

PROYECTO FINAL DE INGENIERÍA

ANÁLISIS DE IMPLEMENTACIÓN DE ENSAYOS DE COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA EN UNA CÁMARA TOTALMENTE ANECOICA.

Maslaton, Mariano Agustín – LU 137203

Ingeniería en Telecomunicaciones

Tutor:

Salibe, Martín, IAR

Co-Tutor:

Bava, José Alberto, UADE

Octubre 9, 2015



UADE

**UNIVERSIDAD ARGENTINA DE LA EMPRESA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS EXACTAS**

Agradecimientos

A mi madre y a Ricardo “el oso”, por todo el amor y apoyo incondicional, además del enorme esfuerzo realizado para darme la oportunidad de estudiar. No me alcanzará la vida para demostrarles mi gratitud y admiración.

A mi hermano Carlos, que pese a ser tan diferentes, es la persona más importante en mi vida.

A Romina, por su amor y por enseñarme que todo es posible con dedicación.

Al ingeniero Alberto Bava, por el tiempo dedicado, por confiar en mí y hacer posible que conociera al Instituto Argentino de Radioastronomía.

A los ingenieros Juan José Larrarte y Leandro García, por recibirme cálidamente y permitir que un total desconocido emprenda el último tramo de su carrera en un lugar tan hermoso como es el IAR.

A mi tutor Martín Salibe, por la paciencia y el tiempo dedicado a mi trabajo. Sin su apoyo y libertad este proyecto no hubiese sido posible concluirlo. No existe palabra que describa lo agradecido que estoy.

Al ingeniero Patricio Gross por toda la ayuda brindada durante la realización del proyecto.

A Rubén, Pablo y Maxi, por su buena onda y predisposición además de su ingenio al diseñar las estructuras utilizadas y por el tiempo empleado en ayudarme a llevar a cabo la práctica.

A todo el personal del IAR por hacerme sentir tan cómodo durante este último año y medio. En especial a Guillermo, Leandro, Elías, Julián y Guillermina.

A todos ellos, gracias.

Resumen

Los dispositivos electrónicos tienen la cualidad de emitir energía electromagnética en forma radiada o conducida capaz de alterar el funcionamiento de distintos dispositivos pertenecientes a un entorno. En consecuencia, los dispositivos deben ser sometidos a ensayos de compatibilidad electromagnética que garanticen el cumplimiento de las exigencias establecidas en los estándares internacionales en cuanto a emisión y susceptibilidad electromagnética. Para efectuar dichos ensayos de radiofrecuencia, a menudo se utilizan cámaras anecoicas, reverberantes y celdas GTEM.

El Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR) cuenta en su predio con una cámara anecoica, pero se desconoce si puede ser utilizada para compatibilidad electromagnética en el rango de frecuencias de 30 MHz a 1000 MHz. El objetivo del presente trabajo es analizar la factibilidad de implementar ensayos de compatibilidad electromagnética en dispositivos comerciales.

Para ello, primero se seleccionaron las normas básicas que se utilizan y se estudiaron con el fin de determinar sus aspectos técnicos más importantes. A continuación se detalló el procedimiento de medición efectuado con el instrumental disponible en el instituto y culminó con un análisis de los datos obtenidos, arrojando como resultado la imposibilidad de realizar ensayos bajo la configuración actual.

Palabras clave: Compatibilidad Electromagnética, Cámara Anecoica, Normas.

Abstract

Electronic devices have the quality of emitting electromagnetic energy, either radiated or conducted, capable of altering the performance of different devices belonging to an environment. Accordingly, devices must be subjected to electromagnetic compatibility tests to ensure compliance with the requirements of international standards for electromagnetic emission and susceptibility. To perform these radiofrequency tests anechoic chambers, reverberant and GTEM cells are often used.

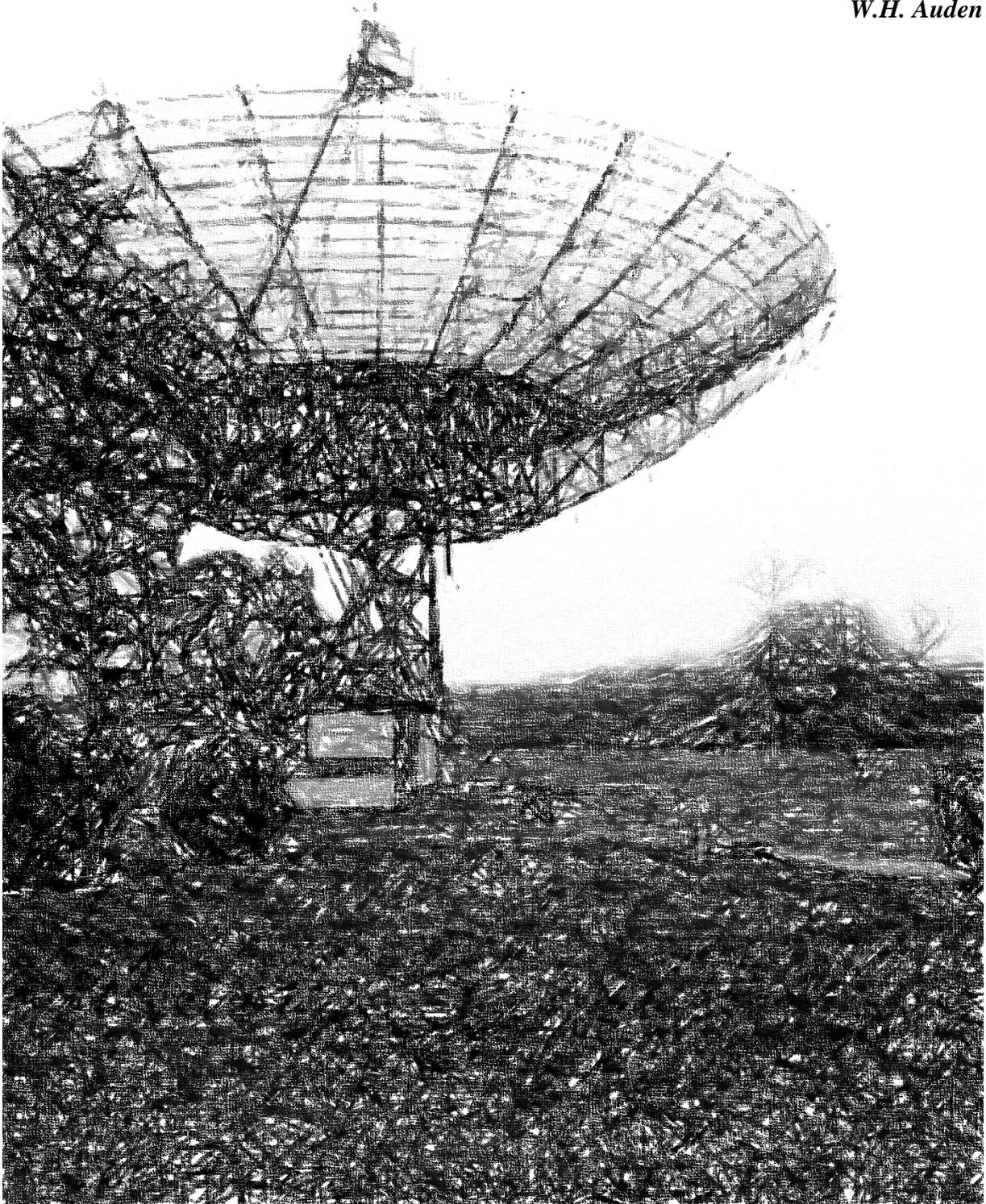
The Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR) has in its premises an anechoic chamber, but it is not known whether it can be used for electromagnetic compatibility in the frequency range from 30 MHz to 1000 MHz. The aim of this paper is to analyze the feasibility of implementing electromagnetic compatibility tests in commercial devices.

In order to do this, the basic standards used were selected and studied to determine its most important technical aspects. Then, the procedure of measuring performed with the instruments available in the institute was detailed, culminating in an analysis of the obtained data, which resulted in the impossibility of performing tests under the current configuration.

Keywords: Electromagnetic Compatibility, Anechoic Chamber, Standards.

Mire si así lo desea; pero tendrá que saltar.

W.H. Auden



Índice General

1. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Estructura del Proyecto	14
2. DESCRIPCIÓN.....	16
2.1. Contexto del Problema.....	17
3. MARCO TEÓRICO.....	19
3.1. Conceptos Básicos	20
3.1.1. Coordenadas Esféricas.....	20
3.1.2. Notación Fasorial.....	21
3.1.3. Decibeleles.....	21
3.2. Principios Básicos de Ondas Electromagnéticas	22
3.2.1. Definición de Onda.....	22
3.2.2. El Campo Eléctrico	23
3.2.3. El Campo Magnético.....	25
3.2.4. Las Ecuaciones de Maxwell.....	26
3.2.5. Ondas Planas	27
3.2.6. Impedancia Característica.....	29
3.2.7. Vector de Poynting.....	30
3.3. Principios Básicos de Antenas.....	31
3.3.1. Potencia Radiada.....	31
3.3.2. Directividad.....	32
3.3.3. Ganancia	33
3.3.4. Factor de Antena	33
3.3.5. Polarización.....	35
3.3.6. Patrón de Radiación.....	37
3.3.7. Ancho de Banda.....	39
3.3.8. Impedancia.....	39
3.3.9. Relación de Onda Estacionaria	40
3.4. Zonas de Propagación.....	40
3.4.1. Campo Cercano Reactivo	40

3.4.2.	Campo Cercano Radiante (o Región de Fresnel)	42
3.4.3.	Campo Lejano (o Región de Fraunhofer)	43
3.5.	Introducción a las Cámaras Anecoicas	45
3.5.1.	Tipos de Cámaras	46
3.5.2.	Diseño de las Cámaras Anecoicas Rectangulares	48
3.5.3.	El Blindaje de la Cámara	49
3.5.4.	Materiales Absorbentes Electromagnéticos	50
3.5.5.	Medidas de la Cámara y Paneles Absorbentes del IAR	50
3.5.6.	Señales Reflejadas	52
3.6.	Caracterización de la Cámara Anecoica	54
3.6.1.	Los Estándares Internacionales y Nacionales	54
3.6.2.	Los Estándares Para Cámaras Anecoicas	55
3.6.3.	IEC, ANSI, IEEE y MIL-STD	55
3.7.	Compatibilidad Electromagnética	56
4.	METODOLOGÍA DE DESARROLLO	58
4.1.	Uniformidad del Frente de Campo	59
4.2.	Atenuación de Sitio Normalizada	61
4.3.	Efectividad del Blindaje	65
4.4.	Generador de Señales y Analizador de Espectro	68
4.5.	Las Antenas	70
4.6.	Las Estructuras	70
4.7.	Medición de la Uniformidad de Frente de Campo	72
4.8.	Medición de la Atenuación de Sitio Normalizada	76
4.9.	Medición de la Efectividad del Blindaje	79
4.10.	Limitaciones	83
5.	RESULTADOS	85
5.1.	Resultados de la Uniformidad de Frente de Campo	86
5.2.	Resultados de la Atenuación de Sitio Normalizada	89
5.3.	Resultados de la Efectividad del Blindaje	90
5.4.	Evaluación de la Contribución de Incertidumbre	92
6.	CONCLUSIONES	93
6.1.	Conclusiones Personales	95

6.2. Mejoras a Futuro.....	95
7. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	97
8. Glosario de Términos.....	103
9. Anexo I: Factor de Antena y Ganancia	106
10. Anexo II: Resultado de las Mediciones.....	111
10.1. Uniformidad de Frente de Campo: Polarización Horizontal	112
10.2. Uniformidad de Frente de Campo: Polarización Vertical.....	121
10.3. Atenuación de Sitio Normalizada: Polarización Horizontal.....	131
10.4. Atenuación de Sitio Normalizada: Polarización Vertical	133
10.5. Efectividad del Blindaje: Polarización Horizontal.....	136
10.6. Efectividad del Blindaje: Polarización Vertical.....	140

Índice de Figuras

Figura 1. Coordenadas esféricas.....	20
Figura 2. Elementos característicos de una onda.	23
Figura 3. Líneas de fuerza de un campo eléctrico.....	24
Figura 4. Líneas de campo magnético en (a) un cable y (b) un imán	25
Figura 5. Propagación de onda plana.	28
Figura 6. Potencia de un radiador isotrópico.....	32
Figura 7. Relación del factor de antena	34
Figura 8. Polarización vertical, circular y elíptica.....	36
Figura 9. Patrón de radiación y principales aspectos.	37
Figura 10. Patrón de radiación a) cartesiano y b) polar.....	38
Figura 11. Clasificación de lóbulos.....	38
Figura 12. Regiones de campo de una antena.	41
Figura 13. Propagación de ondas en la región de Fresnel.....	42
Figura 14. Frentes de ondas en las distintas regiones.....	43
Figura 15. Error de fase en antena.....	44
Figura 16. Ondas incidentes en porción de cámara.....	46
Figura 17. Parámetros de la cámara anecoica.	48
Figura 18. Cámara anecoica IAR. (a) Recinto utilizando para la construcción de la cámara. (b) Láminas de hierro galvanizado revisten las paredes.	49
Figura 19. Disposición de paneles absorbentes.....	52
Figura 20. Frente de onda resultante sobre la apertura de la antena.	53
Figura 21. Resumen de EMC.	57
Figura 22. Uniformidad de Frente de Campo.....	59
Figura 23. Disposición de puntos en la UFA.	60
Figura 24. Configuración de la medición de NSA	63
Figura 25. Puntos de medición en el volumen de prueba.....	64
Figura 26. Valor de referencia.....	66
Figura 27. Medición del blindaje.	67
Figura 28. Esquema de conexión.	69
Figura 29. Estructura de madera dentro de la cámara.	71
Figura 30. Esquema de conexión para medición de la UFA.	72
Figura 31. Prueba de enlace.	74
Figura 32. Imagen panorámica de la conexión de antenas moño.....	75
Figura 33. Captura de planilla de cálculo.....	75
Figura 34. Esquema de conexión para tensión directa.	76
Figura 35. Volumen imaginario conformado por puntos de tres planos.	77
Figura 36. Altura del cilindro y posiciones de la antena.	78

Figura 37. Apuntamiento entre antenas logoperiódicas.	78
Figura 38. Captura de la planilla de cálculo para algunos puntos.	79
Figura 39. Medición de la efectividad de blindaje con antenas moño.	80
Figura 40. Medición de blindaje con antenas logoperiódicas.	82
Figura 41. Esquema de conexión de tensión directa.	84
Figura 42. Gráfico de la UFA para 690 MHz.....	87
Figura 43. Gráfico de la UFA para 174 MHz.....	88
Figura 44. Desvío estándar de frecuencias.	89
Figura 45. Resultados de la EB.	91
Figura 46. Antena Moño 1: Polarización Horizontal.	107
Figura 47. Antena Moño 1: Polarización Vertical.	107
Figura 48. Antena Moño 2: Polarización Horizontal.	108
Figura 49. Antena Moño 2: Polarización Vertical.	108
Figura 50. Antena Logoperiódica 1: Polarización Horizontal.	109
Figura 51. Antena Logoperiódica 1: Polarización Vertical.....	109
Figura 52. Antena Logoperiódica 2: Polarización Horizontal.	110
Figura 53. Antena Logoperiódica 2: Polarización Vertical.....	110

Índice de Tablas

Tabla I. Resumen.....	50
Tabla II. Panel piramidal ETS Lindgren EHP-12 PCL.....	51
Tabla III. Panel piramidal ETS Lindgren EHP-18 PCL.....	51
Tabla IV. Normas seleccionadas.....	55
Tabla V. Dimensiones del volumen de prueba.....	64
Tabla VI. Efectividad de blindaje.....	65
Tabla VII. Características del Generador de Señales.....	68
Tabla VIII. Características del Analizador de espectro.....	69
Tabla IX. Valores para la ecuación de Friis.....	73
Tabla X. Resultados de la UFA en 690 MHz.....	86
Tabla XI. Resultados de la UFA en 174 MHz.....	87
Tabla XII. Resultados de la NSA en 350 MHz.....	89
Tabla XIII. Resultados de la NSA en 188 MHz.....	90
Tabla XIV. Cálculo de Incertidumbre.....	92

Capítulo 1

Introducción

La interferencia electromagnética (EMI) es la interrupción operacional de un dispositivo electrónico causado por un campo electromagnético en el espectro de radiofrecuencias generado por otro dispositivo electrónico. Surge entonces el concepto de compatibilidad electromagnética (EMC) con el objetivo de mitigar los problemas de interferencia.

La compatibilidad electromagnética es una característica de diseño intencional y *se ha convertido en un componente crítico en la mayoría de los dispositivos electrónicos modernos* [Donohoe, s.a.]. No sólo permite garantizar que diversos dispositivos funcionen en un entorno electromagnético de forma eficaz sino también evita la emisión de energía capaz de degradar el funcionamiento de otros equipos. En consecuencia, *los fabricantes de dispositivos electrónicos deben certificar que dichos dispositivos cumplen la normativa vigente para que estos productos sean comercializados* [Donohoe, s.a.].

Un método posible para certificar dispositivos electrónicos es realizando ensayos en cámaras anecoicas, muy utilizadas en la actualidad para llevar a cabo mediciones de EMC por las características que poseen. El Instituto Argentino de Radioastronomía cuenta con una cámara anecoica dentro de su predio, construida para realizar la medición de las antenas de servicio de los satélites SAOCOM 1A y 1B en sus modelos de ingeniería y vuelo para la frecuencia de 1245 MHz. En proyectos posteriores la cámara fue empleada para diversas mediciones, pero siempre han sido para frecuencias superiores a 1 GHz. Es por ello que se desconoce si puede ser empleada en bandas de frecuencia inferiores, especialmente en VHF y UHF, uno de los rangos de interés para los ensayos de EMC. Dentro de este contexto, el objetivo principal de este trabajo consiste en analizar la factibilidad de realizar pruebas de compatibilidad electromagnética dentro de la cámara anecoica. Para cumplir con esto, se definen los siguientes objetivos específicos:

- Identificar las normas específicas utilizadas en cámaras anecoicas para certificar dispositivos.
- Determinar si se cumple con los requerimientos solicitados por las normas para efectuar los ensayos.
- Analizar los parámetros constructivos del recinto.

Cumplir con dichos objetivos permite establecer si se pueden realizar pruebas de efectividad de blindaje, determinar si el frente de onda electromagnética que impacta la zona

donde se colocan en los dispositivos es plano y efectuar las mediciones de atenuación del sitio y normalizar los resultados. La importancia de estos resultados radica en que proporcionan información fundamental para afrontar los ensayos de compatibilidad.

1.1. Estructura del Proyecto

En el capítulo 2 se presenta el contexto del problema y se delimita tanto física y geográficamente como también temporalmente proyecto. También se plantean los problemas surgidos y la justificación del estudio.

En el capítulo 3 se detalla el conocimiento necesario para poder *sumergirse* en las normas seleccionadas y entenderlas. Por ello en primera instancia se introducen los conceptos básicos necesarios utilizados a lo largo de todo el proyecto. Luego se hace una presentación formal de los principios básicos que rigen al electromagnetismo iniciando con los conceptos de campo eléctrico y magnético, continuando por las ecuaciones de Maxwell y brindando una solución particular para ellas como es el caso de las ondas planas. Propiedades como la impedancia característica de la onda y el vector de Poynting también son abordados ya que son necesarios para describir el comportamiento de las ondas electromagnéticas. Por otro lado se describe al sistema encargado de radiar dichas ondas y sus principales características. Además, según la distancia a la que se encuentren las ondas de la antena varía la relación entre los campo eléctrico y magnético haciendo posible definir distintas zonas de propagación, siendo la zona de Fraunhofer la que presenta mayor interés. La sección 3.5 describe a la cámara anecoica en cuanto a sus características y materiales. Las normas para poder caracterizarla se introducen en la sección 3.6 y por último, se realiza una introducción acerca de la compatibilidad electromagnética.

El capítulo 4 cuenta con la descripción de las tres normas utilizadas y del instrumental utilizado para medir la uniformidad de frente de campo, la efectividad del blindaje y la atenuación normalizada de sitio. Además se detalla cómo fueron realizadas las mediciones y las limitaciones que surgieron.

En el capítulo 5 se muestran los resultados obtenidos para los distintos casos que se presentan y un análisis de los mismos. Además, se exponen las limitaciones surgidas en el proyecto y la incertidumbre en las mediciones.

El capítulo 6 presenta las conclusiones del proyecto obtenidas a partir del análisis de los resultados, conclusiones personales y las mejoras a futuro.

En el capítulo 7 se presenta la bibliografía y referencias utilizadas.

Por último, en los Anexos se encuentra el factor de antena y ganancia de las antenas utilizadas a lo largo de este proyecto y todos los resultados obtenidos de las mediciones.

Capítulo 2

Descripción

2.1. Contexto del Problema

Los dispositivos que contienen componentes electrónicos emiten y reciben ondas electromagnéticas que pueden ocasionar potenciales interferencias en otros equipos, hecho que motivó a la comunidad científica internacional a desarrollar normas que establezcan límites que permitan garantizar la compatibilidad electromagnética (EMC) entre distintos equipos que *conviven* en un medioambiente.

La mayoría de los países que poseen altos estándares de desarrollo y cuidado del medioambiente cuentan con leyes que regulan los niveles de carga electromagnética en los dispositivos, obligando a las empresas a su cumplimiento. En Argentina dichas leyes no existen, por lo cual si una empresa pretendía exportar equipos desarrollados en el país, estos debían cumplir con estos estándares internacionales. Es por ello que años atrás parte de las pruebas se llevaban a cabo en institutos nacionales o regionales, o incluso eran enviados a Europa para obtener la certificación correspondiente que avale su correcto funcionamiento.

El 31 de marzo del 2008 se inaugura en el INTI una cámara semianecoica destinada a ensayos de compatibilidad electromagnética y en el año 2012 el Centro Argentino de Estudios de Radiocomunicaciones y Compatibilidad Electromagnética (CAERCEM) del Departamento de Ingeniería Electrónica del ITBA, con apoyo del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva y las universidades holandesas Twente y Eindhoven desarrollaron un proyecto para instalar una cámara con el mismo objetivo.

Sin embargo, el país no cuenta con muchos más lugares en donde sea posible efectuar pruebas de compatibilidad y debido a la creciente demanda de turnos para certificar dispositivos, la Universidad de La Plata (UNLP) junto al Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR) tienen el interés de insertarse en el mercado para satisfacer parte de la demanda de turnos.

Los ensayos a superar por los dispositivos son clasificados en cuatro grupos: pruebas de emisión radiada y conducida, y pruebas de susceptibilidad radiada y conducida. Las pruebas de emisión conducida sirven para determinar la influencia de las corrientes que recorren los cables conectados al dispositivo, en tanto que las de susceptibilidad conducida definen el efecto de las corrientes inyectadas en los cables conectados al dispositivo mientras este se encuentra en funcionamiento. Por otro lado, las pruebas de emisión radiada se utilizan para corroborar que los campos generados sin intención por el equipo no alcancen un nivel determinado que

interfiera con otros equipos y finalmente, los ensayos de susceptibilidad radiada que son empleados para determinar cómo campos externos afectan al dispositivo. Como la UNLP cuenta con las instalaciones apropiadas para realizar las pruebas de EMC conducida, el IAR se hará cargo de las pruebas de compatibilidad radiada. Para tal propósito, el Instituto Argentino de Radioastronomía situado en el kilómetro 40 del Camino General Belgrano, partido de Berazategui, provincia de Buenos Aires, Argentina, cuenta con una cámara anecoica pero se desconoce si cumple con los requerimientos fijados por las normas internacionales para realizar este tipo de ensayos.

El contexto descrito permite el surgimiento de las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la viabilidad de realizar pruebas de compatibilidad electromagnética?
- ¿Cuenta el instituto con el equipamiento necesario para caracterizar la cámara?
- ¿Es necesario introducir alguna modificación en el recinto?

Capítulo 3

Marco Teórico

3.1. Conceptos Básicos

Antes de presentar el marco teórico que sustenta a este proyecto, resulta inexcusable establecer un sistema de coordenadas y una notación de campos armónicos que permitan describir en forma conveniente la teoría electromagnética. Por esta razón se introducen las coordenadas esféricas y la notación fasorial, que permite expresar en forma sencilla la amplitud y fase de una oscilación. Finalmente se define la unidad logarítmica llamada decibel que supone ciertas ventajas al momento de expresar cantidades relativas a causa de su esencia.

3.1.1. Coordenadas Esféricas

Debido a la naturaleza de la radiación, el sistema de coordenadas esféricas es el sistema que más se emplea a menudo en problemas de medición electromagnética [Hemming, 2002].

Este sistema fija tres coordenadas para ubicar un punto en el espacio: la distancia radial r respecto a un origen donde su valor es mayor o igual a cero, el ángulo polar θ que no posee restricción alguna en su valor y el ángulo θ también llamado acimut que varía entre 0 y π (fig. 1).

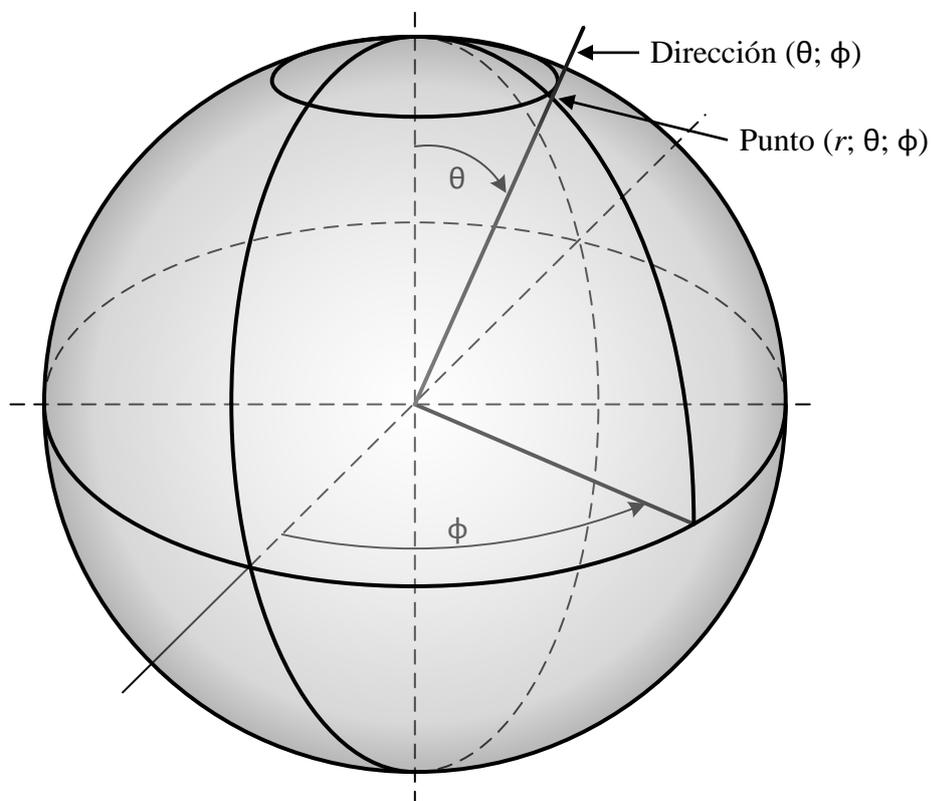


Figura 1. Coordenadas esféricas.

Es posible relacionar este sistema de coordenadas con el cartesiano (x, y, z) mediante la transformación

$$x = r \operatorname{sen} \theta \cos \phi \quad (1)$$

$$y = r \operatorname{sen} \theta \operatorname{sen} \phi \quad (2)$$

$$z = r \cos \theta \quad (3)$$

3.1.2. Notación Fasorial

Un fasor es un número complejo (4) que permite describir una función sinusoidal cuya amplitud, frecuencia y fase son invariantes en el tiempo. Su importancia radica en la simplificación que presenta la operación entre ondas armónicas.

$$z = x + iy \quad (4)$$

Un número complejo está compuesto de dos partes, en donde x e y son la parte real (Re) e imaginaria (Im) de z y $i = \sqrt{-1}$. Esto es,

$$x = \operatorname{Re}(z) \quad y = \operatorname{Im}(z) \quad (5)$$

Para establecer un vínculo entre un número complejo y una sinusoidal se utiliza la identidad de Euler, dada por la relación

$$e^{i\theta} = \cos \theta + i \operatorname{sen} \theta \quad (6)$$

Si A es la magnitud de z entonces podemos describir a un fasor, que gira en sentido anti horario a una determinada frecuencia, de la forma

$$Ae^{i\omega t} = A(\cos \omega t + i \operatorname{sen} \omega t) \quad (7)$$

3.1.3. Decibeles

El uso de decibeles en los cálculos y mediciones de radiación es casi esencial, debido al gran rango dinámico de las cantidades descritas [Hemming, 2002]. Se lo abrevia como dB y se emplea una escala logarítmica para medir la relación entre dos cantidades de potencia. Usualmente se establece un valor de referencia de referencia muy bajo. Por definición,

$$\text{Número}[dB] = 10 \log(P_1/P_2) \quad (8)$$

En donde la relación P_1/P_2 es la relación de potencia. El resultado puede ser mayor, menor o igual a cero. También otras cantidades como la tensión (V) y la corriente (I) pueden ser calculadas en dB ya que se encuentran relacionados con la potencia mediante

$$P = V^2/R = I^2R \quad (9)$$

Por lo tanto se deduce que

$$\text{Número}[dB] = 20 \log(V_1/V_2) = 20 \log(I_1/I_2) \quad (10)$$

Existen dos razones por la que se utilizan los decibeles. La primera es que el producto de dos números al convertirlas a dB implica hacer la operación suma en tanto que la división se transforma en una resta por las propiedades de los logaritmos. La otra razón es la compresión de la escala, esto significa que grandes cantidades de potencia pueden ser visualizadas en un mismo gráfico junto a pequeñas cantidades de potencia.

