



**Simulación y descripción matemática de patrones derivados de sistemas de radiación tipo
dipolos para señales de TDT ISDB-T Internacional**

Galárraga Calero, Julio César

Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Maestría en Enseñanza de la Matemática

Trabajo de Titulación Previo a la Obtención del Título de Magister en Enseñanza de la
Matemática





Mat. Albuja Proaño, Guillermo Alexis, Mgs.

20 de agosto del 2021

Document Information

| | |
|-------------------|--|
| Analyzed document | Tesis_GalarragaFinal-signed.pdf (D117910126) |
| Submitted | 2021-11-08 22:08:00 |
| Submitted by | Cizurieta |
| Submitter email | cizurieta@uce.edu.ec |
| Similarity | 3% |
| Analysis address | cizurieta.uce@analysis.orkund.com |

Sources included in the report

| | | |
|-----------|--|---|
| W | URL: https://docplayer.es/56791408-Escuela-politecnica-nacional.html Fetched: 2019-10-22 19:00:26 |  3 |
| W | URL: https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1104/1/94434.pdf Fetched: 2021-09-21 11:34:00 |  16 |
| SA | AVANCE-PRACTICO-EXPERIMENTAL-II-PARCIAL-Jhon-Fuentes-Jairo-Ayala.pdf Document AVANCE-PRACTICO-EXPERIMENTAL-II-PARCIAL-Jhon-Fuentes-Jairo-Ayala.pdf (D95324731) |  6 |
| W | URL: https://docplayer.es/38893982-Radiacion-y-radiocomunicacion-fundamentos-de-antenas-carlos-crespo-departamento-de-teoria-de-la-senal-y-comunicaciones.html Fetched: 2021-08-17 23:45:30 |  2 |





VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSGRADOS

Certificado del Director

Certifico que el trabajo de titulación **Simulación y descripción matemática de patrones derivados de sistemas de radiación tipo dipolos para señales de TDT ISDB-T Internacional** fue realizado por el señor **Galárraga Calero, Julio César** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 20 de Agosto de 2021

Firma:

Mat. Albuja, Guillermo, Mgs.

C.C. 1712454063



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Galárraga Calero, Julio César** con cédula de ciudadanía 1708589021, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Simulación y descripción matemática de patrones derivados de sistemas de radiación tipo dipolos para señales de TDT ISDB-T Internacional** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 20 Agosto de 2021

Firma:


Galárraga Calero Julio César.
C.C. 1708589021



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

Autorización de Publicación

Yo, **Galárraga Calero Julio César**, con cédula de ciudadanía 1708589021, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Simulación y descripción matemática de patrones derivados de sistemas de radiación tipo dipolos para señales de TDT ISDB-T Internacional** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 20 Agosto de 2021

Firma:

Galárraga Calero Julio César.

C.C. 1708589021

DEDICATORIA

A mi familia, mi madre y Dios, por su paciencia y siempre creer en mi.

Julio

AGRADECIMIENTO

Al Mgs. Guillermo Albuja, por su compromiso con el proyecto, su experiencia y su inconmensurable apoyo. Al Mgs. Patricio Pugarín, por su apoyo para la culminación de este trabajo. A mi amada esposa Yhamile, que nunca dejó de apoyarme y creer en mí. A mis hijos y mi familia, que esperaron la culminación exitosa de este proceso.

Julio

Índice de Contenidos

| | |
|---|----|
| Certificado del Director | 2 |
| Autoría de Responsabilidad | 3 |
| Autorización | 4 |
| Dedicatoria | 5 |
| Agradecimiento | 6 |
| Índice de Contenidos | 7 |
| Índice de Tablas | 10 |
| Índice de Figuras | 12 |
| Resumen | 15 |
| Abstract | 16 |
| Introducción | 17 |
| Planteamiento del Problema | 18 |
| Justificación, importancia y alcance del proyecto | 18 |
| Marco Legal | 19 |
| Estado del Arte | 22 |
| Principios básicos de sistemas de radiación tipo dipolos. | 22 |
| Parámetros más importantes de los patrones de radiación. | 22 |
| Arreglos de antenas lineales en base de dipolos. | 25 |
| Modelación y simulación de arreglos lineales de dipolos. | 28 |
| Obtención de expresiones para los campos de radiación de arreglos lineales de dipolos [2] | 33 |
| Simulación para los campos de radiación de arreglos lineales de dipolos. | 41 |

| | |
|--|----|
| Desarrollo de la Propuesta | 48 |
| Modelación de los patrones de sistemas de radiación tipo dipolos más usados para TDT- ISDB-T Internacional. | 48 |
| Modelación de los patrones de radiación del dipolo elemental. | 49 |
| Modelación de los patrones de radiación del dipolo de $\frac{\lambda}{2}$. | 49 |
| Modelación de los patrones de radiación de los arreglos de dipolos más usados en transmisión de señales de TDT ISDB-T Internacional. | 50 |
| Simulación de los patrones de sistemas de radiación tipo dipolos más usados para TDT- ISDB-T Internacional. | 55 |
| Simulación de los patrones de radiación del dipolo elemental. | 55 |
| Simulación de los patrones de radiación del dipolo de $\frac{\lambda}{2}$. | 57 |
| Simulación de los patrones de radiación de los arreglos de dipolos más usados en transmisión de señales de TDT ISDB-T Internacional. | 59 |
| Validación de la Propuesta. | 69 |
| Criterios de comparación para los parámetros de los diagramas de radiación. | 69 |
| De las antenas dipolo. | 72 |
| Del dipolo elemental: $h \leq \frac{\lambda}{50}$. | 72 |
| Del dipolo de longitud finita: $\frac{\lambda}{10} \leq h \leq 3\lambda$. | 73 |

| | | |
|--|---|-----|
| | De los arreglos de antenas dipolo. | 77 |
| | Del arreglo tipo <i>Yagi – Uda</i> . | 77 |
| | Del arreglo tipo <i>Log – Periodico</i> . | 82 |
| Conclusiones, Recomendaciones y Perspectiva de Trabajos Futuros. | | 85 |
| | Conclusiones. | 85 |
| | Recomendaciones. | 87 |
| | Perspectiva de Trabajos Futuros. | 88 |
| Anexos | | 89 |
| | Programas realizados para las antenas y sus arreglos. | 90 |
| | Hojas de datos de arreglos de dipolos comerciales. | 117 |
| Referencias Bibliográficas. | | 125 |

Índice de Tablas

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | <i>Dimensiones y ubicación de elementos de la antena Yagi – Uda 600265</i> | 61 |
| 2. | Parámetros de ingreso a los programas para la determinación de patrones de radiación | 62 |
| 3. | Dimensiones y ubicación de elementos de la antena Log - Periódica D9108 | 65 |
| 4. | Criterios de valoración para definir la Relación de Aspecto de los diagramas de radiación obtenidos | 70 |
| 5. | Valoraciones de la Relación de Aspecto de los diagramas de radiación obtenidos . . | 70 |
| 6. | Criterios de valoración para definir los diagramas de radiación obtenidos | 71 |
| 7. | Valoraciones de los patrones de radiación obtenidos | 71 |
| 8. | Características de los Patrones de Radiación del dipolo elemental: $h \leq \frac{\lambda}{50}$ | 73 |
| 9. | Características de los Patrones de Radiación del dipolo de $\frac{\lambda}{2}$ | 73 |
| 10. | Características de los Patrones de Radiación del dipolo de $\frac{3}{2}\lambda$ | 76 |
| 11. | Características de los Patrones de Radiación del arreglo tipo <i>Yagi – Uda</i> de 3 elementos | 78 |
| 12. | Características de los Patrones de Radiación del arreglo tipo <i>Yagi – Uda</i> de 6 elementos | 78 |
| 13. | Características de los Patrones de Radiación del arreglo tipo <i>Yagi – Uda</i> 600265 de 5 elementos | 81 |

14. Características de los Patrones de Radiación del arreglo tipo *Log–Periodico* 75010242
de 5 elementos 82
15. Características de los Patrones de Radiación del arreglo tipo *Log–Periodico* D9108A
de 13 elementos 84

Índice de Figuras

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | <i>Diagrama de radiación de una antena arbitraria. Tomado de:[20], pág. 8</i> | 23 |
| 2. | <i>Antena Yagi – Uda con reflector y directores. Tomado de: [14]</i> | 27 |
| 3. | <i>Antena Log - Periódica con su disposición de dipolos. Tomado de:[15], pág. 4</i> | 28 |
| 4. | <i>El proceso de modelación matemática básico. Tomado de:[3], pág. 4</i> | 29 |
| 5. | <i>Clasificación de los métodos computacionales para simulación electromagnética. Tomado de [22], pág.217</i> | 31 |
| 6. | <i>Comparación de métodos numéricos para simulación electromagnética.</i> | 32 |
| 7. | <i>Representación fasorial de campos lejanos debido a un arreglo de N-elementos isotrópicos. Tomado de [2], pág.293</i> | 33 |
| 8. | <i>Parámetros y disposición de elementos en sistema radiante y sistema de coorde- nadas. Tomado de [2], pág.443</i> | 35 |
| 9. | <i>Segmentación del dipolo y sus corrientes equivalentes. Tomado de [2], pág.445 . .</i> | 37 |
| 10. | <i>Consideraciones para Método de los Momentos en Yagi-Uda. Tomado de [2], pág.584</i> | 44 |
| 11. | <i>Patrón de radiación del dipolo elemental basado en Balanis.</i> | 56 |
| 12. | <i>Patrón de radiación del dipolo elemental mostrado en Balanis.</i> | 56 |
| 13. | <i>Patrón de radiación del dipolo de $\frac{\lambda}{2}$ basado en Balanis.</i> | 57 |
| 14. | <i>Patrón de radiación del dipolo de $\frac{\lambda}{2}$ y otros mostrados en Balanis.</i> | 58 |
| 15. | <i>Dimensiones físicas de la antena Yagi – Uda 600265, dados por empresa Kathrein.</i> | 59 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 16. | <i>Patrón de radiación de antena Yagi – Uda 600265, dados por empresa Kathrein.</i> | 60 |
| 17. | <i>Patrón de radiación de antena Yagi – Uda 600265, de empresa Kathrein, obtenido mediante simulación.</i> | 61 |
| 18. | <i>Patrón de radiación de antena Log - Periódica D9108, dado por empresa Elektronik.</i> | 64 |
| 19. | <i>Patrón de radiación de antena Log - Periódica D9108, de empresa Elektronik, obtenido mediante simulación.</i> | 66 |
| 20. | <i>Parámetros Seteados MMANA-GAL, para obtención de plano E de radiación mediante el simulador.</i> | 67 |
| 21. | <i>Patrones de Radiación del dipolo elemental: $h \leq \frac{\lambda}{50}$</i> | 72 |
| 22. | <i>Patrones de Radiación del dipolo de $\frac{\lambda}{2}$</i> | 74 |
| 23. | <i>Patrones de Radiación del dipolo de $\frac{3}{2}\lambda$</i> | 75 |
| 24. | <i>Patrones de Radiación del arreglo tipo Yagi – Uda de 3 elementos</i> | 77 |
| 25. | <i>Patrones de Radiación del arreglo tipo Yagi – Uda de 6 elementos</i> | 79 |
| 26. | <i>Patrones de Radiación del arreglo tipo Yagi – Uda 600265 de 5 elementos</i> | 80 |
| 27. | <i>Patrones de Radiación del arreglo tipo Log – Periodico 75010242 de 5 elementos</i> | 82 |
| 28. | <i>Patrones de Radiación del arreglo tipo Log – Periodico D9108A de 13 elementos</i> | 83 |
| 29. | <i>Patrón de radiación de la antena Yagi - Uda 600265, dados por empresa Kathrein.</i> | 119 |
| 30. | <i>Hoja de datos de la antena Yagi - Uda 600265, dada por empresa Kathrein.</i> | 120 |

31. *Patrón de radiación de la antena Log - Periódica 75010242, dados por empresa Kathrein. 121*
32. *Hoja de datos de la antena Log - Periódica 75010242, dada por empresa Kathrein. . 122*
33. *Dimensiones físicas de la antena Log - Periódica D9108, dados por empresa Elektronik. 123*
34. *Patrones de radiación de la antena Log - Periódica D9108, dados por empresa Elektronik. 124*
35. *Hoja de datos de la antena Log - Periódica D9108, dada por empresa Elektronik. . 125*

RESUMEN

El trabajo de investigación se planteó para mejorar y verificar la validez de los patrones de radiación que vienen dados por fabricantes, o para obtenerlos de los que no se tenga su información y para ello se realiza la modelación de arreglos lineales de dipolos, muy usadas para la transmisión y recepción de señales de radiofrecuencia, en particular de Televisión Digital Terrestre.

Para su modelación se parte de los desarrollos sistematizados por [2], como la integral de Pocklington para arreglos Yagi – Uda, de los que se llega a una modelación generalizada.

Se realiza la simulación usando el Método de los Momentos, generalizando el trabajo realizado por [4], cuyos resultados se comparan tanto con modelos teóricos de patrones de radiación obtenidos en otras investigaciones, como con patrones dados por fabricantes de antenas y con patrones obtenidos haciendo uso del simulador MMANA – GAL, que usa el mismo método.

Los resultados de las comparaciones realizadas evidencian una excelente coincidencia entre los principales parámetros de un patrón de radiación, tanto para dipolos simples como arreglos tipo Yagi – Uda, y poca coincidencia con respecto de los patrones de radiación para arreglos tipo Log – Periodica, por la presencia de más de un elemento activo en el sistema radiante, por lo que se consideran varias hipótesis para dar continuidad a la modelación de este tipo de arreglos.

Éste trabajo resalta la importancia de la aplicación de la modelación y la simulación matemática para resolver problemas de ingeniería en telecomunicaciones, para este caso en particular.

PALABRAS CLAVE:

- SIMULACIÓN MATEMÁTICA
- SISTEMAS DE RADIACIÓN TIPO DIPOLOS
- PATRONES DE RADIACIÓN
- SIMULACIÓN CON MATLAB

ABSTRACT

This research work was proposed to improve and verify the validity of radiation patterns that are given by manufacturers, or to obtain them from which we do not have their information and for this, the modeling of linear arrangements of dipoles is carried out, very useful for the transmission and reception of radio frequency signals, in particular of Terrestrial Digital Television.

For its modeling, part of the developments systematized by [2], such as the Pocklington integral for Yagi – Uda arrays, of which a generalized modeling is achieved.

The simulation is carried out using the Moments Method, generalizing the work done by [4], whose results are compared both with theoretical models of radiation patterns obtained in other investigations, as with patterns given by antenna manufacturers and with patterns obtained using the simulator MMANA – GAL, which uses the same method.

The results of the comparisons made show an excellent coincidence between the main parameters of a radiation pattern, both for simple dipoles and Yagi – Uda arrays, and little coincidence regarding radiation patterns for Log – Periodic arrangements, by the presence of more than one active element in the radiant system, hence several hypotheses are considered to give continuity to the modeling of this type of arrangement.

This work highlights the importance of the application of modeling and mathematical simulation to solve engineering problems in telecommunications, for this particular case.

KEY WORDS:

- MATHEMATICS SIMULATION
- DIPOLES TYPE RADIATION SYSTEMS
- RADIATION PATTERNS
- MATLAB SIMULATION

Capítulo 1

Introducción

El no contar con patrones de radiación óptimos, ha hecho que de manera común se presenten sitios o zonas de recepción nula que con una mejora en el modelamiento de los patrones de radiación podrían ser previstos para trabajar en su solución. El presente trabajo permite contar con una herramienta de validación de los patrones de radiación y sus parámetros de arreglos de sistemas radiantes con antenas elementales tipo dipolo, que serán usadas en la transmisión de las señales de Televisión Digital Terrestre (TDT).

Para ello se modela, simula, analiza y contrasta matemáticamente diagramas y patrones derivados de sistemas radiantes tipo dipolos para la transmisión de señales TDT. Se hizo uso de la modelación ampliamente aceptada realizada por Balanis en su texto clásico de análisis de antenas, a partir del que se hizo uso del Método de los Momentos para implementar un script para la obtención y simulación de los patrones de radiación y sus parámetros fundamentales, resultados que fueron validados con patrones dados por fabricantes, patrones presentados en otras investigaciones y patrones obtenidos con software libre de análisis y diseño de antenas, obteniéndose excelentes resultados para uno de los tipos más usados de arreglo de dipolos, las antenas Yagi-Uda, pero no así para otro de los tipos más importantes de arreglo de dipolos, las antenas Log-Periódicas, situación que lleva a una importante discusión final del trabajo.

Planteamiento del problema

La elección del sistema radiante para realizar la transmisión de la señal abierta de TDT es uno de los pasos fundamentales en el diseño de un sistema de transmisión de TDT. El ingeniero proyectista cuenta para esta elección al menos con diagramas horizontales (plano-E) de radiación de los sistemas radiantes tipo dipolos que vienen dados por los fabricantes; estos diagramas se utilizan confiando en su precisión, pero el proyectista, ante la emergencia en la realización de los proyectos no alcanza a verificarlos, sino que confía en el profesionalismo de las empresas que diseñan estos sistemas. Esta práctica ha hecho que de manera común se presenten sitios o zonas de recepción nula que con una mejora en el modelamiento de los patrones de radiación podrían ser previstos para trabajar en su solución.

En la formación del ingeniero en electrónica y telecomunicaciones, la interrelación de la física con la matemática conviene ser reforzada con la resolución de problemas como el planteado aquí de encontrar los patrones derivados de los sistemas radiantes.

Justificación, importancia y alcance del proyecto

El presente trabajo pretende contribuir a maximizar las seguridades y minimizar las inversiones y riesgos que tengan que correr al momento de llevar a cabo este cambio en la transmisión de sus señales, las operadoras de TV (en su mayoría actualmente analógicas), en particular en lo que tiene que ver en la elección del óptimo sistema radiante que les garantice óptimas condiciones de emisión de su señal.

La implementación de la TDT representa un avance en la forma de hacer y ver TV, tanto o aún más de lo que significó en su tiempo el cambio de la TV en blanco y negro a la de color. Por ser un cambio ineludible, es necesario que los operadores de TV estén listos para realizar este salto

cualitativo en su forma de hacer TV.

El presente trabajo de investigación ayudará a que los parámetros técnicos considerados al calcular y diseñar la cobertura de la señal de TDT sean más fidedignos y permitan una optimización de la proyección de dicha cobertura, representando una posibilidad de ahorro económico y de mejora en la calidad del servicio al usuario.

La modelación matemática de los patrones derivados de sistemas radiantes tipo dipolos se basan en las ecuaciones de Maxwell y en considerar los elementos de los sistemas radiantes tipo dipolos como elementos puntuales de radiación, dirección o reflexión.

La determinación y graficación del patrón de radiación de un sistema radiante forman parte fundamental de la obtención de la cobertura de cualquier tipo de sistema de comunicación que usa propagación de ondas para la difusión de su señal.

Los sistemas radiantes tipo dipolos que se disponen comercialmente vienen provistos de diagramas de radiación dados por sus proveedores, los que generalmente son determinados en base de mediciones realizadas en grandes laboratorios que cuentan con cámara anecoica y sistemas de rotación y control para generar diagramas que cubran los más importantes planos de distribución de señal con el que va a contar el sistema.

A su vez, para la formación del ingeniero en electrónica y telecomunicaciones el encontrar los patrones derivados de los sistemas radiantes resulta ser un valor agregado de su profesionalización.

Marco Legal

La implementación de la TDT a nivel mundial, [18], se viene realizando desde finales del siglo anterior. Empezó en Europa, a mediados de los ochentas, época en la que se desarrolló el formato

DVB, que conquistó el mercado de la reproducción de vídeo digital para reproductores fijos, pero que no tuvo un importante desarrollo inicial para la difusión de la señal de TV digital de manera abierta, sino hasta mediados de la presente década, en la que se desarrolla hasta llegar al formato *DVB-T2*, que cumple con las características de interactividad y movilidad que son deseables para este tipo de servicio.

La propuesta de TV digital estadounidense llega en la última década del siglo anterior, con el desarrollo del formato *ATSC*, que es un formato robusto para transmisión de TV digital, pero no ha desarrollado la posibilidad de la interactividad con que cuentan otros formatos que representan una de las grandes promesas de la TV digital.

Japón, reconocido como una potencia tecnológica, fue la pionera en proponer una TV digital que permita la interactividad con los usuarios y que además permita la movilidad del servicio con su tecnología *one-seg* que usa parte del ancho de banda asignado al servicio para su recepción por parte de los celulares. Su formato toma el nombre de *ISDB – T*, que logra conquistar Brasil a inicios de siglo (2006), el que desarrolla su formato a partir del japonés y lo denomina *ISDB-Tb*. En la actualidad, dada la adopción del formato por una importante cantidad de países, y que sus características pueden ser adaptadas por cada uno de ellos, se le conoce de manera genérica como formato *ISDB-T Internacional*.

A finales de la década anterior, otro gigante tecnológico: China, desarrolla su formato *DTMB*, que cuenta con todas las prestaciones del formato japonés.

Para abril del año 2009 el estado ecuatoriano empieza a estudiar los distintos formatos de TDT que se desarrollaban a nivel mundial y el 25 de marzo del 2010 mediante Resolución No. 084-05-CONATEL-2010, el Ex-CONATEL resolvió:

ARTICULO DOS. Adoptar el estándar de televisión digital ISDB-T INTERNACIONAL (Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial) para el Ecuador, con las innovaciones tecnológicas desarrolladas por Brasil y las que hubieren al momento de su implementación, para la transmisión y recepción de señales de televisión digital terrestre.

En nuestro país, los canales de TV local trabajan ya sea de manera abierta, para todo aquel que cuente con un receptor adecuado o bien de manera confinada en sistemas de TV por cable o en sistemas MMDS, únicamente para usuarios autorizados. Por lo tanto, la TDT también debe ofrecer su servicio tanto en los sistemas de señal abierta como en los sistemas confinados, por esta razón

prácticamente los sistemas radiantes de los sistemas de señal abierta son los mismos que actualmente se utilizan, tanto con señal analógica como con señal digital.

La principal diferencia que se tiene entre un sistema radiante que se usa para los sistemas analógicos y uno que se use para sistema digital es que dado que en el sistema digital se requiere que una parte de la señal que se radía sea usada para movilidad, obligatoriamente el sistema radiante debe trabajar con polarización elíptica para que cuente tanto con componente de señal horizontal, (movilidad), como con componente de señal vertical, con mayor potencia, que será la señal que se receptorá en los hogares en los distintos receptores que ya se encontrarán acondicionados para el efecto.

Capítulo 2

Estado del Arte

Principios básicos de sistemas de radiación tipo dipolos.

Los sistemas de radiación más difundidos son aquellos que toman como elemento de radiación dipolos tipo hilo, múltiplos de un cuarto de la longitud de onda $n\frac{\lambda}{4}$, para que se produzca la radiación de la señal de la frecuencia de interés. De tal manera que toda estructura que sea múltiplo de un cuarto de la longitud de onda de una señal de frecuencia dada, es una estructura resonante a esa frecuencia.

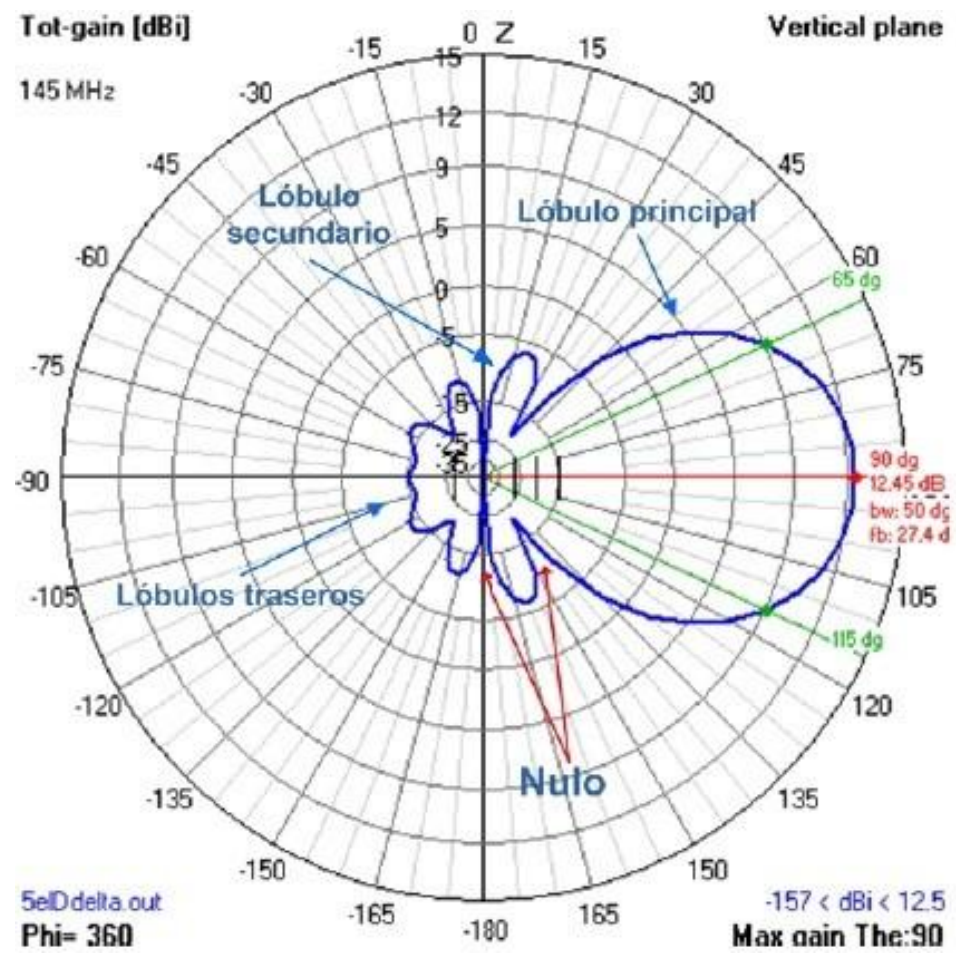
Una de las maneras de conocer las características de radiación que se espera tener de un sistema radiante es contar con su patrón de radiación e interpretar los parámetros que se pueden obtener de la lectura de éstos.

