



Tesis de Maestría en Ingeniería de las Telecomunicaciones

**ANTENAS COMERCIALES PARA ENLACES
PERTENECIENTES AL SERVICIO FIJO TERRESTRE
PUNTO A PUNTO: ESTUDIO DE COMPATIBILIDAD
ELECTROMAGNÉTICA Y PROYECTO DE MARCO
REGULATORIO**

Autor: Ing. Leonel Enrique Hochman

Director: Ing. Claudio Marcelo Muñoz

2014

Dedicado a Nora, Luis y Damián.

Agradecimientos

Una innumerable cantidad de personas, directa o indirectamente, y hasta en algunos casos sin siquiera saberlo, han contribuido a la realización de este trabajo, y por tal motivo resulta imprescindible mencionarlas a todas y cada una de ellas.

En primer lugar, a quien conociera como docente de la Maestría en Ingeniería de las Telecomunicaciones, Ing. Claudio M. Muñoz, cuyo claro y apasionado dictado de Medios de enlace y compatibilidad Electromagnética contribuyeron a decidirme por su tutoría y dirección del trabajo que nos ocupa, acción que fue desempeñada con total profesionalismo y dedicación.

A mis compañeros de la Comisión Nacional de Comunicaciones, con quienes entre los años 2004 y 2008 lleváramos adelante los primeros pasos para el desarrollo de un Marco Regulatorio de Antenas, el cual inspiraría la presente tarea. Al Ing. Omar A. Castaño, precursor de la metodología de modelización matemática de diagramas de radiación de referencia, y quien dejara asentada la necesidad e importancia de contar con dicho Marco. A quien es mi compañero de trabajo hasta la fecha, el Ing. Leonardo H. Zapozko, integrante por aquellos días del Sector Antenas del Equipo de Trabajo Ingeniería del Espectro, con quien graficáramos cientos de diagramas de radiación y leyéramos todos los estándares habidos y por haber, entre otras tareas tendientes a la escritura del Marco, lamentablemente siempre pospuesta por otros motivos. Asimismo, fue quien propusiera mejoras en cuanto a la redacción y exposición de los contenidos de este documento. También a los demás integrantes del Sector Antenas, Ing. Hugo D. Maldonado, Ing. Agustín M. Alonso, Sr. Adrián Ojman y Cra. Evelyn E. Reemeerie. Y a todos los profesionales de la Gerencia de Ingeniería de la CNC, quienes en repetidas oportunidades ponderaron el trabajo realizado en aquellos tiempos, proponiendo mejoras que hoy he tratado de reflejar aquí.

Al Ing. Guillermo Montenegro, Gerente de ingeniería de la CNC, quien me diera la oportunidad de presentar ante la Unión Internacional de Telecomunicaciones un documento relacionado con el tema bajo estudio, las antenas y sus diagramas de radiación de referencia, a partir del cual surgiera más material e ideas para llevar adelante mi trabajo personal.

A la Ing. María Cristina Lozada, por la lectura y valoración de las diapositivas confeccionadas a los efectos de exponer, explicar y defender el trabajo realizado. Junto con ello, su constante apoyo a lo largo de la elaboración de este documento.

Al Ing. Pablo Fierens, quien en repetidas oportunidades se contactara conmigo para interiorizarse en el avance de la Tesis y ofreciendo su ayuda y consejos para llegar a buen puerto.

A los miembros del Jurado, Ing. Carlos F: Belaustegui Goitia, Ing. Carlos O. Uzal e Ing. Juan Matías Cattaneo, cuyas sugerencias y recomendaciones favorecieron la redacción final de este documento.

A la Mg. Sofía I. Garat, con su buena predisposición para llevar adelante todos los aspectos administrativos y de gestión ante el ITBA, como así también propiciar el buen ambiente para las reuniones y presentación de la Tesis.

Finalmente y no menos importante, a mis invalorable compañeros de Maestría, quienes han alentado el avance desde el primer día y quienes espero estén presentes el día de la defensa de la Tesis.

Tesis de Maestría en Ingeniería de las Telecomunicaciones

ANTENAS COMERCIALES PARA ENLACES PERTENECIENTES AL SERVICIO FIJO TERRESTRE PUNTO A PUNTO: ESTUDIO DE COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA Y PROYECTO DE MARCO REGULATORIO

Índice

Índice de tablas	6
1. Introducción	10
1.1. Antecedentes y motivaciones del proyecto	10
2. Objetivos	11
3. Metodología de trabajo	11
3.1. Fase de estudio 1: Relevamiento de antenas comerciales y elaboración de diagramas de radiación de referencia	11
3.2. Fase de estudio 2: Metodología automatizada de análisis de Compatibilidad Electromagnética, y evaluación de eficiencia espectral por tipo de antena	12
3.3. Documento normativo: Norma técnica para homologación/certificación, selección y utilización de antenas. Partes 1 y 2.	12
3.4. Documento normativo: Norma técnica para homologación/certificación, selección y utilización de antenas. Parte 3.	13
4. Generalidades de las antenas de reflector parabólico	14
5. Fase de estudio 1: Relevamiento de antenas comerciales y elaboración de diagramas de radiación de referencia	19
5.1. Antecedentes	19
5.1.1. Diagramas de radiación de referencia recomendados	19
5.1.1.1. Recomendación UIT-R F.699-7	20
5.1.1.2. Recomendación UIT-R F.1245-1	20
5.1.1.3. Consideraciones resultantes	21
5.2. Relevamiento y obtención de diagramas de radiación de antenas comerciales	22
5.2.1. Formato “NSMA”	23
5.2.2. Tipos de antenas comerciales	23
5.2.3. Antenas comerciales provistas por los principales fabricantes	23
5.2.3.1. Commscope/Andrew Corp.	24
5.2.3.2. Faini Telecommunication Systems	24
5.2.3.3. General Dymnatics SATCOM Technologies/Gabriel Electronics Inc.	24

5.2.3.4.	Radio Frequency Systems (RFS).....	24
5.2.3.5.	Radio Waves Inc.....	24
5.2.3.6.	Resumen de descargas	25
5.3.	Creación y ordenamiento de la base de datos de antenas comerciales	25
5.3.1.	Administrador de los archivos de datos	25
5.3.2.	Codificación normalizada de los datos de antenas	26
5.3.3.	Envoltentes de diagramas de radiación	28
5.3.4.	Clasificación del contenido de la base de datos	28
5.3.5.	Estadística de la base de datos de antenas.....	29
5.4.	Modelización matemática de los diagramas de referencia.....	32
5.4.1.	Ejemplo: Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance (Tipo U).....	35
5.4.1.1.	Polarización H/H	35
5.4.1.2.	Polarización H/V	37
5.4.2.	Resumen de ecuaciones y rango de aplicación	39
5.4.2.1.	Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance (Tipo U).....	39
5.4.2.2.	Antenas parabólicas de Alta Performance (Tipo A).....	40
5.4.2.3.	Antenas parabólicas Estándar (Tipo E)	42
5.4.2.4.	Antenas parabólicas Grilladas (Tipo G)	43
5.4.2.5.	Antenas parabólicas de Plano Focal (Tipo F)	44
5.5.	Generación de los diagramas de referencia.....	45
5.5.1.	Ejemplo: Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance (Tipo U).....	47
5.5.2.	Ejemplo: Comparación de los diferentes tipos de antenas parabólicas	47
5.6.	Conclusiones	48
5.7.	Desarrollos futuros.....	50
6.	Fase de estudio 2: Metodología automatizada de análisis de Compatibilidad Electromagnética, y evaluación de eficiencia espectral por tipo de antena	52
6.1.	Antecedentes	52
6.1.1.	Estudio probabilístico y propuesta regulatoria de Australian Communications Authority (ACA).....	52
6.1.2.	Report ITU-R F.2059-1. “Antenna characteristics of point-to-point fixed wireless systems to facilitate coordination in high spectrum use areas” [11]	54
6.2.	Definición de la metodología de cálculo automatizado de Compatibilidad Electromagnética y simulación de eficiencia espectral por antena.....	56
6.3.	Directiva General DNRc 61-02	58
6.4.	Análisis de las bases de datos de estaciones que operan en frecuencias superiores a 1000 MHz.....	59
6.4.1.	Estudio preliminar	59

6.4.2.	Selección de la banda de frecuencias a estudiar y normalización de la base de datos	63
6.5.	Implementación de la metodología.....	63
6.6.	Ejemplo de ejecución de la metodología para la banda F.....	64
6.6.1.	Datos geográficos	64
6.6.2.	Parámetros radioeléctricos del enlace a asignar	64
6.6.3.	Resultados	64
6.7.	Conclusiones	66
6.8.	Desarrollos futuros.....	66
7.	Documento normativo: Norma técnica para homologación/certificación, selección y utilización de antenas	69
7.1.	Partes 1, Generalidades, y 2, Homologación/certificación de antenas	69
7.1.1.	Análisis comparativo de los estándares existentes	69
7.2.	Parte 3, Selección y utilización de antenas	71
7.3.	Documento normativo propuesto, comentarios y observaciones	71
8.	Conclusiones finales.....	105
9.	Definiciones	107
10.	Abreviaturas y símbolos	111
11.	Unidades de medición	112
12.	Referencias.....	113
	Anexo I - Códigos de programación.....	116

Índice de tablas

Tabla 1.	Resumen de descargas.....	25
Tabla 2.	Estadística de Antenas Parabólicas de Ultra Alta Performance.....	30
Tabla 3.	Estadística de Antenas Parabólicas de Alta Performance.	30
Tabla 4.	Estadística de Antenas Parabólicas Estándar.....	30
Tabla 5.	Estadística de Antenas Parabólicas Grilladas.	31
Tabla 6.	Estadística de Antenas Parabólicas de Plano Focal.	31
Tabla 7.	Parámetros y variables necesarios para la modelización matemática.....	32
Tabla 8.	Resultados de la simulación.....	65
Tabla 9.	Comparación de la normativa de certificación de antenas.	70

Índice de figuras

Figura 1.	Principio de funcionamiento del reflector parabólico.....	14
Figura 2.	Antena parabólica Estándar.....	15

Figura 3. Antena parabólica de reflector grillado.....	15
Figura 4. Antena parabólica de Alta o Ultra Alta Performance.	16
Figura 5. Radomos varios.....	16
Figura 6. Antena parabólica de Plano Focal.....	17
Figura 7. Diagrama de radiación de referencia definido en Rec. UIT-R F.699-7.....	20
Figura 8. Diagrama de radiación de referencia definido en Rec. UIT-R F.1245-1.....	21
Figura 9. Comparación de los diagramas de radiación de referencia.	22
Figura 10. Lóbulo principal y primer lóbulo lateral.	22
Figura 11. Administrador de los archivos de datos.	25
Figura 12. Reglas de codificación de archivos de antenas y diagramas.	27
Figura 13. Regiones de radiación de una antena y puntos característicos del diagrama.	33
Figura 14. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia.	35
Figura 15. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ancho de haz en polarización H/H.....	35
Figura 16. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia del primer lóbulo lateral en polarización H/H.....	35
Figura 17. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ángulo máximo del primer lóbulo lateral en polarización H/H.....	36
Figura 18. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia para un apartamiento de 30° en polarización H/H.....	36
Figura 19. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia para un apartamiento de 90° en polarización H/H.....	36
Figura 20. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia para un apartamiento de 120° en polarización H/H.....	37
Figura 21. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia para un apartamiento de 180° en polarización H/H.....	37
Figura 22. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia en polarización H/V. .	37
Figura 23. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ángulo máximo de XPD en polarización H/V.....	38
Figura 24. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia para un apartamiento de 30° en polarización H/V.....	38
Figura 25. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia para un apartamiento de 90° en polarización H/V.....	38
Figura 26. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia para un apartamiento de 120° en polarización H/V.....	39
Figura 27. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia para un apartamiento de 180° en polarización H/V.....	39
Figura 27. DRRAs para antenas parabólicas de Ultra Alta Performance de 3,6 m de diámetro operando en la banda F (2400 MHz).	47

Figura 28. DRRAs para antenas parabólicas de 3,6 m de diámetro operando en la banda F (2400 MHz) y polarización H/H.....	48
Figura 29. Comparación de los DRRAs recomendados por UIT y los propios.....	49
Figura 30. Algoritmo de simulación por el método de Monte Carlo (extraído de [10][11]). ..	55
Figura 31. Diagrama de flujo de la metodología de simulación.....	57
Figura 32. Distribución de estaciones por banda de frecuencias.....	60
Figura 33. Distribución geográfica de estaciones en la banda “22”.....	61
Figura 34. Distribución geográfica de estaciones en la banda “58”.....	62
Figura 35. Resultados de la simulación.	66

Índice de planillas de cálculo

[UIT.xls](#)

[Administrador BD.xls](#)

[BD_U.xls](#)

[BD_A.xls](#)

[BD_E.xls](#)

[BD_G.xls](#)

[BD_F.xls](#)

[DRRAs.xls](#)

[Análisis BD estaciones.xls](#)

[Eficiencia espectral.xls](#)

Resumen

La presente Tesis establece una metodología completa para el desarrollo de un proyecto de Norma Técnica para homologación, selección y utilización de antenas directivas de reflector parabólico operando en las bandas de frecuencias comprendidas entre 335 MHz y unos 60 GHz. Dicha metodología comprende dos fases de estudio previas a la elaboración del documento normativo: 1) el relevamiento de las antenas comerciales y la modelización matemática de sus diagramas de radiación de referencia, y 2) el desarrollo de una metodología automatizada de cálculos de Compatibilidad Electromagnética para la obtención de un índice de eficiencia espectral para distintos tipos y dimensiones de antenas. Las antenas bajo estudio son las comercialmente conocidas como Ultra Alta Performance, Alta Performance, Estándar, Grilladas y de Plano Focal.

Abstract

This Thesis establishes a comprehensive methodology for the development of a draft Technical Standard for certification, selection and usage of parabolic reflector directional antennas, operating in the 335 MHz – 60 GHz frequency bands. The methodology implies two research stages prior to writing the standard document: 1) gathering commercial antennas and modelling their reference radiation patterns, and 2) developing an automated methodology for Electromagnetic Compatibility calculation in order to derive a spectral efficiency rating for different types and size of the antennas. Antennas under consideration are commercially known as Ultra High Performance, High Performance, Standard Performance, Grid and Focal Plane.

1. Introducción

Los sistemas radioeléctricos Punto a Punto, pertenecientes al Servicio Fijo terrestre, operan en bandas comprendidas entre 1 GHz y 60 GHz (rango del espectro denominado “microondas”), aunque incluso suelen encontrárselos desde los 300 MHz para el caso de transmisiones monocanales. Las antenas mayormente empleadas son aquellas que presentan un reflector parabólico por detrás del elemento radiante, el cual permite enfocar la mayor parte de la radiación emitida en la dirección de interés (es decir, la dirección del enlace, o el segmento que une a las antenas transmisora y receptora).

La forma en que una antena distribuye la energía en el espacio se manifiesta a través de su diagrama de radiación. Una antena parabólica real (incluso aquella de la mayor calidad obtenible con la tecnología actual), emite pequeñas cantidades de energía hacia direcciones que no son la deseada. Causas de estas “pérdidas” son el desborde, la dispersión y la difracción de la señal sobre los elementos físicos de la antena, lo que trae como consecuencia el funcionamiento no ideal de la misma y a partir de ahí posibles problemas de interferencia no deseada sobre otros sistemas ya existentes.

Como consecuencia de ello, previo a la instalación de un nuevo radioenlace, surge la necesidad de efectuar los estudios de Compatibilidad Electromagnética que eviten las interferencias perjudiciales desde/hacia los enlaces ya existentes en una dada región geográfica y banda de frecuencias. En términos simples, puede argumentarse que una antena de “buena calidad” no sólo asegurará dicha compatibilidad con los enlaces presentes, sino que, seguramente, permitirá la futura incorporación de un mayor número de enlaces con los consecuentes beneficios en lo que a administración del espectro se refiere.

Por el contrario, una antena de “baja calidad” puede dar como resultado un enlace incompatible en términos electromagnéticos, o un enlace compatible pero que comprometa y reduzca considerablemente las asignaciones futuras.

Desde el punto de vista de los entes reguladores de telecomunicaciones, una misión fundamental es optimizar la eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico, haciéndolo accesible para la mayor cantidad de usuarios posibles.

La pregunta que surge es: ¿Qué es una antena de “buena calidad” en lo que respecta a sus características de radiación?

1.1. Antecedentes y motivaciones del proyecto

Distintas administraciones y Autoridades Regulatorias han elaborado a tal fin documentos normativos en materia de certificación, asegurando a través de ensayos de medición preestablecidos (IEEE, IEC), que la antena bajo estudio cumpla los requisitos para los que fue diseñada.

Como ejemplos pueden citarse las normas técnicas dictadas por ETSI en Europa, FCC en EEUU, ACMA en Australia y Anatel en Brasil. En este último caso, la norma técnica fue profundamente actualizada en el año 2013, ratificando la vigencia del tema.

Otros estándares de estos mismos organismos, motivados por la necesidad de maximizar la eficiencia en el uso espectral, fijan criterios mínimos de calidad a ser contemplados por los licenciarios al solicitar una nueva asignación, y exigidos o recomendados por los entes reguladores al evaluar dicha solicitud.

En la presente Tesis de Maestría, se propone elaborar un proyecto de Norma Técnica para establecer los criterios regulatorios en materia de antenas para el Servicio Fijo terrestre Punto

a Punto, que operan por encima de 335 MHz y hasta unos 60 GHz. Dicho proyecto requerirá previamente de un estudio del mercado y tecnología actuales de antenas, y su influencia en los procesos de asignación de frecuencias, basados en análisis de Compatibilidad Electromagnética.

Dicho trabajo engloba diversos objetivos personales y profesionales, como ser el de elaborar un proyecto de norma técnica único y pocas veces encarados en Argentina, en un área como ser la de antenas, con escasa o nula regulación en nuestro país; aportar nuevos conocimientos y conclusiones a los estudios ya efectuados en materia de antenas y su influencia en el análisis de CEM; ampliar mis conocimientos teórico-prácticos en materia de sistemas irradiantes y estudios de Compatibilidad Electromagnética, e incrementar mi capacidad de análisis y discusión de resultados estadísticos.

2. Objetivos

1. Desarrollar un documento normativo que establezca los requisitos eléctricos, mecánicos, ambientales y otros, a ser cumplidos en un proceso de homologación de antenas directivas de reflector parabólico para enlaces terrestres Punto a Punto que operan en las bandas de 335 MHz a unos 60 GHz, rango en el cual existen modelos comerciales de estas antenas.
2. Desarrollar un documento normativo que establezca las características mínimas de radiación a ser cumplidas por las antenas directivas de reflector parabólico en los procesos de diseño, planeamiento y asignación de frecuencias de enlaces terrestres Punto a Punto que operan en las bandas de 335 a unos 60 GHz, considerando las condiciones presentes y previstas de ocupación espectral en una determinada región geográfica y banda de frecuencias, a los fines de maximizar la eficiencia espectral, presupuesto y otros factores comprometidos.

3. Metodología de trabajo

Para alcanzar los objetivos propuestos en el apartado anterior, una serie de estudios previos son necesarios. Dichos estudios pueden dividirse en dos fases. Seguidamente a ellos se desarrollan los documentos normativos.

3.1. Fase de estudio 1: Relevamiento de antenas comerciales y elaboración de diagramas de radiación de referencia

Los diagramas de radiación de referencia son curvas que representan las características de radiación de un conjunto de antenas comerciales, todas ellas de igual diámetro y tipo pero de diferentes marcas y/o modelos, operando a igual frecuencia y polarización. Estos diagramas pueden generarse a partir de ecuaciones matemáticas teóricas o, en el caso de esta Tesis, empíricas a partir de los diagramas de radiación reales de las antenas comerciales. Las tareas comprendidas en esta fase entonces son:

1. Relevamiento y análisis de diagramas de referencia disponibles.
2. Relevamiento de fabricantes de antenas.
3. Descarga desde sitios web de los diagramas de radiación y otra información técnica relacionada.
4. Confección de base de datos de diagramas de radiación de antenas.

5. Conversión de formatos y lectura de diagramas.
6. Clasificación.
7. Obtención de ecuaciones matemáticas.
8. Generación de los diagramas de referencia.
9. Conclusiones.

3.2. Fase de estudio 2: Metodología automatizada de análisis de Compatibilidad Electromagnética, y evaluación de eficiencia espectral por tipo de antena

En tareas de diseño, planeamiento y asignación de frecuencias, y dada una región geográfica y una banda de frecuencias, es necesario efectuar un estudio de compatibilidad electromagnética para la instalación de un nuevo radioenlace, tal que asegure la convivencia libre de interferencias hacia y desde los enlaces ya existentes. Sin embargo, a la hora de seleccionar las antenas, existe un alto grado de compromiso entre el costo de los diferentes modelos existentes en plaza, y el entorno de interferencia u ocupación espectral que éstas provocan. Es necesario entonces efectuar un cálculo estadístico capaz de correlacionar a cada tipo y diámetro de antena (usando los diagramas de referencia obtenidos) con el grado de ocupación espectral que conllevará su utilización. Considerando las diferentes calidades, diámetros y enlaces presentes, sería imposible efectuar en forma manual la cantidad necesaria de cálculos iterativos, por lo que se propone automatizar la metodología descrita en la normativa técnica.

1. Relevamiento y análisis de estudios previos.
2. Análisis DG-61.
3. Definición de la metodología de evaluación de CEM para diversas antenas.
4. Automatización de metodología de evaluación de CEM.
5. Solicitud a CNC de bases de datos reales de asignación de frecuencias.
6. Clasificación de bandas de frecuencias por su congestión espectral actual.
7. Estudio automatizado de CEM.
8. Análisis estadístico de resultados.
9. Conclusiones.

3.3. Documento normativo: Norma técnica para homologación/certificación, selección y utilización de antenas. Partes 1 y 2.

Implica las siguientes tareas:

1. Relevamiento de estándares existentes.
2. Estudio comparativo de estándares.
3. Relevamiento de estándares auxiliares.
4. Desarrollo del proyecto de norma técnica.

3.4. Documento normativo: Norma técnica para homologación/certificación, selección y utilización de antenas. Parte 3.

Implica las siguientes tareas:

1. Relevamiento de estándares existentes.
2. Estudio comparativo de estándares.
3. Desarrollo del proyecto de norma técnica.

4. Generalidades de las antenas de reflector parabólico

Una antena es aquella parte de un sistema de comunicaciones destinada a radiar o recibir ondas electromagnéticas hacia o desde el espacio libre. El efecto que produce es el de una adaptación de impedancias entre un medio guiado (cable coaxil, guía de onda o cualquier otra línea de transmisión) y el espacio libre.

El diagrama de radiación de una antena representa la forma en la que ésta distribuye espacialmente la energía. Si bien esta distribución es tridimensional, resulta incómoda a los fines técnicos y prácticos, recurriéndose a cortes con planos horizontales, verticales u oblicuos para su mejor visualización y relevamiento de valores numéricos. Los planos más empleados son el horizontal o acimutal, y el vertical o de elevación.

Una antena de reflector parabólico “Estándar” (*Standard*) está compuesta por un elemento radiante (alimentador o iluminador), generalmente un dipolo o una bocina, que se ubica en el foco de una parábola, precisamente el reflector. Esta disposición hace que, en transmisión, las ondas radiadas por el elemento radiante sean reflejadas y transmitidas en forma paralela al eje de la parábola, según se ilustra en la Figura 1. En recepción, aquellas ondas captadas por el reflector son enviadas hacia el foco, y captadas por el elemento radiante. La Figura 2 muestra una antena parabólica estándar comercial.

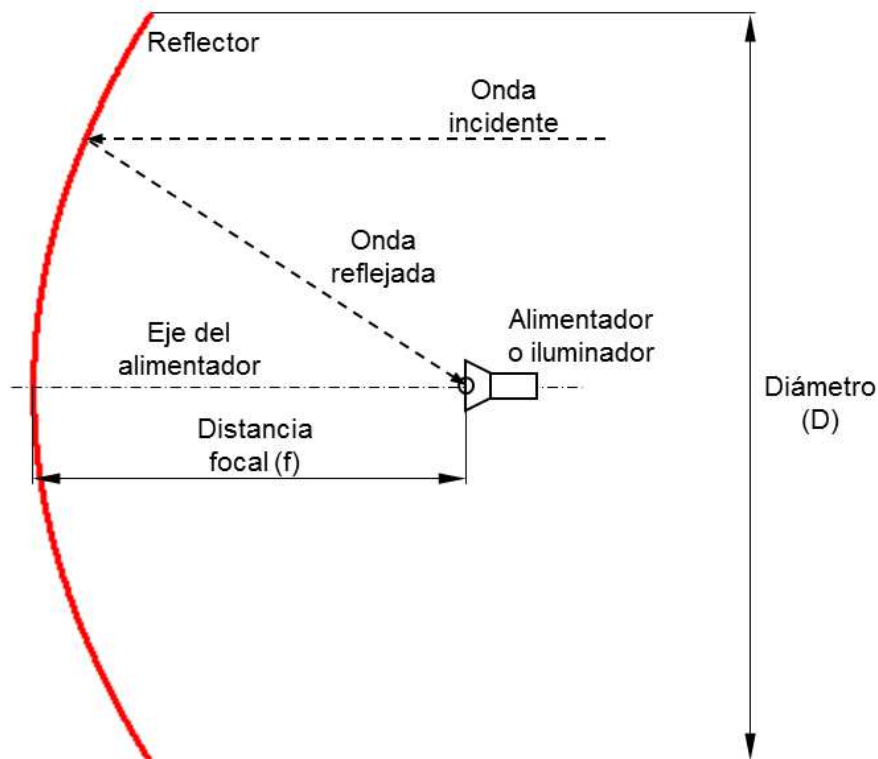


Figura 1. Principio de funcionamiento del reflector parabólico.



Figura 2. Antena parabólica Estándar.

Aquí resulta conveniente enunciar el principio de reciprocidad de una antena, el cual establece que todas las características que se estudien o mencionen para una antena en transmisión, como ser su diagrama de radiación, impedancia característica, etc., son también válidas para recepción. Por ese motivo se utilizará uno u otro modo de operación indistintamente, sin afectar los resultados.

De las distintas antenas con reflector parabólico que se pueden encontrar en el mercado, una de las más utilizadas en los enlaces Punto a Punto por su relación costos-resultado es la antena de reflector “Grillado” (*Grid*), cuyo principio de funcionamiento es muy similar al de la Estándar ya vista. Es decir, un dipolo de media onda constituye su alimentador, y la señal emitida por éste hacia atrás es reflejada por la superficie parabólica grillada.

En la Figura 3 puede observarse que la antena grillada posee un reflector con forma de reja, de modo tal que, a la polarización y frecuencia (o longitud de onda) de operación, éste se presente a la señal casi como si fuera sólido, pero aligerando su peso y ofreciendo menor carga al viento. Este tipo de reflector resulta eficiente en frecuencias de 335 MHz a 2,7 GHz, ya que a frecuencias mayores la separación de los elementos de la grilla es tan pequeña que su fabricación se vuelve inconveniente frente a un reflector sólido. No obstante, algunos modelos funcionan hasta unos 5 GHz. La baja carga al viento hace a de estas antenas atractivas en zonas rurales.

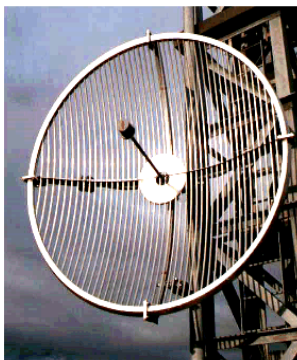


Figura 3. Antena parabólica de reflector grillado.

Idealmente, una antena transmisora a ser utilizada en un radioenlace del Servicio Fijo Punto a Punto debería concentrar la energía radiada en la dirección y sentido del enlace, es decir, hacia la antena receptora, y aquí resulta necesaria la presencia del reflector parabólico, cuyo funcionamiento fuera explicado más arriba.

Por diversos motivos, esta condición de perfecta direccionalidad no puede cumplirse en la realidad, por lo que habrá pequeñas cantidades de energía dispersas en todo el espacio que circunda a la antena transmisora. Las causas de que una antena irradie en direcciones diferentes a la deseada son:

- El reflector parabólico posee una superficie o diámetro finito. Parte de la energía emitida por el alimentador no es, por lo tanto, captada por el reflector y enviada hacia la otra antena, sino que es radiada hacia las regiones laterales y posterior. Este efecto se denomina **desborde** (*spillover*) y es una de los mayores responsables de la presencia de lóbulos laterales en el diagrama de radiación.
- El soporte del alimentador provoca la **dispersión** (*scattering*) de la señal reflejada, generando nuevas componentes en todas las direcciones del espacio.
- Los bordes del reflector parabólico producen un efecto de **difracción** (*diffraction*) de la onda, generando nuevas componentes en todas las direcciones del espacio.

Estas antenas presentan todos los efectos perjudiciales enunciados arriba, por lo que los fabricantes han buscado soluciones a cada uno de ellos, logrando así antenas de diferentes calidades según su construcción y geometría.

El primer paso para atenuar estos efectos es colocar un aro conductor a modo de blindaje o escudo (*shroud*) en el borde del reflector, produciendo el bloqueo de las ondas radiadas hacia los laterales y espalda de la antena, tal como lo muestra la Figura 4. Las antenas que poseen dicho aro constituyen las calidades “Alta Performance” (*High Performance*) y “Ultra Alta Performance” (*Ultra High Performance*).

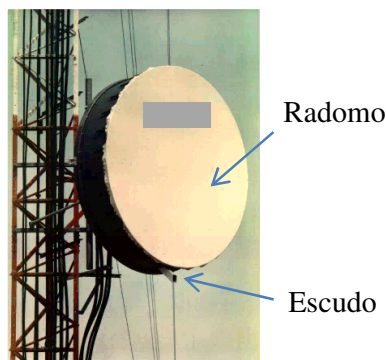


Figura 4. Antena parabólica de Alta o Ultra Alta Performance.

Una antena de reflector parabólico suele lucir diferente si se le coloca un radomo, capaz de protegerla de los efectos de la intemperie, la formación de hielo, el sol y otros fenómenos ambientales que puedan reducir su vida útil.



Figura 5. Radomos varios.

Una forma de lograr una iluminación más uniforme sobre la superficie reflectora es emplear, como iluminador, una bocina (generalmente circular), con un diagrama de radiación más directivo que el del dipolo. La presencia de este alimentador es lo que caracteriza a las antenas de mayor calidad alcanzada, “Ultra Alta Performance” según la mayoría de los fabricantes. Como propiedad adicional, la bocina también ofrece un mejor rechazo a las señales de polarización ortogonal a la de interés, efecto que se conoce como Discriminación de Polarización Cruzada.

Existe otra variante que también reduce los niveles de señales presentes en las regiones laterales y posteriores. Dicha solución consiste en emplear una menor relación Distancia focal/Diámetro, lo que geométricamente implica ubicar el alimentador "dentro" de la parábola o al menos en el mismo plano que los bordes del reflector. La Figura 6 ilustra a estas antenas, denominadas “Parábola profunda” (*Deep Dish*) o “Plano Focal” (*Focal Plane*).



Figura 6. Antena parabólica de Plano Focal.

Página dejada intencionalmente en blanco

5. Fase de estudio 1: Relevamiento de antenas comerciales y elaboración de diagramas de radiación de referencia

Los diagramas de radiación de referencia son, en simples términos, modelos matemáticos o curvas que representan los diagramas de radiación reales de una familia de antenas comerciales, operando en una misma banda de frecuencias y de similares características, como ser su tipo, diámetro, polarización, etc.

Tales diagramas son empleados en aquellos estudios de coordinación, planeamiento, compatibilidad electromagnética, etc., cuando no se conoce el diagrama real de cada antena involucrada (incluso cuando siquiera se conoce la antena), o bien cuando se requieren obtener resultados generales e independientes de una marca y modelo en particular.

5.1. Antecedentes

5.1.1. Diagramas de radiación de referencia recomendados

La Unión Internacional de Telecomunicaciones, a través del Reglamento de Radiocomunicaciones y de sus Recomendaciones, ha definido una serie de diagramas de radiación de referencia a ser considerados en estudios tales como:

- Estudios de coordinación y predicción de interferencia entre estaciones de radioenlaces;
- Estudios de coordinación y predicción de interferencia entre estaciones de radioenlaces y satélites geoestacionarios o no geoestacionarios;
- Estudios de coordinación y predicción de interferencia entre estaciones de radioenlaces y estaciones terrenas de los servicios de radiocomunicaciones espaciales;
- Etc.

En la presente Tesis de Maestría serán de particular interés aquellas recomendaciones aplicables al Servicio Fijo Punto a Punto, que pueden encontrarse precisamente dentro de la Serie F (Servicio fijo) de las Recomendaciones dictadas por UIT-R, disponibles en www.itu.int/rec/R-REC-F/es.

- Recomendación UIT-R F.699-7 [1]: “Diagramas de radiación de referencia de antenas de sistemas inalámbricos fijos para utilizarlos en los estudios de coordinación y en la evaluación de la interferencia en la gama de frecuencias de 100 MHz a unos 70 GHz”.
- Recomendación UIT-R F.1245-1 [2]: “Modelo matemático de diagramas de radiación media y diagramas conexos para antenas de sistemas de radioenlaces Punto a Punto con visibilidad directa para aplicarlo en ciertos estudios de coordinación y en la evaluación de la interferencia en la gama de frecuencias de 1 GHz a unos 70 GHz”.

Estas recomendaciones son desarrolladas y actualizadas por los Grupos de Trabajo de UIT-R, en base a datos de antenas reales, comercialmente disponibles.

En los siguientes apartados se llevará adelante un análisis de cada una de estas recomendaciones y los diagramas definidos, a fin de compararlos con los propios obtenidos más adelante.

Todas las ecuaciones son programadas en Visual Basic, y están disponibles en la planilla [UIT.xls](#).

5.1.1.1. Recomendación UIT-R F.699-7

Esta Recomendación define los diagramas de radiación de referencia a ser considerados en los estudios de coordinación y al evaluar interferencias en aquellos casos en los que no se disponga de información respecto a las antenas de los sistemas inalámbricos fijos. La gama de frecuencias se encuentra comprendida entre 100 MHz y 70 GHz, y la recomendación agrupa las ecuaciones en dos rangos diferentes: de 100 MHz a 1 GHz, y de 1 GHz a 70 GHz.

En todos los casos, las ecuaciones son función del diámetro de la antena considerada, de la longitud de onda de operación, y del ángulo de observación.

La Figura 7 ilustra el diagrama de radiación de referencia para una antena de 1,2 m de diámetro, operando a una frecuencia de 10 GHz.

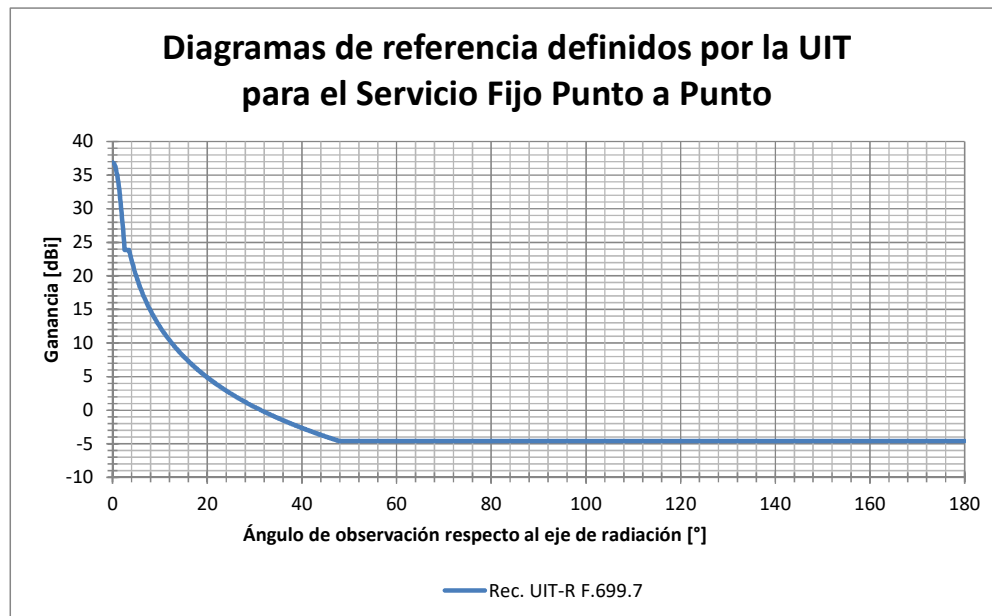


Figura 7. Diagrama de radiación de referencia definido en Rec. UIT-R F.699-7.

