
{	ANTENA 4			

Fuente: ([1] Wolfram)

- **Pestaña características básicas**

En esta pestaña, el usuario podrá diseñar su antena, modificando características como el espesor del dieléctrico, la permitividad y la frecuencia e ir observan cómo de acuerdo a estas varían el ancho, la permitividad efectiva y el largo del parche, para obtener así el diseño que más se ajuste a sus requerimientos.

A continuación, en la Figura 81, se muestran las líneas de código necesarias para observar esta pestaña.

Figura 81. Código empleado en la pestaña de características básicas de la Interfaz en Mathematica 8

```
Column@Table["
    " { { Manipulate[UH = espesor, { {espesor, 0.1*10-3, "    ESPESOR DEL DIELECTRICO | " },
    0.1*10-3, 0.01*10-3, Appearance -> "Open"}, Alignment -> Center,
    LabelStyle -> Directive[Black, Bold, Medium, FontFamily -> "TempusSansITC"] },
    Manipulate[{ "ANCHO=", UW = N[  $\frac{300 \cdot 10^6}{2 \cdot \text{frecuencia} \sqrt{\frac{\text{permitividad}-1}{2}}}$  ], "PERMITIVIDAD EFECTIVA=",
    ereffu =  $\left( \frac{\text{permitividad}+1}{2} + \frac{\text{permitividad}-1}{2} \right) \cdot \left( 1 + \left( 12 \cdot \frac{UH}{UW} \right)^2 \right)^{-\frac{1}{2}}$ , "LARGO=", UL = N[  $\frac{300 \cdot 10^6}{2 \cdot \text{frecuencia} \cdot \sqrt{\text{ereffu}}}$  ] },
    { {permitividad, 0.1, "    PERMITIVIDAD    ", 0.1, 5, Appearance -> "Open"},
    { {frecuencia, 1*106, "    FRECUENCIA    ", 1*106, 100*106, Appearance -> "Open"}, Alignment -> Center,
    LabelStyle -> Directive[Black, Bold, Medium, FontFamily -> "TempusSansITC"] } ] }
```

Fuente: ([1] Wolfram)

El resultado de las anteriores líneas de código se visualiza en la Figura 81

Figura 82. Pestaña de Características básicas en la interfaz de Mathematica 8

ESPESOR DEL DIELECTRICO

0.0001

0.0001

PERMITIVIDAD

0.1

FRECUENCIA

1000 000

{ANCHO=, 202.26, PERMITIVIDAD EFECTIVA=, 0.0999997, LARGO=, 474.342}

Fuente: ([1] Wolfram)

- **Pestaña Factor de Arreglo**

Esta pestaña se subdivide en dos sub-pestañas, una llamada Ecuaciones y otra llamada Cálculo del factor de arreglo.

- **Ecuaciones**

Esta pestaña presenta todas las fórmulas utilizadas para que el usuario realice el cálculo del factor, y a su vez, para que el software Mathematica 8 pueda realizar los cálculos necesarios.

Para incluir dentro de la pestaña todo el texto necesarios a visualizar, como en la pestaña de ecuaciones presentada en la sección 3.3.1.1, se realiza una lista de las ecuaciones en una sola celda y se le asigna un nombre a cada ecuación, escribiéndola entre comillas y asignando con una flecha (→) su correspondiente

valor. Esta lista de ecuaciones incluye a las variables a22, b22, c22, d22, e22, f22, g22, h22, i22, j22, k22. Se le asignan variables con estos nombres, para que no haya posibilidad de que en todo el código se le asigne igual nombre a otra variable y Mathematica llegue a sobre-escribir alguna de ellas.

El código ejecutado es el presentado a continuación en la Figura 83:

Figura 83. Código empleado en la pestaña del Factor de Arreglo en la interfaz en Mathematica 8

```

FACTOR DE ARREGLO FA;

a22 = " CONSTANTE DE FASE = k " → "  $\frac{2 \text{ Pi}}{0.03}$  ";

b22 = " DISTANCIA ENTRE PARCHES = dx " → " 0.03/2 ";

c22 = " THETA Cero " → " Pi/2 ";

d22 = " FI Cero " → " 0 ";

e22 = " NÚMERO DE PARCHES EN EL EJE X = n " → " 4 ";

f22 = " NÚMERO DE PARCHE EN EL EJE Y = m " → " 1 ";

g22 = " FI Total " → " Abs[ArcTan[ $\frac{\text{Sin[teta0]} * \text{Sin[fi0]} + n * \frac{0.003}{1}}{\text{Sin[teta0]} * \text{Cos[fi0]} + \frac{0.03}{dx}}$ ]] ";

h22 = " THETA Total " → " Abs[ArcSin[ $\frac{\text{Sin[teta0]} * \text{Cos[fi0]} + m * \frac{0.03}{dx}}{\text{Cos[fi]}}$ ]] ";

i22 = " BX " → " Abs[-k*dx*(Sin[teta0]*Sin[fi0])] ";

j22 = " YX " → " Abs[k*dx*SIN[teta]*Sin[fi]+bx] ";

k22 = " FACTOR DE ARREGLO " → "  $\frac{1}{n} * \frac{\text{Sin}[\frac{n}{2} * yx]}{\text{Sin}[\frac{yx}{2}]}$  ";

```

Fuente: ([1] Wolfram)

Se procede luego a incluir estas variables asignadas en una columna, con el comando "Column" para que quede lo más organizado posible; se puede decorar con colores, dejarle un contorno visible o dejarlo sin contorno, centrarlo, manejar a gusto el cuadro subiendo o bajando el ancho y el largo, etc.