Uno de los estudios más aceptados al respecto de la determinación de los campos radiados vienen dados en Balanis, del que se va a presentar su desarrollo para la obtención de las expresiones para arreglos lineales de dipolos, estructuras que son de las que se tiene el interés de verificar los diagramas de radiación que se pueden obtener a partir de sus desarrollos matemáticos.

Parámetros más importantes de los patrones de radiación.

Conviene precisar conceptos relacionados con el funcionamiento y calidad de las antenas para su correcto uso y comprensión, para el grupo de parámetros de interés es necesario visualizar un patrón de radiación en el plano horizontal (plano E) de una antena arbitraria: De donde, se

Figura 1.
Diagrama de radiación de una antena arbitraria. Tomado de:[20], pág. 8



obtienen los siguientes parámetros para la antena:

Diagrama de radiación o patrón de radiación: es un diagrama que se obtiene calculando o midiendo la intensidad de campo eléctrico o la potencia de la señal radiada al medio. Generalmente es un diagrama relacional en el que se dan los valores de campo o potencia con respecto de los que se obtendrían con una antena ideal omnidireccional. Del diagrama de radiación se obtienen: lóbulos de radiación principales y secundarios; puntos de radiación de media potencia de la señal, que se definen para el(los) lóbulo(s) de radiación principal(es), para el caso del gráfico: las rectas en verde cortan estos puntos en el diagrama.

Ancho del lóbulo de radiación: se define como el(los) ángulo(s) que presenta(n) el(los) lóbulo(s) de radiación principal(es) formado(s) entre los puntos de radiación de media potencia de la señal; para el caso del gráfico: el ángulo entre las rectas en verde sería de: 50° .

Directividad: mientras menor sea el ancho del lóbulo de radiación, más directiva será la antena, por lo que una antena que permite orientar de manera más exclusiva su señal, tendrá una mejor directividad. Se tiene un valor o forma de calcularlo como una ganancia de potencia, por lo que viene asociado a este concepto:

Ganancia de potencia (G): se la calcula mediante la expresión:

$$G = 10 * \log\left(\frac{P_o}{P_{in}}\right) \quad (1)$$

Dado que, se establece la relación entre las potencias que maneja la antena, y de esta relación se obtiene su logaritmo, su resultado se lo expresa en dB. Si se obtiene un valor de $G < 0$, no se habla de ganancia, sino de atenuación de la señal.

Donde:

P_o = Potencia de salida de la antena.

P_{in} = Potencia de entrada a la antena.

Es un parámetro que se lo obtiene generalmente con respecto de una antena isotrópica o una antena tipo dipolo de $\lambda/2$, en cuyos casos viene dada en: dBi y dBd, respectivamente. Se tiene que una antena con mayor directividad en cierta dirección tiene mayor ganancia en esa misma dirección, y viceversa.

Relación delante-atrás (RFB): se establece entre la dirección de mayor ganancia de la antena y la atenuación o ganancia en la dirección ubicada a 180° o dirección opuesta de la primera. Se hace uso de la expresión:

$$RFB = 10 * \log\left(\frac{P_m}{P_{op}}\right) \quad (2)$$

Donde:

P_m = Potencia de salida de la antena en la dirección de máxima radiación.

P_{op} = Potencia de salida de la antena en la dirección opuesta a la de máxima radiación.

Polarización de la antena: las antenas dipolo debido a su geometría, típicamente presentan polarización lineal, ya sea horizontal (plano E) o vertical (plano H). Para tener arreglos de antenas dipolo con componente horizontal y vertical de radiación se requiere contar con dipolos no alineados.

Arreglos de antenas lineales en base de dipolos.

Muchos de los sistemas radiantes que son usados para la difusión de señales al aire, son arreglos de antenas en base de dipolos, generalmente dipolos de $\lambda/2$, por lo que es importante tomar en cuenta los tipos de elementos con los que se cuenta para estos arreglos y los fines que se persigue con ellos, así:

Elementos activos de un sistema radiante: son todos aquellos dipolos que son alimentados por la corriente alterna de la señal y se encuentran interconectados a una longitud específica, con

el objeto de lograr cambios de fase en la señal que se radíe. Generalmente los dipolos tienen distinta longitud para lograr que el sistema cuente con distintas frecuencias de señales radiadas. Elementos pasivos de un sistema radiante: son elementos conductivos que no son alimentados por la corriente alterna de la señal ni se encuentran interconectados entre sí, pero sí se ubican a una longitud específica y tienen un tamaño determinado, con el objeto de lograr efectos de direccionamiento de la señal que se radíe.

De acuerdo con su ubicación y papel que juegan en el sistema radiante se pueden tener elementos pasivos directores de señal, que se encuentran frente al dipolo, son de menor tamaño y elementos pasivos reflectores de señal, que se encuentran tras el dipolo, son de mayor tamaño, a mayor distancia que los directores; ambos elementos ayudan al direccionamiento de la señal, logrando un estrechamiento del lóbulo de radiación, con lo que se tiene una mejor directividad de la antena.

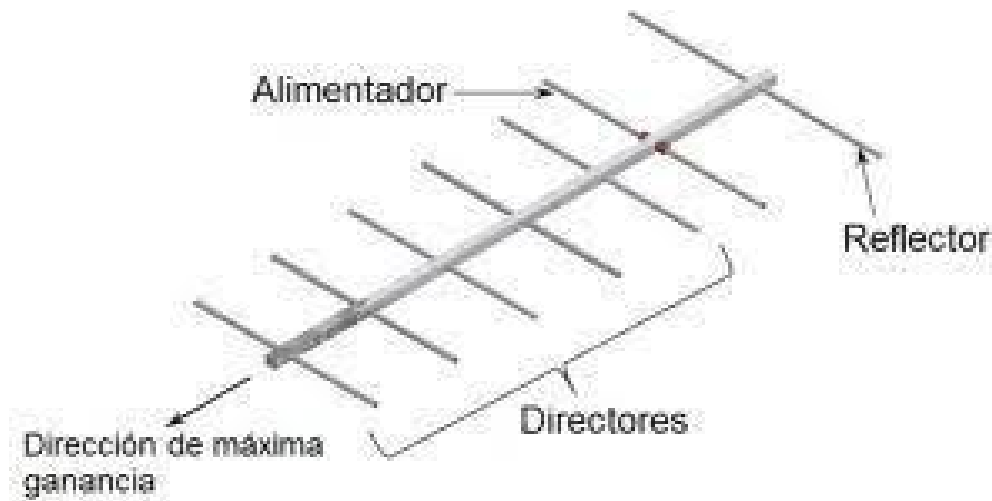
Dada la necesidad de contar con sistemas radiantes que permitan una comunicación en una cierta dirección, los arreglos lineales de dipolos más comúnmente usados son los conocidos como Arreglos *End – Fire*, debido a que presentan un comportamiento directivo en la dirección de la terminación del arreglo, en el plano del arreglo geométrico del sistema radiante.

1. Los arreglos de antenas tipo *Yagi – Uda*: son un caso particular de arreglo *EndFire*, dado que tienen únicamente un elemento activo, uno o varios elementos parásitos llamados directores, de menor longitud que el elemento activo, ubicado(s) en la dirección de la radiación frontal del arreglo y un elemento parásito llamado reflector, ubicado en oposición a el(los) director(es), de mayor longitud que el elemento activo.

Esta disposición de elementos se puede ver en la siguiente gráfica:

Figura 2.

Antena Yagi – Uda con reflector y directores. Tomado de: [14]



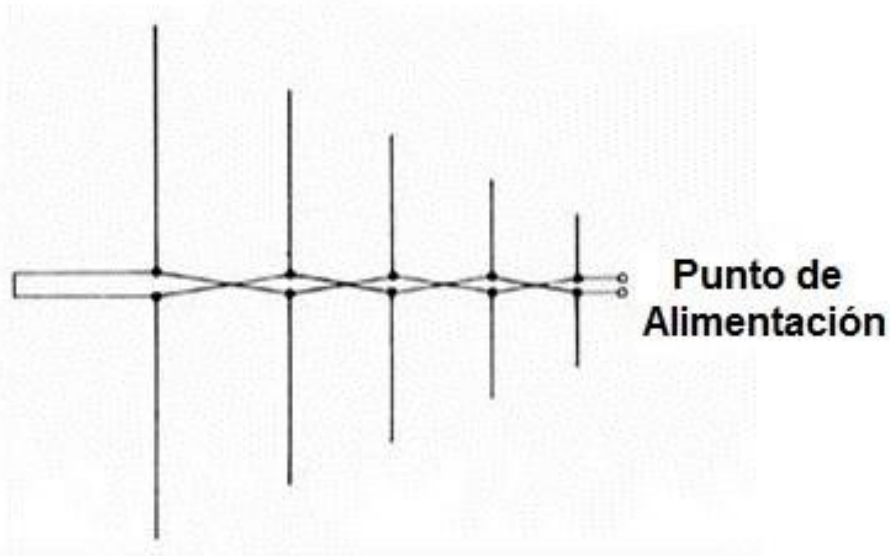
2. Los arreglos de antenas tipo Log – Periódicas: son también otro caso particular de arreglo EndFire, a diferencia de las antenas Yagi – Uda, todos sus elementos son activos, lo que le permite ser una antena de banda ancha. Dada su forma de alimentación, se puede asegurar que es un arreglo de antenas con voltaje de alimentación constante y diferencia de fase dada por la diferencia de ubicación de los puntos de alimentación de los dipolos activos, que típicamente se encuentran alimentados en su mitad, debido no solo por consideraciones geométricas, sino también, y más importante, por el desarrollo de los diagramas de radiación y análisis con que se cuenta de este tipo de arreglos.

El nombre de antenas Log – Periódicas se debe a que el envolvente de la disposición geométrica de los dipolos que la conforman siguen una disposición decreciente logarítmica, cuya característica es usada para su diseño.

Esta disposición de elementos se puede ver en la siguiente gráfica:

Figura 3.

Antena Log - Periódica con su disposición de dipolos. Tomado de:[15], pág. 4



Modelación y simulación de arreglos lineales de dipolos.

De manera general, los procesos de modelación matemática parten de un desarrollo teórico conceptual de un fenómeno o situación que se quiere descifrar.

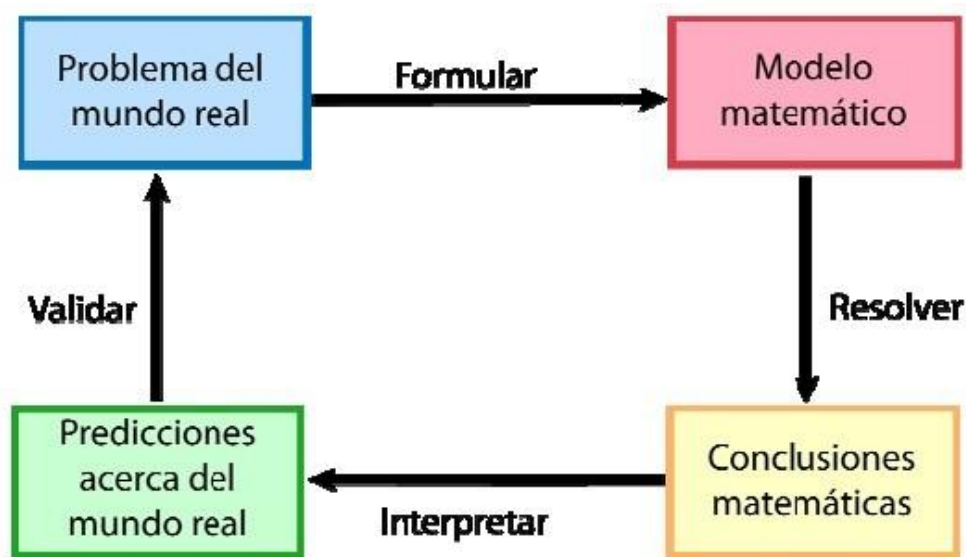
La importancia de la modelación para el estudiante de ingeniería es resaltada en distintas investigaciones [5], [3], [8] y [13], en las que como criterios más importantes, se afirma que:

1. La modelación matemática es un valioso instrumento que debe ser considerado, tanto en proyectos de investigación como en la enseñanza de la matemática en los programas de ingeniería.
2. La modelación matemática en la formación del estudiante de ingeniería debe estar en el centro del interés didáctico que le permita establecer importantes relaciones entre situaciones contextuales, que le permita la formación de competencias necesarias para el uso del método del diseño en ingeniería y el desarrollo del pensamiento matemático y el pensa-

miento estratégico, que deben estar presentes en el diseño de experiencias de enseñanza-aprendizaje dirigidas a la formación de ingenieros.

3. Para llegar a la modelación matemática, la representación verbal, algebraica y diagramática son procesos previos.
4. Para construir un modelo matemático es necesario seguir una trayectoria bien definida y desglosada en diferentes pasos adecuadamente ordenados, los cuales constituyen un enfoque lógico y consistente que conforman una estrategia general de la modelación matemática, que se muestra en el siguiente gráfico:

Figura 4.
El proceso de modelación matemática básico. Tomado de:[3], pág. 4



Para el caso que nos compete, hay que considerar que los patrones derivados de sistemas radiantes, de manera práctica, pueden ser controlados mediante los siguientes métodos [1]:

1. Mediante la configuración geométrica (lineal, rectangular, circular, etc.)
2. La situación relativa de los elementos.

3. La amplitud de la excitación de cada elemento.
4. La fase de la excitación de cada elemento.
5. El diagrama de radiación de cada elemento.

Parámetros que se pueden variar a voluntad para obtener un tipo de diagrama de radiación deseado y para los que se puede encontrar un factor de agrupación tal que el diagrama del sistema radiante se lo determine como el producto del factor de agrupación por el diagrama de radiación del elemento.

Este factor de agrupación se obtiene a partir del análisis de los componentes de los campos eléctricos que se generarán para cada uno de los elementos radiantes y del análisis de la interrelación que se establecerá entre ellos.

El modelo al que se llegue para la determinación del patrón de radiación deberá reflejar todos estos aspectos.

Para el caso planteado, arreglos de antenas en base de dipolos, Balanis presenta sus desarrollos en su texto y se encuentran aplicaciones de estos en campos como la radioastronomía [17].

Por otro lado, los métodos de simulación pretenden reproducir el fenómeno que ha sido modelado con el fin de poder estudiarlo o aprovecharlo.

Se pueden tener los siguientes tipos de simulación [9]:

Estática y dinámica, dependiendo si es o no importante considerar el paso del tiempo en la simulación de la variable.

Estocástica y determinista, también conocidas como estadística y numérica, dependiendo si la variable a simular va a tener un comportamiento aleatorio o no.

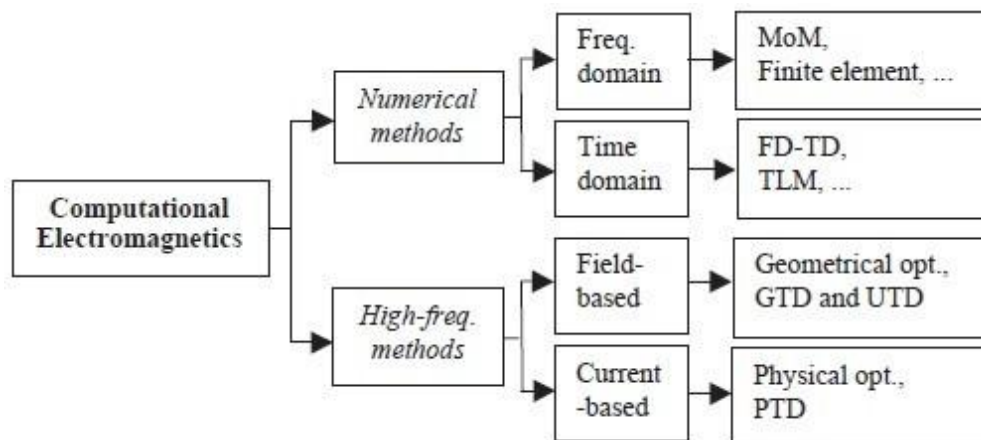
Continua y discreta, dependiendo de que la variable a simular describa mejor su comportamiento de una manera continua o discreta, respectivamente.

Y puesto que los patrones de radiación no van a cambiar su configuración en el tiempo, que se obtendrán a partir de ecuaciones de campo que se modelan, y que para su comprensión y optimización de cálculo será suficiente contar con valores discretos de estos, la simulación que se va a realizar será estática, determinista y discreta.

En particular, los métodos de simulación para la obtención de los patrones de radiación de los arreglos de antenas hacen uso de ayudas computacionales, dado que de otra manera implicarían un engorroso y largo proceso de cálculo, que resultan ya ineficientes pensar hacerlos con lápiz y papel.

Estos métodos computacionales de simulación de modelos matemáticos para el análisis de antenas se los encuentra sistematizados en [19] y [22], que clasifican los métodos computacionales para electromagnetismo de la siguiente manera: En los que los métodos numéricos son más re-

Figura 5. Clasificación de los métodos computacionales para simulación electromagnética. Tomado de [22], pág.217



comendados para pequeñas estructuras, cuyo límite superior estén en un orden de magnitud de:

20 .

Como parte de los métodos numéricos se tienen los métodos en el dominio del tiempo y los métodos en el dominio de la frecuencia, siendo éstos últimos los más adecuados al momento de trabajar con modelos obtenidos a partir de ecuaciones integro diferenciales derivadas de las ecua-

ciones de Maxwell y de las condiciones de contorno de la situación problemática, modelos como la ecuación integral del campo eléctrico (EFIE), ecuación integral del campo magnético (MFIE), la ecuación integral de Pocklington, entre otros.

De los métodos en el dominio de la frecuencia, se tiene que el más adecuado para trabajar con modelos de antenas tipo hilo es el método de los momentos. Tal como se sugiere en el análisis comparativo mostrado en [22], pág.231:

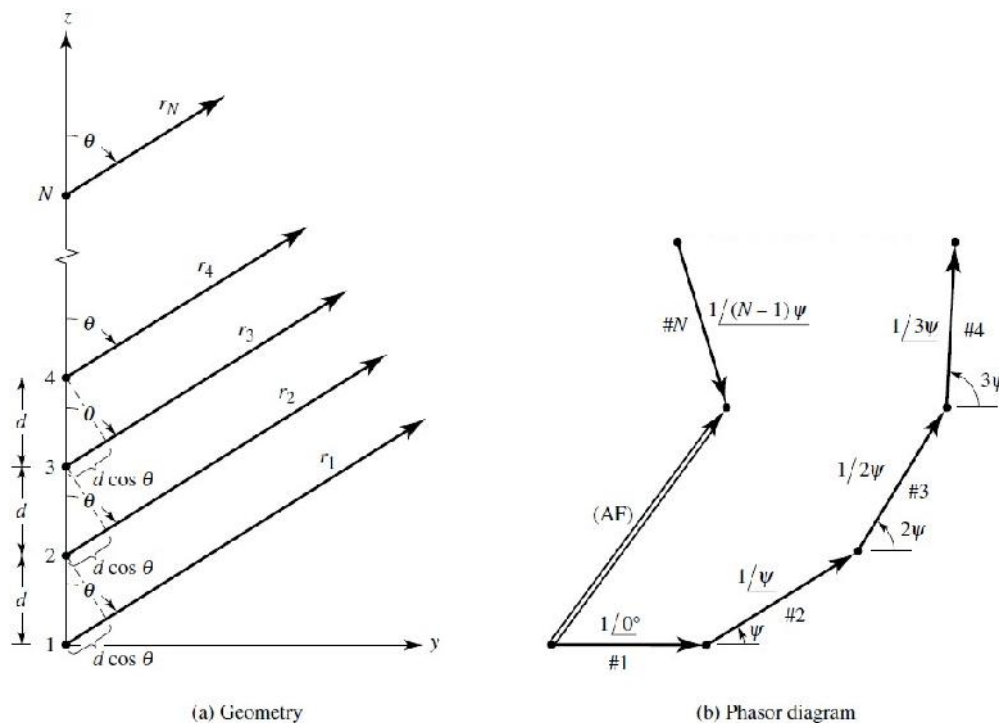
Figura 6.
Comparación de métodos numéricos para simulación electromagnética.

| | Frequency domain methods | | Time domain methods | |
|----------------------|---|------------------------------------|--|-------------------------------|
| | MoM | FEM | FDTD | TLM |
| <i>Advantages</i> | Fast at single frequency; Easily combined with other methods to deal with large problems. | | Broadband results in one simulation; Good for pulse-type problems. | |
| <i>Disadvantages</i> | Difficult to deal with pulse-type problems; | | Not suitable for electrically large systems | |
| <i>Note</i> | Most suitable for wire-type antennas | Be careful with very thin wires | Be careful with the boundary conditions | Be careful with thin wires |

Obtención de expresiones para los campos de radiación de arreglos lineales de dipolos [2]

Dado que se cuenta con desarrollos para los campos de elementos radiantes de diversos tipos y de arreglos dados por estos diversos tipos de elementos radiantes, conviene extender estos desarrollos a las situaciones más comunes de arreglos de antenas comerciales, en las que se hacen uso de elementos de distintas magnitudes en sistemas radiantes para producir tanto mejores anchos de banda como mayores características de directividad del sistema, por lo que se va a tener que trabajar con la superposición de los campos generados por cada uno de los elementos del arreglo, considerando tanto la distancia entre cada elemento como la variación de fase en la alimentación de cada elemento, así, como se muestra la siguiente representación fasorial de los campos generados y del campo total a ser obtenido, por ejemplo en un arreglo de N -elementos isotrópicos posicionados a lo largo del eje z :

Figura 7.
Representación fasorial de campos lejanos debido a un arreglo de N -elementos isotrópicos.
Tomado de [2], pág.293



Como en un arreglo de antenas, se va a tener tanto elementos activos como elementos parásitos, en los que para cierta frecuencia, sus elementos resonantes, múltiplos de un cuarto de la longitud de onda $n\frac{\lambda}{4}$ se los considerará activos, la estructura adicional trabajará como elementos parásitos o de dispersión de la señal, por lo que para determinar el campo generado por la estructura en conjunto se va a tener:

$$E^t(r) = E^i(r) + E^d(r) \quad (3)$$

Donde:

$E_t(r)$ = Campo eléctrico total.

$E_i(r)$ = Campo eléctrico incidente.

$E_d(r)$ = Campo eléctrico inducido.

Dado que los elementos radiantes se trata de alambres delgados conductores, se cumplirá que en la superficie de los alambres, la componente tangencial del campo deberá ser cero, así:

$$E_z^t(r = r_s) = E_z^i(r = r_s) + E_z^d(r = r_s) = 0 \quad (4)$$

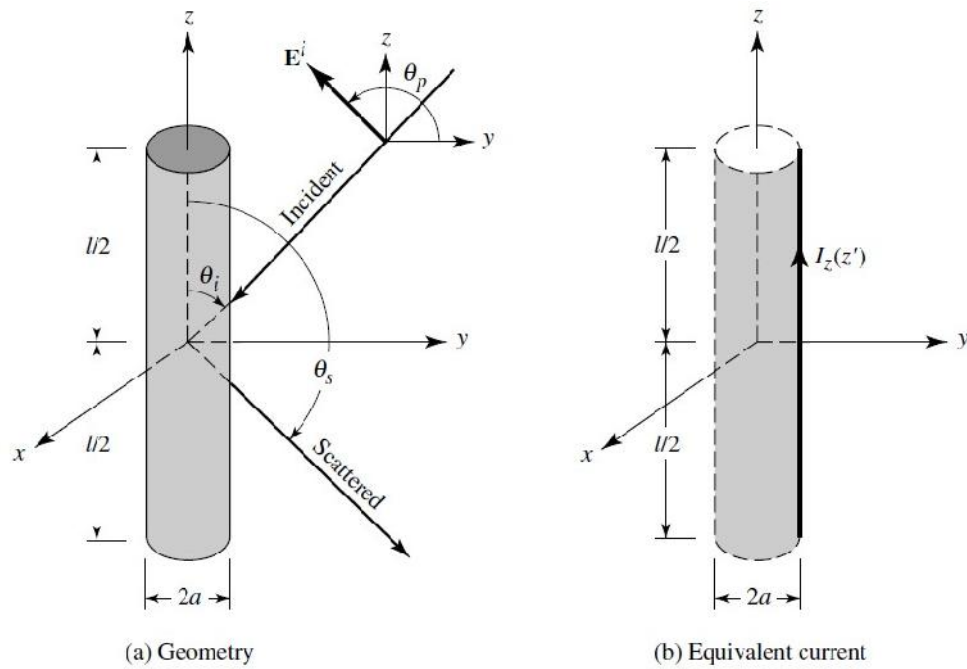
, de donde:

$$E_z^i(r = r_s) = - E_z^d(r = r_s) \quad (5)$$

Considerando la siguiente disposición de los elementos en el sistema radiante:

Figura 8.