5.1.1.2. Recomendación UIT-R F.1245-1

Esta Recomendación hace una clara distinción con su antecesora, la F.699-7, aduciendo que en esta última se definen los diagramas de radiación de referencia en base a las envolventes de los niveles de cresta, dando como resultado predicciones sobrevaluadas en los niveles de interferencia.

Por el contrario, la Recomendación UIT-R F.1245-1 considera envolventes de los niveles medios de los lóbulos laterales. Por su parte, el rango de frecuencias se halla comprendido sólo entre 1 y 70 GHz.

Las aplicaciones de esta recomendación se encuentran más bien relacionadas con los estudios de coordinación y predicción de interferencias entre estaciones del servicio fijo y satélites (geoestacionarios o no), aunque también se aclara que dichos diagramas son necesarios “en todos los demás casos en que resulte adecuado utilizar el diagrama de radiación que representa los niveles de radiación medios de los lóbulos laterales”.

Asimismo, la Recomendación invita “a las administraciones y otros Miembros del UIT-R a suministrar información en la que se comparen los niveles medios de lóbulos laterales y los diagramas de radiación generalizados indicados en esta Recomendación con los obtenidos

mediante mediciones de diagramas de radiación en antenas reales. Dicha información puede servir de ayuda para un futuro desarrollo de esta Recomendación”.

La Figura 8 ilustra el diagrama de radiación de referencia para una antena de 1,2 m de diámetro, operando a una frecuencia de 10 GHz.

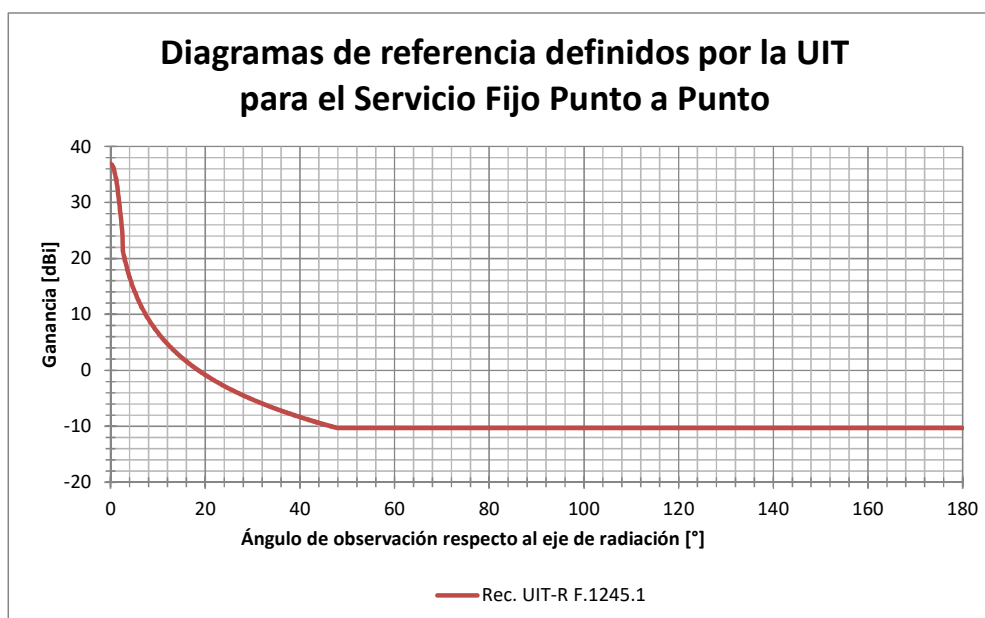


Figura 8. Diagrama de radiación de referencia definido en Rec. UIT-R F.1245-1.

5.1.1.3. Consideraciones resultantes

Para finalizar el estudio de los diagramas de referencia recomendados por UIT, se propone una breve comparación de las dos recomendaciones simultáneas.

En la Figura 9 puede observarse que F.1245-1 se encuentra, para igual frecuencia y diámetro de antena, en 3 dB por debajo de F.699-7 a partir de 48° de apartamiento.

Ampliando la región del haz de la antena, según la Figura 10, se observa que la ganancia máxima alcanza el mismo valor en ambas recomendaciones, al igual que el lóbulo principal, mientras que el primer lóbulo lateral, en cambio, se refleja con un “escalón” más extenso en F.699-7.

Estas diferencias entre ambas recomendaciones surgen claramente de considerar niveles medios y no máximos de los lóbulos laterales.

Sin embargo, en ninguna de las dos recomendaciones se citan qué marcas, modelos y calidades de antenas fueron tomadas como punto de partida para la confección de tales curvas.

En la sección 5.6 esta misma Tesis se comparan los diagramas reales, los diagramas de referencia obtenidos, y los recomendados por la UIT.

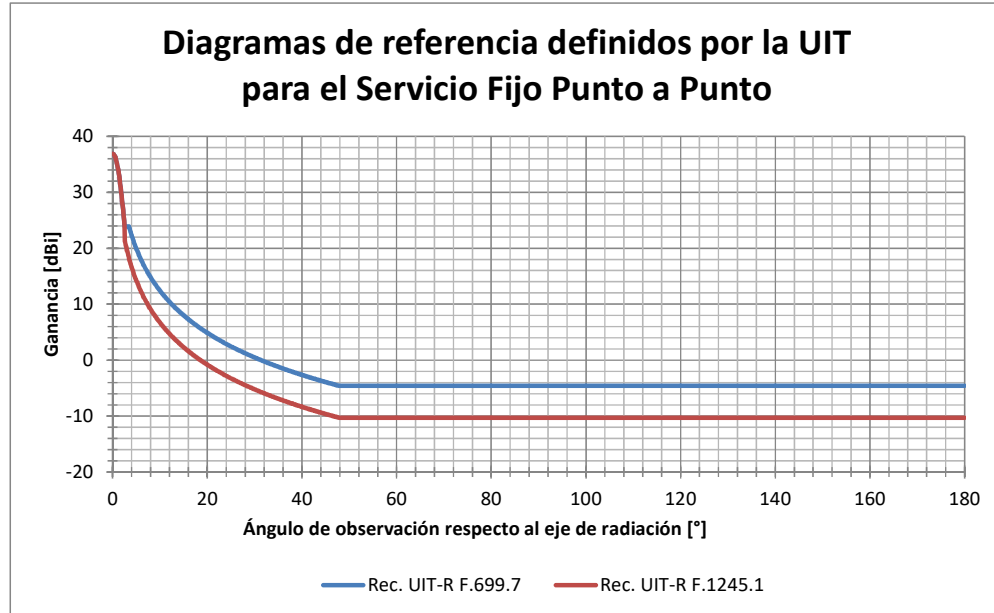


Figura 9. Comparación de los diagramas de radiación de referencia.

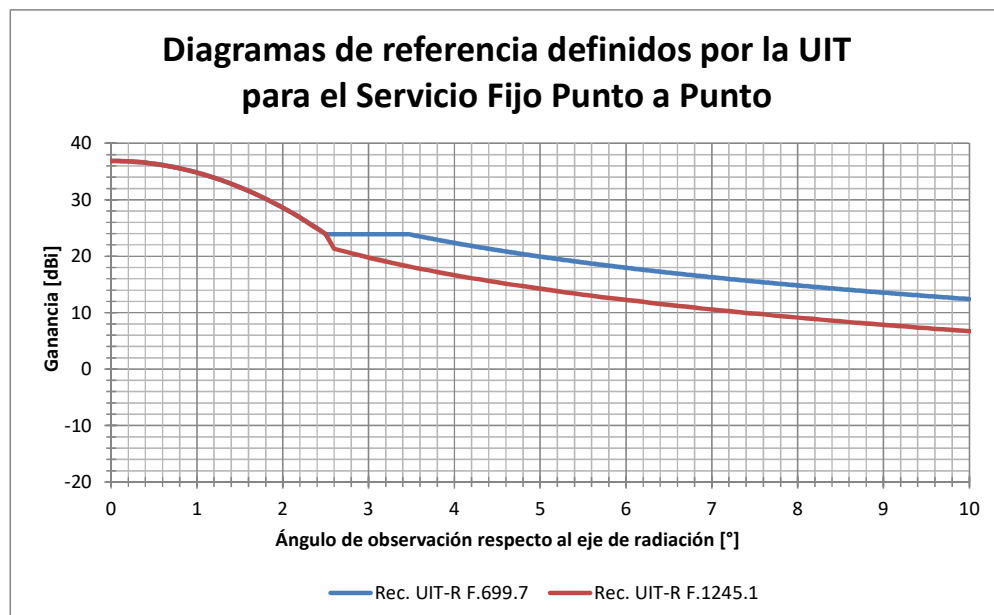


Figura 10. Lóbulo principal y primer lóbulo lateral.

5.2. Relevamiento y obtención de diagramas de radiación de antenas comerciales

La elaboración de diagramas de referencia propios implica primeramente obtener los diagramas de radiación (o sus envolturas, como se verá más adelante) de las antenas comercialmente disponibles. Estos son provistos para su descarga en los sitios web de los fabricantes más reconocidos del mundo, generalmente como archivos de texto en diversos formatos.

5.2.1. Formato “NSMA”

Si bien algunos fabricantes proporcionan los diagramas de radiación digitalizados de sus diferentes modelos de antenas en formatos propios, existe un formato estandarizado definido por National Spectrum Managers Association (NSMA). Este formato es reconocido por la mayor parte del software de telecomunicaciones, y adoptado por los principales fabricantes de antenas de microondas.

El formato mencionado fue lanzado en su primera versión en el año 1989 [3]. La versión posterior, definida en el año 1999 [4], es la que se encuentra vigente al día de hoy. No obstante, es factible encontrar aún diagramas en la versión original, por lo que ambos formatos deberán ser tenidos en cuenta a la hora de leer los datos proporcionados por los fabricantes.

La información se presenta en un archivo de texto, con una cabecera que posee los datos generales de la antena (marca, modelo, fecha, etc.), sus parámetros mecánicos (dimensiones, peso, etc.) y sus principales parámetros eléctricos (ganancia, ancho de haz, ancho de banda, etc.). Seguidamente se presentan los diagramas de radiación, en pares (ángulo, ganancia) para diferentes frecuencias de operación, planos de corte y polarización.

No es el objetivo aquí detallar este formato de archivo, pudiéndose consultar el mismo en la recomendación disponible en el sitio web www.nsma.org.

5.2.2. Tipos de antenas comerciales

De una mirada rápida a los catálogos provistos por los fabricantes de antenas, surgen cinco calidades bien diferenciadas, dependientes de las características constructivas, y que se manifiestan a través de los parámetros eléctricos que es posible alcanzar:

- Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance.
- Antenas parabólicas de Alta Performance.
- Antenas parabólicas Estándar.
- Antenas parabólicas Grilladas.
- Antenas parabólicas de Plano Focal.

Para cada una de estas calidades existen variaciones, como por ejemplo, polarización simple o doble, banda dual, haz dual, baja ROE, etc. aunque aquí serán tratadas como un mismo conjunto.

Otra característica fundamental de estas antenas es el diámetro del reflector parabólico. Las dimensiones existentes suelen encontrarse estandarizadas en los siguientes diámetros:

1 pie – 0,3 m	4 pies – 1,2 m	12 pies – 3,6 m
2 pies – 0,6 m	6 pies – 1,8 m	13 pies – 3,9 m
2,5 pies – 0,8 m	8 pies – 2,4 m	15 pies – 4,5 m
3 pies – 0,9 m	10 pies – 3 m	

5.2.3. Antenas comerciales provistas por los principales fabricantes

Seguidamente se hará una pequeña reseña de cada uno de los fabricantes considerados en el presente trabajo, y se enumerarán las diferentes familias de antenas que ellos ofrecen. La denominación de estas familias suelen ser propias de cada fabricante, por lo que no se abundará en detalles sobre el significado de los diferentes códigos.

5.2.3.1. Commscope/Andrew Corp.

En 2007, CommScope adquirió Andrew Corporation (fabricante de antenas de microondas, entre otros productos, desde los años '50), aunque mantiene la marca Andrew por su reconocimiento en el mercado. Las antenas ofrecidas cubren el rango de frecuencias de 335 MHz a 19,7 GHz, con diámetros de 0,6 m a 4,6 m.

Los tipos de antenas disponibles son UHX, UHP, HP, HPX, UMX, HSX, P, PL, PX, PXL, FP y FPX, combinando a las calidades tradicionales características de alta XPD, doble o multibanda de operación, baja ROE, etc.

Sitio web: www.commscope.com

Total de diagramas descargados: 1259.

5.2.3.2. Faini Telecommunication Systems

Compañía italiana creada en 1995, y actual miembro del Kathrein Group de Alemania. Provee un rango completo de antenas para radioenlaces Punto a Punto, que cubren las bandas de frecuencias de 2 a 38 GHz, en diámetros de 0,2 a 4 m. En el caso particular de las antenas Grilladas, los diámetros varían de 0,6 a 6 m.

Las calidades disponibles son: THP, HP, SHP, HXPD, IPER, STAR, GRID y HPDB, aunque no se encontraron los diagramas de radiación pertenecientes a todos estos tipos.

Sitio web: www.fainitelecommunication.com

Total de diagramas descargados: 172.

5.2.3.3. General Dynamics SATCOM Technologies/Gabriel Electronics Inc.

Provee soluciones para comunicaciones satelitales e inalámbricas. En lo relativo a antenas de microondas, provee la marca Gabriel Electronics. Las antenas provistas son de Ultra y Alta Performance, Estándar y Grilladas, en diámetros de 0,6 a 4,5 m y cubriendo el rango de frecuencias comprendido entre 1425 y 8500 MHz.

Sitio web: www.gdsatcom.com

Total de diagramas descargados: 83.

5.2.3.4. Radio Frequency Systems (RFS)

Diseñador y fabricante mundial de cables y sistemas de antenas, además de módulos de RF. Posee plantas industriales en Alemania, Francia, EEUU, Brasil, Rusia, China, Dinamarca, México y Australia).

Las antenas de microondas son diseñadas en el rango de 4 a 60 GHz, en diámetros de 0,3 a 1,2 m.

Sitio web: www.rfsworld.com

Total de diagramas descargados: 460.

5.2.3.5. Radio Waves Inc.

Con sede en el estado de Massachussets, EEUU, Radio Waves es proveedor de antenas de microondas para servicios Punto a Punto, LMDS, punto a multipunto, radiodifusión, etc.

Las antenas para aplicaciones Punto a Punto se encuentran en series SP y HP, Estándar y Alta Performance, respectivamente, en bandas de 2 a 40 GHz y con diámetros de 0,3 a 1,8 m.

También proveen antenas Grilladas en el rango de 2,4 a 2,5 GHz, con diámetros de 0,9 a 1,8 m.

Sitio web: www.radiowavesinc.com

Total de diagramas descargados: 322.

5.2.3.6. Resumen de descargas

La Tabla 1 muestra cuántos archivos de datos se han descargado de cada fabricante. Esta información no se encuentra aún clasificada por tipo de antena, y más aún, algunos archivos pueden contener errores que deberán ser corregidos en etapas siguientes de procesamiento, o bien descartados.

Tabla 1. Resumen de descargas.

Fabricante	Cantidad de archivos
CommScope/Andrew	1259
Faini Telecommunication	172
GDSATCOM/Gabriel	83
RFS	460
Radio Waves Inc.	322
TOTAL	2296

5.3. Creación y ordenamiento de la base de datos de antenas comerciales

Los archivos descargados, en sí mismos, resultan a priori imprácticos a la hora de clasificarlos, ordenarlos, filtrarlos y leerlos, si se pretende hacerlo en forma directa. Por tal motivo es necesario programar un gestor para esta base de datos, capaz de tomar los archivos uno por uno y leer sus encabezados para proceder a una clasificación y ordenamiento por tipo de antena, banda de frecuencias, diámetro, polarización, etc.

5.3.1. Administrador de los archivos de datos

Este gestor, que se encuentra disponible en [Administrador BD.xls](#), posee una serie de funciones programadas en Visual Basic y a las que se accede a través de sus comandos en la parte superior, según puede verse en la Figura 11.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U										
En esta hoja se cargan los archivos originales de fabricantes, en formato NSMA versión 89 y 99.																														
Leer carpeta y subcarpetas										Leer archivos																				
C:\Users\Leo\Desktop\Leo\Diagramas																														
Cantidad de archivos:										2288																				
Ubicación										Codificación										Datos leídos										
Path	Archiv	Versión	Código	Código	Codificación	Diámetro	Descr1	Nº	Código	Fabrica	Modelo	Descr1	Descr2	Descr3	Descr4	Fecha	Frecue	Frecue	Ganancia	Ganar										
C:\Users\Leo\Desktop\Leo\Diagramas	1999 N	AN	A	0.6	0	1	LANA060	ANDREW	VHP2-117							19991027	11700	12200	34.5	3										
C:\Users\Leo\Desktop\Leo\Diagramas	1999 L	AN	A	4.5	0	1	LANA4501	ANDREW	HPX15-71W							#####	7125	8500	47.9	4										
C:\Users\Leo\Desktop\Leo\Diagramas	1999 G	AN	G	2.4	0	1	GANG240	ANDREW	KP8F-34							20000420	3400	3700	35.1	3										
C:\Users\Leo\Desktop\Leo\Diagramas	1999 H	AN	A	3	0	1	HANA300	ANDREW	HP10-4477							19990630	4400	5000	40.3	4										
C:\Users\Leo\Desktop\Leo\Diagramas	1999 L	AN	A	3	0	1	LANA300	ANDREW	HP10-4477							19990630	7725	8500	44.2	4										
C:\Users\Leo\Desktop\Leo\Diagramas	1999 H	AN	A	3.6	0	1	HANA360	ANDREW	HP12-4477							19990630	4400	5000	42	4										
C:\Users\Leo\Desktop\Leo\Diagramas	1999 L	AN	A	3.6	0	1	LANA360	ANDREW	HP12-4477							19990630	7725	8500	46.4	4										
C:\Users\Leo\Desktop\Leo\Diagramas	1999 H	AN	A	2.4	0	1	HANA240	ANDREW	HP8-4477							19990917	4400	5000	38.2	3										
C:\Users\Leo\Desktop\Leo\Diagramas	1999 L	AN	A	2.4	0	1	LANA240	ANDREW	HP8-4477							19990917	7725	8500	42.8	4										
C:\Users\Leo\Desktop\Leo\Diagramas	1999 J	AN	A	1.8	0	1	JANA180	ANDREW	HP5-57W							19991130	5725	6425	38	3										
C:\Users\Leo\Desktop\Leo\Diagramas	1999 R	AN	A	0.6	0	1	RANA060	ANDREW	VHLP2-5-220							20001031	21200	23600	42.1	4										
C:\Users\Leo\Desktop\Leo\Diagramas	1999 V	AN	A	0.3	0	1	VANA030	ANDREW	VHLP1-370							20001031	37000	40000	39.2	3										
C:\Users\Leo\Desktop\Leo\Diagramas	1999 S	AN	A	0.6	0	1	SANA060	ANDREW	VHLP2-5-240							20001031	24250	26500	43.1	4										
C:\Users\Leo\Desktop\Leo\Diagramas	1999 V	AN	A	0.3	0	2	VANA030	ANDREW	VHLP1-420							20020325	40500	43500	41	4										
C:\Users\Leo\Desktop\Leo\Diagramas	1999 Q	AN	A	0.3	0	1	QANA030	ANDREW	VHLPX1-180							20020404	17700	19700	33.5	3										
C:\Users\Leo\Desktop\Leo\Diagramas	1999 Q	AN	A	0.6	0	1	QANA060	ANDREW	VHLPX2-180							20020404	17700	19700	38.2	3										
C:\Users\Leo\Desktop\Leo\Diagramas	1999 Q	AN	A	1.2	0	1	QANA120	ANDREW	VHLPX4-180							20020404	17700	19700	44.2	4										
C:\Users\Leo\Desktop\Leo\Diagramas	1999 L	AN	A	3.6	0	2	LANA360	ANDREW	HPX12-71W							20000510	7125	8500	46.1	4										
C:\Users\Leo\Desktop\Leo\Diagramas	1999 P	AN	A	1.2	0	1	PANA120	ANDREW	HSX4-142							20001219	14250	14500	42.5	4										
C:\Users\Leo\Desktop\Leo\Diagramas	1999 P	AN	A	1.2	0	2	PANA120	ANDREW	HSX4-142							20001219	14250	14500	42.5	4										

Figura 11. Administrador de los archivos de datos.

1. Genera un listado actualizado de los archivos de datos de la base de datos.
2. Lee y escribe los encabezados de todos los archivos del listado. Identifica si se trata de archivos de la primera o segunda versión del formato NSMA indicado previamente.
3. Genera el código de antena según se verá en 5.3.2.
4. Muestra el encabezado de los archivos.
5. Posee autofiltros útiles para visualizar solo aquellos archivos que cumplan con un determinado criterio, por ejemplo, para proceder a la posterior clasificación.

Este gestor no lee los diagramas de radiación contenidos en los archivos, lo cual obedece a dos motivos: en primer lugar, los diagramas no son necesarios aún, sino luego de que todas las antenas sean clasificadas; en segundo lugar, cada archivo posee al menos cuatro diagramas (para las polarizaciones H/H, V/V, H/V, V/H), y esta cantidad de datos usualmente supera la cantidad de columnas que Excel puede manejar, por lo que su manipulación será más sencilla si sólo se leen los diagramas correspondientes a una sola polarización, que es la forma en la que se trabajará en la etapa de obtención de ecuaciones.

5.3.2. Codificación normalizada de los datos de antenas

Para facilitar el posterior ordenamiento y clasificación de los archivos que conforman la base de datos de antenas comerciales, se propone un código unívoco de 8 caracteres para identificar a cada una de estas antenas.

Un ejemplo de codificación es propuesto por NSMA [5], asignando un dígito para la banda de frecuencias, un carácter para el fabricante, y cuatro dígitos más para el número de modelo.

Las reglas de codificación de antenas aquí se definen y esquematizan en la Figura 12, y tienen en cuenta:

- El fabricante o marca de la antena;
- La banda de frecuencias de operación: Para definir las bandas de frecuencias normalizadas se han considerado dos aspectos principalmente. En primer lugar, las bandas de frecuencias atribuidas a los enlaces del Servicio Fijo Punto a Punto, que puede encontrarse en [12]. Luego, la división presente en catálogos de antenas y en los archivos descargados. En casos de no coincidir los límites entre ambas divisiones, se buscó definir una frecuencia intermedia que compatibilice los dos criterios. También se relevó, a modo de ejemplo, los estándares [15], [16], [17], [18] y [19]. Vale la pena destacar que en algunos casos se hizo necesario redefinir una o más veces ciertas bandas, de forma tal que no quedaran antenas, parcial o totalmente, fuera de ellas;
- El tipo de antena (se han predefinido tipos que superan el alcance de esta Tesis, para desarrollos posteriores);
- Las dimensiones de la antena (para el alcance de esta Tesis, el diámetro del reflector);
- Características extra (radomo, haz dual, doble polarización, etc.) (a los fines de esta Tesis se ha mantenido este carácter en 0, quedando los restantes para desarrollos futuros).

Para identificar cada diagrama de radiación, se agregan dos caracteres más que tienen en cuenta la polarización con que se ha medido el mismo (ver 5.3.3).

En varios casos, fue necesario recurrir a los catálogos de los fabricantes [6][7] para relevar alguna característica de la antena que no quedara unívocamente definida en el archivo, o bien interpretar reglas de codificación propias de dichos fabricantes.

Código de antena

BFFT99D9

Sub-código de diagrama de radiación

BFFT99D9PP

B: Banda de frecuencias

FF: Fabricante

T: Tipo de antena

99: Dimensiones o cantidad de elementos

D: Descripción adicional

9: Número secuencial (diferencia antenas en caso de coincidir fabricante, tipo, dimensiones y características adicionales)

PP: Polarización

Banda de frecuencias

Se asignará el código de acuerdo a la frecuencia central de operación de la antena.

En caso de coincidir con el valor límite entre dos bandas, se adoptará aquella banda cuya frecuencia central sea más cercana.

En caso de ser ambas equidistantes, se adoptará la mayor.

Código	Frecuencia inferior (MHz)	Frecuencia central (MHz)	Frecuencia superior (MHz)
A	335	392,5	450
B	450	485	520
C	820	890	960
D	1270	1485	1700
E	1700	1900	2100
F	2100	2400	2700
G	3400	3800	4200
H	4200	4600	5000
I	5150	5450	5750
J	5750	6087,5	6425
K	6425	6762,5	7100
L	7100	7800	8500
M	10000	10850	11700
N	11700	12200	12700
O	12700	12975	13250
P	14200	15350	16500
Q	17300	18500	19700
R	21200	22400	23600
S	24250	25625	27000
T	27000	28250	29500
U	31000	32200	33400
V	37000	40250	43500
W	49200	50300	51400
X	51400	52000	52600
Y	54250	56625	59000
Z	59000		

Código	Descripción adicional
0	N/A
1	Antena simple
2 a 9	Arreglo de 2-9 elementos
A	Arreglo de 10 elementos o más
B	Doble polarización
C	Cassegrain
D	Haz dual
G	Gregoriana
O	Offset
P	Plano de tierra
R	Radomo
V	Baja ROE
W	Banda ancha/Doble banda/Multibanda
X	Alta XPD

Código	Tipo de antena
A	Antena parabólica de alta performance
B	Antena bocina
C	Antena discónica
D	Antena dipolo
E	Antena parabólica estándar
F	Antena parabólica de plano focal
G	Antena parabólica grillada
H	Antena helicoidal
I	Antena con reflector diedro
J	Antena con reflector cilíndrico/cilindro parabólico
K	Antena lazo/cuadro/romboidal
L	Antena log-periódica
M	Antena molinete
N	Antena ranurada/cable radiante
O	Antena con reflector esférico
P	Antena parche
Q	Antena panel
R	Antena monopolo
S	Antena de estación terrena
T	Antena lente
U	Antena parabólica de ultra alta performance
X	Antena bicónica
Y	Antena yagi
Z	Otra

Código	Polarización del diagrama de radiación
LH	Lineal horizontal
LV	Lineal vertical
HH	Respuesta de antena polarizada horizontal a señal polarizada horizontal
VV	Respuesta de antena polarizada vertical a señal polarizada vertical
HV	Respuesta de antena polarizada horizontal a señal polarizada vertical
VH	Respuesta de antena polarizada vertical a señal polarizada horizontal
II	Inclinada 45° izquierda
ID	Inclinada 45° derecha
CI	Circular izquierda
CD	Circular derecha

Dimensiones

Caso 1: 99 indica el diámetro del reflector, en metros y decímetros, para antenas parabólicas.

Caso 2: 99 indica la cantidad de elementos para el caso de una antena Yagi o Log-periódica (Tipos de antena Y o L).

Caso 3: 99 indica la mayor dimensión de la antena en metros y decímetros para otros tipos de antenas.

Figura 12. Reglas de codificación de archivos de antenas y diagramas.

5.3.3. Envolventes de diagramas de radiación

La mayoría de los fabricantes presenta los diagramas de radiación de sus modelos de antenas bajo la forma de envolventes (*Radiation Pattern Envelope*).

Un conjunto completo de diagramas de radiación comprende 12 mediciones efectuadas sobre una rotación de 360° en acimut. Estas mediciones cubren las polarizaciones horizontal y vertical para tres frecuencias (inferior, central y superior) de la banda, tanto para respuesta a polarización paralela como polar-cruzada.

Cada una de las cuatro curvas (H/H, H/V, V/V, V/H) es obtenida superponiendo los lados derecho e izquierdo de los patrones medidos para las tres frecuencias, y graficando una envolvente compuesta por segmentos rectos acompañando todos los picos. De esta manera, existe una alta probabilidad de que una antena instalada posea una respuesta mejor, en un ángulo y frecuencia específicos, que la indicada en el RPE.

A los fines de este documento, y para simplificar su lectura, los términos "envolvente de diagramas de radiación" y "diagrama de radiación" serán considerados equivalentes, salvo cuando se aclare lo contrario.

Las respuestas paralela y polar-cruzada son representadas para polarizaciones horizontales y verticales, identificándose las siguientes curvas:

- H/H: Respuesta de una antena (o un puerto de ésta) polarizada horizontalmente a una señal polarizada horizontal (diagrama co-polar).
- H/V: Respuesta de una antena (o un puerto de ésta) polarizada horizontalmente a una señal polarizada vertical (diagrama polar-cruzado).
- V/V: Respuesta de una antena (o un puerto de ésta) polarizada verticalmente a una señal polarizada vertical (diagrama co-polar).
- V/H: Respuesta de una antena (o un puerto de ésta) polarizada verticalmente a una señal polarizada horizontal (diagrama polar-cruzado).

Algunos modelos de antenas poseen diagramas asimétricos, con menores niveles de lóbulos laterales a un lado del eje principal de la antena respecto al otro. La mitad conteniendo los niveles superiores puede ser usada para estudios de interferencia.

Por este motivo, y previo a la obtención de diagramas de radiación de referencia (los cuales serán simétricos y comprenderán ángulos acimutales de 0° a 180°), en caso de detectarse una asimetría en los diagrama provisto por el fabricante se adoptará el mayor nivel de ganancia a uno y otro lado del eje de la antena.

5.3.4. Clasificación del contenido de la base de datos

La base de datos completa (solapa BD_COMPLETA de [Administrador BD.xls](#)) de diagramas de radiación de antenas posee 2288 archivos¹, correspondientes a las cinco calidades o tipos de antenas identificados en 5.2.2. A su vez, cada archivo posee las cuatro curvas correspondientes a las respuestas H/H, H/V, V/V y V/H.

No obstante, la obtención de las ecuaciones matemáticas empíricas de los parámetros eléctricos (que luego darán lugar a los diagramas de referencia) se llevará adelante en forma independiente para cada tipo de antena y respuesta.

¹ Esta cantidad difiere de la descarga original, que era de 2296 archivos, debido a que algunos fueron eliminados de la base de datos por contener datos erróneos dificultosos o imposibles de leer y/o corregir.

Para reducir entonces la cantidad de datos con los que operar, se generan, a partir de la base de datos completa, 20 nuevas sub-bases particulares. Cada sub-base contiene los archivos de un único tipo de antena y el diagrama de radiación para una respuesta, administrándose desde un archivo denominado (en forma genérica) BD_T, y una solapa BD_T_PP (donde T es el tipo de antena y PP la polarización).

Así por ejemplo, el archivo BD_U, en su solapa BD_U_HH, contiene los archivos de antenas de Ultra Alta Performance (tipo U), y se visualiza el diagrama para respuesta H/H. A partir de esta sub-base se derivarán todas las ecuaciones empíricas de los parámetros eléctricos de las antenas de Ultra Alta Performance, operando con polarización horizontal ante una señal también horizontal.

Los archivos con las sub-bases generadas entonces son: [BD_U.xls](#), [BD_A.xls](#), [BD_E.xls](#), [BD_G.xls](#) y [BD_F.xls](#).

5.3.5. Estadística de la base de datos de antenas

ACMA elaboró una estadística de las antenas comerciales disponibles [8], generando los histogramas con la distribución de cada tipo de antena y diámetro por banda de frecuencias.

Trabajando en forma similar, y clasificada la totalidad de los archivos que componen la base de datos, es posible generar una primer estadística propia que muestre la distribución de las antenas por tipo, banda de frecuencias y diámetro.

La Tabla 2 a la Tabla 6 muestran la cantidad de antenas por tipo, banda de frecuencias y diámetro. Puede observarse, por ejemplo, que las antenas de Ultra Alta Performance (U) son mayormente empleadas en las bandas de mayor frecuencia, como ser E a Y, donde su alta calidad es más requerida. Las de Alta Performance (A) y las antenas Estándar (E) presentan un mayor rango de utilización, ya que es posible encontrarlas en las bandas comprendidas entre C o D y Z. Por cuestiones que ya han sido expuestas, relacionadas con la eficiencia y construcción, las antenas de reflector grillado (G) se concentran en las bandas desde A hasta H.

Estos resultados son útiles para determinar los rangos de validez de las ecuaciones de cada parámetro eléctrico. Por ejemplo, las ecuaciones que modelicen la ganancia, ancho de haz, XPD, etc. para las antenas Grilladas deben ser válidas en frecuencias comprendidas entre los 335 y los 5000 MHz, no teniendo sentido físico ni práctico extenderlas fuera de dicho rango si no hay antenas Grilladas comerciales para las cuales aplicarlas.

Otra aplicación es el estudio comparativo que se llevará adelante en la Fase de estudio 2, analizando la influencia de las diferentes calidades de antenas en la CEM, para lo cual será necesario elegir bandas de frecuencias donde estén presentes los cuatro tipos comerciales en buena cantidad.

Una tendencia apreciable es que, a medida que aumenta la frecuencia de operación de la antena, es posible encontrar antenas con menor diámetro de reflector. Aquí es necesario recordar que la ganancia de una antena de abertura es proporcional a su diámetro y a la frecuencia de operación, por lo que aumentar esta última permite reducir el diámetro para dar la misma ganancia resultante.

Tabla 2. Estadística de Antenas Parabólicas de Ultra Alta Performance.

		U	Antenas Parabólicas de Ultra Alta Performance																										
		Banda de frecuencias																											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	TOTAL	
Diámetro (m)	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	2	5	4	5	4	1	0	0	0	0	1	
	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	2	5	4	5	4	6	0	1	1	0	34	
	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	14	0	9	9	9	8	6	7	6	8	0	0	0	0	84	
	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	13	0	3	3	3	3	3	3	0	2	0	0	0	0	26	
	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	13	0	4	4	4	4	3	0	0	0	0	0	0	0	36	
	1,2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	9	11	22	0	8	8	8	8	6	3	0	0	0	0	0	0	0	87
	1,8	0	0	0	0	0	0	1	1	0	10	13	11	19	0	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	75	
	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	2	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	
	2,4	0	0	0	0	3	2	8	7	0	16	15	13	8	0	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	82	
	3	0	0	0	0	3	2	14	9	0	22	15	13	12	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94	
3,6	0	0	0	0	3	2	14	7	0	16	12	9	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69		
4,5	0	0	0	0	0	0	10	4	0	6	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28		
TOTAL		0	0	0	0	9	6	47	31	0	75	72	78	101	0	43	35	31	33	22	18	10	17	0	1	1	0	630	

Tabla 3. Estadística de Antenas Parabólicas de Alta Performance.

		A	Antenas Parabólicas de Alta Performance																										
		Banda de frecuencias																											
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	TOTAL	
Diámetro (m)	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	
	0,3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	6	14	6	8	5	3	7	1	0	2	3	59	
	0,6	0	0	0	0	0	0	1	2	6	1	0	16	13	1	8	7	12	9	11	6	5	7	0	0	0	2	107	
	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
	0,9	0	0	0	0	0	0	0	2	2	4	0	7	7	1	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	35	
	1,2	0	0	0	0	0	1	1	4	7	8	10	37	21	1	13	12	10	9	5	0	0	0	0	0	0	0	139	
	1,8	0	0	0	0	2	1	4	8	7	16	16	42	21	1	14	9	9	8	0	0	0	0	0	0	0	1	159	
	2,4	0	0	0	0	5	1	9	8	2	19	20	27	20	1	8	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	123	
	2,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
	3	0	0	0	0	5	1	8	7	0	19	18	25	19	1	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	113
	3,6	0	0	0	0	3	1	8	7	0	17	19	24	14	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96
4,5	0	0	0	0	3	0	4	3	0	7	12	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48		
TOTAL		0	0	0	1	18	5	35	41	27	91	95	197	116	7	55	42	48	35	28	13	8	14	1	0	2	6	885	

Tabla 4. Estadística de Antenas Parabólicas Estándar.