Como se observa en el siguiente código mostrado en la Figura 84:

Figura 84. Código empleado para el Factor de Arreglo en Mathematica 8

```
ECUACIONES" → Text[Grid[{{Column[{a22, b22, c22, d22, e22, f22}, Center, ItemSize → {36, 7}, Frame → True,
    Background → {{LightYellow, LightBlue}}, FrameStyle → Directive[Blue, Thick, Dashed]],
    Column[{g22, h22, i22, j22, k22}, Center, ItemSize → {36, 8.4}, Frame → True,
    Background → {{LightYellow, LightBlue}}, FrameStyle → Directive[Blue, Thick, Dashed]]}],
```

Fuente: ([1] Wolfram)

Que al ejecutarse se obtiene lo observado en la Figura 85.

Figura 85. Pestaña de Ecuaciones del Factor de arreglo en Mathematica 8

CONSTANTE DE FASE = $k \rightarrow \frac{2\pi}{0.03}$	FI Total $\rightarrow \text{Abs}[\text{ArcTan}[\frac{\text{Sin}[\text{teta0}] \cdot \text{Sin}[\text{f0}] + n \cdot \frac{0.003}{1}}{\text{Sin}[\text{teta0}] \cdot \text{Cos}[\text{f0}] - \frac{0.03}{dx}}]]$
DISTANCIA ENTRE PARCHES = $dx \rightarrow 0.03/2$	THETA Total $\rightarrow \text{Abs}[\text{ArcSin}[\frac{\text{Sin}[\text{teta0}] \cdot \text{Cos}[\text{f0}] + m \cdot \frac{0.03}{dx}}{\text{Cos}[\text{f0}]}]]$
THETA Cero $\rightarrow \pi/2$	BX $\rightarrow \text{Abs}[-k \cdot dx \cdot (\text{Sin}[\text{teta0}] \cdot \text{Sin}[\text{f0}])]$
FI Cero $\rightarrow 0$	YX $\rightarrow \text{Abs}[k \cdot dx \cdot \text{Sin}[\text{teta}] \cdot \text{Sin}[\text{fi}] + bx]$
NÚMERO DE PARCHES EN EL EJE X = $n \rightarrow 4$	FACTOR DE ARREGLO $\rightarrow \frac{1}{n} \cdot \frac{\text{Sin}[\frac{n}{2} \cdot y\pi]}{\text{Sin}[\frac{y\pi}{2}]}$
NÚMERO DE PARCHE EN EL EJE Y = $m \rightarrow 1$	

Fuente: ([1] Wolfram)

- **Cálculo del factor de arreglo**

Esta muestra dinámicamente al usuario el cálculo del factor de arreglo. Mientras el usuario varía el número de elementos y la distancia entre los parches, la interfaz gráfica va calculando el valor del factor y va mostrándole al usuario el resultado.

El usuario podrá digitar en forma de texto seguido de “Aceptar” el valor de su diseño, podrá hacer uso de la barra deslizadora, podrá “subir” o “bajar” el valor con los botones presentes o darle “play” al valor para observar cómo varía automáticamente.

Para que Mathematica 8 vaya calculando el factor, se ingresan las respectivas fórmulas dejando las variables a modificar indicadas.

El código ejecutado se presenta a continuación en la Figura 86:

Figura 86. Código empleado en el Factor de arreglo

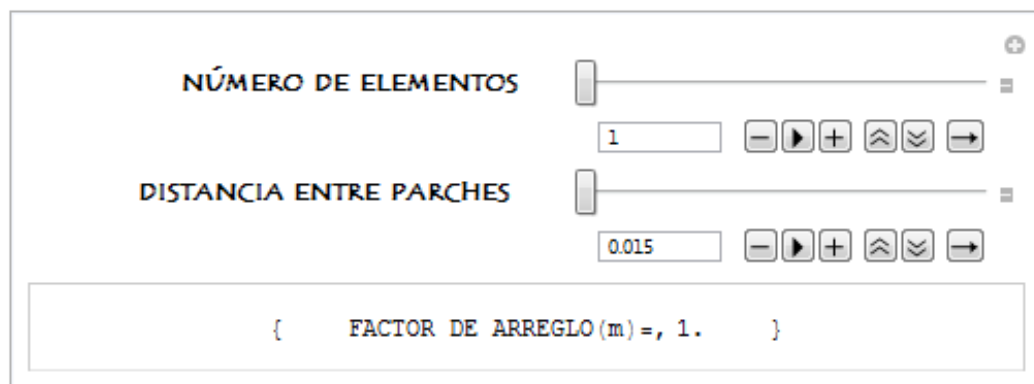
```
Manipulate["    {"FACTOR DE ARREGLO(m)=",
afFA = 
$$\frac{1}{nn} * \frac{\sin\left[\frac{\pi}{2} * \left(\text{Abs}\left[\frac{2 \text{Pi}}{0.03} * xu * \sin[\text{teta0FA}] * \sin[\text{fi0FA}] + (\text{Abs}[-kFA * xu * (\sin[\text{teta0FA}] * \sin[\text{fi0FA}]))\right]\right)\right]}{\sin\left[\frac{(\text{Abs}\left[\frac{2 \text{Pi}}{0.03} * xu * \sin[\text{teta0FA}] * \sin[\text{fi0FA}] + (\text{Abs}[-kFA * xu * (\sin[\text{teta0FA}] * \sin[\text{fi0FA}]))\right])}{2}\right]}},
{{nn, 1, "    NÚMERO DE ELEMENTOS    "}, 1, 10, Appearance -> "Open"}, {{xu, 0.015,
"    DISTANCIA ENTRE PARCHES    "}, 0.015, 0.03, Appearance -> "Open"}, Alignment -> Center,
LabelStyle -> Directive[Black, Bold, Medium, FontFamily -> "TempusSansITC"]]$$

```

Fuente: ([1] Wolfram)

Y el resultado del código ejecutado se muestra en la Figura 87.