3.2. Principios Básicos de Ondas Electromagnéticas

3.2.1. Definición de Onda

Una onda es una excitación que se propaga a través del espacio o algún medio como una función del tiempo, pero por lo general no transporta materia consigo [Bauer, 2011]. Es posible hallar una representación matemática que describa mediante elementos característicos el comportamiento de una onda. Dicha representación es una función que resulta de gran interés y es ampliamente conocida con el nombre de sinusoidal. Los parámetros más importantes que intervienen son su frecuencia, que determina la cantidad de oscilaciones que ocurren por unidad de tiempo, la amplitud que es la separación máxima que puede tener una partícula en un determinado medio con respecto de su posición de equilibrio, el tiempo que una onda demora en completar una oscilación conocido como período, la longitud de onda que es la distancia en línea recta entre dos puntos de una misma función con una diferencia de un período (fig. 2) y por último, la velocidad de propagación que representa la distancia recorrida por una onda en una unidad de tiempo.

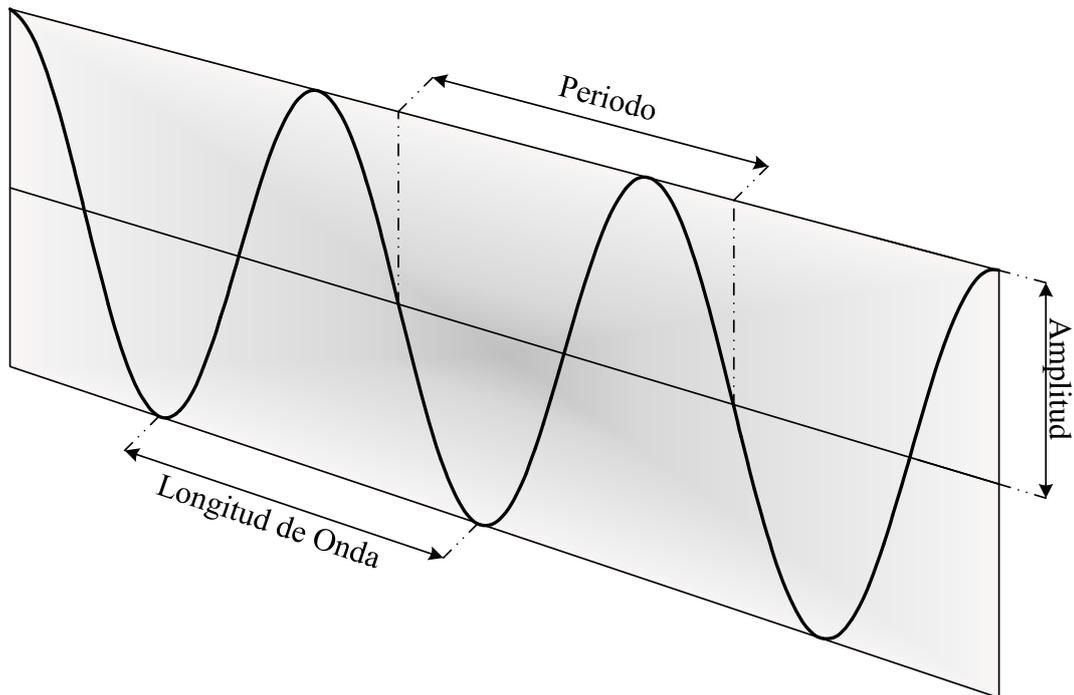


Figura 2. Elementos característicos de una onda.

Resulta posible clasificar a las ondas en distintos grupos según la dirección en que vibran las partículas y su propagación, el número de dimensiones que emplea al propagarse y por último, el medio por el cual se propagan. Estos grupos pueden ser combinados con el objetivo de describir algún fenómeno de la naturaleza como es el caso de las ondas electromagnéticas que no sólo no necesitan de un medio material para su propagación sino que además se encuentran definidas por un sistema de tres dimensiones: una dimensión para describir al campo eléctrico, otra para el campo magnético y una tercera para indicar el sentido en que se propagan.

Las leyes de Faraday y Ampère-Maxwell (presentadas en el apartado 3.2.3), expresan la interrelación entre ambos campos y como, al ser variables en el tiempo, un campo eléctrico genera un campo magnético y vice versa generándose el uno al otro a través del espacio.

3.2.2. El Campo Eléctrico

Para poder describir la interacción entre dos o más partículas cargadas y cómo se ven afectadas cuando una o más partículas se mueven súbitamente se introduce el concepto de campo eléctrico. *Una carga crea un campo eléctrico E en todo el espacio y éste campo ejerce una fuerza sobre la otra carga* [Tipler y Mosca, 2005]. Se lo define como *la fuerza (en Newton) por unidad de carga (en Coulomb)* [Huang y Boyle, 2008] ejercida en una carga de prueba Q .

Partiendo de esta definición y aplicando la ley de Coulomb, el campo eléctrico generado por una fuente de cargas es descripto por la ecuación (11).

$$E(\mathbf{r}) = \lim_{Q \rightarrow 0} \sum_{i=1}^n \frac{\mathbf{F}}{Q} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i^2} \check{\mathbf{r}}_i \quad (11)$$

La aparición del concepto de límite en la definición tiene un rol importante: asegurar que la carga de prueba sea lo suficientemente pequeña para no afectar a la distribución de cargas que originan un campo. Por otro lado, en la ecuación puede observarse una variable denominada *permitividad eléctrica* (ϵ) que depende de la frecuencia. En el caso particular del espacio libre, su valor de es $\epsilon_0 \approx 8.85429 \times 10^{-12}$ (farad/m).

Con el objeto de describir la interacción entre cargas de una forma cualitativa, Michael Faraday introdujo el concepto de líneas de fuerza (fig. 3). En la actualidad se conocen como líneas de campo y resultan de gran utilidad para visualizar un campo vectorial de fuerzas que tiene por origen una distribución de cargas eléctricas positivas o negativas. Por ejemplo, si se considera una carga aislada, las líneas de campo eléctrico en este caso son trazos rectos y se extienden hasta el infinito en todas las direcciones posibles en un espacio tridimensional. Asimismo, la única manera en que el número de líneas se incremente o disminuya es modificando la cantidad de cargas que generan un campo.

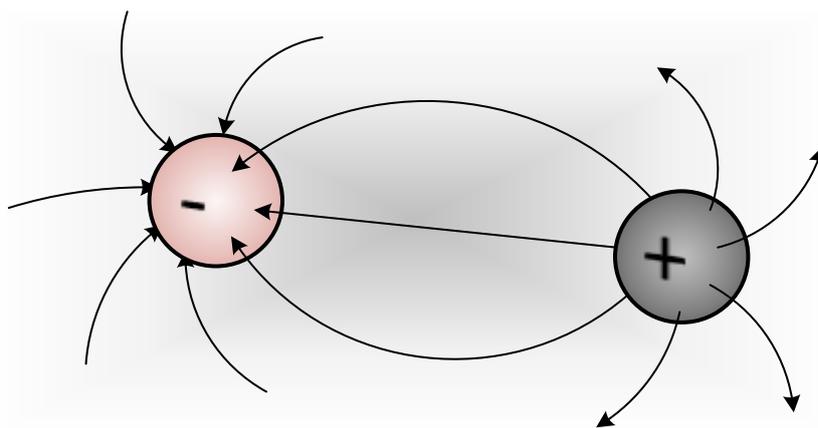


Figura 3. Líneas de fuerza de un campo eléctrico.

El espacio que existe entre las líneas guarda relación con la intensidad del campo, es decir, cuanto más próximas se encuentren las líneas entre sí más intenso será el campo eléctrico. Como

consecuencia, el campo eléctrico será más fuerte en un entorno cercano a una distribución de cargas ya que la densidad de líneas es mayor que en puntos más distantes a esta, en donde el espaciamiento entre líneas de campo es mayor.

3.2.3. El Campo Magnético

Tanto el flujo de cargas eléctricas como materiales intrínsecamente magnéticos generan un efecto que puede ser descrito a través de un campo magnético. A la ecuación (12) que describe el campo magnético alrededor de un bucle o lazo cerrado se la conoce como la ecuación de Ampère-Maxwell en su forma integral.

$$\oint_C \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \iint_S \left(\mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right) \cdot d\mathbf{S} \quad (12)$$

La *permeabilidad magnética* (μ), al igual que la permitividad eléctrica, depende de la frecuencia y su valor es $\mu_0 \approx 1,25663 \times 10^{-6}$ (henry/m) en el espacio libre. Para poder visualizar a un campo magnético se emplea el mismo concepto descrito para un el campo eléctrico pero con la particularidad de que las líneas de campo son siempre cerradas (fig. 4 (a)) ya que hasta el momento no se ha encontrado en la naturaleza lo que se conoce como monopolo magnético, una partícula elemental constituida por un solo polo magnético.

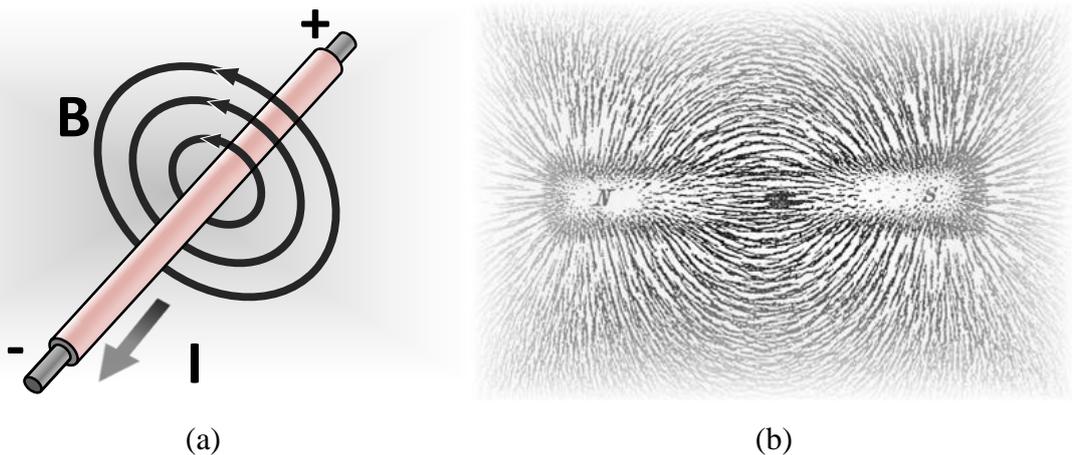


Figura 4. Líneas de campo magnético en (a) un cable y (b) un imán

Una forma alternativa para visualizar el campo magnético es colocando limaduras de hierro alrededor de un imán. Esto provoca que las limaduras, al ser de un material

ferromagnético, se comporten como pequeñas barras magnéticas con dos polos que se alinean con el campo de fuerza ejercido por el imán (fig. 4(b)).

3.2.4. Las Ecuaciones de Maxwell

Un físico escocés de nombre James Clerk Maxwell sintetizó de forma matemática una cantidad de leyes experimentales y observaciones sobre electricidad y magnetismo en un conjunto de cuatro ecuaciones consistentes que describen la mayoría de los fenómenos electromagnéticos. A continuación se presentan la ley de Gauss para campo eléctrico (13) y magnético (14), la ley de Faraday (15) y la ley de Ampère-Maxwell (16) en su forma diferencial.

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\varepsilon} \quad (13)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0 \quad (14)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad (15)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (16)$$

Donde

∇ es el operador Nabla.

$\nabla \times$ es el operador rotacional o rotor.

$\nabla \cdot$ es el operador divergencia.

\mathbf{J} es la densidad de corriente.

Si una onda electromagnética se propaga a través de un medio homogéneo y no hay presencia de cargas libres, las ecuaciones de Maxwell se simplifican ya que se anulan tanto \mathbf{J} como ρ

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 0 \quad (17)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (18)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad (19)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (20)$$

Al aplicar el rotor en las ecuaciones (19) y (20)

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} = -\nabla \times \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (21)$$

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \varepsilon_0 \nabla \times \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (22)$$

Y desarrollando el rotor de un rotor en el término de la izquierda las ecuaciones (21) y (22), se obtiene

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{E}) - \nabla^2 \mathbf{E} = -\nabla^2 \mathbf{E} \quad (23)$$

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{H} = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{H}) - \nabla^2 \mathbf{H} = -\nabla^2 \mathbf{H} \quad (24)$$

Por otro lado, calculando el determinante de tercer orden en los términos de la derecha de las ecuaciones (21) y (22) y reemplazando los resultados obtenidos se deriva en las ecuaciones (25) y (26).

$$c^2 \nabla^2 \mathbf{E} - \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (25)$$

$$c^2 \nabla^2 \mathbf{H} - \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} = 0 \quad (26)$$

A este par de ecuaciones se las conoce formalmente como ecuaciones de onda electromagnética. La constante c que acompaña al operador Laplaciano surge de efectuar el producto entre la permitividad eléctrica y la permeabilidad magnética dando por resultado 299.792.458 metros por segundo, que no es otra cosa que la velocidad de propagación de una onda en el vacío. Un resultado al que arribó Maxwell y que puso de manifiesto la naturaleza electromagnética de la luz.

3.2.5. Ondas Planas

Son la solución más sencilla a las ecuaciones de Maxwell en medio homogéneo como lo es el espacio libre. Además, su amplitud y frecuencia no varían en planos perpendiculares a la dirección de propagación (fig. 5). También se las denomina ondas monocromáticas ya que están caracterizadas por una única frecuencia.

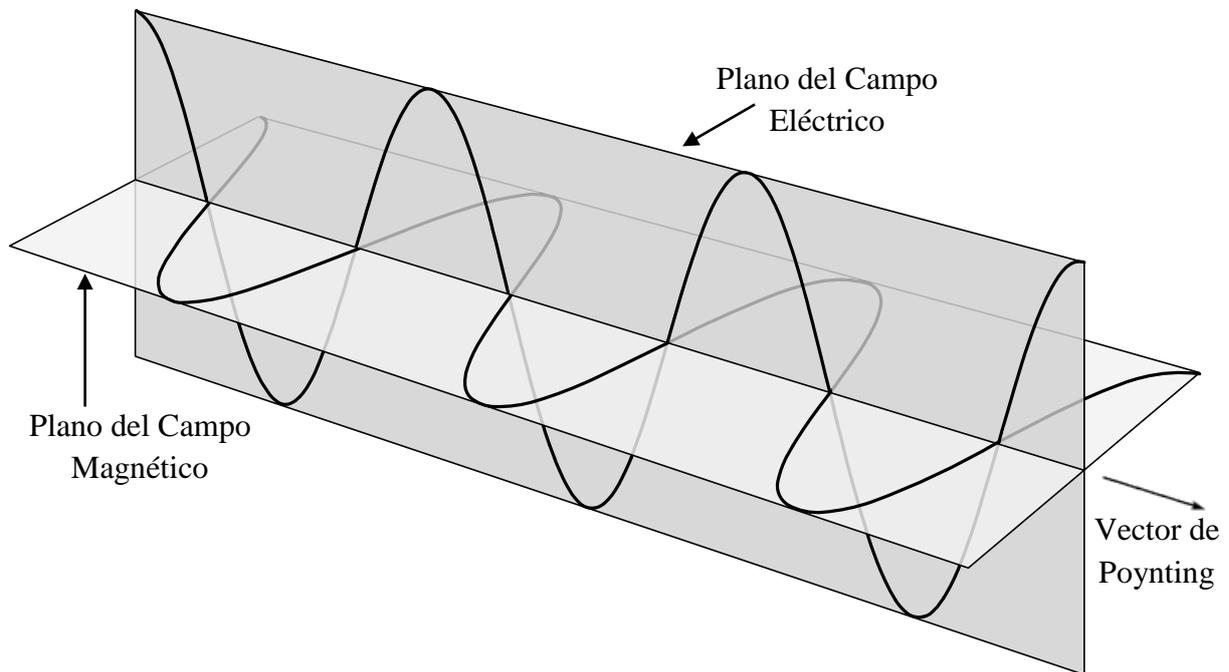


Figura 5. Propagación de onda plana.

A pesar de ser una abstracción matemática, distintos frentes de ondas pueden aproximarse al comportamiento de ondas planas si se encuentran lo suficientemente lejos de la fuente que los genera, condición conocida como campo lejano.

Suponiendo que la propagación ocurre en una determinada dirección, comúnmente se utiliza un vector \mathbf{k} denominado vector de onda para poder describir hacia dónde se dirige, siendo en todo momento ortogonal a los vectores de campo \mathbf{E} y \mathbf{H} . Las ecuaciones (27) y (28) son una posible solución a las ecuaciones de onda.

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{E}_0 e^{j(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t)} \quad (27)$$

$$\mathbf{H}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{H}_0 e^{j(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t)} \quad (28)$$

Con el fin de demostrar esto rápidamente, se simplifican los cálculos partiendo de una generalización de la ecuación clásica de onda (29) y, para una de las soluciones propuestas, se adopta una amplitud de valor unitario ($E_0=1$)

$$\left(\nabla^2 - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) \Psi = 0 \quad (29)$$

Donde $v = c/\sqrt{\epsilon\mu}$. Reescribiendo la ecuación del campo eléctrico se obtiene

$$\Psi = E = e^{j(k.r-\omega t)} \quad (30)$$

Aquí $\omega = vk$. Derivando la función se llega a los siguientes resultados

$$\nabla E = j\mathbf{k}e^{j(k.r-\omega t)} \quad (31)$$

$$\nabla^2 E = -k^2 e^{j(k.r-\omega t)} \quad (32)$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} = -j\omega e^{j(k.r-\omega t)} \quad (33)$$

$$\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = -\omega^2 e^{j(k.r-\omega t)} \quad (34)$$

Reemplazando (32) y (34) en (29) se obtiene

$$\left(\nabla^2 - \frac{1}{v^2} \nabla \frac{\partial^2}{\partial t^2}\right) E = \left(-k^2 + \frac{\omega^2}{v^2}\right) E = 0 \quad (35)$$

De lo expuesto se desprende que la función elegida cumple con la ecuación de onda y que por lo tanto, es una solución válida.

3.2.6. Impedancia Característica

Cualquier medio a través del cual las ondas planas se propagan tiene una propiedad llamada impedancia característica, denotada por Z . Está definida como el cociente entre el campo eléctrico y el campo magnético siempre que este no posea pérdidas (36). Para un medio con pérdidas la impedancia es un número complejo, pero su ecuación se encuentra fuera del alcance de este proyecto, por lo que no será definida.

$$Z = \frac{|\mathbf{E}|}{|\mathbf{H}|} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = 120\pi \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} (\Omega) \quad (36)$$

Para el espacio libre su valor es, aproximadamente,

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi \approx 377 (\Omega) \quad (37)$$

3.2.7. Vector de Poynting

La cantidad de energía por unidad de superficie y unidad de tiempo puede ser pensado como el flujo de un vector, llamado vector de Poynting [Rajeev, 2009]. Permite describir la amplitud y dirección de la onda electromagnética en un punto del espacio, siendo este vector ortogonal a ambos campos ya que se encuentra definido como indica la ecuación (38) por el producto vectorial entre el campo eléctrico y el magnético.

$$\mathbf{S}(\theta, \phi) = \mathcal{P}(\theta, \phi) = \mathbf{E}(\theta, \phi) \times \mathbf{H}^*(\theta, \phi) \quad (38)$$

En donde * indica el conjugado de un número complejo, es decir, la parte imaginaria lleva el signo opuesto. A la magnitud de este vector se lo conoce como densidad de flujo de energía o densidad de potencia y su valor medio es muy utilizado en cálculos que involucren a ondas planas. De ahí que la densidad de potencia media de una onda electromagnética viene dada por:

$$\mathcal{P}_{prom}(\theta, \phi) = \frac{1}{2} \text{Re}[\mathbf{E}(\theta, \phi) \times \mathbf{H}^*(\theta, \phi)] \quad (39)$$

Si se pretende expresar la densidad de potencia media en términos de θ y ϕ basta con desarrollar el producto vectorial de la ecuación (39). Es por ello que primero se debe partir de una ecuación que vincule a los campos eléctrico y magnético. A estos efectos se presentó la impedancia característica en la sección precedente. En consecuencia,

$$\mathbf{H}(\theta, \phi) = \frac{1}{Z_0} \check{\mathbf{r}} \times \mathbf{E}(\theta, \phi) = \frac{1}{Z_0} \begin{vmatrix} \check{\mathbf{r}} & \check{\theta} & \check{\phi} \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & E_\theta & E_\phi \end{vmatrix} = \frac{1}{Z_0} (-E_\phi \check{\theta} + E_\theta \check{\phi}) \quad (40)$$

Los componentes del campo magnético en $\check{\theta}$ y $\check{\phi}$ se encuentran definidos por las ecuaciones (41) y (42),

$$H_\theta = -\frac{E_\phi}{Z_0} \quad (41)$$

$$H_\phi = \frac{E_\theta}{Z_0} \quad (42)$$

Retomando el producto vectorial de la ecuación (39), al desarrollar el producto vectorial entre campos se obtiene que

$$\mathcal{P}_{prom} = \frac{1}{2} \text{Re}[\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*] = \frac{1}{2} \text{Re} \begin{vmatrix} \check{r} & \check{\theta} & \check{\phi} \\ 0 & E_{\theta} & E_{\phi} \\ 0 & H_{\theta}^* & H_{\phi}^* \end{vmatrix} = \frac{1}{2} \text{Re}(E_{\theta} H_{\phi}^* - E_{\phi} H_{\theta}^*) \check{r} \quad (43)$$

Para concluir, a las ecuaciones (41) y (42) se las reemplaza en (43),

$$\mathcal{P}_{prom} = \frac{1}{2} \text{Re} \left(E_{\theta} \frac{E_{\theta}^*}{Z_0} + E_{\phi} \frac{E_{\phi}^*}{Z_0} \right) \check{r} = \frac{1}{2} \frac{|E_{\theta}|^2 + |E_{\phi}|^2}{Z_0} \check{r} \quad (44)$$

Este resultado demuestra que la energía de la onda electromagnética es transportada en sentido radial y pone en evidencia el rol de los ángulos θ y ϕ .

3.3. Principios Básicos de Antenas

Una antena es *aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas* [IEEE, 1983]. Asimismo se la puede definir como *la estructura asociada con la región de transición entre una onda guiada y una onda en el espacio libre, o viceversa* [Kraus, 1950]. Normalmente está hecha de metal, pero otros materiales pueden ser usados también [Huang y Boyle, 2008].

A continuación se presentan los parámetros más significativos para este proyecto, estos son la densidad de potencia radiada, su factor de antena, su directividad y ganancia, polarización, la impedancia que posee, el patrón de radiación y el ancho de banda en que opera.

3.3.1. Potencia Radiada

Puede definirse como *la potencia que atraviesa a una unidad de área de una esfera hipotética* [Pérez Vega *et al*, 2007]. Dicho de forma más sencilla, es la potencia transmitida dividida por la superficie de una esfera a una determinada distancia. La superficie de la esfera se incrementa por el cuadrado de la distancia y por esta razón la densidad de potencia (watts/metro cuadrado) disminuye por el cuadrado de la distancia. Si se pretende conocer el valor de la potencia total radiada (P_r) basta con integrar la densidad de potencia (\mathcal{P}) contenida

en una superficie esférica imaginaria de radio r en cuyo centro se halla una antena transmisora (45).

$$P_r = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \mathcal{P}(\theta, \phi) r^2 \sin\theta d\theta d\phi = 4\pi r^2 \mathcal{P} \quad (45)$$

Un radiador isotrópico se define como *una hipotética antena sin pérdidas que radia de la misma manera en todas las direcciones* [Anguera y Pérez, 2008] del espacio de manera homogénea (fig. 6). Este modelo de radiación es utilizado como referencia para la definición de la directividad de una antena.

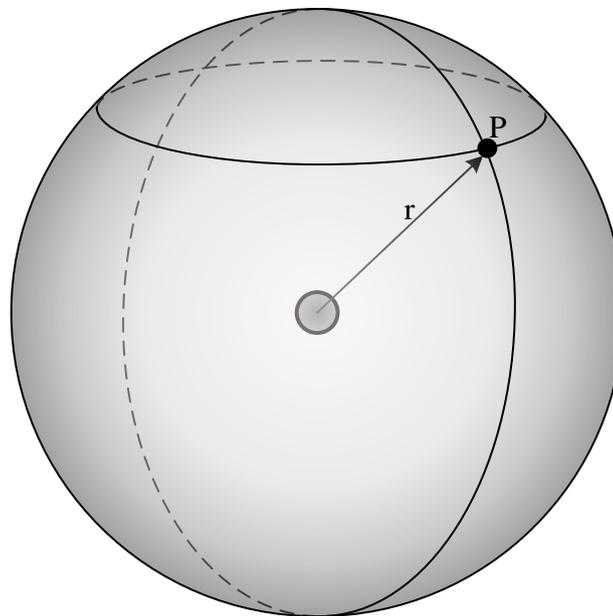


Figura 6. Potencia de un radiador isotrópico.

Previamente en el apartado 3.2.6 se mencionó que la magnitud del vector de Poynting es la interpretación de la densidad de potencia. En la figura se puede observar un punto **P** a una distancia r del radiador isotrópico, que no es otra cosa que el valor de la densidad de potencia en ese punto.

3.3.2. Directividad

Se la define como *la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia dada, y la densidad de potencia que radiaría a esta misma distancia una antena isotrópica que radiase la misma potencia que la antena transmisora* [Pérez Vega et al, 2007].

La directividad puede ser expresada en forma matemática mediante:

$$D(\theta, \phi) = \frac{\mathcal{P}(\theta, \phi)}{\frac{P_r}{4\pi r^2}} \rightarrow D = \frac{\mathcal{P}(\theta, \phi)_{max}}{\frac{P_r}{4\pi r^2}} \quad (46)$$

Si una antena posee mucha directividad (o expresado de otra forma, es muy directiva) implica que es capaz de concentrar la totalidad de la radiación en una dirección específica o hacia un punto determinado.

3.3.3. Ganancia

La ganancia está íntimamente relacionada con la directividad. Mientras que la directividad hace referencia a la potencia radiada, la ganancia hace referencia a la potencia que se le entrega a la antena. Como consecuencia, toma en cuenta las pérdidas de energía ocurridas por disipación de calor y otros factores. Por ello la potencia que se entrega a la antena siempre es mayor que la potencia radiada, siendo esta relación caracterizada como un factor de rendimiento que vincula a la ganancia con la directividad de la siguiente forma:

$$G(\theta, \phi) = \frac{\mathcal{P}(\theta, \phi)}{\frac{P_A}{4\pi r^2}} = \frac{P_r}{P_A} \frac{\mathcal{P}(\theta, \phi)}{\frac{P_r}{4\pi r^2}} = \eta D(\theta, \phi) \quad (47)$$

Otro concepto importante es el de *ganancia realizada*. Este valor toma en cuenta los efectos de adaptación del sistema y por esta causa debe multiplicarse al valor de ganancia por el coeficiente de reflexión.

3.3.4. Factor de Antena

Es la relación entre un campo eléctrico o electromagnético incidente y la tensión inducida por dicho campo en una impedancia situada en los conectores de una antena (fig. 7).