Diámetro (m)		E		Antenas Parabólicas Estándar																											
		Banda de frecuencias																													
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	TOTAL			
	0,3	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3			
	0,6	0	0	0	0	1	3	8	2	2	9	2	0	11	7	0	4	4	1	1	1	2	0	0	0	0	0	58			
	0,9	0	0	0	0	1	1	3	1	2	4	0	0	6	7	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29			
	1,2	0	0	0	1	2	3	10	2	4	7	6	7	15	11	1	5	4	2	2	0	0	0	0	0	0	0	82			
	1,8	0	0	0	1	2	3	9	3	4	7	16	19	17	15	1	5	3	1	0	0	0	0	0	0	0	3	109			
	2,4	0	0	0	1	2	6	6	2	3	4	13	24	15	13	1	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	96			
	3	0	0	0	1	1	7	2	2	2	0	8	16	11	6	1	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62			
3,6	0	0	0	1	0	5	2	2	2	0	7	13	10	4	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49				
4,5	0	0	0	1	0	3	0	2	1	0	4	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25				
TOTAL	0	0	0	6	9	31	41	16	21	32	56	86	92	63	5	24	17	5	3	1	2	0	0	0	0	0	3	513			

Tabla 5. Estadística de Antenas Parabólicas Grilladas.

		Antenas Parabólicas Grilladas																										
		Banda de frecuencias																										
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	TOTAL
Diámetro (m)	0,6	0	0	0	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
	0,9	0	0	1	4	2	6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
	1,2	0	0	2	6	4	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
	1,8	5	1	3	8	7	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
	2,4	3	0	1	3	2	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
	3	4	1	2	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19
	3,6	1	1	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
	3,9	3	0	1	2	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
	TOTAL	16	3	11	30	25	33	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	124

Tabla 6. Estadística de Antenas Parabólicas de Plano Focal.

		Antenas Parabólicas de Plano Focal																										
		Banda de frecuencias																										
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	TOTAL
Diámetro (m)	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1,2	0	0	0	2	0	2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
	1,8	0	0	0	2	0	4	0	1	0	7	6	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28
	2,4	0	0	0	2	4	4	0	1	0	8	5	6	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
	3	0	0	0	0	4	4	3	1	0	9	5	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34
	3,6	0	0	0	0	4	4	3	1	0	3	3	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
	TOTAL	0	0	0	6	12	18	6	4	0	28	19	26	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	126

5.4. Modelización matemática de los diagramas de referencia

Para cada registro (antena y diagrama) de una sub-base es necesario generar nuevos campos identificando (o calculando según corresponda) los parámetros y las variables en los que se basará la modelización empírica.

Tabla 7. Parámetros y variables necesarios para la modelización matemática.

Símbolo	Descripción	Unidad	Polarización
λ	Longitud de onda	m	H/H, H/V, V/V, V/H
D	Diámetro	m	H/H, H/V, V/V, V/H
D/λ	Relación diámetro/longitud de onda	-	H/H, H/V, V/V, V/H
$G_{\max}$	Ganancia máxima	dBi	H/H, V/V
φ_3	Ángulo de -3 dB o ancho de haz/2	°	H/H, V/V
G_1	Ganancia del primer lóbulo lateral	dBi	H/H, V/V
φ_m	Ángulo mínimo del primer lóbulo lateral	°	H/H, V/V
φ_r	Ángulo máximo del primer lóbulo lateral	°	H/H, V/V
φ_{XPD}	Ángulo máximo de discriminación de polarización cruzada	°	H/V, V/H
G_{30}	Ganancia para un apartamiento de 30°	dBi	H/H, H/V, V/V, V/H
G_{90}	Ganancia para un apartamiento de 90°	dBi	H/H, H/V, V/V, V/H
G_{120}	Ganancia para un apartamiento de 120°	dBi	H/H, H/V, V/V, V/H
G_{180}	Ganancia para un apartamiento de 180°	dBi	H/H, H/V, V/V, V/H
G_{XPD}	Ganancia en polarización cruzada	dBi	H/V, V/H

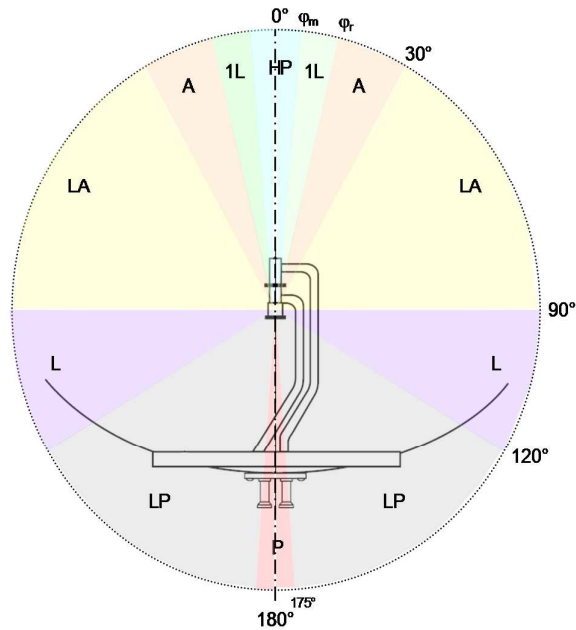
En el plano de acimut u horizontal, se definen seis regiones de radiación para una antena de reflector parabólico:

- Haz principal: comprendida entre 0° y φ_m .
- Primer lóbulo lateral: comprendida entre φ_m y φ_r .
- Anterior: comprendida entre φ_r y 30°.
- Lateral anterior: comprendida entre 30° y 90°.
- Lateral: comprendida entre 90° y 120°.
- Lateral posterior: comprendida entre 120° y 175°.
- Posterior: comprendida entre 175° y 180°.

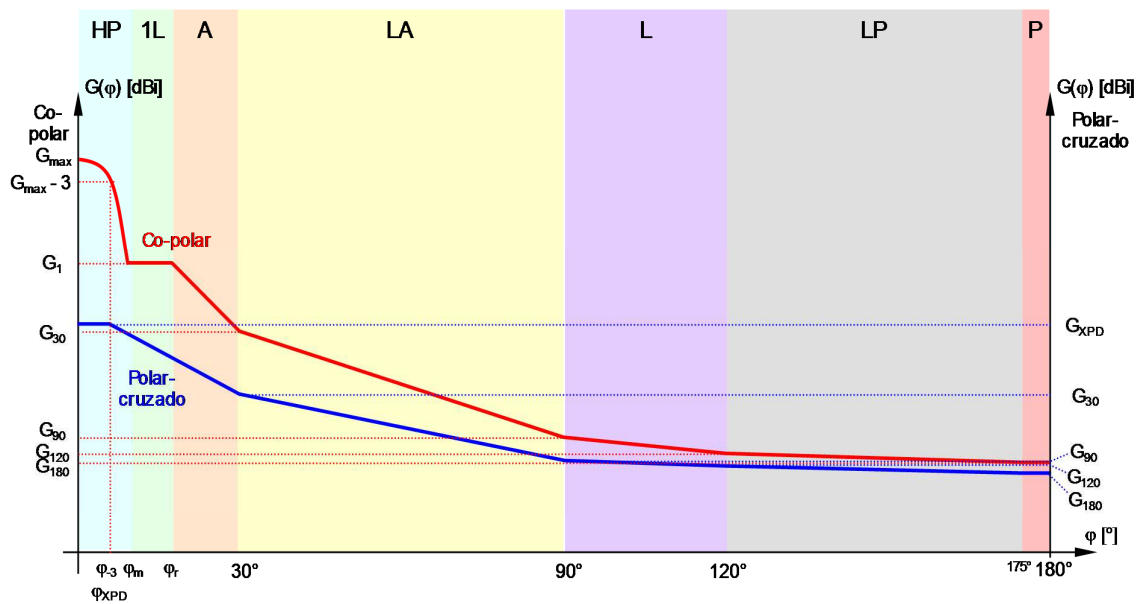
Se asume la total simetría de las regiones y diagramas de radiación en el sentido 0° a -180°.

La Figura 13 ilustra estas regiones de radiación, identificando asimismo cada punto característico del diagrama de radiación y su parámetro asociado.

Regiones de radiación (vista superior de la antena)



Regiones de radiación y puntos característicos del diagrama de radiación



Regiones de radiación - Referencias			
HP: Haz principal	A: Anterior	L: Lateral	P: Posterior
1L: Primer lóbulo lateral	LA: Lateral anterior	LP: Lateral posterior	

Figura 13. Regiones de radiación de una antena y puntos característicos del diagrama.

La modelización matemática consiste en obtener empíricamente las ecuaciones matemáticas de los parámetros eléctricos en función de la relación Diámetro/longitud de onda. La longitud de onda, dada la frecuencia de operación de la antena en MHz, puede calcularse en forma práctica como:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300}{f \text{ [MHz]}}$$

siendo c la velocidad de la luz en el vacío.

Se utilizan empíricamente los datos de las antenas comerciales y se aplica el método de cuadrados mínimos para obtener las curvas y ecuaciones que representan a los valores máximos o mínimos según corresponda al “peor caso”:

- En el caso de la ganancia máxima de una antena, se considera “peor caso” al valor mínimo para una relación D/λ dada.
- En el caso del ángulo de -3 dB, se considera “peor caso” al valor máximo para una relación D/λ dada.
- Para los restantes parámetros, se considera “peor caso” al valor máximo para una relación D/λ dada.

En la sección siguiente, más particularmente en la Figura 14 a la Figura 27, se representa en azul los valores reales de los parámetros eléctricos de las antenas comerciales, y en rojo los puntos notables, es decir, aquellos valores de “peor caso” más representativos, identificados visualmente. La curva de trazo negro, obtenida como línea de tendencia con Excel, es la que mejor ajusta a los puntos rojos. Ésta se escoge también visualmente, entre los tipos polinómica, logarítmica, exponencial, etc., y se adjunta su ecuación resultante. Las ecuaciones finalmente son incorporadas a la sección 5.4.2 para todos los tipos de antenas y polarizaciones.

En algunos casos, como por ejemplo en la Figura 17, se observan puntos azules que exceden a los de “peor caso” y a su línea de tendencia. Estos puntos presentan una dispersión no admisible respecto al conjunto de antenas reales, y por consiguiente no son tenidos en cuenta para obtener la línea de tendencia. Como corolario, se destaca el hecho de que las antenas reales que exceden este criterio de “peor caso” no superarían exitosamente un proceso de homologación.

A modo de ejemplo, sólo se graficarán los parámetros correspondientes a las antenas parabólicas de Ultra Alta Performance, operando en polarización H/H y H/V. Se omiten las demás polarizaciones (V/V y V/H) por ser semejantes a las ejemplificadas, y los otros tipos de antenas debido al gran volumen de gráficos que deberían insertarse aquí. En las planillas de cálculo respectivas podrán consultarse todos los tipos de antenas, polarizaciones y parámetros ([BD_U.xls](#), [BD_A.xls](#), [BD_E.xls](#), [BD_G.xls](#) y [BD_F.xls](#)).

5.4.1. Ejemplo: Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance (Tipo U)

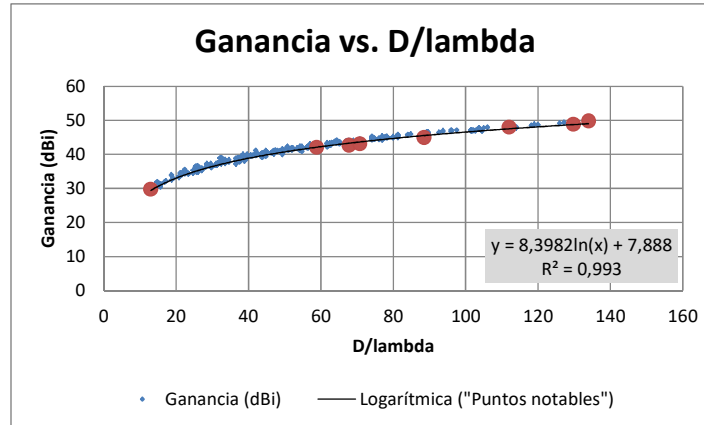


Figura 14. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia.

5.4.1.1. Polarización H/H

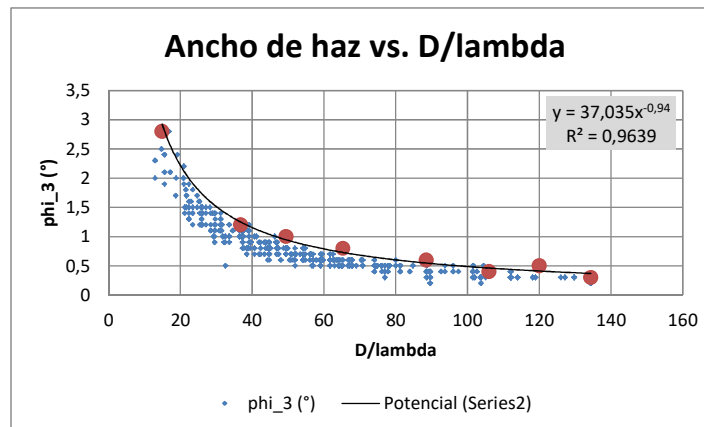


Figura 15. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ancho de haz en polarización H/H.

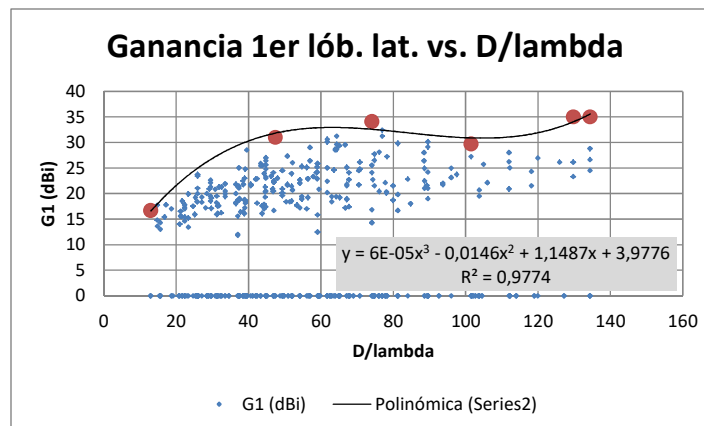


Figura 16. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia del primer lóbulo lateral en polarización H/H.

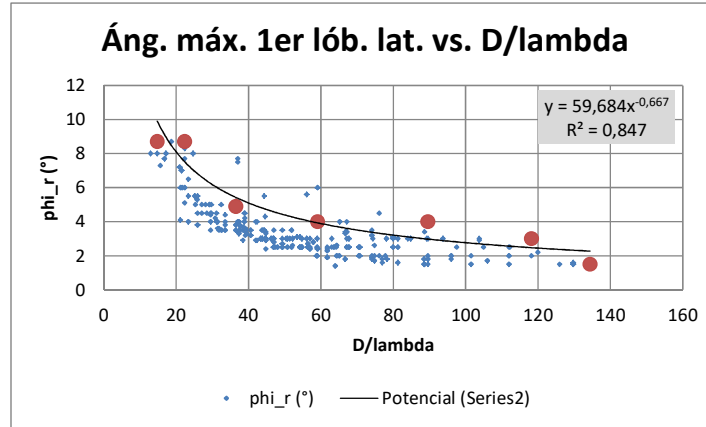


Figura 17. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ángulo máximo del primer lóbulo lateral en polarización H/H.

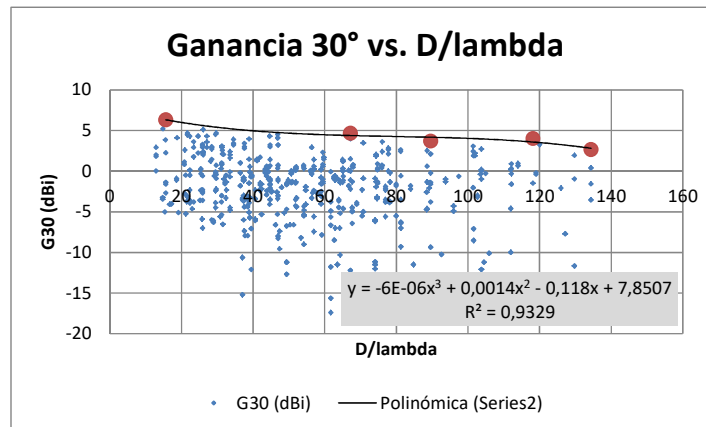


Figura 18. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia para un apartamiento de 30° en polarización H/H.

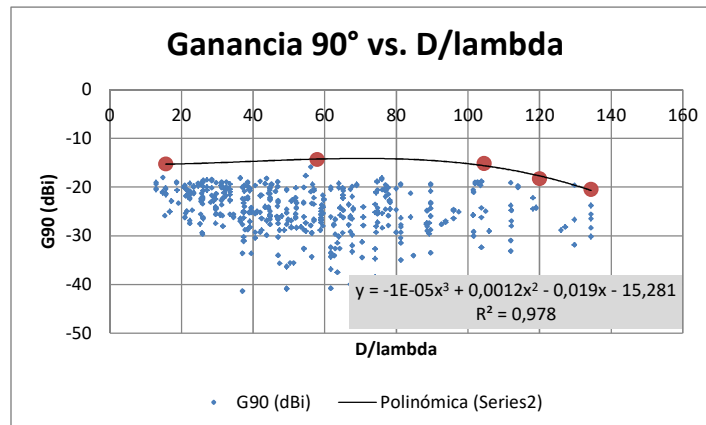


Figura 19. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia para un apartamiento de 90° en polarización H/H.

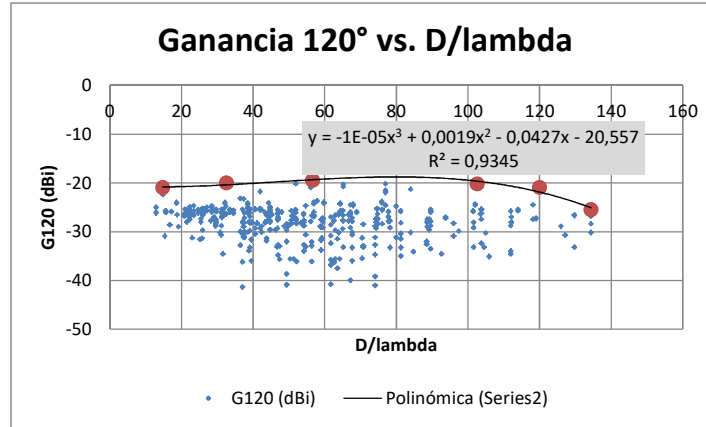


Figura 20. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia para un apartamiento de 120° en polarización H/H.

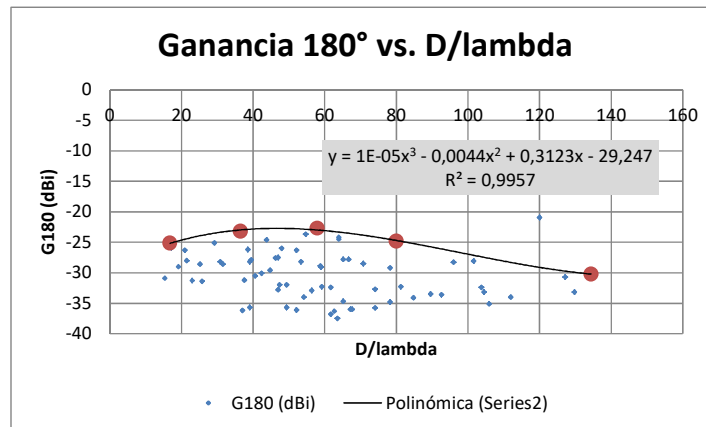


Figura 21. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia para un apartamiento de 180° en polarización H/H.

5.4.1.2. Polarización H/V

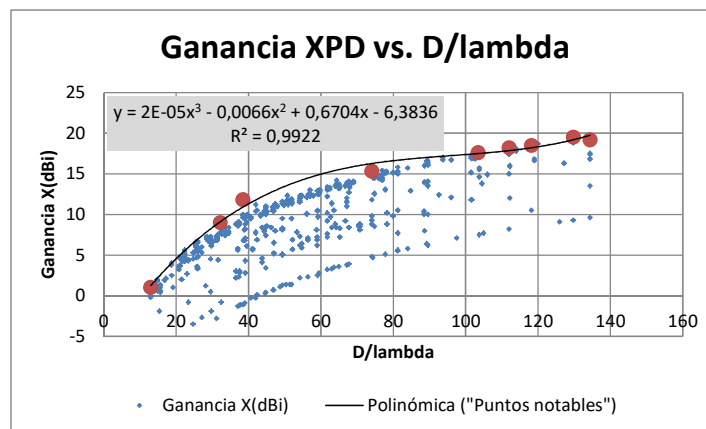


Figura 22. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia en polarización H/V.

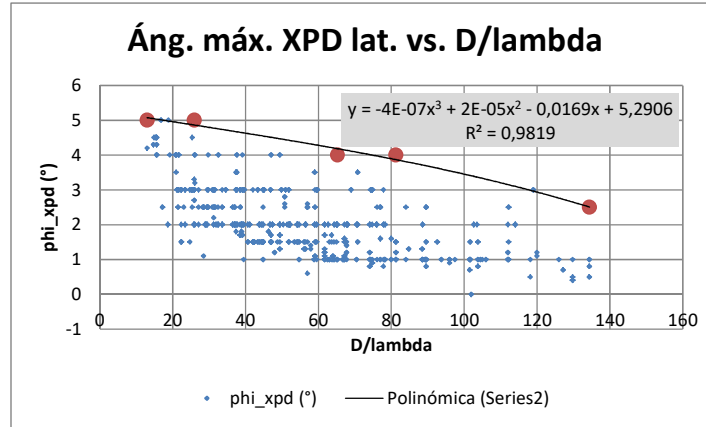


Figura 23. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ángulo máximo de XPD en polarización H/V.

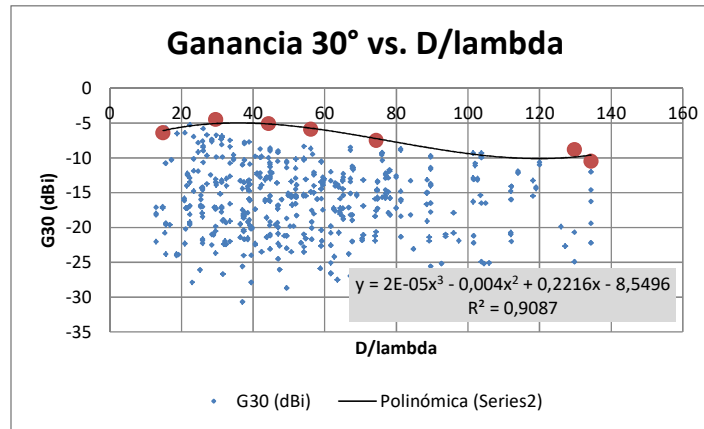


Figura 24. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia para un apartamiento de 30° en polarización H/V.

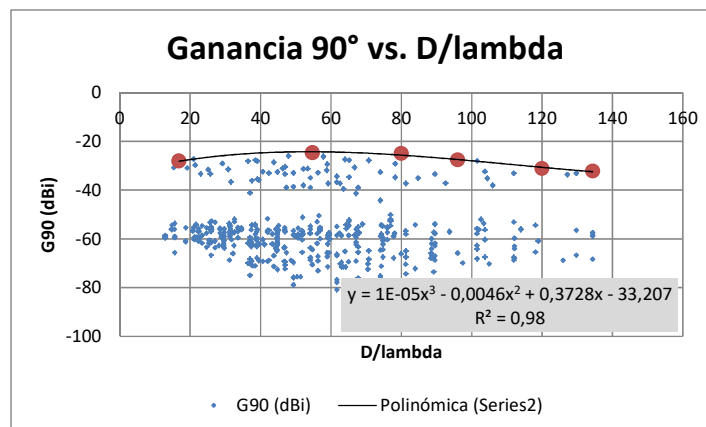


Figura 25. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia para un apartamiento de 90° en polarización H/V.

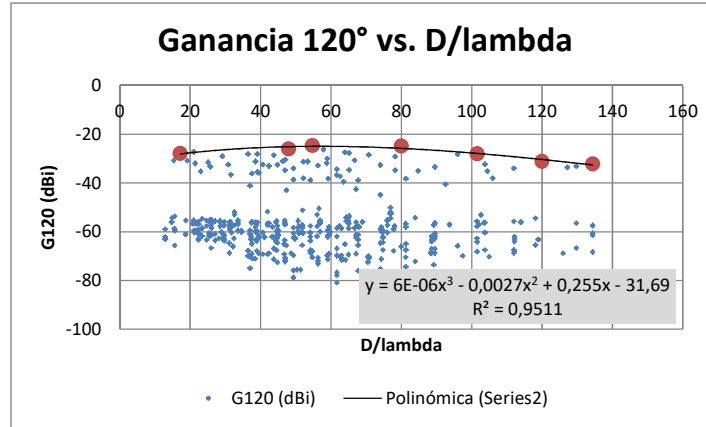


Figura 26. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia para un apartamiento de 120° en polarización H/V.

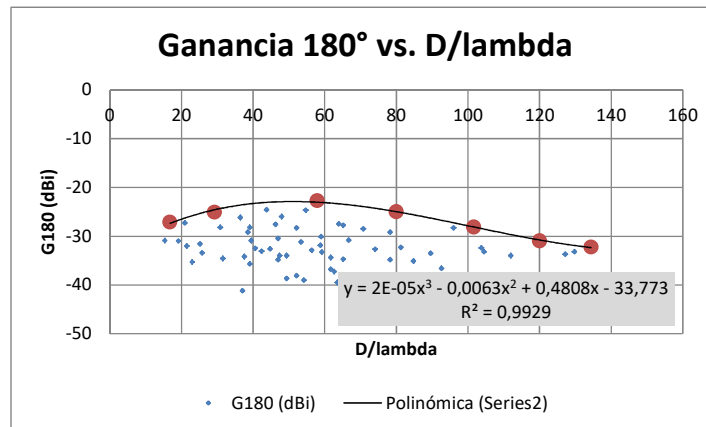


Figura 27. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance. Ganancia para un apartamiento de 180° en polarización H/V.

5.4.2. Resumen de ecuaciones y rango de aplicación

5.4.2.1. Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance (Tipo U)

$$12,975 \leq D/\lambda \leq 134,4$$

Para polarización H/H:

$$G_{\max}(D/\lambda) = 8,3982 \ln(D/\lambda) + 7,888$$

$$\varphi_3(D/\lambda) = 37,035 (D/\lambda)^{-0,94}$$

$$G_1(D/\lambda) = 0,00006 (D/\lambda)^3 - 0,0146 (D/\lambda)^2 + 1,1487 (D/\lambda) + 3,9776$$

$$\varphi_r(D/\lambda) = 59,684 (D/\lambda)^{-0,667}$$

$$G_{30}(D/\lambda) = -0,000006 (D/\lambda)^3 + 0,0014 (D/\lambda)^2 + 0,118 (D/\lambda) + 7,8507$$

$$G_{90}(D/\lambda) = -0,00001 (D/\lambda)^3 + 0,0012 (D/\lambda)^2 - 0,019 (D/\lambda) - 15,281$$

$$G_{120}(D/\lambda) = -0,00001 (D/\lambda)^3 + 0,0019 (D/\lambda)^2 - 0,0427 (D/\lambda) - 20,557$$

$$G_{180}(D/\lambda) = 0,00001 (D/\lambda)^3 - 0,0044 (D/\lambda)^2 + 0,3123 (D/\lambda) - 29,247$$

Para polarización V/V:

$$G_{\max}(D/\lambda) = 8,3982 \ln((D/\lambda) + 7,888$$

$$\varphi_3(D/\lambda) = 42,542 (D/\lambda)^{-0,954}$$

$$G_1(D/\lambda) = 0,00003 (D/\lambda)^3 - 0,0101 (D/\lambda)^2 + 0,9537 (D/\lambda) + 4,8325$$

$$\varphi_r(D/\lambda) = 63,529 ((D/\lambda) ^ (-0,686))$$

$$G_{30}(D/\lambda) = -0,000001 (D/\lambda)^3 + 0,00005 (D/\lambda)^2 - 0,0028 (D/\lambda) + 5,3561$$

$$G_{90}(D/\lambda) = -0,00002 (D/\lambda)^3 + 0,0048 (D/\lambda)^2 - 0,2975 (D/\lambda) - 14,343$$

$$G_{120}(D/\lambda) = -0,000006 (D/\lambda)^3 + 0,0003 (D/\lambda)^2 + 0,0368 (D/\lambda) - 21,311$$

$$G_{180}(D/\lambda) = 0,000008 (D/\lambda)^3 - 0,0025 (D/\lambda)^2 + 0,179 (D/\lambda) - 27,731$$

Para polarización H/V:

$$G_{\text{XPD}}(D/\lambda) = 0,00002 (D/\lambda)^3 - 0,0066 (D/\lambda)^2 + 0,6704 (D/\lambda) - 6,3836$$

$$\varphi_{\text{XPD}}(D/\lambda) = -0,0000004 (D/\lambda)^3 + 0,00002 (D/\lambda)^2 - 0,0169 (D/\lambda) + 5,2906$$

$$G_{30}(D/\lambda) = 0,00002 (D/\lambda)^3 - 0,004 (D/\lambda)^2 + 0,2216 (D/\lambda) - 8,5496$$

$$G_{90}(D/\lambda) = 0,00001 (D/\lambda)^3 - 0,0046 (D/\lambda)^2 + 0,3728 (D/\lambda) - 33,207$$

$$G_{120}(D/\lambda) = 0,000006 (D/\lambda)^3 - 0,0027 (D/\lambda)^2 + 0,255 (D/\lambda) - 31,69$$

$$G_{180}(D/\lambda) = \min(0,00002 (D/\lambda)^3 - 0,0063 (D/\lambda)^2 + 0,4808 (D/\lambda) - 33,773; \\ 0,00001 (D/\lambda)^3 - 0,0044 (D/\lambda)^2 + 0,3123 (D/\lambda) - 29,247)$$

Para polarización V/H:

$$G_{\text{XPD}}(D/\lambda) = 0,00002 (D/\lambda)^3 - 0,0066 (D/\lambda)^2 + 0,6704 (D/\lambda) - 6,3836$$

$$\varphi_{\text{XPD}}(D/\lambda) = -0,0000004 ((D/\lambda) ^ 3) + 0,00002 (D/\lambda)^2 - 0,0169 (D/\lambda) + 5,2906$$

$$G_{30}(D/\lambda) = 0,00002 (D/\lambda)^3 - 0,0049 (D/\lambda)^2 + 0,2936 (D/\lambda) - 10,388$$

$$G_{90}(D/\lambda) = 0,00001 (D/\lambda)^3 - 0,0046 (D/\lambda)^2 + 0,3728 (D/\lambda) - 33,207$$

$$G_{120}(D/\lambda) = 0,00001 (D/\lambda)^3 - 0,0043 (D/\lambda)^2 + 0,3455 (D/\lambda) - 32,664$$

$$G_{180}(D/\lambda) = \min[0,000006 (D/\lambda)^3 - 0,0026 (D/\lambda)^2 + 0,2297 (D/\lambda) - 30,779; 0,000008 \\ (D/\lambda)^3 - 0,0025 (D/\lambda)^2 + 0,179 (D/\lambda) - 27,731]$$

5.4.2.2. Antenas parabólicas de Alta Performance (Tipo A)

$$1,2975 \leq D/\lambda \leq 157$$

Para polarización H/H:

$$G_{\max}(D/\lambda) = 8,5084 \ln((D/\lambda)) + 6,5581$$

$$\varphi_3(D/\lambda) = 42,427 \ ((D/\lambda)^{-0,932})$$

$$G_1(D/\lambda) = 0,000008 \ (D/\lambda)^3 - 0,0046 \ (D/\lambda)^2 + 0,6055 \ (D/\lambda) + 15,827$$

$$\varphi_r(D/\lambda) = 96,787 \ ((D/\lambda)^{-0,656})$$

$$G_{30}(D/\lambda) = -0,000004 \ (D/\lambda)^3 + 0,001 \ (D/\lambda)^2 - 0,0812 \ (D/\lambda) + 11,385$$

$$G_{90}(D/\lambda) = -0,000007 \ (D/\lambda)^3 + 0,0014 \ (D/\lambda)^2 - 0,0703 \ (D/\lambda) - 6,9305$$

$$G_{120}(D/\lambda) = -0,00001 \ (D/\lambda)^3 + 0,0023 \ (D/\lambda)^2 - 0,1566 \ (D/\lambda) - 11,727$$

$$G_{180}(D/\lambda) = -0,00001 \ (D/\lambda)^3 + 0,0033 \ (D/\lambda)^2 - 0,2498 \ (D/\lambda) - 9,3877$$

Para polarización V/V:

$$G_{\max}(D/\lambda) = 8,5084 \ \ln((D/\lambda)) + 6,5581$$

$$\varphi_3(D/\lambda) = 31,938 \ ((D/\lambda)^{-0,865})$$

$$G_1(D/\lambda) = 0,000002 \ (D/\lambda)^3 - 0,0032 \ (D/\lambda)^2 + 0,536 \ (D/\lambda) + 15,607$$

$$\varphi_r(D/\lambda) = 98,951 \ ((D/\lambda)^{-0,696})$$

$$G_{30}(D/\lambda) = -0,000001 \ (D/\lambda)^3 + 0,00005 \ (D/\lambda)^2 - 0,0028 \ (D/\lambda) + 5,3561$$

$$G_{90}(D/\lambda) = 0,000002 \ (D/\lambda)^3 - 0,0012 \ (D/\lambda)^2 + 0,1502 \ (D/\lambda) - 11,853$$

$$G_{120}(D/\lambda) = -0,000001 \ (D/\lambda)^3 + 0,0005 \ (D/\lambda)^2 - 0,1048 \ (D/\lambda) - 11,964$$

$$G_{180}(D/\lambda) = 0,000002 \ (D/\lambda)^3 + 0,00008 \ (D/\lambda)^2 - 0,1205 \ (D/\lambda) - 10,154$$

Para polarización H/V:

$$G_{\text{XPD}}(D/\lambda) = 0,00001 \ (D/\lambda)^3 - 0,0044 \ (D/\lambda)^2 + 0,5406 \ (D/\lambda) - 1,0532$$

$$\varphi_{\text{XPD}}(D/\lambda) = -0,000002 \ (D/\lambda)^3 + 0,0008 \ (D/\lambda)^2 - 0,1284 \ (D/\lambda) + 9,997$$

$$G_{30}(D/\lambda) = 0,000006 \ (D/\lambda)^3 - 0,002 \ (D/\lambda)^2 + 0,1944 \ (D/\lambda) - 6,8001$$

$$G_{90}(D/\lambda) = 0,000006 \ (D/\lambda)^3 - 0,0009 \ (D/\lambda)^2 - 0,0013 \ (D/\lambda) - 14,058$$

$$G_{120}(D/\lambda) = 0,000006 \ (D/\lambda)^3 - 0,0027 \ (D/\lambda)^2 + 0,255 \ (D/\lambda) - 31,69$$

$$G_{180}(D/\lambda) = \min(-0,000003 \ (D/\lambda)^3 + 0,0012 \ (D/\lambda)^2 - 0,1519 \ (D/\lambda) - 14,126; -0,00001 \ (D/\lambda)^3 + 0,0033 \ (D/\lambda)^2 - 0,2498 \ (D/\lambda) - 9,3877)$$

Para polarización V/H:

$$G_{\text{XPD}}(D/\lambda) = 0,00002 \ (D/\lambda)^3 - 0,0057 \ (D/\lambda)^2 + 0,619 \ (D/\lambda) - 1,031$$

$$\varphi_{\text{XPD}}(D/\lambda) = -0,000002 \ (D/\lambda)^3 + 0,0007 \ (D/\lambda)^2 - 0,1198 \ (D/\lambda) + 9,1611$$

$$G_{30}(D/\lambda) = 0,0000006 \ (D/\lambda)^3 - 0,0008 \ (D/\lambda)^2 + 0,1225 \ (D/\lambda) - 6,3404$$

$$G_{90}(D/\lambda) = 0,000007 \ (D/\lambda)^3 - 0,0011 \ (D/\lambda)^2 - 0,0068 \ (D/\lambda) - 12,804$$

$$G_{120}(D/\lambda) = -0,000005 \ (D/\lambda)^3 + 0,0019 \ (D/\lambda)^2 - 0,2267 \ (D/\lambda) - 11,94$$

$$G_{180}(D/\lambda) = \min[-0,000003 \ (D/\lambda)^3 + 0,0012 \ (D/\lambda)^2 - 0,1575 \ (D/\lambda) - 13,7; 0,000002 \ (D/\lambda)^3 + 0,00008 \ (D/\lambda)^2 - 0,1205 \ (D/\lambda) - 10,154]$$