Figura 87. Pestaña del FA en Mathematica 8



Fuente: ([1] Wolfram)

Para obtener las sub-pestañas finales, se organizan las dos sub-pestañas (ecuaciones y cálculo del factor), en una sola, para incluirse posteriormente en la interfaz final.

El código necesario para obtener la sub-pestaña requerida, se presenta a continuación en la Figura 88, dónde se ha variado el color de fondo de la pestaña, el tamaño, entre otras opciones de diseño.

Figura 88. Pestaña del Factor de Arreglo

```
PESTAÑA FACTOR DE ARREGLO;
Grid[Table[TabView[{"
Ecuaciones" → Text[Grid[{{Column[{a22, b22, c22, d22, e22, f22}], Center, ItemSize → {36, 7}, Frame → True,
    Background → {{LightYellow, LightBlue}}, FrameStyle → Directive[Blue, Thick, Dashed]},
    Column[{g22, h22, i22, j22, k22}], Center, ItemSize → {36, 8.4}, Frame → True,
    Background → {{LightYellow, LightBlue}}, FrameStyle → Directive[Blue, Thick, Dashed]}]}],
"
Cálculo del Factor de Arreglo" → "
    Manipulate["    {"FACTOR DE ARREGLO(m)=",

$$afFA = \frac{1}{nn} * \frac{\sin\left[\frac{nn}{2} * \left(\text{Abs}\left[\frac{2\pi}{0.03} * xu * \sin[teta0FA] * \sin[fi0FA] + (\text{Abs}[-kFA * xu * (\sin[teta0FA] * \sin[fi0FA])])\right)\right]}{\sin\left[\frac{\left(\text{Abs}\left[\frac{2\pi}{0.03} * xu * \sin[teta0FA] * \sin[fi0FA] + (\text{Abs}[-kFA * xu * (\sin[teta0FA] * \sin[fi0FA])])\right)}{2}\right]} \right]},$$

    { {nn, 1, "    NÚMERO DE ELEMENTOS    ", 1, 10, Appearance → "Open"},
    { {xu, 0.015, "    DISTANCIA ENTRE PARCHES    ", 0.015, 0.03, Appearance → "Open"},
    Alignment → Center, LabelStyle → Directive[Black, Bold, Medium, FontFamily → "TempusSansITC"]}],
    LabelStyle → Directive[Black, Bold, Medium, 18, FontFamily → "TempusSansITC"],
    Background → LightPurple, ImageSize → {w, h}], {w, {920}}, {h, {760}}]]]
```

Fuente: ([1] Wolfram)

Con este código ejecutado, se obtienen las sub-pestañas organizadas para incluirlas posteriormente con el número correspondiente de salida (Out[]) en la pestaña principal. Esto se muestra en la Figura 89.

Figura 89 Pestaña de Ecuaciones del FA en Mathematica 8

ECUACIONES	CÁLCULO DEL FACTOR DE ARREGLO
CONSTANTE DE FASE $= k \rightarrow \frac{2\pi}{0.03}$	FI Total $\rightarrow \text{Abs}[\text{ArcTan}[\frac{\sin[\text{teta0}] + \sin[\text{teta}] + n \cdot \frac{0.03}{2}}{\sin[\text{teta0}] + \cos[\text{teta}] + \frac{1}{dx}}]]$
DISTANCIA ENTRE PARCHES $= dx \rightarrow 0.03/2$	THETA Total $\rightarrow \text{Abs}[\text{ArcSin}[\frac{\sin[\text{teta0}] + \cos[\text{teta}] + m \cdot \frac{0.03}{2}}{\cos[\text{teta}]}]]$
THETA Cero $\rightarrow \pi/2$	BX $\rightarrow \text{Abs}[-k \cdot dx \cdot (\sin[\text{teta0}] + \sin[\text{teta}])]$
FI Cero $\rightarrow 0$	YX $\rightarrow \text{Abs}[k \cdot dx \cdot \sin[\text{teta}] + \sin[\text{teta}]] + bs]$
NÚMERO DE PARCHES EN EL EJE X $= n \rightarrow 4$	FACTOR DE ARREGLO $\rightarrow \frac{1}{2} + \frac{\sin[\frac{\pi}{2} + yn]}{\sin[\frac{\pi}{2}]}$
NÚMERO DE PARCHES EN EL EJE Y $= m \rightarrow 1$	

Fuente: ([1] Wolfram)

- **Resultado final**

Luego de haber creado cada sub-pestaña, se procede a incluirlas en las pestañas principales, formando así la interfaz gráfica de usuario final.

Para darle al usuario la información pertinente sobre autores de la interfaz, director y campus universitario donde fue desarrollada, se crea una ventana de presentación que cuenta con dos botones, uno para que el usuario acceda a la interfaz y otro, por si el usuario desea salir de la presentación. Si el usuario pulsa el botón “Interfaz gráfica de usuario”, este lo lleva a la interfaz programada.

Para que esto se ejecute se debe asignar la salida final que se desea ejecutar, que en este caso será “Out[309]” correspondiente a la salida de la interfaz

completa. El comando “Background”, como se vio anteriormente, se encarga de darle fondo a la ventana, en este caso de púrpura claro (LightPurple); el comando “WindowSize” seguido de “full” hace que la ventana emergente se abra ocupando toda la pantalla (también puede cambiarse por “Medium”, “Large”, “Small”, dependiendo de lo que quiera aplicarse a esta se muestra en la Figura 90.