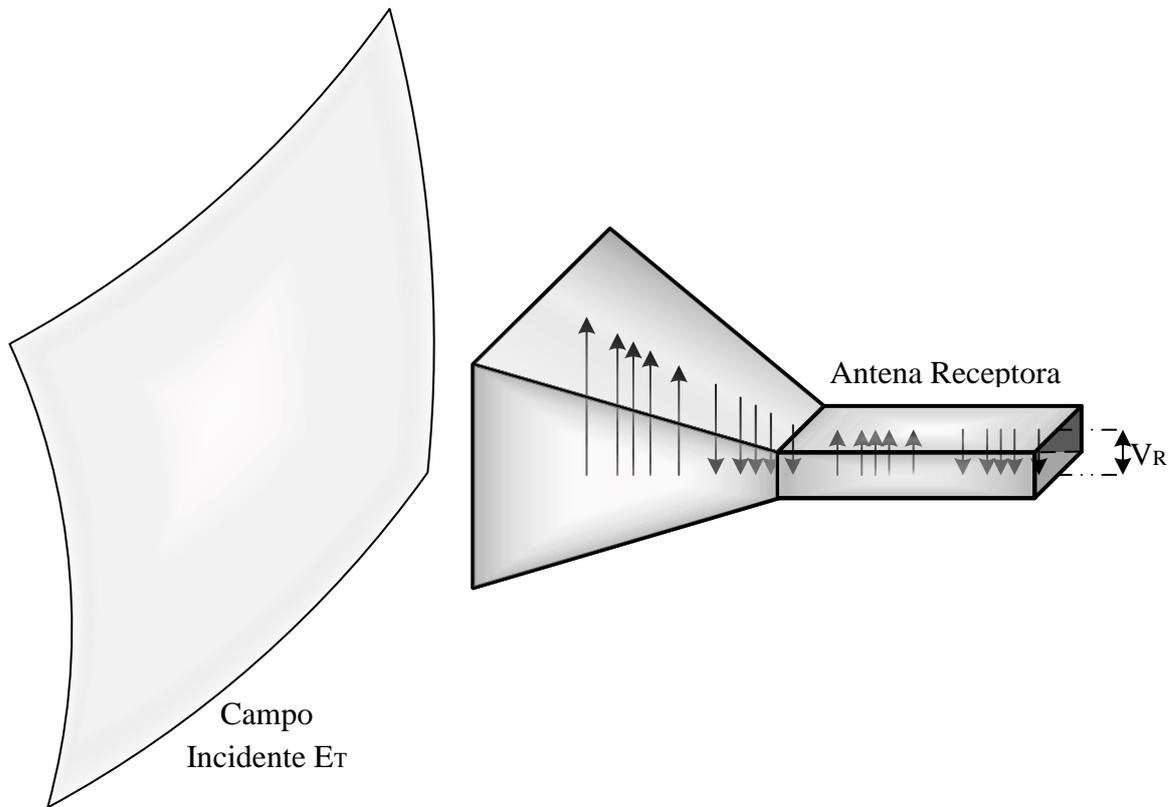


Figura 7. Relación del factor de antena

Usualmente la relación (48) se expresa en dB y tiene su fundamento basándose en la relación que existe en la teoría de antenas.

$$AF = 20 \log \left(\frac{E_T}{V_R} \right) \quad [dB(m^{-1})] \quad (48)$$

Con el propósito de demostrar la relación que vincula al factor de antena y a la ganancia, se parte de la suposición en donde un campo incide en una antena receptora bajo las condiciones de campo lejano. La densidad de potencia incidente se encuentra determinada por

$$\mathcal{P}_{inc} = \frac{|E_T|^2}{Z_0} \quad (49)$$

La potencia detectada en la antena receptora puede ser determinada en función del área efectiva (A_e) de una antena (parámetro que describe cuanta potencia es capturada de una onda plana). Por lo tanto, la potencia recibida es

$$P_R = \mathcal{P}_{inc} A_e = \mathcal{P}_{inc} \frac{\lambda^2 G}{4\pi} = \mathcal{P}_{inc} \frac{c^2 G}{4\pi f^2} = \frac{E_T^2 c^2 G}{Z_0 4\pi f^2} \quad (50)$$

En cuanto a la antena receptora, la potencia recibida depende de la impedancia del receptor y del voltaje recibido

$$P_R = \frac{V_R^2}{Z_{rec}} \quad (51)$$

Reemplazando (50) en (51) y despejando el factor de antena se obtiene

$$AF = \frac{E_T}{V_R} = \sqrt{\frac{4\pi f^2 Z_0}{c^2 G Z_{rec}}} = \sqrt{\frac{4\pi Z_0}{\lambda^2 G Z_{rec}}} \quad (52)$$

Si la impedancia del receptor es de 50 ohm, el factor de antena queda determinado por la ecuación

$$AF = \frac{9,73}{\lambda \sqrt{G}} \quad [m^{-1}] \quad (53)$$

En dónde λ es la longitud de onda para la frecuencia de trabajo.

3.3.5. Polarización

La polarización de una antena en una determinada dirección se la define como *la polarización de la onda radiada por la antena* [Balanis, 2005]. Cuando la dirección no se encuentra establecida, la polarización es tomada en la dirección de máxima ganancia. Asimismo, la polarización de una onda radiada es definida como *la propiedad de una onda electromagnética que describe la dirección variable en el tiempo y la magnitud relativa del vector de campo eléctrico a lo largo de la dirección de propagación* [Balanis, 2005]. Por otro lado, es factible clasificar en tres grupos los distintos tipos de polarización que existen: lineal, circular y elíptica (fig. 8).

Si el vector de campo eléctrico oscila siempre a lo largo de la línea en que se propaga, se dice que el campo está linealmente polarizado. La polarización circular se logra desfasando en noventa grados el campo eléctrico un campo eléctrico con respecto a otro, siendo la suma resultante un vector que rota en sentido horario o anti horario.

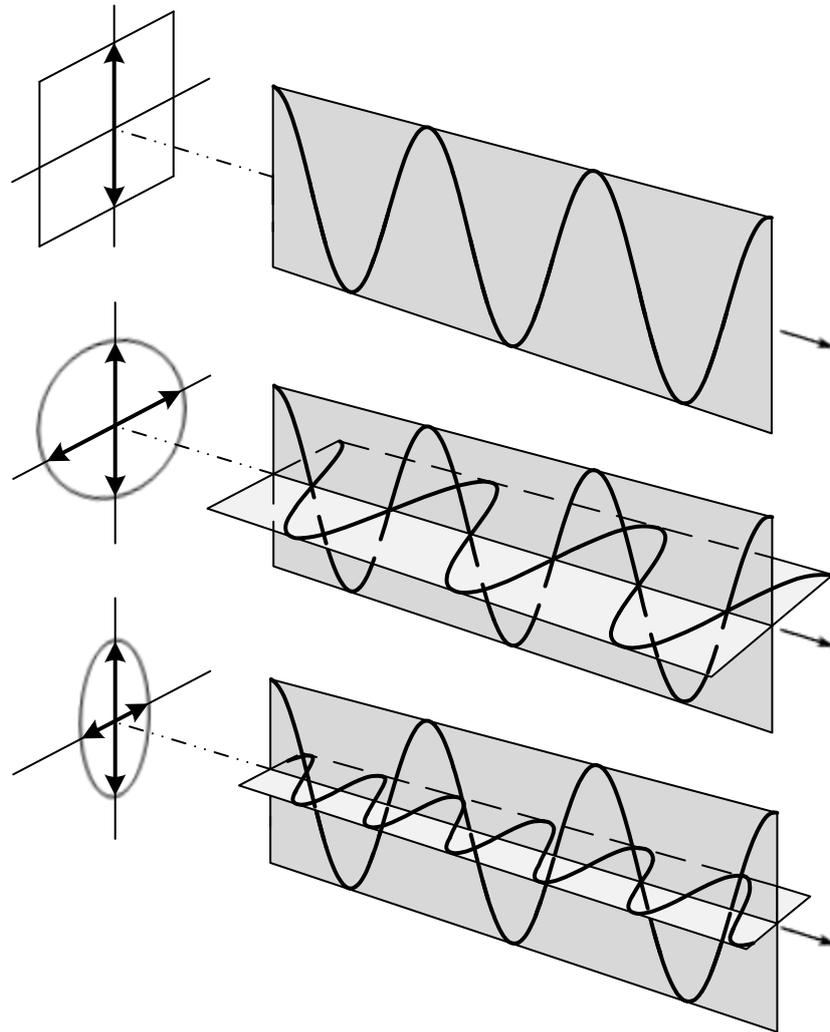


Figura 8. Polarización vertical, circular y elíptica.

El caso de la polarización elíptica es un caso general de las anteriores dos: mientras que la lineal sólo vibra a lo largo de un eje y la circular tiene a los dos semiejes de igual valor.

Con el fin de establecer una comunicación entre antenas debe tenerse en cuenta que si se transmite una señal por una antena con polarización vertical, la antena receptora no podrá establecer una comunicación si se encuentra ubicada polarizada horizontalmente. Si se transmite (o recibe) con una antena con polarización circular y se recibe (o transmite) con una antena que posee polarización horizontal o vertical, la antena capta al vector de campo que se encuentra en fase y aparece una pérdida por desadaptación de 3 dB de potencia.

3.3.6. Patrón de Radiación

Es una función matemática o una representación gráfica de las propiedades de radiación de una antena en función de las coordenadas espaciales [Balanis, 2005]. En la mayoría de los casos este patrón queda definido en la región de campo lejano y se emplean las coordenadas θ y ϕ para describirlo (fig. 9).

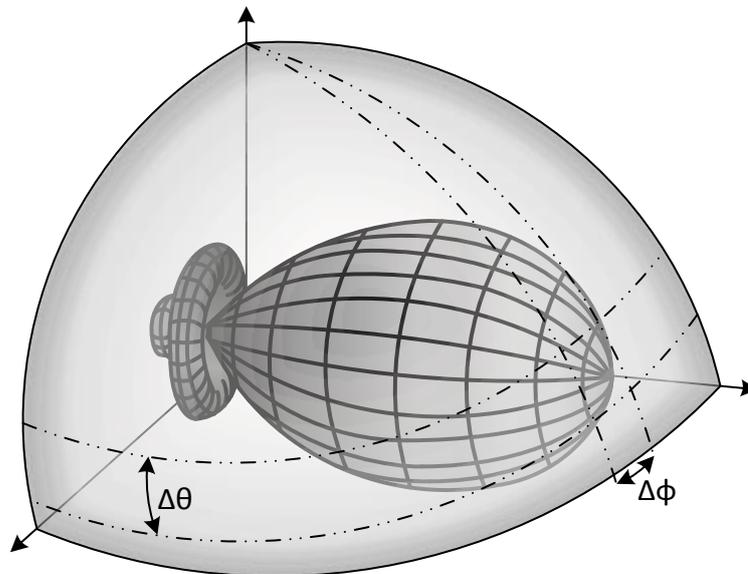


Figura 9. Patrón de radiación y principales aspectos.

Para la representación de las propiedades de radiación puede utilizarse la intensidad de radiación, directividad, densidad de potencia, ganancia, fuerza de campo, polarización o fase. Resulta más habitual emplear los diagramas de campo y de potencia, conocidos como patrón de amplitud de campo (trazado a una distancia o radio fijo del campo eléctrico o magnético recibido) y patrón de potencia (variación espacial de potencia a una distancia fija).

Con frecuencia los patrones de radiación de potencia y de campo se los normaliza (o relativiza) utilizando como referencia el valor máximo que presenta dentro de alguna región del espacio. También resulta bastante habitual expresar estas representaciones gráficas en una escala logarítmica como el decibel que tiene la ventaja de acentuar con un mayor detalle aquellas zonas en donde la potencia es mucho más pequeña en comparación a otras zonas.

En la figura 10 se observan dos formatos diferentes en que se presenta la radiación: el cartesiano y el polar. Particularmente esta representación es más utilizada que los diagramas en tres dimensiones ya que dan la mayoría de la información útil y necesaria.

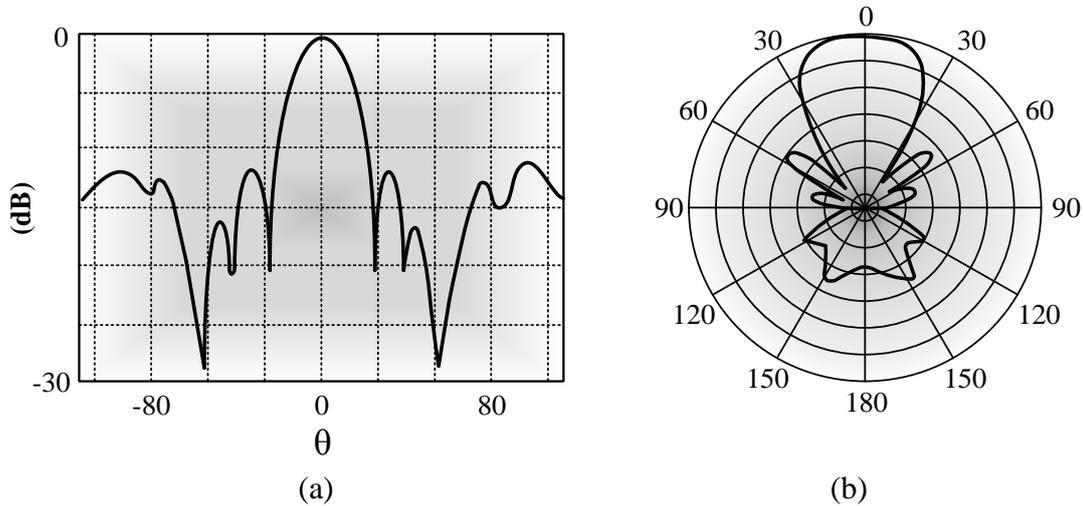


Figura 10. Patrón de radiación a) cartesiano y b) polar.

Los patrones de radiación son identificados por los lóbulos que poseen y a su vez se los clasifica en principal, laterales, secundarios y posterior (fig. 11) y se destaca la separación angular que delimita la porción del diagrama en donde la potencia cae a la mitad, es decir, 3 dB. Dicha separación se denomina ancho de haz y se la identifica como $\Delta\theta_{-3dB}$.

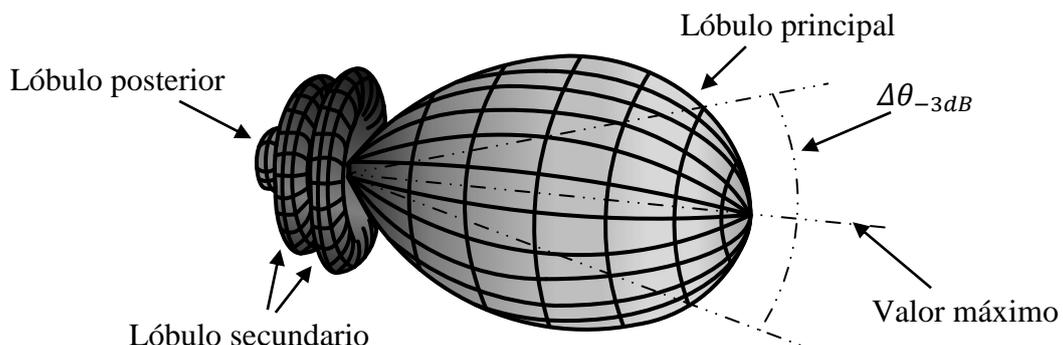


Figura 11. Clasificación de lóbulos.

El lóbulo principal se lo define como *el lóbulo que contiene la dirección de máxima radiación* [Balanis, 2005]. Los lóbulos secundarios, también conocidos como laterales son todos los que rodean al principal, es decir, son los lóbulos *de radiación en cualquier dirección excepto la deseada* [Balanis, 2005]. Por último, el lóbulo posterior está ubicado *diametralmente opuesto al lóbulo principal* [Anguera y Perez, 2008].

3.3.7. Ancho de Banda

Se refiere *al rango de frecuencias en el cual el rendimiento de la antena, con respecto a alguna característica, se ajusta a una norma especificada* [Balanis, 2005]. Expresado de otra manera, es el rango de frecuencias en el que la antena opera satisfactoriamente. Existe otro aspecto de interés denominado ancho de banda efectivo que se lo define como la gama de frecuencias dentro de las cuales el valor de ROE (definido en los sucesivos apartados) no excede un determinado valor. El interés que tiene este rango radica en que factores como ganancia, valores de lóbulos laterales o ancho de haz se encuentran dentro de lo especificado.

3.3.8. Impedancia

Una antena es un dispositivo de un puerto y, por lo tanto, presenta una impedancia de entrada que no es más que la relación entre la tensión y la corriente presente en el puerto de entrada [Ferrando y Valero, s.a.] o conector. Esta impedancia Z está compuesta por una parte real (R) que se denomina resistencia de la antena y otra imaginaria (X) que depende de la frecuencia de trabajo (54) y recibe el nombre de reactancia de la antena.

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (54)$$

A su vez la resistencia está compuesta por dos componentes que presentan disipación en forma de radiación y en forma de calor (óhmicas) (55). *Se define la resistencia de radiación R_r como la relación entre la potencia total radiada por una antena y el valor eficaz de la corriente en sus terminales de entrada, elevada al cuadrado. Se define la resistencia óhmica R_Ω de una antena como la relación entre la potencia disipada por efecto de pérdidas resistivas y la corriente en sus terminales al cuadrado* [Ferrando y Valero, s.a.].

$$Z = R_r + R_\Omega + jX \quad (55)$$

Por lo general se busca que la antena esté adaptada al generador de radiofrecuencia. Si este es el caso, la potencia transmitida desde el generador pasa a la antena y es completamente radiada al espacio, en cambio una desadaptación ocasiona que parte de la potencia transmitida se refleje hacia el propio generador ocasionando un posible daño en el equipo. Para lograr la máxima transferencia de potencia tal como sucede en la teoría clásica de circuitos es necesario

que la impedancia esté adaptada, es decir que no solo la impedancia de la fuente debe ser igual a la impedancia de carga en módulo sino también la reactancia del generador debe ser igual a la de carga pero de signo opuesto. Cuando esta situación ocurre, la frecuencia particular a la que se trabaja se la denomina frecuencia de resonancia.

3.3.9. Relación de Onda Estacionaria

Este parámetro es de gran interés para poder determinar que tan bien adaptada se encuentra la antena a la línea de transmisión. Es un número real siempre mayor o igual que la unidad. Si el valor es igual a uno entonces se encuentra perfectamente adaptada pero cuanto más nos alejemos del valor unitario, implica una desadaptación mayor en la línea. *Por debajo de un determinado valor, como por ejemplo $ROE < 3$ en los casos menos restrictivos, puede considerarse que una antena está bien adaptada* [Ferrando y Valero, s.a.].

3.4. Zonas de Propagación

Suelen distinguirse tres regiones alrededor de una antena radiante según el comportamiento de los campos, aunque no hay fronteras definidas, sino un paso gradual de una zona a otra [UCO, s.a.]. Estas tres zonas son conocidas como de región de campo cercano reactivo, región de campo cercano radiante (o región de Fresnel) y región de campo lejano (también llamado región de Fraunhofer).

3.4.1. Campo Cercano Reactivo

También denominado como región de campo cuasi estático o de inducción puede ser definida como *aquella porción de la región de campo próximo que rodea a la antena en la que predominan los campos reactivos (aquéllos en los que no se equilibra la densidad de energía eléctrica y la densidad de energía magnética en cada punto del espacio)* [Balanis, 2005].

La relación existente entre el campo eléctrico y magnético se torna muy compleja de predecir dificultando la determinación de la densidad de potencia (potencia por unidad de superficie en una determinada dirección). Para determinar los componentes que conforman E y H es necesario medirlos por separado y contrastarlos con la Guía de Protección de Radiofrecuencia (RFPG) contenida en la norma ANSI C95.1-1982.

En cuanto a la potencia radiada, durante la primera mitad del ciclo se “almacena” temporalmente en el campo cercano pero en el transcurso de la segunda mitad del ciclo la potencia regresa a la antena.

Para intentar visualizar la región de campo cercano, una forma posible es delimitar las distintas regiones del espacio mediante esferas hipotéticas dispuestas en forma concéntrica cuyos radios R_i son la distancia desde el punto de radiación hasta un punto de medición arbitrario (fig. 12). Que sea arbitrario implica que no existe un único criterio para separar cada una de las zonas.

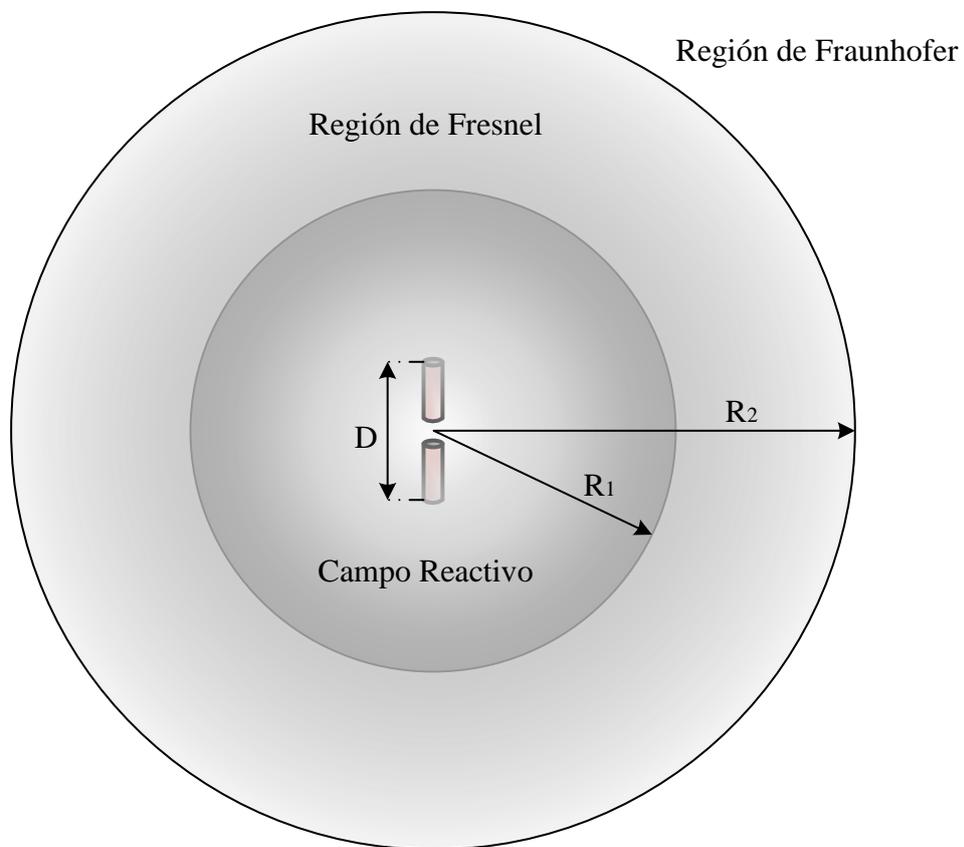


Figura 12. Regiones de campo de una antena.

Las ecuaciones (56) y (57) establecen un límite para el campo reactivo según el tamaño de la antena. La primera ecuación se corresponde con antenas de dimensiones eléctricamente pequeñas mientras que la restante con las antenas eléctricamente grandes. Que sea eléctricamente pequeño o grande significa que la longitud de la antena es más pequeña o más grande comparado con la longitud de onda λ .

$$R_1 < \frac{\lambda}{2\pi} \tag{56}$$

$$R_1 < 0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \tag{57}$$

El parámetro D es la mayor dimensión física de la antena, también conocido como apertura de la antena.

3.4.2. Campo Cercano Radiante (o Región de Fresnel)

Es aquella región de campo de una antena comprendida entre la región de campo próximo reactivo y la región de campo lejano en la que predominan los campos de radiación, y en la que la dependencia de los campos con las coordenadas (esféricas) angulares varía con la distancia a la antena [Balanis, 2005]. Esto implica que la forma que caracteriza al patrón de radiación de una antena puede variar al alejarse de la fuente y las ondas no pueden ser consideradas planas en esta instancia (fig. 13). Además existe un desfase entre los campos.

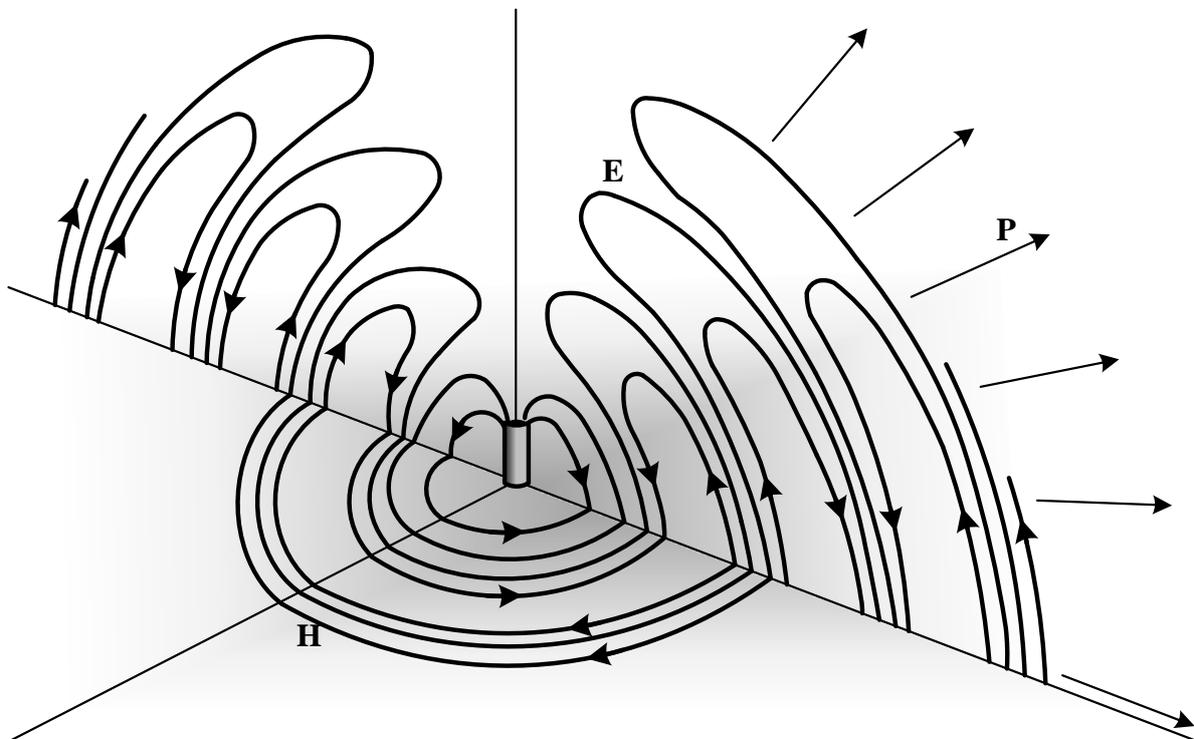


Figura 13. Propagación de ondas en la región de Fresnel.

Queda establecida esta región del espacio según la ecuación

$$0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq R_2 \leq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (58)$$

Para antenas pequeñas frente a la longitud de onda como el dipolo eléctrico, esta región puede no existir. Esto dependerá principalmente de los valores de longitud de onda y el tamaño de la antena que se utilicen.

3.4.3. Campo Lejano (o Región de Fraunhofer)

Abandonando la región de Fresnel, la forma que posee radiación electromagnética puede aproximarse mediante el modelo de ondas planas (fig. 14). Se define como *aquella región del campo de una antena donde la distribución de campo angular es esencialmente independiente de la distancia desde la antena* [Balanis, 2005].

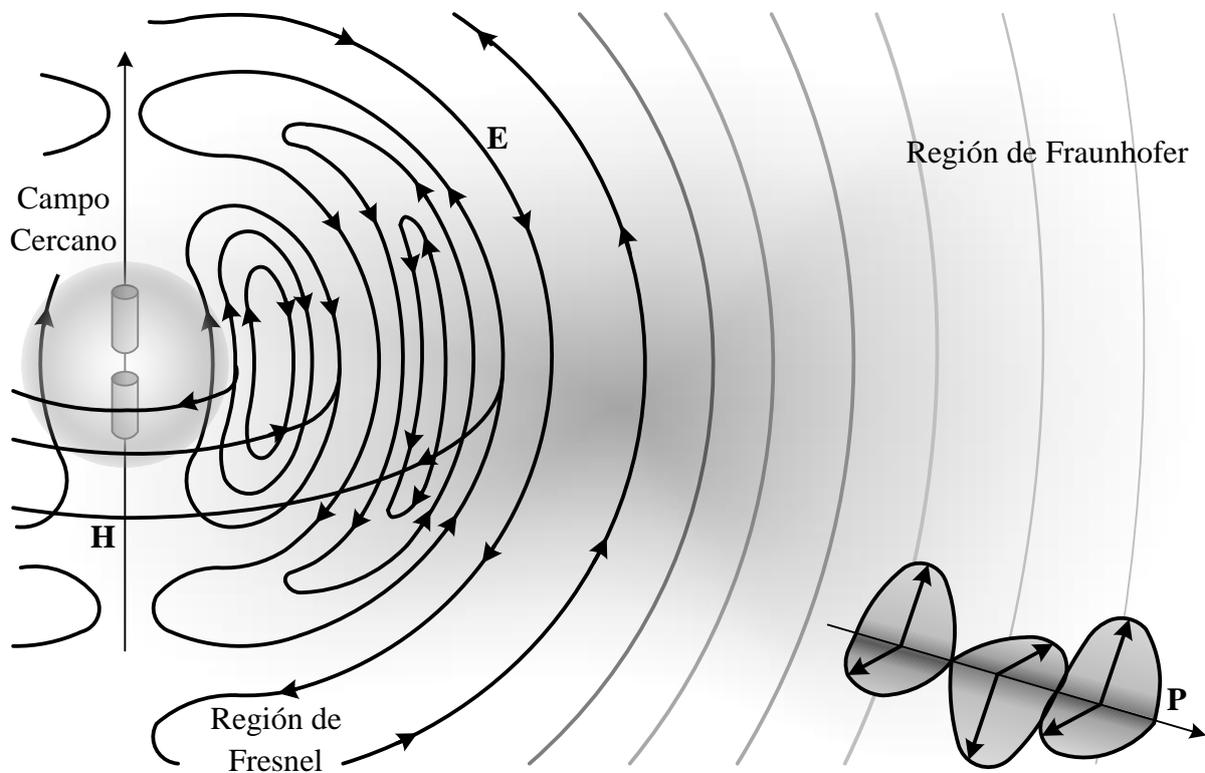


Figura 14. Frentes de ondas en las distintas regiones.