5.4.2.3. Antenas parabólicas Estándar (Tipo E)

$$2,55 \leq D/\lambda \leq 155,7$$

Para polarización H/H:

$$G_{\max}(D/\lambda) = 8,9336 \ln((D/\lambda)) + 5,2014$$

$$\varphi_3(D/\lambda) = 35,16 ((D/\lambda))^{-0,897}$$

$$G_1(D/\lambda) = 0,00001 (D/\lambda)^3 - 0,0045 (D/\lambda)^2 + 0,4718 (D/\lambda) + 15,168$$

$$\varphi_r(D/\lambda) = 235,06 ((D/\lambda))^{-0,883}$$

$$G_{30}(D/\lambda) = 0,000004 (D/\lambda)^3 - 0,0009 (D/\lambda)^2 + 0,0027 (D/\lambda) + 9,5326$$

$$G_{90}(D/\lambda) = 0,00001 (D/\lambda)^3 - 0,0027 (D/\lambda)^2 + 0,1391 (D/\lambda) + 4,4626$$

$$G_{120}(D/\lambda) = 0,000003 (D/\lambda)^3 - 0,0007 (D/\lambda)^2 - 0,0045 (D/\lambda) - 0,9458$$

$$G_{180}(D/\lambda) = -0,00002 (D/\lambda)^3 + 0,0034 (D/\lambda)^2 - 0,1899 (D/\lambda) - 1,1465$$

Para polarización V/V:

$$G_{\max}(D/\lambda) = 8,9336 \ln((D/\lambda)) + 5,2014$$

$$\varphi_3(D/\lambda) = 41,934 ((D/\lambda))^{-0,965}$$

$$G_1(D/\lambda) = 0,00002 (D/\lambda)^3 - 0,0064 (D/\lambda)^2 + 0,7114 (D/\lambda) + 7,8782$$

$$\varphi_r(D/\lambda) = 200,63 ((D/\lambda))^{-0,892}$$

$$G_{30}(D/\lambda) = -0,000001 (D/\lambda)^3 + 0,00005 (D/\lambda)^2 - 0,0028 (D/\lambda) + 5,3561$$

$$G_{90}(D/\lambda) = -0,0000007 (D/\lambda)^3 - 0,0006 ((D/\lambda) ^ 2) + 0,0552 (D/\lambda) + 4,6518$$

$$G_{120}(D/\lambda) = 0,000009 (D/\lambda)^3 - 0,002 (D/\lambda)^2 + 0,0807 (D/\lambda) - 2,9134$$

$$G_{180}(D/\lambda) = -0,000003 (D/\lambda)^3 + 0,0007 (D/\lambda)^2 - 0,0758 (D/\lambda) - 1,7014$$

Para polarización H/V:

$$G_{\text{XPD}}(D/\lambda) = - 0,0007 ((D/\lambda) ^ 2) + 0,216 (D/\lambda) + 8,7224$$

$$\varphi_{\text{XPD}}(D/\lambda) = 699,41 ((D/\lambda))^{-1,367}$$

$$G_{30}(D/\lambda) = 0,000007 (D/\lambda)^3 - 0,0019 (D/\lambda)^2 + 0,0653 (D/\lambda) - 2,5713$$

$$G_{90}(D/\lambda) = 0,000002 (D/\lambda)^3 - 0,0006 (D/\lambda)^2 + 0,0073 (D/\lambda) - 6,1233$$

$$G_{120}(D/\lambda) = -0,00000009 (D/\lambda)^3 - 0,0005 (D/\lambda)^2 + 0,0184 (D/\lambda) - 6,6618$$

$$G_{180}(D/\lambda) = \min[0,0000001 (D/\lambda)^3 - 0,0003 (D/\lambda)^2 + 0,054 (D/\lambda) - 8,3893; -0,00002 (D/\lambda)^3 + 0,0034 (D/\lambda)^2 - 0,1899 (D/\lambda) - 1,1465]$$

Para polarización V/H:

$$G_{\text{XPD}}(D/\lambda) = - 0,0013 (D/\lambda)^2 + 0,3239 (D/\lambda) + 8,1441$$

$$\varphi_{\text{XPD}}(D/\lambda) = 724,07 ((D/\lambda))^{-1,359}$$

$$G_{30}(D/\lambda) = 0,000002 (D/\lambda)^3 - 0,0011 (D/\lambda)^2 + 0,0497 (D/\lambda) - 2,5426$$

$$G_{90}(D/\lambda) = -0,000007 (D/\lambda)^3 + 0,0013 (D/\lambda)^2 - 0,0888 (D/\lambda) - 4,6585$$

$$G_{120}(D/\lambda) = -0,000004 (D/\lambda)^3 + 0,0003 (D/\lambda)^2 - 0,0095 (D/\lambda) - 6,5692$$

$$G_{180}(D/\lambda) = \min[-0,0000009 (D/\lambda)^3 - 0,0007 (D/\lambda)^2 + 0,0831 (D/\lambda) - 8,6157; -0,000003 (D/\lambda)^3 + 0,0007 (D/\lambda)^2 - 0,0758 (D/\lambda) - 1,7014]$$

5.4.2.4. Antenas parabólicas Grilladas (Tipo G)

$$2,1 \leq D/\lambda \leq 33,67$$

Para polarización H/H:

$$G_{\max}(D/\lambda) = 8,5322 \ln((D/\lambda)) + 7,1032$$

$$\phi_3(D/\lambda) = 36,894 ((D/\lambda))^{-0,976}$$

$$G_1(D/\lambda) = 0,0013 (D/\lambda)^3 - 0,0939 (D/\lambda)^2 + 2,2332 (D/\lambda) + 0,5005$$

$$\phi_r(D/\lambda) = 150,48 ((D/\lambda))^{-0,845}$$

$$G_{30}(D/\lambda) = -0,0003 (D/\lambda)^3 + 0,0175 (D/\lambda)^2 - 0,3946 (D/\lambda) + 8,7938$$

$$G_{90}(D/\lambda) = 0,001 (D/\lambda)^3 - 0,0745 (D/\lambda)^2 + 1,6779 (D/\lambda) - 6,1614$$

$$G_{120}(D/\lambda) = 0,0016 (D/\lambda)^3 - 0,1001 (D/\lambda)^2 + 1,7313 (D/\lambda) - 7,4711$$

$$G_{180}(D/\lambda) = 0,0015 (D/\lambda)^3 - 0,0897 (D/\lambda)^2 + 1,4523 (D/\lambda) - 4,4538$$

Para polarización V/V:

$$G_{\max}(D/\lambda) = 8,5322 \ln(D/\lambda) + 7,1032$$

$$\phi_3(D/\lambda) = 27,906 ((D/\lambda))^{-0,858}$$

$$G_1(D/\lambda) = 0,0016 (D/\lambda)^3 - 0,1037 (D/\lambda)^2 + 2,2826 (D/\lambda) + 3,0036$$

$$\phi_r(D/\lambda) = 176,84 ((D/\lambda) \wedge (-0,888))$$

$$G_{30}(D/\lambda) = 0,00009 (D/\lambda)^3 - 0,0097 (D/\lambda)^2 - 0,0823 (D/\lambda) + 8,8255$$

$$G_{90}(D/\lambda) = 0,0004 (D/\lambda)^3 - 0,025 (D/\lambda)^2 + 0,3376 (D/\lambda) + 4,2707$$

$$G_{120}(D/\lambda) = 0,0003 (D/\lambda)^3 - 0,0269 (D/\lambda)^2 + 0,5211 (D/\lambda) + 1,4799$$

$$G_{180}(D/\lambda) = 0,0004 (D/\lambda)^3 - 0,0267 (D/\lambda)^2 + 0,4463 (D/\lambda) - 0,9213$$

Para polarización H/V:

$$G_{\text{XPD}}(D/\lambda) = 0,0023 (D/\lambda)^3 - 0,1589 (D/\lambda)^2 + 3,4908 (D/\lambda) - 18,605$$

$$\phi_{\text{XPD}}(D/\lambda) = 0,0098 (D/\lambda)^3 - 0,4154 (D/\lambda)^2 - 2,6353 (D/\lambda) + 188,14$$

$$G_{30}(D/\lambda) = 0,0016 (D/\lambda)^3 - 0,1216 (D/\lambda)^2 + 2,507 (D/\lambda) - 13,158$$

$$G_{90}(D/\lambda) = 0,001 (D/\lambda)^3 - 0,086 ((D/\lambda) \wedge 2) + 1,9288 (D/\lambda) - 11,375$$

$$G_{120}(D/\lambda) = 0,0021 (D/\lambda)^3 - 0,1451 (D/\lambda)^2 + 2,6513 (D/\lambda) - 13,221$$

$$G_{180}(D/\lambda) = \min[0,0022 (D/\lambda)^3 - 0,1432 (D/\lambda)^2 + 2,5612 (D/\lambda) - 12,82; 0,0015 (D/\lambda)^3 - 0,0897 (D/\lambda)^2 + 1,4523 (D/\lambda) - 4,4538]$$

Para polarización V/H:

$$G_{XPD}(D/\lambda) = -0,0003 (D/\lambda)^3 + 0,0186 (D/\lambda)^2 + 0,0119 (D/\lambda) - 1,472$$

$$\phi_{XPD}(D/\lambda) = + 0,1932 (D/\lambda)^2 - 12,71 (D/\lambda) + 211,86$$

$$G_{30}(D/\lambda) = -0,0003 (D/\lambda)^3 + 0,0048 (D/\lambda)^2 - 0,0125 (D/\lambda) - 1,297$$

$$G_{90}(D/\lambda) = 0,0004 (D/\lambda)^3 - 0,0248 (D/\lambda)^2 + 0,1766 (D/\lambda) + 0,192$$

$$G_{120}(D/\lambda) = 0,0008 (D/\lambda)^3 - 0,0444 (D/\lambda)^2 + 0,3074 (D/\lambda) - 0,0308$$

$$G_{180}(D/\lambda) = \min[0,001 (D/\lambda)^3 - 0,0522 (D/\lambda)^2 + 0,5693 (D/\lambda) - 4,7806; 0,0004 (D/\lambda)^3 - 0,0267 (D/\lambda)^2 + 0,4463 (D/\lambda) - 0,9213]$$

5.4.2.5. Antenas parabólicas de Plano Focal (Tipo F)

$$5,77 \leq D/\lambda \leq 126$$

Para polarización H/H:

$$G_{\max}(D/\lambda) = 8,7583 \ln(D/\lambda) + 6,6058$$

$$\phi_3(D/\lambda) = 32,847 ((D/\lambda))^{-0,861}$$

$$G_1(D/\lambda) = 0,00002 (D/\lambda)^3 - 0,0061 (D/\lambda)^2 + 0,6357 (D/\lambda) + 6,8323$$

$$\phi_r(D/\lambda) = 96,201 ((D/\lambda))^{-0,716}$$

$$G_{30}(D/\lambda) = 0,00002 (D/\lambda)^3 - 0,0067 (D/\lambda)^2 + 0,4363 (D/\lambda) + 3,6865$$

$$G_{90}(D/\lambda) = 0,00004 (D/\lambda)^3 - 0,0094 (D/\lambda)^2 + 0,5942 (D/\lambda) - 9,6952$$

$$G_{120}(D/\lambda) = 0,00003 (D/\lambda)^3 - 0,0077 (D/\lambda)^2 + 0,5136 (D/\lambda) - 15,949$$

$$G_{180}(D/\lambda) = 0,00005 (D/\lambda)^3 - 0,0099 (D/\lambda)^2 + 0,5822 (D/\lambda) - 16,3418$$

Para polarización V/V:

$$G_{\max}(D/\lambda) = 8,7583 \ln(D/\lambda) + 6,6058$$

$$\phi_3(D/\lambda) = 25,746 ((D/\lambda))^{-0,792}$$

$$G_1(D/\lambda) = 0,00002 (D/\lambda)^3 - 0,0066 (D/\lambda)^2 + 0,6255 (D/\lambda) + 7,4596$$

$$\phi_r(D/\lambda) = 79,763 ((D/\lambda))^{-0,681}$$

$$G_{30}(D/\lambda) = 0,000005 (D/\lambda)^3 - 0,0011 (D/\lambda)^2 + 0,0098 (D/\lambda) + 8,0339$$

$$G_{90}(D/\lambda) = 0,00004 (D/\lambda)^3 - 0,0098 (D/\lambda)^2 + 0,6377 (D/\lambda) - 9,7625$$

$$G_{120}(D/\lambda) = 0,00007 (D/\lambda)^3 - 0,0141 (D/\lambda)^2 + 0,7739 (D/\lambda) - 18,537$$

$$G_{180}(D/\lambda) = 0,0001 (D/\lambda)^3 - 0,0191 (D/\lambda)^2 + 1,0113 (D/\lambda) - 19,764$$

Para polarización H/V:

$$G_{XPD}(D/\lambda) = 0,00005 (D/\lambda)^3 - 0,0133 (D/\lambda)^2 + 1,1486 (D/\lambda) - 13,244$$

$$\varphi_{XPD}(D/\lambda) = -0,00002 (D/\lambda)^3 + 0,0062 (D/\lambda)^2 - 0,5263 (D/\lambda) + 17,836$$

$$G_{30}(D/\lambda) = 0,00009 (D/\lambda)^3 - 0,0191 (D/\lambda)^2 + 1,024 (D/\lambda) - 15,33$$

$$G_{90}(D/\lambda) = 0,00007 (D/\lambda)^3 - 0,0148 (D/\lambda)^2 + 0,8028 (D/\lambda) - 19,969$$

$$G_{120}(D/\lambda) = 0,00005 (D/\lambda)^3 - 0,0101 (D/\lambda)^2 + 0,5726 (D/\lambda) - 18,146$$

$$G_{180}(D/\lambda) = \min[0,00006 (D/\lambda)^3 - 0,0119 (D/\lambda)^2 + 0,6487 (D/\lambda) - 18,716; 0,00005 (D/\lambda)^3 - 0,0099 (D/\lambda)^2 + 0,5822 (D/\lambda) - 16,3418]$$

Para polarización V/H:

$$G_{XPD}(D/\lambda) = 0,00005 (D/\lambda)^3 - 0,0133 (D/\lambda)^2 + 1,1486 (D/\lambda) - 13,244$$

$$\varphi_{XPD}(D/\lambda) = -0,00002 (D/\lambda)^3 + 0,0062 (D/\lambda)^2 - 0,5263 (D/\lambda) + 17,836$$

$$G_{30}(D/\lambda) = 0,0001 (D/\lambda)^3 - 0,0202 (D/\lambda)^2 + 1,0912 (D/\lambda) - 16,343$$

$$G_{90}(D/\lambda) = 0,00008 (D/\lambda)^3 - 0,0169 (D/\lambda)^2 + 0,9474 (D/\lambda) - 22,639$$

$$G_{120}(D/\lambda) = 0,00005 (D/\lambda)^3 - 0,0122 (D/\lambda)^2 + 0,713 (D/\lambda) - 20,78$$

$$G_{180}(D/\lambda) = \min[0,00007 (D/\lambda)^3 - 0,0139 (D/\lambda)^2 + 0,7891 (D/\lambda) - 21,35; 0,0001 (D/\lambda)^3 - 0,0191 (D/\lambda)^2 + 1,0113 (D/\lambda) - 19,764]$$

5.5. Generación de los diagramas de referencia

Los parámetros eléctricos modelizados en la sección 5.4 son los que permiten generar seguidamente el diagrama de radiación de referencia resultante para una antena con frecuencia de operación y diámetro específicos.

Para el diagrama co-polar, el lóbulo principal de la antena se halla representado por una parábola de concavidad negativa, cuyo punto máximo corresponde a la ganancia máxima de la antena, $G_{\max}$ expresada en dBi, y desciende 3 dB respecto a este vértice para un apartamiento igual a φ_3 , que es la mitad de la anchura de haz de potencia mitad.

La siguiente región angular, de valor constante G_1 , se extiende desde φ_m hasta φ_r y corresponde al primer lóbulo lateral del diagrama.

Para las regiones anterior (apartamientos entre φ_r y 30°), lateral anterior (30° a 90°), lateral (90° a 120°) y lateral posterior (120° a 140°), se interpolan linealmente los valores G_1 , G_{30} , G_{90} , G_{120} y G_{180} según corresponda.

Finalmente, la región posterior de la antena posee ganancia G_{180} y se encuentra comprendida entre 140° y 180° .

De este modo, Para el caso de los diagramas co-polares (H/H y V/V), las ecuaciones siguientes proporcionan la ganancia en dBi en función del ángulo de observación en el plano de acimut u horizontal:

$$G_{H/H;V/V}(\varphi) = \begin{cases} G_{max} - 3 \left(\frac{\varphi}{\varphi_3} \right)^2 & 0 \leq \varphi < \varphi_m \\ G_1 & \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r \\ \left(\frac{G_{30} - G_1}{30^\circ - \varphi_r} \right) (\varphi - \varphi_r) + G_1 & \varphi_r \leq \varphi < 30^\circ \\ \left(\frac{G_{90} - G_{30}}{60^\circ} \right) (\varphi - 30^\circ) + G_{30} & 30 \leq \varphi < 90^\circ \\ \left(\frac{G_{120} - G_{90}}{30^\circ} \right) (\varphi - 90^\circ) + G_{90} & 90 \leq \varphi < 120^\circ \\ \left(\frac{G_{180} - G_{120}}{20^\circ} \right) (\varphi - 120^\circ) + G_{120} & 120 \leq \varphi < 140^\circ \\ G_{180} & 140 \leq \varphi < 180^\circ \end{cases}$$

$$\varphi_m = \varphi_3 \left(\frac{G_{max} - G_1}{3} \right)^2$$

Para el diagrama polar-cruzado, las antenas suelen presentar una región de ganancia constante G_{XPD} en la zona del haz principal y hasta un apartamiento φ_{XPD} , es decir, en la dirección del enlace útil. En las regiones anterior, lateral anterior, lateral, lateral posterior y lóbulo posterior, se aplica la misma interpolación que en el caso co-polar. Es decir, que para los diagramas polar-cruzados (H/V y V/H), las ecuaciones siguientes proporcionan la ganancia en dBi en función del ángulo de observación en el plano de acimut u horizontal.

$$G_{H/V;V/H}(\varphi) = \begin{cases} G_{XPD} & 0 \leq \varphi < \varphi_{XPD} \\ \left(\frac{G_{30} - G_1}{30^\circ - \varphi_r} \right) (\varphi - \varphi_r) + G_1 & \varphi_{XPD} \leq \varphi < 30^\circ \\ \left(\frac{G_{90} - G_{30}}{60^\circ} \right) (\varphi - 30^\circ) + G_{30} & 30 \leq \varphi < 90^\circ \\ \left(\frac{G_{120} - G_{90}}{30^\circ} \right) (\varphi - 90^\circ) + G_{90} & 90 \leq \varphi < 120^\circ \\ \left(\frac{G_{180} - G_{120}}{20^\circ} \right) (\varphi - 120^\circ) + G_{120} & 120 \leq \varphi < 140^\circ \\ G_{180} & 140 \leq \varphi < 180^\circ \end{cases}$$

Todas estas ecuaciones, junto a la modelización de los parámetros eléctricos, puede encontrarse programadas en la planilla [DRRAs.xls](#), la cual permite visualizar los diagramas de radiación de referencia de antenas en forma individual o comparativa. Simplemente seleccionando el tipo de antena, banda de frecuencias, diámetro y polarización a representar. Asimismo se han incorporado los diagramas de referencia recomendados por UIT vistos oportunamente.

5.5.1. Ejemplo: Antenas parabólicas de Ultra Alta Performance (Tipo U)

Continuando con el ejemplo de las antenas parabólicas de Ultra Alta Performance, la Figura 28 muestra los diagramas de radiación de referencia generados para un diámetro de 3,6 m y 2400 MHz como frecuencia operativa, en todas las polarizaciones.

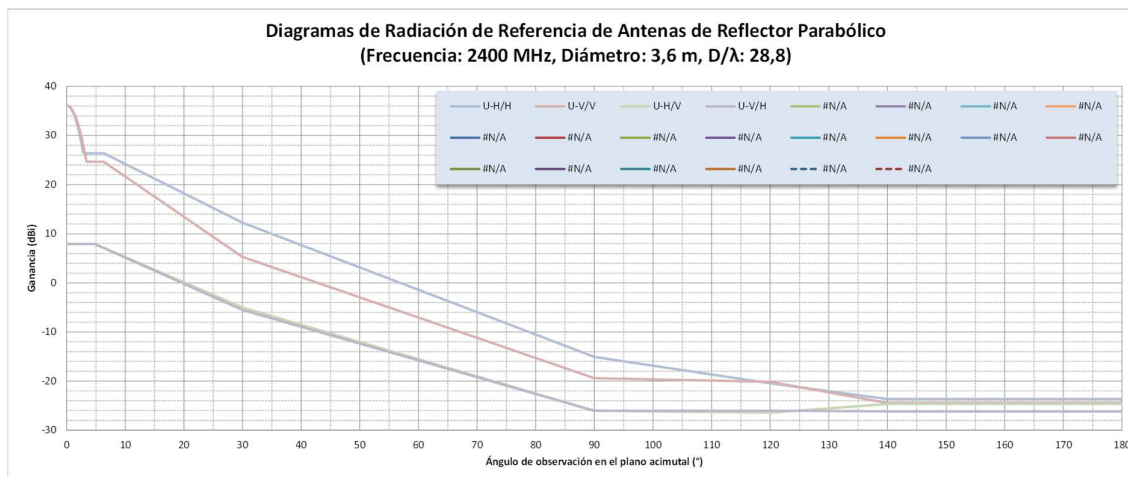


Figura 28. DRRAs para antenas parabólicas de Ultra Alta Performance de 3,6 m de diámetro operando en la banda F (2400 MHz).

Cabe recordarse que al igual que las antenas, cada diagrama de radiación, incluso los de referencia, lleva un código unívoco según la Figura 12.

En este ejemplo, los códigos de los diagramas graficados serían:

- FARU3601HH para el diagrama de polarización H/H²;
- FARU3601VV para el diagrama de polarización V/V;
- FARU3601HV para el diagrama de polarización H/V;
- FARU3601VH para el diagrama de polarización V/H.

En la Fase de estudio 2 se abordará el análisis acerca de cómo cada diagrama de referencia influye en la ocupación espectral y geográfica, por lo que se referirá a cada uno de ellos a través de dichos códigos.

5.5.2. Ejemplo: Comparación de los diferentes tipos de antenas parabólicas

Con el fin de comparar todos los diferentes tipos y calidades de antenas, la Figura 29 muestra los diagramas de radiación de referencia generados para distintas antenas de un diámetro de 3,6 m y 2400 MHz como frecuencia operativa, en polarización H/H.

² Este es un ejemplo en el cual el caracter de “Descripción adicional” se ha mantenido en 0 por simplicidad, pese a que este tipo de antenas comerciales siempre se presentan con un radomo, razón por la cual, en un orden estricto de las cosas, deberían llevar el caracter R.

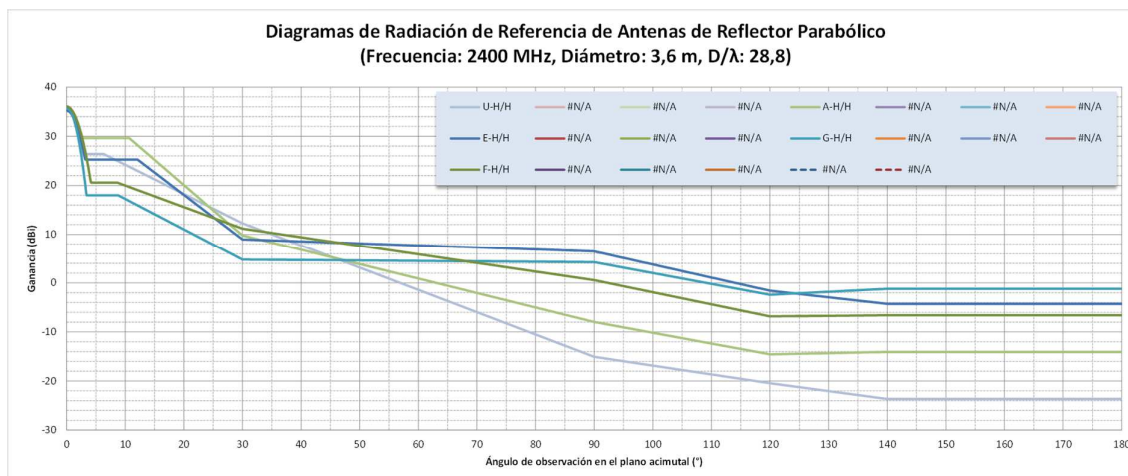


Figura 29. DRRAs para antenas parabólicas de 3,6 m de diámetro operando en la banda F (2400 MHz) y polarización H/H.

En este ejemplo, los códigos de los diagramas graficados serían:

- FARU3601HH para la antena parabólica de Ultra Alta Performance;
- FARA3601HH para la antena parabólica de Alta Performance;
- FARE3601HH para la antena parabólica Estándar;
- FARG3601HH para la antena parabólica Grillada;
- FARF3601HH para la antena parabólica de Plano Focal.

5.6. Conclusiones

En la sección 5.1 se habían analizado los diagramas de radiación de referencia recomendados por la UIT en [1] y [2], los cuales ahora pueden ser sujetos a comparación con los diagramas definidos en este documento.

Manteniendo la misma banda de frecuencias y diámetro de la sección anterior, en la Figura 30 se superponen los diagramas de referencia de UIT a los diagramas ejemplificativos.

Recordando que la Rec. UIT-R F.699-7 da las envolventes de los niveles de pico o cresta, se observa claramente cómo las mismas se corresponden a los diagramas de radiación de referencia de antenas parabólicas Estándar, especialmente en las regiones angulares de 100 a 180°. Esto evidencia que tales antenas comerciales habrían sido tomadas en consideración para la elaboración de la recomendación citada.

Del mismo modo, las envolventes que representan a los valores medios de los diagramas reales, definidas en la Rec. UIT-R F.1245-1, podrían utilizarse como representativos de las antenas parabólicas de Alta Performance.

Por tales motivos, puede concluirse que, siguiendo la metodología de obtención de diagramas de radiación de referencia aquí propuesta y sus ecuaciones resultantes, se obtiene una familia de curvas propia para cada tipo o calidad de antena comercial. A priori, esto debería traer aparejado estudios de planificación y compartición más precisos y detallados si lo que se deseara es evaluar el rendimiento de un tipo de antena frente a otro, análisis que se llevará adelante en la fase siguiente.

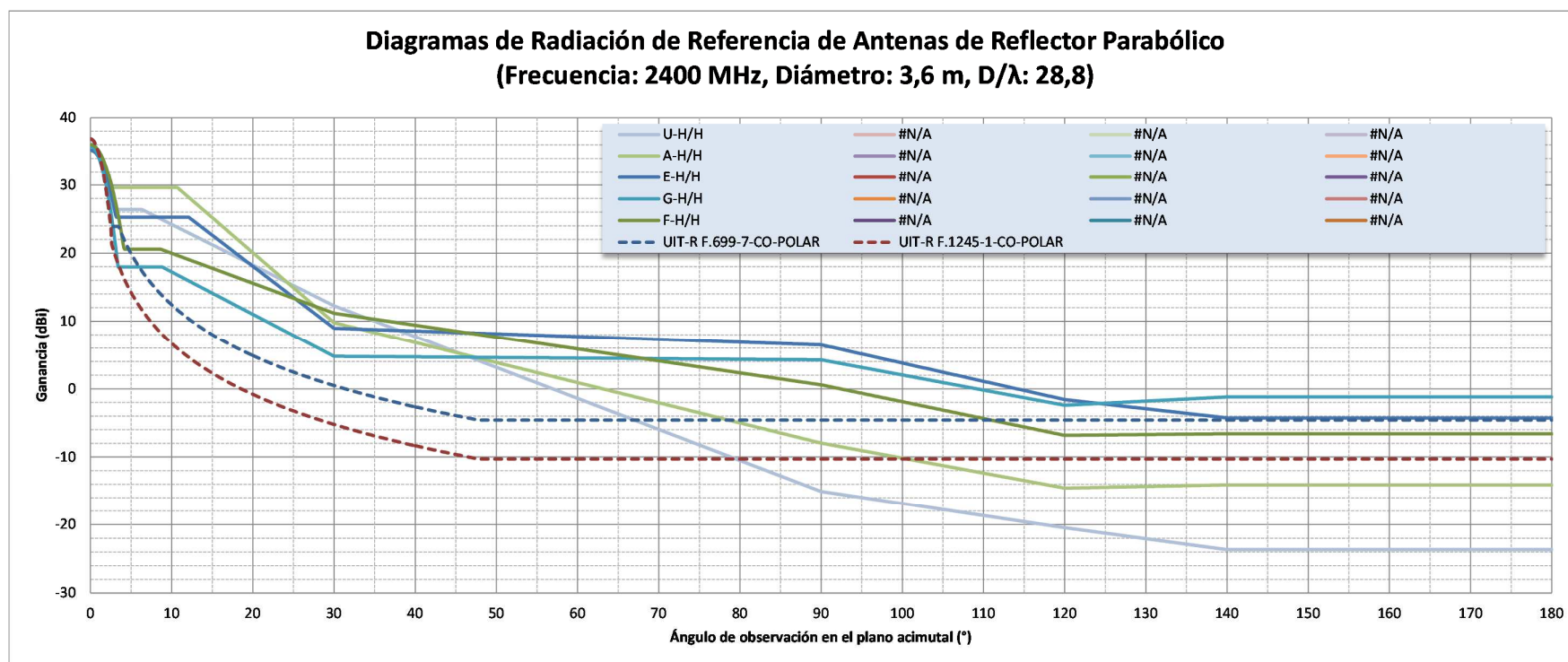


Figura 30. Comparación de los DRRA recomendados por UIT y los propios.

5.7. Desarrollos futuros

Siendo el alcance de la presente Tesis de Maestría, mucho más amplio y abarcativo que la sola obtención de los diagramas de radiación de referencia, y siendo estos una herramienta de estudio para las fases siguientes, se han seguido algunas simplificaciones para su generación, las cuales podrán ser abordadas en forma más compleja en trabajos futuros. Algunas de estas simplificaciones y sus propuestas de mejora son:

1. Fuera de la región de radiación anterior de la antena, se ha modelizado la ganancia en 30° , 90° , 120° , 140° y 180° . Puede obtenerse un resultado más preciso, con un mayor ajuste a los diagramas reales, si dicha modelización se efectuara, por así decir, en incrementos angulares de 10° o incluso 5° .
2. La interpolación angular en estas regiones es siempre lineal. Pueden plantearse, no obstante, interpolaciones de tipo logarítmica u otras, a fin de obtener también un mayor ajuste a los diagramas reales.
3. Los diagramas de radiación de referencia definidos representan, al igual que [1], las envolventes de picos o crestas de los lóbulos laterales, y una ganancia máxima que es menor a las de todas las antenas comerciales representadas. En términos de evaluación de interferencias, estas condiciones representarán un caso más severo al que se obtendrá en la realidad. Al igual que en [2], pueden generarse además diagramas de valores laterales medios y/o mínimos, acompañado de un crecimiento de la ganancia máxima, lo que permitiría estudiar escenarios menos pesimistas.
4. En todos los casos deberá monitorearse periódicamente la aparición de nuevos modelos y tecnologías de antenas comerciales, que requieran ajustar las ecuaciones obtenidas, o bien que requieran la extensión de las mismas a nuevas bandas de frecuencias y/o diámetros.

Página dejada intencionalmente en blanco

6. Fase de estudio 2: Metodología automatizada de análisis de Compatibilidad Electromagnética, y evaluación de eficiencia espectral por tipo de antena

El objetivo de esta segunda fase de estudio es cuantificar en forma estadística el grado de influencia que una antena tiene en el uso del espectro radioeléctrico, y en la capacidad de su reutilización, es decir, la capacidad de que dos enlaces operando en frecuencias similares puedan convivir. Se ha mencionado el hecho de que el diagrama de radiación de una antena describe cómo ésta distribuye la energía que irradia (o recibe) en cada dirección del espacio. También se ha señalado que este direccionamiento no es ideal, de allí que la instalación de un radioenlace implica que a su alrededor no pueda convivir con otro operando en una frecuencia igual o cercana, sin que ambos se interfieran.

Al existir cientos de modelos de antenas, con grandes variaciones en sus parámetros eléctricos incluso para igual tipo y apertura, se emplean los diagramas de radiación de referencia generados, para simular el caso de las antenas con mayores niveles de radiación en los lóbulos laterales.

6.1. Antecedentes

6.1.1. Estudio probabilístico y propuesta regulatoria de Australian Communications Authority (ACA)

El primer antecedente a considerar en esta fase de estudio es el documento elaborado por la Autoridad Regulatoria australiana en el año 2003, por aquel entonces ACA y actualmente ACMA. El documento del año 2003, denominado “Proposal for Spectrum Efficient Antenna Performance Regulatory Criteria for use in the Fixed Service Microwave Bands” [9], intenta determinar el rol de las antenas en el manejo de la interferencia y reúso del espectro, los tipos comerciales de antenas en uso y disponibles, sus requisitos regulatorios, la relación entre sus parámetros técnicos y la eficiencia espectral, entre otros ítems.

Para el servicio fijo, se reconoce al desempeño de radiación de una antena como un factor dominante en la eficiencia del espectro, y la relación de compromiso existente entre el uso de antenas pequeñas (por menor tamaño, impacto ambiental, etc.) y requisitos regulatorios basados en apertura mínima de reflectores.

También se reconoce que, mientras los parámetros del haz principal de la antena pueden ser fácilmente estimados, fuera del eje surgen diferencias apreciables entre distintos modelos de igual apertura. Analizadas las diferentes causas de las pérdidas de radiación fuera del eje, se concluye la necesidad de minimizar los lóbulos laterales y posteriores y aumentar la discriminación de polarización cruzada para reducir los niveles de interferencia y mejorar la eficiencia espectral. El documento considera a dicha eficiencia como la capacidad de reúso del espectro co-canal.

Se consideran las antenas Estándar, alta y Ultra Alta Performance, junto con sus RPE según el formato NSMA [4], y algunas relaciones empíricas de sus parámetros eléctricos. Las antenas Grilladas no son aquí tenidas en cuenta, hecho justificado ya que las bandas a estudiar se encuentran por encima de los 7,5 GHz.

En lo referente al manejo de interferencia, resulta importante destacar que el documento identifica al organismo regulador como el responsable de regular la compartición del espectro y la eficiencia en su uso, mientras que los diseñadores y operadores tienen en cuenta los factores técnicos, económicos y regulatorios necesarios para sus propios sistemas.

Ante la ausencia de estándares internacionalmente acordados, el documento compara brevemente los particulares de Australia, Estados Unidos, Canadá y Europa. En particular, ACA fija requisitos mínimos de desempeño para cada banda de frecuencias (diámetro, tipo, ganancia, ancho de haz, XPD, F/E y envolvente del diagrama co-polar y polar-cruzado). Estos aspectos regulatorios se abordan en la tercera fase de la Tesis.

Una de las partes fundamentales del documento es el estudio, por el método de simulación de Monte Carlo, de la relación entre los parámetros de las antenas comerciales (con su alta variación ya enunciada) y la eficiencia espectral.

El objetivo del estudio es simplificar la comparación de los RPE de las antenas comerciales bajo estudio, derivando una figura estadística para cada modelo. Así, para cada RPE se intentan coordinar 10000 enlaces digitales aleatoriamente localizados (con densidad uniforme), orientados y polarizados, en un área de 100 km de radio, y se registra el número de coordinaciones exitosas, para luego analizar los resultados por métodos estadísticos estándar.

Por su alto uso en áreas de alta demanda, las bandas bajo estudio son 7,5, 11 y 13 GHz. Se asume el modelo de propagación de espacio libre, operación co-canal y ancho de banda constante. La longitud de los enlaces sigue una distribución normal, conforme a información de ACA para sus enlaces urbanos. Otros parámetros de RF están disponibles en las bases de datos de ACA y en la Recomendación UIT-R F.758-3 [10]. Los RPE son provistos por los fabricantes. Los resultados obtenidos son normalizados, siendo un puntaje de “1” la mayor eficiencia espectral alcanzada en la simulación.

En la simulación se incluye también los diagramas “nocionales” o de referencia de ACA, logrando los puntajes más bajos de eficiencia espectral en las bandas de 7,5 y 13 GHz, y en contraste, uno de los más altos en la banda de 11GHz.

El análisis de los resultados permitió observar una correlación entre algunos parámetros (no tomados individualmente) y la estimación de la eficiencia espectral.