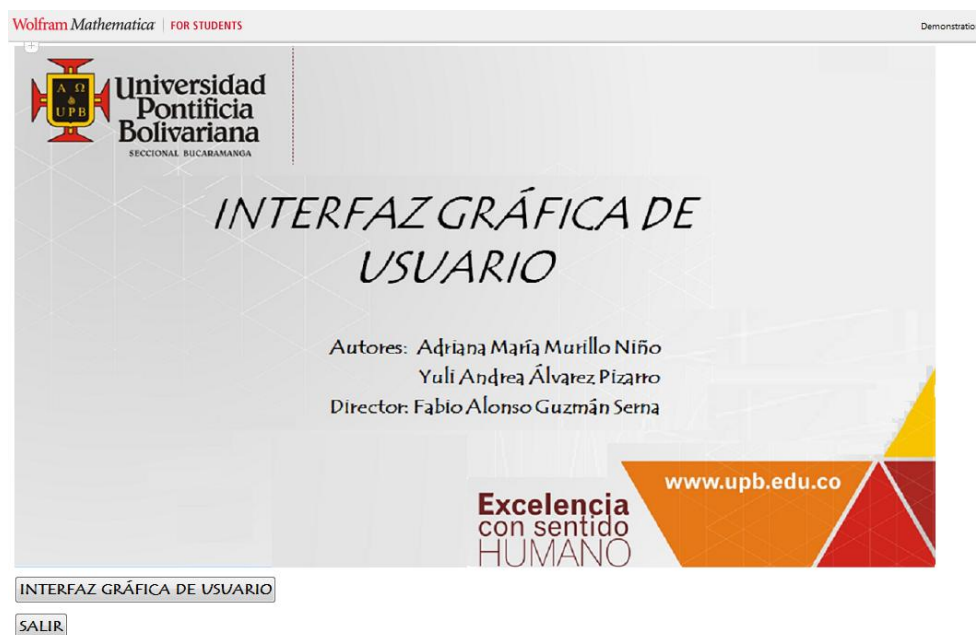
Figura 90. Creación de la Interfaz en Mathematica 8

```
CreateDocument[
  CellGroup[{Import["C:\\Users\\Adriana\\Desktop\\GUIPRESENTACION.png"],
    Button["INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO", Do[CreateDocument[Out[309], DockedCells → Cell["", "DockedCell",
      Background → LightPurple], WindowSize → ws, DockedCells → image], {ws, {Full}}];
    Button["SALIR", NotebookClose[], BaseStyle → {"GenericButton", 16, Bold, FontFamily → "TempusSansITC"}],
    Button["SALIR", NotebookClose[], BaseStyle → {"GenericButton", 16, Bold, FontFamily → "TempusSansITC"}]},
    CellGrouping → Manual, WindowSize → Full, ImageSize → Automatic];
```

Fuente: ([1] Wolfram)

En la Figura 90 se presenta la página de presentación de la interfaz, y en segunda instancia, en la Figura 91 se presenta la interfaz a la que el usuario accede al pulsar el botón “Interfaz gráfica de usuario”, pudiendo observar de este modo, cada pestaña principal con sus respectivas sub-pestañas programadas en las secciones anteriores.

Figura 91. Interfaz de usuario en Mathematica 8



Fuente: ([1] Wolfram)

Para crear la interfaz final, se utilizan todas las variables de salida (Out[]) ejecutadas anteriormente para cada pestaña principal, o en el lugar de estas variables de salida, se escriben las ecuaciones pertinentes para cada pestaña.

A continuación en la Figura 92 se presenta el respectivo código que da lugar a la interfaz gráfica de usuario final.

Figura 92. Código empleado en la Interfaz de Usuario Final en Mathematica 8

```
Grid[Table[TabView[{"
ECUACIONES
" → Out[401],
"
CAMPO ELÉCTRICO DE LA CORRIENTE (MoM)
" → Out[288],
"
PATRÓN DE RADIACIÓN ARREGLO PARA n ELEMENTOS
" → Out[308],
"
CARACTERÍSTICAS BÁSICAS
" → Out[482], "
FACTOR DE ARREGLO" → Out[484]}, Background → LightPurple,
LabelStyle → {16, Black, Bold, FontFamily → "TempusSansITC"}, ImageSize → {w, h}],
{w, {970}}, {h, {870}}]]
```

Fuente: ([1] Wolfram)

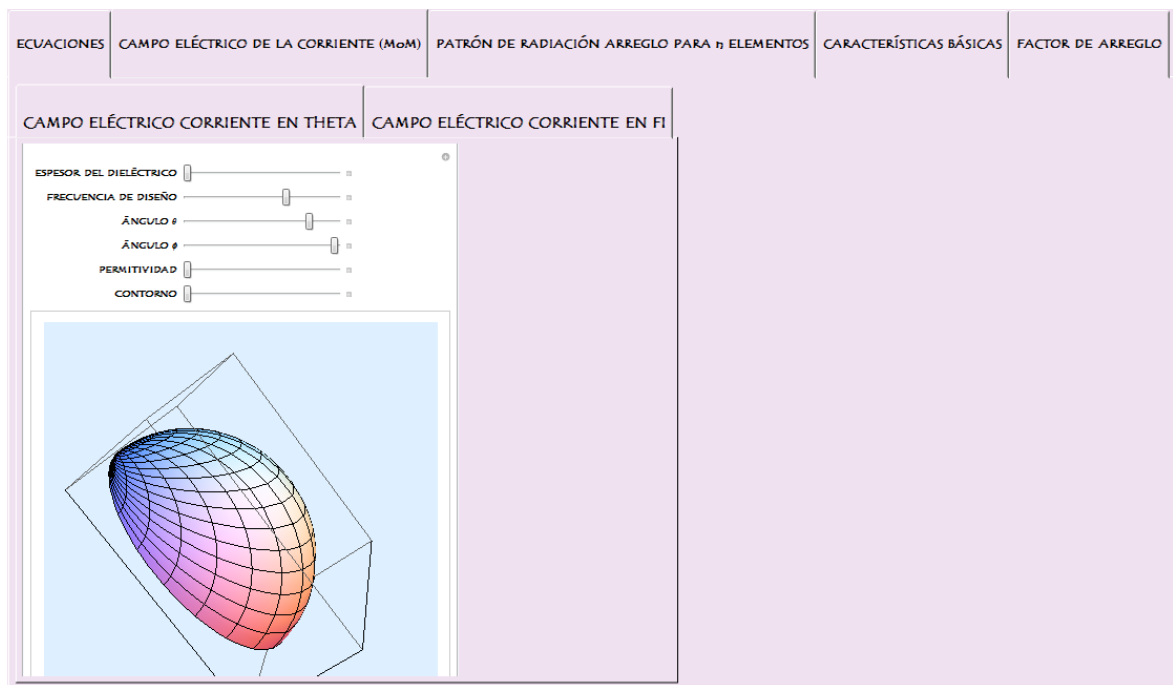
Obteniendo como resultado final la interfaz gráfica de usuario, mostrada en la Figura 93.