En esta región E , H y la dirección de propagación del vector de Poynting son mutuamente perpendiculares. Como consecuencia no sólo puede considerarse a las ondas electromagnéticas planas sino también se las puede relacionar entre sí a través de la impedancia característica del espacio libre contrariamente a lo que sucede en la región de Fresnel, donde las ondas aún son esféricas y poseen una impedancia de valor diferente a los 377 Ohm. El inicio de esta zona puede establecerse por medio de la ecuación (59).

$$R_3 > \frac{2D^2}{\lambda} \tag{59}$$

Para demostrar este resultado, se parte el análisis estableciendo un error de fase de aproximadamente 22,5 grados (fig. 15).

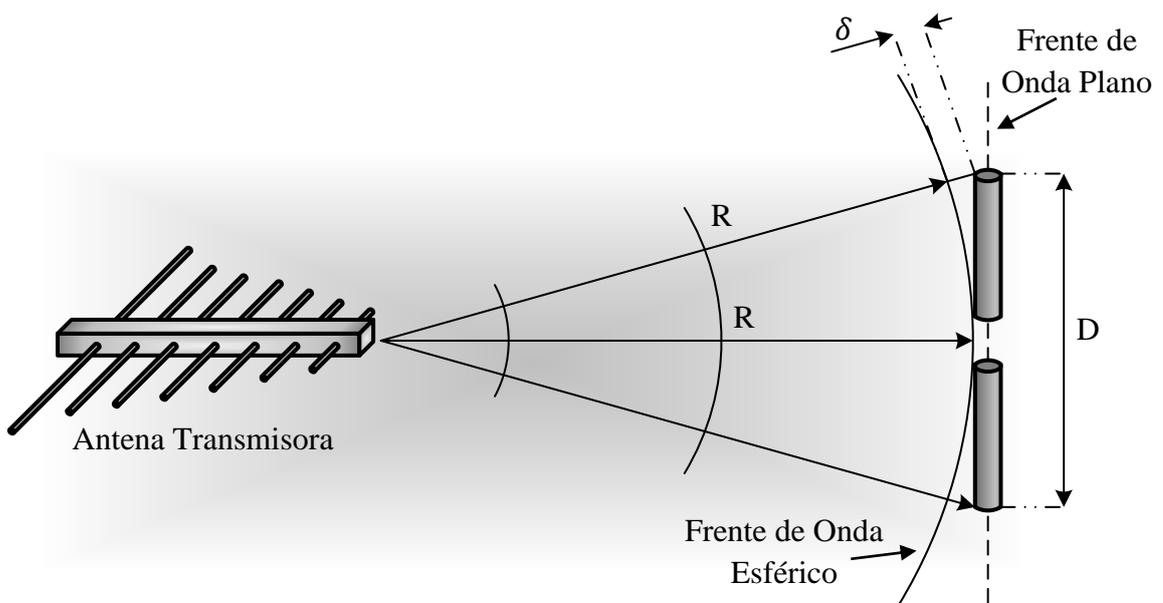


Figura 15. Error de fase en antena.

El error de fase en la antena no es más que el ángulo conformado por el frente de onda esférico y la antena. Si se observa únicamente la porción de frente esférico que incide en la antena, puede considerarse a la onda localmente plana al admitir dicho valor de error según lo establecido por el estándar del IEEE en 1979. La diferencia (δ) que debe existir entre el frente esférico y los bordes de la antena debe ser de

$$k\delta \leq \pi/8 \tag{60}$$

La distancia entre el punto central de la antena y uno de los bordes puede determinarse empleando el teorema de Pitágoras.

$$(R + \delta)^2 = R^2 + (D/2)^2 \quad (61)$$

Despejando δ , la solución real y con un valor positivo para la ecuación cuadrática está dada por

$$\delta = \sqrt{R^2 + (D/2)^2} - R \quad (62)$$

Utilizando los primeros dos términos del teorema binomial para aproximar la ecuación anterior se tiene

$$\delta = R \left[\sqrt{1 + \left(\frac{D}{2R}\right)^2} - 1 \right] \approx R \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{D}{2R}\right)^2 - 1 \right] = \frac{D^2}{8R} \quad (63)$$

Reemplazando (63) en (60) y sabiendo que k es dos veces π dividido por la longitud

$$k \frac{D^2}{8R} = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \left(\frac{D^2}{8R}\right) \leq \frac{\pi}{8} \quad (64)$$

Despejando R se obtiene lo que se pretendía demostrar

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (65)$$

No obstante, existen otros criterios para determinar el comienzo de la región de Fraunhofer: *algunos dicen 2λ , mientras otros insisten que es 3λ* (si la antena es eléctricamente pequeña) *o 10λ desde la antena. Otra definición indica que empieza en $5\lambda/2\pi$, mientras otros continúan diciendo que depende de la dimensión más larga de la antena D o $50D^2/\lambda$* [Frenzel, 2012].

3.5. Introducción a las Cámaras Anecoicas

Una cámara anecoica es un recinto cerrado construido con el fin de emular las condiciones de espacio libre. Se encuentra diseñada principalmente por una coraza metálica conocida como

Jaula de Faraday, paneles absorbentes y soportes para antenas. La estructura de la cámara, de madera revestida con hierro galvanizado, atenúa los campos incidentes que tienen origen en el exterior mientras que los paneles absorbentes que recubren las paredes internas cumplen con la función de disminuir la intensidad de las ondas que poseen diferentes trayectorias y rebotarán dentro del recinto (fig. 16).

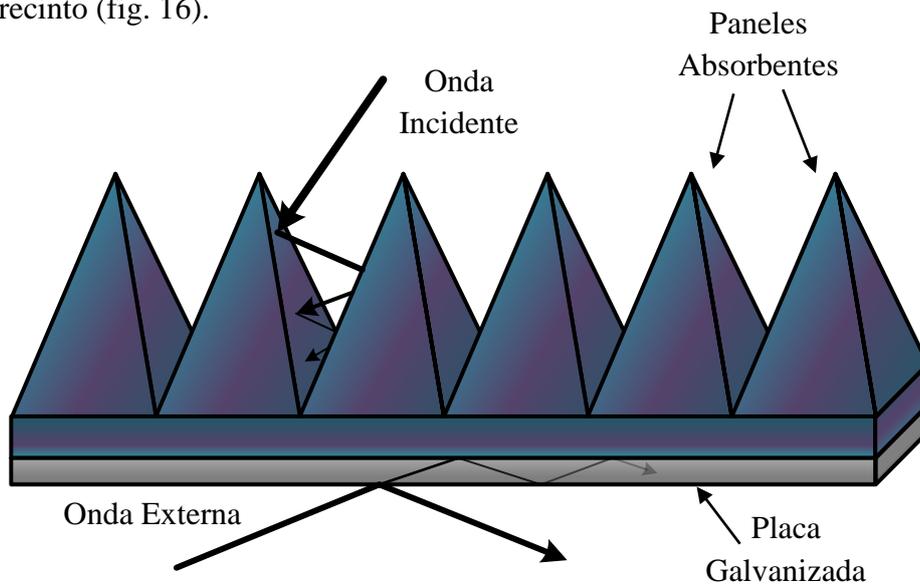


Figura 16. Ondas incidentes en porción de cámara.

Utilizar una cámara anecoica supone ciertas ventajas con respecto a otros métodos empleados debido a las características que posee. Por ejemplo, si se dispone de un sitio de prueba de campo abierto el clima es un factor determinante ya que la lluvia, nieve o variaciones en la temperatura afectan la propagación y la reflexión de las ondas electromagnéticas en el suelo pudiendo derivar en resultados erróneos. Más aún, señales provenientes de otros sistemas son capaces de ocasionar eventuales interferencias elevando el nivel de ruido a las mediciones del instrumental o incluso solapar de forma total o parcial el rango de frecuencias en el que se esté trabajando. Por el contrario, al efectuar ensayos dentro de la cámara el clima deja de tener un papel preponderante y las señales exteriores se ven atenuadas por el blindaje.

3.5.1. Tipos de Cámaras

Tanto el interior como el exterior de una cámara anecoica son diseñados acorde al tipo de mediciones que en ellas se pretenda realizar. Dentro de las posibles configuraciones se destacan las cámaras de rango compacto, las cónicas, de ensayo de campo cercano y finalmente las cámaras rectangulares.

Las cámaras de rango compacto están diseñadas con el objetivo de crear las condiciones de campo lejano en distancias relativamente cortas. La más común posee un único reflector parabólico iluminado bajo la configuración *offset* por una antena. El diseño de la antena permite controlar la uniformidad de campo mientras que la superficie del reflector controla la fase.

Las cámaras anecoicas cónicas poseen un aspecto piramidal que le permite sacar ventaja de los rebotes generados por las paredes laterales para construir un frente de onda plano en la región donde se efectúan los ensayos. Su diseño fue derivado de forma empírica, por lo que en ciertas ocasiones para obtener un rendimiento aceptable es necesario sintonizar la cámara. Principalmente son utilizadas en el rango de frecuencias VHF (30-300 MHz) a UHF (300-3000 MHz) para caracterizar antenas.

En cuanto a las cámaras de ensayo de campo cercano, son muy sensibles a las reflexiones y existen tres posibles geometrías: la plana, cilíndrica y esférica. Los ensayos de campo cercano plano son empleados en antenas con alta directividad (>15 dBi). En lo que refiere a ensayos con geometría cilíndrica, son ideales para medir antenas de sistemas de comunicación personal que irradian de manera omnidireccional. Pero, si se tiene en cuenta el aspecto constructivo, las mediciones de campo cercano esférico son las más prácticas ya que poseen un bajo costo, son fáciles de construir a partir de los equipos disponibles en el mercado y permiten medir cualquier tipo de antena. Aun así, el procesamiento de datos es significativamente más complejo en comparación con la geometría plana. Es por ello que las limitaciones y las ventajas inherentes a cada sistema de campo cercano deben ser consideradas al momento de decidir cuál es la técnica más apropiada para una aplicación particular.

Las cámaras rectangulares son las más utilizadas ya que son de fácil construcción y poseen un diseño más sencillo que las otras cámaras. Pese a ello, su costo es más elevado en comparación a una cámara cónica o de campo cercano. El tamaño del recinto se ve influenciado por el rango de frecuencias seleccionado y los dispositivos que se pretendan medir. Por lo tanto pueden ser desde pequeñas unidades que operan en el rango de frecuencias de microondas hasta estructuras blindadas muy grandes para llevar a cabo mediciones de compatibilidad electromagnética de un avión o satélite.

A continuación sólo serán presentados los aspectos más importantes de las cámaras anecoicas rectangulares ya que son menester del presente proyecto.

3.5.2. Diseño de las Cámaras Anecoicas Rectangulares

Si se pretende construir una cámara que permita llevar a cabo mediciones bajo la condición de campo lejano, las tres medidas básicas a definir son el largo (R), el ancho (W) y la altura (H) de la misma. Para determinar el largo del recinto es necesario establecer cuál será el tamaño promedio de las antenas que serán utilizadas en la cámara e identificar su valor apertura máxima (parámetro D). También se debe fijar el rango de frecuencias en el cual se pretende trabajar, ya que el valor de longitud de onda más pequeño es de gran importancia. A partir de la ecuación (59) es posible obtener la distancia mínima que debe cumplir el largo de la cámara para garantizar las condiciones de campo lejano. En cuanto al alto y al ancho, sus longitudes deben ser superiores a $R/2$ o ligeramente superiores a la mitad del largo. Este requisito determina el ángulo con el que incide una señal en las paredes, el piso y el techo para que sea menor a 60 grados e influya en la atenuación de la señal.

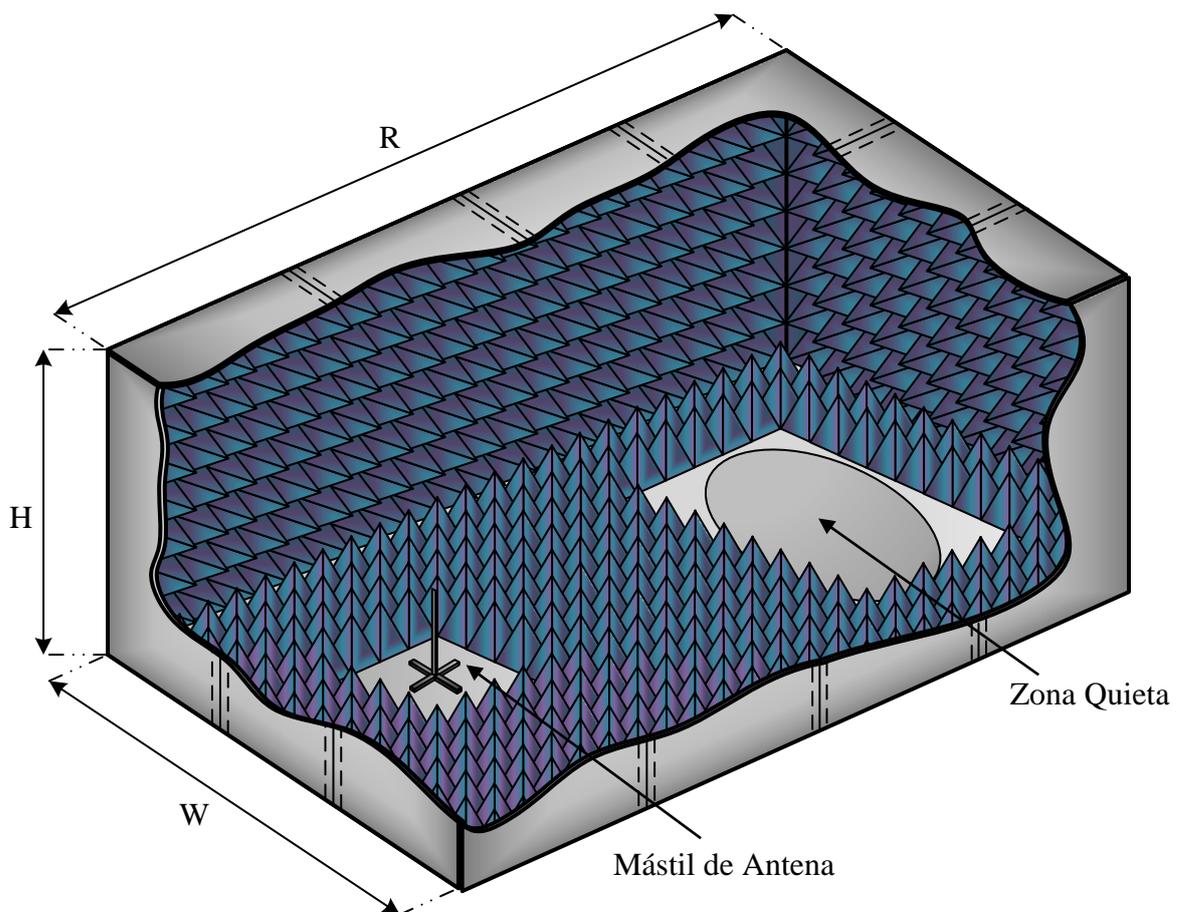


Figura 17. Parámetros de la cámara anecoica.

Otro parámetro de gran interés en el diseño de cámaras es el tamaño de la región de prueba, también denominada zona quieta. El diámetro de dicha región debe ser superior a la mayor longitud del elemento situado en ella además de ser del orden de una tercera parte del ancho de la cámara. La importancia de esta zona radica en que la onda electromagnética debe poder considerarse plana antes de alcanzar este sector.

3.5.3. El Blindaje de la Cámara

El blindaje tiene dos funciones principales, prevenir la interferencia de señales del exterior y prevenir espionaje electrónico. Materiales como el acero, cobre y aluminio son los más usados en placas para recubrir las cámaras según las necesidades y presupuesto disponible y distintos métodos son utilizados para unirlos como por ejemplo costuras soldadas, sujetadas o fijadas con tornillos metálicos.

La cámara situada en el IAR fue diseñada dentro de un edificio (fig. 18 (a)) y se conoce como blindaje arquitectónico a este tipo de construcción. La estructura que funciona como esqueleto es metálica y por dentro la reviste unas placas de madera contrachapada. Además, láminas de hierro galvanizado se encuentran fijadas a las maderas con tornillos de metal (fig. 18 (b)).



Figura 18. Cámara anecoica IAR. (a) Recinto utilizando para la construcción de la cámara. (b) Láminas de hierro galvanizado revisten las paredes.

3.5.4. Materiales Absorbentes Electromagnéticos

Son empleados en los recintos y dependiendo del tipo de prueba y frecuencial de operación su aspecto físico y composición varía. Ejemplos de esto son los de espuma sólida, piramidales huecos, en forma de cuña, dieléctricos multicapas o dieléctricos híbrido. Por lo general para ondas de radiofrecuencia y microondas se utilizan paneles de espuma sólida formados por poliuretano cargados con carbono. Además, productos químicos que tienen por función retardar el fuego se mezclan en simultáneo con el carbono o se lo añade en un segundo tratamiento. Su apariencia es piramidal y su longitud (de la base hasta la punta) dependerá del rango específico de frecuencias utilizadas. Cuando se fabrica, su color real es negro pero son pintados de color azul con el objetivo de mejorar la reflexión de la luz.

Para instalarlos generalmente se utilizan adhesivos de contacto. Sin embargo lo más aconsejable es utilizar los adhesivos recomendados y en ocasiones suministrado por cada uno de los fabricantes ya que la composición química del material absorbente puede afectar las propiedades del pegamento.

3.5.5. Medidas de la Cámara y Paneles Absorbentes del IAR

En la tabla I se muestra un resumen de los parámetros constructivos de una cámara rectangular y cuáles son las dimensiones que conforman a la cámara anecoica del Instituto Argentino de Radioastronomía, donde puede observarse que cumplen con lo requerido.

Tabla I. Resumen.

Parámetro	Ecuación	Valor (IAR)
Condición Campo Lejano	$R > 2D^2/\lambda$	10 metros.
Largo de la cámara	$R \geq 2D^2/\lambda$	12 metros.
Ancho de la cámara	$W > R/2$	6 metros.
Alto de la cámara	$H = W$	6 metros.
Diámetro zona quieta	$d = W/3$	2 metros.

Fuente: Elaboración propia.

Los paneles absorbentes que revisten los muros fueron fabricados por la empresa ETS Lindgren, líder en construcción de cuartos blindados para imágenes de resonancia magnética y que pese a haber sido fundada en 1995, es referente en cámaras anecoicas. Son dos los modelos de los paneles que revisten las paredes laterales y sus especificaciones se encuentran en las tablas II y III.

Tabla II. Panel piramidal ETS Lindgren EHP-12 PCL.

Modelo	EHP-12 PCL
Base del panel	61 cm x 61 cm.
Altura total	31,1 cm.
Altura base	5,7 cm.
Altura pirámide	25,4 cm.
Dimensión base pirámide	10,2 cm x 10,2 cm.
Pirámides por panel	36
Peso por panel	3,8 kg.
Respuesta en frecuencia	

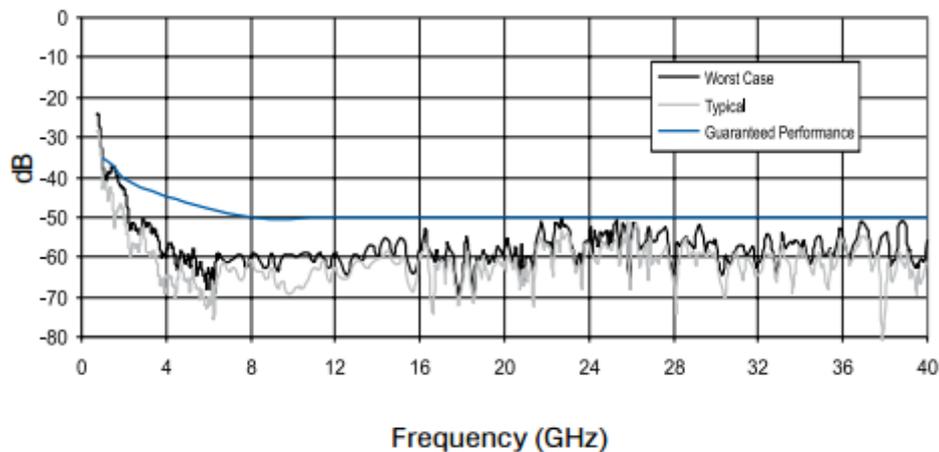
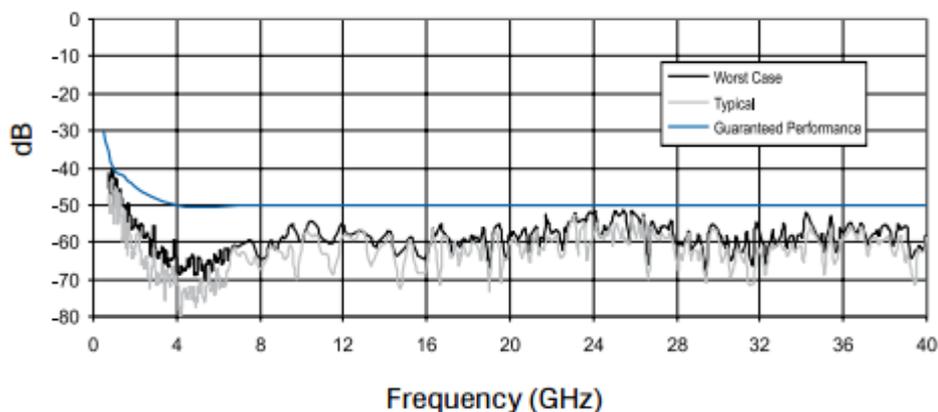


Tabla III. Panel piramidal ETS Lindgren EHP-18 PCL.

Modelo	EHP-18 PCL
Base del panel	61 cm x 61 cm.
Altura total	46,4 cm.
Altura base	5,7 cm.
Altura pirámide	40,6 cm.
Dimensión base pirámide	15,2 cm x 15,2 cm
Pirámides por panel	16
Peso por panel	4,6 kg
Respuesta en frecuencia	



Fuente: ETS Lindgren. Microwave Absorber Selection Guide.

Los paneles de mayor tamaño y atenuación (EPH-18 PCL) se hallan dispuestos en una forma de diamante (fig. 19), es decir que tienen una rotación de 45 grados con respecto al plano del piso. Esta configuración hace caer entre 3 y 6 dB la dispersión del frente de onda.

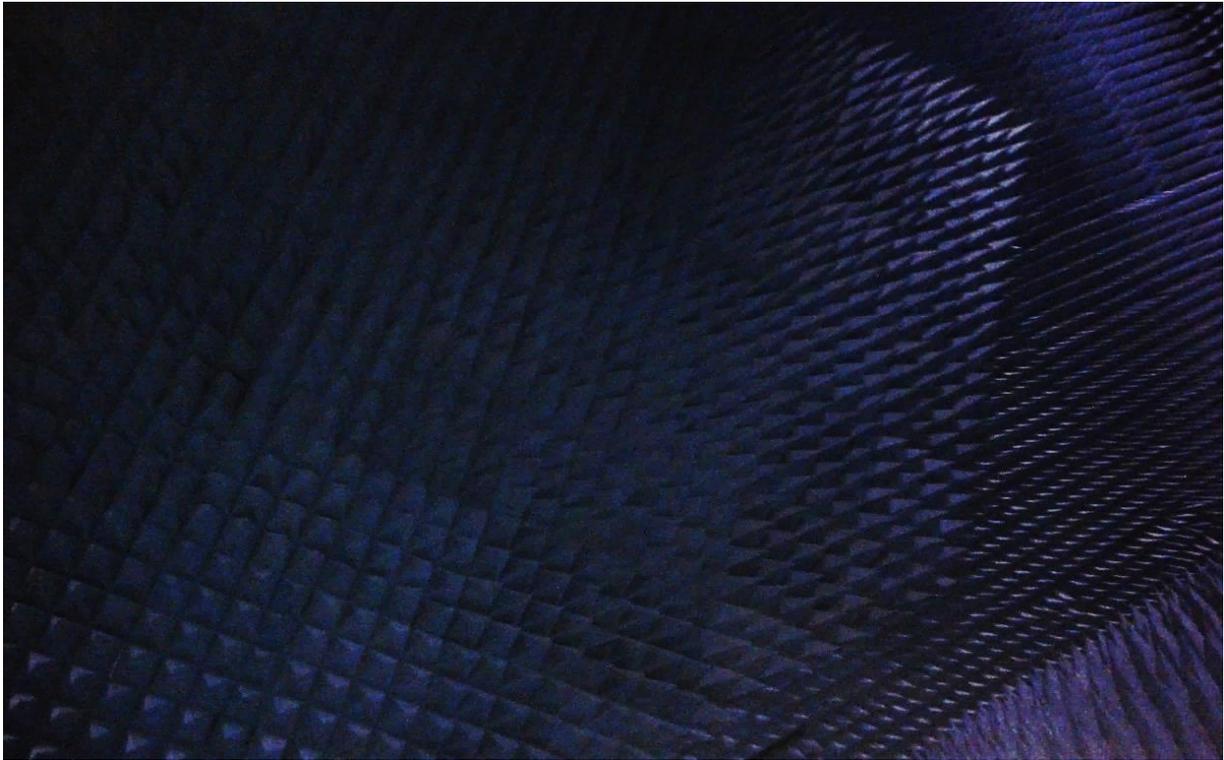


Figura 19. Disposición de paneles absorbentes.

3.5.6. Señales Reflejadas

Cuando la antena transmisora irradia, en cada punto del espacio la característica del frente de onda es resultado de una composición de diversos vectores de campo eléctrico pertenecientes a la señal transmitida (E_D) y a la señal reflejada (E_R). La señal reflejada varía de forma compleja a causa de la contribución de múltiples reflexiones que son originadas en la superficie de la cámara. Del mismo modo, objetos tales como la antena transmisora y receptora aportan reflejando las señales. Como consecuencia se genera una alteración del frente de onda y provocando errores en las mediciones llevadas a cabo en el recinto. Este fenómeno se lo conoce como patrón de interferencia.

A continuación se demuestra cómo una señal reflejada interfiere con la señal transmitida y distorsiona el campo incidente. Partiendo de la suposición de que una señal transmitida E_D incide normalmente (de forma perpendicular) a la apertura de la antena, es necesario considerar

una onda de amplitud E_R que impacta con un ángulo θ con respecto a la normal en la apertura de la misma antenna (fig. 18).

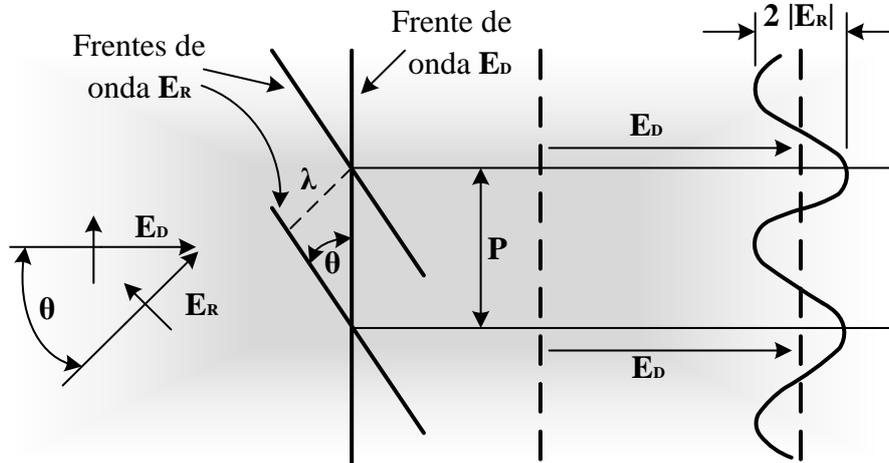


Figura 20. Frente de onda resultante sobre la apertura de la antenna.