Parámetros y disposición de elementos en sistema radiante y sistema de coordenadas. Tomado de [2], pág.443



Expresión, disposición de los elementos y condiciones de contorno, a partir de la que se va a desarrollar la ecuación integral de Pocklington para el sistema radiante.

En general, el campo eléctrico inducido, generado por la densidad de corriente inducida J_s viene dado por:

$$\begin{aligned} E^d(\mathbf{r}) &= -j\omega\mathbf{A} - j\frac{1}{\omega\mu}\nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}) \\ &= -j\frac{1}{\omega\mu}[k^2\mathbf{A} + \nabla(\nabla \cdot \mathbf{A})] \end{aligned}$$

Dado que es de interés observar qué se tiene en el eje z , en la que se presentan las condiciones de borde, la anterior expresión se reduce a:

$$E_z^d(r) = -j\frac{1}{\omega} [k^2 A_z + \frac{\delta^2 A_z}{\delta z^2}] \quad (6)$$

]

(6)

Expresión para la que, despreciando efectos de borde, se tiene como una posible solución:

$$A_z = \frac{\mu}{4\pi} \iint_s J_z \frac{e^{-jkR}}{R} ds' = \frac{\mu}{4\pi} \int_{-l/2}^{+l/2} \int_0^{2\pi} J_z \frac{e^{-jkR}}{R} ad\Phi' dz' \quad (7)$$

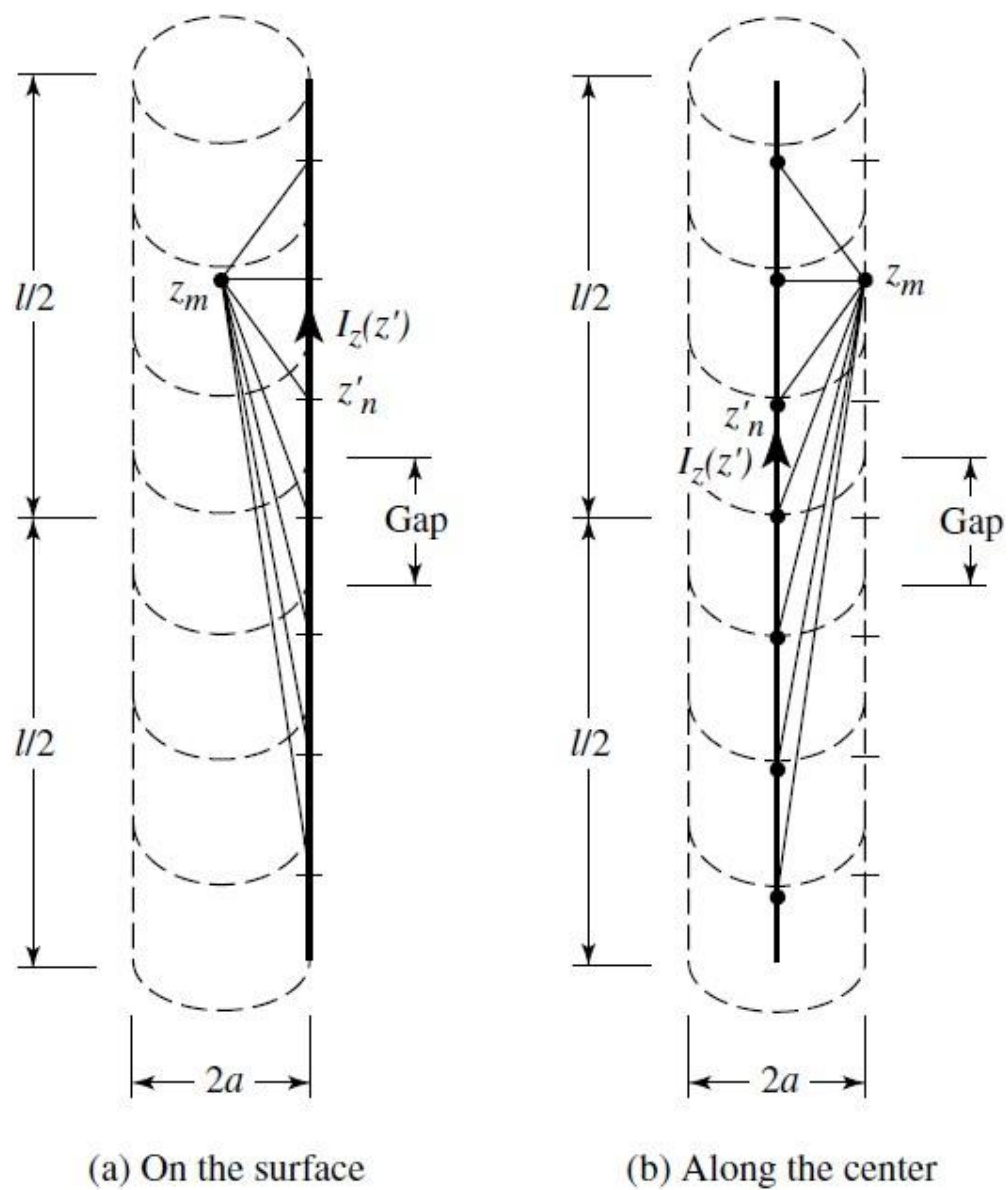
Si el cable es muy delgado, la densidad de corriente J_z no es una función del ángulo azimutal Φ , y se puede tener:

$$2\pi a J_z = I_z(z') \Rightarrow J_z = \frac{1}{2\pi a} I_z(z')$$

Donde $I_z(z')$ se asume como una fuente de corriente tipo filamento localizada a la distancia radial $\rho = a$ desde el eje z , como se muestra en la siguiente figura:

Figura 9.

Segmentación del dipolo y sus corrientes equivalentes. Tomado de [2], pág.445



Con lo que, la ecuación 7 se reduce a:

$$A_z = \frac{\mu}{4\pi} \int_{-l/2}^{+l/2} \left[\frac{1}{2\pi a} \int_0^{2\pi} I_z(z') \frac{e^{-jkR}}{R} a d\Phi' \right] dz'$$

$$R = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2}$$

$$= \sqrt{\rho^2 + a^2 - 2\rho a \cos(\phi - \phi') + (z - z')^2}$$

Donde ρ es la distancia radial al punto de observación y a es el radio del elemento radiante.

De acuerdo con la simetría de las influencias mutuas entre los elementos radiantes, se observa que no son una función de Φ . Por simplicidad, se escoge $\Phi = 0$. Para observaciones sobre la superficie, $\rho = a$, las ecuaciones anteriores se reducen a:

$$A_z(\rho = a) = \mu \int_{-l/2}^{+l/2} I_z(z') \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} d\Phi' \right] dz'$$

Última ecuación en la que se puede definir como función de Green:

$$G(z, z') = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} d\Phi' \quad (8)$$

, con lo que:

$$A_z(\rho = a) = \mu \int_{-l/2}^{+l/2} I_z(z') G(z, z') dz'$$

, teniendo que :

$$R(\rho = a) = \sqrt{4a^2 \sin^2\left(\frac{\phi'}{2}\right) + (z - z')^2}$$

Así, para observaciones sobre la superficie, a $\rho = a$ de la inducción, la componente z del campo eléctrico inducido puede expresarse como:

$$E_z^d(\rho = a) = -j \frac{1}{w\varepsilon} (k^2 + \frac{d^2}{dz^2}) \int_{-l/2}^{+l/2} I_z(z') G(z, z') dz'$$

la que, usando 5 se puede expresar como:

$$-E_z^i(\rho = a) = -j \frac{1}{w\varepsilon} (k^2 + \frac{d^2}{dz^2}) \int_{-l/2}^{+l/2} I_z(z') G(z, z') dz'$$

o

$$(\frac{d^2}{dz^2} + k^2) \int_{-l/2}^{+l/2} I_z(z') G(z, z') dz' = -j w \varepsilon E_z^i(\rho = a)$$

Intercambiando integración con diferenciación, se puede escribir esta última expresión como:

$$\int_{-l/2}^{+l/2} I_z(z') [(\frac{\delta^2}{\delta z^2} + k^2) G(z, z')] dz' = -j w \varepsilon E_z^i(\rho = a) \quad (9)$$

donde $G(z, z')$ viene dado por la ecuación 8.

La ecuación 9 es conocida como *ecuación integral de Pocklington*, y puede ser usada para determinar la fuente de corriente equivalente tipo filamento del alambre, y así determinar la densidad de corriente sobre el alambre, conocido el campo incidente sobre la superficie del alambre.

Procesando la ecuación 8 y reemplazándola en la ecuación 9, se tendría para el campo eléctrico total generado por una fuente de corriente eléctrica radiando en el espacio libre:

$$\int_{-l/2}^{+l/2} I(z') (\frac{\delta^2}{\delta z^2} + k^2) \frac{e^{-jkR}}{R} dz' = j 4 \pi w \varepsilon_0 E_z^t \quad (10)$$

, donde:

$$R = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2}$$

, y como:

$$\frac{\delta^2}{\delta z^2} \left(\frac{e^{-jkR}}{4\pi R} \right) = \frac{\delta^2}{\delta z'^2} \left(\frac{e^{-jkR}}{4\pi R} \right)''$$

, 10 se reduce a:

$$\int_{-l/2}^{+l/2} I(z') \frac{\delta^2}{\delta z^2} \left(\frac{e^{-jkR}}{R} \right) dz' + k^2 \int_{-l/2}^{+l/2} I(z') \frac{e^{-jkR}}{R} dz' = j4\pi w \varepsilon_o E_z^t \quad (11)$$

Última ecuación en la que integrando su primer término por partes, haciendo:

$$\mu = I(z') \Rightarrow d\mu = \frac{dI(z')}{dz'} dz'$$

, y

$$dv = \frac{\delta^2}{\delta z^2} \left(\frac{e^{-jkR}}{R} \right) dz' = \frac{\delta}{\delta z'} \left[\frac{\delta}{\delta z'} \left(\frac{e^{-jkR}}{R} \right) \right] dz'$$

, por lo que:

$$v = \frac{\delta}{\delta z'} \left(\frac{e^{-jkR}}{R} \right)$$

, y el primer término de 11 se reduce a:

$$\int_{-l/2}^{+l/2} I(z') \frac{\delta^2}{\delta z^2} \left(\frac{e^{-jkR}}{R} \right) dz' = I(z') \left[\frac{\delta}{\delta z'} \left(\frac{e^{-jkR}}{R} \right) \right]_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} - \int_{-l/2}^{+l/2} \frac{\delta}{\delta z'} \left(\frac{e^{-jkR}}{R} \right) \frac{dI(z')}{dz'} dz'$$

Dado que se tiene que la corriente al final de cada cable se desvanece, esto es: $I_z(z' = +\frac{l}{2}) =$

$I_z(z' = -\frac{l}{2}) = 0$, la última ecuación se reduce a:

$$\int_{-l/2}^{+l/2} I(z') \frac{\delta^2}{\delta z'^2} \left(\frac{e^{-jkR}}{R} \right) dz' = - \int_{-l/2}^{+l/2} \frac{\delta}{\delta z'} \left(\frac{e^{-jkR}}{R} \right) dz' \frac{dI(z')}{dz'}$$

Ecuación que se integra por partes, haciendo:

$$\mu = \frac{dI(z')}{dz'} \Rightarrow d\mu = \frac{d^2 I(z')}{dz'^2} dz'$$

, y

$$dv = \frac{\delta}{\delta z'} \left(\frac{e^{-jkR}}{R} \right) dz' \Rightarrow v = \frac{e^{-jkR}}{R}$$

La ecuación queda:

$$\int_{-l/2}^{+l/2} I(z') \frac{\delta^2}{\delta z'^2} \left(\frac{e^{-jkR}}{R} \right) dz' = - \frac{dI(z')}{dz'} \frac{e^{-jkR}}{R} \Big|_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} + \int_{-l/2}^{+l/2} \frac{d^2 I(z')}{dz'^2} \frac{e^{-jkR}}{R} dz'$$

Expresión que al substituir al primer término de la ecuación 11, la reduce a:

$$- \frac{dI(z')}{dz'} \frac{e^{-jkR}}{R} \Big|_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} + \int_{-l/2}^{+l/2} \left[k^2 I(z') + \frac{d^2 I(z')}{dz'^2} \right] \frac{e^{-jkR}}{R} dz' = j4\pi\omega\epsilon_0 E_z^t \quad (12)$$

Simulación para los campos de radiación de arreglos lineales de dipolos.

Siguiendo con el desarrollo presentado por [2] y procesado por [4], que lo particularizó para el caso de antenas *Yagi – Uda con reflector de esquina*, se va a llegar al planteamiento de la simulación de los patrones de radiación generados por cualquier tipo de arreglos lineales de dipolos.

A partir de 12, que viene a ser la ecuación integral de Pocklington modificada para su procesamiento mediante métodos numéricos, y que representa el campo eléctrico total generado por una fuente de corriente de alambres delgados, se considera que para alambres de pequeño diámetro, la corriente en cada elemento puede ser aproximada por una serie finita. Así, la corriente en el

n-ésimo elemento puede ser escrita como una expansión en serie de Fourier de la forma:

$$I_n(z') = \sum_{m=1}^M I_{nm} \cos\left[(2m-1) \frac{\pi z'}{l_n}\right] \quad (13)$$

, donde I_{nm} representa el coeficiente complejo de corriente de modo m en el elemento n y l_n representa la longitud correspondiente del elemento n . Tomando la primera y segunda derivada de la expresión 13 y substituyéndola en la ecuación 12, se reduce a:

$$\sum_{m=1}^M I_{nm} \left\{ \frac{(2m-1)\pi}{l_n} \sin\left[(2m-1) \frac{\pi z'}{l_n}\right] \frac{e^{-jkR}}{R} \Big|_{-\frac{l_n}{2}}^{+\frac{l_n}{2}} + \left[k^2 - \frac{(2m-1)^2 \pi^2}{l_n^2} \right] \right. \\ \left. \times \int_{-l_n/2}^{l_n/2} \cos\left[\frac{(2m-1)\pi z'_n}{l_n}\right] \frac{e^{-jkR}}{R} dz'_n \right\} = j4\pi\omega\epsilon_o E_z^t$$

Dado que el coseno es una función par, esta última ecuación puede ser reducida para integrar solo sobre $0 \leq z' \leq l/2$, obteniéndose:

$$\sum_{m=1}^M I_{nm} \left\{ (-1)^{m+1} \frac{(2m-1)\pi}{l_n} G_2\left(x, x', y, y'/z, \frac{l_n}{2}\right) + \left[k^2 - \frac{(2m-1)^2 \pi^2}{l_n^2} \right] \times \int_0^{l_n/2} G_2\left(x, x', y, y'/z, z'_n\right) \cos\left[\frac{(2m-1)\pi z'_n}{l_n}\right] dz'_n \right\} = j4\pi\omega\epsilon_o E_z^t \quad (14)$$

, donde:

$$G_2\left(x, x', y, y'/z, z'_n\right) = \frac{e^{-jkR_-}}{R_-} + \frac{e^{-jkR_+}}{R_+}$$

, y

$$R_{\pm} = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + a^2 + (z \pm z')^2}$$

, en la que:

$$n = 1, 2, 3, \dots, N$$

$N = \text{numero total de elementos}$

, y:

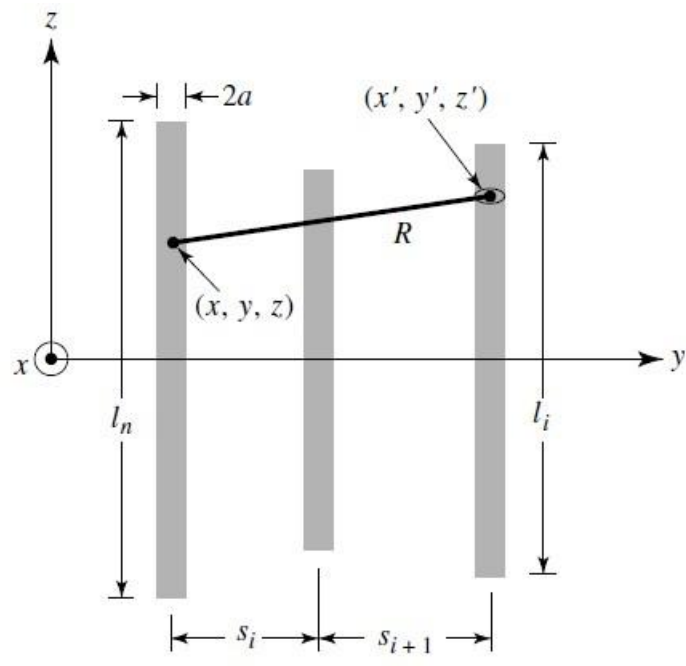
R_{\pm} es la distancia desde el centro de cada alambre al centro de otro alambre, como se muestra en la *Figura10(a)*.

La ecuación integral 14 es válida para cada elemento, y se asume que el número de modos de corriente M es el mismo para cada elemento. De esta forma, para aplicar el Método de los Momentos para solucionar la ecuación integral 14, cada alambre es subdividido en M segmentos. Sobre cada elemento, con excepción de un elemento activo, el emparejamiento es hecho al centro del alambre, y se requiere que E_z^t de la ecuación 14, se desvanezca en cada punto de emparejamiento de cada segmento, esto es: $E_z^t(z = z_i) = 0$, como se muestra en la *Figura10(b)*. Sobre el elemento activo el emparejamiento es hecho sobre la superficie del alambre, y esto requiere que E_z^t de la ecuación 14, se desvanezca en $M - 1$ puntos, de sus m modos, ésto excluye al segmento de alimentación del elemento, tal como se muestra en la *Figura10(c)*. Ésto genera $M - 1$ ecuaciones. La M -ésima ecuación del elemento activo es generada por la restricción que la corriente normalizada para los M modos en el punto de alimentación ($z'=0$) del elemento activo es igual a la unidad, o sea:

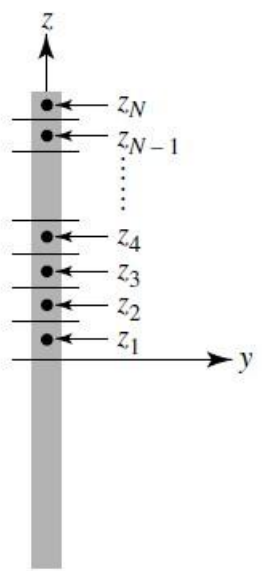
$$\sum_{m=1}^M I_{nm} (z' = 0) |_{n=N} = 1 \quad (15)$$

Figura 10.

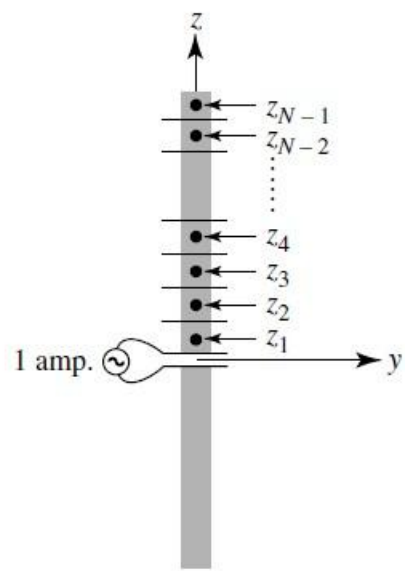
Consideraciones para Método de los Momentos en Yagi-Uda. Tomado de [2], pág.584



(a) Separation distance



(b) Parasitic elements



(c) Driven element

En base del anterior procedimiento, es generado un sistema lineal de ecuaciones que toma en cuenta la interacción de:

1. Cada modo de cada segmento del alambre con cada segmento sobre el mismo alambre.
2. Cada modo de cada segmento del alambre con cada segmento sobre otros alambres.

Este sistema lineal de ecuaciones luego se resuelve encontrando las amplitudes de los coeficientes complejos de la distribución de corriente en cada alambre, como se representó en la ecuación 13.

Una vez que la distribución de corriente es encontrada, el campo eléctrico lejano total puede ser obtenido sumando las contribuciones de cada elemento de corriente.

El campo eléctrico lejano total generado por los M modos de los n elementos orientados paralelos al eje z vendrá dado por:

$$E_{\theta n} \simeq -j\omega A_{\theta n}$$

, donde :

$$\begin{aligned} A_{\theta n} &\simeq -\frac{\mu e^{-jkr}}{4\pi r} \sin\theta \int_{-l_n/2}^{+l_n/2} I_n e^{jk(x_n \sin\theta \cos\phi + y_n \sin\theta \sin\phi + z'_n \cos\theta)} dz'_n \\ &\simeq -\frac{\mu e^{-jkr}}{4\pi r} \sin\theta [e^{jk(x_n \sin\theta \cos\phi + y_n \sin\theta \sin\phi)} \int_{-l_n/2}^{+l_n/2} I_n e^{jkz'_n \cos\theta} dz'_n] \end{aligned}$$

, donde x_n, y_n representan la posición del n -ésimo elemento. El campo total es luego obtenido sumando las contribuciones de cada uno de los N elementos, y se puede escribir así:

$$E_{\theta} = \sum_{n=1}^N E_{\theta n} = -j\omega A_{\theta} \quad (16)$$

$$A_{\theta} = \sum_{n=1}^N A_{\theta n} = -\frac{\mu e^{-jkr}}{4\pi r} \sin\theta \sum_{n=1}^N \left\{ e^{jk(x_n \sin\theta \cos\phi + y_n \sin\theta \sin\phi)} \times \left[\int_{-l_n/2}^{+l_n/2} I_n e^{jkz'_n \cos\theta} dz'_n \right] \right\} \quad (17)$$

Para cada alambre, la corriente es representada por la expresión 13. Además, la última integral en la expresión 17 puede ser escrita como:

$$\int_{-l_n/2}^{+l_n/2} I_n e^{jkz'_n \cos\theta} dz'_n = \sum_{m=1}^M I_{nm} \int_{-l_n/2}^{l_n/2} \cos \left[\frac{(2m-1)\pi z'_n}{l_n} \right] e^{jkz'_n \cos\theta} dz'_n$$

Dado que el coseno es una función par, la anterior ecuación puede ser expresada como:

$$\begin{aligned} \int_{-l_n/2}^{+l_n/2} I_n e^{jkz'_n \cos\theta} dz'_n &= \sum_{m=1}^M I_{nm} \int_0^{l_n/2} 2\cos \left[\frac{(2m-1)\pi z'_n}{l_n} \right] \times \left[\frac{e^{jkz'_n \cos\theta} + e^{-jkz'_n \cos\theta}}{2} \right] dz'_n \\ &= \sum_{m=1}^M I_{nm} \int_0^{l_n/2} 2\cos \left[\frac{(2m-1)\pi z'_n}{l_n} \right] \times \cos(kz'_n \cos\theta) dz'_n \end{aligned} \quad (18)$$

Usando la identidad trigonométrica:

$$2\cos(\alpha)\cos(\beta) = \cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)$$

La ecuación 18 puede reescribirse como:

$$\int_{-l_n/2}^{+l_n/2} I_n e^{jkz'_n \cos\theta} dz'_n = \sum_{m=1}^M I_{nm} \left\{ \int_0^{l_n/2} \cos \left[\frac{(2m-1)\pi}{l_n} + k\cos\theta \right] z'_n dz'_n + \int_0^{l_n/2} \cos \left[\frac{(2m-1)\pi}{l_n} - k\cos\theta \right] z'_n dz'_n \right\} \quad (19)$$

Dado que:

$$\int_0^{\alpha/2} \cos [(b \pm c)z] dz = \frac{\alpha}{2} \frac{\sin[(b \pm c)\frac{\alpha}{2}]}{(b \pm c)\frac{\alpha}{2}}$$

Con lo que, la expresión 19 puede ser reducida a:

$$\int_{-l_n/2}^{+l_n/2} I_n e^{jkz'_n \cos\theta} dz'_n = \sum_{m=1}^M I_{nm} \left[\frac{\sin(Z^+)}{Z^+} + \frac{\sin(Z^-)}{Z^-} \right] \frac{l_n}{2}$$

, donde:

$$Z^+ = \left[\frac{(2m-1)\pi}{l_n} + k\cos\theta \right] \frac{l_n}{2}$$

$$Z^- = \left[\frac{(2m-1)\pi}{l_n} - k \cos\theta \right] \frac{l_n}{2}$$

Así, el campo total, que venía dado por las expresiones 16 y 17 , puede ser escrito como:

$$E_\theta = \sum_{n=1}^N E_{\theta n} = -j\omega A_\theta \quad (20)$$

, donde:

$$A_\theta = \sum_{n=1}^N A_{\theta n} = -\frac{\mu e^{-jkr}}{4\pi r} \sin\theta \sum_{n=1}^N \left\{ e^{jk(x_n \sin\theta \cos\phi + y_n \sin\theta \sin\phi)} \times \sum_{m=1}^M I_{nm} \left[\frac{\sin(Z^+)}{Z^+} + \frac{\sin(Z^-)}{Z^-} \right] \right\} \frac{l_n}{2}$$

Expresiones últimas que pueden ser determinadas mediante métodos numéricos.