Figura 93. Interfaz Final en Mathematica 8

ECUACIONES	CAMPO ELÉCTRICO DE LA CORRIENTE (MoM)	PATRÓN DE RADIACIÓN ARREGLO PARA n ELEMENTOS	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	FACTOR DE ARREGLO
FRECUENCIA DE TRABAJO $\rightarrow (10 \cdot 10^6)$ ESPESOR DEL DIELECTRICO $\rightarrow (h=0.8 \cdot 10^{-3})$ VELOCIDAD DE LA LUZ $\rightarrow (c=300 \cdot 10^6)$ PERDIDAS TANGENCIALES $\rightarrow (tan\delta=1)$ LONGITUD DE ONDA EN EL VACIO $\rightarrow (\lambda_0=N \cdot \frac{c}{f})$ LONGITUD DE ONDA EN EL MEDIO $\rightarrow (\lambda=N \cdot \frac{c}{f \cdot \sqrt{\epsilon_r}})$ $k =$ CONSTANTE DE FASE $\rightarrow (\frac{2\pi}{\lambda_0})$ $w =$ ANCHO DEL PARCHES $\rightarrow (N \cdot \frac{c}{2 \cdot \sqrt{\epsilon_r} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{tan\delta}}})$ $\epsilon_{eff} = \rightarrow ((\frac{tan\delta + 1}{2} + \frac{tan\delta - 1}{2}) \cdot (1 + \frac{1}{12 \cdot (\frac{w}{\lambda_0})^2}))$ $\epsilon = \rightarrow (N \cdot \frac{c}{2 \cdot \sqrt{\epsilon_r} \cdot \sqrt{\epsilon_{eff}}})$ CAMPO ELÉCTRICO EN TETA $\rightarrow$ $(\frac{\sin(\frac{k \cdot (1 + \epsilon + 1) \cdot \sin(\theta) + \sin(\theta)}{2})}{(k \cdot (1 + \epsilon + 1) \cdot \sin(\theta) + \sin(\theta))}) \cdot \cos(\frac{k \cdot (1 + 1) \cdot 1}{2}) \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\theta)$ CAMPO ELÉCTRICO EN TETA TOTAL $\rightarrow (Abs[e11teta])$	CAMPO ELÉCTRICO EN FI $\rightarrow$ $(\frac{\sin(\frac{k \cdot (1 + \epsilon + 1) \cdot \sin(\theta) + \sin(\theta)}{2})}{(k \cdot (1 + \epsilon + 1) \cdot \sin(\theta) + \sin(\theta))}) \cdot \cos(\frac{k \cdot (1 + 1) \cdot 1}{2}) \cdot \cos(\theta) \cdot \sin(\theta)$ CAMPO ELÉCTRICO EN FI TOTAL $\rightarrow (Abs[e11fi])$ ESPESOR DEL DIELECTRICO $\rightarrow (0.00008)$ FRECUENCIA ANGULAR $\omega = w \rightarrow (10 \cdot 10^{-4})$ $\epsilon_{spolar} = \rightarrow (\sin(\frac{\frac{k \cdot h \cdot 1}{2} \cdot \sin(\theta)}{k \cdot h \cdot 1} \cdot \sin(\theta)) \cdot \sin(\frac{k \cdot h \cdot 1}{2} \cdot \cos(\theta))$ $\epsilon_{ftotal} = \rightarrow (Abs[\epsilon_{spolar}])$ $z = \rightarrow (\frac{\sin(\theta)}{\epsilon})$ $r = \rightarrow (1)$ $\text{sinc1} = \rightarrow (\text{Plot3D}[z, \{x, 0.20\}, \{y, 0.20\}])$ $ir = \rightarrow ((r \cdot \sin(\theta \cos(\phi))^2 \cdot \cos(\theta \cos(\phi))^2 + \sin(\theta \cdot \sin(\theta \cos(\phi)) \cdot \cos(\theta \cos(\phi)) \cdot \cos(\theta))$ CORRIENTE EN TETA $\rightarrow$ $(r \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\theta) \cdot \cos(\theta)^2 \cdot \sin(\theta \cdot \sin(\theta \cdot \cos(\theta)))$ $iteta1 = \rightarrow (Abs[iteta])$ CORRIENTE EN FI $\rightarrow (-r \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\theta) \cdot \cos(\theta))$ $ifi1 = \rightarrow (Abs[ifi])$ $ir1 = \rightarrow (Abs[ir])$			