Para cualquier instante de tiempo t , la fase de la señal transmitida es constante a través de la apertura y la magnitud del campo eléctrico puede ser expresada en su forma fasorial como

$$E_D = E_D e^{j(\phi + \omega t)} \quad (66)$$

En cuanto a la fase de la señal reflejada, esta varía, es por ello que su magnitud se expresa como

$$E_R = E_R e^{j(\phi + \omega t + 2\pi/\lambda d \text{ sen}\theta)} \quad (67)$$

El campo resultante tiene una magnitud que depende de las contribuciones de los campos directo (66) y reflejado (67)

$$E = E_D + E_R \text{ sen}(2\pi/\lambda d \text{ sen}\theta) \quad (68)$$

Para poder determinar la separación P que existe entre dos picos sucesivos del campo sinusoidal es posible aplicar trigonometría y obtener

$$P = \frac{\lambda}{\text{sen}\theta} \quad (69)$$

Además, la variación pico a pico es constante y proporcional a

$$(E_D + E_R) - (E_D - E_R) = 2E_E \quad (70)$$

La relación entre el campo incidente en la antena y el reflejado expresada en dB viene dada por la ecuación (71) donde σ es la diferencia en decibeles entre el campo máximo y el campo mínimo medido.

$$\frac{E_R}{E_D} = 20 \log \left(\frac{(-1 + 10^{\frac{\sigma}{20}})}{(1 + 10^{\frac{\sigma}{20}})} \right) \quad (71)$$

La cámara anecoica del IAR fue diseñada con una relación teórica entre el campo reflejado y el incidente igual a -45 dB con un σ de 0,1 dB pico a pico en 2 GHz.

3.6. Caracterización de la Cámara Anecoica

Caracterizar a la cámara implica entender cómo se comporta su blindaje un determinado rango de frecuencias como también qué atenuación existe en su interior y cuán plano es el frente de onda.

Para establecer si la cámara cumple con las características necesarias para llevar a cabo ensayos de compatibilidad electromagnética, en el presente proyecto fueron seleccionadas y estudiadas las normas internacionales que permiten garantizar que tanto los métodos, técnicas y procedimientos para realizar los ensayos se encuentran estandarizados.

Una norma o estándar es *un documento, establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido, que proporciona, para uso común y repetido, reglas, directrices o características para actividades o sus resultados, a fin de alcanzar un grado óptimo de orden en un contexto dado* [IEC, 2015].

3.6.1. Los Estándares Internacionales y Nacionales

Si bien este proyecto se realizó utilizando como base a los estándares internacionales, también fue contemplado el alcance de los estándares de Argentina emitidos por el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) que es una asociación civil sin fines de lucro encargado de desarrollar normas técnicas. Cuenta con estándares que son equivalentes a las normas emitidas por organizaciones internacionales como IEC o CISPR en el ámbito de la compatibilidad electromagnética, como por ejemplo la norma 2491-4-3:2010 que guarda correspondencia con la norma que pertenece al IEC sobre la uniformidad de frente de campo.

3.6.2. Los Estándares Para Cámaras Anecoicas

A continuación se detallan los estándares seleccionados para realizar las mediciones del frente plano, atenuación de sitio y efectividad de blindaje:

Tabla IV. Normas seleccionadas.

Tipo de Medición	Norma
Uniformidad de Frente de Campo	IEC 61000-4-3
Atenuación de Sitio Normalizada	ANSI C63.4 CISPR 16-1-4 y CISPR 22 ETSI TS 102 321
Efectividad de Blindaje	IEEE Std 299-1997 MIL-STD 285

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3. IEC, ANSI, IEEE y MIL-STD

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) *es la principal organización del mundo que elabora y publica normas internacionales para todo lo eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas* [IEC, 2015].

El Instituto Nacional Americano de Normalización (ANSI) *supervisa la creación, promulgación y uso de miles de normas y directrices que afectan directamente a las empresas, en casi todos los sectores: desde los dispositivos acústicos hasta equipos de construcción, desde productos lácteos y producción ganadera a la distribución de energía, y muchos más. ANSI también participa activamente en la acreditación - evaluación de la competencia de las organizaciones que determinan la conformidad con las normas* [ANSI, 2015].

En cuanto al Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), *es la mayor asociación profesional del mundo dedicada a promover la innovación tecnológica y la excelencia en beneficio de la humanidad. IEEE y sus miembros inspiran una comunidad global a través de las publicaciones de IEEE altamente citados, conferencias, estándares de tecnología y las actividades profesionales y educativas* [IEEE, 2015].

Por último, existen varias definiciones sobre las normas militares referidas a defensa, especificaciones, manuales, etc. y se los suele denominar estándares militares. Pese a ello es necesario aclarar que las especificaciones militares *describen las características físicas y/o*

funcionamiento de un producto [GAO, 2015] mientras que las normas militares (MIL-STD) *detalla los procesos y materiales que se utilizarán para hacer el producto* [GAO, 2015] y son empleadas para alcanzar objetivos de estandarización por el Departamento de Defensa de Estados Unidos (USDOD).

3.7. Compatibilidad Electromagnética

Es la capacidad de un dispositivo, equipo o sistema para funcionar satisfactoriamente en su ambiente electromagnético sin introducir perturbaciones electromagnéticas intolerables a lo que se encuentre en ese ambiente [IEC, 1992]. Por consiguiente, esta definición posee dos partes muy importantes que vale la pena ser aclaradas.

La primera consiste en el correcto funcionamiento de un equipo que se encuentra “sumergido” en un ambiente con energía electromagnética proveniente de sistemas cercanos. Por todo lo anterior, surge el concepto de susceptibilidad. La susceptibilidad (EMS) *es la incapacidad de un dispositivo, equipo o sistema para funcionar sin degradación en presencia de una perturbación electromagnética* [IEC, 1992]. La susceptibilidad se caracteriza como la falta de inmunidad. En consecuencia, la inmunidad *es la capacidad de un dispositivo, equipo o sistema para funcionar sin degradación en presencia de una perturbación electromagnética* [IEC, 1992].

La segunda parte refiere a la emisión de energía por parte del equipo en cuestión capaz de interferir otros sistemas, razón por la cual se define el concepto. La emisión (EME) entonces, *es el fenómeno por el cual se emite energía electromagnética desde una fuente* [IEC, 1992]. Es importante aclarar que el propósito de controlar la emisión es limitar la energía electromagnética y de ese modo poder controlar el entorno electromagnético en el cual otros dispositivos operan.

En lo que respecta a la energía involucrada en la emisión y susceptibilidad electromagnética se la puede clasificar en dos grupos: energía radiada (propagación por aire) y energía conducida (propagación por cables). En consecuencia, un dispositivo es capaz de emitir energía a través de cables (conducida, CE) y/o radiada (RE) y ser susceptible a energía conducida (CS) y/o energía propagada por aire (radiada, RS). Asimismo, dentro de la susceptibilidad electromagnética algunos países como Argentina destacan a la energía pulsante,

también denominada perturbación electromagnética transitoria, que es una ráfaga de corta duración de energía electromagnética.

A continuación y con el objetivo de sintetizar los conceptos principales, en la figura 21 se muestra la relación existente entre los distintos conceptos de compatibilidad electromagnética.

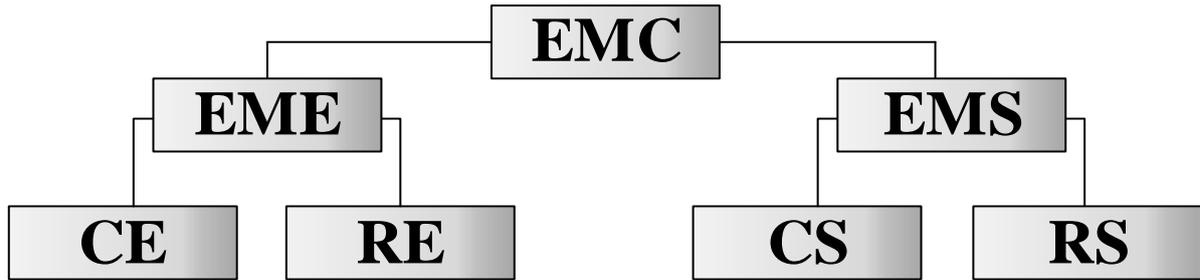


Figura 21. Resumen de EMC.

Capítulo **4**
Metodología de
Desarrollo

4.1. Uniformidad del Frente de Campo

El método empleado para poder describir si el frente de una onda es plano (condición de campo lejano) consiste en medir el valor de potencia irradiada por una antena en distintos puntos pertenecientes a un área al que las normas denominan UFA (por sus siglas en inglés). La UFA consiste en un plano transversal a la línea de visión de una antena (fig. 22) en donde puede *observarse* si existe variación de potencia del campo incidente a partir de los resultados obtenidos.

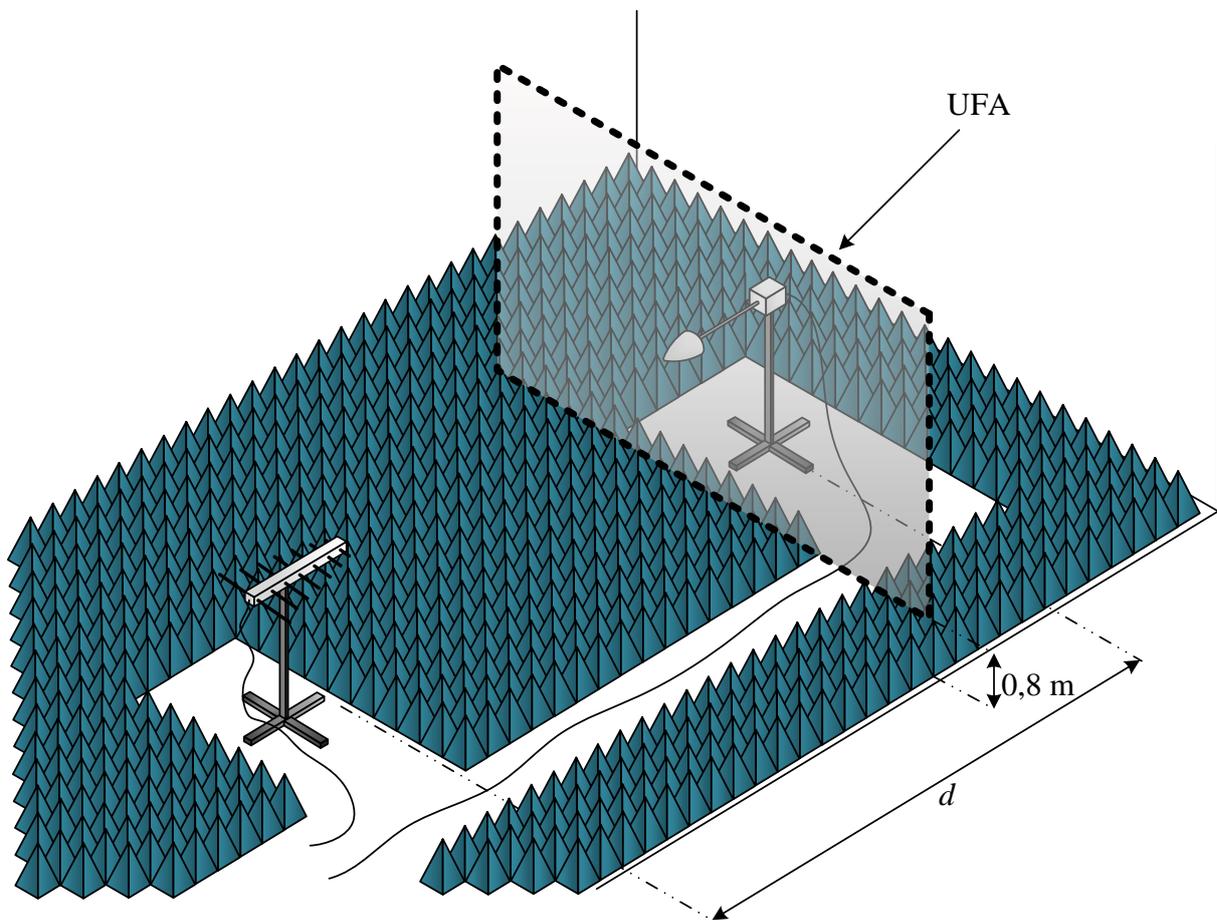


Figura 22. Uniformidad de Frente de Campo

Por delante de la antena transmisora, con su base a un mínimo de ochenta centímetros sobre el plano del suelo y a una distancia d se halla la UFA, con la posibilidad de ser desplazada hasta encontrarse a una separación mínima de un metro con respecto a la antena con el fin de minimizar los efectos de los rebotes de la señal irradiada. Pese a ello, es deseable que la

distancia entre la antena y el área del frente de onda uniforme siga algún criterio de campo lejano como los descritos en la sección 3.4.3.

El perímetro del área debe ser de por lo menos 1,5 metros de alto por 1,5 metros de largo y en general estas dimensiones dependen del tamaño de los objetos bajo prueba (equipo, dispositivos, etc.) sobre los cuales se pretenda para realizar todos los ensayos correspondientes a compatibilidad electromagnética. Además, como ya fue mencionado, esta área se encuentra conformada por puntos imaginarios en los que se debe ubicar un sensor destinado a medir la potencia de la onda que en él impacta. La separación entre dos puntos consecutivos debe tener un valor mínimo de cincuenta centímetros o ser múltiplo de dicha longitud (fig. 23). Es importante aclarar que la distancia entre puntos afectará la precisión de las medidas, siendo las distancias mayores a cincuenta centímetros las más perjudicadas.

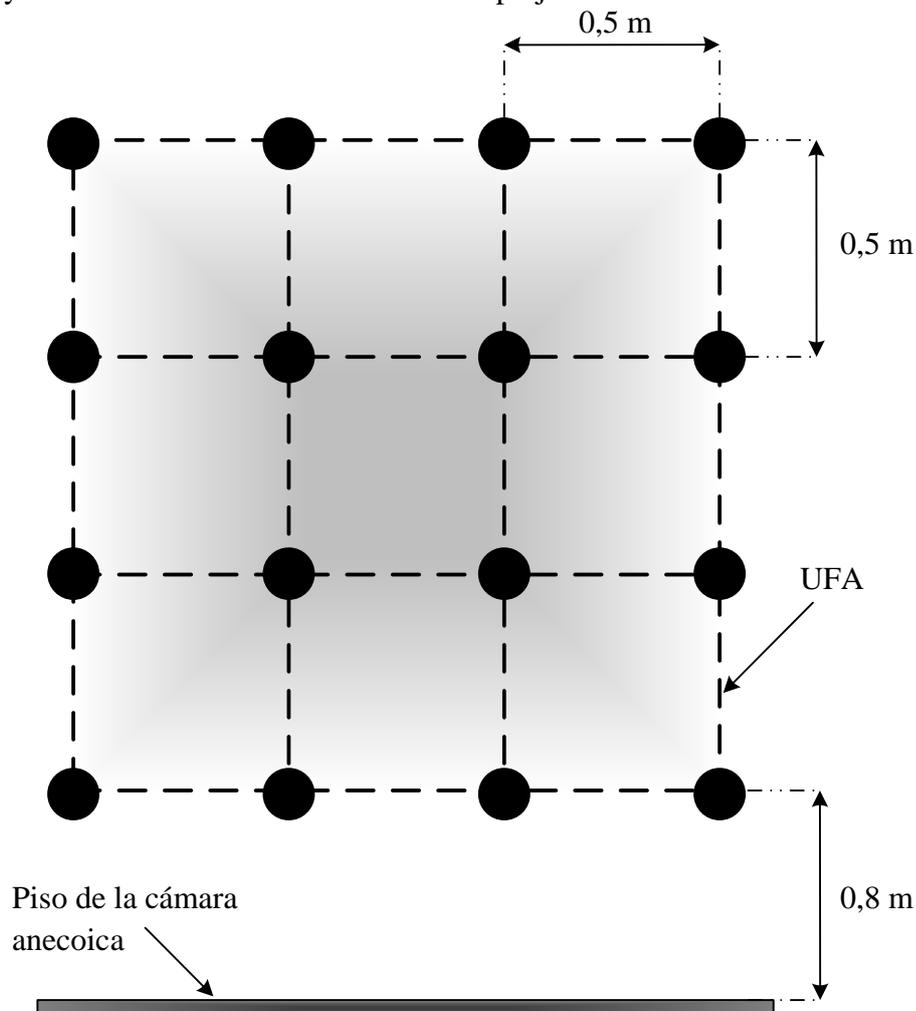


Figura 23. Disposición de puntos en la UFA.

Otro aspecto importante de la norma IEC 61000-4-3 es el criterio que debe aplicarse al momento de definir la cantidad de puntos que conforman al intervalo de frecuencias específico. El procedimiento más recomendado consiste en seleccionar el valor de frecuencia más pequeño del intervalo y definir a los sucesivos valores de frecuencia incrementando en un 1% al valor actual ($f_{siguiente} = f_{actual} \cdot 1,01$), obteniendo como resultado un total de 255 puntos en el rango de 80 MHz a 1000 MHz. Sin embargo, si no es posible hacer un barrido de frecuencias con tal precisión, el criterio que debe adoptarse ha de ser definido por el usuario.

Al momento de efectuar ensayos en dispositivos, la señal utilizada para irradiar debe ser una portadora modulada en amplitud, con un índice de modulación de 80% y una frecuencia igual a 1 kHz para simular potenciales amenazas reales. Sin embargo, antes de hacer las pruebas en equipos debe realizarse una calibración del campo, que implica medir la UFA. El propósito de la calibración de campo es para garantizar la validez de los resultados en los ensayos. Para ello, existen dos métodos diferentes de calibración: el método de calibración de intensidad de campo constante y el método de calibración de potencia constante.

El primero consiste en medir un valor de intensidad de campo previamente establecido en cada uno de los puntos que conforman a la UFA. Para esto, debe modificarse la potencia entregada por el generador hasta que el sensor de campo reciba la intensidad pretendida. En todo momento la potencia entregada por el generador debe ser registrada para manipular los resultados acorde a lo establecido por la norma. El segundo método consiste en medir el valor de potencia en todos los puntos que conforman la UFA manteniendo constante la potencia entregada por el generador. A continuación, se toma el valor de potencia recibida más baja como referencia para comparar con el resto de las mediciones. Se considera que el campo incidente es uniforme si el 75% de los puntos medidos correspondientes a una determinada frecuencia se encuentran contenidos en el intervalo [0, +6] dB con respecto al valor de referencia.

4.2. Atenuación de Sitio Normalizada

La atenuación de sitio (SA) es la mínima pérdida por inserción medida entre dos antenas que utilizan una misma polarización en un determinado rango de frecuencias y ubicadas en un sitio utilizado para realizar ensayos. Luego, para normalizar esa medida (NSA) se debe sustraer a los factores de antena para eliminar la influencia que tienen sobre las mediciones.

El valor de la atenuación tiene como unidad al decibel y se obtiene de la siguiente ecuación:

$$NSA_m = SA - AF_T - AF_R \quad (72)$$

En donde AF son los factores de antena tanto de la transmisora como de la receptora. El subíndice m denota que son todos parámetros resultantes de mediciones. La atenuación de sitio involucrada en la ecuación 72 a su vez está compuesta por la resta de un parámetro denominado tensión directa ($V_{Directa} = V_I - C_T - C_R$) y otro llamado tensión de sitio:

$$NSA_m = V_I - C_T - C_R - V_{Sitio} - AF_T - AF_R \quad (73)$$

Una vez obtenido el valor de la NSA, se lo debe contrastar con el resultado que surge de un cálculo teórico (74) y así obtener la desviación de la medición (75).

$$NSA_{calc} = 20 \log_{10} \left[\left(\frac{5Z_0}{2\pi} \right) \left(\frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4}}} \right) \right] - 20 \log_{10} f_m \quad (74)$$

$$\Delta NSA = NSA_m - NSA_{calc} \quad (75)$$

Los parámetros que intervienen en la ecuación (74) son: la impedancia característica (Z_0), la frecuencia en que se realizan las mediciones (f_m), la distancia existente entre la antena transmisora y la receptora (d) y el número de onda (β). Es posible omitir los términos de corrección de campo cercano si la distancia entre antenas es de 10 metros o superior para utilizar la siguiente ecuación:

$$NSA_{calc} = 20 \log_{10} \left[\frac{5Z_0 d}{2\pi} \right] - 20 \log_{10} f_m \quad (76)$$

Si se emplea la ecuación 76 en lugar de la ecuación 74 para las distancias menores (3 o 5 metros), se introduce un error de por lo menos 0,1 dB y en el rango de bajas frecuencias es posible que dicho valor aumente.

En cuanto al valor de la desviación de la atenuación de sitio normalizada, éste debe estar contenido en un intervalo de ± 4 dB de diferencia para ambas polarizaciones. Este criterio de aceptación se debe al aporte de ± 1 dB en la incertidumbre del factor de antena transmisora, ± 1

dB en la incertidumbre del factor de antena receptora, ± 1 dB de incertidumbre de los equipos de medición y ± 1 dB referido a las imperfecciones del sitio.

Por otro lado, la norma CISPR 16-1-4 establece distintos métodos de medición para la atenuación normalizada de sitio según el tipo de lugar de ensayo. Esto se debe a que, por ejemplo, una cámara semianecoica utiliza un modelo de dos rayos (señal directa + señal reflejada) y una cámara totalmente anecoica asume que, al haber paneles absorbentes en el suelo, no existe una señal reflejada. Para el método de cámaras totalmente anecoicas se define un volumen de prueba con la forma de un cilindro (fig. 24).

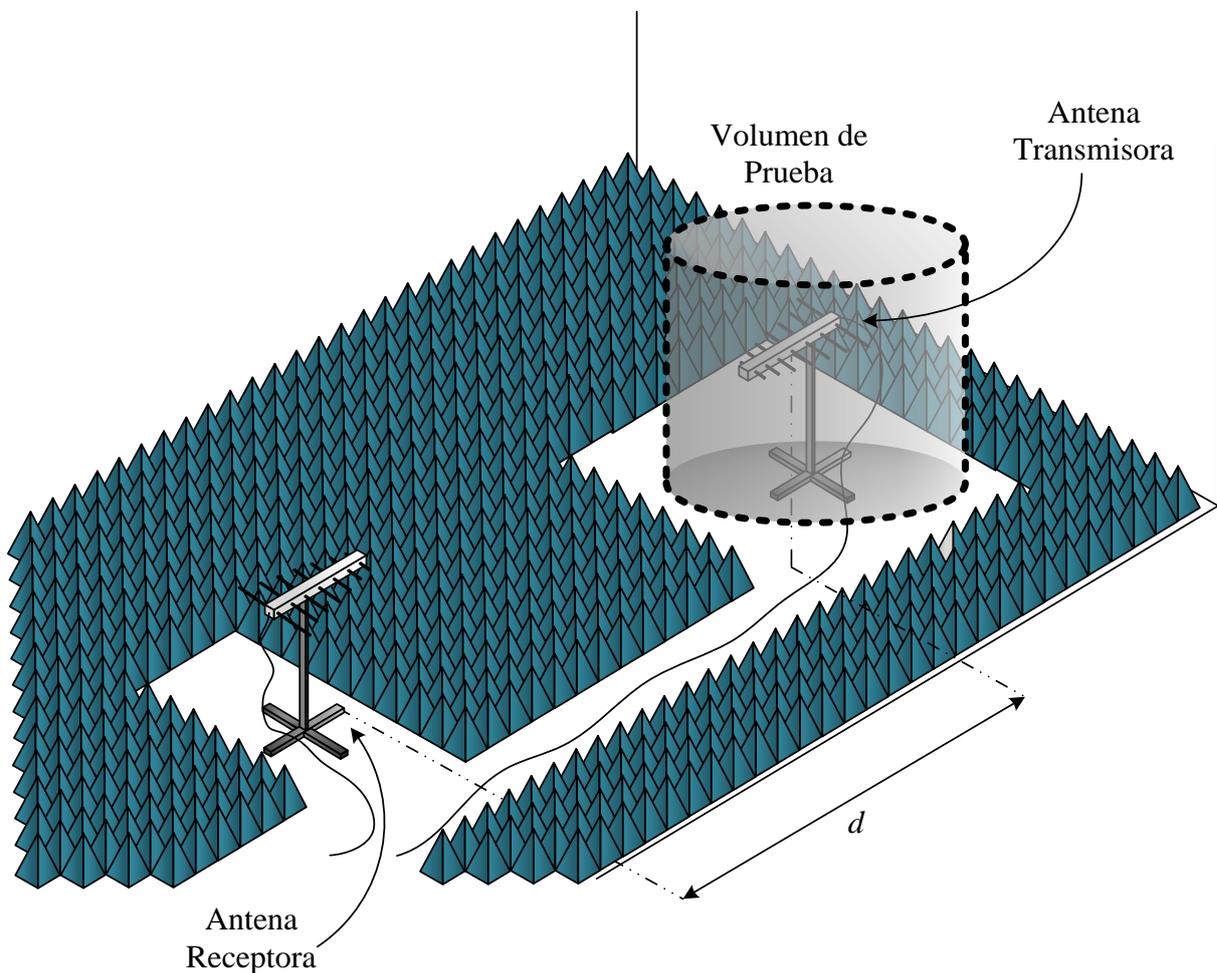


Figura 24. Configuración de la medición de NSA

Tanto el diámetro como altura máxima del cilindro dependerán de la distancia a la que se encuentren las antenas al momento de efectuar los ensayos. En la tabla V es posible observar el comportamiento lineal que tienen las dos variables con respecto a la distancia en que se realiza la prueba.

Tabla V. Dimensiones del volumen de prueba.

Diámetro máximo y altura máxima del volumen [m]	Distancia de prueba [m]
1,5	3,0
2,5	5,0
5,0	10,0

Fuente: Norma CISPR 16-1-4.

El volumen del cilindro se encuentra seccionado por tres planos que contienen cinco puntos cada uno (fig. 25) en donde se debe colocar a la antena transmisora. Mientras que el plano del medio coincide con la mitad de la altura del volumen, los planos superior e inferior no son coincidentes con el tope y la base del cilindro debido a que la norma exige restarles la mitad de la longitud de la antena empleada al medir.

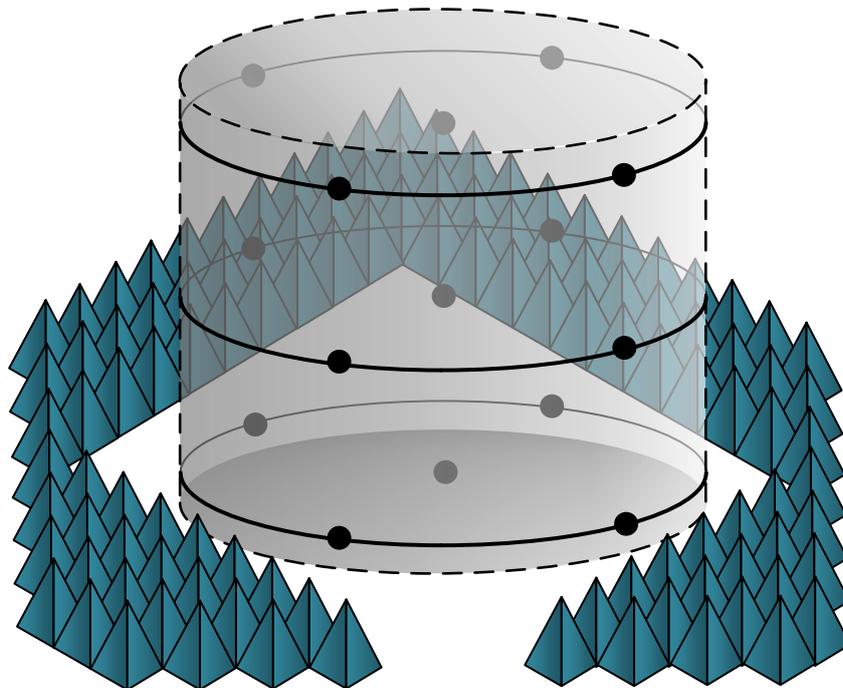


Figura 25. Puntos de medición en el volumen de prueba.

Medir en cada punto requiere mantener la distancia entre antenas constante. Para lograrlo, la antena receptora únicamente puede moverse en línea recta acercándose o alejándose del cilindro o rotando la antena. Cada punto medido corresponde a un valor de tensión de sitio para un rango espectral específico. En cuanto a la medición de referencia, conocida también como tensión directa, se realiza conectando los cables de la antena receptora y de la transmisora entre sí prescindiendo de las antenas y utilizando el mismo valor de potencia con que se hicieron las

mediciones de la tensión de sitio. Tanto para la tensión de sitio como para la tensión directa es necesario conectar en los extremos de los cables un atenuador de 10 dB cuya función es atenuar las señales reflejadas por posibles desadaptaciones. Además, en toda la extensión de los cables deben colocarse núcleos de ferrita separados entre sí por 15 centímetros, que funcionan como filtros para señales indeseables que puedan alterar la lectura del analizador de espectro.