Capítulo 3

Desarrollo de la Propuesta

Dado que resulta de interés contar con los valores de potencia radiada por los distintos tipos de antenas y sus arreglos para diferentes valores de azimuts y distancias, es necesario tener estos valores plenamente identificados para su posible uso posterior y para tener, contando con otros parámetros, una definición clara de la posibilidad de recepción de una señal en cierta locación. Se presentan los diagramas de radiación calculados a una distancia de $r = 1Km$, como los presenta el programa *MMANA – GAL*, por lo que se mantiene este mismo parámetro para realizar la comparación de los resultados esperados en el capítulo posterior, además por lo general se calcularán los campos y potencias de radiación con un voltaje pico de $V = 1V$.

Modelación de los patrones de sistemas de radiación tipo dipolos más usados para TDT- ISDB-T Internacional

Con base en los trabajos realizados por Balanis, presentados previamente, se procede a utilizar y nodificar esos modelos para la obtención de las expresiones de los patrones de sistemas de radiación tipo dipolos más usados para TDT- ISDB-T Internacional. Para ello, se parte de la modelación del dipolo elemental, del dipolo de $\frac{\lambda}{2}$ y de los posibles arreglos de dipolos más usados para la aplicación de interés en la presente investigación:

Modelación de los patrones de radiación del dipolo elemental.

Son considerados dipolos elementales, los que tienen una longitud de: $h \leq \frac{\lambda}{50}$ Las expresiones que determinan las magnitudes de los campos radiados por este tipo de dipolo, vienen dadas por [2]: ver pág. 159.

$$E_{\theta} \approx jw \frac{\mu \varepsilon^{-jkr}}{4\pi r} I h \text{sen}(\theta) \quad (21)$$

y

$$H_{\phi} \approx jk \frac{\varepsilon^{-jkr}}{4\pi r} I h \text{sen}(\theta) \quad (22)$$

Modelación de los patrones de radiación del dipolo de $\frac{\lambda}{2}$

Las expresiones que determinan las magnitudes de los campos radiados por este tipo de dipolo, vienen dadas por [2]: ver pág. 172.

$$E_{\theta} \approx j\eta \frac{I \varepsilon^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{\text{COS} \left(\frac{kh}{2} \text{COS}(\theta) \right) - \text{COS} \left(\frac{kh}{2} \right)}{\text{sen}(\theta)} \right] \quad (23)$$

y

$$H_{\phi} \approx j \frac{I \varepsilon^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{\text{COS} \left(\frac{kh}{2} \text{COS}(\theta) \right) - \text{COS} \left(\frac{kh}{2} \right)}{\text{sen}(\theta)} \right] \quad (24)$$

Ecuaciones y desarrollo que son válidos para dipolos de longitud finita, que cumplen con: $\frac{\lambda}{10} \leq$

$$h \leq 3\lambda$$

Modelación de los patrones de radiación de los arreglos de dipolos más usados en transmisión de señales de TDT ISDB-T Internacional.

Del estudio previo sobre los arreglos de dipolos, se encuentra que los que resulta prácticos usarlos en transmisión de señales de TDT ISDB-T Internacional, son las conocidas como antenas *Yagi – Uda* y *Log – Periodicas*.

De las antenas *Yagi – Uda*:

Para la modelación de su patrón de radiación se estudió y corrigió el trabajo desarrollado por [4], en base del artículo realizado por [16] y de lo sistematizado por [2], en su texto.

Las expresiones que determinan las magnitudes de los campos radiados por este tipo de arreglos de dipolos, se encuentran desarrolladas en base del Método de los Momentos, en el que se *divide* a cada componente del sistema radiante (de N elementos) en M modos, considerando las interrelaciones que se pueden presentar entre cada una de las partes de cada uno de los elementos con cada una de las partes de los otros elementos, por lo que se llegan a obtener matrices de estas interrelaciones en ecuaciones que vienen dadas por:

$$\sum_{m=1}^M I_{nm} \left\{ (-1)^{m+1} \frac{(2m-1)\pi}{l_n} G_2 \left(x, x', y, y' / z, \frac{l_n}{2} \right) + \left[k^2 - \frac{(2m-1)^2 \pi^2}{l_n^2} \right] \right. \\ \left. \times \int_0^{l_n/2} G_2 \left(x, x', y, y' / z, z'_n \right) \cos \left[\frac{(2m-1)\pi z'_n}{l_n} \right] dz'_n \right\} = j4\pi\omega\varepsilon_o E_z^t$$

, donde :

$$G_2 \left(x, x', y, y' / z, z'_n \right) = \frac{e^{-jkR_-}}{R_-} + \frac{e^{-jkR_+}}{R_+}$$

, y

$$R_{\pm} = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + a^2 + (z \pm z')^2}$$

Ecuaciones en las que se debe considerar, dado que únicamente se tiene un elemento activo para este tipo de arreglo:

$$\sum_{m=1}^M I_{nm} (z' = 0) |_{n=N} = 1 \quad (25)$$

Con lo que, contando con la matriz de interrelaciones, se puede llegar a obtener:

$$E_{\theta} = \sum_{n=1}^N E_{\theta n} = -j\omega A_{\theta} \quad (26)$$

, donde:

$$A_{\theta} = \sum_{n=1}^N A_{\theta n} = -\frac{\mu e^{-jkr}}{4\pi r} \sin\theta \sum_{n=1}^N \left\{ e^{jk(x_n \sin\theta \cos\phi + y_n \sin\theta \sin\phi)} \times \sum_{m=1}^M I_{nm} \left[\frac{\sin(Z^+)}{Z^+} + \frac{\sin(Z^-)}{Z^-} \right] \right\} \frac{l_n}{2} \quad (27)$$

En las que:

$$Z^+ = \left[\frac{(2m-1)\pi}{l_n} + k \cos\theta \right] \frac{l_n}{2}$$

, y

$$Z^- = \left[\frac{(2m-1)\pi}{l_n} - k \cos\theta \right] \frac{l_n}{2}$$

De las antenas *Log – Periodicas*:

Para la modelación de su patrón de radiación se generalizó el desarrollo realizado para las antenas *Yagi – Uda*, en base de las siguientes consideraciones:

Tomando como base el desarrollo realizado por Balanis para la antena *Yagi – Uda*, se generalizó su planteamiento para arreglos de antenas en los que se pueda tener los elementos que se deseen activos, con voltajes de alimentación iguales o distintos, a voluntad del analista, tamaños

de los elementos y longitudes de separación entre los elementos, que también puedan ser elegidos a voluntad. En virtud de éstas generalizaciones, las antenas tipo Log - Periódicas pasan a ser un caso particular de este desarrollo.

Para lograr la formulación general se partió de las expresiones mostradas en 26 y 27 que pueden ser determinadas mediante métodos numéricos.

Se debe recalcar que éstas expresiones y desarrollos fueron obtenidos considerando una antena con un elemento activo, por lo que para poder hacer uso de éstas expresiones y desarrollos en arreglos lineales de dipolos, se calcularán los campos obtenidos de manera independiente por cada elemento activo, para el que elementos frente a su dirección de radiación se considerarán como elementos directores y tras su dirección de radiación serán elementos reflectores.

Se obtendrá el campo total radiado esperado como una sumatoria de los distintos componentes de campos generados por cada elemento activo considerado de manera independiente, de la forma previamente mencionada. Para hacer esta sumatoria vectorial de los campos independientes, se deberá considerar tanto la diferencia de fase debido a la alimentación a cada elemento activo, como la variación de fase debido a la diversidad espacial de los elementos del arreglo, tal como se muestra en la *Figura 7*, en la que viene dado para elementos isotrópicos y separados una misma distancia, por lo que de manera general, para un arreglo de antenas sin elementos idénticos y separados distintas distancias, dado que el campo eléctrico es una magnitud vectorial a la que es posible aplicar el teorema de superposición, se tendría:

$$\vec{E}_T^t(r) = \vec{E}_1^t(r) + \vec{E}_2^t(r) + \dots + \vec{E}_i^t(r) + \dots + \vec{E}_n^t(r) \quad (28)$$

Donde:

$\vec{E}_T^t(r)$ = Campo eléctrico total generado por todos los elementos activos del arreglo lineal de di-

polos.

$\vec{E}_i^t(r)$ = Campo eléctrico total generado por el i -ésimo elemento activo del arreglo lineal de dipolos.

Expresión última en la que, para un ϕ fijo, cada uno de los campos eléctricos va a tener una magnitud dada por la expresión 20, en la que habrá que considerar para cada uno de ellos un factor multiplicador dado por su diferencia de fase debido a la alimentación a cada elemento activo y a la variación de fase debido a su diversidad espacial, considerando el primer elemento del arreglo ubicado en $y = 0$, por lo que la expresión para la magnitud de los campos eléctricos que se obtienen punto a punto vendrá dada por:

$$\left| \vec{E}_i^t(r)_{\phi f i j o} \right| \approx E_{i\theta} e^{j(kd_i \cos\theta + \beta_i)} \quad (29)$$

Donde:

d_i = Distancia desde el primer elemento del arreglo lineal de dipolos al i -ésimo elemento activo del que se obtiene su campo.

β_i = Variación de fase en la alimentación del i -ésimo elemento activo del arreglo lineal de dipolos del que se obtiene su campo.

Parámetros que se los obtienen de la geometría del arreglo y suponiendo que la entrada al primer elemento activo es igual a la unidad, correspondiente al valor máximo de la señal de entrada cosenoidal, por lo que la alimentación del resto de los elementos activos tendrán un valor ideal correspondiente al que se tendría con el desfase respectivo en la señal cosenoidal, dado por la

distancia al primer elemento activo, de esta manera, se tendría que usar:

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

y

$$\beta_i = d_i * \frac{\pi}{.25}$$

d_i viene dado directamente como un parámetro de distancia múltiplo de λ .

Con lo que se llega a modificar la expresión 28, así:

$$E_T^t(r)_{\phi f i j o} = E_1^t(r)_{\phi f i j o} + E_2^t(r)_{\phi f i j o} + \dots + E_i^t(r)_{\phi f i j o} + \dots + E_n^t(r)_{\phi f i j o}$$

, quedando :

$$E_T^t(r)_{\phi f i j o} = E_{1\theta} e^{j(kd_1 \cos\theta + \beta_1)} + E_{2\theta} e^{j(kd_2 \cos\theta + \beta_2)} + \dots + E_{i\theta} e^{j(kd_i \cos\theta + \beta_i)} + \dots + E_{n\theta} e^{j(kd_n \cos\theta + \beta_n)}$$

Simulación de los patrones de sistemas de radiación tipo dipolos más usados para TDT- ISDB-T Internacional.

Con base en los trabajos realizados por Balanis, presentados previamente, se procede a desarrollar algoritmos para la simulación de los patrones de sistemas de radiación tipo dipolos más usados para TDT- ISDB-T Internacional. Para ello, se parte de la simulación del dipolo elemental, del dipolo de $\frac{\lambda}{2}$ y de los posibles arreglos de dipolos más usados para la aplicación de interés en la presente investigación:

Simulación de los patrones de radiación del dipolo elemental.

A partir de la expresión dada por 21 se desarrolló el script denominado *dipelem.m*, del que se pueden visualizar sus resultados aquí:

Campos de los que Balanis muestra sus resultados en la página 161 de su texto, así:

Figura 11.
Patrón de radiación del dipolo elemental basado en Balanis.

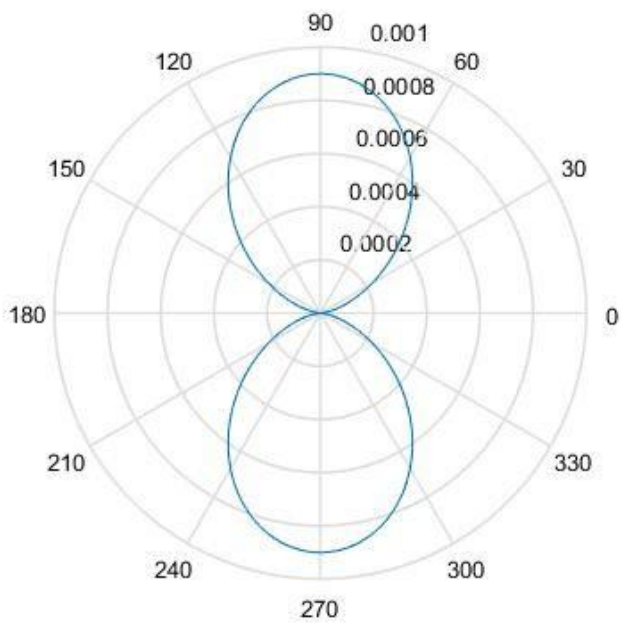
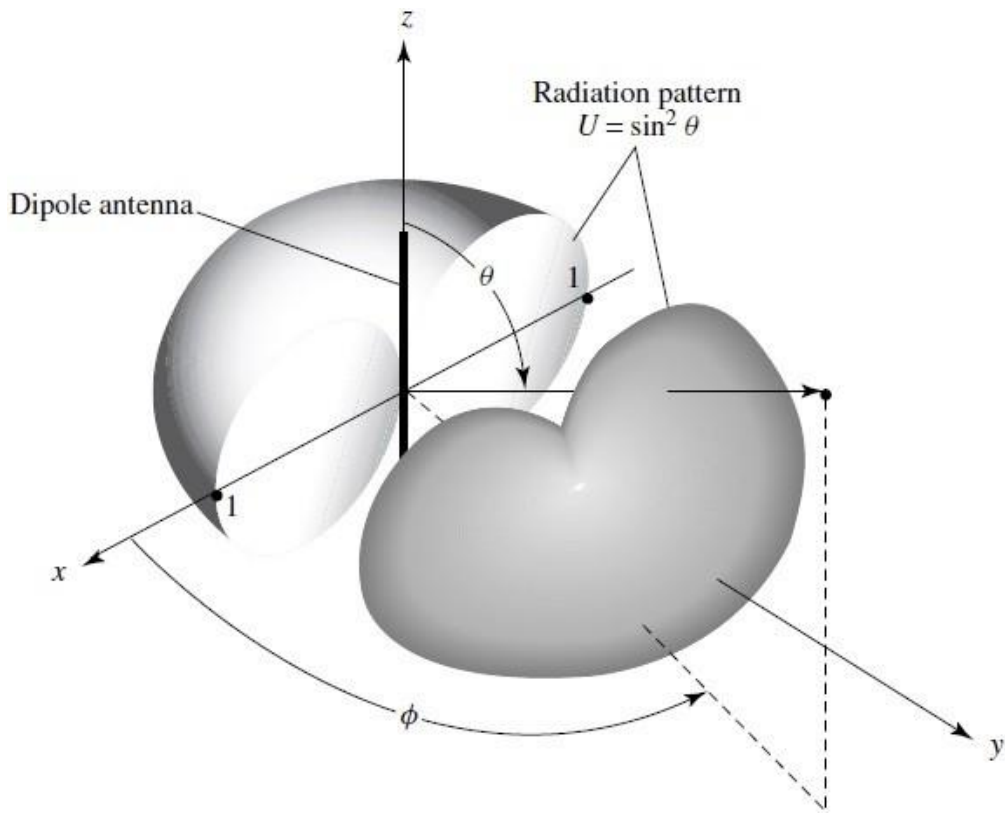


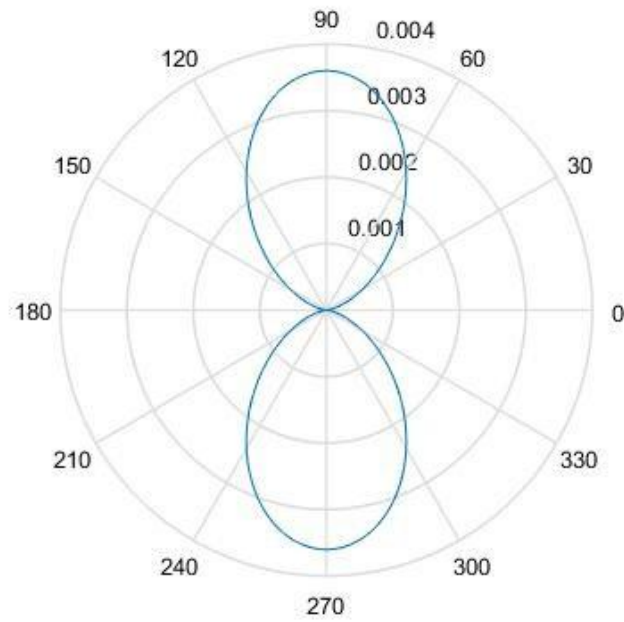
Figura 12.
Patrón de radiación del dipolo elemental mostrado en Balanis.



Simulación de los patrones de radiación del dipolo de $\frac{\lambda}{2}$

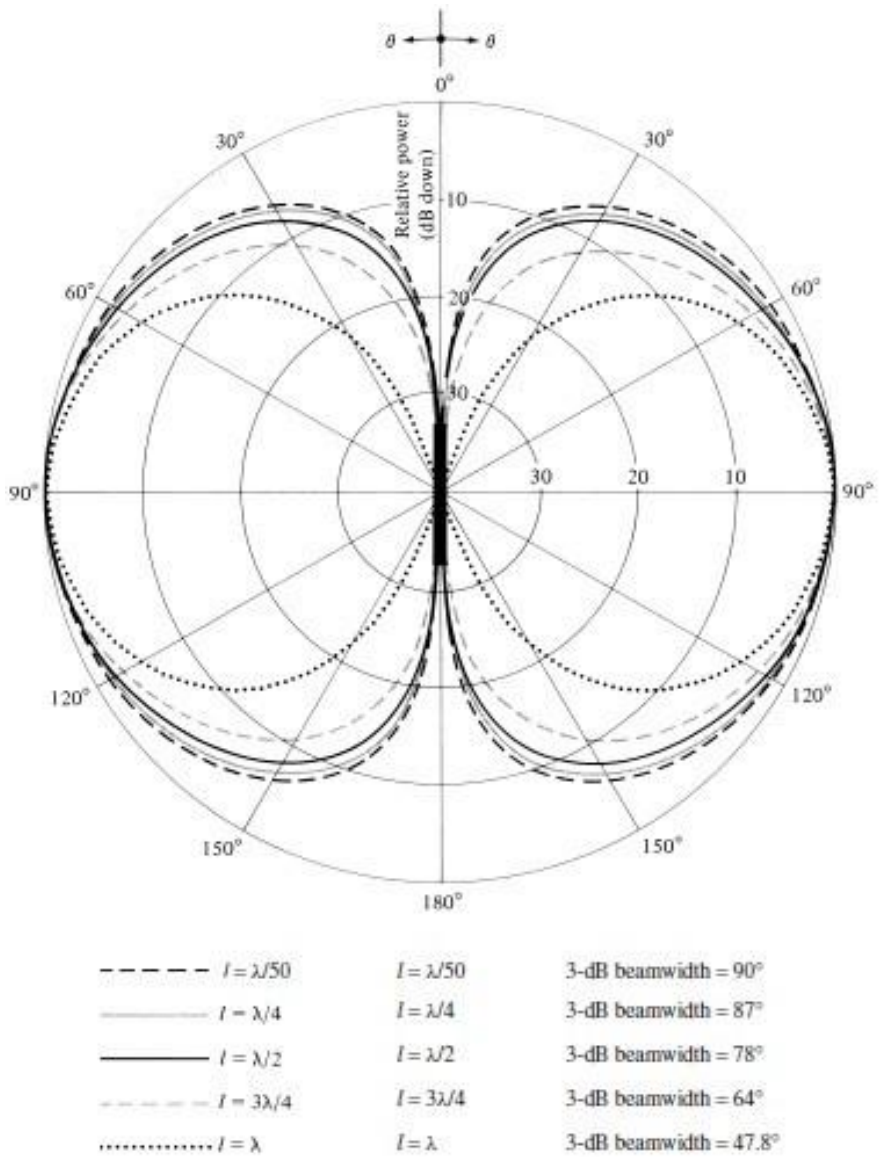
En base de la expresión dada por 23 se desarrolló el script denominado `diplambdamedios.m`, del que se pueden visualizar sus resultados aquí:

Figura 13.
Patrón de radiación del dipolo de $\lambda/2$ basado en Balanis.



Campos de los que Balanis muestra sus resultados en la página 174 de su texto, así:

Figura 14.
Patrón de radiación del dipolo de $\lambda/2$ y otros² mostrados en Balanis.



Simulación de los patrones de radiación de los arreglos de dipolos más usados en transmisión de señales de TDT ISDB-T Internacional.

Con las ecuaciones previamente obtenidas, que se desarrollaron con el objetivo de tener expresiones en las que se pueda hacer uso de procesos numéricos, se tiene:

Para las antenas Yagi – Uda:

Haciendo uso de las ecuaciones 26 y 27, para las que se desarrolló el script denominado yagiudafinalf.m, para el que se probó sus resultados basándose en los datos dados por la empresa Kathrein para una antena de este tipo cuyos resultados se muestran en su catálogo de productos del 2015 [11] en la página 72 para un rango de frecuencias de trabajo de 174 a 202 MHz, así:

Figura 15.

Dimensiones físicas de la antena Yagi – Uda 600265, dados por empresa Kathrein.

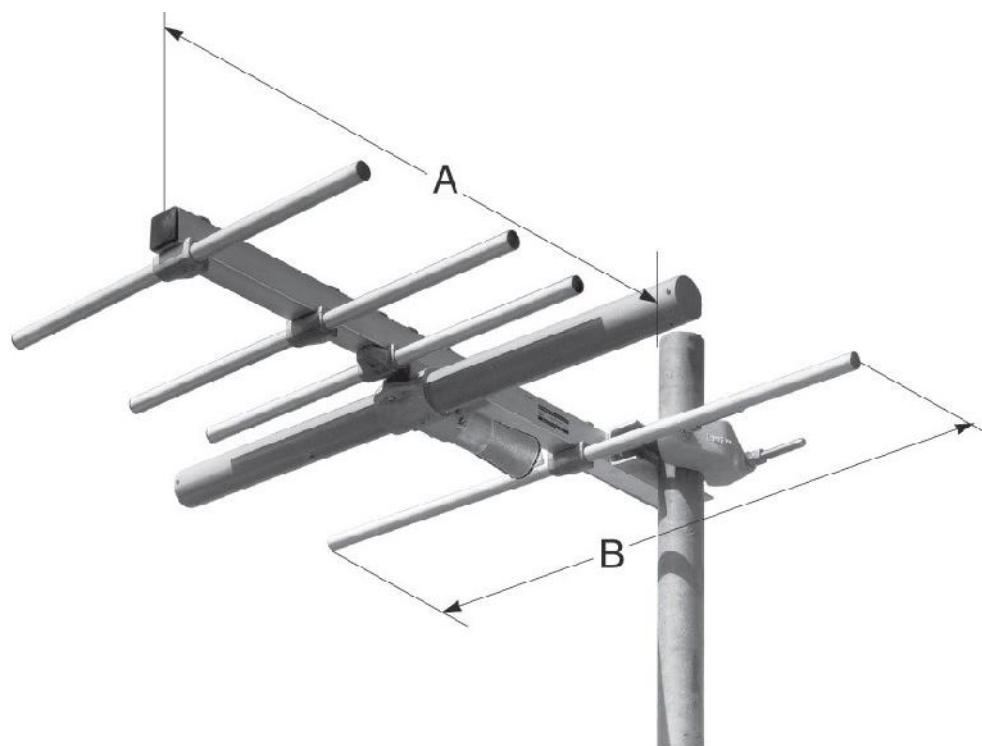
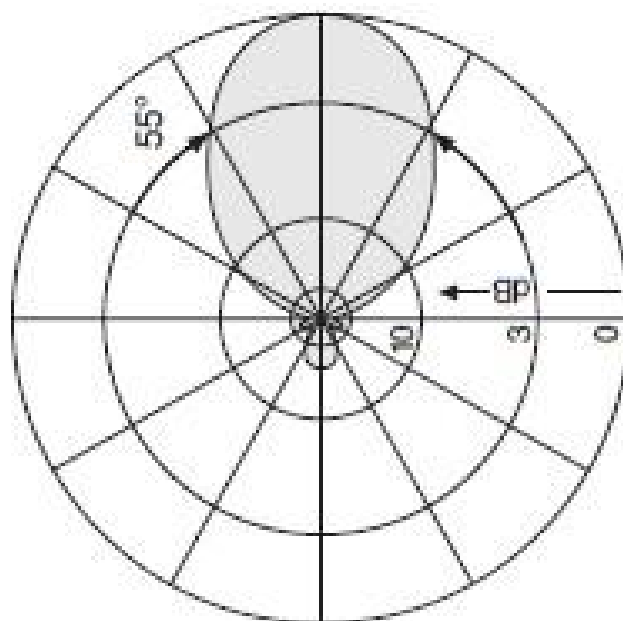


Figura 16.