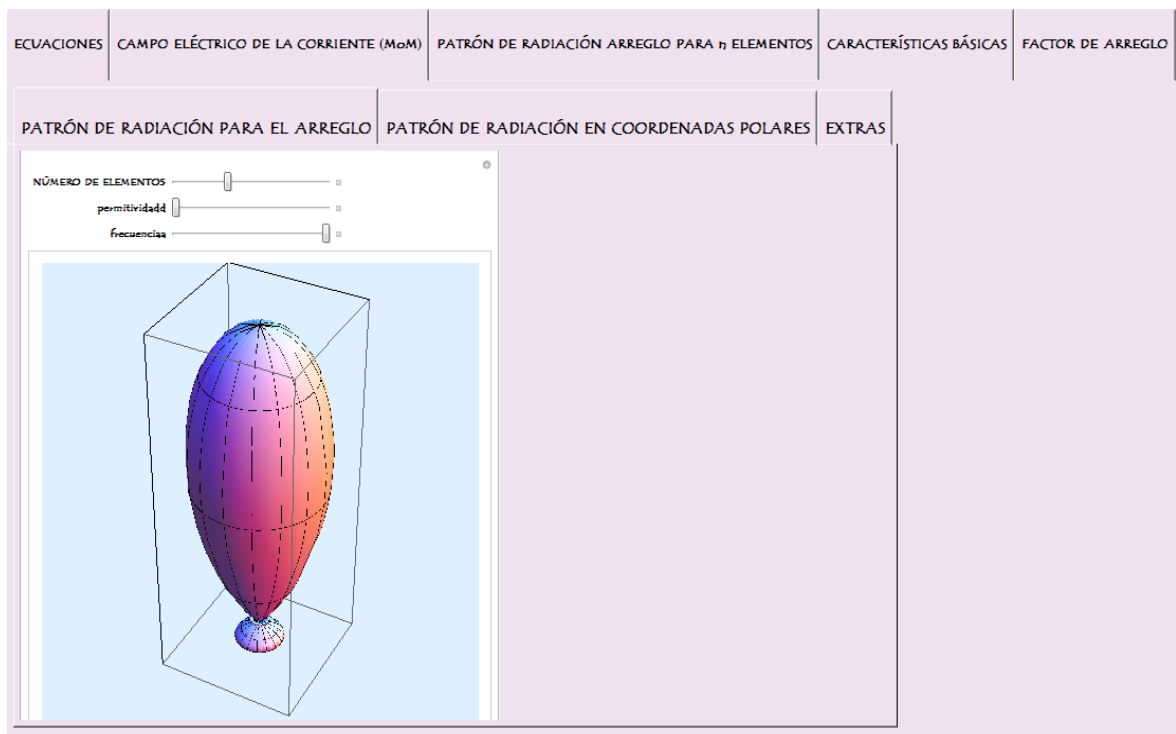
a) Ventana en la pestaña de Ecuaciones.

Fuente: ([1] Wolfram)



b) GUI en la pestaña de campo eléctrico de la corriente (MoM) y en la sub-pestaña “campo eléctrico corriente en theta”.

Fuente: ([1] Wolfram)



c) GUI en la pestaña “Patrón de radiación para n elementos, y en la sub-pestaña “Patrón de radiación para el arreglo”.

Fuente: ([1] Wolfram)

OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos de la comparación de una antena microstrip y un arreglo lineal, comprueban que cuando se tiene mayor número de parches en una antena hay mayor directividad.
- Se modeló la corriente en el parche microstrip aplicando el método de los momentos (MOM) y se obtuvieron los resultados esperados al observar el margen de error en el campo eléctrico.
- La implementación de un método numérico en el simulador de Mathematica 8 permite modificar el patrón de radiación, haciendo que este pueda variar dependiendo de la cantidad de parches microstrip.
- Se hicieron las pruebas necesarias para comparar los datos arrojados por el **LVDAM-ANT** vs los arrojados por mathematica 8, obteniendo un error para el lóbulo principal en el Ancho de Banda de 10dB inferior al 3%, que dio por hecho la efectividad del simulador
- Con el fin de obtener patrones de radiación con poca o nula distorsión se recomienda realizar las pruebas de adquisición de datos en ambientes sin reflexión, por tal motivo se aconseja adquirir una cámara anecoica.
- Para próximos proyectos se recomienda otro equipo de laboratorio, que permita medir patrones de radiación a diferentes gamas con el fin de hacer propuestas para antenas que trabajen en todos los tipos de frecuencias de comunicaciones móviles (Wi-fi, Bluetooth, etc.).
- El acople de impedancias de 35.35 ohmios evitó pérdidas en las líneas de transmisión y aportó mayor potencia al arreglo microstrip.

ANEXO 1

MÉTODO DE LOS MOMENTOS PARA UN HILO CONDUCTOR

Se mostrará el método de los momentos, útil para resolver ciertos problemas. Este método consiste en encontrar la distribución de carga en los conductores sostenidos en potenciales conocidos. Para moldear la técnica en términos generales, se considera una superficie con distribución de carga $\rho_s(x, y, z)$ en una superficie dada. Luego se aplica superposición conjuntamente con la expresión para el potencial debido a un punto de carga. Para esto, se debe partir de una ecuación general, en este caso será la del potencial debido a la distribución de carga que puede expresarse como:

$$V(x, y, z) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{\substack{\text{surface of} \\ \text{the charge} \\ \text{distribution}}} \frac{\rho_s(x', y', z')}{R} dS' \quad (1)$$

El procedimiento consiste en dividir la superficie en un número infinito de sub-secciones para aproximar la integral dada en (1) a través de una sumatoria y aplicando la ecuación en cada punto de las sub-secciones, se obtiene una serie de ecuaciones algebraicas lineales. Y esta serie de ecuaciones es luego invertida para obtener la solución deseada.

En el ejemplo mostrado a continuación, se considerará un delgado y recto cable de largo l y radio ($a \ll 1$), con capacidad de potencial de 1 V, como se muestra en la Fig. (1). Se debe obtener el resultado (superficial) de distribución de carga en el cable a través del método a tratar.

A través del método de los momentos se puede determinar la distribución de carga en un hilo conductor. El procedimiento, a grandes rasgos, consiste en dividir el cable en un determinado número de segmentos, asumiendo una densidad de carga uniforme en cada segmento y estableciendo y resolviendo una serie de ecuaciones algebraicas resultantes del análisis del sistema.