1. Cada banda tiene una apertura óptima: 1,8 a 2,4 m en 7,5 GHz; 1,8 m en 11 GHz; y 1,2 m en 13 GHz. Aperturas menores conllevan a un rápido decaimiento de la eficiencia, y aperturas mayores no traen mejoras apreciables.
2. Las antenas de Ultra Alta Performance logran muy alta eficiencia espectral, con puntajes hasta 4 veces mayores a las Estándar y de Alta Performance.
3. Hay una correlación positiva (débil) entre ganancia y el puntaje simulado de eficiencia espectral.
4. Hay una correlación moderada a fuerte entre relación frente a espalda y puntaje simulado de eficiencia espectral.
5. Hay una correlación débil a moderada entre discriminación de polarización cruzada y puntaje simulado de eficiencia espectral (resultado que va de la mano con (2)).
6. Las antenas de Alta Performance logran mayores puntajes de eficiencia espectral que las Estándar. No obstante, muchas antenas Estándar logran altos puntajes, mientras que varios modelos de Alta Performance sólo alcanzan valores medios.

Entre las limitaciones del estudio, se reconoce que los enlaces urbanos Punto a Punto simulados son de características homogéneas y distribución uniforme, lo cual es razonable dada la distribución estadística de la ubicación de los enlaces urbanos reales, pero para sistemas de radio relevadores con trayectos concentrados en “corredores” el comportamiento alrededor del haz principal puede ser más importante.

Asimismo, los requerimientos de compartición entre servicios pueden implicar parámetros de antenas diferentes a los considerados en el entorno homogéneo.

El modelo, utilizado para comparar antenas parabólicas, es de aplicación general y puede adaptarse para comparar otros criterios y sistemas de comunicaciones. Asimismo, es de esperarse su aplicación todas las bandas del servicio fijo Punto a Punto entre 1,5 a 58 GHz, especialmente reconociendo que entre 1,8 y 2,1 GHz se han incorporado las antenas Grilladas compactas a los diagramas de referencia australianos.

A partir de los resultados del estudio surgen diversas opciones regulatorias, que son la eliminación de los criterios de desempeño mínimo de antenas, su simplificación, desalentar el uso de antenas Estándar a favor de las de Alta Performance en áreas de alta densidad poblacional, alinearse con ETSI y FCC o implementar un régimen basado en ensayos probabilístico de Monte Carlo para cada modelo de antena y su eficiencia espectral. Con ventajas y desventajas, el documento propone la simplificación de los criterios regulatorios de antenas, y desalentar el uso de antenas Estándar en zonas altamente pobladas.

El nuevo criterio establecido propone un régimen regulatorio basado en la evaluación de la relación frente a espalda (con tres grados de calidad) y la discriminación de polarización cruzada para cada banda. Se propone también un método para la implementación gradual del nuevo esquema, y se identifican los tipos de antenas a ser aplicados a áreas de alta densidad espectral, sitios primarios, rutas troncales y áreas remotas y rurales, con calidades decrecientes respectivamente.

6.1.2. Report ITU-R F.2059-1. “Antenna characteristics of point-to-point fixed wireless systems to facilitate coordination in high spectrum use areas” [11]

Este reporte elaborado por la unión internacional de comunicaciones en el año 2005, toma como referencia al documento analizado en la sección previa. Basado en las definiciones de uso y eficiencia espectral dadas en la Recomendación UIT-R SM.1046-1, considera a la potencia de ruido radiada como interferencia que “deniega” el acceso al espectro por parte de otros servicios. Esta denegación espectral puede calcularse como

$$U = B.S$$

Siendo:

U: producto del área por ancho de banda, o sea el espacio espectral ocupado por un sistema del servicio fijo y denegado a otros servicios, medido en MHz.m².;

B: ancho de banda de radio frecuencia del sistema, expresado en MHz.

S: área geográfica, expresada en m², donde el espectro es potencialmente denegado.

Tratándose de sistemas co-canales y de anchos de banda arbitrarios, sólo el término S resulta de interés en el estudio, siendo un contorno geográfico de densidad de potencia análogo a un área de coordinación en la cual un sistema es susceptible a emisiones interferentes. Esta señal indeseada es función de las ganancias en el plano acimutal, las componentes co-polar y polar-cruzada, la distancia radial entre los sistemas y las pérdidas adicionales por obstrucción del trayecto.

Se reconoce que muchos parámetros del servicio fijo pueden ser aproximados por la Recomendación UIT-R F.758-3 [10], siendo en cambio los patrones de radiación de antenas sujeto de grandes desvíos entre diferentes modelos. Antenas directivas con alta discriminación

fuera del eje reducirán la interferencia y consecuentemente el área S, aumentando la capacidad de reúso del espacio espectral disponible.

Tras presentar los diferentes tipos de antenas comerciales y sus RPE, el documento presenta la simulación efectuada por el método de Monte Carlo ya descrito, adjuntando las tablas con los puntajes obtenidos para cada diámetro y tipo de antena en las bandas de 7,5, 11 y 13 GHz, analizando 141, 58 y 94 modelos por banda respectivamente. Dado que existen varios modelos para una misma apertura y tipo de antena, se muestran los puntajes mínimo, máximo, medio y el desvío estándar. Las conclusiones arribadas tras el estudio ya han sido enumeradas en la sección anterior, al igual que las limitaciones e identificación de desarrollos futuros.

No obstante, el anexo 1 de este reporte describe con amplio detalle la metodología de simulación por Monte Carlo, con la descripción y el diagrama de flujo del algoritmo, el cual se presenta a modo de referencia y para posteriores desarrollos en la Figura 31. También se describe el cálculo de la señal interferente en el receptor víctima, según el modelo de propagación de espacio libre, y con parámetros de RF recomendados en [10] (ancho de banda, potencia de transmisión, pérdida de alimentador, longitud media de trayecto, figura y piso de ruido, y nivel de interferencia aceptable).

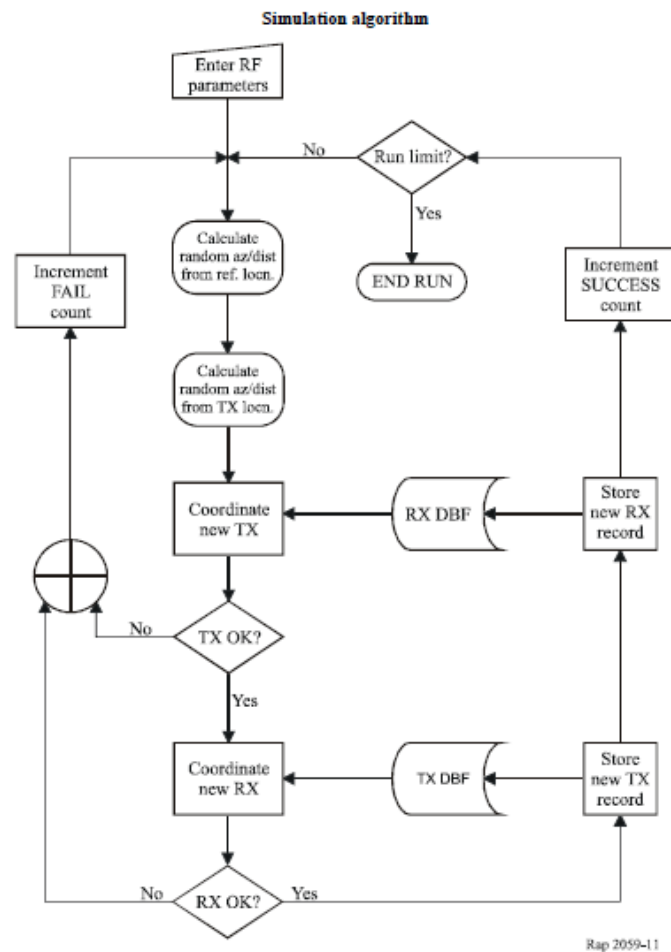


Figura 31. Algoritmo de simulación por el método de Monte Carlo (extraído de [10][11]).

6.2. Definición de la metodología de cálculo automatizado de Compatibilidad Electromagnética y simulación de eficiencia espectral por antena

Seguidamente se describirá el algoritmo cuyo diagrama de flujo se ilustra en la Figura 32.

La aplicación de la metodología de CEM requiere primeramente la definición de una banda de frecuencias F y un área geográfica A , cuadrada, de centro (x_0, y_0) y L km de lado, en cuyo interior hay K enlaces existentes originales.

Para cada una de las I antenas de referencia en la banda a analizar, la metodología propuesta consiste en intentar asignar J nuevos enlaces dentro de A , efectuando para esto un estudio de CEM con cada uno de los enlaces existentes, sean estos originales o nuevas asignaciones efectuadas.

Es decir, dada la i -ésima antena de referencia con sus correspondientes diagramas de radiación, el j -ésimo enlace es localizado aleatoriamente dentro de A , con polarización horizontal primeramente, y sometido al cálculo del margen de interferencia, conforme a la Directiva General DNRc 61, ante el k -ésimo enlace existente. Si este cálculo de interferencia resulta satisfactorio, el proceso se repite para todo valor de k . Si todos los cálculos de interferencia son satisfactorios, el j -ésimo nuevo enlace es asignado, incrementándose el contador de éxitos de la i -ésima antena, e_i , e incorporando dicho enlace a la base de datos de enlaces existentes, la cual posee tamaño $K + e_i$.

Si por el contrario, el j -ésimo nuevo enlace es interferente con al menos un enlace existente, se cambiará su polarización a vertical, repitiéndose el cálculo del margen de interferencia. Si la interferencia persiste, su asignación no es posible y el contador de éxitos e_i no se incrementará.

Aquí es importante destacar el hecho de que cada asignación exitosa sea incorporada a la base de datos de enlaces existentes. Esto permite simular el crecimiento (y congestión) de la banda de frecuencias F en el área geográfica A , poniéndose de manifiesto el desempeño de la antena en lo que respecta a uso y eficiencia espectral.

Posteriormente, se incrementa el valor de j , para un nuevo intento de asignación, repitiéndose el proceso del párrafo anterior. El cálculo de CEM ante los enlaces interferentes incluye tanto a los K originales como a las e_i nuevas asignaciones exitosas. Una vez j supera su máximo, J , se habrá finalizado el ensayo de eficiencia de la i -ésima antena, almacenándose para ella el valor de e_i obtenido.

Luego el índice i es incrementado, es decir, se procede al ensayo de la siguiente antena de referencia. Previo a todo nuevo intento de asignación, se debe reestablecer la base de datos de enlaces existentes a su tamaño original K , conteniendo sólo los enlaces originales. Las asignaciones efectuadas con la antena de referencia anterior son descartadas.

Nota: Los enlaces existentes originales pueden encontrarse total o parcialmente dentro del área A , ya que puede darse la situación que una estación se encuentre fuera y la otra dentro. No obstante, la metodología definida en [12] implica el cálculo del enlace interferente entre ambas estaciones individuales de cada enlace.

Cabe destacarse que el diagrama de flujo de la Figura 32 tiene por objeto describir conceptualmente la metodología de simulación, y no representa necesariamente los ciclos ni las variables reales de la programación.

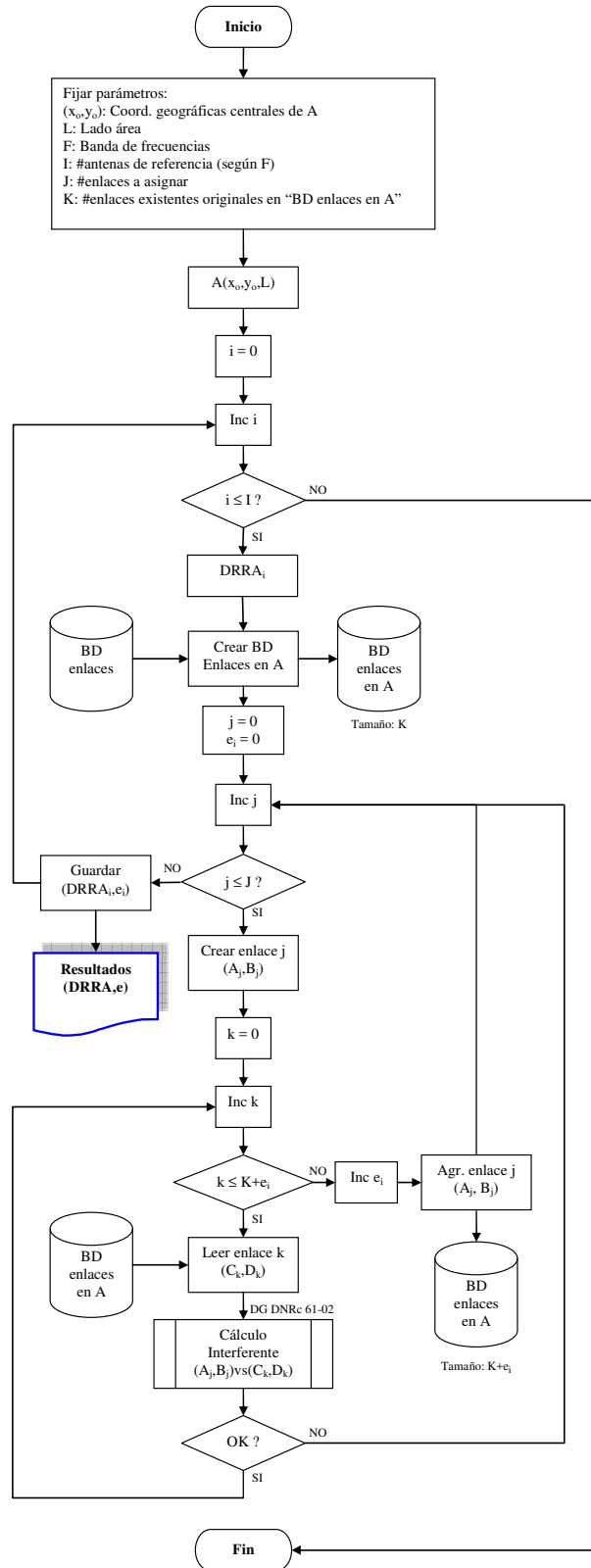


Figura 32. Diagrama de flujo de la metodología de simulación.

6.3. Directiva General DNRc 61-02

La Directiva General DNRc. 61-02 [12] establece la planilla de datos para la gestión de trámites de asignación o reserva de frecuencias para sistemas pertenecientes al servicio fijo que operan en frecuencias superiores a 1000 MHz, y la metodología de cálculo de radioenlace interferente, para analizar si dicha asignación es técnicamente factible. Una asignación o reserva de frecuencias es técnicamente factible sólo cuando, para una dada frecuencia, los niveles de interferencia que coloque la nueva estación sobre las estaciones existentes, y los que éstas coloquen sobre la nueva, tomadas individualmente, no superen los máximos niveles de interferencia establecidos en la misma norma.

A este último fin, se provee la planilla de cálculo de radioenlace interferente, la cual considera una estación transmisora (interferente) y una estación receptora (interferida), y el caso inverso entre ambas, por lo cual deben considerarse todas las combinaciones de interferencia posibles entre las estaciones del enlace a asignar (A y B) y el enlace existente (C y D), es decir:

1. Enlace interferente A - C
 - a. A (interferente) transmite e interfiere a C (interferida)
 - b. C (interferente) transmite e interfiere a A (interferida)
2. Enlace interferente A - D
 - a. A (interferente) transmite e interfiere a D (interferida)
 - b. D (interferente) transmite e interfiere a A (interferida)
3. Enlace interferente B - C
 - a. B (interferente) transmite e interfiere a C (interferida)
 - b. C (interferente) transmite e interfiere a B (interferida)
4. Enlace interferente B - D
 - a. B (interferente) transmite e interfiere a D (interferida)
 - b. D (interferente) transmite e interfiere a B (interferida)

Para cada combinación y su trayecto debe obtenerse la atenuación neta no excedida durante el 20% del tiempo, la cual se compone de:

- Atenuación de espacio libre.
- Atenuación de alimentadores.
- Pérdida de filtros y conectores.
- Ganancias de las antenas:
 - En polarización principal.
 - En polarización cruzada.
 - Discriminación por polarización cruzada.
- Atenuación por obstrucción no excedida durante el 20% del tiempo.
- Factor de reducción de interferencia (Curvas alfa).

La señal interferente es calculada como el balance de potencias entre el transmisor interferente y la atenuación neta del trayecto. Finalmente, el margen de interferencia, $M(\text{dB})$,

es la diferencia entre la señal interferente máxima indicada en la Directiva, y la señal interferente excedida durante el 20% del tiempo. Para que el enlace interferente bajo estudio sea satisfactorio, debe asegurarse $M(\text{dB}) > 0$.

En la aplicación de la metodología descripta en la sección anterior, se supone lo siguiente:

1. Parámetros tales como potencia de transmisor, longitud típica del enlace, anchuras de banda, atenuaciones de alimentadores, etc. serán extraídos de [10].
2. La frecuencia tentativa del sistema a asignar será determinada como la frecuencia central de las antenas de referencia.
3. No se calculará la atenuación por obstrucción. Dicha suposición radica en el hecho de que se requiere evaluar la eficiencia espectral de cada antena de referencia que opera en la banda de frecuencias F , independientemente de atenuaciones adicionales no controladas. Por consiguiente, no es deseable que la topografía del terreno, variable con la posición de cada nuevo enlace, pueda llegar a ejercer una influencia diferente en el margen de interferencia de un enlace por sobre otro.

6.4. Análisis de las bases de datos de estaciones que operan en frecuencias superiores a 1000 MHz

En el sitio web de la Comisión Nacional de Comunicaciones, www.cnc.gov.ar, se encuentra disponible la base de datos con los registros de asignaciones de frecuencias del servicio fijo terrestre por encima de 1 GHz. A la fecha del 09/04/2014, esta base de datos contiene 62310 estaciones registradas.

6.4.1. Estudio preliminar

En el archivo [Análisis BD estaciones.xls](#) se encuentran todos estos registros, y se analiza la distribución espectral y geográfica de las estaciones.

La Figura 33 muestra la distribución de las estaciones por banda de frecuencias. Puede observarse que las tres bandas con mayor cantidad de estaciones son las codificadas como “231”, “58” y “22”.

Desde el punto de vista de la cantidad y variedad de antenas comerciales y disponibles, las bandas “58” y “22” resultan de mayor interés. Recuérdese para esto la estadística presentada en 5.3.5.

La Figura 34 muestra la distribución de estas estaciones a lo largo del territorio nacional para la banda “22” (2300 – 2500 MHz).

La Figura 35 muestra la distribución de estas estaciones a lo largo del territorio nacional para la banda “58” (5200 – 5900 MHz).

Ambas figuras dan una idea aproximada de las regiones de mayor densidad de enlaces radioeléctricos, en las cuales lograr una alta eficiencia espectral resulta un factor crítico en nuevas asignaciones.

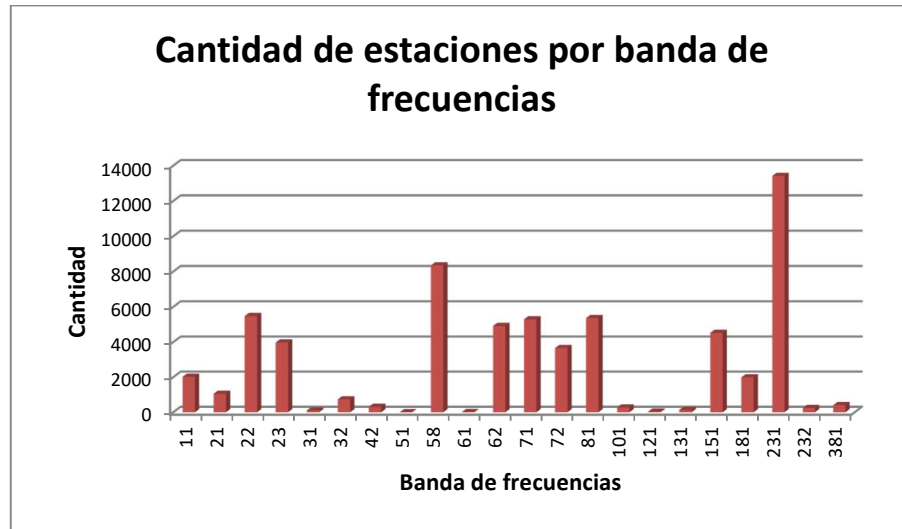


Figura 33. Distribución de estaciones por banda de frecuencias.

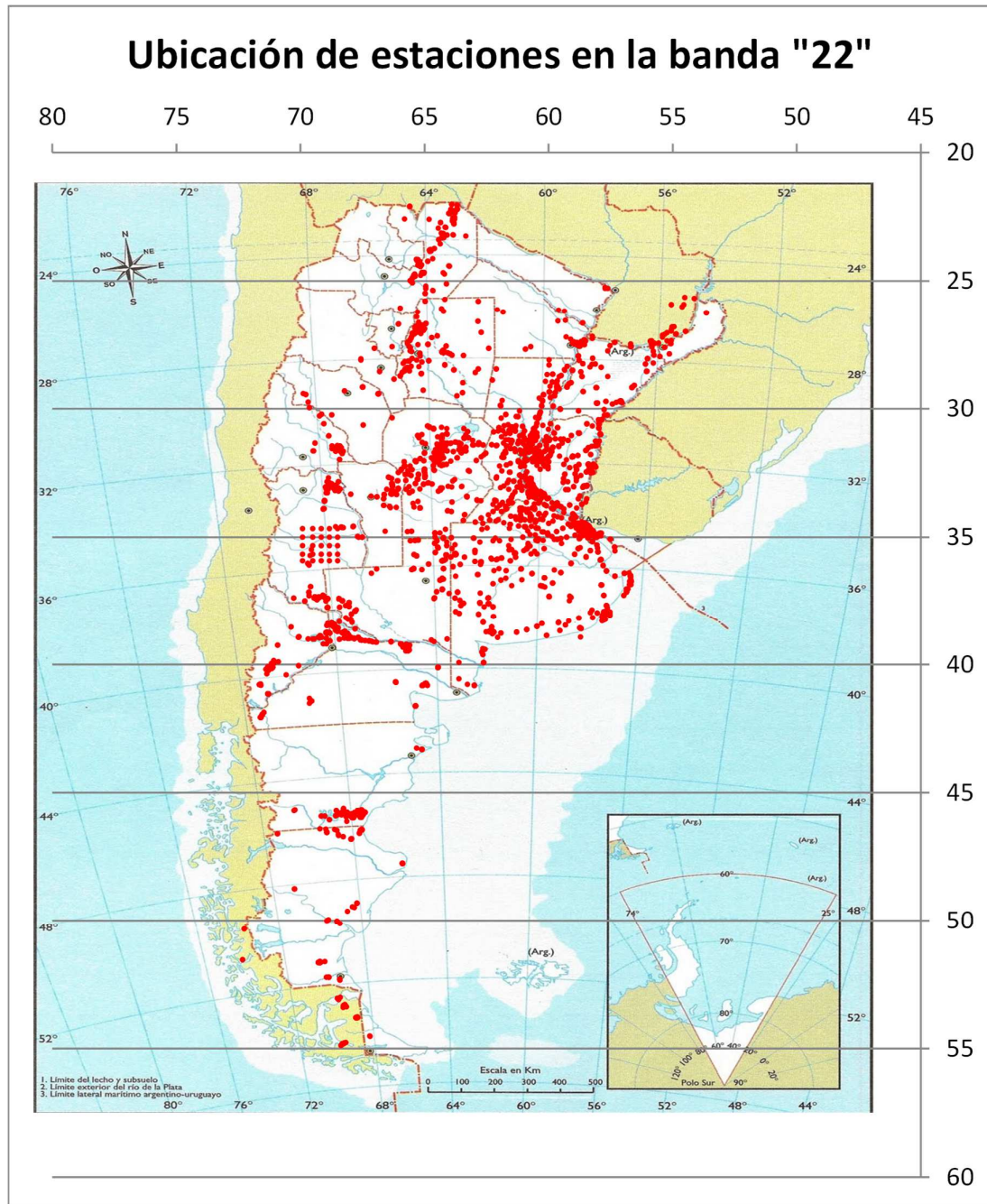


Figura 34. Distribución geográfica de estaciones en la banda "22".

6.4.2. Selección de la banda de frecuencias a estudiar y normalización de la base de datos

La banda de frecuencias sobre la cual se decide abordar el estudio de eficiencia espectral es la denominada "22" (2300 – 2500 MHz) ya que en ella es posible encontrar antenas comerciales de las cinco calidades definidas en la presente Tesis.

Esta base de datos proporciona, para cada estación, parámetros indispensables a la hora de efectuar las simulaciones, tales como

- Frecuencias de transmisión (FT) y recepción (FR)
- Coordenadas geográficas: Longitud (LON) y Latitud (LAT)
- Anchura de banda (BN)
- Atenuación total del sistema alimentador (AAL)
- Acimut de máxima radiación (ACU),
- Tipo de antena (TA), marca (MMA) y modelo (MMA2)
- Potencia de transmisión (PTX)
- Potencia interferente máxima (PIM)
- Polarización (POL)

No obstante, puede observarse que los campos TA, MMA y MMA2 no se encuentran mayormente estandarizados, y si bien varios tipos de antenas han sido unívocamente codificadas, otras poseen datos incompletos y no puede determinarse con exactitud sus dimensiones, la ganancia, etc.

Además, una gran cantidad de antenas en esta banda de frecuencias son paneles, diedros, dipolos o Yagis, para las cuales no será posible disponer de un diagrama de radiación real o de referencia.

En todos estos casos, y dado que la mayoría de las antenas de reflector parabólico especificadas corresponden al tipo grillado con reflector de 1 m de diámetro, se ha tomado la convención de reemplazar todos los casos de incertidumbre por este mismo tipo de antena.

De este modo, conocido el tipo y diámetro de la antena parabólica de cada estación, más su frecuencia y polarización con que opera el enlace, el diagrama de radiación de referencia será generado con la función definida en 5.5.

6.5. Implementación de la metodología

En el archivo [Eficiencia espectral.xls](#) se encuentra implementada la metodología definida en la sección 6.2.

Para ello, el archivo consta de las siguientes solapas:

- **BD enlaces:** Contiene la base de datos de todas las estaciones radioeléctricas proporcionadas por la CNC en la banda de frecuencias bajo estudio.
- **BD enlaces A:** Contiene la base de datos de las estaciones radioeléctricas que, por su latitud y longitud, se hallan comprendidas dentro de la región A. Asimismo, en esta base de datos se incorporan aquellos enlaces cuya asignación resulta satisfactoria durante el proceso de simulación.

- **Antenas:** Contiene el listado de las antenas y sus diagramas de radiación de referencia, a ser considerados durante el proceso de simulación. La información relativa a cada antena y diagrama son:
 - Tipo
 - Banda de frecuencias (código, frecuencia inferior, central y superior)
 - Diámetro
 - Código de antena
 - Sub-código de DRRA
- **Control:** Permite seleccionar los diversos parámetros para llevar adelante el proceso de simulación, tales como:
 - Coordenadas del área bajo estudio A
 - Cantidad de intentos de asignaciones por antena
 - Parámetros radioeléctricos del enlace a asignar
- **Resultados:** en esta solapa, similar a “Antenas”, se vuelcan para cada antena y DRRA los resultados del proceso de simulación:
 - Cantidad de éxitos
 - Cantidad de fracasos
 - Eficiencia

6.6. Ejemplo de ejecución de la metodología para la banda F

6.6.1. Datos geográficos

A modo de ejemplo, los cálculos de simulación fueron efectuados en el área A cuyas coordenadas centrales son

- **Latitud:** 31° 38' 35" S
- **Longitud:** 60° 42' 18" O
- **Localidad:** Rosario.
- **Provincia:** Santa Fe.
- **Estaciones existentes:** 106

6.6.2. Parámetros radioeléctricos del enlace a asignar

- **Ancho de banda:** 2 MHz.
- **Atenuación del alimentador:** 2 dB.
- **Pérdidas en conectores y filtros:** 1 dB.
- **Potencia de transmisión para 24 dBi:** 30 dBm.
- **Potencia interferente máxima:** -80 dBm.

6.6.3. Resultados

En la última columna de la solapa Resultados se aprecia el índice de eficiencia espectral para cada tipo y diámetro de antena que opera en la banda F, calculado como el cociente entre los

enlaces exitosamente asignados y el total de intentos de asignación. La Tabla 8 y la Figura 36 consignan el total de los resultados obtenidos.

Tabla 8. Resultados de la simulación.

Tipo	Banda	Diámetro (m)	Código antena	Intentos	Éxitos	Fracasos	Eficiencia
U	F	2,4	FARU2401	1000	18	982	0,018
U	F	3	FARU3001	1000	17	983	0,017
U	F	3,6	FARU3601	1000	21	979	0,021
A	F	1,2	FARA1201	1000	1	999	0,001
A	F	1,8	FARA1801	1000	6	994	0,006
A	F	2,4	FARA2401	1000	6	994	0,006
A	F	3	FARA3001	1000	9	991	0,009
A	F	3,6	FARA3601	1000	6	994	0,006
E	F	0,6	FARE0601	1000	0	1000	0
E	F	0,9	FARE0901	1000	0	1000	0
E	F	1,2	FARE1201	1000	0	1000	0
E	F	1,8	FARE1801	1000	1	999	0,001
E	F	2,4	FARE2401	1000	3	997	0,003
E	F	3	FARE3001	1000	8	992	0,008
E	F	3,6	FARE3601	1000	8	992	0,008
G	F	0,6	FARG0601	1000	0	1000	0
G	F	0,9	FARG0901	1000	0	1000	0
G	F	1,2	FARG1201	1000	0	1000	0
G	F	1,8	FARG1801	1000	0	1000	0
G	F	2,4	FARG2401	1000	5	995	0,005
G	F	3	FARG3001	1000	15	985	0,015
G	F	3,6	FARG3601	1000	26	974	0,026
G	F	3,9	FARG3901	1000	31	969	0,031
F	F	1,2	FARF1201	1000	2	998	0,002
F	F	1,8	FARF1801	1000	5	995	0,005
F	F	2,4	FARF2401	1000	9	991	0,009
F	F	3	FARF3001	1000	11	989	0,011
F	F	3,6	FARF3601	1000	19	981	0,019

A modo de propuesta, se fija un índice de eficiencia espectral umbral definido como el valor medio de los índices mínimo y máximo obtenidos. El valor medio arribado en el ejemplo es 0,0155. Puede adoptarse dicho umbral como criterio de requisito mínimo de desempeño, de forma tal que todos aquellos tipos y diámetros de antena, cuyo índice supere al umbral, resulten de aceptación para ser utilizadas en la banda bajo estudio. En la Tabla 8, tales antenas han sido identificadas en verde.

Este criterio es, precisamente, el que se adopta para establecer y estandarizar los requisitos mínimos de desempeño del documento normativo desarrollado en la siguiente sección.

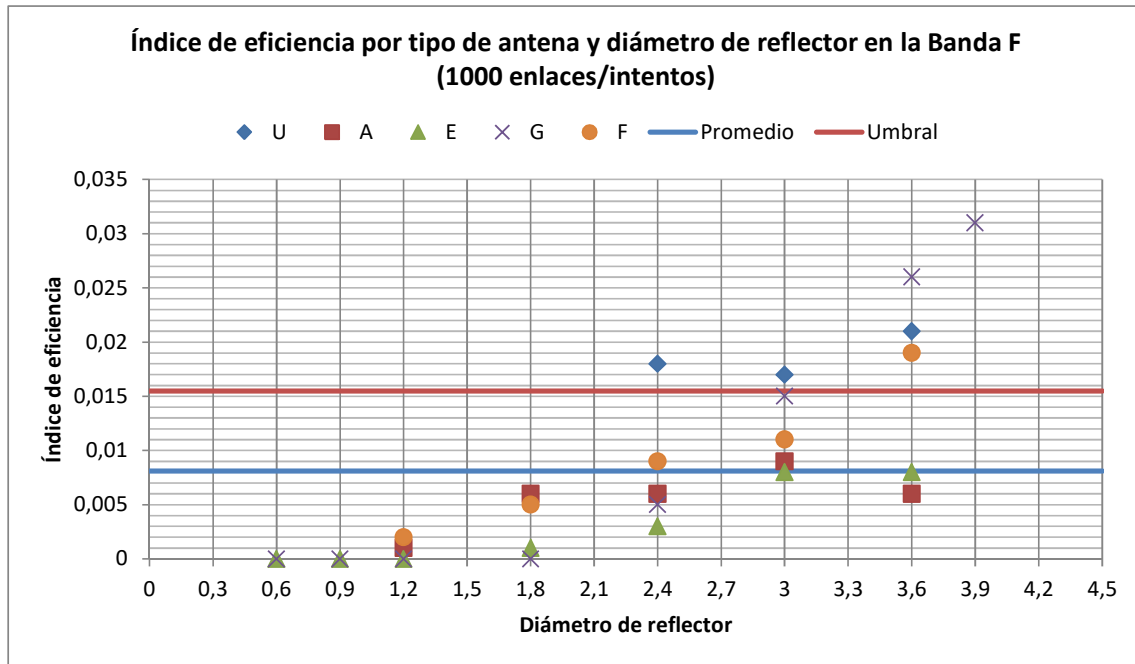


Figura 36. Resultados de la simulación.

6.7. Conclusiones

En la presente fase se ha definido una metodología de simulación de enlaces interferentes que permite evaluar y comparar el desempeño de diferentes tipos y dimensiones de antenas, en términos de aprovechamiento y reutilización espectral.

Esta metodología es muy similar a la empleada en los documentos de referencia, [9] y [11], no obstante se ha avanzado un paso más, tal como los mismos proponen. Se ha considerado la pre-existencia de enlaces reales, para lo cual se recurrió a las bases de datos públicas de la CNC, lográndose de esta manera contemplar un escenario heterogéneo de antenas y demás parámetros radioeléctricos.

Este estudio tiene por objeto analizar el comportamiento de diferentes antenas. No obstante, se propone su utilización por parte de quienes realizan tareas de planeamiento y gestión del espectro radioeléctrico, ya que permite llevar adelante estudios de tendencia de ocupación en función de las antenas que los licenciarios empleen, al mismo tiempo que permite fijar requisitos mínimos de antenas en la búsqueda del mayor aprovechamiento de este recurso.

6.8. Desarrollos futuros

La metodología propuesta busca analizar y comparar la performance de una gran cantidad de antenas de referencia, y la ejecución de las simulaciones conlleva una gran cantidad de tiempo de procesamiento. No obstante, se sugieren las siguientes acciones a modo de mejoras futuras:

1. Incorporar al cálculo automatizado, no sólo antenas de referencia sino también antenas reales. De este modo, la metodología puede ser aplicada para evaluar el potencial desempeño espectral de una nueva antena durante su proceso de homologación.
2. Los resultados son variables de una corrida a otra. Se sugiere repetir 100 veces cada serie de 1000 intentos de asignación por antena, y obtener un índice de eficiencia espectral medio y su desvío. Por razones de tiempo de simulación, esta opción fue evaluada pero no llevada adelante.

3. Extender el estudio de la banda F a todas las bandas de frecuencias comprendidas entre 335 y 59000 MHz.
4. Incorporar al cálculo automatizado un Modelo de Elevación Terrestre Digital, con información georreferenciada de cotas altimétricas, para evaluar el desempeño de una o varias antenas en determinadas condiciones geográficas reales. Debe considerarse en tal caso, la ejecución de los cálculos pertinentes de atenuación por obstáculos y los modelos de propagación correspondientes.

Página dejada intencionalmente en blanco

7. Documento normativo: Norma técnica para homologación/certificación, selección y utilización de antenas

7.1. Partes 1, Generalidades, y 2, Homologación/certificación de antenas

El objetivo de esta tarea es elaborar y proponer un documento o marco normativo que pudiera ser de utilidad para llevar adelante un proceso de homologación de antenas para el servicio fijo Punto a Punto, similar a los existentes en algunos países como ser Estados Unidos, Brasil, Australia, y en la Unión Europea, entre otros.

La homologación de antenas requiere indispensablemente de una norma técnica que establezca los aspectos técnicos a ser cumplidos, procesos estandarizados de medición y procedimientos administrativos y de gestión de la información; en los países de referencia suelen abarcar las características de radiación o eléctricas, características ambientales, ensayos de medición, formularios a presentar ante la Autoridad Regulatoria, etc.

7.1.1. Análisis comparativo de los estándares existentes

En forma preliminar al desarrollo del documento propuesto, es conveniente realizar un estudio comparativo de las normas técnicas de cada país, a los efectos de identificar los aspectos esenciales que deberían estar incluidos en la propuesta, como así también prever posibles convenios de reconocimiento mutuo con antenas certificadas u homologadas en los países que ya cuentan con estándares propios.