Patrón de radiación de antena Yagi – Uda 600265, dados por empresa Kathrein.



Las dimensiones físicas que se usaron para simular el patrón de radiación de la antena Yagi – Uda 600265, fueron:

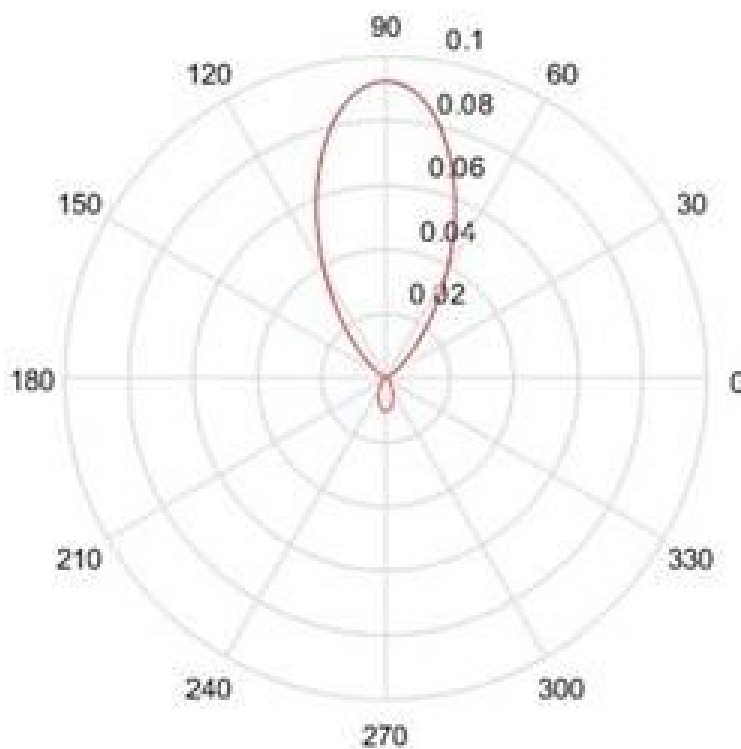
Tabla 1
Dimensiones y ubicación de elementos de la antena Yagi – Uda 600265

| Número | Longitud (x, en) | Ubicación (y, en) | Tipo de elemento |
|--------|-------------------|--------------------|------------------|
| 1 | 0.531 | -0.18 | Reflector |
| 2 | 0.516 | 0 | Activo |
| 3 | 0.444 | 0.03 | Director |
| 4 | 0.444 | 0.09 | Director |
| 5 | 0.444 | 0.27 | Director |

Datos aproximados en base de gráfico dado por Kathrein.

Con los que se obtiene el siguiente resultado:

Figura 17.
Patrón de radiación de antena Yagi – Uda 600265, de empresa Kathrein, obtenido mediante simulación.



De las antenas *Log – Periódicas*:

Partiendo de las expresiones encontradas para la generalización del modelo desarrollado para antenas *Yagi – Uda*: expresiones 26, 27 y 29, en las que las antenas tipo Log - Periódicas pasan a ser un caso particular de este desarrollo.

Con el fin de obtener un solo programa que abarque los más importantes arreglos lineales de dipolos, se diseñó el programa *progrgen.m*. El programa con la generalización del diseño del arreglo de antenas se comprobó su funcionalidad haciéndole trabajar bajo las condiciones particulares del arreglo *Yagi – Uda* de prueba con una total coincidencia de los diagramas de radiación obtenidos.

Las expresiones que se obtienen finalmente son programables, teniendo como datos de entrada para los programas únicamente valores dados por la geometría de los arreglos lineales de dipolos, y parámetros definidos a voluntad que permitan una mayor precisión en los resultados a obtener, así:

Tabla 2

Parámetros de ingreso a los programas para la determinación de patrones de radiación

| Parámetro | Definición | Unidad |
|-----------|--|---------------------------------------|
| N | Número de elementos del arreglo | Entero |
| M | Número de modos en los que se divide cada elemento del arreglo | Entero |
| d_i | Distancia del i -ésimo elemento al 1er elemento del arreglo | En cantidad proporcional de λ |
| y_o | Ubicación del 1er elemento del arreglo | En cantidad proporcional de λ |
| V_i | Voltaje de alimentación del i -ésimo elemento del arreglo | Voltios |

El ingreso de los datos necesarios para el corrido de los programas es amigable, vienen dadas las indicaciones pertinentes para el ingreso correspondiente de los datos, su significado y las es-

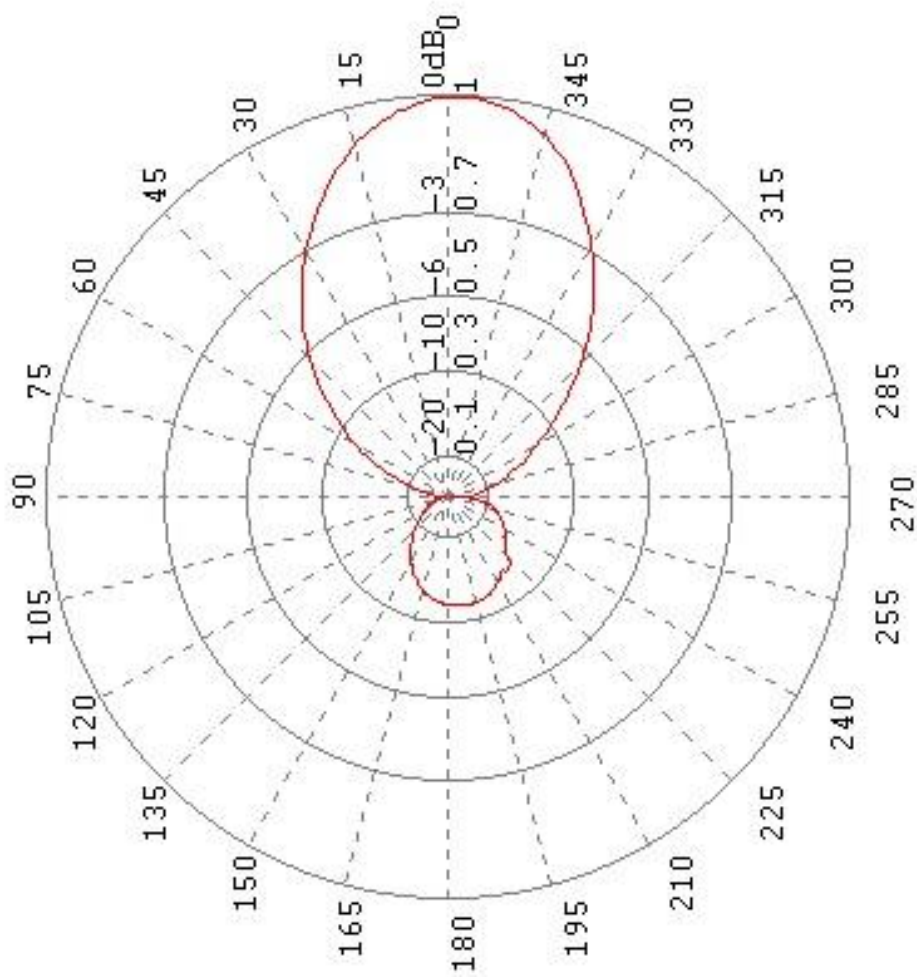
pecificaciones necesarias para identificarlos.

Para el caso de las antenas Log - Periódicas se probó los resultados basándose en los datos dados por la empresa Elektronik [6] para una antena de este tipo, de la que se muestran sus dimensiones en la hoja de datos del producto *D9108* que trabaja para un rango de frecuencias de 250 a 2400 MHz, en el Anexo 2.

El diagrama de radiación también viene dado en la hoja de datos del producto *D9108*, para una frecuencia de trabajo de 300 MHz, así:

Figura 18.

Patrón de radiación de antena Log - Periódica D9108, dado por empresa Elektronik.



Las dimensiones físicas que se usaron para la simulación del patrón de radiación de la antena

Log - Periódica D9108, fueron:

Tabla 3

Dimensiones y ubicación de elementos de la antena Log - Periódica D9108

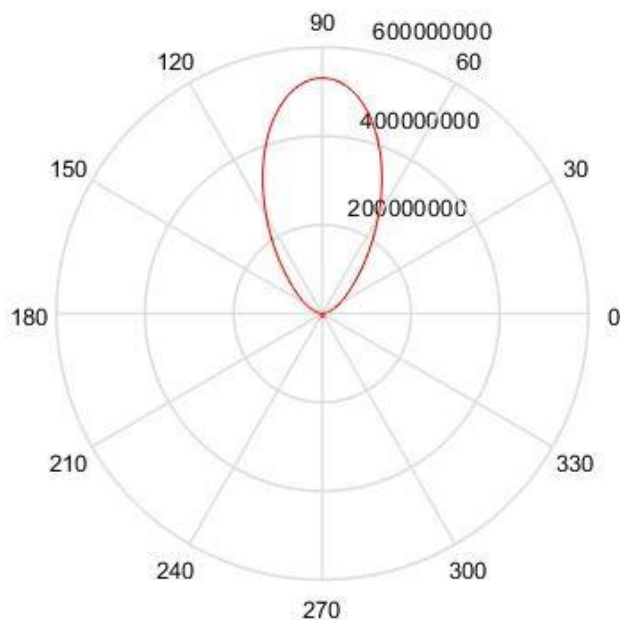
| Número | Longitud (x, en λ) | Ubicación (y, en λ) | Tipo de elemento |
|--------|-----------------------------|------------------------------|------------------|
| 1 | 1.082 | 0 | Activo |
| 2 | 0.922 | 0.116 | Activo |
| 3 | 0.782 | 0.222 | Activo |
| 4 | 0.662 | 0.318 | Activo |
| 5 | 0.562 | 0.404 | Activo |
| 6 | 0.482 | 0.48 | Activo |
| 7 | 0.422 | 0.546 | Activo |
| 8 | 0.382 | 0.602 | Activo |
| 9 | 0.352 | 0.648 | Activo |
| 10 | 0.328 | 0.684 | Activo |
| 11 | 0.308 | 0.712 | Activo |
| 12 | 0.292 | 0.734 | Activo |
| 13 | 0.280 | 0.75 | Activo |

Datos aproximados en base de gráfico dado por Elektronik.

Con los que se obtuvo el siguiente resultado, para la misma frecuencia de trabajo de 300 MHz:

Figura 19.

Patrón de radiación de antena Log - Periódica D9108, de empresa Elektronik, obtenido mediante simulación.



Tanto en el programa diseñado específicamente para antenas Yagi - Uda, como en el que se usa para cualquier arreglo lineal de antenas dipolo, se incorporó el manejo de los datos obtenidos en base del simulador MMANA - GAL para poder establecer comparaciones entre los resultados obtenidos con los programas desarrollados en la presente investigación como los obtenidos con el mencionado simulador que ya tiene su espacio en la comunidad de investigadores que requieren de la obtención de patrones de radiación y sus características más importantes.

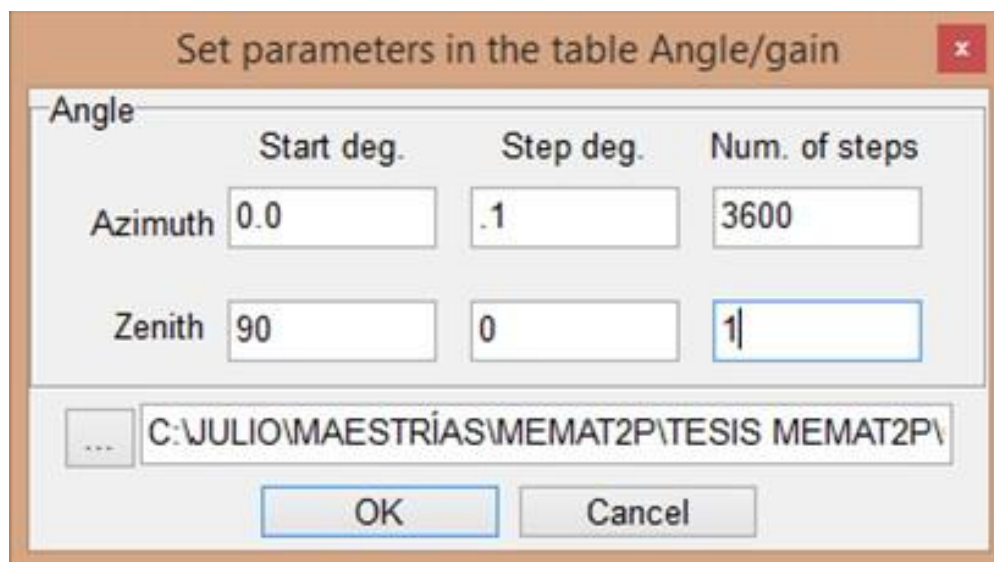
Para la obtención de los parámetros en base del simulador para comparación con los obtenidos en la presente investigación, luego de ingresado los valores de entrada pertinentes y calculado los patrones de radiación y los parámetros que entrega el simulador, se captura el patrón de radiación del archivo .pdf que se genera al imprimir la pantalla en la que se presentan éstos patrones; y se obtienen los datos necesarios para su integración al programa generado y el cálculo de los

parámetros pertinentes, al usar en la pestaña File la opción Table – of – Angle/Gain con los siguientes valores seteados:

Valores con los que se obtiene el patrón de radiación horizontal o plano E principal para analizar

Figura 20.

Parámetros Seteados MMANA-GAL, para obtención de plano E de radiación mediante el simulador.



el comportamiento de la antena o del sistema radiante en análisis. Como puede observarse, se trabajan con 3600 puntos con el afán de no perder ninguna característica que pueda ser importante para el análisis.

Cabe recalcar también que el programa general desarrollado permite también obtener buenos resultados para elementos de radiación individuales, tal como se mostrará posteriormente.

Para usar el programa general con sistemas radiantes Yagi – Uda, se sugiere ubicar el elemento activo en la coordenada $y = 0$, por lo que la ubicación del reflector va a tener una coordenada en y negativa, esto con el fin de mantener concordancia con el programa realizado específicamente para antenas Yagi – Uda.

Además del patrón de radiación del sistema radiante, los programas desarrollados permiten conocer sus características más importantes, a saber: relación delante-atrás (RFB, en dB), ancho

del haz de radiación (en $^{\circ}$) y la directividad del sistema, en dBi .

Capítulo 4

Validación de la Propuesta.

Se compararán los resultados obtenidos mediante el programa general desarrollado en la presente investigación para sistemas radiantes tipo dipolos lineales, los dados por los fabricantes o por los textos base de análisis de los distintos tipos de dipolos y de sistemas radiantes y los obtenidos mediante el uso del simulador *MMANA – GAL*.

Se trabajará con antenas o sistemas radiantes a frecuencias de operación usadas para la *TDT*, como son: en la banda III, de 174 a 200 MHz y en la banda IV, de 470 a 488 MHz y de 512 a 608 MHz.

Criterios de comparación para los parámetros de los diagramas de radiación.

Para poder definir criterios de comparación entre los diagramas obtenidos como patrones de radiación, que se le ha denominado como relación de aspecto, se han establecido los siguientes criterios con sus respectivas valoraciones:

Tabla 4

Criterios de valoración para definir la Relación de Aspecto de los diagramas de radiación obtenidos

| Parámetros | TOTAL | SIGNIFICATIVA | INEXISTENTE |
|--|-------|---------------|------------------|
| Coincidencia de ubicación angular del diagrama | 5 | | Patrón no Válido |
| Coincidencia de número de lóbulos principales | 5 | | Patrón no Válido |
| Coincidencia de número de lóbulos secundarios | 5 | 3 | 1 |
| Coincidencia de magnitud de lóbulos | 5 | 3 | 1 |
| Coincidencia de nulos | 5 | 3 | 1 |

Tabla en la que se observa que se han establecido dos criterios inhabilitantes para los diagramas obtenidos como patrones de radiación, que los descartarían de realizar cualquier otro análisis posterior.

Considerando la sumatoria de los criterios dados en la *Tabla 4*, se definen las siguientes valoraciones de la relación de aspecto entre los diagramas de radiación obtenidos:

Tabla 5

Valoraciones de la Relación de Aspecto de los diagramas de radiación obtenidos

| Aspecto | Excelente | Con mucha coincidencia | Con poca coincidencia |
|---------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Relación de Aspecto | $23 \leq \sum_{crit} \leq 25$ | $20 \leq \sum_{crit} < 23$ | $15 \leq \sum_{crit} < 20$ |

De manera similar a lo planteado previamente para poder definir criterios de comparación entre los diagramas obtenidos como patrones de radiación, se han establecido los siguientes criterios con sus respectivas valoraciones para poder comparar de manera global los patrones de radiación obtenidos:

Tabla 6*Criterios de valoración para definir los diagramas de radiación obtenidos*

| Parámetros a comparar | Excelente o $ \xi_r \% \leq 3 \%$ | Con mucha coincidencia o $3 \% < \xi_r \% \leq 10 \%$ | Con poca coincidencia o $10 \% < \xi_r \% \leq 20 \%$ |
|---------------------------------|---------------------------------------|--|--|
| Relación de aspecto | 5 | 3 | 1 |
| Coincidencia de RFB | 5 | 3 | 1 |
| Coincidencia de la Directividad | 5 | 3 | 1 |
| Coincidencia del ancho del haz | 5 | 3 | 1 |

Tabla en la que se observa que se hace uso del error relativo porcentual para la comparación, considerando como valores reales los que vienen dados por las referencias externas a la investigación y por lo tanto como valores medidos los obtenidos en la presente investigación. Valores que queden por fuera de éstas valoraciones, se les asignará un valor de 0.

Considerando la sumatoria de los criterios (\sum_{crit}) dados en la *Tabla 6*, se definen las siguientes valoraciones entre los patrones de radiación obtenidos:

Tabla 7*Valoraciones de los patrones de radiación obtenidos*

| Aspecto | Excelente | Con mucha coincidencia | Con poca coincidencia |
|-----------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Patrones de Radiación | $18 \leq \sum_{crit} \leq 20$ | $16 \leq \sum_{crit} < 18$ | $10 \leq \sum_{crit} < 16$ |

Para valores inferiores de la \sum_{crit} se asegurará que los patrones de radiación presentan escasa coincidencia entre sus características.

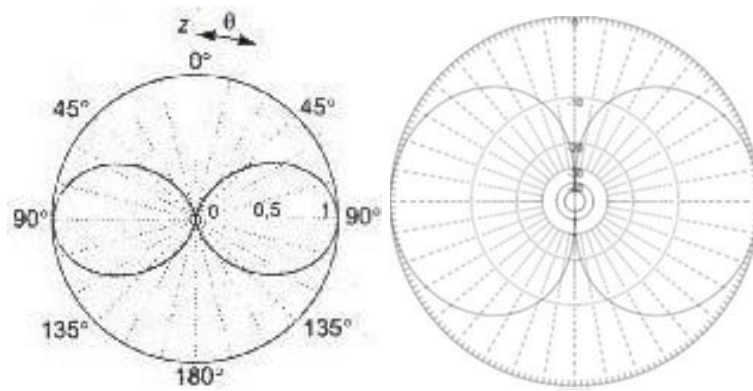
De las antenas dipolo.

Del dipolo elemental: $h \leq \lambda/50$.

Figura 21.

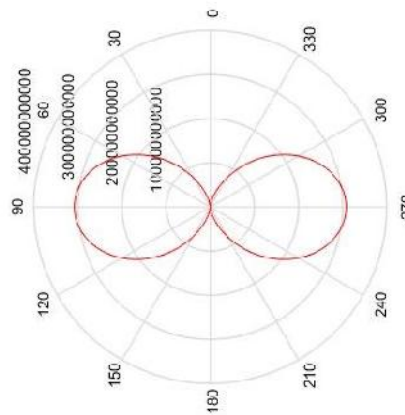
Patrones de Radiación del dipolo elemental: $h \leq \lambda/50$

50



(a) Según Luna, Alejandro

(b) Según MMANA GAL



(c) En la Tesis

Tabla 8

Características de los Patrones de Radiación del dipolo elemental: $h \leq \frac{\lambda}{50}$

| Parámetros | Luna, Alejandro | ξ_r % | MMANA-GAL | ξ_r % | En la Tesis |
|----------------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| Relación F/B (dB) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ganancia Máxima (dBi) | 1.76 | 0 | 1.76 | 0 | 1.76 |
| Ancho del haz ($^\circ$) | 90 | -1.111 | 88.4 | 0.679 | 89 |
| Relación de aspecto | Excelente | | Excelente | | |

Con los valores dados en la *Tabla 7*, se encuentra que el Patrón de Radiación obtenido en la presente investigación para un dipolo elemental de $h \leq \frac{\lambda}{50}$, con respecto del dado por [12] y con respecto del obtenido haciendo uso del simulador *MMANA – GAL* tienen una Excelente coincidencia entre sus características.

Del dipolo de longitud finita: $\frac{\lambda}{10} \leq h \leq 3\lambda$

Tabla 9

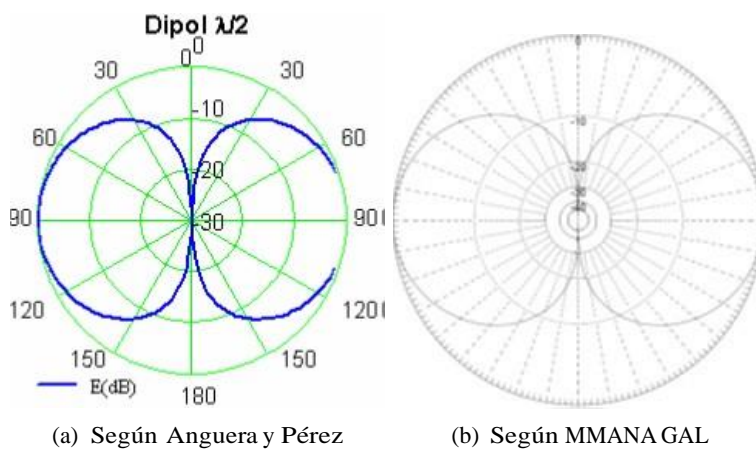
Características de los Patrones de Radiación del dipolo de $\frac{\lambda}{2}$

| Parámetros | Anguera y Pérez | ξ_r % | MMANA-GAL | ξ_r % | En la Tesis |
|----------------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| Relación F/B (dB) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ganancia Máxima (dBi) | 2.18 | -1.835 | 2.18 | -1.835 | 2.14 |
| Ancho del haz ($^\circ$) | 78 | -0.769 | 72.6 | 6.612 | 77.4 |
| Relación de aspecto | Excelente | | Excelente | | |

Con los valores dados en la *Tabla 7*, se encuentra que el Patrón de Radiación obtenido en la presente investigación para un dipolo de $\frac{\lambda}{2}$, con respecto del dado por [21] y con respecto del

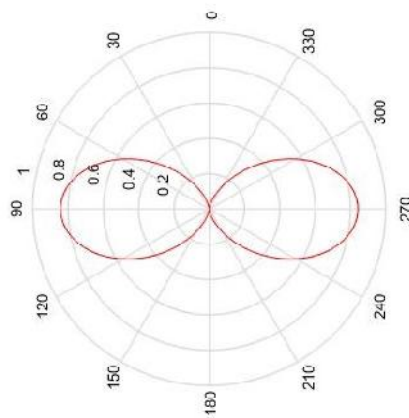
Figura 22.*Patrones de Radiación del dipolo de $\lambda/2$*

2



(a) Según Anguera y Pérez

(b) Según MMANA GAL



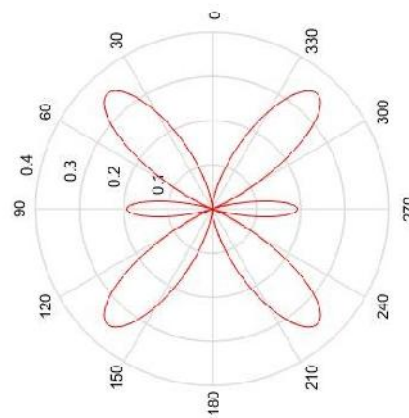
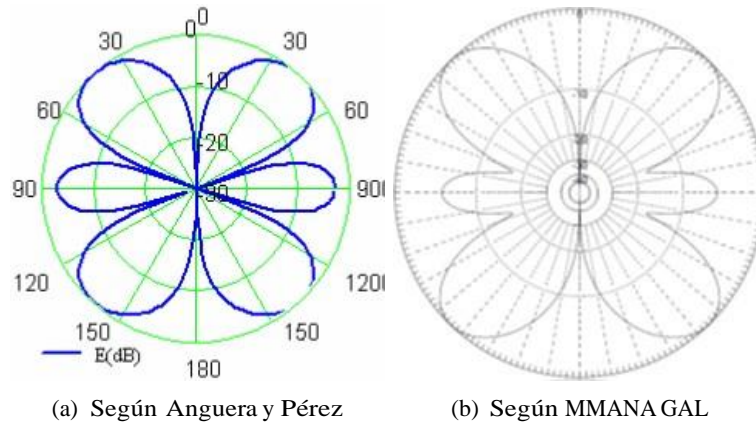
(c) En la Tesis

obtenido haciendo uso del simulador MMANA – GAL tienen una Excelente coincidencia entre sus características.