4.3. Efectividad del Blindaje

El blindaje, como se mencionó en la sección 3.5.3, es una estructura que tiene como finalidad proteger cualquier instrumental dentro de la cámara anecoica del efecto de un campo electromagnético proveniente del exterior o bien prevenir de la emisión de los mismos dispositivos.

La efectividad del blindaje (SE) se define como la relación entre la magnitud de un campo eléctrico o magnético sin el blindaje y la magnitud del campo con el mismo. Estas cantidades se encuentran detalladas en la tabla VI para cada rango de frecuencias específico.

Tabla VI. Efectividad de blindaje.

Rango de Frecuencias	Cantidades Medibles	SE (dB)
9 kHz-20 MHz	$H_1 H_2 (\mu A/m)$	$SE = 20 \log(H_1/H_2)$
	$V_1 V_2 (\mu V)$	$SE = 20 \log(V_1/V_2)$
20-300 MHz	$E_1 E_2 (\mu V/m)$	$SE = 20 \log(E_1/E_2)$
	$P_1 P_2 (watts)$	$SE = 10 \log(P_1/P_2)$
300 MHz - 100 GHz	$E_1 E_2 (\mu V/m)$	$SE = 20 \log(E_1/E_2)$
	$P_1 P_2 (watts)$	$SE = 10 \log(P_1/P_2)$

Fuente: IEEE Std. 299.

En el rango de 20 MHz a 300 MHz se debe medir directamente los efectos de las fuentes electromagnéticas en diferentes puntos sobre toda la cámara. Los campos incidentes pueden no ser planos por el rango en el que se opera y la forma geométrica y medidas físicas del recinto pueden afectar de forma significativa los resultados de las mediciones.

Las dos variables involucradas en la medición de la efectividad del blindaje establecen un valor de referencia y otro valor que pone de manifiesto la influencia de la cámara. El valor de referencia se obtiene por medio de un detector de señales conectado a una antena receptora que mantiene una distancia específica con cámara y con la antena transmisora (fig. 26).

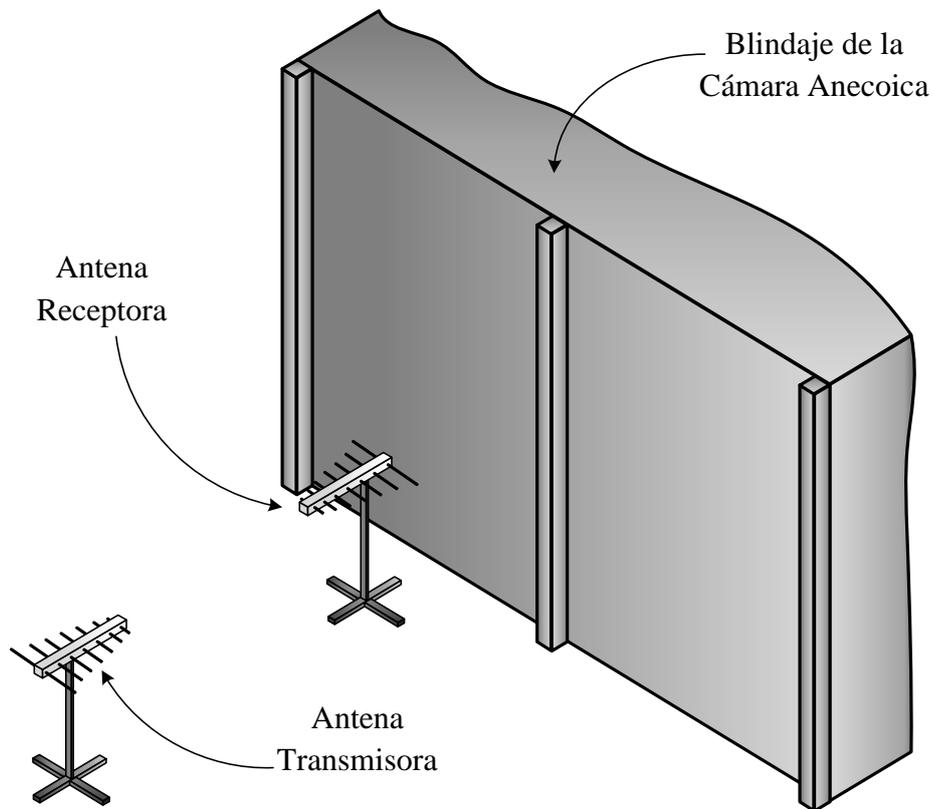


Figura 26. Valor de referencia.

La norma del Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica establece que la separación mínima entre las antenas debe ser de 2 metros y al menos 0,3 metros de distancia entre la cámara y la antena receptora. Conectado a la antena receptora se encuentra un cable coaxial que debe recorrer una distancia de un metro como mínimo y en dirección perpendicular al eje de la antena excepto que la distancia disponible no lo permita. La conexión entre el cable y detector de señales (analizador de espectro o de redes) situado en el interior de la cámara debe realizarse a través de un conector en la pared. Si no resulta posible por cuestiones de diseño de la cámara existe una alternativa que consiste en abrir la puerta lo necesario para que pase el cable, pero se debe verificar el acoplamiento en el equipo receptor.

Para la polarización horizontal, la antena debe moverse por lo menos $\pm 0,5$ metros de su posición inicial. En cambio, si la polarización es vertical, la antena debe correrse horizontalmente al menos $\pm 0,5$ metros de su posición inicial. El valor más grande medido es el que se toma como referencia (P_1).

La configuración empleada para realizar la medición del valor de potencia que toma en cuenta a la variación del medio por el cual la onda se propaga puede observarse en la figura 27.

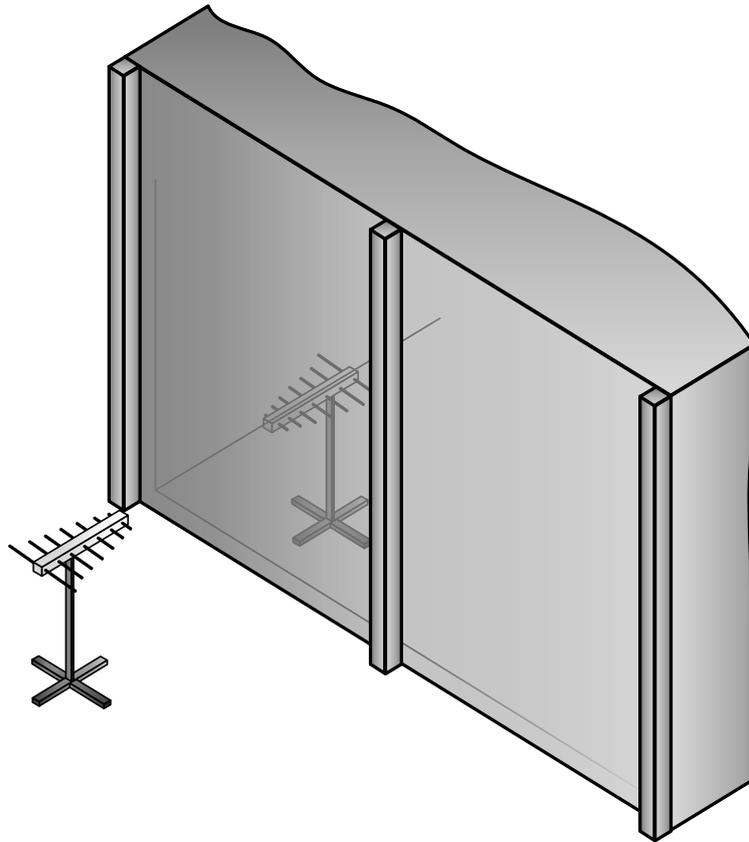


Figura 27. Medición del blindaje.

La medición del blindaje no es única sino que debe realizarse en distintos puntos del blindaje. La distancia horizontal entre las distintas posiciones de la antena transmisora para medir en los puntos no debe ser superior a 2,6 metros. El centro de la antena debe ser posicionado dependiendo de la altura de la cámara: si es menor a tres metros su centro se ubica a la mitad del alto de la pared, mientras que múltiples puntos deben medirse con una distancia no mayor a dos metros entre posiciones de la antena si la altura es superior.

La ubicación de la antena transmisora debe ser por lo menos a 1,7 metros menos el espesor de la pared y a 0,3 metros por encima del nivel del piso. En cuanto a la antena receptora, la distancia mínima entre el punto más cercano de la antena y el blindaje ha de ser 0,3 metros. A partir de esa posición la antena se mueve hacia atrás lo suficiente con el fin de obtener la mayor medición en el detector y así obtener el valor mínimo de efectividad de blindaje. Esto puede observarse en la ecuación 77, cuanto mayor sea el valor medido de potencia (P_2), menor será el valor de SE.

$$SE = P_1 (dB) - P_2 (dB) \quad (77)$$

En el rango de frecuencias de 300 MHz a 18 GHz los campos irradiados son prácticamente planos en relación con la longitud de onda. El procedimiento es similar al descrito para el rango de 20 a 300 MHz, solo que la antena receptora para polarización horizontal debe moverse verticalmente por lo menos un cuarto de la altura del recinto desde su posición inicial y un cuarto de la longitud de onda hacia la fuente y en contra de ella con el objetivo de obtener la mayor medición posible. Además debe estar separada 0,3 metros de la pared de la cámara. En cuanto a la polarización vertical, debe desplazarse lateralmente un cuarto del ancho de la pared y un cuarto de la longitud de onda hacia la fuente y en contra de ella. Nuevamente debe tenerse en cuenta el mayor valor posible en la medición. Por otro lado, el procedimiento para la medición del blindaje conserva el mismo criterio explicado con anterioridad para el rango de 20 a 300 MHz.

Finalmente, se recomienda para la medición de SE una única frecuencia dentro de los rangos de 300 MHz a 600 MHz; 600 MHz a 1 GHz; 1-2 GHz; 2-4 GHz; 4-8 GHz; 8-18 GHz. Sin embargo, la norma militar MIL-STD 299 dicta un criterio diferente; en el intervalo de 10 a 100 MHz demanda un mínimo de 150 muestras y para el intervalo de 100 MHz a 1 GHz otras 150 muestras.

4.4. Generador de Señales y Analizador de Espectro

Hasta el momento, han sido estudiadas las características constructivas de la cámara y también detalladas las secciones más importantes de cada una de las normas seleccionadas para calibrar los ensayos. La calibración permite analizar si se establecen las condiciones de espacio libre y campo lejano necesarias para efectuar las pruebas de compatibilidad electromagnética. A continuación se detallan las principales características técnicas de los equipos disponibles en el instituto. Para generar señales fue utilizado un Agilent Technologies E8257D:

Tabla VII. Características del Generador de Señales.

Modelo	E8257D
Rango de frecuencia	250 kHz a 20 GHz
Rango de potencia	-20 a 15 dBm
Modulaciones	AM, FM, PM, pulso y scan
Puerto de comunicación	RS-232/GPIB/Ethernet

Fuente: Elaboración propia en base a la hoja de datos del E8257D.

Por otro lado, para poder medir la magnitud de la señal recibida en un rango espectral específico se empleó el analizador de espectro Agilent Technologies 8593E:

Tabla VIII. Características del Analizador de espectro.

Modelo	8593E
Rango de frecuencia	9 kHz a 22 GHz
Tiempo de Barrido	20 ms a 100 s
Resolution Bandwidth	1 kHz a 3 MHz
Video Bandwidth	30 Hz a 1 MHz
Puerto de comunicación	RS-232/GPIB

Fuente: Elaboración propia en base a la hoja de datos del 8593E.

Ambos equipos fueron vinculados a una computadora a través del estándar IEEE-488, también conocido como GPIB que permite una velocidad de transferencia de 1 MB/s, aunque en versiones más actuales puede alcanzar los 8 MB/s. Esta conexión permitió operar con los equipos y almacenar los resultados obtenidos en cada una de las mediciones por medio de un programa diseñado especialmente con el software Matlab. En la figura 28 puede observarse el esquema de conexión descrito como así también un cable conectado en la parte trasera del generador de señales (GS) y del analizador de espectro (AE) que cumple con la función de establecer una señal de referencia en 10 MHz.

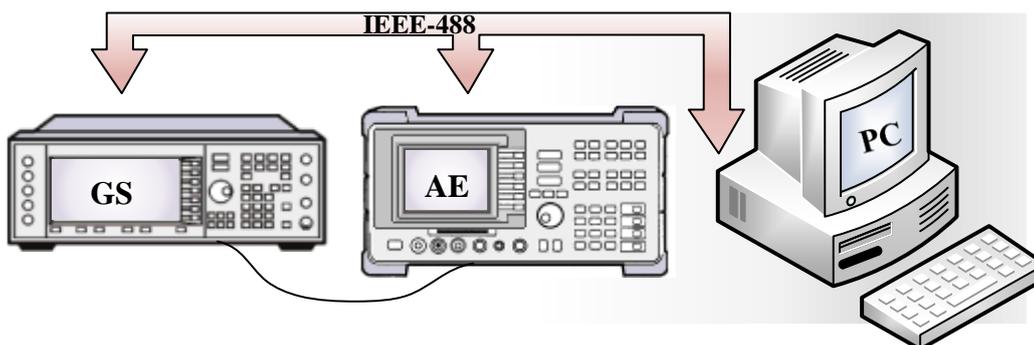


Figura 28. Esquema de conexión.

La habitación en la cual se encuentran alojados todos los dispositivos posee una temperatura que oscila entre los 20 y los 25 grados Celsius para que la variación en la precisión del instrumental sea prácticamente despreciable. Asimismo, los equipos requieren de un *warm up* (calentamiento) antes de ser utilizados, por lo que se aguardó entre 30 minutos y 2 horas luego de haber sido encendidos para realizar las mediciones.

4.5. Las Antenas

Empleando el método de sitio estándar (detallado en el capítulo 5 de la norma ANSI C63.5-2006) se caracterizaron antenas moño y logoperiódicas en el Instituto Argentino de Radioastronomía con el objetivo de especificar el factor de antena de cada una de ellas y obtener su respuesta en frecuencia, es decir, el valor de la ganancia en un rango de frecuencias determinado. A partir de esta información fue posible realizar los cálculos teóricos de enlace y de la atenuación de sitio normalizada. En el Anexo I se presentan los resultados obtenidos con las antenas moño en el intervalo de 30 MHz a 200 MHz y con las logoperiódicas entre los 200 MHz y los 1000 MHz tanto para la polarización horizontal como para la vertical.

Otro aspecto que debe mencionarse en cuanto al diseño, es que las antenas moño poseen una impedancia característica de 75 ohm mientras que las logoperiódicas cuentan con una impedancia característica de 50 ohm.

4.6. Las Estructuras

Tanto para las mediciones de la uniformidad de frente de campo como para la atenuación de sitio normalizada fue construida una estructura de madera de tres metros por lado soportada en los extremos de la base por dos tablones con ruedas que permiten un desplazamiento sencillo dentro del recinto. Además en la parte interna del marco, sobre base y por debajo del tope, hay dos guías en las cuales se desplazan horizontalmente dos tablones con una separación de 30 centímetros entre sí (fig. 29). Asimismo, sobre dichos tablones hay colocado un pequeño carro capaz de recorrerlos en sentido vertical. Con estos dos movimientos fue posible cubrir todas las posiciones necesarias en cada una de las mediciones.

Por otro lado, para medir la efectividad del blindaje se utilizaron unos bancos de madera de 1,10 metros de altura a los cuales se adicionaron unos soportes con un grado de libertad para sostener a las antenas y poder rotarlas cuando fue necesario medir en polarización vertical.

El material de los bancos y de la estructura, como ya se mencionó, es madera. Esto se debe a que, para las bandas de frecuencia utilizadas en las mediciones, el comportamiento de los materiales no afecta a las ondas electromagnéticas y es como si fueran *transparentes*.



Figura 29. Estructura de madera dentro de la cámara.

4.7. Medición de la Uniformidad de Frente de Campo

Para dar inicio a la medición de la UFA, fue posicionada la estructura de madera a 2,5 metros por delante de una mesa giratoria ubicada en la cámara y se cubrió la base con paneles absorbentes. Como primero se efectuaron las mediciones correspondientes al rango de frecuencias de 200 MHz a 1000 MHz, una antena logoperiódica fue colocada en la parte móvil de la estructura y con un cable coaxil se estableció la conexión con el analizador de espectro. Cinco metros por delante de la antena se ubicó a la otra antena logoperiódica en una estructura de fibra de vidrio a una altura de 1,55 metros con respecto al suelo (fig. 30).

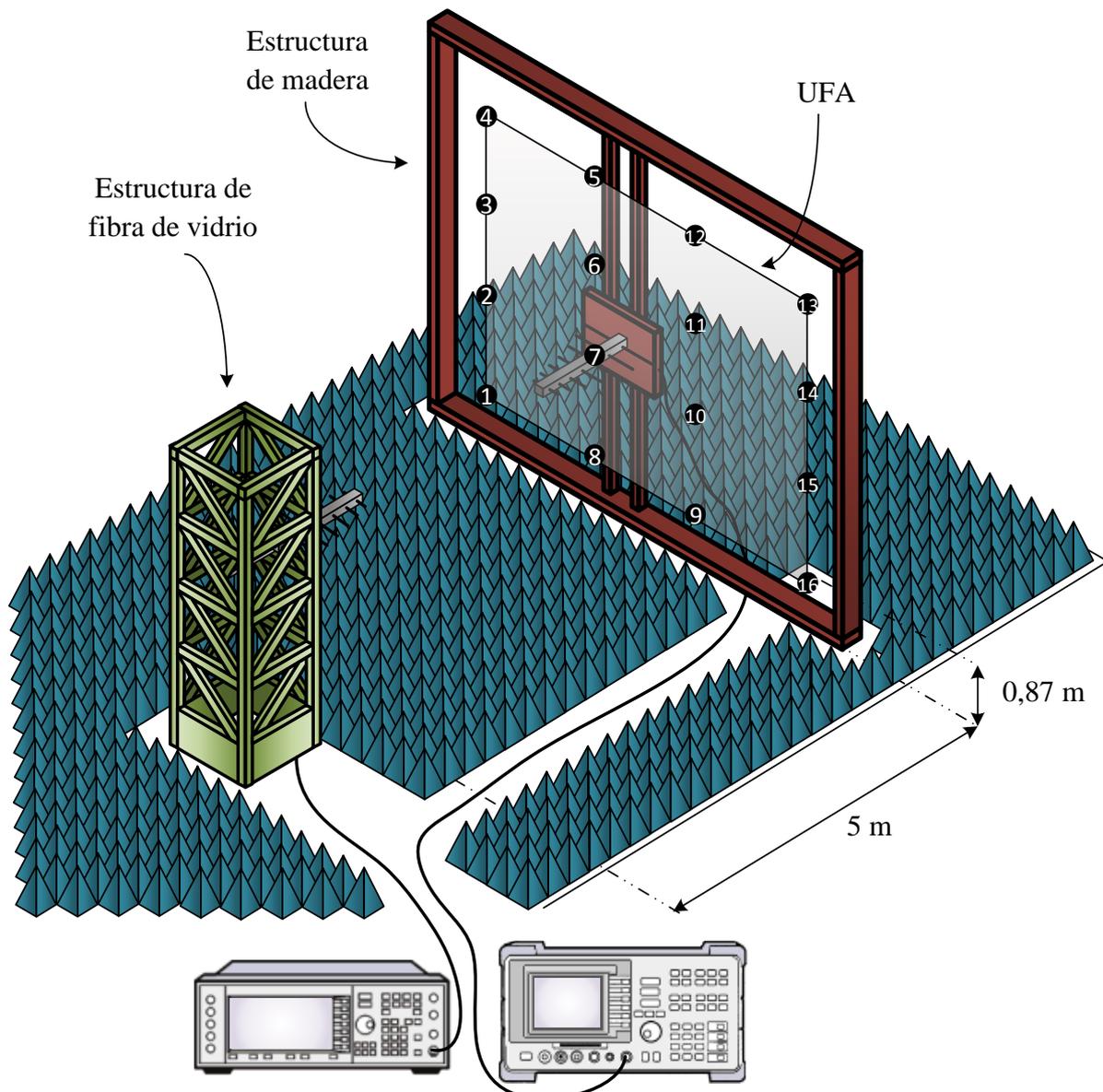


Figura 30. Esquema de conexión para medición de la UFA.

Además de lo descripto, la figura 30 también permite observar la conexión entre la antena transmisora y el generador de señales por medio de un cable coaxial y cuál es la disposición de los puntos en la estructura además del orden en que fueron medidos. Es importante aclarar que si bien la estructura de madera estaba apoyada sobre el piso de la cámara, los puntos inferiores que conforman a la UFA (1, 8, 9 y 16) se encontraban separados del suelo por 0,87 metros. Esta distancia no sólo cumple el mínimo requerido en la norma IEC 61000-4-3 sino que también lo supera por casi 10 centímetros.

Una vez verificado que todo estuviese conectado, se utilizó la ecuación de transmisión de Friis (78) en su forma simplificada para determinar el nivel aproximado de señal que debería observarse en el analizador de espectro.

$$P_{rx} = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} - L_{cab} - FSL \quad (dB) \quad (78)$$

Donde

P_{rx} es la potencia recibida.

P_{tx} es la potencia transmitida.

G_{tx} es la ganancia de la antena transmisora.

G_{rx} es la ganancia de la antena receptora.

L_{cab} es la atenuación de los cables.

FSL es la pérdida en el espacio libre, que se calcula como $20 \log_{10} \left(\frac{c}{4\pi f R} \right)$.

La distancia entre antenas R , la frecuencia de transmisión f y la velocidad de la luz c conforman a la pérdida en el espacio libre. En la figura 31 se muestra la curva obtenida a partir del cálculo teórico con los datos de la tabla IX y la curva correspondiente a los niveles de señal detectados por el analizador.

Tabla IX. Valores para la ecuación de Friis.

P_{tx} [dBm]	G_{tx} [dB]	G_{rx} [dB]	FSL [dB]	L_{cab} [dB]	Frec. [MHz]	P_{rx} [dBm]
0	3,7	5,3	32,40	3,58	200	-27,12
0	5,2	6,0	35,92	4,47	300	-29,24
0	6,8	5,8	38,42	5,36	400	-31,14
0	5,3	7,4	40,35	6,00	500	-33,70
0	4,9	7,6	41,94	6,66	600	-36,09
0	-6,4	7,2	43,28	7,40	700	-49,84
0	2,2	5,3	44,44	8,02	800	-44,95
0	4,0	5,9	45,46	8,59	900	-44,18
0	3,9	4,2	46,37	9,16	1000	-47,48

Fuente: Elaboración propia.

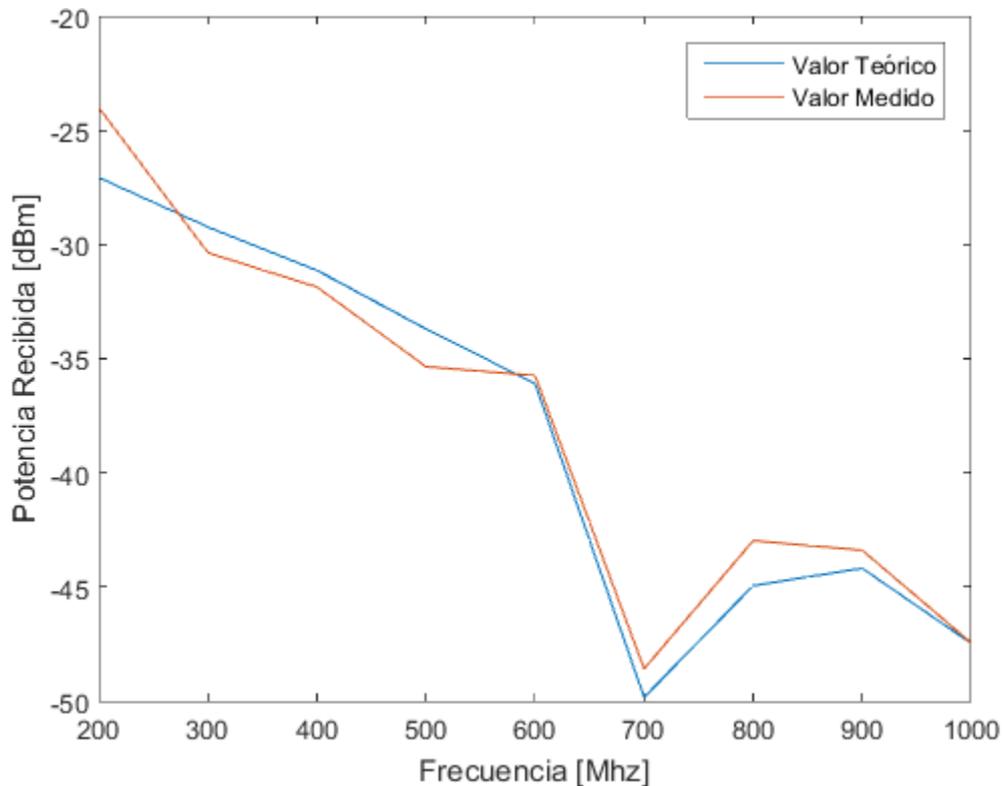


Figura 31. Prueba de enlace.

Puede observarse que los resultados obtenidos para una separación entre antenas de 5 metros fueron aceptables, por lo que se terminó de ajustar las posiciones de ambas antenas e iniciar las mediciones para la polarización horizontal. En primer lugar se ubicó a la antena receptora en la posición 1 dentro de la estructura de madera. A continuación, mediante un programa diseñado en Matlab se configuró al generador de señales para que transmita con 0 dBm con la línea de código `hPSGE8257D.power=0` y para el analizador de espectro se fijaron los valores de span en 10 kHz y al video bandwidth y resolution bandwidth en 1 kHz. Para configurar al analizador a través del programa y asignar dichos valores se utilizaron las líneas de código `hEA8593E.span`, `hEA8593E.vbw` y `hEA8593E.rbw`. También se estableció el barrido de frecuencias entre 200 MHz y 1000 MHz con un salto de 10 MHz.

Finalmente se inició la primera medición al ejecutar el programa y a medida que se obtenían los datos eran almacenados en un archivo en el cual estaba especificado la antena utilizada, la polarización, el intervalo de frecuencias y la posición relativa en la UFA. Esto fue repetido con cada punto siguiendo el orden establecido en la figura 30 y, una vez concluidas las

16 mediciones, se cambió la polarización de la antena transmisora y receptora a vertical para comenzar con el procedimiento descrito una vez más.

Al terminar de utilizar las antenas logoperiódicas, las mismas fueron desconectadas y sustituidas por el par de antenas moño (fig. 32) con el fin de efectuar las mediciones correspondientes al rango de 30 MHz a 200 MHz. Empezando nuevamente por la primera posición, el procedimiento fue repetido hasta acabar con los 32 puntos correspondientes a la suma de ambas polarizaciones.

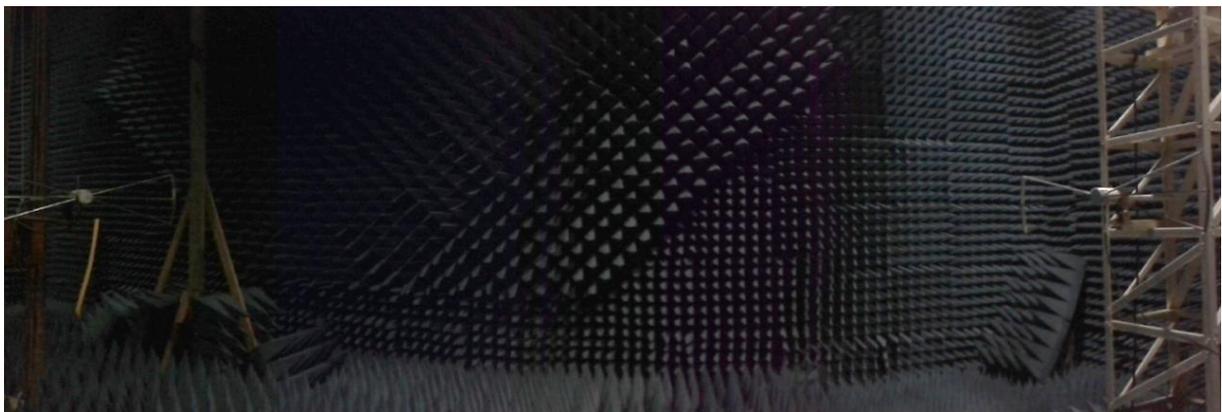


Figura 32. Imagen panorámica de la conexión de antenas moño.