Los organismos consultados en cada país son:

➤ **Australia**

- Australian Communications and Media Authority (ACMA)
- www.acma.gov.au

➤ **Brasil:**

- Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel)
- www.anatel.gov.br

➤ **Estados unidos**

- Federal Communications Commission (FCC)
- www.fcc.gov

➤ **Union Europea**

- European Telecommunications Standards Institute (ETSI)
- www.etsi.org

La Tabla 9 presenta el estudio comparativo de toda la normativa citada, identificando cuáles son los aspectos cubiertos por cada uno de ellas. No se ahonda en los detalles particulares ni valores establecidos por ellas debido a la extensión que documental que esta tarea implicaría, sin embargo serán evaluados y tomados en consideración para el desarrollo propio.

En algunos casos, estas normas hacen referencia a otros estándares dictados por organismos competentes, y que también son tomados en consideración para el desarrollo propio. Así por ejemplo, existen dos estándares ampliamente difundidos para llevar a cabo los ensayos de medición de antenas:

➤ **Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)**

- 149-1979: IEEE Standard Test Procedures for Antennas (versión 2002) [13]

➤ **International Electrotechnical Commission**

- IEC 60835-2-2 (1994): "Methods of measurement for equipment used in digital microwave transmission systems - Part 2: Measurements on terrestrial radio-relay systems - Section 2: Antenna". [14]

Tabla 9. Comparación de la normativa de certificación de antenas.

	Australia	Brasil	EEUU	Europa
Organismo regulador	ACMA	ANATEL	FCC	ETSI
Norma técnica	RALI FX3 [15]	Res. 609 [16]	Title 47 §101.115 [17]	EN 301 217 4-1 [18] EN 301 217 4-2 [19]
Año	2008	2013	N/D	2010
Frecuencia				
Rango de frecuencias	1,5 – 50 GHz	138 MHz – 86 GHz	932,5 – 95000 MHz	1 – 86 GHz
Cantidad de bandas	17	9	24	8
Características eléctricas				
Ganancia	Si	Si	Si	Si
Categorización	Si	Si	Si	Si
Ancho de haz	Si	Si	Si	Si
Relación frente a espalda	SI	Si	Si	Si
XPD	No	Si	No	Si
DRA Co-polar	Si	Si	Si	Si
DRA Polar-cruzado	Si	Si	No	Si
ROE	No	No	No	Si
Aislación entre puertos	No	No	No	Si
Pérdida de retorno	No	No	No	Si
Conectores				
Estándar	No	No	No	IEC 60154-1/2 IEC 60169-1
Ensayos de medición				
Estándar	No	IEEE 149-1979 [13]	No	EN 301 126 3-1 (IEC 60835-2-2 [14])
Características ambientales				
Temperatura	No	Si	No	Si
Humedad	No	No	No	Si
Presión	No	No	No	No
Velocidad del viento	No	Si	No	Si
Carga de hielo	No	No	No	Si
Corrosión	No	No	No	No
Lluvia	No	Si	No	No
Agentes biológicos y UV	No	Si	No	No
Formularios				
Contenido	No	DRA	No	Decl. fabricante Informe de ensayo

7.2. Parte 3, Selección y utilización de antenas

La Fase de estudio 2 pone de manifiesto cómo ciertos tipos de antenas de reflector parabólico, con sus diámetros correspondientes, contribuyen a aumentar la eficiencia espectral a partir de una mayor reutilización de frecuencias. Esto significa que algunas antenas permiten la asignación de una mayor cantidad de radioenlaces, en una región geográfica, que otras.

Es de interés para una Autoridad Regulatoria del espectro radioeléctrico, recurso finito y agotable, asegurar en ciertas bandas de frecuencias cuyo uso aumenta radicalmente, la mayor disponibilidad y aprovechamiento posibles. Habiéndose demostrado entonces la correlación de las antenas y la eficiencia espectral, se propone como tercera parte del documento normativo, establecer para cada banda de frecuencias el tipo de antena y el diámetro mínimo de reflector parabólico a ser utilizado en un enlace radioeléctrico real.

Los valores de índices de eficiencia espectral tomados como punto de partida son los obtenidos en 6.6.3, al igual que el valor umbral allí propuesto.

7.3. Documento normativo propuesto, comentarios y observaciones

A partir de los antecedentes normativos estudiados, su análisis comparativo y los diagramas de radiación de referencia obtenidos en la sección 5.5, sumado a los resultados de la sección 6.6.3, es posible elaborar el documento normativo que pasa a constituir la presente Tesis, resultando tal como aparece en las páginas siguientes.

Vale destacar que el documento propuesto representa tan sólo un proyecto a modo de ejemplo de desarrollo y no pretende cubrir integralmente todas las bandas de frecuencias relevadas, por lo que se presentarán los valores normados para la banda F, de 2100 a 2700 MHz.

También por tratarse de un proyecto que forma parte integral de una Tesis, no pretende cubrir todos los pasos procedimentales que una norma de este tipo requeriría, como ser su sometimiento a consideración de diferentes actores afectados por el estándar: fabricantes, proveedores, importadores, personal de Laboratorios de medición, Autoridades Regulatorias, otros profesionales del sector, etc. No obstante, se incluyen entre corchetes, [], diferentes comentarios aclaratorios, interpretativos, etc.

Otro factor a considerar en la implementación real de este proyecto de norma, es el estudio minucioso de los estándares internacionales que han sido tomados como referencia, a los efectos de identificar posibles acuerdos de aceptación de productos certificados bajo los mismos.

NORMA TÉCNICA [PROYECTO]

REQUISITOS TÉCNICOS DE HOMOLOGACIÓN, SELECCIÓN Y UTILIZACIÓN DE ANTENAS DIRECTIVAS DE REFLECTOR PARABÓLICO QUE OPERAN EN LAS BANDAS DE FRECUENCIAS DE 335 MHZ A 59000 MHZ

PARTE I. DISPOSICIONES GENERALES

I.1. Alcance

La presente Norma Técnica es de aplicación a las antenas directivas de reflector parabólico que operan en las bandas de frecuencias comprendidas entre 335 y 59000 MHz, con polarización lineal, a ser empleadas en enlaces Punto a Punto del Servicio Fijo Terrestre.

I.2. Definiciones, abreviaturas y símbolos

I.2.1. Definiciones

Aislación entre puertos: Relación en dB del nivel de potencia aplicado a un puerto de una antena multi-puerto al nivel de potencia recibido en cualquier otro puerto de la misma antena, como función de la frecuencia.

Alimentador: Radiador primario.

Ancho de banda: Rango de frecuencias en el cual el rendimiento de la antena, respecto a alguna característica, cumple un estándar especificado.

Ancho de haz de potencia mitad: En un corte del diagrama de radiación que contenga la dirección del máximo de un lóbulo, ángulo entre las dos direcciones en las cuales la intensidad de radiación es un medio el valor máximo.

Antena con reflector: Antena consistente de una o más superficies reflectoras, y un sistema alimentador radiante (receptor).

Antena directiva: Antena con la propiedad de radiar o recibir ondas electromagnéticas más eficientemente en algunas direcciones que en otras.

Antena: Parte de un sistema transmisor o receptor diseñado para radiar o recibir ondas electromagnéticas.

Conjunto log-periódico: Clase de antenas con una geometría estructural tal que su impedancia de entrada y características de radiación se repiten periódicamente con el logaritmo de la frecuencia.

Co-polarización: Polarización deseada radiada (recibida) por la antena.

Corte del diagrama de radiación: Cualquier camino o superficie sobre el cual es obtenido el diagrama de radiación.

Diagrama de directividad de una antena: Curva que representa, en coordenadas polares o cartesianas, una cantidad proporcional a la ganancia de una antena en las diversas direcciones de un plano o de un cono determinados.

Diagrama de directividad horizontal: Diagrama de directividad de una antena en un plano horizontal determinado.

Diagrama de directividad vertical: Diagrama de directividad de una antena en el plano vertical determinado.

Diagrama de radiación de campo lejano de radiación: Cualquier diagrama de radiación obtenido en el campo lejano de la antena.

Diagrama de radiación polar-cruzado: Diagrama de radiación correspondiente a la polarización ortogonal a la co-polarización.

Diagrama de radiación: Distribución espacial de una cantidad que caracteriza el campo electromagnético generado por una antena.

Diagrama de radiación co-polar: Diagrama de radiación correspondiente a la co-polarización.

Discriminación por polarización cruzada: Para una onda radioeléctrica emitida con una polarización dada, relación, en el punto de recepción, entre la potencia recibida con la polarización prevista y la potencia recibida con la polarización ortogonal.

Eje del haz: Dirección, en el lóbulo mayor de una antena directiva, para la cual la intensidad de radiación es máxima.

Elemento reflector: Elemento parásito localizado en otra dirección (no hacia adelante) del elemento activo de una antena, con la finalidad de incrementar la directividad de la antena hacia adelante.

Ganancia: Relación generalmente expresada en decibelios, que debe existir entre la potencia necesaria a la entrada de una antena de referencia sin pérdidas y la potencia suministrada a la entrada de la antena en cuestión, para que ambas antenas produzcan, en una dirección dada, la misma intensidad de campo, o la misma densidad de flujo de potencia, a la misma distancia. Salvo que se indique lo contrario, la ganancia se refiere a la dirección de máxima radiación de la antena. Eventualmente puede tomarse en consideración la ganancia para una polarización especificada. Según la antena de referencia elegida se distingue entre:

a) la ganancia isótropa o absoluta (G_i) si la antena de referencia es una antena isótropa aislada en el espacio;

b) la ganancia con relación a un dipolo de media onda (G_d) si la antena de referencia es un dipolo de media onda aislado en el espacio y cuyo plano ecuatorial contiene la dirección dada;

Ganancia (en una dirección dada): Relación de la intensidad de radiación, en una dirección dada, a la intensidad de radiación que sería obtenida si la potencia aceptada por la antena fuese radiada isotrópicamente.

Ganancia relativa: Relación de la ganancia de una antena en una dirección dada y la ganancia de una antena de referencia.

Haz: El lóbulo mayor del diagrama de radiación de una antena.

Homologación: Verificación de que determinado equipo cumple con las normas técnicas correspondientes.

Lóbulo lateral: Lóbulo de radiación en cualquier otra dirección que el lóbulo mayor.

Lóbulo mayor o principal: Lóbulo de radiación conteniendo la dirección de máxima radiación.

Lóbulo menor: Cualquier lóbulo de radiación excepto el lóbulo mayor.

Onda plana polarizada horizontalmente: Onda plana cuyo vector de campo eléctrico está polarizado horizontalmente.

Onda plana polarizada linealmente: Onda plana cuyo vector de campo eléctrico está polarizado linealmente.

Onda plana polarizada verticalmente: Onda plana cuyo vector de campo eléctrico está polarizado verticalmente.

Onda plana: Onda en la cual la única dependencia espacial de los vectores de campo es a través de un factor exponencial común cuyo exponente es función lineal de la posición.

Polarización cruzada, transpolarización: Aparición, durante la propagación, de una componente de polarización ortogonal a la polarización prevista.

Polarización cruzada: En un plano específico conteniendo la elipse de polarización de referencia, polarización ortogonal a una polarización de referencia especificada.

Polarización de una antena: En una dirección dada desde la antena, polarización de la onda transmitida por la antena.

Radomo: Cubierta, usualmente con la finalidad de proteger una antena de los efectos ambientales, sin degradar su rendimiento eléctrico.

Región de campo lejano: Región del campo de una antena donde la distribución de campo angular es esencialmente independiente de la distancia desde un punto específico en la región de la antena.

Relación de onda estacionaria: Cociente entre las amplitudes máxima y mínima de la onda resultante en una línea de transmisión, por efecto de la interferencia constructiva y destructiva respectivamente, entre las ondas incidente y reflejada.

Relación frente a espalda: Relación de la directividad máxima de una antena y su directividad en una dirección especificada hacia atrás.

1.2.2. Abreviaturas

AB: Ancho de Banda

Cant.: Cantidad

DRA: Diagrama de Radiación de Antena

ETSI: European Telecommunications Standardization Institute

Id.: Identificador

IEC: International Electrotechnical Commission

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

NSMA: National Spectrum Managers Association

XPD: Discriminación de Polarización Cruzada

ROE: Relación de Onda Estacionaria

UV: Ultravioleta

I.2.3. Símbolos

°C: Grado Celsius

dB: Decibel

dBd: Decibel referido al dipolo de media onda

dBi: Decibel referido al radiador isotrópico

dBm: Decibel referido a 1 mW de potencia

kg: Kilogramo

kHz: Kilohertz

m: Metro

MHz: Megahertz

I.3. Bandas de frecuencias

El rango de frecuencias definido en el alcance de esta norma técnica se subdivide en 25 bandas, delimitadas por su frecuencia inferior y superior conforme a la tabla siguiente. Cada banda de frecuencias es identificada por una letra mayúscula.

Id. Banda	Frecuencia inferior (MHz)	Frecuencia central (MHz)	Frecuencia superior (MHz)
A	335	392,5	450
B	450	485	520
C	820	890	960
D	1270	1485	1700
E	1700	1900	2100
F	2100	2400	2700
G	3400	3800	4200
H	4200	4600	5000
I	5150	5450	5750
J	5750	6087,5	6425
K	6425	6762,5	7100
L	7100	7800	8500
M	10000	10850	11700
N	11700	12200	12700
O	12700	12975	13250
P	14200	15350	16500
Q	17300	18500	19700
R	21200	22400	23600
S	24250	25625	27000
T	27000	28250	29500
U	31000	32200	33400
V	37000	40250	43500
W	49200	50300	51400
X	51400	52000	52600
Y	54250	56625	59000

[Se adopta 59000 MHz como límite superior de la Norma Técnica, quedando la Banda Z reservada para extensiones futuras del alcance de la Norma Técnica.]

I.4. Categorías de antenas

A los fines de aplicación de los requisitos técnicos de esta norma, y obedeciendo a aspectos constructivos de las antenas directivas de reflector parabólico, se definen cinco categorías de antenas, conforme a la tabla siguiente.

Categoría	Descripción
U	Antena parabólica de Ultra Alta Performance
A	Antena parabólica de Alta Performance
E	Antena parabólica Estándar
G	Antena parabólica Grillada
F	Antena parabólica de Plano Focal

I.5. Diámetros de reflector

Los diámetros de reflector parabólico estandarizados en la presente norma, para los cuales quedan alcanzados las características de radiación y los criterios de selección de las antenas, son: 0,2 m; 0,3 m; 0,6 m; 0,8 m; 0,9 m; 1,2 m; 1,8 m; 2,4 m; 3 m; 3,6 m; 4,5 m.

I.6. Referencias

- [1] ETSI EN 302 217-4-2 V1.5.1 (2010-01): “Fixed Radio Systems; Characteristics and Requirements for Point-to-Point Equipment and Antennas”.
- [2] ETSI EN 302 217-4-1 V1.4.1 (2010-01): “Fixed Radio Systems; Characteristics and Requirements for Point-to-Point Equipment and Antennas”.
- [3] ETSI EN 301 126-3-1 V1.1.2 (2002-12): “Fixed Radio Systems, Conformance Testings; Part 3-1: Point-to-Point antennas; Definitions, general requirements and test procedures”.
- [4] ANEXO À RESOLUÇÃO Nº 609 ANATEL: “Norma para Certificação e Homologação de Antenas para Uso em Aplicações Ponto-a-Ponto”.
- [5] 149-1979: IEEE Standard Test Procedures for Antennas (2002).
- [6] IEC 60835-2-2 (1994): "Methods of measurement for equipment used in digital microwave transmission systems - Part 2: Measurements on terrestrial radio-relay systems - Section 2: Antenna".
- [7] NSMA Recommendation WG 16.99.50. “Antenna Systems – Standard Format for Digitized Antenna Patterns”. Working Group 16. NSMA. August 1999.

PARTE II. REQUISITOS Y CONDICIONES DE HOMOLOGACIÓN DE ANTENAS

II.1. Objetivo

El objetivo de la Parte II de la presente Norma Técnica es definir los requerimientos técnicos, mecánicos y ambientales, a ser cumplidos por las antenas directivas de reflector parabólico, con el propósito de llevar adelante el proceso de homologación de productos por parte de la Autoridad Regulatoria, de acuerdo a los procedimientos definidos también en esta norma y otros establecidos por dicha Autoridad.

II.2. Declaración de la banda de frecuencia de operación

Durante el proceso de homologación de antenas, el fabricante deberá declarar la banda de frecuencias, sus valores mínimo y máximo, y la frecuencia central de operación del producto bajo ensayo, y demostrar el total cumplimiento de los requisitos técnicos asociados a la banda en cuestión.

En el caso de que la banda de frecuencias de operación de una antena abarque más de una banda de frecuencias de I.3, la banda de frecuencias declarada por el fabricante será aquella que contenga a la frecuencia central de operación de la antena.

En el caso de que la frecuencia central de operación de una antena coincida con el valor límite entre dos bandas, la banda de frecuencias declarada por el fabricante será aquella cuya frecuencia central sea más cercana. De ser ambas equidistantes, se adoptará la de mayor valor.

II.3. Declaración de la categoría de la antena

Durante el proceso de homologación de antenas, el fabricante deberá declarar la categoría del producto bajo ensayo, y demostrar el total cumplimiento de los requisitos técnicos asociados a la categoría en cuestión.

II.4. Declaración del diámetro del reflector

Durante el proceso de homologación de antenas, el fabricante deberá declarar el diámetro del reflector parabólico del producto bajo ensayo, y demostrar el total cumplimiento de los requisitos técnicos asociados al diámetro en cuestión.

Serán de aceptación antenas cuyo diámetro de reflector difiera de los valores estandarizados. No obstante, las características de radiación a cumplir serán las correspondientes a la antena de diámetro inmediato inferior, de igual categoría y operando en la misma banda de frecuencias.

[De este modo, se impone el cumplimiento de las características de radiación menos restrictivas, propias de una antena de diámetro inferior]

II.5. Características eléctricas

II.5.1 Características de radiación

Las características de radiación son especificadas para cada una de las bandas de frecuencias definidas en el apartado I.3, para cada categoría de antena definida en el apartado I.4, y para cada diámetro de reflector alcanzado en el apartado I.5.

Las características de radiación y sus condiciones de cumplimiento son las siguientes:

- **Para co-polarización (H/H o V/V):**
 - **Envolvente de radiación:** En el plano horizontal, en la región angular comprendida por el haz principal de la antena, es decir dentro de la anchura del haz de potencia mitad, la ganancia de la antena, expresada en dBi, deberá ser superior a la del diagrama especificado para la polarización correspondiente. Fuera de esta región angular, la ganancia de la antena, expresada en dBi, deberá ser inferior a la del diagrama especificado para la polarización correspondiente.
 - **Ganancia máxima:** La ganancia máxima de la antena, expresada en dBi, deberá ser superior al valor especificado.
 - **Anchura de haz:** La anchura de haz de la antena, expresada en grados, deberá ser inferior al valor especificado para la polarización correspondiente.
- **Para polarización cruzada (H/V o V/H):**
 - **Envolvente de radiación:** En el plano acimutal, la ganancia de la antena, expresada en dBi, deberá ser inferior a la del diagrama especificado para la polarización correspondiente.
 - **Discriminación de Polarización Cruzada:** La Discriminación de Polarización Cruzada de la antena, expresada en dBi y calculada como la diferencia entre la ganancia máxima de la antena para co-polarización y la ganancia de la antena para polarización cruzada, ambas también en dBi, deberá ser superior al valor especificado.

II.5.1.1. Banda de frecuencias "A" (335 MHz a 450 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

II.5.1.2 Banda de frecuencias "B" (450 MHz a 520 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

II.5.1.3 Banda de frecuencias "C" (820 MHz a 960 MHz)

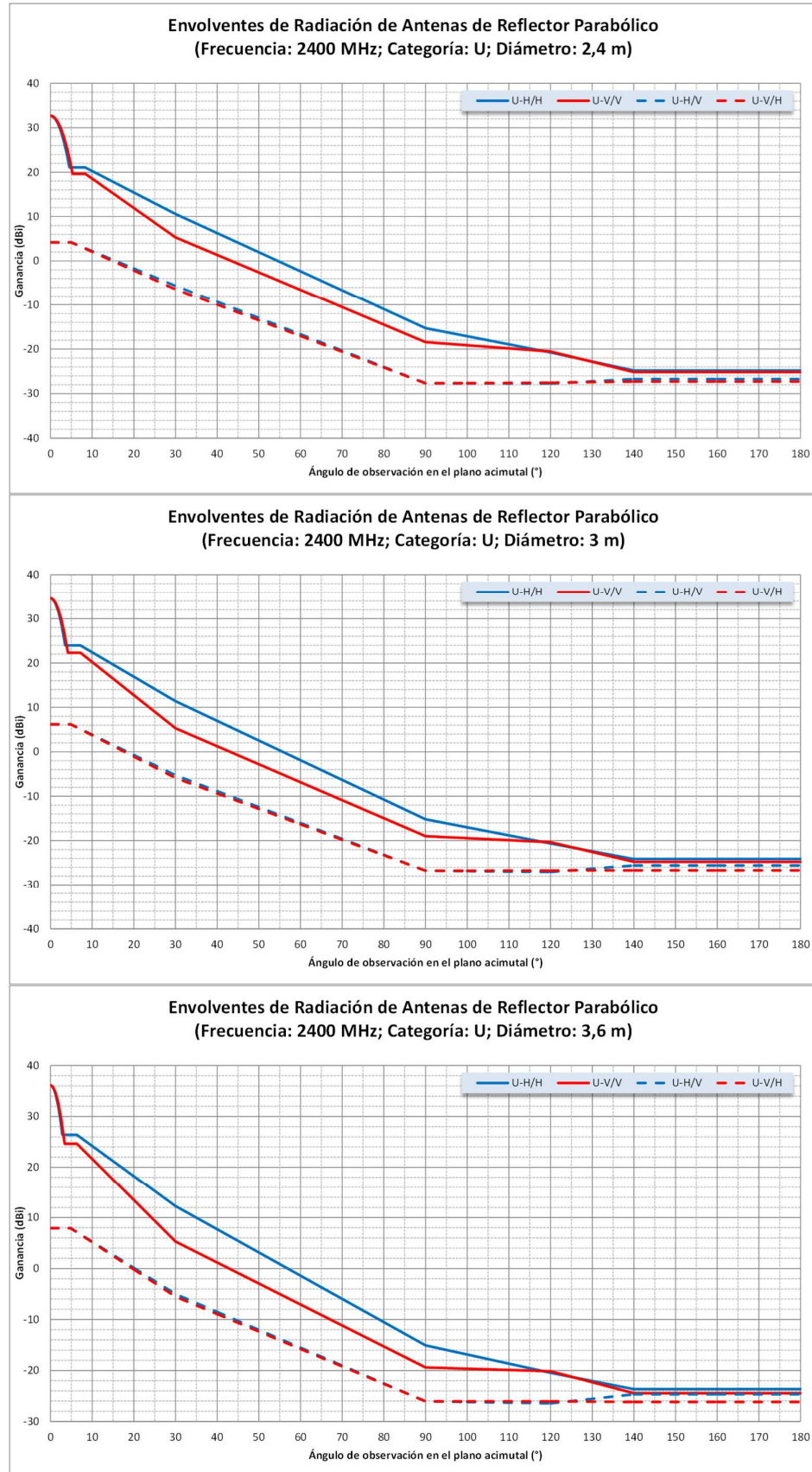
[No incluida en el presente proyecto]

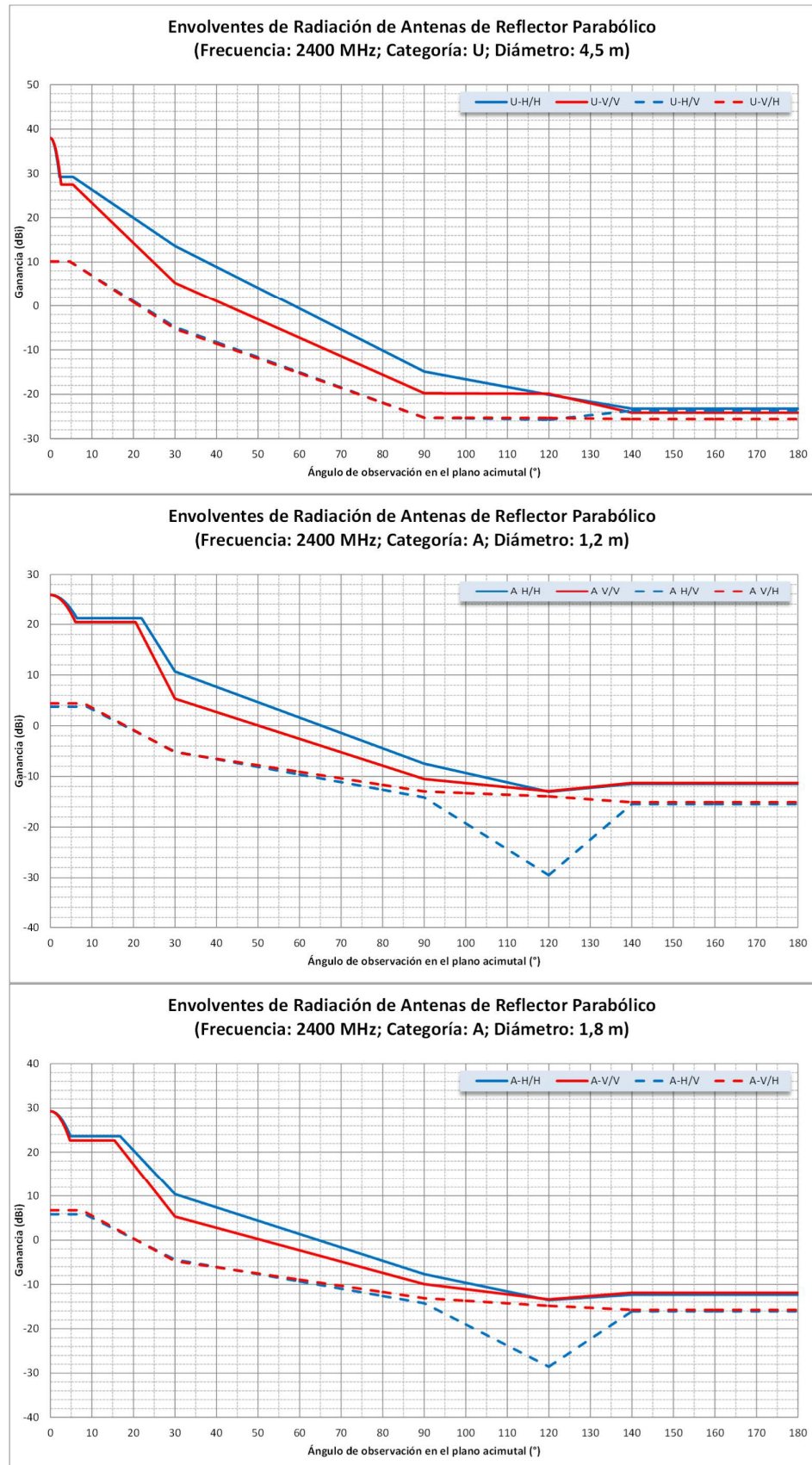
II.5.1.4 Banda de frecuencias "D" (1270 MHz a 1700 MHz)

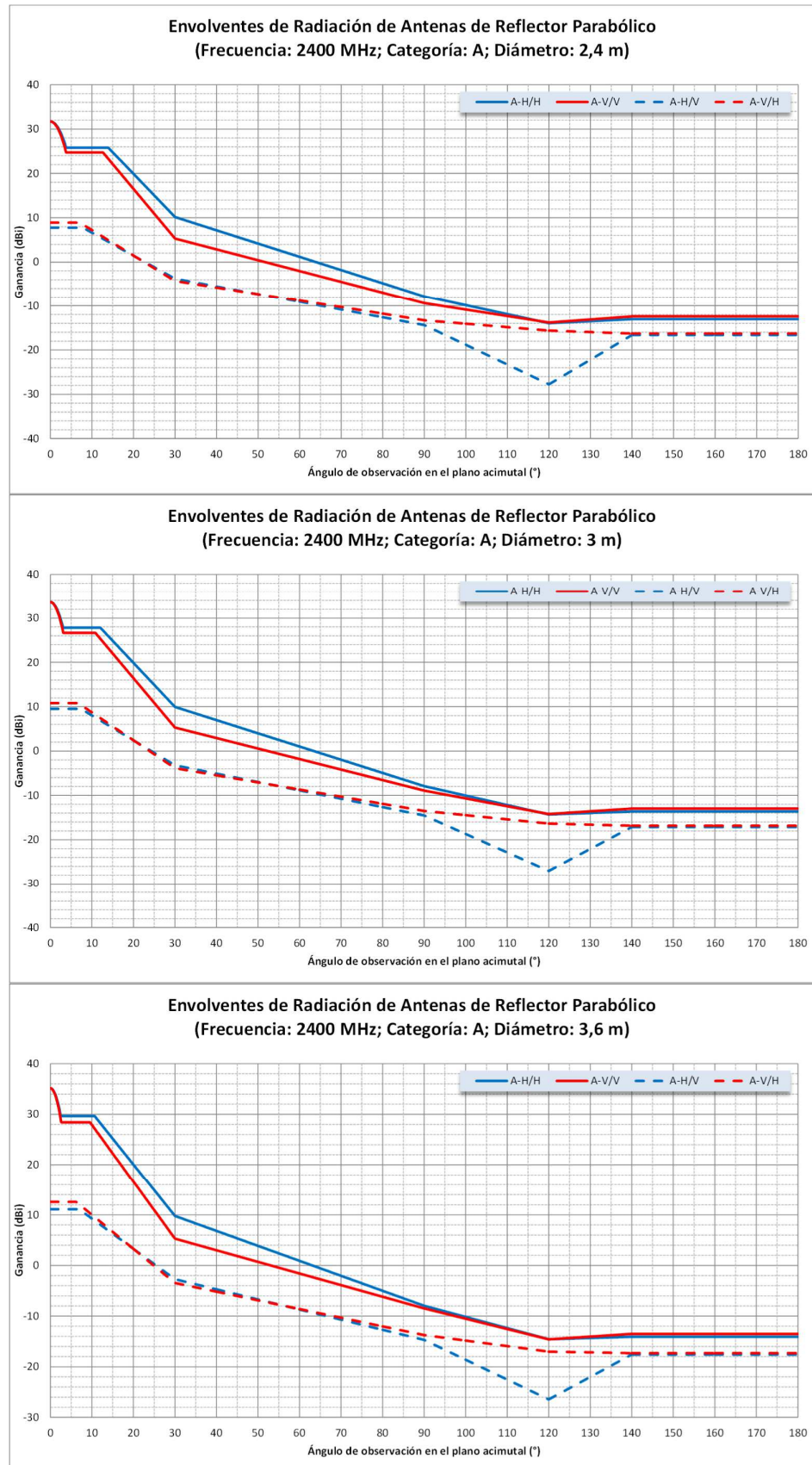
[No incluida en el presente proyecto]

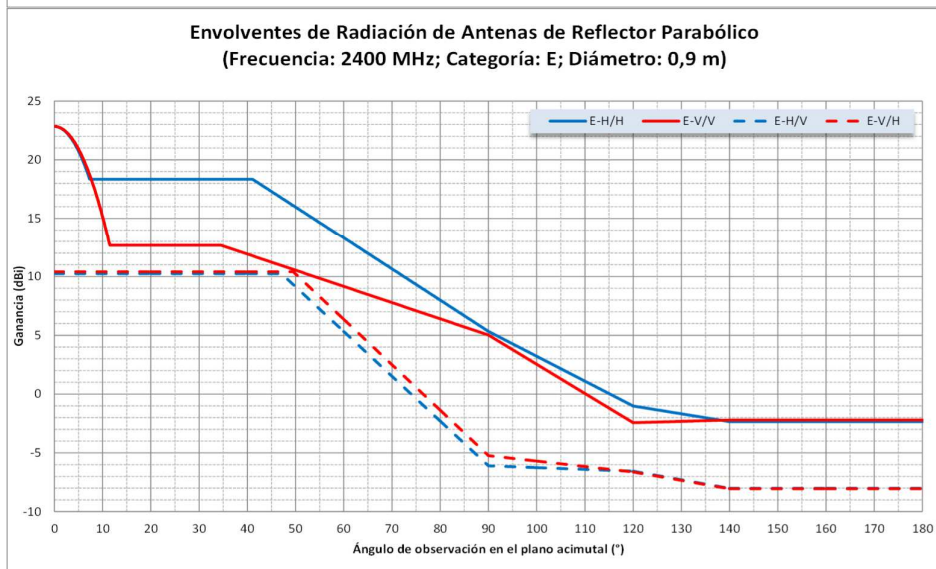
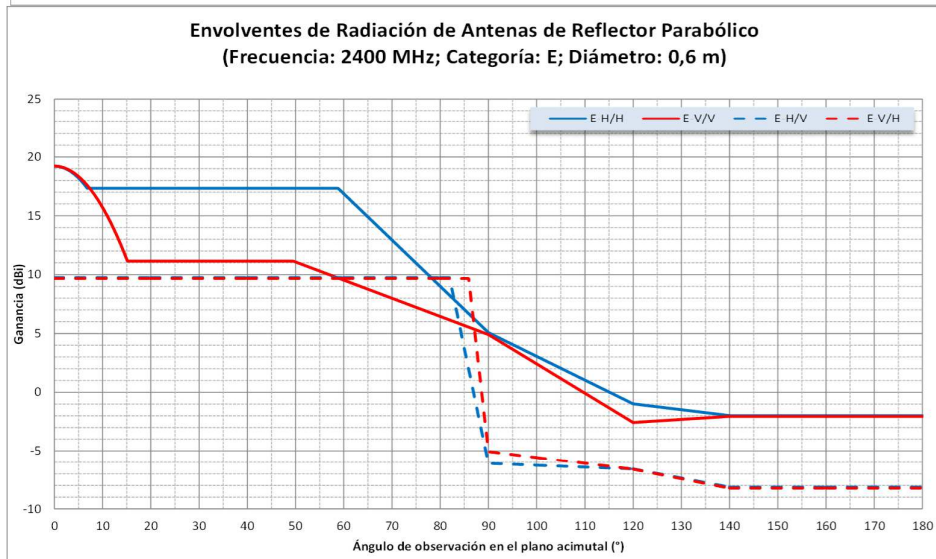
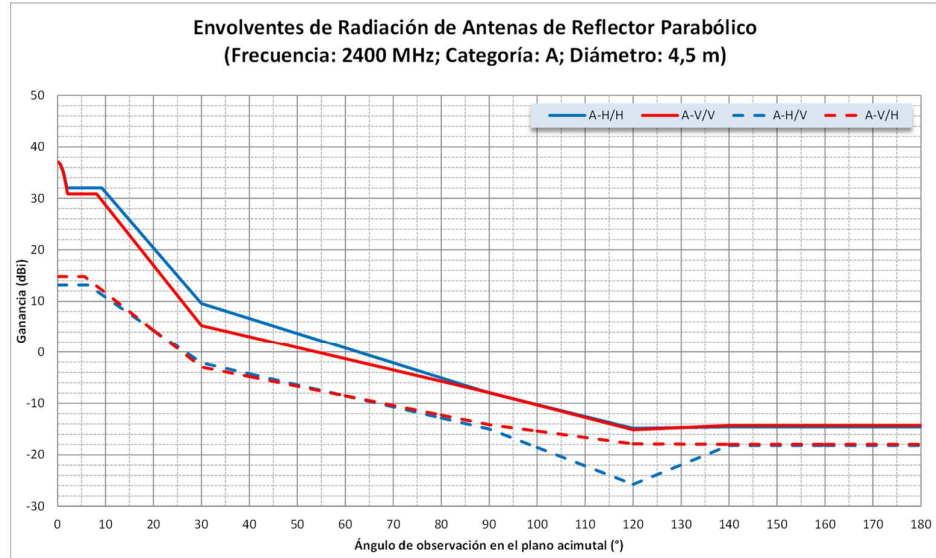
II.5.1.5 Banda de frecuencias "E" (1700 MHz a 2100 MHz)