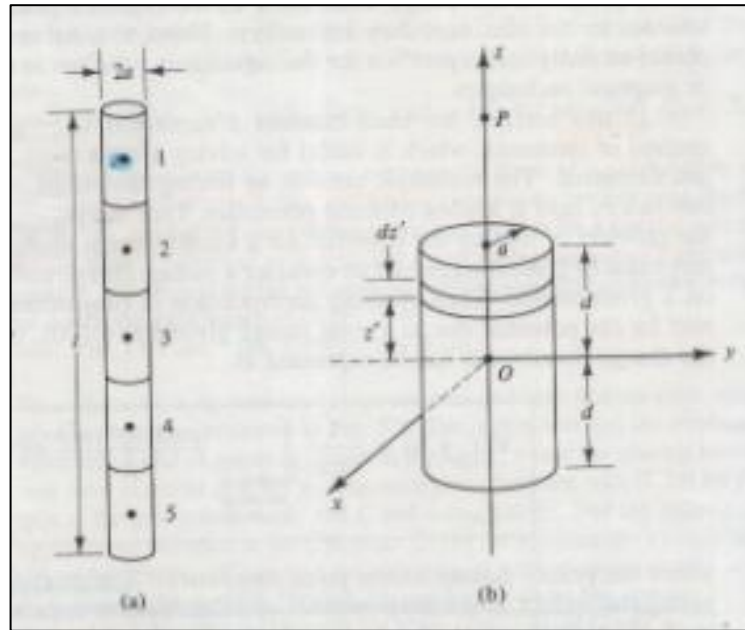
Para simplificar la instrucción, se debe dividir el hilo conductor en cinco segmentos iguales numerados de 1 a 5 y teniendo las densidades de carga superficial $\rho_{s1}, \rho_{s2}, \rho_{s3}, \rho_{s4}, \rho_{s5}$. Para consideraciones de simetría, hay entonces solamente tres desconocidas, mientras $\rho_{s4} = \rho_{s2}$ y $\rho_{s5} = \rho_{s1}$. Por lo tanto se necesitan tres ecuaciones independientes.

La primera ecuación se obtiene escribiendo el potencial en el punto central de un segmento, siendo la superposición de los potenciales en ese punto debido a las cargas en los cinco segmentos. Para obtener la contribución correspondiente a un segmento, se consideró la carga de la superficie cilíndrica de densidad ρ_{s0} coaxial

uniforme con el eje z y localizada simétricamente sobre el origen, como se muestra en la Figura 1(b), y calcular el potencial debido a esto en dos puntos: (1) en el origen y (2) en el punto $(0,0,z)$ donde $z > d$, usando la aproximación $a \ll d$. El caso 1 es apropiado para encontrar el potencial debido a la carga en un segmento dado en la Figura.1 (a) en su propio punto central, mientras el caso 2 es apropiado para encontrar el potencial debido a la carga en un segmento dado en la Figura.1(a) en el punto central de otro segmento.

Dividiendo la carga de la superficie cilíndrica en la Figura.1(b) en un número de anillos de carga, uno de los cuales es mostrado en la figura, y usando superposición, se obtiene:

Figura 1. (a)Cable delgado dividido en cinco segmentos iguales. (b) Para la determinación del potencial debido a la carga cilíndrica superficial.



Fuente: ([19] Narayana Rao, 1994)

$$\begin{aligned}
 [V]_{(0,0,0)} &= \int_{z'=-d}^d \int_{\phi=0}^{2\pi} \frac{\rho_{s0} a \phi dz}{4\pi\epsilon_0 \sqrt{a^2 + (z')^2}} \\
 &= \frac{\rho_{s0} a}{2\epsilon_0} \left\{ \ln z' + \frac{\sqrt{a^2 + z'^2}}{z'} \right\}_{z'=-d}^d \\
 &= \frac{\rho_{s0} a}{2\epsilon_0} \ln \frac{d + \sqrt{a^2 + d^2}}{-d + \sqrt{a^2 + d^2}}
 \end{aligned}$$

Dónde para $a \ll d$ reduce a:

$$[V]_{(0,0,0)} \approx \frac{\rho_{s0}a}{2\varepsilon_o} \ln \frac{2d}{-d + d(1 + a^2 - 2d^2)}$$

$$= \frac{\rho_{s0}a}{\varepsilon_o} \ln \frac{2d}{a} (1a)$$

Para un punto $P(0,0,z)$ donde $z > d$, se puede considerar la carga superficial cilíndrica de ser una carga de densidad de línea $2\pi a \rho_{s0}$ y se escribe

$$[V]_{(0,0,0)} = \int_{z'=-d}^d \frac{2\pi a \rho_{s0} dz'}{4\pi \varepsilon_o (z - z')}$$

$$= \frac{\rho_{s0}a}{2\varepsilon_o} [-\ln(z - z')]_{z'=-d}^d$$

$$= \frac{\rho_{s0}a}{2\varepsilon_o} \ln \frac{z+d}{z-d} (1b)$$

Aplicando (1a) y (1b) para escribir la ecuación para el potencial en el centro del segmento 1 en la Figura 2 se obtiene

$$\frac{\rho_{s1}a}{\varepsilon_o} \ln \frac{l}{5a} + \frac{\rho_{s2}a}{2\varepsilon_o} \ln 3 + \frac{\rho_{s3}a}{2\varepsilon_o} \ln \frac{5}{3} + \frac{\rho_{s4}a}{2\varepsilon_o} \ln \frac{7}{5} + \frac{\rho_{s5}a}{2\varepsilon_o} \ln \frac{9}{7} = 1$$

$$\rho_{s1} \left(2 \ln \frac{l}{5a} + \ln \frac{9}{7} \right) + \rho_{s2} (\ln 3 + \ln 1.4) + \rho_{s3} \ln \frac{5}{3} = \frac{2\varepsilon_o}{a} (2)$$