Figura 23.

Patrones de Radiación del dipolo de 3/2

2



(c) En la Tesis

Tabla 10

Características de los Patrones de Radiación del dipolo de $\frac{3}{2}\lambda$

| Parámetros | Anguera y Pérez | ξ_r % | MMANA-GAL | ξ_r % | En la Tesis |
|----------------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| Relación F/B (dB) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ganancia Máxima (dBi) | 3.6 | -4.722 | 3.62 | -5.249 | 3.43 |
| Ancho del haz ($^\circ$) | 36 | -0.556 | 35 | 2.286 | 35.8 |
| Relación de aspecto | Excelente | | Excelente | | |

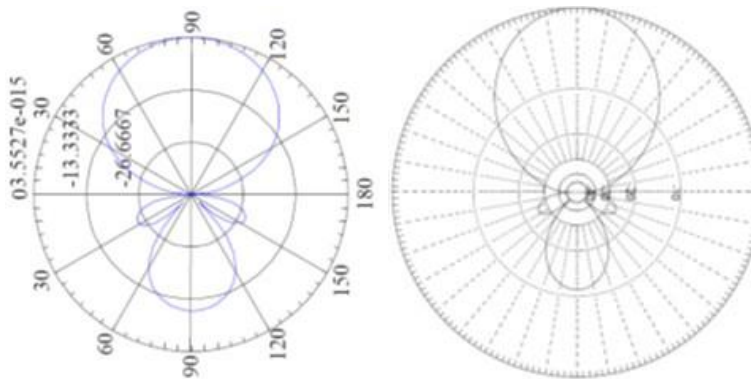
Con los valores dados en la *Tabla 7*, se encuentra que el Patrón de Radiación obtenido en la presente investigación para un dipolo de $\frac{3}{2}\lambda$, con respecto del dado por [21] tienen una Excelente coincidencia entre sus características; y con respecto del obtenido haciendo uso del simulador *MMANA – GAL*, también se encuentra que tienen una Excelente coincidencia entre sus características.

De los arreglos de antenas dipolo.

Del arreglo tipo Yagi – Uda

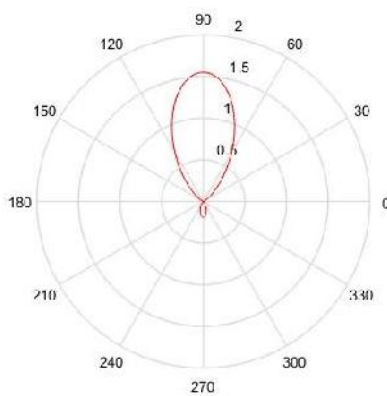
Figura 24.

Patrones de Radiación del arreglo tipo Yagi – Uda de 3 elementos



(a) Según Castillo y Quirós

(b) Según MMANA GAL



(c) En la Tesis

Tabla 11

Características de los Patrones de Radiación del arreglo tipo Yagi – Uda de 3 elementos

| Parámetros | Castillo y Quirós | ξ_r % | MMANA-GAL | ξ_r % | En la Tesis |
|----------------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|-------------|
| Relación F/B (dB) | 12.81 | -29.274 | 11.11 | -18.452 | 9.06 |
| Ganancia Máxima (dBi) | 9.25 | 4.432 | 9.43 | 2.439 | 9.66 |
| Ancho del haz ($^\circ$) | 52.48 | 4.039 | 53.6 | 1.866 | 54.6 |
| Relación de aspecto | Con poca coincidencia | | Con poca coincidencia | | |

Con los valores dados en la *Tabla 7*, se encuentra que el Patrón de Radiación obtenido en la presente investigación para un arreglo tipo *Yagi – Uda* de 3 elementos, con respecto del dado por [4] tienen poca coincidencia entre sus características; y con respecto del obtenido haciendo uso del simulador *MMANA – GAL*, también se encuentra que tienen poca coincidencia entre sus características.

Tabla 12

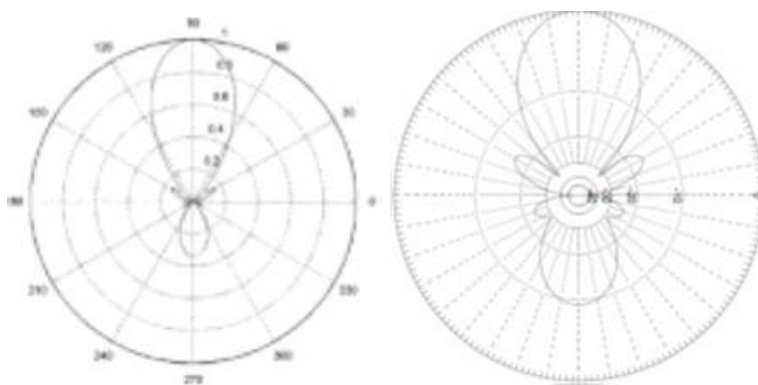
Características de los Patrones de Radiación del arreglo tipo Yagi – Uda de 6 elementos

| Parámetros | Gómez-Páez-Celeita | ξ_r % | MMANA-GAL | ξ_r % | En la Tesis |
|----------------------------|--------------------|-----------------------|-----------|-----------|-------------|
| Relación F/B (dB) | 9.42 | -8.705 | 9.16 | -6.114 | 8.6 |
| Ganancia Máxima (dBi) | 11.53 | -3.122 | 11.39 | -1.932 | 11.17 |
| Ancho del haz ($^\circ$) | 42.19 | -5.665 | 39.6 | 0.505 | 39.8 |
| Relación de aspecto | Excelente | Con poca coincidencia | | | |

Con los valores dados en la *Tabla 7*, se encuentra que el Patrón de Radiación obtenido en la presente investigación para un arreglo tipo *Yagi – Uda* de 6 elementos, con respecto del dado por [7] presentan mucha coincidencia entre sus características; y con respecto del obtenido haciendo

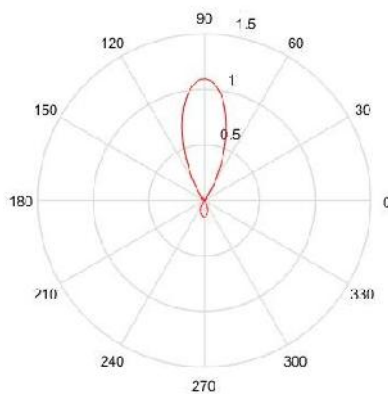
Figura 25.

Patrones de Radiación del arreglo tipo Yagi – Uda de 6 elementos



(a) Según Gómez-Páez-Celeita

(b) Según MMANA GAL

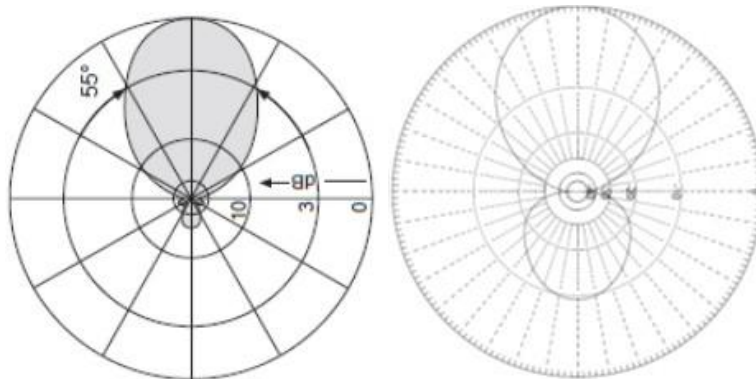


(c) En la Tesis

uso del simulador MMANA – GAL, se encuentra que tienen poca coincidencia entre sus características.

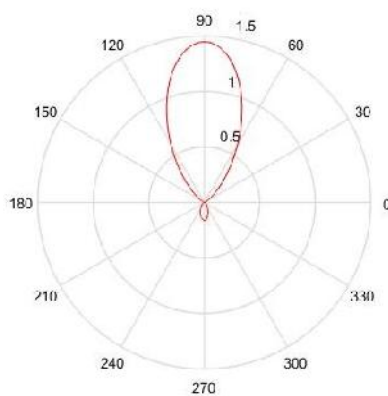
Figura 26.

Patrones de Radiación del arreglo tipo Yagi – Uda 600265 de 5 elementos



(a) Según Kathrein

(b) Según MMANA GAL



(c) En la Tesis

Tabla 13

Características de los Patrones de Radiación del arreglo tipo Yagi – Uda 600265 de 5 elementos

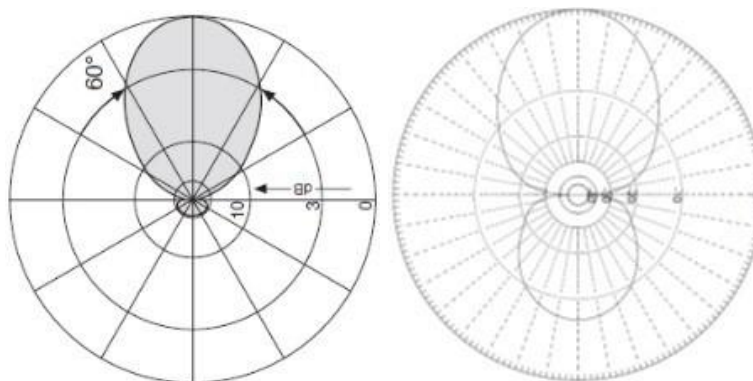
| Parámetros | Kathrein | ξ_r % | MMANA-GAL | ξ_r % | En la Tesis |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| Relación F/B (dB) | 15 | -36.067 | 9.37 | 2.348 | 9.59 |
| Ganancia Máxima (dBi) | 8.15 | 14.724 | 9.06 | 3.200 | 9.35 |
| Ancho del haz ($^\circ$) | 55 | -4 | 53.2 | -0.752 | 52.8 |
| Relación de aspecto | Excelente | | Excelente | | |

Con los valores dados en la *Tabla 7*, se encuentra que el Patrón de Radiación obtenido en la presente investigación para un arreglo tipo *Yagi – Uda* de 5 elementos, con respecto del dado por [10] presentan escasa coincidencia entre sus características; y con respecto del obtenido haciendo uso del simulador *MMANA – GAL*, se encuentra que tienen excelente coincidencia entre sus características.

Del arreglo tipo Log – Periódico

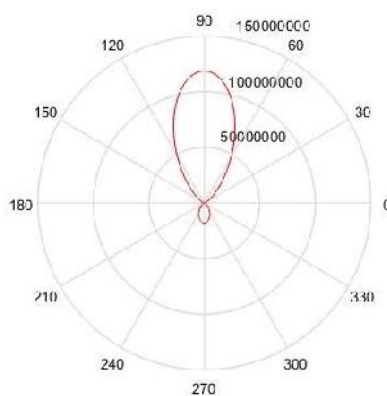
Figura 27.

Patrones de Radiación del arreglo tipo Log – Periódico 75010242 de 5 elementos



(a) Según Kathrein

(b) Según MMANA GAL



(c) En la Tesis

Tabla 14

Características de los Patrones de Radiación del arreglo tipo Log – Periódico 75010242 de 5 elementos

| Parámetros | Kathrein | r % | MMANA-GAL | r % | En la Tesis |
|-----------------------|------------------------|--------|------------------------|-------|-------------|
| Relación F/B (dB) | 17 | -51.94 | 6.83 | 19.62 | 8.17 |
| Ganancia Máxima (dBi) | 7.15 | 16.78 | 7.88 | 5.96 | 8.35 |
| Ancho del haz () | 60 | -12.67 | 49.4 | 6.07 | 52.4 |
| Relación de aspecto | Con mucha coincidencia | | Con mucha coincidencia | | |

Con los valores dados en la Tabla 7, se encuentra que el Patrón de Radiación obtenido en la presente investigación para un arreglo tipo Log - Periódico de 5 elementos, con respecto del dado por [10] presentan escasa coincidencia entre sus características; y con respecto del obtenido haciendo uso del simulador MMANA - GAL, se encuentra que también tienen escasa coincidencia entre sus características.

Figura 28.

Patrones de Radiación del arreglo tipo Log - Periódico D9108A de 13 elementos

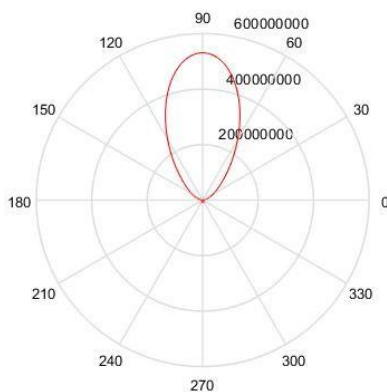
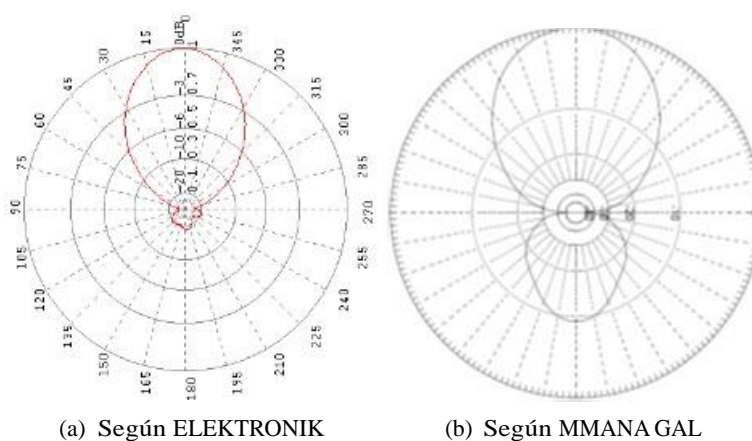


Tabla 15

Características de los Patrones de Radiación del arreglo tipo Log – Periodico D9108A de 13 elementos

| Parámetros | ELEKTRONIK | ξ_r % | MMANA-GAL | ξ_r % | En la Tesis |
|----------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| Relación F/B (dB) | 18 | 10.33 | 12.8 | 55.16 | 19.86 |
| Ganancia Máxima (dBi) | 6.9 | 1.16 | 6.86 | 1.75 | 6.98 |
| Ancho del haz ($^\circ$) | 64 | -10.63 | 71 | -19.44 | 57.2 |
| Relación de aspecto | Excelente | | Excelente | | |

Con los valores dados en la *Tabla 7*, se encuentra que el Patrón de Radiación obtenido en la presente investigación para un arreglo tipo *Log – Periodico* de 13 elementos, con respecto del dado por [6] presentan poca coincidencia entre sus características; y con respecto del obtenido haciendo uso del simulador *MMANA – GAL*, se encuentra que tienen escasa coincidencia entre sus características.

Capítulo 5

1. Conclusiones, Recomendaciones y Perspectiva de Trabajos Futuros.

1.1. Conclusiones.

1. Dados los resultados obtenidos en el capítulo previo en las comparaciones de las características de los patrones de radiación, se encuentra que el programa desarrollado tiene validez tanto para antenas simples, desde dipolos elementales hasta dipolos cortos, como para los arreglos de dipolos lineales conocidos como *Yagi – Uda*, más no así para los arreglos de dipolos lineales conocidos como *Log–Periodicos*, para los que se lograron pocas coincidencias entre los patrones obtenidos con el programa desarrollado en la presente investigación con los que vienen dados en datasheets y los obtenidos por el paquete de simulación libre *MMANA – GAL*.
2. Al hacer la presente investigación se constató la importancia de la modelación y la simulación para los procesos de enseñanza-aprendizaje en la ingeniería, en particular de los ingenieros en electrónica y telecomunicaciones.
3. La modelación de sistemas radiantes con varios elementos activos con base en la integral de Pocklington presenta problemas para su utilización puesto que no se logra integrar al modelo la influencia en los campos generados por un elemento activo sobre otro elemento, también activo, pese a que se hace uso del teorema de superposición, se verifica que la influencia que se presenta entre los elementos activos entre sí no es la que se espera lograr,

según los datos dados de manera experimental en los datasheets de este tipo de arreglos. Por lo tanto, no está integrado en el modelo lo que vendría a ser la inductancia mutua entre los elementos activos de un sistema radiante.

Se tiene constancia de esta limitación también puesto que al correr el programa, para sistemas radiantes con varios elementos activos, con distintas cantidades de modos en los que se dividen a los elementos, la disposición de los lóbulos principales de radiación no se mantienen en la misma disposición angular.

4. El modelo desarrollado en la investigación no incluye los diferentes radios de los distintos elementos que son usados, siendo un parámetro que permite obtener parámetros más precisos de los sistemas radiantes en estudio, situación que se la comprobó al hacer uso del *MMANA – GAL*.

1.2. Recomendaciones.

1. Al correr los programas desarrollados en esta investigación, considerar que el mínimo número de modos que se deben usar es de 3 para que tenga sentido la simulación, mientras que su máximo vendrá limitado por la capacidad de cómputo del equipo en el que se los utilice y de la precisión que se requiera de su patrón de radiación, obteniéndose obviamente para una mayor cantidad de modos, una mejor simulación.
2. Se hace uso de cantidades proporcionales de longitudes de onda para la definición de las longitudes de los distintos elementos puesto que el método de modelación utilizado es conveniente hacerlo para estructuras cuyas dimensiones vengan dadas para longitudes $l \leq 20\lambda$.
3. Los programas adjuntados se encuentran íntegramente presentados, en su última versión, tal como vienen dados en el programa fuente; considerar que para su inclusión en los anexos fueron necesarios algunas modificaciones de formato, dado que *Latex* no permitía, por ejemplo el uso de las comillas entre un grupo de palabras.
4. Es posible depurar el programa con la inclusión de los distintos radios de los distintos elementos con que se dispone en un sistema radiante. Ésto permitirá que los resultados esperados se ajusten aún más al patrón de radiación que se presentará en una situación real.

1.3. Perspectiva de Trabajos Futuros.

1. Es motivo de otra investigación como la presente, trabajar con los fundamentos de la metodología *NEC* para la determinación de las ecuaciones que lo sustenten y el proceso que permita la modelación y simulación bajo esta otra metodología que también tiene resultados comprobados y aceptados por investigadores en esta área de las telecomunicaciones; se podría hacer uso del software libre *4NEC2* para establecer las comparaciones que sean del caso y que permitan demostrar la validez de los programas que se lleguen a desarrollar.
2. La presente investigación se trabajó con arreglos lineales de dipolos, en la que sus elementos estaban dispuestos a lo largo del eje z , y su modelación y simulación fueron hechas bajo éstas consideraciones; sería importante hacer una abstracción adicional para poder incluir en el modelo y su simulación arreglos con mayor diversidad espacial, así como poder extender la generación de los patrones de radiación no a un plano en particular de interés, sino mostrarlo en *3D*.
3. Al requerirse patrones de radiación de estructuras más complejas o de una gran dimensión con respecto de la longitud de onda de la radiación necesaria, se deben explorar otros métodos de modelación como los mencionados en la *Figura 6*.
4. Es posible depurar el programa con la inclusión de los distintos radios de los distintos elementos con que se dispone en un sistema radiante. Ésto permitirá que los resultados esperados se ajusten aún más al patrón de radiación que se presentará en una situación real.

Anexos

Programas realizados para las antenas y sus arreglos

1. Programa 1: Diagrama de Radiación del dipolo elemental: $h \leq \frac{\lambda}{50}$

```

1 f=input(Ingrese la frecuencia central de trabajo , en MHz: );
2 r=input(Ingrese la distancia a la que se quiere calcular el campo,
   en Km: );
3 n=input(Ingrese el factor multiplicador de lambda, debe ser menor a
   1/50: );
4 lam = 300/f;
5 L = n*lam;
6 B = 2*pi/lam;
7 t = 0:0.01:2*pi;
8 E = abs(f*n/r*L*sin(t)).^2;
9 figure()
10 polar(t,E)

```

2. Programa 2: Diagrama de Radiación del dipolo de longitud finita: $\frac{\lambda}{10} \leq h \leq 3\lambda$

```

1 f=input(Ingrese la frecuencia central de trabajo , en MHz: );
2 r=input(Ingrese la distancia a la que se quiere calcular el campo,
   en Km: );
3 n=input(Ingrese el factor multiplicador de lambda, debe ser mayor a
   1/10 y menor que 3, generalmente n=0.5: );
4 lam = 300/f;
5 L = n*lam;

```

```

6 B = 2*pi/lam;
7 t = 0:0.01:2*pi;
8 E = abs(0.060/r*(cos(B*L/2*cos(t))-cos(B*L/2))./sin(t)).^2;
9 figure()
10 polar(t,E)

```

3. Programa 3: Diagrama de Radiación de arreglo de antenas tipo *Yagi – Uda*:

```

1 function []=yagiudacorrvobwkwcf
2 clear all
3 global M N D L LM YP radio N1 N2 M1 M2 Rred Inm
4 M = input('Ingrese el numero de modos: ');
5 N = input('Ingrese numero de elementos (mínimo 3): ');
6 if (N>3)
7     fprintf(1, ' Todos los directores poseen la misma longitud?\n)
8     ;
9     RESP = input('RESPUESTA: (Y o N)... , s);
10 else
11     RESP = N;
12 end
13 fprintf(1, \n);
14 if (RESP == Y) || (RESP == y)
15     LDIR = input('Longitud uniforme de directores (en cantidad
        proporcional de longitudes de onda)= ');
16     Ld = LDIR*ones(1,N-2);

```

```

16 else (RESP == N);
17     a = 1;
18     while a <= (N-2)
19         fprintf(1, Longitud del director # 2d (en cantidad
                proporcional de longitudes de onda)= ,a);
20         b = input ( );
21         Ld(a) = b;
22         a = a + 1;
23     end
24 end
25 LREFL = input (Longitud del reflector(en cantidad proporcional de
                longitudes de onda)= );
26 Lact = input (Longitud del elemento activo(en cantidad proporcional
                de longitudes de onda)= );
27 L = [LREFL Lact Ld]
28 b = input (Separacion entre elemento activo y primer director = ,
                s );
29 b = str2double (b);
30 D_2 = b;
31 D (2) = D_2;
32 b = input(Separacion entre reflector y elemento activo (en cantidad
                proporcional de longitudes de onda)= , s );
33 b = str2double (b);
34 D (1)= b;

```

```

35 if (N>3)
36     fprintf (1, '¿Es la separacion entre directores uniforme?');
37     RESP = input (RESPUESTA: (Y O N), s);
38 else
39     RESP = N;
40 end
41 if (RESP == Y) || (RESP == y)
42     DDIR = input (La separacion uniforme entre directores (en
                     cantidad proporcional de longitudes de onda)es = , s);
43     DDIR = str2double (DDIR);
44     for i=3:N-1
45         D(i) = DDIR
46     end
47 else RESP == N;
48     a = 3;
49     while a < N
50         fprintf (1, Separacion entre director# 2d y # 2d (en
                     cantidad proporcional de longitudes de onda)= , a-1, a);
51         b = input ( , s);
52         b = str2double (b);
53         D (a) = b;
54         a = a+1;
55     end
56 end

```

```

57 b = input( Radio de todos los elementos usados(en cantidad
           proporcional de longitudes de onda)= , s );
58 b = str2double (b);
59 radio = b;
60 YP=zeros(1,N);
61 YP(1)=-D(1);
62 for m=2:N
63     YP(m)=D(m-1)+YP(m-1);
64 end
65 LM=zeros(N,M);
66 fracLM = L/(2*M-1);
67 fracLM = fracLM';
68 for m=1:M
69     LM(:,m)=fracLM*(m-1);
70 end
71 Anm=zeros(M*N,M*N);
72 for N1 = 1:N
73     for M1 = 1:M
74         for N2=1:N
75             for M2 = 1:M
76                 if N1==N2
77                     inc=radio;
78                 else
79                     inc=0;

```

```

80         end
81         Rred= inc ^2+(YP(N1)-YP(N2)) ^2;
82         UL=L(N2)/2;
83         Parte1 = integral(@integralG2,0,UL);
84         G2 = sumatoriaG2(UL);
85         Anm(((N1-1)*M+M1),((N2-1)*M+M2))=((2*M2-1)*pi/L(N2))
            *(-1)^(M2+1)*G2+((2*pi)^2-(2*M2-1)^2*pi^2/L(N2)^2)*
            Parte1);
86         end
87     end
88 end
89 end
90 fracLM2 = L(N)/(2*M-1);
91 s = [zeros(1,(M*N-(M+1))),-1i/(fracLM2*2),zeros(1,M)]';
92 Inm=Anm\s;
93     for theta=0:3600
94         SumEN=0;
95         for n=1:N
96             AAA = exp(1i*2*pi*YP(n)*sin(theta*pi/1800)*sin(pi/2));
97             SumEM=0;
98             for m=1:M
99                 SumEM=Inm((M*(n-1)+m),1)*(Zmas(m,(theta*pi/1800),n)
                +Zmenos(m,(theta*pi/1800),n))+SumEM;
100            end