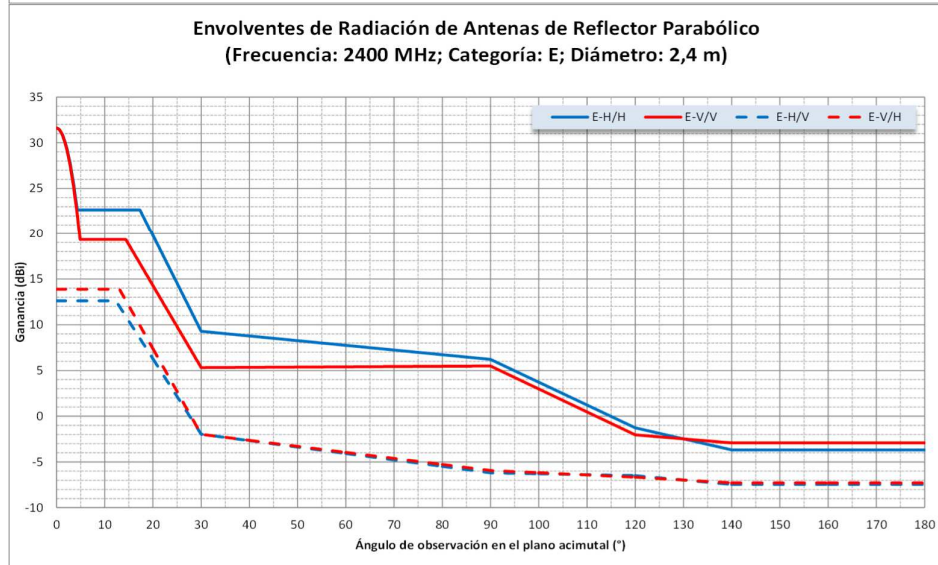
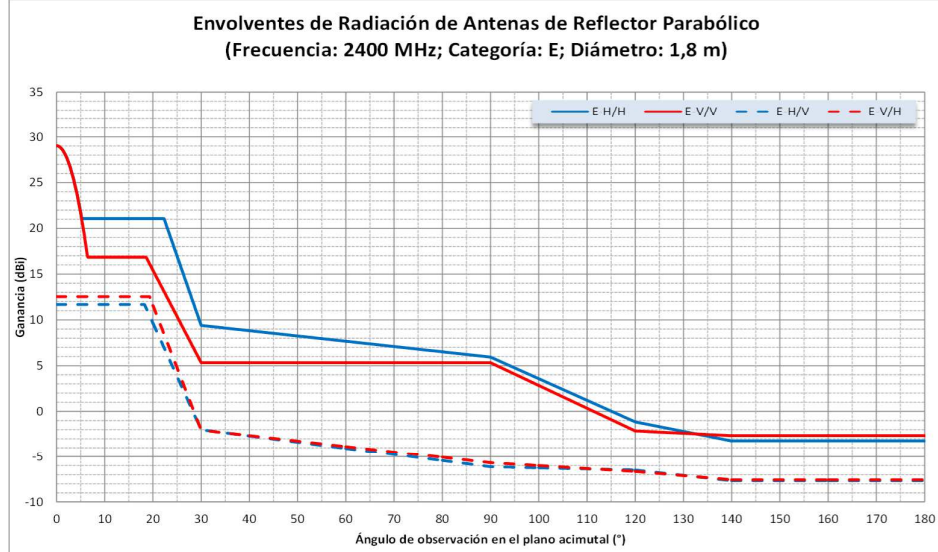
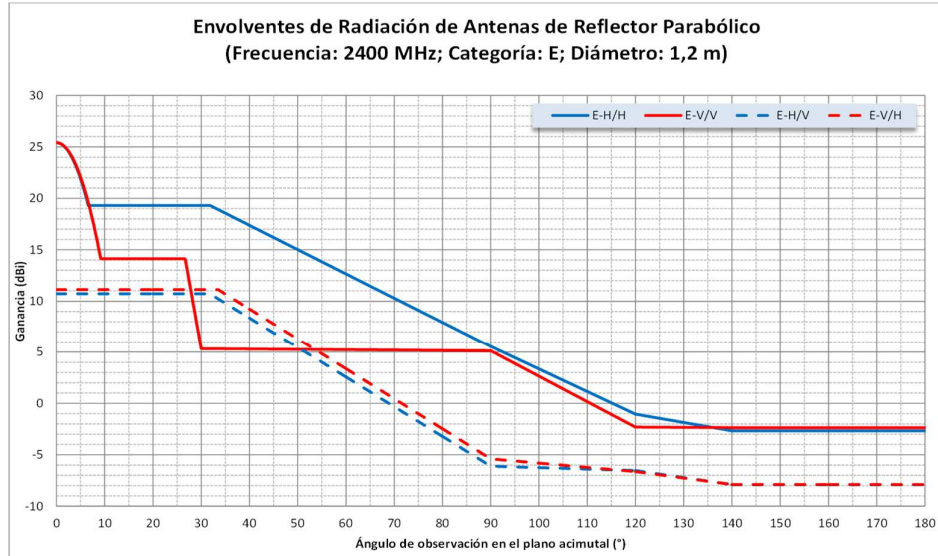
[No incluida en el presente proyecto]

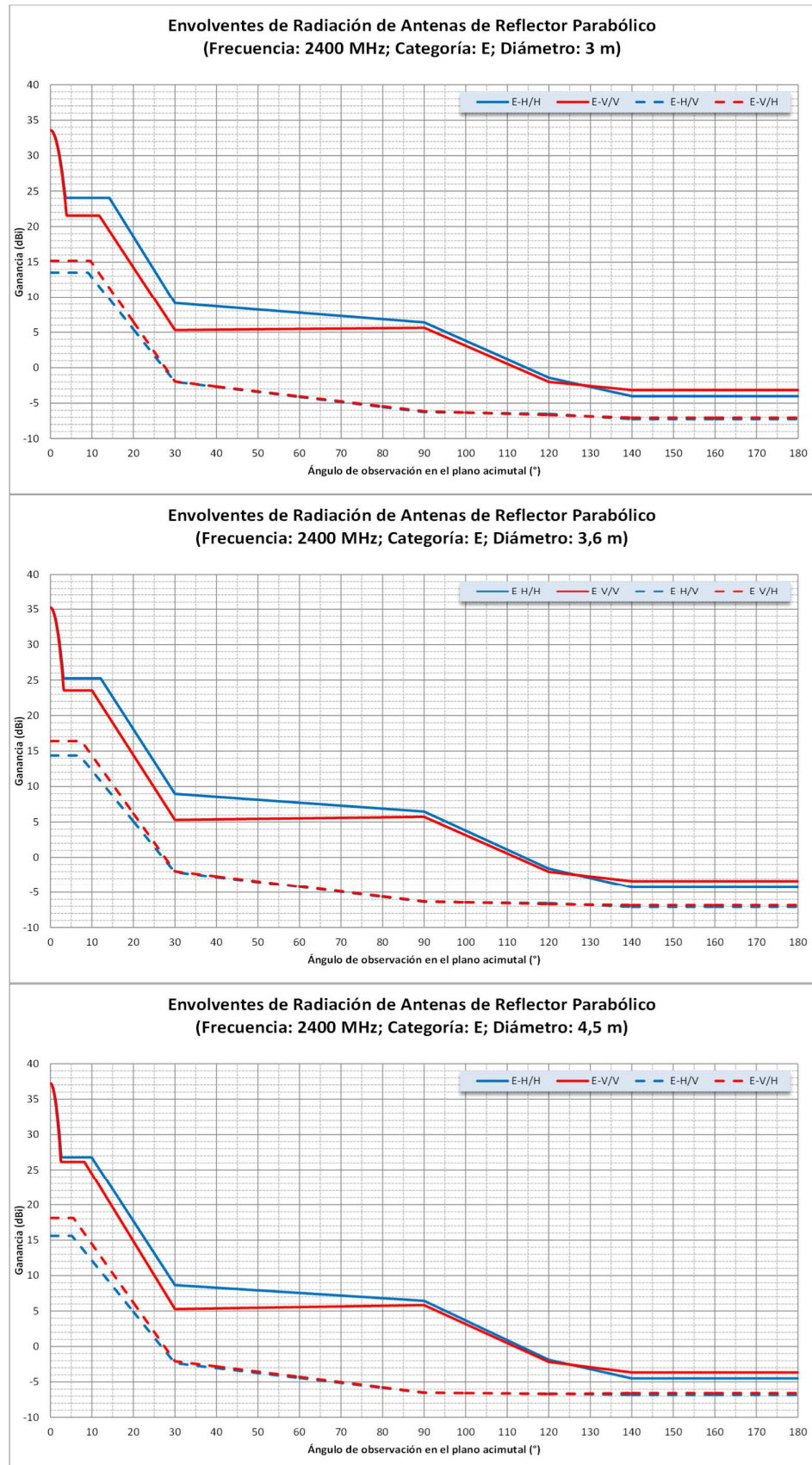
II.5.1.6 Banda de frecuencias "F" (2100 MHz a 2700 MHz)

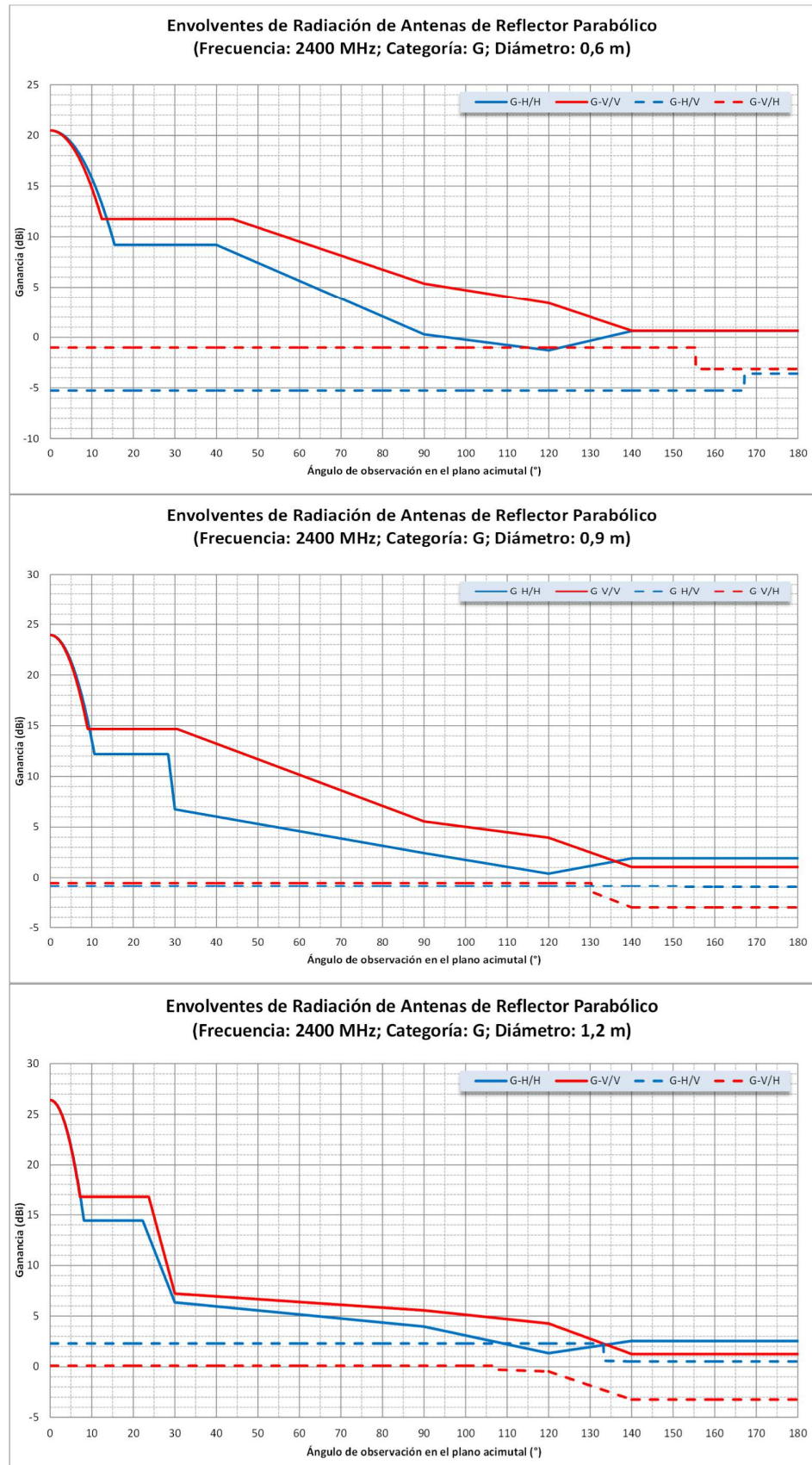


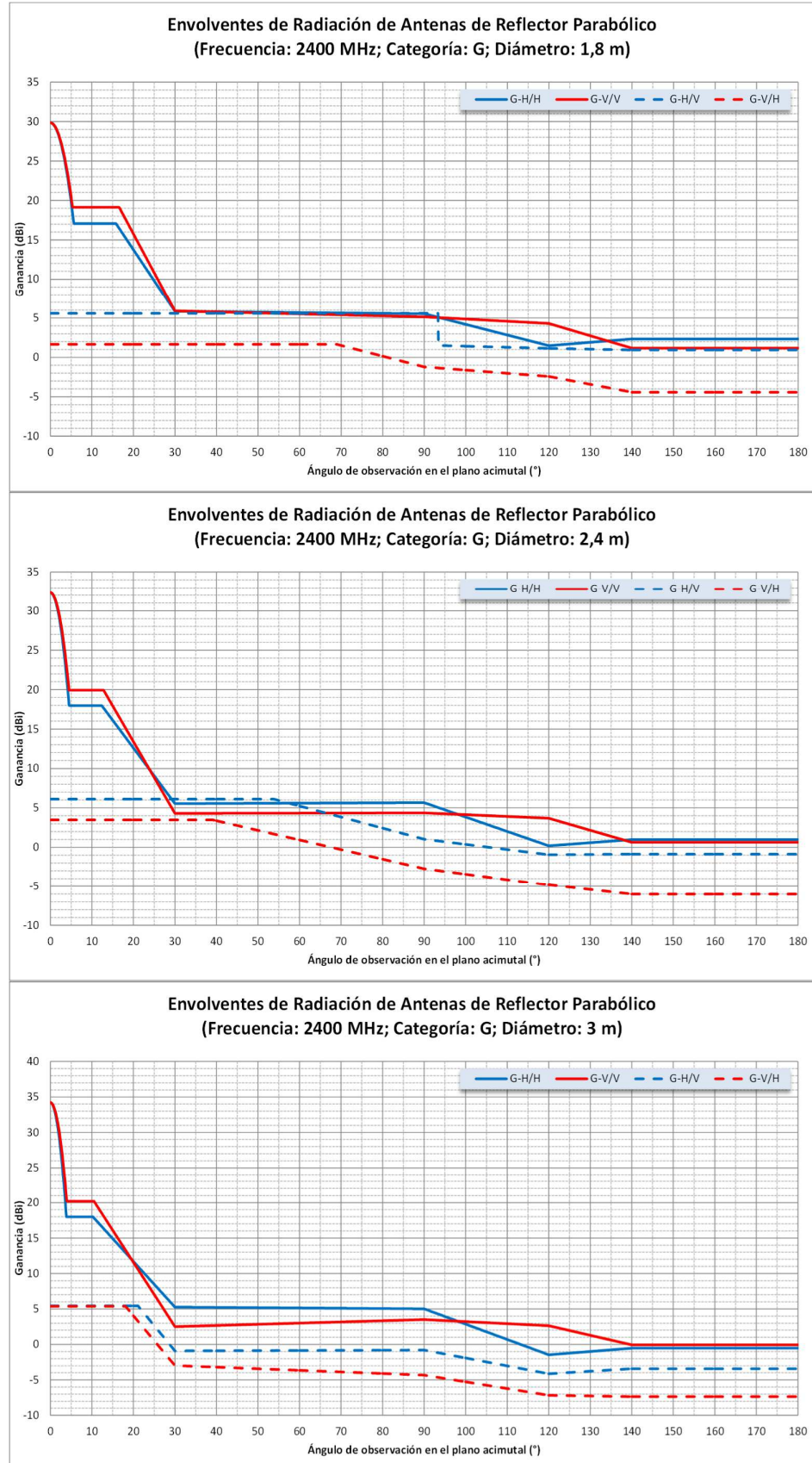


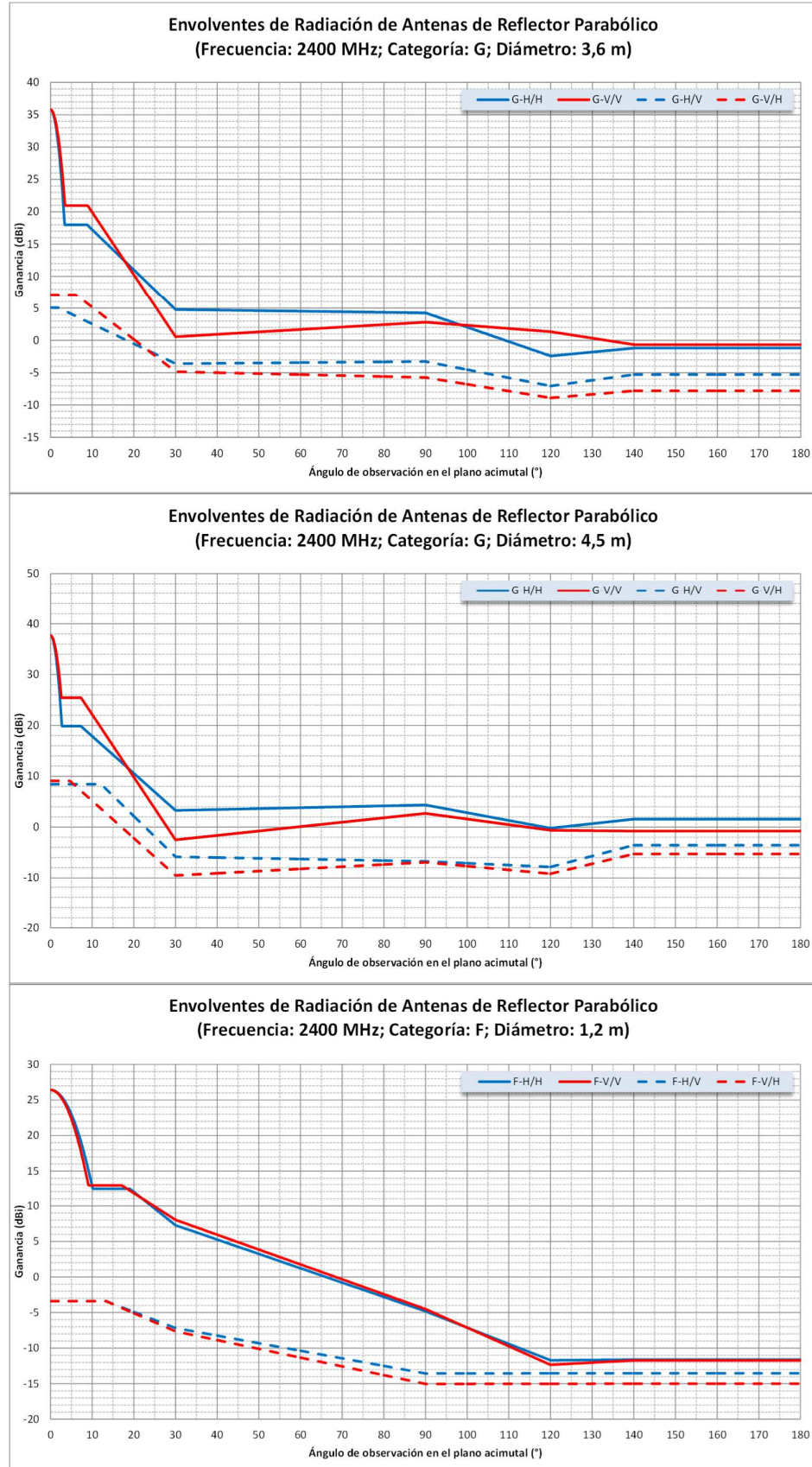


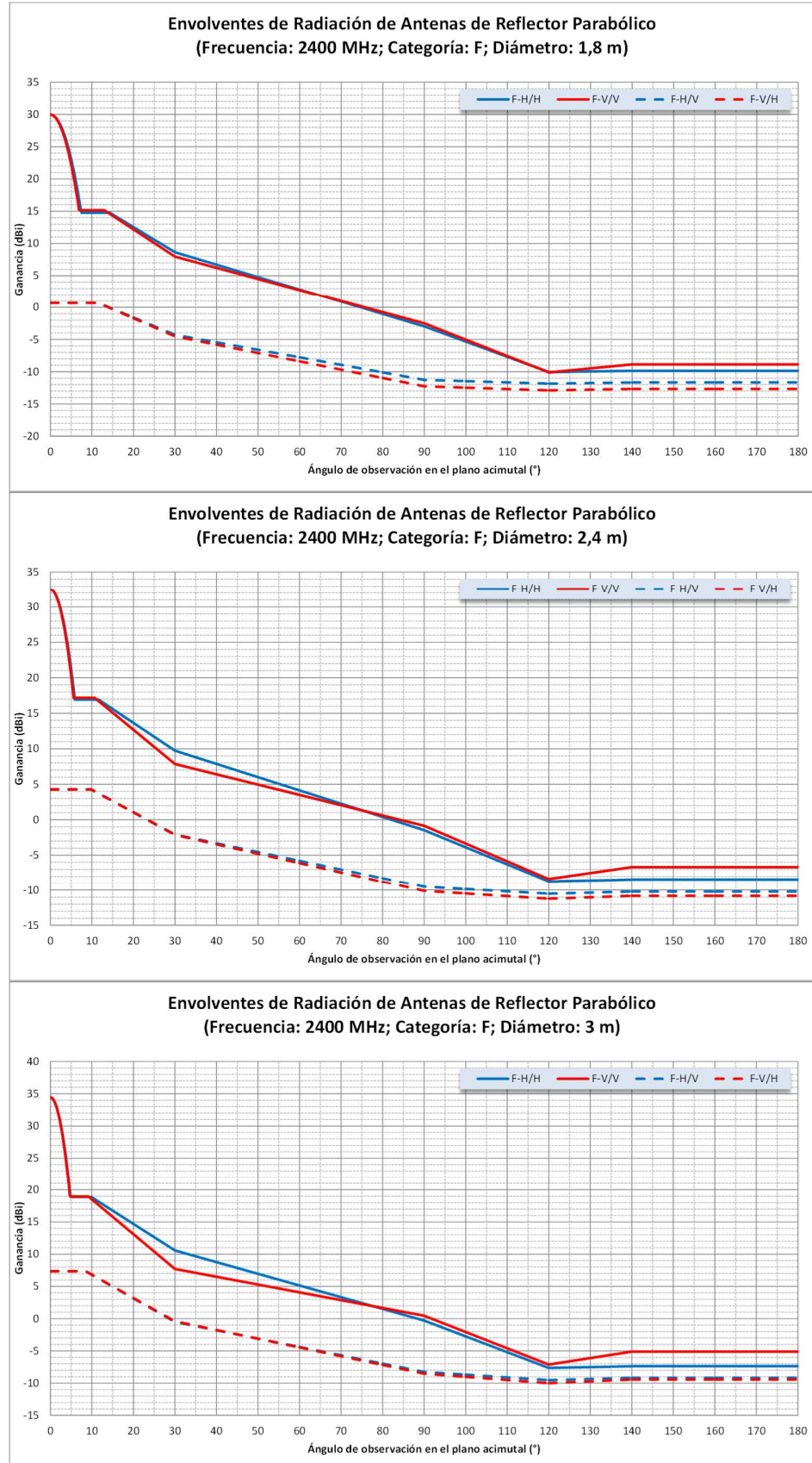


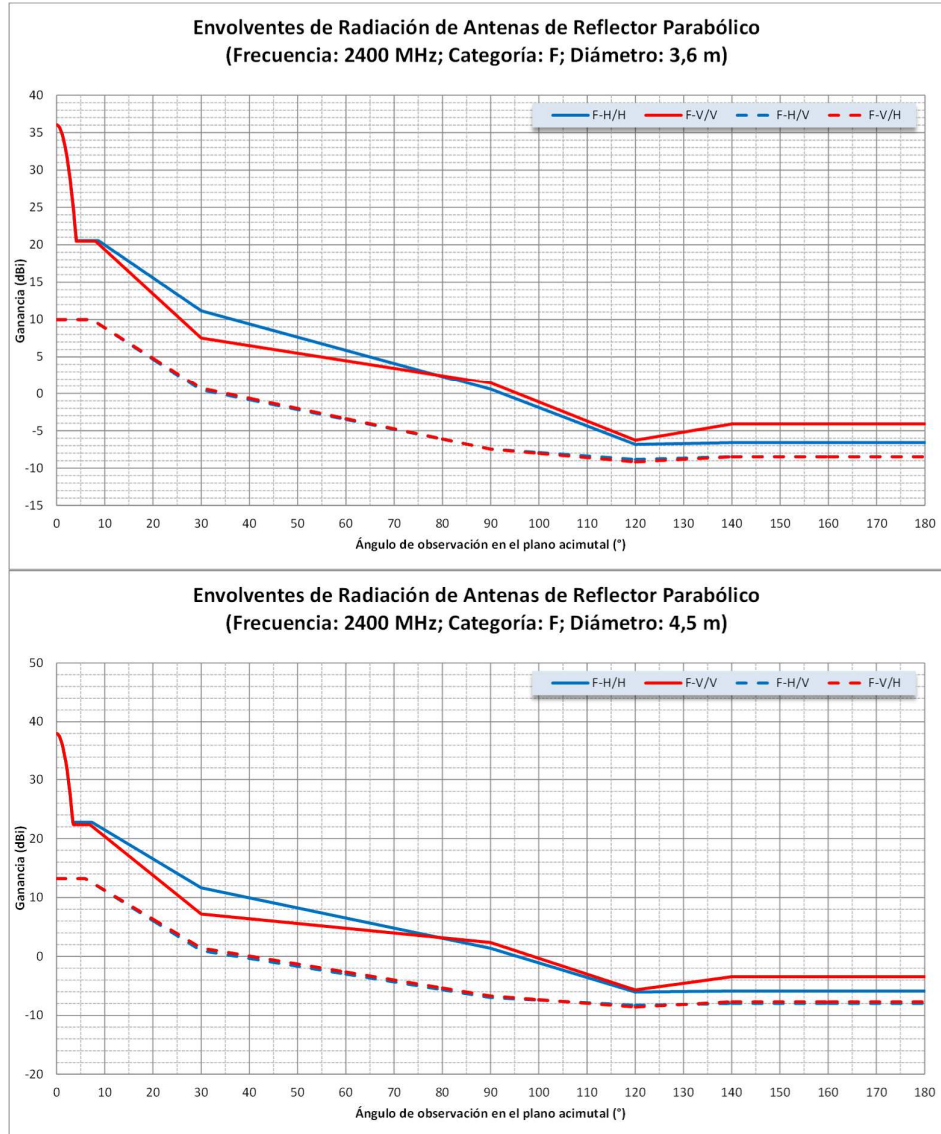












II.5.1.7 Banda de frecuencias "G" (3400 MHz a 4200 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

II.5.1.8 Banda de frecuencias "H" (4200 MHz a 5000 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

II.5.1.9 Banda de frecuencias "I" (5150 MHz a 5750 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

II.5.1.10 Banda de frecuencias "J" (5750 MHz a 6425 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

II.5.1.11 Banda de frecuencias "K" (6425 MHz a 7100 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

II.5.1.12 Banda de frecuencias "L" (7100 MHz a 8500 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

II.5.1.13 Banda de frecuencias "M" (10000 MHz a 11700 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

II.5.1.14 Banda de frecuencias "N" (11700 MHz a 12700 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

II.5.1.15 Banda de frecuencias "O" (12700 MHz a 13250 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

II.5.1.16 Banda de frecuencias "P" (14200 MHz a 16500 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

II.5.1.17 Banda de frecuencias "Q" (17300 MHz a 19700 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

II.5.1.18 Banda de frecuencias "R" (21200 MHz a 23600 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

II.5.1.19 Banda de frecuencias "S" (24250 MHz a 27000 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

II.5.1.20 Banda de frecuencias "T" (27000 MHz a 29500 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

II.5.1.21 Banda de frecuencias "U" (31000 MHz a 33400 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

II.5.1.22 Banda de frecuencias "V" (37000 MHz a 43500 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

II.5.1.23 Banda de frecuencias "W" (49200 MHz a 51400 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

II.5.1.24 Banda de frecuencias "X" (51400 MHz a 52600 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

II.5.1.25 Banda de frecuencias "Y" (54250 MHz a 59000 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

II.5.2. Aislación entre puertos

La aislación entre puertos a cumplir por la antena deberá ser igual o superior a 35 dB.

II.5.3. Relación de onda estacionaria

La relación de onda estacionaria a cumplir por la antena deberá ser igual o inferior a 1,5:1.

II.6. Características mecánicas y ambientales

Los materiales de fabricación de la antena, como así también de sus elementos de soporte y fijación, deberán contar con la resistencia y tratamientos adecuados para resistir los efectos ambientales de su entorno de operación, con los límites mínimos y/o máximos que se especifican en los apartados siguientes.

Las alteraciones mecánicas que pudiera sufrir la antena en cualquiera de sus elementos (alimentador, reflector, radomo, soporte, etc.), como consecuencia de los agentes ambientales, no podrán alterar las características eléctricas en un grado tal que dejen de cumplirse los requisitos especificados en el apartado II.5.

II.6.1 Resistencia al viento

La antena deberá resistir una velocidad de viento de, como mínimo, 200 km/h, sin alterar sus condiciones de operación.

Opcionalmente, el fabricante podrá declarar una antena con características especiales de resistencia al viento.

II.6.2. Temperatura de almacenamiento y operación

La antena deberá resistir temperaturas comprendidas entre -45°C y 45°C sin alterar sus condiciones de operación.

II.6.3. Resistencia a la lluvia y/o hielo

La antena deberá resistir la presencia de lluvias sin alterar sus condiciones de operación, contando para tal fin con los mecanismos de drenaje apropiados.

La antena deberá resistir la formación de hielo radial de, como mínimo, 25 mm, sin alterar sus condiciones de operación.

Opcionalmente, el fabricante podrá declarar una antena con características especiales de resistencia a la corrosión.

II.6.4. Resistencia a agentes biológicos y radiación UV

La antena deberá resistir la presencia de agentes biológicos y luz ultravioleta sin alterar sus condiciones de operación.

Opcionalmente, el fabricante podrá declarar una antena con características especiales de resistencia a agentes biológicos y radiación ultravioleta.

II.6.5. Dimensiones y peso

No se especifican requisitos dimensionales y de peso mínimos o máximos para la antena. No obstante, el fabricante deberá declarar los valores reales de tales magnitudes, conforme al formulario provisto en el apartado II.11.

II.7. Conectores

No se especifican requisitos eléctricos ni mecánicos sobre el conector de entrada/salida de la antena. No obstante, el fabricante deberá declarar la marca, modelo y especificación del conector provisto con la antena, conforme al formulario provisto en el apartado II.11.

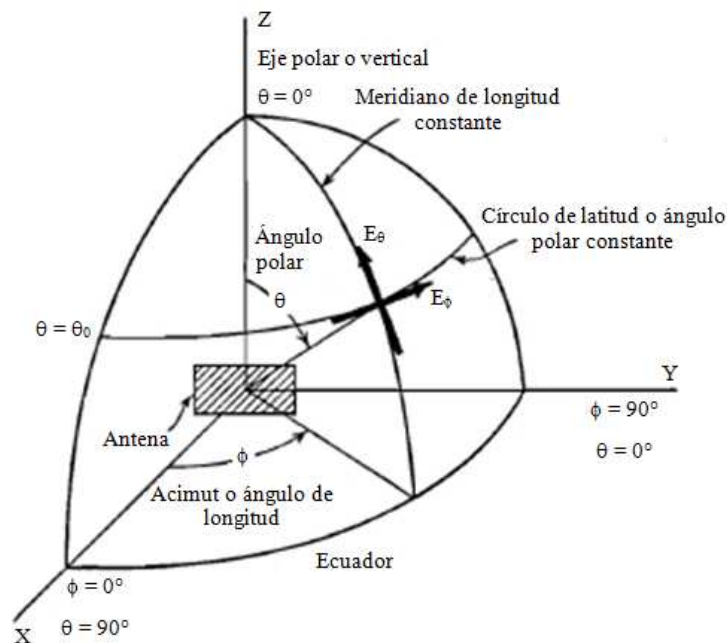
De existir diversas opciones de provisión de conectores, el fabricante deberá declarar la marca, modelo y especificación del conector con el cual se lleva a cabo el ensayo de medición de la antena.

II.8. Ensayos de medición

Los ensayos de medición de la antena se llevarán a cabo siguiendo los lineamientos de la norma IEEE 149-1979. Seguidamente se describirán los aspectos más importantes del citado estándar. No obstante, deberá remitirse al mismo para mayor información y detalle.

II.8.1. Cortes del patrón y configuración básica

El método directo de medición del patrón de radiación de la antena bajo ensayo consiste en emplear una antena fuente, posicionada de forma tal que se muevan en forma relativa a la primera en líneas de θ y Φ constantes, según muestra la figura siguiente.



Usualmente, el haz principal de la antena bajo ensayo se orienta en dirección del ecuador, comúnmente en dirección de $\Phi = 0^\circ$ ó 180° .

La antena bajo ensayo, operando en modo de recepción, y su sistema de coordenadas asociado son rotados sobre un eje apropiado (usualmente uno que pase por su centro de fase). La señal que recibe desde una antena fuente fija es registrada.

II.8.2. Campo de medición de antenas

El campo de antena consiste en la instrumentación apropiada y el espacio físico requerido para la medición. El campo electromagnético incidente ideal para medir las características de radiación de la antena bajo prueba es el de una onda plana uniforme. En la práctica sólo es posible aproximar tal campo, mediante el uso de dos tipos de campos de medición:

- **Campo de espacio libre:** elevado, inclinado, compacto y cámara anecoica (por encima de 1 GHz).
- **Campo de reflexión** (por debajo de 1 GHz).

II.8.3. Instrumentación

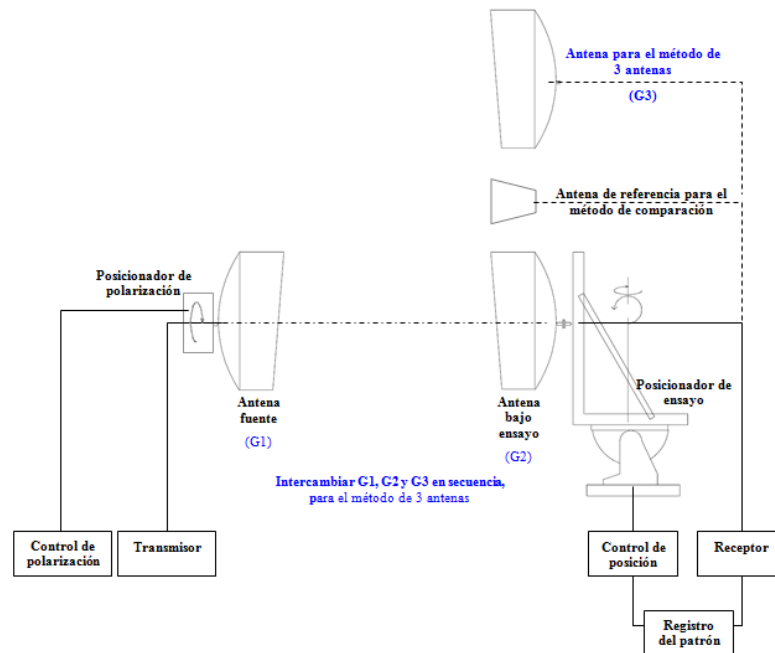
La instrumentación requerida para un campo de ensayo de antenas se clasifica en cinco subsistemas:

1. Antena fuente y sistema transmisor.
2. Sistema receptor.
3. Sistema de posicionamiento.
4. Sistema de registro.
5. Sistema de procesamiento.

Los campos son diseñados para operar en una banda ancha de frecuencias, por lo que deben ser equipados con una familia de antenas fuente y transmisores cubriendo dicha banda. Para frecuencias inferiores a 1 GHz se usan conjuntos log-periódicos. Para frecuencias superiores a 400 MHz se usan parábolas con alimentadores de banda ancha, y en algunos casos bocinas. Usualmente se requiere que la antena fuente linealmente polarizada sea montada sobre un posicionador de polarización.

II.8.4. Medición de ganancia, impedancia de entrada y ROE

El método de 3 antenas lleva a cabo tres conjuntos de mediciones, usando todas las combinaciones de tres antenas, y calculando las ganancias de todas ellas, incluida la antena bajo ensayo. Puede utilizarse también el método de comparación, empleando una antena de referencia de ganancia conocida. El diagrama en bloques de la instrumentación típica es ilustrado en la figura siguiente.