Donde hay que sustituir $\rho_{s5} = \rho_{s1}$ y $\rho_{s4} = \rho_{s2}$. Del mismo modo, escribir las ecuaciones para los potenciales en los puntos centrales de los segmentos 2 y 3 y la organización de las tres ecuaciones en forma de matriz, se obtiene

$$\begin{pmatrix} 2 \ln \frac{1}{5a} + \ln \frac{9}{7} & \ln 3 + \ln 1.4 & \ln \frac{5}{3} \\ \ln 3 + \ln 1.4 & 2 \ln \frac{1}{5a} + \ln \frac{5}{3} & \ln 3 \\ 2 \ln \frac{5}{3} & 2 \ln 3 & 2 \ln \frac{1}{5a} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \rho_{s1} \\ \rho_{s2} \\ \rho_{s3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{2\varepsilon_o}{a} \\ \frac{2\varepsilon_o}{a} \\ \frac{2\varepsilon_o}{a} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Invirtiendo (3), las soluciones para ρ_{s1} , ρ_{s2} y ρ_{s3} pueden obtenerse. Para un ejemplo numérico, si $l = 1m$ y $a = 1mm$, los valores de ρ_{s1} , ρ_{s2} y ρ_{s3} son $158.38\varepsilon_o$, $145.42\varepsilon_o$, y $143.32\varepsilon_o$, respectivamente. Cuando se usa un largo número de segmentos, una solución más precisa se obtiene para la distribución de carga en el cable.

Figura 2. Secciones transversales de tres arreglos, cada uno de dos coaxiales perfectamente conductores. El medio entre los cilindros es de un dieléctrico perfecto para (a), un conductor para (b), y material magnético para (c).



Fuente:([19] Narayana Rao, 1994)

BIBLIOGRAFIA

- [1] Wolfram. (s.f.). *Sitio web de Wolfram Mathematica 8*. Recuperado el 6 de Agosto de 2012, de <http://www.wolfram.com/mathematica/>
- [2] BALANIS, C. A. (2008). *MODERN ANTENNA HANDBOOK*. John Wiley & Sons, Inc.
- [3] EDWARD H. NEWMAN, P. T. (1981). Analysis of Microstrip Antennas Using Moment Methods. *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION*, 7.
- [4] NASA. . (1988). ANALYSIS OF SLOT LOADED MICROSTRIP ANTENNA USING METHOD OF MOMENTS.
- [5] D. Chatterjee, E. C. (2005). Analytical Calculation of Input Impedance of Rectangular Microstrip Patch Antennas on Finite Ground Planes. *IEEE*, 4.
- [6] Christos Kalialakis, A. C. (2009). Capacity of Linear Rectangular Microstrip Antenna Arrays. *Spectrum Directorate, EETT-Hellenic Telecommunications and Post Commission*, 4.
- [7] MATLAB, [. (s.f.).
- [8] RAMESH GARG, P. S. (2001). *MICROSTRIP ANTENNA DESIGN HANDBOOK*. ARTECH HOUSE INC.
- [9] Personal del Lab-Volt, L. (1998). FUNDAMENTOS DE LAS ANTENAS.
- [10] WARREN L. STUTZMAN, G. A. (1998). *ANTENNA THEORY AND DESIGN*. JOHN WILEY & SONS, INC.
- [11] Ahmed Fatthi. (2011). *Design and Analysis of Microstrip Patch Antenna Arrays*. Boras.
- [12] Constantine A., B. (2008). *MODERN ANTENNA HANDBOOK*. A JOHN WILEY & SONS, INC.
- [13] A.B. MUTIARA, R. R. (2005). DESIGN OF MICROSTRIP ANTENNA FOR WIRELESS COMMUNICATION AT 2.4 GHZ. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 9.
- [14] Jamal W. Salman, M. M. (2006). Parametric Study of the Rectangular Microstrip Antenna using Cavity Model. *Journal of Engineering and Development* , 17.

- [15] Tanvir Ishtaique-ul Huque, A.-A. C. (2011). Performance Anlaysus of Coroporate Feed Rectangular Patch Element and Circular Patch Element 4x2 Microstrip Array Antennas. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 6.
- [16] Muhammad Mahfuzul Alam, M. R. (1). Design and Performance Analysis of Microstrip Array Antenna. *Progress In Eectromagnetics Research Symposium Proceedings*, 2011.
- [17] R.F, H. (1967). Matrix methods for Fields Problems . *IEEE*, 10.
- [18]. (2004). *Electromagnetismo, Capitulo 4. Métodos Numericos*.
- [19] Narayana Rao, N. (1994). *Elements of engineering electromagnetics*.Englewood. Prentice Hall.
- [20] GUSTAVO DE JOSE QUINTERO RODRIGUEZ, L. C. (2012). *ANÁLISIS DEL PATRÓN DE RADIACIÓN DE UNA ANTENA TIPO PARCHE DE ARREGLO MATRICIAL DE PARCHES RECTANGULARES*.BUCARAMANGA.
- [21] M.D Desphande, M. B. (1982). *Input impedance of microstrip antennas* . IEEE Trans, Antennas Propagat, vol. Ap-30, no 4, pp 645.
- [22] MC. Bailey, M. D. (1982). *Integral equation formulation of microstrip antennas*.IEEE.
- [23] SACADA Geometry of TMA, a. I. (2006). Obtenido de www.ctsystems.com/zeland/publi/eucap2006/360598wk.pdf
- [24] Gabriel Enrique Garcial Otero, R. L. (2012). *ELABORACIÓN DE UN SOFTWARE PARA LA SIMULACIÓN DEL PATRÓN DE RADIACIÓN DE UNA ANTENA MICROCINTA CIRCULAR CON LA HERRAMIENTA MATLAB*.BUCARAMANGA.
- [26]EAGLE. (s.f.).
- [27]LVDAM-ANT. (s.f.).