```



```

101         SumEN = SumEM*AAA*L(n)/2+SumEN;
102     end
103     Etheta(1,theta+1)=1i*(3*10^8)*(4*pi*10^-7)/4*sin(theta*
        pi/1800)*SumEN;
104 end
105 AbsEtheta=abs(Etheta);
106 MaxAbsTheta=max(AbsEtheta);
107 tabla(3600,2)=zeros;
108 for theta=1:3600
109     E(theta)=((AbsEtheta(theta)).^2);
110     tabla(theta,1)=theta/10;
111     tabla(theta,2)=E(theta);
112     if (E(theta)/MaxAbsTheta) > (10^-6)
113         EthetaDB(theta) = 20*log10(E(theta)/MaxAbsTheta);
114     else
115         EthetaDB(theta)=-120;
116     end
117 end
118 leng=length(tabla);
119 ____Calculo del ancho del haz de la antena, directividad y relacion
        delante-atras
120 MaxEnmax=Enmax(pi/2,pi/2);
121 Piso=integral2(@Energia,0,pi,0,2*pi,Method,iterated,AbsTol,1e-3,
        RelTol,1e-5);

```

```

122 Dir=4*pi*MaxEnmax/abs(Piso);
123 direct=10*log10(Dir);
124 fprintf ( La directividad del arreglo de antena yagi uda de d
           elementos es: f dB\n , N, direct);
125 MaxEtheta=max(E);
126 tol=MaxEtheta/100;
127 for theta=1:3600
128     if E(theta)==MaxEtheta
129         thetadir=theta;
130         if thetadir-1800<0
131             RFB=10*log10(abs(E(thetadir)/E(thetadir+1800)));
132         else
133             RFB=10*log10(abs(E(thetadir)/E(thetadir-1800)));
134         end
135     end
136 end
137 for theta=thetadir:3600
138     if E(theta)>=1/2*MaxEtheta && E(theta)<=1/2*MaxEtheta+tol
139         thetamed=theta;
140         break
141     end
142 end
143 AnB=2*abs((thetadir-thetamed)/10);
144 fprintf ( La relacion delante atras de la antena yagi uda de d

```

```

        elementos es: f dB\n , N, RFB);
145 fprintf ( El ancho del haz de la antena yagi uda de d elementos es
        : f grados\n ,N,AnB);
146 ___INCLUSION DE ARCHIVO CON DATOS GENERADOS EN MMANA-GAL
147 filename = C:\JULIO\MAESTRIAS\MEMAT2P\TESIS MEMAT2P\GRAFICACION DE
        COBERTURA PARA TDT-ISDBT\PROGRAMAS TESIS MEMAT2P\
        YAGIUDA15eIBALANIS120M.csv;
148 delimiter = , ;
149 startRow = 2;
150 formatSpec = f_f_f_f_f_ [^\n\r];
151 fileID = fopen(filename , r);
152 dataArray = textscan(fileID , formatSpec , Delimiter , delimiter ,
        TextType , string , HeaderLines ,startRow-1, ReturnOnError , false ,
        EndOfLine , \r\n );
153 fclose( fileID );
154 YAGIUDA15eIBALANIS120M = table(dataArray{1:end-1}, VariableNames , {
        ZENITHDEG , AZIMUTHDEG , VERTdBi , HORIdBi , TOTALdBi });
155 clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray
        ans;
156 Comp=YAGIUDA15eIBALANIS120M(:,4);
157 Comp=Comp{:,:};
158 C=Comp';
159 ___Calculo del ancho del haz de la antena, directividad y relacion
        delante-atras , con datos de MMANA-GAL

```

```

160 MaxEtheta=-15;
161 for theta=1:3600
162     if C(theta)> MaxEtheta
163         MaxEtheta = C(theta);
164     end
165 end
166 MaxEtheta;
167 direct=MaxEtheta;
168 fprintf ( 'La directividad del arreglo de antena yagi uda, usando
           MMANA-GAL, de d elementos es: f dB\n ',N,direct);
169 tol=MaxEtheta/100;
170 for theta=1:3600
171     if C(theta)==MaxEtheta
172         thetadir=theta;
173         if thetadir-1800<0
174             RFBM=abs(C(thetadir)-C(thetadir+1800));
175         else
176             RFBM=abs(C(thetadir)-C(thetadir-1800));
177         end
178     end
179 end
180 for theta=thetadir:3600
181     if C(theta)>=MaxEtheta-3 && C(theta)<=MaxEtheta-3+tol
182         thetamed=theta;

```

```

183         break
184     end
185 end
186 AnBM=2*abs((thetadir-thetamed)/10);
187 fprintf ( ' La relacion delante atras de la antena yagi uda, usando
          MMANA-GAL, de d elementos es: f dB\n ',N,RFBM);
188 fprintf ( ' El ancho del haz de la antena yagi uda, usando MMANA-GAL,
          de d elementos es: f grados\n ',N,AnBM);
189 theta=0:pi/1800:2*pi-pi/1800;
190 figure(1);
191 polar(theta ,EthetaDB , green);
192 figure(2);
193 polar(theta ,E, red);
194 figure(3);
195 polar(theta ,C, blue);
196 function y=integralG2(Z)
197 global L LM N1 N2 M1 M2 Rred
198 Rplus = sqrt(Rred + (LM(N1,M1)+Z).^2);
199 Rminus = sqrt(Rred + (LM(N1,M1)-Z).^2);
200 y = ((exp(-1i*2*pi*Rminus) ./ (Rminus)) + ((exp(-1i*2*pi*Rplus) ./ (Rplus
          )))) .* cos((2*M2-1)*pi*Z ./ L(N2));
201 function G2=sumatoriaG2(UL)
202 global Rred N1 M1 LM
203 Rplus = sqrt(Rred + (LM(N1,M1)+UL).^2);

```

```

204 Rminus = sqrt(Rred + (LM(N1,M1)-UL).^2);
205 G2 = exp(-1i*2*pi*Rplus)/Rplus + exp(-1i*2*pi*Rminus)/Rminus;
206 function y=Zmas(m,theta,n)
207 global L
208 y1= (((2*m-1)*pi)/L(n)+2*pi.*cos(theta)).*L(n)/2;
209     if y1 == 0
210         y=1;
211     else
212         y=sin(y1)./y1;
213     end
214 function y=Zmenos(m,theta,n)
215 global L
216 y1= (((2*m-1)*pi)/L(n)-2*pi.*cos(theta)).*L(n)/2;
217     if y1 == 0
218         y=1;
219     else
220         y=sin(y1)./y1;
221     end
222 function y=Energia(theta,phi)
223 global M N YP L Inm
224     SumEN=0;
225     for n=1:N
226         AAA = exp(1i*2*pi*YP(n).*sin(theta).*sin(phi));
227         SumEM=0;

```

```

228         for m=1:M
229             SumEM=lnm((M*(n-1)+m),1).*(Zmas(m,theta,n)+Zmenos(m
                ,theta,n))+SumEM;
230         end
231         SumEN = SumEM.*AAA.*L(n)/2+SumEN;
232     end
233     y=3.75*pi.*(abs(SumEN).^2).*(sin(theta).^3);
234 function y=Enmax(theta,phi)
235 global M N YP L Inm
236     SumEN=0;
237     for n=1:N
238         AAA = exp(1i*2*pi*YP(n).*sin(theta).*sin(phi));
239         SumEM=0;
240         for m=1:M
241             SumEM=lnm((M*(n-1)+m),1).*(Zmas(m,theta,n)+Zmenos(m,
                theta,n))+SumEM;
242         end
243         SumEN = SumEM*AAA*L(n)/2+SumEN;
244     end
245     y=3.75*pi.*(abs(SumEN).^2).*(sin(theta).^2);

```

4. Programa 4: Diagrama de Radiación de arreglo de antenas tipo dipolo de magnitud y alimentación variable:

```

1 function []=progrgen

```

```

2 clear all
3 global M N D Le LM YP radio N1 N2 M1 M2 Rred Inm Inmglob Vf
4 M = input( Ingrese el numero de modos: );
5 N = input ( Ingrese numero de elementos: );
6 if (N>1)
7     fprintf (1, ¿Todos los elementos poseen la misma longitud?\n);
8     RESP = input ( RESPUESTA: (Y o N)... , s);
9 else
10    RESP = N;
11 end
12 fprintf (1, \n );
13 if (RESP == Y) || (RESP == y)
14    Lelem= input ( Longitud uniforme de elementos (en cantidad
15                  proporcional de longitudes de onda)= );
16    Le= Lelem*ones(1,N);
17 else (RESP == N);
18    a = 1;
19    while a <= N
20        fprintf(1, Longitud del elemento # 2d (en cantidad
21              proporcional de longitudes de onda)= ,a);
22        b = input ( );
23        Le(a) = b;
24        a = a + 1;
25    end

```



```

24 end
25 if (N>2)
26     fprintf (1, '¿Es la separacion entre elementos uniforme?');
27     RESP = input ( RESPUESTA: (Y O N), s);
28 else
29     RESP == N;
30 end
31 if (RESP == Y) || (RESP == y)
32     DDIR = input ( La separacion uniforme entre elementos (en
33         cantidad proporcional de longitudes de onda)es = , s );
34     DDIR = str2double (DDIR);
35     D = DDIR * ones (1,N-1);
36 else RESP == N;
37     a = 1;
38     while a <= (N-1)
39         fprintf (1, Separacion entre elemento# 2d y # 2d (en
40             cantidad proporcional de longitudes de onda)= , a, a+1);
41         b = input ( , s);
42         b = str2double (b);
43         D (a) = b;
44         a = a+1;
45     end
46 end
47 b = input( Radio de todos los elementos usados(en cantidad

```

```

        proporcional de longitudes de onda)= , s );
46 b = str2double (b);
47 radio = b;
48 YP=zeros(1,N);
49 fprintf (1, La ubicacion del primer dipolo en el eje y (en cantidad
        proporcional de longitudes de onda) viene dado por: );
50 b = input ( , s );
51 b = str2double (b);
52 YP(1)=b;
53 for m=1:(N-1)
54     YP(m+1)=D(m)+YP(m);
55 end
56 if (N>1)
57     fprintf (1, Todos los elementos tienen el mismo voltaje de
        alimentacion? );
58     RESP = input ( RESPUESTA: (Y o N) ... , s );
59 else
60     RESP = N ;
61 end
62 fprintf (1, \n );
63 Valim= input ( Voltaje de alimentacion en elemento ubicado en y=0(
        en voltios)= );
64 Vf=zeros(N,1);
65 LM=zeros(N,M);

```

```

66 fracLM = Le/(2*M-1);
67 fracLM = fracLM';
68 for m=1:M
69     LM(:,m)=fracLM*(m-1);
70 end
71 Anm=zeros(M*N,M*N);
72 for N1 = 1:N
73     for M1 = 1:M
74         for N2=1:N
75             for M2 = 1:M
76                 if N1==N2
77                     alpha=radio;
78                 else
79                     alpha=0;
80                 end
81                 Rred= alpha^2+(YP(N1)-YP(N2))^2;
82                 UL=Le(N2)/2;
83                 Parte1 = quadl(@integralG2,0,UL);
84                 G2 = sumatoriaG2(UL);
85                 Anm(((N1-1)*M+M1),((N2-1)*M+M2)) = (((2*M2-1)*pi/Le(N2))
                    *(-1)^(M2+1)*G2+((2*pi)^2-(2*M2-1)^2*pi^2/Le(N2)^2)*
                    Parte1);
86             end
87         end

```

```

88     end
89 end
90 Inmglob = [zeros(M*N,1)];
91 Etheta = [zeros(1,3601)];
92 if (RESP == Y) || (RESP == y)
93     for i=1:N
94         s = [zeros(1,M*N)];
95         s(1,i*M)=Valim*-1i*(2*M-1)/Le(i);
96         s=s';
97         Inm=Anm\s;
98         size(Inm);
99         phi=1;
100    for theta=1:3600
101        SumEN=0;
102        for n=1:N
103            AAA = exp(1i*2*pi*YP(n)*sin(theta*pi/1800)*sin(phi*pi
104                /2));
105            SumEM=0;
106            for m=1:M
107                SumEM=Inm((M*(n-1)+m),1)*(Zmas(m,(theta*pi/1800),n)
108                    +Zmenos(m,(theta*pi/1800),n))+SumEM;
109            end
110            SumEN = SumEM*AAA*Le(n)+SumEN;
111        end
112    end
113 end

```

```

110      Etheta(1,theta+1)=1i*(3*10^8)*(4*pi*10^-7)/4*sin(theta*
          pi/1800)*exp(1i*2*pi*YP(n)*cos(theta*pi/1800)
          +YP(n)*pi/.25)*SumEN;
111      Inmglob = Inmglob + Inm;
112      end
113      end
114      else (RESP == N) || (RESP == n );
115      if (N>1)
116          fprintf (1, El voltaje de alimentacion depende solo de la
          distancia de separacion de los elementos?\n );
117          RESP = input ( RESPUESTA: (Y o N) ... , s );
118      else
119          RESP = N ;
120      end
121      fprintf (1, \n );
122      for i=1:N
123          s = [zeros(1,M*N)];
124          if (RESP == Y ) || (RESP == y )
125              b = Valim*cos(YP(i)*pi/.25);
126              Vf(i)=b;
127              s(1,i*M)=b*-1i*(2*M-1)/Le(i);
128          else (RESP == N ) || (RESP == n );
129              fprintf(1, Voltaje de alimentacion del elemento # 2d (
          en voltios)= ,i);

```

```

130         b = input ( );
131         s(1, i*M)=b*-1 i *(2*M-1)/Le(i);
132     end
133     s=s';
134     Inm=Anm\s;
135     phi=1;
136     for theta=1:3600
137         SumEN=0;
138         for n=1:N
139             AAA = exp(1 i *2*pi*YP(n)*sin(theta*pi/1800)*sin(phi*pi
140                 /2));
141             SumEM=0;
142             for m=1:M
143                 SumEM=Inm((M*(n-1)+m), 1)*(Zmas(m,(theta*pi/1800),n)
144                     +Zmenos(m,(theta*pi/1800),n))+SumEM;
145             end
146             SumEN = SumEM*AAA*Le(n)+SumEN;
147         end
148         Etheta(1, theta+1)=Etheta(1, theta+1)+1 i *(3*10^8)*(4*pi
149             *10^-7)/4*sin(theta*pi/1800)*exp(1 i *2*pi*YP(n))*cos(
150                 theta*pi/1800)+YP(n)*pi/.25)*SumEN;
151         Inmglob = Inmglob + Inm;
152     end
153 end

```

```

150     Vf;
151 end
152 AbsEtheta=abs(Etheta);
153 MaxAbsTheta=max(AbsEtheta);
154 tabla(3600,2)=zeros;
155 for theta=1:3600
156     E(theta)=(AbsEtheta(theta)).^2;
157     tabla(theta,1)=theta/10;
158     tabla(theta,2)=E(theta);
159     if (AbsEtheta(theta)/MaxAbsTheta) > (10^-6)
160         EthetaDB(theta) = 20*log10(AbsEtheta(theta)/MaxAbsTheta);
161     else
162         EthetaDB(theta)=-120;
163     end
164 end
165 leng=length(tabla);
166 ____Calculo del ancho del haz de la antena, ganancia máxima y
        relacion delante-atras
167 MaxEtheta=max(E);
168 tol=MaxEtheta/100;
169 for theta=1:3600
170     if E(theta)==MaxEtheta
171         thetadir=theta;
172         if thetadir-1800<0

```

```

173         RFB=10*log10(abs(E(thetadir)/E(thetadir+1800)));
174     else
175         RFB=10*log10(abs(E(thetadir)/E(thetadir-1800)));
176     end
177 end
178 end
179 MaxEnmax=Enmax(thetadir/1800*pi,pi/2);
180 Piso=integral2(@Energia,0,pi,0,2*pi,Method,iterated,AbsTol,1e
    -3,RelTol,1e-5);
181 Dir=4*pi*MaxEnmax/abs(Piso);
182 direct=10*log10(Dir);
183 fprintf('La ganancia maxima del arreglo lineal de antenas dipolo
    de d elementos es: f dB\n',N,direct);
184 for theta=thetadir:3600
185     if E(theta)>=1/2*MaxEtheta && E(theta)<=1/2*MaxEtheta+tol
186         thetamed=theta;
187         break
188     end
189 end
190 AnB=2*abs((thetadir-thetamed)/10);
191 fprintf('La relacion delante atras del arreglo lineal de antenas
    dipolo de d elementos es: f dB\n',N,RFB);
192 fprintf('El ancho del haz del arreglo lineal de antenas dipolo de
    d elementos es: f grados\n',N,AnB);

```



```

193 ____INCLUSION DE ARCHIVO CON DATOS GENERADOS EN MMANA-GAL
194 filename = C:\JULIO\MAESTRIAS\MEMAT2P\TESIS MEMAT2P\GRAFICACION DE
      COBERTURA PARA TDT-ISDBT\PROGRAMAS TESIS MEMAT2P\34lambda100s.
      csv ;
195 delimiter = , ;
196 startRow = 2;
197 formatSpec = _f_f_f_f_f_[^\n\r] ;
198 fileID = fopen(filename , r );
199 dataArray = textscan(fileID , formatSpec , Delimiter , delimiter ,
      TextType , string , HeaderLines ,startRow-1, ReturnOnError , false ,
      EndOfLine , \r\n);
200 fclose(fileID);
201 lambda3_4100s = table(dataArray{1:end-1}, VariableNames , {
      ZENITHDEG , AZIMUTHDEG , VERTdBi , HORIdBi , TOTALdBi });
202 clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray
      ans;
203 Comp=lambda3_4100s(:,4);
204 Comp=Comp{:, :};
205 C=Comp';
206 ____Calculo del ancho del haz de la antena , ganancia maxima y
      relacion delante-atras , con datos de MMANA-GAL
207 MaxEtheta=-15;
208 for theta=1:3600
209     if C(theta)> MaxEtheta

```

```
210         MaxEtheta = C(theta);
211     end
212 end
213 MaxEtheta;
214 direct=MaxEtheta;
215 fprintf ( ' La ganancia maxima del arreglo lineal de antenas dipolo ,
           usando MMANA-GAL, de d elementos es: f dB\n ',N,direct);
216 tol=MaxEtheta/100;
217 for theta=1:3600
218     if C(theta)==MaxEtheta
219         thetadir=theta;
220         if thetadir-1800<0
221             RFBM=abs(C(thetadir)-C(thetadir+1800));
222         else
223             RFBM=abs(C(thetadir)-C(thetadir-1800));
224         end
225     end
226 end
227 for theta=thetadir:3600
228     if C(theta)>=MaxEtheta-3 && C(theta)<=MaxEtheta-3+tol
229         thetamed=theta;
230         break
231     end
232 end
```

```

233 AnBM=2*abs((thetadir-thetamed)/10);
234 fprintf ( La relacion delante atras del arreglo lineal de antenas
        dipolo , usando MMANA-GAL, de d elementos es: f dB\n ,N,RFBM);
235 fprintf ( El ancho del haz del arreglo lineal de antenas dipolo ,
        usando MMANA-GAL, de d elementos es: f grados\n ,N,AnBM);
236 theta=0:pi/1800:2*pi-pi/1800;
237 figure(1);
238 polar(theta ,EthetaDB, green );
239 figure(2);
240 polar(theta ,E, red );
241 figure(3);
242 polar(theta ,C, blue );
243 function y=integralG2(Z)
244 global Le LM N1 N2 M1 M2 Rred
245 Rplus = sqrt(Rred + (LM(N1,M1)+Z).^2);
246 Rminus = sqrt(Rred + (LM(N1,M1)-Z).^2);
247 y = ((exp(-1 i *2*pi .* Rminus) ./ (Rminus)) + ((exp(-1 i *2*pi .* Rplus) ./ (
        Rplus)))) .* cos((2*M2-1)*pi .* Z ./ Le(N2));
248 function G2=sumatoriaG2(UL)
249 global Rred N1 M1 LM
250 Rplus = sqrt(Rred + (LM(N1,M1)+UL).^2);
251 Rminus = sqrt(Rred + (LM(N1,M1)-UL).^2);
252 G2 = exp(-1 i *2*pi*Rplus) / Rplus + exp(-1 i *2*pi*Rminus) / Rminus;
253 function y=Zmas(m,theta ,n)

```

```

254 global Le
255 y1= (((2*m-1)*pi)/Le(n)+2*pi.*cos(theta)).*Le(n)/2;
256     if y1 == 0
257         y=1;
258     else
259         y=sin(y1)./y1;
260     end
261 function y=Zmenos(m,theta,n)
262 global Le
263 y1= (((2*m-1)*pi)/Le(n)-2*pi.*cos(theta)).*Le(n)/2;
264     if y1 == 0
265         y=1;
266     else
267         y=sin(y1)./y1;
268     end
269 function y=Energia(theta,phi)
270 global M N YP Le Inmglob
271     SumEN=0;
272     for n=1:N
273         AAA = exp(1i*2*pi*YP(n).*sin(theta).*sin(phi));
274         SumEM=0;
275         for m=1:M
276             SumEM=Inmglob((M*(n-1)+m),1).*(Zmas(m,theta,n)+
                Zmenos(m,theta,n))+SumEM;

```

```

277         end
278         SumEN = SumEM.*AAA.*Le(n)/2+SumEN;
279     end
280     y=3.75*pi.*(abs(SumEN).^2).*(sin(theta).^3);
281 function y=Enmax(theta, phi)
282 global M N YP Le Inmglob
283     SumEN=0;
284     for n=1:N
285         AAA = exp(1i*2*pi*YP(n).*(sin(theta).*(sin(phi))));
286         SumEM=0;
287         for m=1:M
288             SumEM=Inmglob((M*(n-1)+m), 1)*(Zmas(m, theta, n)+
                Zmenos(m, theta, n))+SumEM;
289         end
290         SumEN = SumEM*AAA*Le(n)/2+SumEN;
291     end
292     y=3.75*pi.*(abs(SumEN).^2).*(sin(theta).^2);

```

Hojas de datos de arreglos de dipolos comerciales.

Figura 29.

Patrón de radiación de la antena Yagi - Uda 600265, dados por empresa Kathrein.

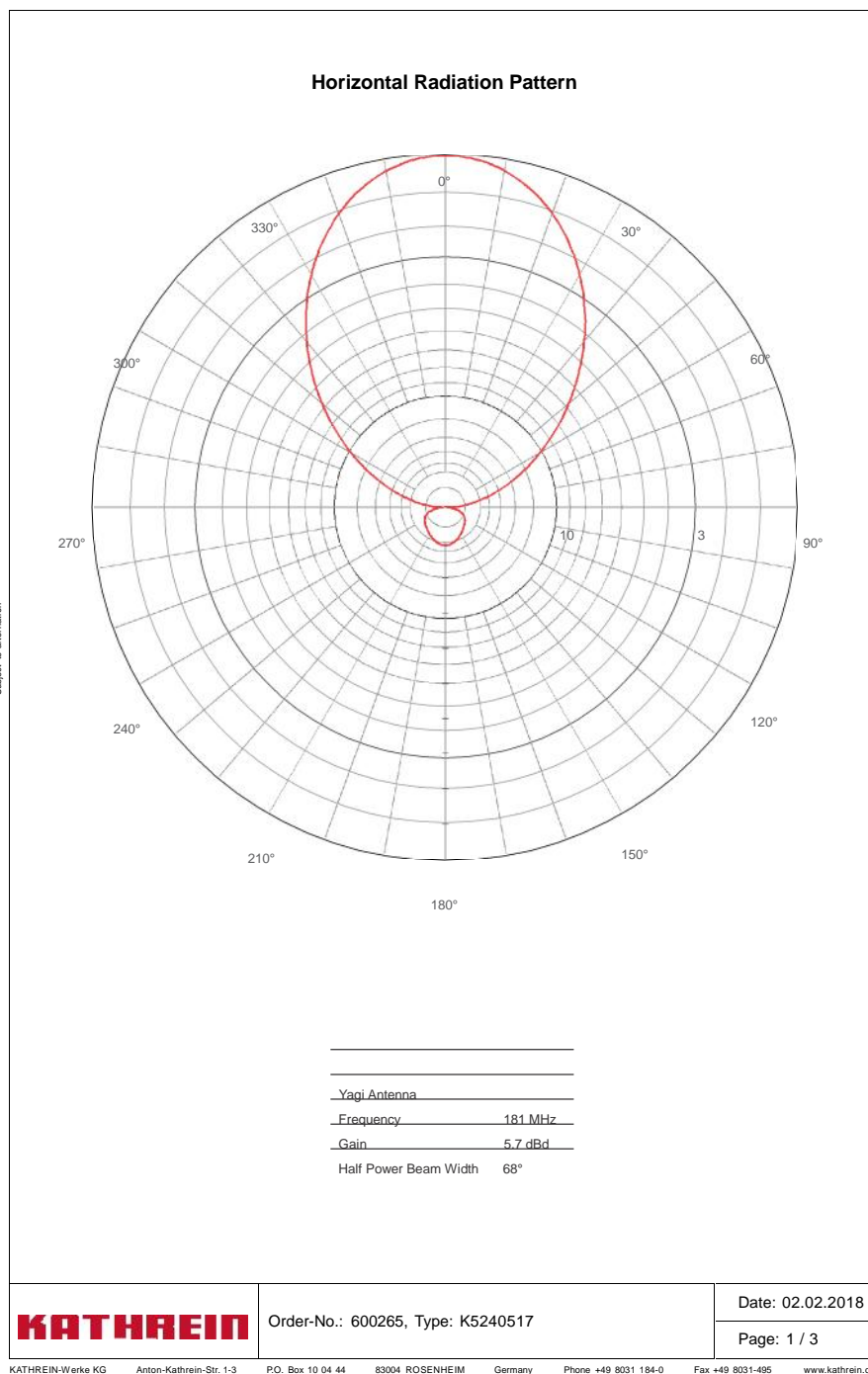


Figura 30.