La medición de impedancia de entrada, coeficiente de reflexión y ROE se lleva adelante mediante analizador vectorial de red

II.9. Características adicionales

El fabricante deberá declarar si la antena posee las siguientes características adicionales, conforme al formulario provisto en el apartado II.11.

- Doble polarización
- Banda ancha/Doble banda/Multibanda

El fabricante deberá declarar, de corresponder, la orientación del alimentador: Derecha o Izquierda, observado desde la parte superior de la antena.

El fabricante podrá, opcionalmente, declarar si la antena posee las siguientes características adicionales, conforme al formulario provisto en el apartado II.11.

- Baja ROE
- Alta XPD
- Alta resistencia al viento
- Alta resistencia a agentes ambientales/biológicos

II.10. Proceso de homologación e identificación de productos

El fabricante deberá llevar adelante los ensayos de medición de la antena a homologar, conforme al método establecido en el apartado II.8, en un Laboratorio independiente y acreditado por la Autoridad Regulatoria.

El fabricante deberá declarar, entre otros datos del formulario provisto en el ítem 8, la siguiente información:

- Razón social, domicilio, CUIT y otros datos del fabricante.
- Banda de frecuencias de operación de la antena, definida en el ítem I.3.
- Categoría de antena, definida en el ítem I.4.
- Diámetro del reflector de la antena, especificado en metros.
- Radomo y características adicionales, según los requerimientos del ítem II.9.

El Laboratorio deberá llevar adelante los ensayos de medición necesarios para asegurar que las características eléctricas, mecánicas y ambientales de la antena satisfacen los requerimientos establecidos en II.5 y II.6. El Laboratorio proporcionará al fabricante un informe, al menos por duplicado, con los resultados de estos ensayos.

El Laboratorio proporcionará asimismo un archivo digital de acuerdo al formato definido en la recomendación NSMA WG 16.99.50.

Con esta información, y tras verificar la validez de los resultados obtenidos, la Autoridad Regulatoria procederá a identificar la antena homologada mediante el uso de un logotipo establecido y la asignación de un código unívoco de 8 caracteres, generado a partir de las reglas de la planilla siguiente.

La información presentada por el fabricante, incluyendo una copia del informe de resultados del Laboratorio, será incorporada a las bases de datos de la Autoridad Regulatoria.

Código de antena

BFFT99D9

Sub-código de diagrama de radiación

BFFT99D9PP

B: Banda de frecuencias

FF: Fabricante

T: Tipo de antena

99: Dimensiones o cantidad de elementos

D: Descripción adicional

9: Número secuencial (diferencia antenas en caso de coincidir fabricante, tipo, dimensiones y características adicionales)

PP: Polarización

Banda de frecuencias

Se asignará el código de acuerdo a la frecuencia central de operación de la antena.

En caso de coincidir con el valor límite entre dos bandas, se adoptará aquella banda cuya frecuencia central sea más cercana.

En caso de ser ambas equidistantes, se adoptará la mayor.

Código	Frecuencia inferior (MHz)	Frecuencia central (MHz)	Frecuencia superior (MHz)
A	335	392,5	450
B	450	485	520
C	820	890	960
D	1270	1485	1700
E	1700	1900	2100
F	2100	2400	2700
G	3400	3800	4200
H	4200	4600	5000
I	5150	5450	5750
J	5750	6087,5	6425
K	6425	6762,5	7100
L	7100	7800	8500
M	10000	10850	11700
N	11700	12200	12700
O	12700	12975	13250
P	14200	15350	16500
Q	17300	18500	19700
R	21200	22400	23600
S	24250	25625	27000
T	27000	28250	29500
U	31000	32200	33400
V	37000	40250	43500
W	49200	50300	51400
X	51400	52000	52600
Y	54250	56625	59000
Z	59000		

Código	Fabricante
AD	Allen Decibel
AM	Amphenol
AN	CommScope/Andrew
AP	Antenas Profesionales
AR	Antena de referencia
AT	Antemont
EI	Eiffel
FA	Faini Telecommunication/Kathrein
GA	Gabriel Electronics
JP	Jampro
MA	Mark Electronics
NO	Novus
RF	Radio Frequency Systems (RFS)
RS	Rohde&Schwarz
RW	Radio Waves
RY	Rhymssa
TT	Til Tek

Código	Descripción adicional
0	N/A
1	Antena simple
2 a 9	Arreglo de 2-9 elementos
A	Arreglo de 10 elementos o más
B	Doble polarización
C	Cassegrain
D	Haz dual
G	Gregoriana
O	Offset
P	Plano de tierra
R	Radomo
V	Baja ROE
W	Banda ancha/Doble banda/Multibanda
X	Alta XPD

Código	Tipo de antena
A	Antena parabólica de alta performance
B	Antena bocina
C	Antena discónica
D	Antena dipolo
E	Antena parabólica estándar
F	Antena parabólica de plano focal
G	Antena parabólica grillada
H	Antena helicoidal
I	Antena con reflector diedro
J	Antena con reflector cilíndrico/cilindro parabólico
K	Antena lazo/cuadro/romboidal
L	Antena log-periódica
M	Antena molinete
N	Antena ranurada/cable radiante
O	Antena con reflector esférico
P	Antena parche
Q	Antena panel
R	Antena monopolo
S	Antena de estación terrena
T	Antena lente
U	Antena parabólica de ultra alta performance
X	Antena bicónica
Y	Antena yagi
Z	Otra

Dimensiones

Caso 1: 99 indica el diámetro del reflector, en metros y decímetros, para antenas parabólicas.

Caso 2: 99 indica la cantidad de elementos para el caso de una antena Yagi o Log-periódica (Tipos de antena Y o L).

Caso 3: 99 indica la mayor dimensión de la antena en metros y decímetros para otros tipos de antenas.

Código	Polarización del diagrama de radiación
LH	Lineal horizontal
LV	Lineal vertical
HH	Respuesta de antena polarizada horizontal a señal polarizada horizontal
VV	Respuesta de antena polarizada vertical a señal polarizada vertical
HV	Respuesta de antena polarizada horizontal a señal polarizada vertical
VH	Respuesta de antena polarizada vertical a señal polarizada horizontal
II	Inclinada 45° izquierda
ID	Inclinada 45° derecha
CI	Circular izquierda
CD	Circular derecha

II.11. Formulario de declaración del Fabricante/Proveedor

Datos del Fabricante/Proveedor				
Razón social:				
Domicilio:				
Localidad:		Provincia:		CP:
Tel.:		Correo electrónico:		
Datos generales de la Antena				
Marca:				
Modelo:				
Categoría ¹ : U A E G F		Diámetro: m	Radomo ¹ : Si No	
Frecuencia inferior:		MHz		
Frecuencia central:		MHz		
Frecuencia superior:		MHz		
Dimensiones y peso				
Alto: m	Ancho: m	Prof.: m	Peso: kg	
Conector				
Marca:		Modelo:		
Tipo:		Norma:		
Características adicionales¹				
Doble polarización:		Si No		
Banda ancha/Doble banda/Multibanda:		Si No		
Orientación del alimentador:		Derecha Izquierda		
Baja ROE:		Si No		
Alta XPD:		Si No		
Alta resistencia al viento:		Si No		
Alta resistencia a agentes ambientales/biológicos:		Si No		
Otros:				

¹ Tachar lo que no corresponda

Firma, aclaración, DNI y cargo

PARTE III. REQUISITOS PARA LA SELECCIÓN Y UTILIZACIÓN DE ANTENAS

III.1. Objetivo

El objetivo de la Parte III de la presente Norma Técnica es establecer las características mínimas de desempeño a ser cumplidas durante el proceso de selección y utilización de antenas directivas de reflector parabólico en enlaces radioeléctricos Punto a Punto del Servicio Fijo, a los efectos de garantizar la mayor eficiencia y aprovechamiento espectral posible en una dada región geográfica.

III.2. Diagramas de radiación de referencia

La Autoridad Regulatoria y/o cualquier profesional que desarrolle tareas de planificación o utilización del espectro radioeléctrico, podrá utilizar los diagramas de radiación definidos en la II.5.1 como diagramas de radiación de referencia, en aquellos casos en que desconozca las características eléctricas reales de las antenas involucradas, o de necesitar obtener resultados generales. Cabe destacarse que deberá hacerse todo lo posible por utilizar esta información real.

III.3. Características mínimas de desempeño

Para cada banda de frecuencias y categoría de antena, se especifica el diámetro mínimo de reflector que deberá emplearse al dimensionar un enlace radioeléctrico y seleccionar sus antenas.

Los diámetros tabulados tienen por objeto garantizar el cumplimiento de características mínimas de desempeño, las que a su vez tienden a maximizar la eficiencia espectral en cada banda de frecuencias, considerando la densidad actual de estaciones.

La Autoridad Regulatoria suministrará periódicamente los indicadores de densidad de estaciones por banda de frecuencias y zona geográfica, al tiempo que se reserva el derecho de modificar los diámetros mínimos conforme a las tendencias de ocupación de cada banda y la evolución tecnológica de las antenas comerciales.

III.3.1. Banda de frecuencias "A" (335 MHz a 450 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.2 Banda de frecuencias "B" (450 MHz a 520 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.3 Banda de frecuencias "C" (820 MHz a 960 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.4 Banda de frecuencias "D" (1270 MHz a 1700 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.5 Banda de frecuencias "E" (1700 MHz a 2100 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.6 Banda de frecuencias "F" (2100 MHz a 2700 MHz)

Diámetro mínimo de reflector (m) requerido en la banda de frecuencias "F" (2100 a 2700 MHz)					
Densidad de estaciones (cant. estaciones/A)	Categoría de antena				
	U	A	E	G	F
0	2,4 [*]	1,2	1,2	1,2	1,2
5	2,4 [*]	1,8	1,2	1,8	1,2
15	2,4 [*]	2,4	1,8	1,8	1,2
25	2,4 [*]	3	2,4	2,4	1,2
50	2,4 [*]	-	2,4	2,4	1,8
75	2,4	-	-	3	3,6
100	2,4	-	-	3,6	3,6

A: Área de 100 km de lado (10000 km²)

[* El diámetro mínimo disponible en esta categoría es 2,4 m; la eventual aparición de diámetros inferiores podría reducir este límite, previo estudio según metodología definida]

III.3.7 Banda de frecuencias "G" (3400 MHz a 4200 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.8 Banda de frecuencias "H" (4200 MHz a 5000 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.9 Banda de frecuencias "I" (5150 MHz a 5750 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.10 Banda de frecuencias "J" (5750 MHz a 6425 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.11 Banda de frecuencias "K" (6425 MHz a 7100 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.12 Banda de frecuencias "L" (7100 MHz a 8500 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.13 Banda de frecuencias "M" (10000 MHz a 11700 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.14 Banda de frecuencias "N" (11700 MHz a 12700 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.15 Banda de frecuencias "O" (12700 MHz a 13250 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.16 Banda de frecuencias "P" (14200 MHz a 16500 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.17 Banda de frecuencias "Q" (17300 MHz a 19700 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.18 Banda de frecuencias "R" (21200 MHz a 23600 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.19 Banda de frecuencias "S" (24250 MHz a 27000 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.20 Banda de frecuencias "T" (27000 MHz a 29500 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.21 Banda de frecuencias "U" (31000 MHz a 33400 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.22 Banda de frecuencias "V" (37000 MHz a 43500 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.23 Banda de frecuencias "W" (49200 MHz a 51400 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.24 Banda de frecuencias "X" (51400 MHz a 52600 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

III.3.25 Banda de frecuencias "Y" (54250 MHz a 59000 MHz)

[No incluida en el presente proyecto]

Página dejada intencionalmente en blanco

8. Conclusiones finales

En la presente Tesis de Maestría se ha abordado un estudio integral para llevar adelante la elaboración de un estándar normativo de antenas de reflector parabólico para enlaces Punto a Punto del Servicio Fijo Terrestre, operando en las bandas de frecuencias comprendidas entre 335 MHz y 60 GHz.

El punto de partida para dicho estudio son las antenas comerciales actualmente disponibles en el mercado, de forma tal que el documento normativo alcanzado sea capaz de contemplar el estado actual de la tecnología de fabricación de antenas de microondas.

El trabajo se ha dividido en dos fases de estudio, y los resultados finales consisten, a su vez, en dos partes de un mismo documento normativo.

La **primera fase de estudio** consistió en obtener diagramas de radiación de referencia que sean representativos de un amplio número de antenas reales. Los diagramas de dos recomendaciones UIT-R han sido analizados y comparados.

La base de datos de estas antenas, con información relevada en los sitios web y catálogos de sus fabricantes, contó con un total de 2296 antenas y cuatro diagramas de radiación por antena, correspondiente a las polarizaciones H/H, V/V, H/V y V/H. Una vez depurados los archivos electrónicos de transferencia de información y eliminados aquellos casos con errores irreparables, la base de datos quedó compuesta por 2288 modelos.

Las antenas fueron clasificadas en cinco tipos constructivos y de performance: Ultra Alta Performance (U), Alta Performance (P), Estándar (E), Grilladas (G) y de Plano Focal (F). Para cada uno de estos tipos, con sus respectivos diámetros comerciales, bandas de frecuencias de operación y polarización, se obtuvieron las ecuaciones de los parámetros eléctricos que conforman sus diagramas de radiación, y se generaron los mismos para la banda comprendida entre 2100 y 2700 MHz (banda F según la codificación aquí definida).

La **segunda fase de estudio** se basó en un trabajo realizado por ACMA y UIT, y mejorado en esta Tesis, por el cual se intentó cuantificar el desempeño de las antenas mediante la asignación hipotética de 1000 enlaces aleatorios con cada modelo, en un área cuadrada A de 100 km de lado, elaborando luego el análisis estadístico de acuerdo a las asignaciones exitosas.

Como mejora, se consideraron los enlaces reales existentes en el área A, obrantes en las bases de datos públicas de la CNC, y todos sus parámetros radioeléctricos fueron tenidos en cuenta para efectuar el cálculo de los enlaces interferentes, de acuerdo a la DG-61. Nuevamente fue la banda F la seleccionada para las simulaciones. Aquí vale la pena destacar que dicha elección no fue al azar, sino que es la tercera banda con mayor ocupación espectral y al mismo tiempo, posee antenas de los cinco tipos (lo cual no ocurre con las otras dos bandas más ocupadas).

Además, se utilizaron los diagramas de radiación de referencia obtenidos en la primera fase, tanto para los enlaces existentes como para los hipotéticos, reduciendo así la cantidad de simulaciones a efectuar, adoptando un criterio de "peor caso" y salvaguardando el hecho de que no se dispone del diagrama de radiación de las antenas utilizadas en los enlaces reales.

Esta metodología de obtención de "índice de eficiencia espectral" por antena, puede ser tomada como un resultado intermedio de la Tesis, ya que la misma podría ser empleada por la Autoridad Regulatoria del espectro radioeléctrico como una herramienta de planeamiento de una determinada banda de frecuencias, interrelacionando las antenas con las tendencias de ocupación espectral previstas y/o deseadas, a fin de determinar modelos y características radiantes más convenientes.

Ambas fases tienen como resultado final el desarrollo de un **documento normativo**, que ha sido subdividido en dos partes.

Su **primera parte** comprende todas las características eléctricas, ambientales y mecánicas que deberían cumplimentar las antenas reales durante un proceso de homologación, para su posterior comercialización y empleo en el territorio de aplicación de la norma. A modo de referencia, los estándares de Australia, Brasil, Estados Unidos y Europa fueron relevados y comparados, como así también los procedimientos de medición elaborados por IEEE y IEC.

Se destaca la importancia de la primera fase de estudio, ya que las características de radiación del documento normativo propuesto son derivadas, precisamente, de los diagramas de referencia elaborados, nuevamente para la banda F. Los parámetros ambientales y mecánicos, se han extraído de los estándares de referencia y catálogos, y se adoptó como procedimiento de medición el definido por IEEE por encontrarse más difundido.

La **segunda parte** de la norma se deriva de los índices de eficiencia espectral obtenidos en la segunda fase de estudio, para delinear un criterio de características mínimas de performance de antenas que deberían ser utilizadas en el diseño/asignación de radioenlaces en función de la ocupación espectral actual de cada banda del espectro. Por coherencia, la banda F fue la tomada como ejemplo también aquí, y las características mínimas de rendimiento se estandarizan como el diámetro mínimo de reflector a ser empleado, según la categoría (ídem al tipo) de antena a instalar.

A modo de cierre, quien escribe considera que este ensayo podría ser adoptado íntegramente por la Autoridad Regulatoria de cualquier Estado que deseara implementar una política de estandarización de antenas para lograr una mejor y más eficiente gestión del espectro radioeléctrico, siendo que los sistemas irradiantes juegan un papel fundamental en el buen uso de este recurso. Más aún, todas las metodologías y resultados pueden mejorarse de acuerdo a ideas volcadas al final de cada sección (bajo el título "Desarrollos futuros"), que no fueron puestas en práctica por razones de tiempo, pero que sin duda contribuirían a un mayor refinamiento y calidad del trabajo efectuado.

9. Definiciones

Administración: Todo departamento o servicio gubernamental responsable del cumplimiento de las obligaciones derivadas de la Constitución de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, del Convenio de la unión Internacional de Telecomunicaciones y de sus Reglamentos administrativos. [22]

Aislación entre puertos: Relación en dB del nivel de potencia aplicado a un puerto de una antena multi-puerto al nivel de potencia recibido en cualquier otro puerto de la misma antena, como función de la frecuencia.

Alimentador: Para antenas de apertura continua, radiador primario. [21]

Ancho de banda de una antena: Rango de frecuencias en el cual el rendimiento de la antena, respecto a alguna característica, cumple un estándar especificado. [21]

Ancho de haz de potencia mitad: En un corte del diagrama de radiación que contenga la dirección del máximo de un lóbulo, ángulo entre las dos direcciones en las cuales la intensidad de radiación es un medio el valor máximo. [21]

Anchura de banda necesaria: Para una clase de emisión dada, anchura de la banda de frecuencias estrictamente suficiente para asegurar la transmisión de la información a la velocidad y con la calidad requeridas en condiciones especificadas. [20]

Ángulo de observación: Ángulo comprendido entre la dirección del espacio en la que se emite (o recibe) una onda electromagnética desde una antena, y el eje eléctrico de la misma. En antenas de reflector parabólico para servicios terrestres, el eje eléctrico coincide con el eje mecánico de la antena.

Antena con reflector: Antena consistente de una o más superficies reflectoras, y un sistema alimentador radiante (receptor). [21]

Antena directiva: Antena con la propiedad de radiar o recibir ondas electromagnéticas más eficientemente en algunas direcciones que en otras. [21]

Antena: Parte de un sistema transmisor o receptor diseñado para radiar o recibir ondas electromagnéticas. [21]

Apertura: Superficie, cercana o perteneciente a una antena, sobre la cual es conveniente hacer suposiciones respecto a los valores de campo con el propósito de calcular campos en puntos externos. [21]

Área efectiva parcial: En una dirección dada, relación de la potencia disponible en los terminales de una antena receptora, y la densidad de flujo de potencia de una onda plana incidente sobre la antena desde esa dirección, con una polarización diferente a la polarización de recepción de la antena. [21]

Área efectiva: En una dirección dada, relación de la potencia disponible en los terminales de una antena receptora, y la densidad de flujo de potencia de una onda plana incidente sobre la antena desde esa dirección, con polarización adaptada a la antena. [21]

Autoridad regulatoria: Administración o cualquier otro organismo que ésta determine.

Banda de frecuencias asignada: Banda de frecuencias en el interior de la cual se autoriza la emisión de una estación determinada; la anchura de esta banda es igual a la anchura de banda necesaria más el doble del valor absoluto de la tolerancia de frecuencia. [20]

Conjunto log-periódico: Clase de antenas con una geometría estructural tal que su impedancia de entrada y características de radiación se repiten periódicamente con el logaritmo de la frecuencia. [21]

Co-polarización: Polarización deseada radiada (recibida) por la antena. [21]

Corte del diagrama de radiación: Cualquier camino o superficie sobre el cual es obtenido el diagrama de radiación. [21]

Diagrama de directividad de una antena: Curva que representa, en coordenadas polares o cartesianas, una cantidad proporcional a la ganancia de una antena en las diversas direcciones de un plano o de un cono determinados. [20]

Diagrama de directividad horizontal: Diagrama de directividad de una antena en un plano horizontal determinado. [20]

Diagrama de directividad vertical: Diagrama de directividad de una antena en el plano vertical determinado.

Diagrama de radiación de campo lejano de radiación: Cualquier diagrama de radiación obtenido en el campo lejano de la antena. [21]

Diagrama de radiación polar-cruzado: Diagrama de radiación correspondiente a la polarización ortogonal a la co-polarización. [21]

Diagrama de radiación: Distribución espacial de una cantidad que caracteriza el campo electromagnético generado por una antena. [21]

Diagrama de radiación co-polar: Patrón de radiación correspondiente a la co-polarización. [21]

Directividad parcial: En una dirección dada, parte de la intensidad de radiación correspondiente a una polarización dada, dividido por la intensidad de radiación total promediada en todas las direcciones. [21]

Directividad: Relación de la intensidad de radiación en una dirección dada desde la antena, respecto a la intensidad de radiación promediada en todas las direcciones. [21]

Discriminación por polarización cruzada: Para una onda radioeléctrica emitida con una polarización dada, relación, en el punto de recepción, entre la potencia recibida con la polarización prevista y la potencia recibida con la polarización ortogonal. [20]

Distribución de apertura: Campo sobre la abertura, descrito por sus distribuciones de amplitud fase y polarización. [21]

Estación fija: Estación del servicio fijo. [22]

Eficiencia de antena (de una antena de abertura): Para una antena con una abertura plana especificada, relación del área efectiva máxima de la antena y el área de la abertura. [21]

Eficiencia de iluminación de antena (de abertura): Relación, usualmente expresada en porcentaje, de la directividad máxima de una antena (de abertura) a su directividad estándar. [21]

Eficiencia de radiación: Relación entre la potencia total radiada por una antena y la potencia neta aceptada por la antena desde el transmisor conectado. [21]

Eje del haz: Dirección, en el lóbulo mayor de una antena directiva, para la cual la intensidad de radiación es máxima. [21]

Elemento reflector: Elemento parásito localizado en otra dirección (no hacia adelante) del elemento activo de una antena, con la finalidad de incrementar la directividad de la antena hacia adelante. [21]

Emisión:

1. Radiación de radiofrecuencia en el caso en que la fuente sea un transmisor radioeléctrico.
2. Señales u ondas radioeléctricas producidas por una estación transmisora radioeléctrica. [20]

Estación radioeléctrica: Uno o más transmisores o receptores, o una combinación de transmisores y receptores, incluyendo las instalaciones accesorias, necesarios para asegurar un servicio de radiocomunicación, o el servicio de radioastronomía en un lugar determinado. [20]

Ganancia de una antena: Relación generalmente expresada en decibelios, que debe existir entre la potencia necesaria a la entrada de una antena de referencia sin pérdidas y la potencia suministrada a la entrada de la antena en cuestión, para que ambas antenas produzcan, en una dirección dada, la misma intensidad de campo, o la misma densidad de flujo de potencia, a la misma distancia. Salvo que se indique lo contrario, la ganancia se refiere a la dirección de máxima radiación de la antena. Eventualmente puede tomarse en consideración la ganancia para una polarización especificada. Según la antena de referencia elegida se distingue entre:

- a) la ganancia isótropa o absoluta (G_i) si la antena de referencia es una antena isótropa aislada en el espacio;
- b) la ganancia con relación a un dipolo de media onda (G_d) si la antena de referencia es un dipolo de media onda aislado en el espacio y cuyo plano ecuatorial contiene la dirección dada;
- c) la ganancia con relación a una antena vertical corta (G_v) si la antena de referencia es un conductor rectilíneo mucho más corto que un cuarto de longitud de onda y perpendicular a la superficie de un plano perfectamente conductor que contiene la dirección dada. [20]

Ganancia (en una dirección dada): Relación de la intensidad de radiación, en una dirección dada, a la intensidad de radiación que sería obtenida si la potencia aceptada por la antena fuese radiada isotrópicamente. [21]

Ganancia parcial: En una dirección dada, parte de la intensidad de radiación correspondiente a una polarización dada, dividida por la intensidad de radiación que sería obtenida si la potencia aceptada por la antena fuese radiada isotrópicamente. [21]

Ganancia relativa parcial: En una dirección dada, relación entre la ganancia parcial de una antena, correspondiente a la polarización de referencia de la antena, y la ganancia máxima de la antena de referencia. [21]

Ganancia relativa: Relación de la ganancia de una antena en una dirección dada y la ganancia de una antena de referencia. [21]

Haz: El lóbulo mayor del diagrama de radiación de una antena. [21]

Homologación: Verificación de que determinado equipo cumple con las normas técnicas correspondientes.

Intensidad de radiación: En una dirección dada, potencia radiada desde una antena por unidad de ángulo sólido.

Interferencia: Degradación producida en la recepción de una señal útil provocada por una perturbación radioeléctrica. [20]

Lóbulo lateral: Lóbulo de radiación en cualquier otra dirección que el lóbulo mayor. [21]

Lóbulo mayor o principal: Lóbulo de radiación conteniendo la dirección de máxima radiación. [21]

Lóbulo menor: Cualquier lóbulo de radiación excepto el lóbulo mayor. [21]

Nivel de lóbulo lateral co-polar, relativo: Directividad parcial relativa máxima (correspondiente a la co-polarización) de un lóbulo lateral con respecto a la directividad parcial máxima (correspondiente a la co-polarización) de la antena. [21]

Nivel de lóbulo lateral polar-cruzado, relativo: directividad parcial relativa máxima (correspondiente a la polarización cruzada) de un lóbulo lateral con respecto a la directividad parcial máxima (correspondiente a la co-polarización) de la antena. [21]

Nivel de lóbulo lateral, relativo: La directividad relativa máxima de un lóbulo lateral con respecto a la directividad máxima de la antena, usualmente expresado en decibeles. [21]

Onda plana polarizada horizontalmente: Onda plana cuyo vector de campo eléctrico está polarizado horizontalmente. [21]

Onda plana polarizada linealmente: Onda plana cuyo vector de campo eléctrico está polarizado linealmente. [21]

Onda plana polarizada verticalmente: Onda plana cuyo vector de campo eléctrico está polarizado verticalmente. [21]

Onda plana: Onda en la cual la única dependencia espacial de los vectores de campo es a través de un factor exponencial común cuyo exponente es función lineal de la posición. [21]

Ondas radioeléctricas, ondas hertzianas: Onda electromagnética, que se propaga por el espacio sin guía artificial y cuya frecuencia es convencionalmente inferior a 3 000 GHz. [20]

Pérdida básica de transmisión en el espacio libre: Pérdida de transmisión que se produciría si se sustituyeran las antenas por antenas isotrópicas situadas en un medio dieléctrico perfectamente homogéneo, isotrópico e ilimitado, conservando la distancia entre las antenas. [20]

Pérdida de transmisión: Relación, habitualmente expresada en decibelios, para un enlace radioeléctrico, entre la potencia radiada por la antena de transmisión y la potencia que estaría disponible a la salida de la antena de recepción si no hubiera ninguna pérdida en los circuitos de radiofrecuencia de las antenas, suponiendo constantes las características de radiación de las antenas. [20]

Plano E, principal: Para una antena linealmente polarizada, plano conteniendo el vector campo eléctrico y la dirección de máxima radiación. [21]

Plano H, principal: Para una antena linealmente polarizada, plano conteniendo el vector campo magnético y la dirección de máxima radiación. [21]

Polarización cruzada, transpolarización: Aparición, durante la propagación, de una componente de polarización ortogonal a la polarización prevista. [20]

Polarización cruzada: En un plano específico conteniendo la elipse de polarización de referencia, polarización ortogonal a una polarización de referencia especificada. [21]

Polarización de una antena: En una dirección dada desde la antena, polarización de la onda transmitida por la antena. [21]

Polarización de una onda (radiada por una antena en una dirección especificada): En una dirección dada desde la antena y en un punto de su campo lejano, la polarización de la onda plana usada para representar a la onda radiada en ese punto. [21]

Radiación radioeléctrica:

1. Fenómeno consistente en la emanación de energía hacia el espacio exterior en forma de ondas electromagnéticas y en la gama de las radiofrecuencias.
2. Energía transferida al espacio en forma de ondas electromagnéticas y en la gama de las radiofrecuencias. [20]

Radiocomunicación: Toda telecomunicación transmitida por medio de ondas radioeléctricas. [20]

Radioenlace, enlace radioeléctrico: Medio de telecomunicación de características específicas entre dos puntos, que utiliza ondas radioeléctricas. [20]

Radomo: Cubierta, usualmente con la finalidad de proteger una antena de los efectos ambientales, sin degradar su rendimiento eléctrico. [21]

Región de campo lejano: Región del campo de una antena donde la distribución de campo angular es esencialmente independiente de la distancia desde un punto específico en la región de la antena. [21]

Relación frente a espalda: Relación de la directividad máxima de una antena y su directividad en una dirección especificada hacia atrás. [21]

Servicio de radiocomunicación: Servicio que implica la transmisión, la emisión o la recepción de ondas radioeléctricas para fines específicos de telecomunicación. [22]

Servicio fijo: Servicio de radiocomunicación entre puntos fijos determinados. [22]

Transmisor radioeléctrico: Aparato que genera energía radioeléctrica con objeto de establecer una radiocomunicación. [20]

Vector de campo polarizado horizontalmente: Vector de campo polarizado linealmente cuya dirección es horizontal. [21]

Vector de campo polarizado linealmente: En un punto del espacio, Vector de campo cuyo extremo describe un segmento recto en función del tiempo. [21]

Vector de campo polarizado verticalmente: Vector de campo polarizado linealmente cuya dirección es vertical. [21]

Frecuencia asignada: Centro de la banda de frecuencias asignada a una estación. [20]

Cocanal: Designa la utilización del mismo radiocanal por dos o más emisiones. [20]

Canal adyacente: Radiocanal cuya frecuencia característica, en un conjunto determinado de radiocanales, se sitúa inmediatamente por encima o por debajo de la de un canal dado. [20]

Radiocanal: Parte del espectro radioeléctrico que se destina a ser utilizada para una emisión y que puede definirse por dos límites especificados, o por su frecuencia central y la anchura de banda asociada, o por toda indicación equivalente. [20]

Relación de onda estacionaria: Cociente entre las amplitudes máxima y mínima de la onda resultante en una línea de transmisión, por efecto de la interferencia constructiva y destructiva respectivamente, entre las ondas incidente y reflejada.

10. Abreviaturas y símbolos

AB: Ancho de Banda

ACA: Australian Communications Authority (Australia)

ACMA: Australian Communications And Media Authority (Australia)
ANATEL: Agência Nacional de Telecomunicações (Brasil)
BD: Base de Datos
CEM: Compatibilidad Electromagnética
CNC: Comisión Nacional de Comunicaciones
Decl.: Declaración
DG: Directiva General
DRRA: Diagrama de Radiación de Referencia de Antena
DRR: Diagrama de Radiación de Referencia
EEUU: Estados Unidos de Norteamérica
ETSI: European Telecommunications Standardization Institute
F/E: Relación frente a espalda.
FCC: Federal Communications Commission (EEUU)
IEC: International Elechtrotechnical Committee
IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers
ITU: International Telecommunications Union
LMDS: Local Multipoint Distribution Service
N/D: No disponible
NSMA: National Spectrum Managers Association
PaP: Punto a Punto
Rec.: Recomendación
RF: Radio Frecuencia
ROE: Relación de Onda Estacionaria
RPE: Radiation Pattern Envelope
UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones
UIT-R: Unión Internacional de Telecomunicaciones, Sector Radiocomunicaciones
UV: Ultravioleta
XPD: Cross-Polar Discrimination

11. Unidades de medición

dB: Decibel
dBc: Decibel referido a la portadora sin modular
dBd: Decibel referido al dipolo de media onda
dBi: Decibel referido al radiador isotrópico
dBm: Decibel referido a 1 mW de potencia

GHz: Gigahertz

kg: Kilogramo

kHz: Kilohertz

km: Kilómetro

m: Metro

MHz: Megahertz

12. Referencias

- [1] Recomendación UIT-R F.699-7. “Diagramas de radiación de referencia de antenas de sistemas inalámbricos fijos para utilizarlos en los estudios de coordinación y en la evaluación de la interferencia en la gama de frecuencias de 100 MHz a unos 70 GHz”. Unión Internacional de Telecomunicaciones. 2006.
- [2] Recomendación UIT-R F.1245-1. “Modelo matemático de diagramas de radiación media y diagramas conexos para antenas de sistemas de radioenlaces Punto a Punto con visibilidad directa para aplicarlo en ciertos estudios de coordinación y en la evaluación de la interferencia en la gama de frecuencias de 1 GHz a unos 70 GHz”. Unión Internacional de Telecomunicaciones. 2000.
- [3] NSMA Recommendation WG 16.89.003. “Standard Format for Electronic Transfer of Terrestrial Antenna Pattern Data”. Working Group 16. NSMA. 1989.
- [4] NSMA Recommendation WG 16.99.50. “Antenna Systems – Standard Format for Digitized Antenna Patterns”. Working Group 16. NSMA. August 1999.
- [5] NSMA Recommendation WG 16.95.043. “Assignment of Antenna Identification Codes”. Working Group 16. NSMA. October 1995.
- [6] Andrew Catalog 38. Andrew Corporation. 2000.
- [7] RFS Microwave Antennas. A comprehensive selection guide. Edition 2. 7/2013.
- [8] Spectrum Planning Policy Report SPP8/2001. "Microwave Fixed Services: Survey of Commercially Manufactured (1.5-58 GHz) Parabolic Antennas". Australian Communications Authority. Radiofrequency Planning Group. June 2001.
- [9] Discussion paper SP05/03. "Proposal for spectrum efficient antenna performance regulatory criteria for use in the fixed service microwave bands". Australian Communications Authority. June 2003.
- [10] Recomendación UIT-R F.758-3. “Consideraciones relativas a la elaboración de criterios para la compartición entre el servicio fijo terrenal y otros servicios”. Unión Internacional de Telecomunicaciones. 2003.
- [11] Report ITU-R F.2059. “Antenna characteristics of point-to-point fixed wireless systems to facilitate coordination in high spectrum use areas”. International Telecommunications Union. 2005.
- [12] Directiva General DNRc. 61-02. “Planilla de datos y metodología de cálculo de radioenlace interferente para sistemas de radiocomunicaciones pertenecientes al servicio fijo que operan en frecuencias superiores a 1000 MHz”. Comisión Nacional de Comunicaciones. 2004.

- [13]149-1979: IEEE Standard Test Procedures for Antennas. Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2002.
- [14]IEC 60835-2-2 (1994): "Methods of measurement for equipment used in digital microwave transmission systems - Part 2: Measurements on terrestrial radio-relay systems - Section 2: Antenna". International Electrotechnical Commission. 1994.
- [15]ACMA RALI FX 3. "Radiocommunications Assignment and Licensing Instruction - Microwave Fixed Services Frequency Coordination". Australian Communications and Media Authority. 2010.
- [16]Resolução nº 609, de 18 de abril de 2013. Norma para Certificação e Homologação de Antenas para Uso em Aplicações Ponto-a-Ponto. Anatel. 2013.
- [17]Code of Federal Regulations. Title 47. Part 101. §101.115. "Directional antennas". Federal Communications commission.
- [18]ETSI EN 302 217-4-1 V1.4.1 - "Fixed Radio Systems; Characteristics and requirements for point-to-point equipment and antennas; Part 4-1: System-dependent requirements for antennas". European Telecommunications Standardization Institute. 2010.
- [19]ETSI EN 302 217-4-2 V1.5.1 - "Fixed Radio Systems; Characteristics and requirements for point-to-point equipment and antennas; Part 4-2: Antennas; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive". European Telecommunications Standardization Institute. 2010.
- [20]Recomendación UIT-R V.573-5. "Vocabulario de radiocomunicaciones". Unión Internacional de Telecomunicaciones. 2007.
- [21]IEEE Sd 145-1993. "IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas". Antenna Standards Committee of the IEEE Antennas and Propagation Society. IEEE. 1993.
- [22]Reglamento de Radiocomunicaciones. Unión Internacional de Telecomunicaciones. Edición de 2012.

Página dejada intencionalmente en blanco

Anexo I - Códigos de programación