Por otro lado, para procesar los datos que fueron guardados en los archivos se diseñó una planilla de cálculo donde se especificaba la frecuencia, el valor de potencia para cada punto y el porcentaje de puntos cuya diferencia con respecto a un valor de referencia caían dentro del intervalo de [0, 6] dB. Dicho valor fue seleccionado acorde al criterio establecido por la norma y descrito en la sección 4.1.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Potencia	0																		
2	Cant.Ptos	16																		
3																				
4	%	PTO.REF	PTO.VAL	Frec	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
5	88%	P8	-7,73E+01	3,00E+07	-7,72E+01	-7,52E+01	-7,31E+01	-7,17E+01	-7,17E+01	-7,33E+01	-7,52E+01	-7,73E+01	-7,72E+01	-7,45E+01	-7,24E+01	-7,12E+01	-7,09E+01	-7,23E+01	-7,45E+01	-7,69E+01
6	75%	P9	-6,79E+01	3,20E+07	-6,79E+01	-6,49E+01	-6,30E+01	-6,19E+01	-6,19E+01	-6,32E+01	-6,45E+01	-6,78E+01	-6,79E+01	-6,44E+01	-6,23E+01	-6,10E+01	-6,09E+01	-6,20E+01	-6,40E+01	-6,67E+01
7	88%	P9	-7,66E+01	3,40E+07	-7,65E+01	-7,41E+01	-7,23E+01	-7,11E+01	-7,14E+01	-7,26E+01	-7,40E+01	-7,64E+01	-7,66E+01	-7,36E+01	-7,16E+01	-7,05E+01	-7,04E+01	-7,14E+01	-7,32E+01	-7,54E+01
8	100%	P9	-8,02E+01	3,60E+07	-8,00E+01	-7,97E+01	-7,93E+01	-7,88E+01	-7,88E+01	-7,91E+01	-7,88E+01	-7,91E+01	-8,02E+01	-8,01E+01	-8,00E+01	-7,98E+01	-8,02E+01	-8,01E+01	-7,98E+01	-7,97E+01
9	56%		-7,66E+01	3,80E+07	-7,83E+01	-7,66E+01	-7,42E+01	-7,22E+01	-7,33E+01	-7,55E+01	-7,89E+01	-8,03E+01	-7,98E+01	-7,69E+01	-7,45E+01	-7,24E+01	-6,89E+01	-7,03E+01	-7,31E+01	-7,60E+01
10	63%		-6,63E+01	4,00E+07	-6,64E+01	-6,30E+01	-6,07E+01	-5,91E+01	-6,00E+01	-6,18E+01	-6,63E+01	-7,14E+01	-7,05E+01	-6,60E+01	-6,33E+01	-6,18E+01	-6,13E+01	-6,25E+01	-6,44E+01	-6,72E+01
11	56%		-6,13E+01	4,20E+07	-5,97E+01	-5,67E+01	-5,48E+01	-5,37E+01	-5,47E+01	-5,60E+01	-6,13E+01	-6,63E+01	-6,54E+01	-6,15E+01	-5,92E+01	-5,80E+01	-5,74E+01	-5,84E+01	-6,02E+01	-6,29E+01
12	56%		-6,38E+01	4,40E+07	-6,04E+01	-5,80E+01	-5,66E+01	-5,61E+01	-5,71E+01	-5,79E+01	-6,38E+01	-6,94E+01	-6,79E+01	-6,45E+01	-6,28E+01	-6,24E+01	-6,16E+01	-6,19E+01	-6,32E+01	-6,54E+01
13	75%	P7	-6,17E+01	4,60E+07	-5,77E+01	-5,63E+01	-5,57E+01	-5,59E+01	-5,67E+01	-5,66E+01	-6,17E+01	-6,52E+01	-6,41E+01	-6,22E+01	-6,13E+01	-6,15E+01	-6,08E+01	-6,04E+01	-6,11E+01	-6,25E+01
14	100%	P12	-6,34E+01	4,80E+07	-5,81E+01	-5,83E+01	-5,88E+01	-5,97E+01	-5,99E+01	-5,91E+01	-6,18E+01	-6,18E+01	-6,25E+01	-6,20E+01	-6,24E+01	-6,34E+01	-6,32E+01	-6,21E+01	-6,15E+01	-6,16E+01
15	100%	P14	-6,35E+01	5,00E+07	-5,89E+01	-5,97E+01	-6,01E+01	-5,84E+01	-5,92E+01	-6,03E+01	-6,19E+01	-6,26E+01	-6,22E+01	-6,23E+01	-6,32E+01	-6,29E+01	-6,27E+01	-6,35E+01	-6,23E+01	-6,18E+01
16	100%	P11	-6,25E+01	5,20E+07	-5,90E+01	-5,95E+01	-6,00E+01	-5,86E+01	-5,94E+01	-6,04E+01	-6,18E+01	-6,21E+01	-6,21E+01	-6,20E+01	-6,25E+01	-6,18E+01	-6,14E+01	-6,23E+01	-6,20E+01	-6,19E+01
17	100%	P8	-6,24E+01	5,40E+07	-6,01E+01	-5,95E+01	-5,95E+01	-5,97E+01	-5,96E+01	-5,94E+01	-6,10E+01	-6,24E+01	-6,23E+01	-6,10E+01	-6,07E+01	-6,06E+01	-6,13E+01	-6,13E+01	-6,17E+01	-6,20E+01
18	100%	P4	-5,87E+01	5,60E+07	-5,68E+01	-5,62E+01	-5,67E+01	-5,87E+01	-5,78E+01	-5,64E+01	-5,70E+01	-5,82E+01	-5,81E+01	-5,67E+01	-5,66E+01	-5,77E+01	-5,85E+01	-5,71E+01	-5,70E+01	-5,79E+01
19	100%	P4	-5,75E+01	5,80E+07	-5,43E+01	-5,37E+01	-5,47E+01	-5,75E+01	-5,68E+01	-5,46E+01	-5,43E+01	-5,51E+01	-5,50E+01	-5,40E+01	-5,43E+01	-5,63E+01	-5,68E+01	-5,47E+01	-5,41E+01	-5,49E+01
20	100%	P4	-5,81E+01	6,00E+07	-5,47E+01	-5,41E+01	-5,51E+01	-5,81E+01	-5,73E+01	-5,53E+01	-5,46E+01	-5,52E+01	-5,53E+01	-5,44E+01	-5,49E+01	-5,69E+01	-5,72E+01	-5,49E+01	-5,43E+01	-5,50E+01
21	100%	P4	-5,43E+01	6,20E+07	-5,42E+01	-5,31E+01	-5,34E+01	-5,43E+01	-5,32E+01	-5,31E+01	-5,31E+01	-5,41E+01	-5,42E+01	-5,31E+01	-5,26E+01	-5,27E+01	-5,36E+01	-5,29E+01	-5,31E+01	-5,41E+01
22	100%	P16	-5,40E+01	6,40E+07	-5,35E+01	-5,28E+01	-5,29E+01	-5,32E+01	-5,26E+01	-5,31E+01	-5,31E+01	-5,35E+01	-5,38E+01	-5,31E+01	-5,27E+01	-5,23E+01	-5,31E+01	-5,29E+01	-5,31E+01	-5,40E+01
23	100%	P6	-5,86E+01	6,60E+07	-5,65E+01	-5,74E+01	-5,65E+01	-5,61E+01	-5,86E+01	-5,75E+01	-5,66E+01	-5,72E+01	-5,79E+01	-5,83E+01	-5,54E+01	-5,66E+01	-5,80E+01	-5,77E+01	-5,79E+01	-5,79E+01

Figura 33. Captura de planilla de cálculo.

No obstante, la cantidad de puntos de la UFA que mantenían una diferencia máxima de +6 dB no siempre superaban el 75% del total, condición necesaria para admitir al frente de onda como plano. Por consiguiente, si con el valor de potencia más pequeño no se obtenían los resultados esperados, era necesario seleccionar como referencia al siguiente valor más pequeño. Este proceder también está contenido dentro de la norma y ha de repetirse hasta obtener como mínimo el porcentaje mencionado. Es preciso aclarar que, para la cantidad de puntos que conforman a la UFA en este proyecto, sólo fue posible modificar el valor de referencia hasta cuatro veces.

4.8. Medición de la Atenuación de Sitio Normalizada

En concordancia con lo comentado en la sección 4.2, las mediciones realizadas pueden ser distinguidas acorde al modo en que fueron llevadas a cabo. La primera medición que se realizó fue la de tensión directa, que consiste en conectar tanto al generador como al analizador unos cables coaxiales de radiofrecuencia (que posteriormente alimentarán a las antenas) y vincularlos entre sí. Para esto, se utilizó un conector pasante tipo N. En la figura 34 puede observarse el esquema de conexión utilizado.

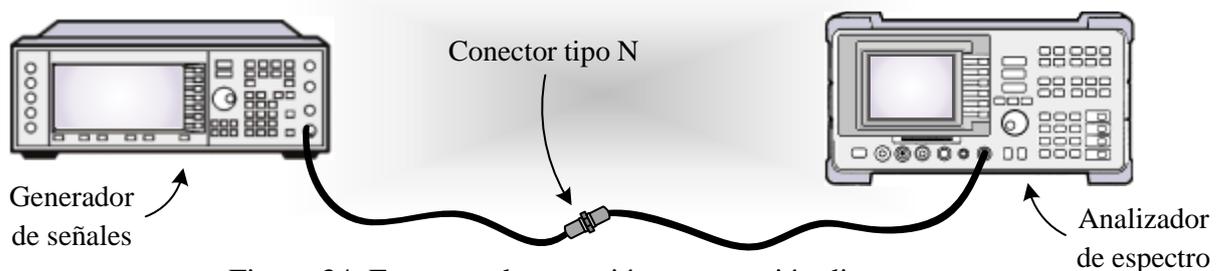


Figura 34. Esquema de conexión para tensión directa.

Primero se inició con las pruebas de enlace para corroborar su correcto funcionamiento. Al ser favorables los resultados, a través de Matlab se configuró al generador para transmitir con 0 dBm y se hizo el barrido de frecuencias entre 30 MHz y 1000 MHz. Una vez finalizado el barrido se continuó con el segundo tipo de mediciones: la tensión de sitio. Para esto se retiró el conector pasante tipo N y se conectó el extremo libre de cada cable a la antena transmisora y receptora. El cable vinculado al generador de señales fue conectado a la antena situada en la parte móvil del marco de madera mientras que el cable del analizador de espectro fue conectado a la antena ubicada en la estructura de fibra de vidrio.

A diferencia de la UFA, en donde las mediciones efectuadas estuvieron contenidas en un único plano, la estructura de madera debió desplazarse 1,25 metros hacia atrás en dos oportunidades con el objetivo de medir la señal emitida en tres planos distintos. De esta forma, fue posible conformar un volumen cilíndrico de 2,5 metros de diámetro y 2,5 metros de alto a partir de los puntos medidos como puede observarse en la figura 35.

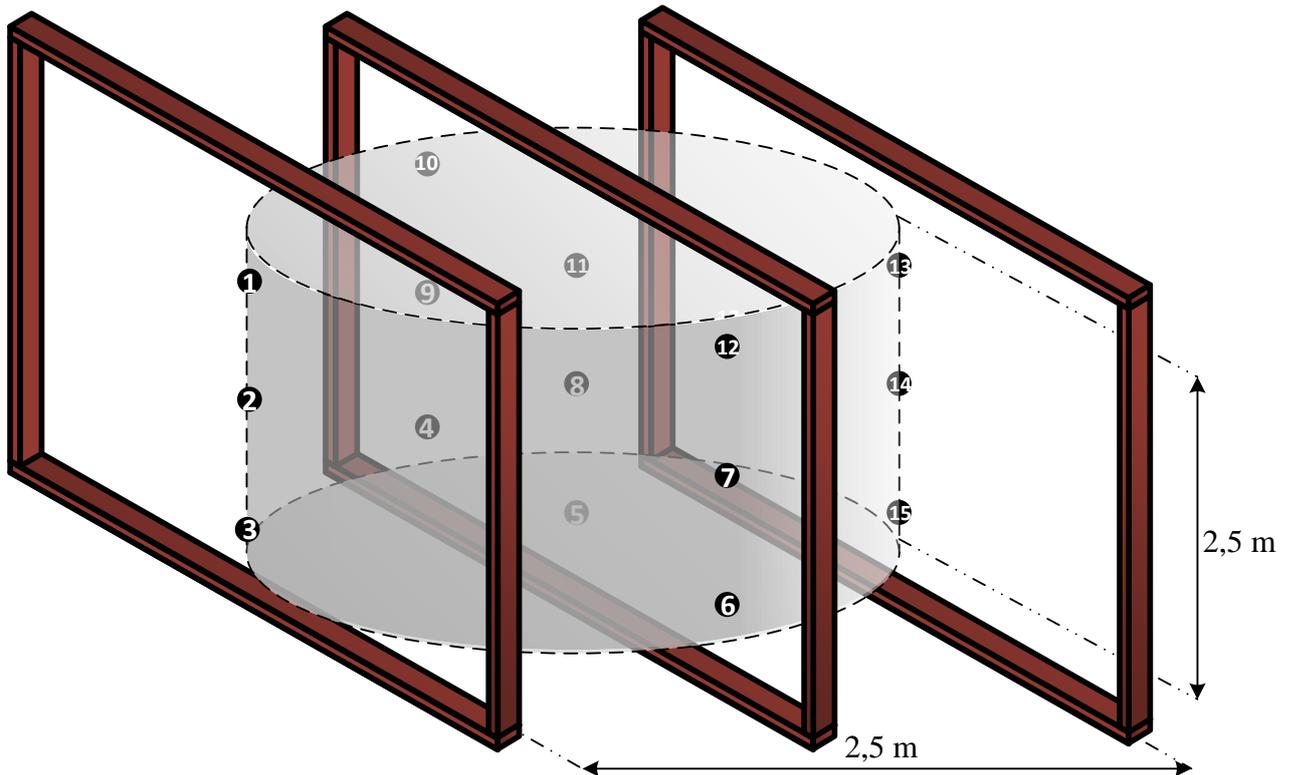


Figura 35. Volumen imaginario conformado por puntos de tres planos.

La altura del cilindro queda determinada por tres puntos. Al punto de medición central se lo fija dividiendo a la mitad la altura máxima establecida mientras que a los otros dos puntos se los posiciona a una distancia de los extremos del cilindro igual a la mitad del ancho de la antena utilizada. En la figura 36 se observa con detalle la altura de cada punto con respecto al suelo para la antena moño utilizada en la práctica.

En cuanto a la antena receptora, quedó a una altura fija igual a la del punto medio del cilindro. Otro aspecto importante que fue tenido en cuenta es el de la distancia entre la antena transmisora y receptora, pues la norma CISPR 16-1-4 establece que la distancia entre sus centros de fase debe ser siempre constante. Esto conllevó a desplazar la estructura de fibra de vidrio en la misma dirección y sentido que la estructura de madera conforme era necesario

medir los distintos planos. Además, debe mantenerse el apuntamiento de las antenas entre sí en todo momento. Para esto, las estructuras donde fueron montadas las antenas estaban dotadas de dos grados de libertad, lo que hizo posible el apuntamiento.

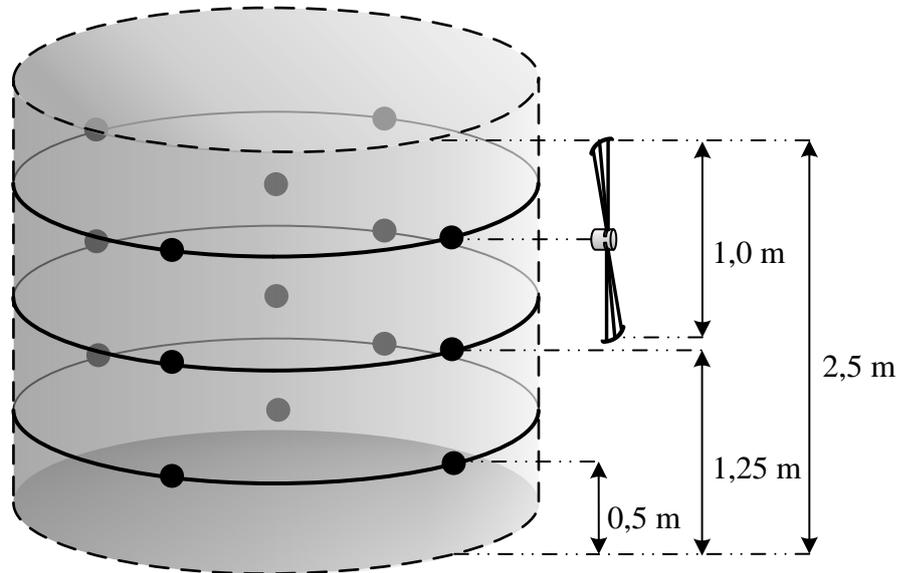


Figura 36. Altura del cilindro y posiciones de la antena.

Bajo la misma configuración de equipos utilizada en la medición de tensión directa, se realizó el barrido de frecuencias entre 30 MHz y 200 MHz con las antenas moño en cada punto y para ambas polarizaciones. Una vez concluido el uso de las antenas moño, fueron retiradas y en su lugar se conectaron las antenas logoperiódicas. La figura 37 permite observar la medición de uno de los puntos del cilindro además de la inclinación entre las antenas para mantener el apuntamiento entre centros de fase para una distancia fija de 5 metros.

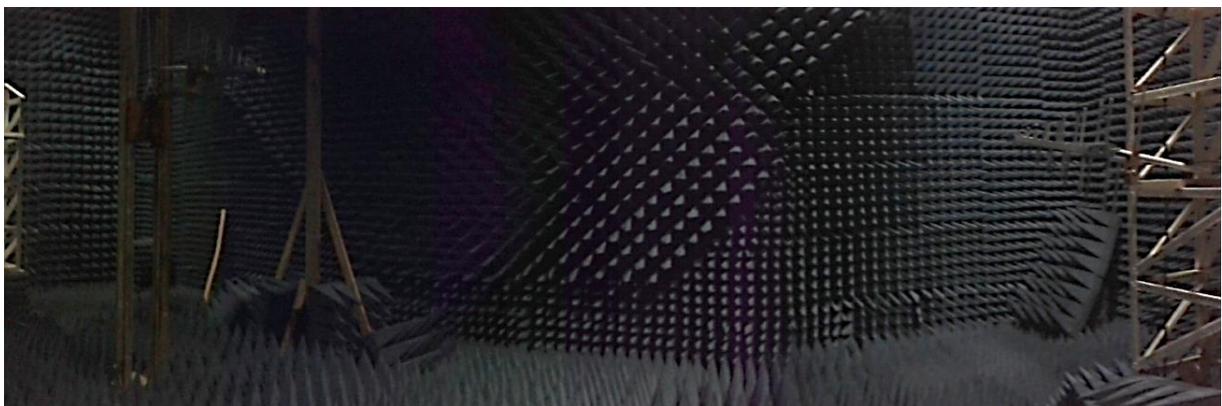


Figura 37. Apuntamiento entre antenas logoperiódicas.

El barrido de frecuencias fue realizado en el rango de 200 MHz a 1000 MHz para cada posición del cilindro y para ambas polarizaciones. Como resultado de todas las mediciones se obtuvieron 60 archivos con las mismas características que los archivos de la UFA: antenas utilizadas, polarización, el intervalo de frecuencias y la posición relativa del cilindro además de la potencia para cada valor específico de frecuencia.

En lo que respecta al procesamiento de los datos contenidos en los archivos, se diseñó una planilla en la que se introdujeron todos los datos medidos, diferenciando la tensión directa y la de sitio, los puntos de frecuencia, la distancia entre antenas, los factores de antena y la impedancia característica (fig. 38).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Potencia	5	dBm	Dist. Entre antenas	5			Impedancia de referencia	50											
2																				
3																				
4																				
5	Valor de Ref.					Factor de Antena Rx		Factor de Antena Tx												
6	Frec.	Pot.	P1	P2	P3	Frec	AF	Frec	AF	NSA(P1)	NSA(P2)	NSA(P3)	NSA(calc)	ANSA(P1)	ANSA(P2)	ANSA(P3)	ANSA(P4)	ANSA(P5)	ANSA(P6)	ANSA(P7)
7	30	-1,62E+00	-3,89E+01	-4,18E+01	-4,90E+01	30	24,4	30	22,7	-9,85	-6,96	0,25	16,85	-26,6968	-23,8068	-16,5968	-4,6568	-13,6768	-7,4368	-14,7268
8	32,5	-1,66E+00	-4,10E+01	-4,41E+01	-4,96E+01	32,5	20,31767	32,5	25,85139	-6,81	-3,69	1,80	16,09	-22,9028	-19,7828	-14,2928	-23,0428	-23,1128	-15,6428	-26,9128
9	35	-1,74E+00	-4,10E+01	-4,63E+01	-5,22E+01	35	19,02577	35	26,3231	-6,07	-0,75	5,10	15,40	-21,4721	-16,1521	-10,3021	-11,3821	-9,83214	-3,99214	-11,8721
10	37,5	-1,77E+00	-3,95E+01	-3,95E+01	-4,48E+01	37,5	17,73387	37,5	26,7948	-6,83	-6,85	-1,50	14,77	-21,5943	-21,6143	-16,2643	-7,90433	-1,54433	-13,4943	-5,92433
11	40	-1,81E+00	-5,94E+01	-6,02E+01	-6,61E+01	40	16,44197	40	27,2665	13,85	14,71	0,56	14,17	-0,32179	0,538209	-13,6118	-11,1018	-11,5218	-12,5318	-12,0818
12	42,7	-1,85E+00	-5,35E+01	-5,49E+01	-6,22E+01	42,7	15,04672	42,7	27,7382	8,85	9,82	17,53	13,58	-4,73237	-3,76237	3,947629	0,117629	-7,36237	-5,21237	4,567629
13	45	-1,83E+00	-4,97E+01	-5,31E+01	-5,86E+01	45	13,85818	45	28,24765	5,76	9,15	14,63	13,10	-7,33708	-3,94708	1,53292	-7,10708	-11,1571	-4,89708	-12,1871
14	47,5	-1,84E+00	-5,81E+01	-5,07E+01	-5,35E+01	47,5	15,55558	47,5	15,19167	25,54	18,08	20,95	12,61	12,93023	5,470235	8,340235	-7,47977	-8,54977	-2,74977	-9,05977
15	50	-1,83E+00	-4,57E+01	-4,26E+01	-4,92E+01	50	14,91708	50	14,74447	14,16	11,13	17,68	12,15	2,007867	-1,02213	5,527867	-9,89213	-10,0521	-4,89213	-12,1221
16	55	-1,82E+00	-4,32E+01	-4,49E+01	-4,27E+01	55	13,64009	55	13,85007	13,85	15,57	13,42	11,30	2,553626	4,273626	2,123626	-4,84637	-4,70637	-2,49637	-0,82637
17	60	-1,82E+00	-4,96E+01	-4,52E+01	-4,41E+01	60	12,3631	60	12,95567	22,46	18,04	16,94	10,52	11,94108	7,521085	6,421085	1,011085	-3,86892	0,151085	4,021085
18	65	-1,84E+00	-5,50E+01	-5,21E+01	-5,68E+01	65	11,31757	65	11,43062	30,45	27,50	32,16	9,81	20,64278	17,69278	22,35278	-0,21722	1,08278	8,21278	11,55278
19	70	-1,88E+00	-6,04E+01	-6,25E+01	-5,44E+01	70	11,19787	70	11,22884	36,11	38,23	30,10	9,15	26,9606	29,0806	20,9506	-1,4894	2,270996	5,860596	7,030596
20	75	-1,95E+00	-4,61E+01	-4,82E+01	-4,69E+01	75	11,07817	75	11,02705	22,06	24,18	22,85	8,54	13,52158	15,64158	14,31158	0,39158	8,25158	4,28158	2,62158
21	80	-2,01E+00	-4,54E+01	-5,04E+01	-5,34E+01	80	10,95847	80	10,82527	21,61	26,57	29,56	7,97	13,63203	18,59203	21,58203	3,652027	11,14203	5,852027	11,40203
22	85	-2,12E+00	-4,97E+01	-6,68E+01	-5,99E+01	85	11,05414	85	10,92561	25,62	42,68	35,84	7,44	18,17956	35,23956	28,39956	2,389564	7,039564	5,789564	-2,41044
23	90	-2,22E+00	-5,53E+01	-5,42E+01	-5,45E+01	90	11,20366	90	11,10149	30,75	29,62	29,96	6,94	23,81648	22,68648	23,02648	3,476484	1,776484	-2,99352	-3,03352

Figura 38. Captura de la planilla de cálculo para algunos puntos.

A partir de algunos de los datos, fue calculado el valor teórico de la atenuación de sitio normalizada y comparado con el valor medido empleando las ecuaciones de la sección 4.2.

4.9. Medición de la Efectividad del Blindaje

Para realizar las mediciones de la efectividad de blindaje, se utilizaron en primer lugar las antenas moño, colocándolas sobre dos bancos de madera. La antena receptora fue situada a 0,57 metros por delante del blindaje y, en cuanto a la antena transmisora, fue colocada a 2 metros de distancia de la primera y enfrentadas entre sí (fig. 39). Utilizando Matlab se configuró al generador de señales para que transmita con 0 dBm y se fijó en el analizador de espectro al nivel de referencia en -25 dB. La elección de este valor tiene su justificación en que la señal detectada estaba siendo medida en saturación, lo que impedía observar los valores reales de

potencia al momento de realizar las pruebas de enlace. Además, el barrido en frecuencias fue realizado con saltos de 1 MHz.



Figura 39. Medición de la efectividad de blindaje con antenas moño.

Al finalizar con las mediciones para ambas polarizaciones, se continuó con la otra parte involucrada en la medición del blindaje. Para ello, se colocó a la antena receptora en el interior

de la cámara anecoica a una distancia de 0,77 metros de la pared, apuntando a ella. A la antena transmisora se la colocó en la misma línea, a 1,21 metros de la pared pero por fuera de la cámara y como en la medición anterior, apuntándose entre sí. El espesor del blindaje es de 0,02 metros que, sumado a las anteriores distancias, alcanzó un valor total de separación entre antenas igual a 2 metros. Al efectuar la prueba de enlace se constató que el analizador medía en *corte*, por lo que se modificó el valor de referencia a -50 dB y a continuación, se ejecutó el programa de Matlab. Como en todas las mediciones anteriores, este procedimiento fue realizado tanto para la polarización horizontal como para la vertical.

Una vez concluido el uso de las antenas moño, fue el momento de conectar las antenas logoperiódicas. Por una cuestión de practicidad, primero fueron efectuadas las mediciones con la pared de la cámara de por medio. A la parte frontal de la antena que cumple con la función de recibir la señal se la colocó a 0,55 metros de la pared de la cámara en tanto que a la antena transmisora se la posicionó a 1,43 metros de la misma pared pero del lado de afuera. La figura 40 permite observar cómo fue posible realizar el apuntamiento entre antenas, previo a cerrar las puertas de la cámara. En esta ocasión, el barrido de frecuencia fue realizado entre los 200 MHz y 1 GHz con saltos de frecuencia de 5 MHz y se configuró al analizador de espectro con un valor de referencia igual a -25 dB. Más tarde, la antena receptora fue retirada del interior de la cámara y se la colocó a 30 centímetros de la pared para realizar las últimas mediciones. La antena transmisora fue enfrentada a la receptora y distanciada en 2 metros. Como los resultados arrojados por la prueba de enlace no fueron los esperados, ya que el analizador de espectro conservaba el mismo valor de referencia configurado con anterioridad, se elevó el nivel de referencia a 5 dB para evitar medir en *saturación*.

Al concluir con las mediciones para las dos polarizaciones, se diseñó una planilla de cálculo en donde fueron introducidos los resultados obtenidos y para calcular la diferencia entre los valores con y sin el blindaje en cada frecuencia.



Figura 40. Medición de blindaje con antenas logoperiódicas.

4.10.Limitaciones

Al momento de llevar a cabo las mediciones se presentaron numerosas complicaciones que ameritan ser mencionadas. La falta de instrumental adecuado para realizar las mediciones derivó en el análisis y búsqueda de soluciones alternativas que no se aparten demasiado de lo establecido por las normas.