Hoja de datos de la antena Yagi - Uda 600265, dada por empresa Kathrein.

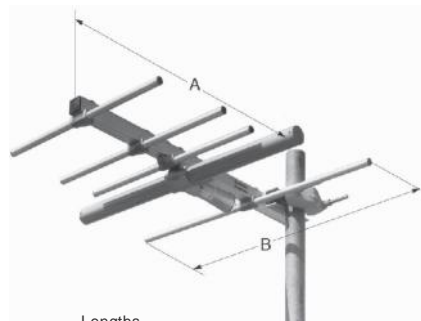
Yagi Antenna**Polarization**

174...230 MHz
H

KATHREIN
Antennen · Electronic

- For low power transmitting antennas.

| Order No. | 600265 K5240517 | 600267 K5240527 |
|-------------------------|--------------------|--------------------|
| Input | | 7-16 female |
| Max. power | 100 W | 400 W |
| Frequency range | 174 – 202 MHz | 202 – 230 MHz |
| VSWR | | < 1.15 |
| Gain (at mid-band) | | 6 dBd |
| Impedance | | 50 |
| Polarization | | Horizontal |
| Weight | | 5 kg |
| Wind load (at 160 km/h) | | |
| Frontal: | 115 N | 100 N |
| Lateral: | 100 N | 90 N |
| Max. wind velocity | | 225 km/h |
| Dimensions | A B | |
| | 930 mm 885 mm | 810 mm 765 mm |



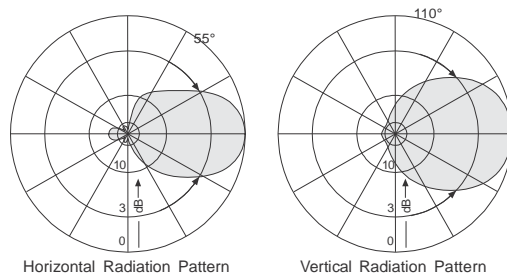
Lengths
see table

Material: Weather-proof aluminum.
Radiator in fiberglass radome.

Mounting: To pipes of 60 – 115 mm Ø by means
of mounting clamps, supplied.

Grounding: Via mounting parts.

Special features: The antenna is shipped dismounted.

Radiation Patterns (at mid-band)

936.4418 Subject to alteration.

Figura 31.

Patrón de radiación de la antena Log - Periódica 75010242, dados por empresa Kathrein.

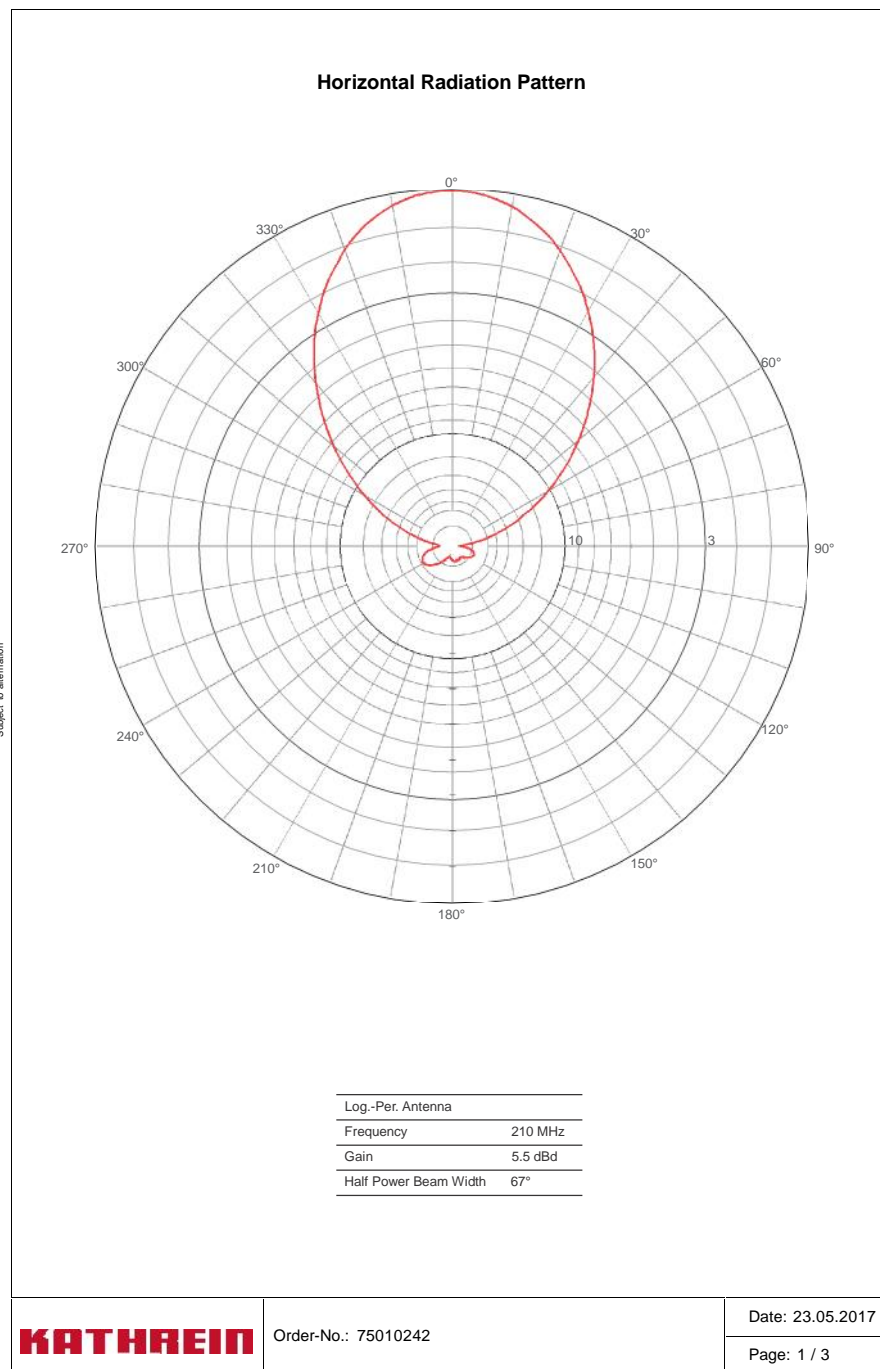


Figura 32.

Hoja de datos de la antena Log - Periódica 75010242, dada por empresa Kathrein.

Log-Per. Antenna

174–240 MHz

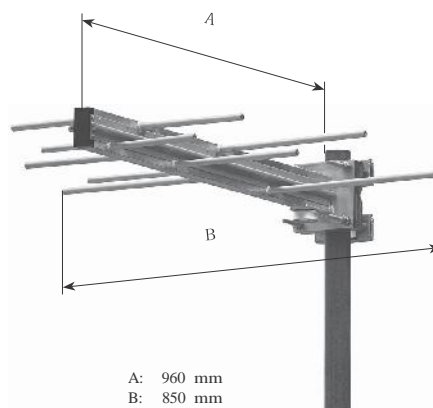
KATHREIN

Polarization

H **V**

•Logarithmic-periodic broadband directional antenna.

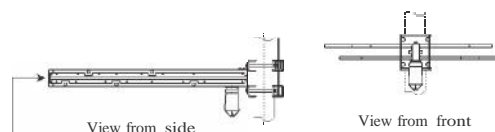
| | |
|-------------------------|---------------------------------------|
| Order No. | 75010242 |
| Input | 7-16 female |
| Max. power | 2 kW |
| Frequency range | 174-240 MHz |
| VSWR | 174-230 MHz: 1.25 230-240 MHz: 1.3 |
| Gain (at mid-band) | 5 dBd |
| Impedance | 50 Horizontal or vertical |
| Polarization | Horizontal or vertical |
| Weight | 10 kg |
| Wind load (at 160 km/h) | Frontal: 100 N Lateral: 190 N |
| Max. wind velocity | 225 km/h |



A: 960 mm
B: 850 mm

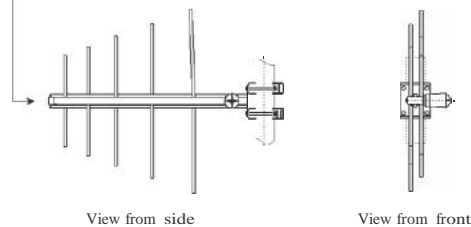
Material: Hot-dip galvanized steel.
Mounting: To pipes of 40–95 mm diameter by means of mounting clamps, supplied.
Grounding: The inner conductor is DC grounded.

Installation: Horizontal Polarization

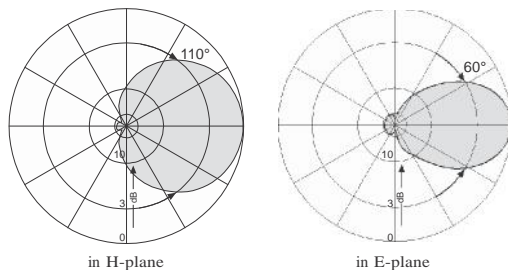


Please apply or remove drainage stoppers as indicated on antenna tip!

Installation: Vertical Polarization



Radiation Patterns (at mid-band)



936.3557h | Subject to alteration.

Figura 33.

Dimensiones físicas de la antena Log - Periódica D9108, dados por empresa Elektronik.

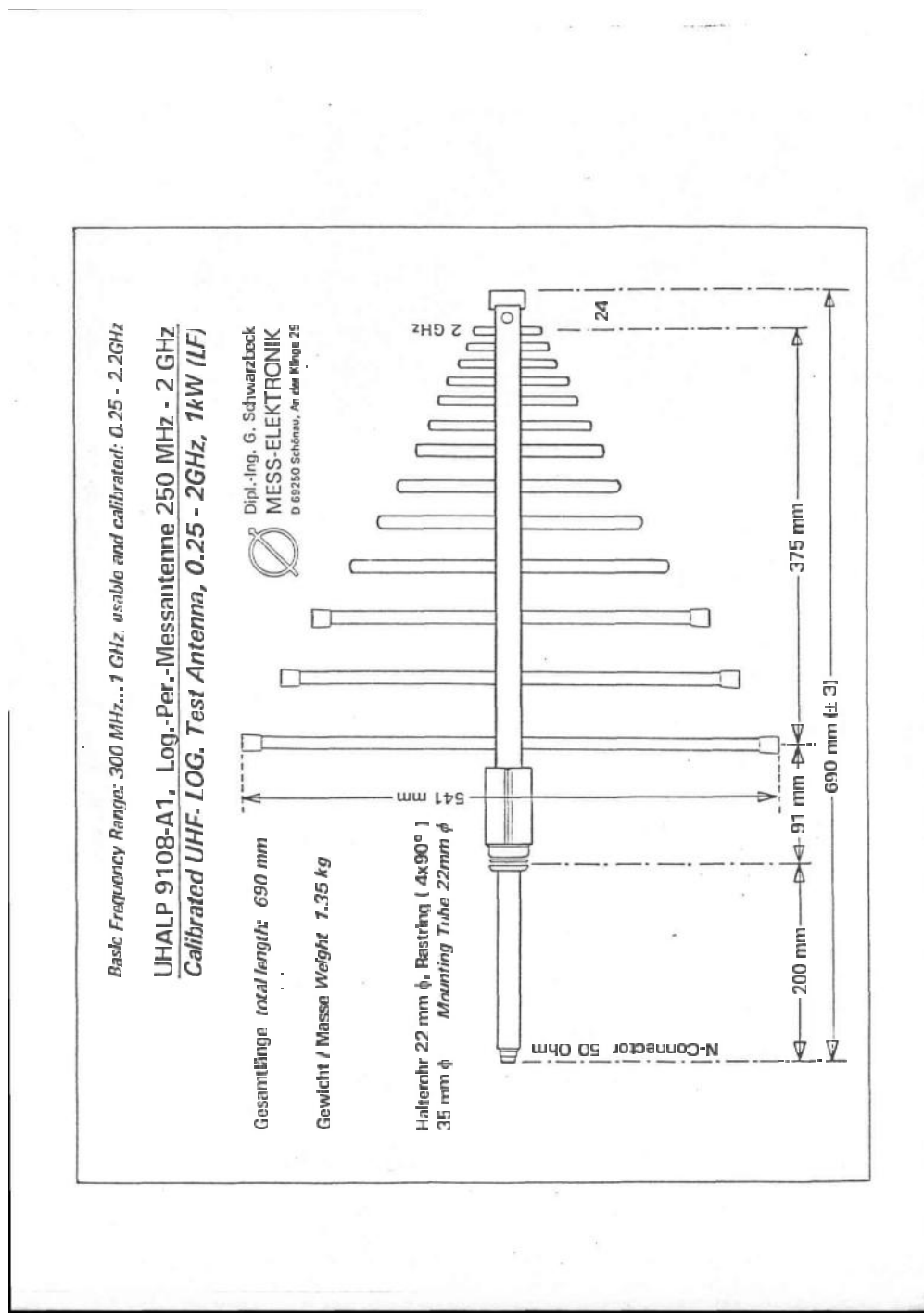


Figura 34.

Patrones de radiación de la antena Log - Periódica D9108, dados por empresa Elektronik.

SCHWARZBECK MESS - ELEKTRONIK

An der Klinge 29 D-69250 Schönau Tel.: 06228/1001 Fax.: (49)6228/1003

Log - Per. Breitband-Antenne UHALP 9108 A

Log - Per. Broadband Antenna UHALP 9108 A

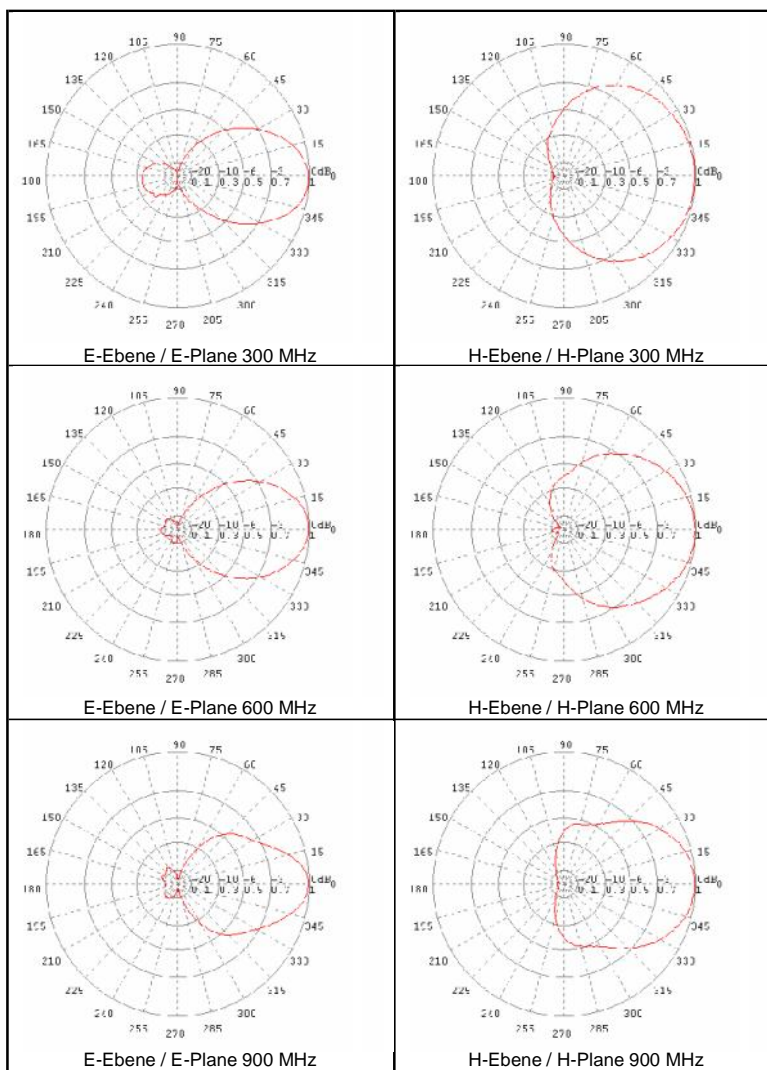


Figura 35.

Hoja de datos de la antena Log - Periódica D9108, dada por empresa Elektronik.

SCHWARZBECK MESS - ELEKTRONIK

An der Klinge 29 D-69250 Schönau Tel.: 06228/1001 Fax.: (49)6228/1003

Logarithmisch Periodische Breitbandantenne UHALP 9108 A1

Logarithmic Periodic Broadband Antenna UHALP 9108 A1

250...2200 MHz, 1 kW

Calibration accuracy: 0.7 dB, free space data

| Frequency MHz | Distance m | lambda m | Attenuation dB | Gain(Isotr.) dBi | Gain(Dipole) dBd | Ant.-Factor dB/m |
|------------------|---------------|-------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 250.00 | 4.00 | 1.20 | 27.90 | 2.27 | 0.12 | 15.91 |
| 260.00 | 4.00 | 1.15 | 25.90 | 3.44 | 1.29 | 15.08 |
| 270.00 | 4.00 | 1.11 | 24.60 | 4.26 | 2.10 | 14.59 |
| 280.00 | 4.00 | 1.07 | 23.40 | 5.01 | 2.86 | 14.15 |
| 290.00 | 4.00 | 1.03 | 22.48 | 5.63 | 3.47 | 13.84 |
| 300.00 | 3.97 | 1.00 | 21.82 | 6.07 | 3.92 | 13.69 |
| 325.00 | 3.91 | 0.92 | 21.30 | 6.61 | 4.46 | 13.85 |
| 350.00 | 3.85 | 0.86 | 21.45 | 6.79 | 4.64 | 14.31 |
| 375.00 | 3.80 | 0.80 | 22.45 | 6.54 | 4.38 | 15.17 |
| 400.00 | 3.76 | 0.75 | 23.20 | 6.39 | 4.24 | 15.87 |
| 425.00 | 3.72 | 0.71 | 23.39 | 6.52 | 4.37 | 16.27 |
| 450.00 | 3.69 | 0.67 | 23.55 | 6.65 | 4.50 | 16.64 |
| 475.00 | 3.66 | 0.63 | 23.86 | 6.69 | 4.54 | 17.06 |
| 500.00 | 3.63 | 0.60 | 23.90 | 6.86 | 4.71 | 17.34 |
| 525.00 | 3.61 | 0.57 | 24.12 | 6.93 | 4.78 | 17.69 |
| 550.00 | 3.59 | 0.55 | 24.61 | 6.86 | 4.71 | 18.16 |
| 575.00 | 3.57 | 0.52 | 25.09 | 6.79 | 4.64 | 18.62 |
| 600.00 | 3.55 | 0.50 | 25.20 | 6.90 | 4.75 | 18.88 |
| 625.00 | 3.53 | 0.48 | 25.40 | 6.96 | 4.81 | 19.18 |
| 650.00 | 3.51 | 0.46 | 25.65 | 6.98 | 4.83 | 19.50 |
| 675.00 | 3.50 | 0.44 | 25.88 | 7.01 | 4.86 | 19.79 |
| 700.00 | 3.49 | 0.43 | 26.07 | 7.06 | 4.91 | 20.06 |
| 725.00 | 3.47 | 0.41 | 26.00 | 7.23 | 5.08 | 20.19 |
| 750.00 | 3.46 | 0.40 | 25.85 | 7.44 | 5.29 | 20.28 |
| 775.00 | 3.45 | 0.39 | 25.95 | 7.52 | 5.37 | 20.49 |
| 800.00 | 3.44 | 0.38 | 26.36 | 7.44 | 5.29 | 20.84 |
| 825.00 | 3.43 | 0.36 | 26.75 | 7.36 | 5.21 | 21.18 |
| 850.00 | 3.42 | 0.35 | 27.12 | 7.30 | 5.15 | 21.51 |
| 900.00 | 3.41 | 0.33 | 27.29 | 7.44 | 5.29 | 21.86 |
| 1000.00 | 3.38 | 0.30 | 28.07 | 7.47 | 5.32 | 22.75 |
| 1050.00 | 3.37 | 0.29 | 28.20 | 7.60 | 5.45 | 23.04 |
| 1100.00 | 3.35 | 0.27 | 28.50 | 7.64 | 5.49 | 23.41 |
| 1150.00 | 3.34 | 0.26 | 28.90 | 7.62 | 5.47 | 23.81 |
| 1200.00 | 3.33 | 0.25 | 29.25 | 7.62 | 5.47 | 24.19 |
| 1300.00 | 3.32 | 0.23 | 30.26 | 7.44 | 5.29 | 25.06 |
| 1400.00 | 3.30 | 0.21 | 30.95 | 7.40 | 5.25 | 25.74 |
| 1500.00 | 3.29 | 0.20 | 31.77 | 7.27 | 5.12 | 26.47 |
| 1600.00 | 3.28 | 0.19 | 32.40 | 7.22 | 5.07 | 27.08 |
| 1700.00 | 3.27 | 0.18 | 33.70 | 6.82 | 4.67 | 28.00 |
| 1800.00 | 3.26 | 0.17 | 34.80 | 6.51 | 4.36 | 28.81 |
| 1900.00 | 3.26 | 0.16 | 36.60 | 5.84 | 3.69 | 29.96 |
| 2000.00 | 3.25 | 0.15 | 38.40 | 5.15 | 3.00 | 31.09 |
| 2100.00 | 3.24 | 0.14 | 39.40 | 4.85 | 2.70 | 31.81 |
| 2200.00 | 3.24 | 0.14 | 39.70 | 4.90 | 2.75 | 32.17 |
| 2300.00 | 3.23 | 0.13 | 39.40 | 5.23 | 3.08 | 32.22 |
| 2400.00 | 3.23 | 0.13 | 40.10 | 5.06 | 2.91 | 32.76 |

Referencias

- [1] A. M. M. ÁVILA, *Agrupaciones de antenas*, 2010.
- [2] C. BALANIS, *Antenna Theory, analysis and Design*, John Wiley & Sons, third ed., 2005.
- [3] M. L. BRITO-VALLINA, I. ALEMÁN-ROMERO, E. FRAGA-GUERRA, J. L. PARA-GARCÍA, AND R. I. ARIAS-DE TAPIA, *Papel de la modelación matemática en la formación de los ingenieros*, *Ingeniería Mecánica*, 14 (2011), pp. 129 – 139.
- [4] I. CASTILLO, JOSÉ Y QUIROZ, *Desarrollo de software para el diseño de antenas yagi-uda y reflector de esquina*, Master's thesis, UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO, dec 2009.
- [5] C. CRUZ, *La enseñanza de la modelación matemática en ingeniería*, *Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela*, 25 (2010), pp. 39 – 46.
- [6] ELEKTRONIK, *Datasheet 9108*, 2013.
- [7] P. L. Y. C. R. GÓMEZ J., *Diseño de antenas yagi uda usando algoritmos genéticos*, *Ciencia Investigación Academia Desarrollo*, 8 (2003), pp. 19–24.
- [8] L. F. M. GRANADOS, *El modelamiento matemático en la formación del ingeniero*, Ediciones Fundación Universidad Central, first ed., dec 2013.
- [9] A. HUERTA, *Tipos de modelos de simulación*.
- [10] KATHREIN, *Selector de antena de transmisión*.
- [11] KATHREIN, *Broadcast Solutions*, Kathrein, jul 2015.
- [12] A. LUNA, *Desarrollo de una gui para la representación 2d y 3d del diagrama de radiación de antenas*, jul 2017.

- [13] L. F. PLAZA GÁLVEZ, *Modelación matemática en ingeniería*, IE Revista de investigación educativa de la REDIECH, 7 (2016), pp. 47 – 57.
- [14] T. E. RODRÍGUEZ, Y. PUERTO, C. GARCÍA ALCALÁ, AND R. HERNÁNDEZ, *Propuestas de antenas activas para la recepción de la televisión digital terrestre en cuba*, (2016).
- [15] T. E. C. RODRÍGUEZ, *Antenas para televisión digital terrestre y su fabricación en cuba*, sep 2015.
- [16] G. THIELE, *Analysis of Yagi-Uda-Type Antennas*, vol. AP-17 of IEEE TRANSACTION ON ANTENNAS AND PROPAGATION, IEEE, first ed., jan 1969.
- [17] A. Y. A. E. CARRILLO, 2008.
- [18] L. A. Y G. L. M. TRINIDAD, *La Televisión Digital Terrestre. Experiencias nacionales y diversidad en Europa, América y Asia*, LA CRUJIA EDICIONES, 2012.
- [19] C. A. Y OTROS, *Antenas*, Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, second ed., 2002.
- [20] E. M. Y OTROS, *Efecto de la foresta en las transmisiones electromagnéticas dentro de una wlan (lan inalámbrica)*, aug 2011.
- [21] A. Y PÉREZ, *Antenas*, Universidad de Cataluña, first ed., 2005.
- [22] K. B. YI HUANG, *Antennas : from theory to practice*, John Wiley & Sons Ltd., first ed., 2008.