Para poder establecer si el frente de onda es plano, el receptor debe estar conectado a un sensor de campo eléctrico. Este dispositivo tiene un patrón de radiación muy parecido al de un dipolo y miden la intensidad resultante de la construcción (y destrucción) de señales que tienen origen en el interior de la cámara. Como no fue posible utilizar un sensor ya que se encuentra en construcción por el Instituto Argentino de Radioastronomía, se utilizó como solución alternativa a una antena moño y logoperiódica. El patrón de radiación de las antenas moño es muy parecido al del dipolo, solo que un poco más aplanado en el eje z. En cuanto a la antena logoperiódica, su patrón de radiación no se asemeja al de un dipolo pero fue utilizada igual por dos razones: la primera, no se disponía de otro tipo de antena para el rango de frecuencias de 200 MHz a 1000 MHz y la segunda, para esos valores de frecuencias las longitudes de onda dentro del recinto no son tan críticas como sí lo son para las frecuencias por debajo de los 100 MHz, por lo que se asume que la señal transmitida tiene pocas posibilidades de generar rebotes que alteren la medición significativamente. Aun así, para disminuir la incertidumbre de los resultados, debería realizarse una medición de la señal con la antena receptora apuntando hacia seis direcciones distintas. Es decir, si se asume que el frente de la antena (P) para las mediciones realizadas tiene coordenadas esféricas en el espacio iguales a $P(\theta; \varphi) = (0^\circ, 0^\circ)$, entonces restaría evaluar los puntos $P(\theta; \varphi) = (0^\circ, 90^\circ)$, $P(\theta; \varphi) = (0^\circ, 180^\circ)$, $P(\theta; \varphi) = (0^\circ, 270^\circ)$, $P(\theta; \varphi) = (90^\circ, 0^\circ)$, $P(\theta; \varphi) = (-90^\circ, 0^\circ)$. De esta forma se tendría una mejor descripción de lo que sucede con la señal en todo el recinto. Desafortunadamente no resulta muy viable esta opción por el tiempo y el incremento en el número de mediciones.

En cuanto a la medición de la atenuación de sitio normalizada, no fue posible colocar en los cables unos núcleos de ferrita exigidos con un espaciamiento de quince centímetros entre cada uno por no disponer de las piezas. Tampoco fueron colocados los atenuadores de 10 dB entre los cables y el conector tipo N (fig. 41). Si bien las piezas estaban disponibles, no fue posible garantizar el nivel de señal mínimo para realizar las mediciones y debieron ser retirados.

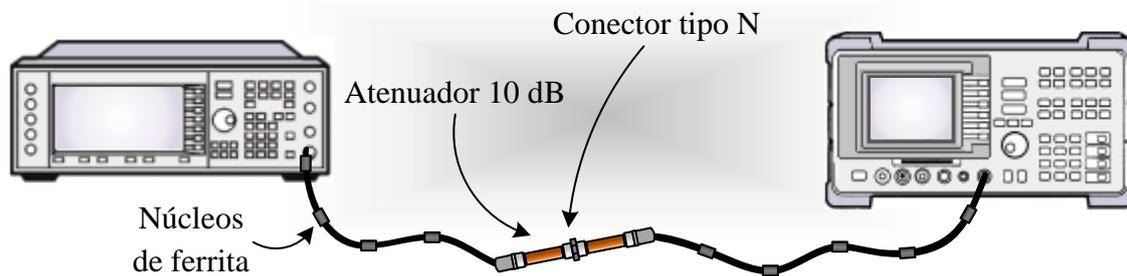


Figura 41. Esquema de conexión de tensión directa.

El valor mínimo de la señal requerido puede calcularse a partir del criterio establecido en la norma ETSI:

- 20 dB por encima de la máxima pérdida esperada por radiación ($20 \log(4\pi d/\lambda)$), más el piso de ruido del ambiente, el valor de los atenuadores y las pérdidas de los cables, menos la ganancia de las antenas.

Al no utilizar los atenuadores en la medición de tensión directa tampoco fueron incluidos en la medición de tensión de sitio para conservar el mismo criterio de medición. Por otro lado, según la norma ETSI, el uso de antenas logoperiódicas aumenta la incertidumbre en las mediciones.

Finalmente, la medición de la efectividad del blindaje debe efectuarse durante la fase de construcción de la cámara, una vez colocado el blindaje y previo a forrar las paredes con los paneles absorbentes. Sin embargo, ante la imposibilidad de realizar la medición como las normas lo requieren, fue evaluada la posibilidad de retirar los paneles, pero despegarlos y retirarlos de la cámara los hubiese expuesto a un desgaste indeseable. Por ello, el blindaje fue caracterizado incluyendo los paneles absorbentes.

Capítulo 5

Resultados

5.1. Resultados de la Uniformidad de Frente de Campo

Los resultados de las mediciones pueden dividirse en dos grupos: aquellos donde la cantidad de puntos que se encuentran en el intervalo de [0, 6] dB superan el 75% del total de la UFA y los que no alcanzan dicho porcentaje. Si bien en el Anexo III se presentan todos los resultados obtenidos y los puntos de referencia utilizados, el análisis sólo se hará para un caso de cada grupo ya que los restantes requieren de una interpretación análoga.

Para poder visualizar el concepto de frente plano, se programó un código en Matlab que lee una fila de datos y almacena en un vector. Luego convierte al vector en matriz y crea un gráfico en tres dimensiones donde los ejes X e Y hacen referencia a la fila y columna de la matriz y el eje Z muestra el valor de potencia relativa a un punto específico en la matriz. A continuación se presenta el código utilizado:

```
[X,Y] = meshgrid(0:1:3);
[XI,YI] = meshgrid(0:.5:3);
Z = xlsread('C:\Users\Mariano\Desktop\Med.xlsx','Sheet1','T137:AI137');
figure;
ZI=vec2mat(Z(1,:),4);
ZII=interp2(X,Y,ZI,XI,YI);
surf(XI,YI,ZII);

xlabel('x');
ylabel('y');
zlabel('Potencia [dBm]');
view(3);
axis([-0.5 3.5 -0.5 3.5 -11 11]);
grid on;
light;
lighting phong;
camlight('right');
```

En primer lugar se analizan los valores de potencia correspondientes a una frecuencia igual a 690 MHz. La tabla X permite observar los valores de potencia medidos y los valores resultantes de realizar la sustracción entre cada punto de la matriz y el valor de referencia que, en este caso, es el punto 3.

Tabla X. Resultados de la UFA en 690 MHz.

Valores Medidos [dBm]				Valores Diferencia [dBm]			
-44,50	-43,75	-43,73	-43,63	0,30	1,05	1,07	1,17
-44,80	-44,34	-44,36	-44,43	0,00	0,46	0,44	0,37
-44,21	-43,43	-43,40	-43,77	0,59	1,37	1,40	1,03
-44,71	-44,57	-44,14	-44,73	0,09	0,23	0,66	0,07

Los casilleros en color verde marcan que la diferencia para cada punto de la matriz se encuentra dentro del intervalo esperado. En definitiva, puede concluirse que el frente de onda cumple con el criterio establecido por la norma ya que el 100% de los puntos se encuentran entre 0 y 6 dB. En la figura 42 se muestran los resultados de forma gráfica.

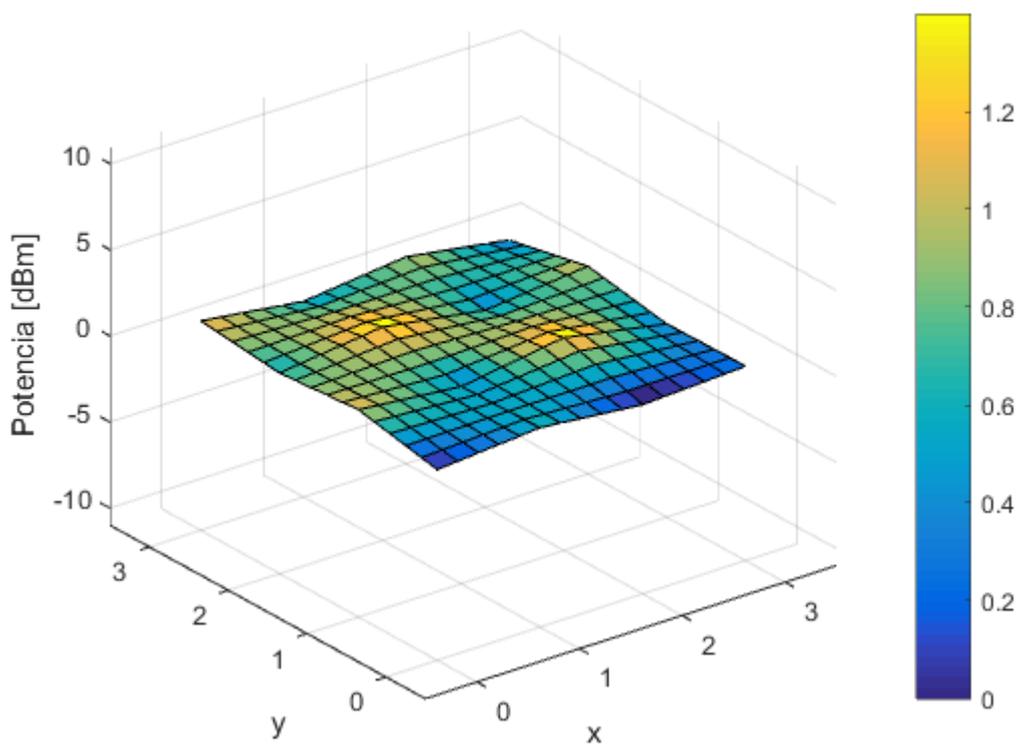


Figura 42. Gráfico de la UFA para 690 MHz.

Resulta posible apreciar que, si bien posee crestas y valles, estos no son muy pronunciados y el frente de onda irradiado por la antena es lo suficientemente plano como para poder afirmar que en el interior de la cámara se dan las condiciones de campo lejano para la configuración descrita en la sección 4.7.

Un resultado diferente se obtiene al analizar la potencia correspondiente al frente de onda medido en 174 MHz. La tabla XI expone en color rojo a los casilleros cuyos valores de potencia no se encuentran dentro del intervalo de [0, 6] dB.

Tabla XI. Resultados de la UFA en 174 MHz.

Valores Medidos [dBm]				Valores Diferencia [dBm]			
-39,48	-39,80	-39,57	-38,98	6,09	5,77	6,00	6,59
-39,94	-41,52	-41,34	-39,69	5,63	4,05	4,23	5,88
-43,66	-45,53	-45,57	-43,89	1,91	0,04	0,00	1,68
-46,80	-46,26	-45,80	-46,26	-1,23	-0,69	-0,23	-0,69

En este caso, el último valor de referencia seleccionado es el ubicado en la posición 10 de acuerdo al orden en que se midió la UFA y aun así no se pudo superar el 63%. La figura 43 muestra con claridad que el frente medido no es lo suficientemente plano.

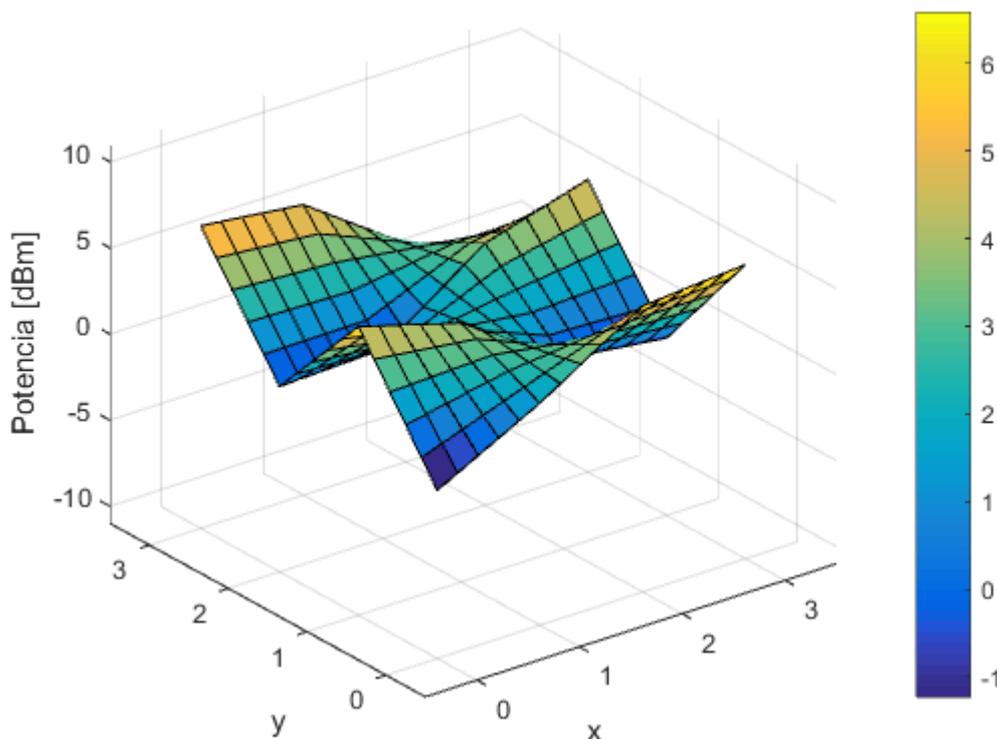


Figura 43. Gráfico de la UFA para 174 MHz

Existen diversos factores que pueden estar contribuyendo a tal variación en el frente de onda. Los paneles absorbentes no poseen un buen rendimiento para estas frecuencias y sumado a ello, es posible que los rebotes en el recinto contribuyan de forma significativa a la señal recibida por la antena.

Por otro lado, para cada matriz de puntos fue calculado su valor medio y desviación estándar. Si bien en el 97,59% de los casos el apartamiento con respecto al valor central no es significativo, para las frecuencias comprendidas entre 92 MHz y 100 MHz los valores de desviación estándar aumentan considerablemente, lo que indica una gran dispersión de datos. Este resultado puede deberse a la medición de potencia en frecuencias donde las antenas resuenan con la cámara.

La figura 44 muestra el desvío estándar para cada frecuencia del eje X. En primer lugar, resulta fácil reconocer del gráfico el grupo de valores a los cuales se hace referencia, ya que la magnitud más crítica de la desviación se halla en el entorno de los 96 MHz.

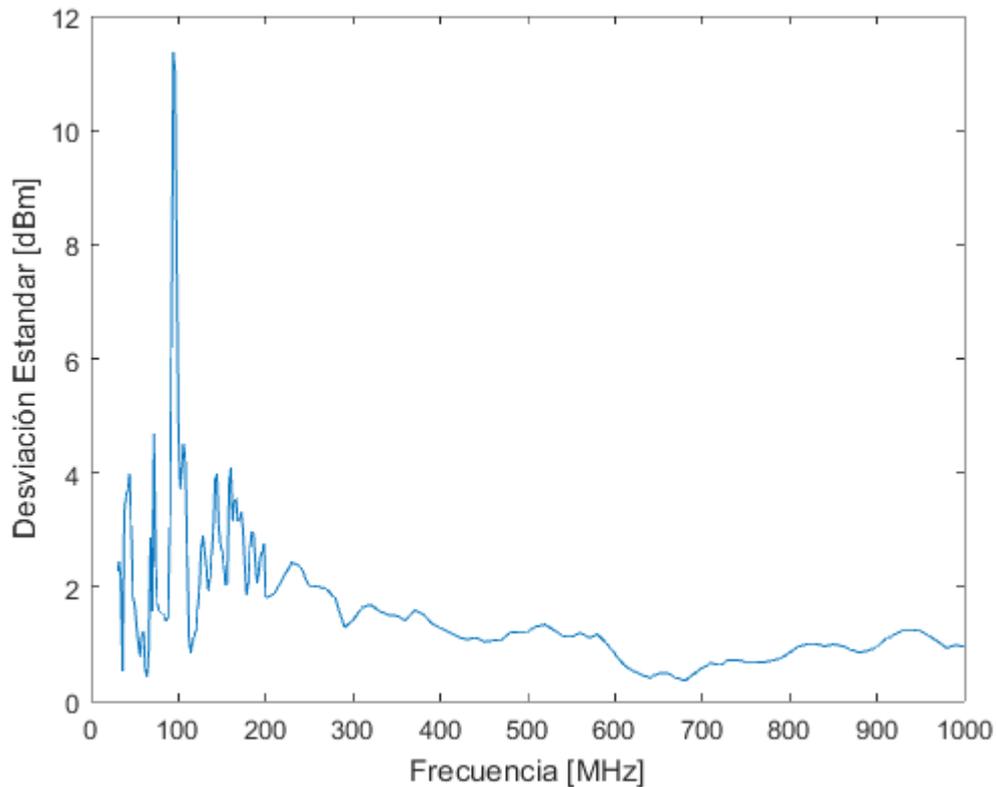


Figura 44. Desvío estándar de frecuencias.

En segundo lugar, a partir de los 200 MHz se puede observar que la curva parece ser más *suave*. Nótese que es justo el límite que distingue el uso entre la antena moño y la antena logoperiódica.

5.2. Resultados de la Atenuación de Sitio Normalizada

Para los resultados de la NSA, el criterio de selección de datos será el mismo que para la UFA, más no así su análisis. Los resultados obtenidos para 350 MHz se muestran en la tabla XII.

Tabla XII. Resultados de la NSA en 350 MHz.

Plano 1	Plano 2			Plano 3
-0,36	1,38	0,75	0,42	0,07
1,00	1,93	0,28	-0,11	0,53
-1,47	0,44	2,12	-0,04	-0,87

La disposición de los datos coincide con el orden en que han sido medidos los planos que conforman el volumen cilíndrico acorde a lo estudiado en el capítulo anterior. Como puede apreciarse, los valores presentan una diferencia con respecto al valor teórico calculado de ± 4

dB, razón por la cual puede concluirse que el rendimiento de la cámara para esa configuración y frecuencia es muy parecido al del espacio libre. Sin embargo, para ciertos valores de frecuencias como ocurre en los 634 MHz con la antena en polarización horizontal, un solo punto no cumple con la condición de ± 4 dB y se encuentra ubicado en la superficie del cilindro. Para cumplir con la norma, es posible reducir el tamaño del volumen ya que al momento de efectuar las mediciones, ha sido contemplado el máximo volumen posible para la distancia entre antenas.

Para frecuencias más bajas, el panorama no es muy alentador. La tabla XIII permite observar que los resultados se apartan significativamente del valor teórico esperado.

Tabla XIII. Resultados de la NSA en 188 MHz.

Plano 1	Plano 2			Plano 3
26,90	3,33	7,28	2,47	3,50
29,02	18,38	6,97	5,85	7,51
20,89	5,80	2,21	-1,55	5,67

En este caso no es posible disminuir el tamaño del cilindro para ver su comportamiento, ya que la potencia medida en el centro del cilindro se aparta en 6,97 dBm del valor teórico esperado. No es de sorprender que este caso suceda para todas las mediciones por debajo de 200 MHz. Existen distintos factores que contribuyen a estos resultados como por ejemplo, el uso de las antenas moño que en esencia son parecidas a un dipolo por lo que aportan un factor de acoplamiento mutuo. Este factor describe la interacción ocurrida entre las dos antenas situadas en el interior del recinto. Diferente es el caso de las antenas logoperiódicas, ya que su aporte es despreciable por ser antenas de banda ancha. Otro factor a tener en cuenta es la longitud de onda, ya que para esas frecuencias empiezan a tener un tamaño significativo y los objetos como los paneles absorbentes tienen escaso o nulo rendimiento. También se debe mencionar que el generador de señales no entrega la potencia mínima requerida en las mediciones, por lo que es factible que también este aspecto influya en los resultados obtenidos.

5.3. Resultados de la Efectividad del Blindaje

Los resultados obtenidos para la efectividad del blindaje no deben cumplir con algún criterio en especial ya que, si bien se ha estudiado la norma militar correspondiente al blindaje, se ha aplicado el estándar del IEEE y el método no varía significativamente, pero por cuestiones obvias los requerimientos militares son más estrictos y sugieren un valor mínimo de atenuación

(normalmente mayor a 100 dB). No obstante, en la figura 45 puede observarse que las paredes de la cámara poseen un buen rendimiento a partir de 200 MHz en torno a los 40 dB.

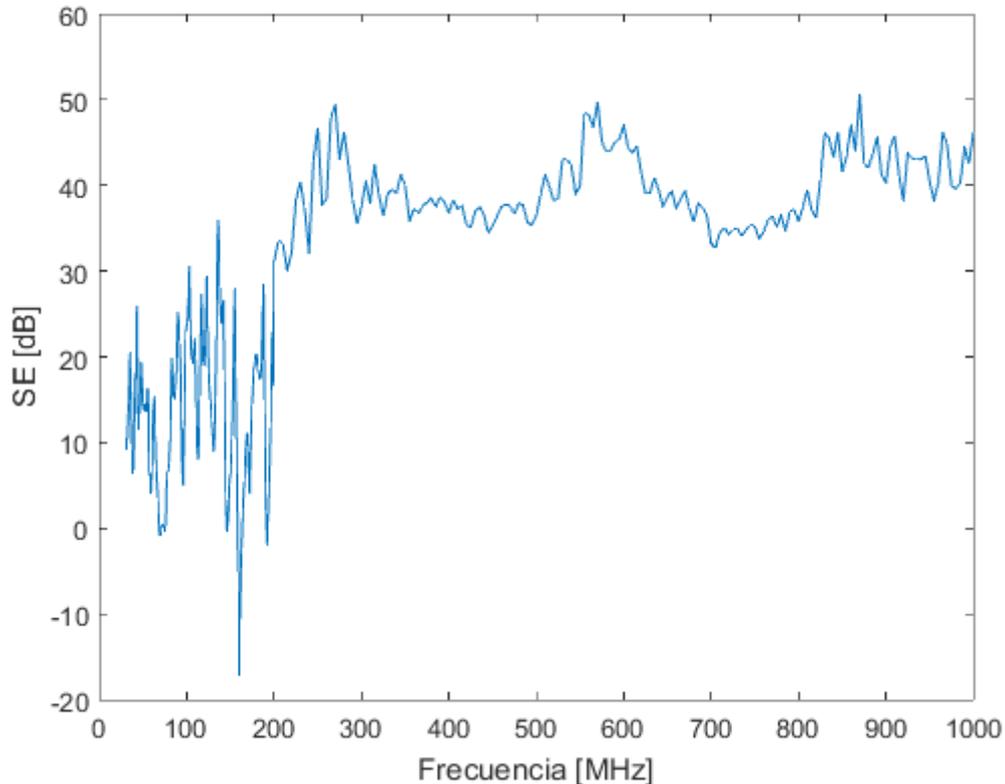


Figura 45. Resultados de la EB.

Sin embargo, para frecuencias inferiores a 200 MHz el blindaje atenúa alrededor de 15 dB. Nótese que a partir de los 200 MHz se utilizaron antenas logoperiódicas mientras que para medir el rango de 30 MHz a 200 MHz se emplearon antenas moño, razón por la cual el comportamiento de la curva se ve modificado de forma tan llamativa a partir de dicha frecuencia. También, como las antenas moño se hallaban a una distancia de 2 metros entre sí es probable que hayan sufrido un acoplamiento mutuo distorsionando los resultados y generando esa variación tan brusca de la señal recibida. Al observar más en detalle los resultados, se destaca que para los valores de frecuencia comprendidos entre 159 MHz y 161 MHz, los valores de efectividad del blindaje son inferiores a 0 dB. Este resultado posiblemente se deba a que el conjunto cámara-antena se encuentran en resonancia.

Finalmente, para concluir con el análisis de los resultados de la uniformidad del frente de campo, la atenuación de sitio y la efectividad del blindaje, resulta importante resaltar el comportamiento de la señal para las frecuencias inferiores a 200 MHz. Las longitudes de onda a estas frecuencias son de un tamaño considerable, pudiendo alcanzar los 10 metros y

dificultando la posibilidad de medir la potencia en campo lejano ya que la distancia entre antenas es de cinco metros en el caso de la UFA y NSA y de dos metros en el caso de la EB. En condiciones de campo lejano, usualmente las ondas electromagnéticas se encuentran caracterizadas por un solo tipo de polarización, pero en la región de campo cercano la relación entre el campo E y H (vector de Poynting) es muy compleja pudiendo estar presentes las cuatro polarizaciones (horizontal, vertical, circular y elíptica).

5.4. Evaluación de la Contribución de Incertidumbre

A continuación, la tabla XIV se detalla la incertidumbre de los resultados derivado de los equipos, procedimientos, etc. Los cálculos fueron realizados acorde a lo establecido en la norma ETSI TS 103 051.

Tabla XIV. Cálculo de Incertidumbre

Componente	Distribución de Probabilidad	Incertidumbre dB	
		Moño	Logoperiódica
Reflectividad del material Absorbente.	Rectangular	0,5	0,5
Acoplamiento mutuo: transmisora-receptora.	Rectangular	1,2	1,2
Separación entre centros de fase.	Rectangular	0,3	0,3
Factor de antena recepción.	Rectangular	1	1
Factor de antena transmisión.	Rectangular	1	1
Precisión de amplitud del analizador de espectro.	Rectangular	0,05	0,05
Precisión en la frecuencia del analizador de espectro.	Rectangular	0,05	0,05
Estabilidad en la amplitud del generador de señales.	Rectangular	0,001	0,001
Precisión en la frecuencia del generador de señales.	Rectangular	0,001	0,001
Error de Apuntamiento	Rectangular	7,08	0,38
Incertidumbre combinada (u_c)	Normal	4,23	1,14
Incertidumbre expandida (U)	Normal	8,46	2,28

Capítulo 6

Conclusiones

El presente proyecto tuvo como objetivo principal analizar la posibilidad de implementar ensayos de compatibilidad electromagnética en la cámara anecoica del Instituto Argentino de Radioastronomía. La totalidad del trabajo ha consistido en:

- Analizar las características constructivas de la cámara. Para esto se compararon los criterios adoptados por [Hemming, 2002] para la construcción de recintos anecoicos rectangulares con las dimensiones de la cámara perteneciente al instituto.
- Seleccionar las normas utilizadas en el rango de 30 MHz a 1000 MHz para realizar compatibilidad electromagnética.
- Elaborar un marco teórico que permita entender el contenido de las normas citadas y los ensayos realizados.
- Desarrollo técnico del contenido de las normas de uniformidad del frente de campo, atenuación de sitio normalizada y efectividad de blindaje.
- Implementación de ensayos de calibración.

Del análisis de los resultados obtenidos se puede concluir que, bajo la configuración actual de la cámara, no es factible realizar ensayos de compatibilidad electromagnética. Sin embargo, ha sido posible cumplir con los objetivos específicos planteados inicialmente.

El primer objetivo consistía en la identificación de las normas específicas utilizadas en cámaras anecoicas para certificar dispositivos resultó ser un gran desafío. Primero y principal, fue necesario definir sobre qué tipo de dispositivos se pretendía hacer los ensayos ya que no rigen las mismas normas en todos los equipos. Segundo, por el costo económico de las mismas en Argentina, fue necesario cambiar el enfoque de la búsqueda y orientarse a normas internacionales que tengan su correspondencia con las emitidas por el IRAM.

El segundo objetivo consistía en determinar si se cumplen con los requerimientos solicitados por las normas para efectuar los ensayos. Como puede observarse en los resultados del capítulo 5, las características del recinto no permiten el cumplimiento de lo solicitado bajo la configuración empleada. A esta conclusión se arriba luego de analizar los valores medidos de la UFA y la NSA. Si bien para la mayoría de las frecuencias, los resultados de uniformidad del frente de campo cumplen con lo exigido por la norma, no sucede lo mismo para la atenuación de sitio por debajo de los 200 MHz. Esto implica que el recinto está bastante lejos

de comportarse de forma parecida al espacio libre, condición necesaria para poder efectuar los ensayos de compatibilidad electromagnética. Por otro lado, los valores de efectividad de blindaje resultaron ser buenos en frecuencias superiores a 200 MHz, pero no puede concluirse lo mismo entre 30 MHz y 200 MHz.

Finalmente, el tercer objetivo consistía en analizar las características constructivas de la cámara. Para ello, en la sección 3.5.2 se realizó una descripción de los aspectos que debían tenerse en cuenta al momento de construir una cámara y cómo se relacionaban las distintas medidas entre sí. Luego, los valores de las dimensiones que conforman la cámara fueron comparados arrojando resultados satisfactorios.

6.1. Conclusiones Personales

A lo largo de este proyecto he tenido la posibilidad de adquirir nuevos conocimientos en diversas áreas. No sólo desde el punto teórico, donde he tenido que profundizar los conocimientos adquiridos en la universidad y aprender sobre temas que hasta hace un año y medio eran totalmente ajenos a mí saber, sino también he tenido la posibilidad interrelacionar distintas áreas de conocimiento. Esto ha sido fundamental al momento de resolver diversos problemas que fueron surgiendo y aunque muchos de ellos no aparecen en este proyecto, fueron obstáculos difíciles de sortear. Además, la posibilidad de operar diversos equipos utilizados en radioastronomía resulta un valor agregado de suma importancia para mi formación profesional. Además, haber podido relacionarme con profesionales pertenecientes a distintos sectores del instituto resultó de una experiencia enriquecedora. Sobre todo, y más importante para mí, por su valor humano.

Por otro lado, haber tenido la posibilidad de generar nueva documentación para el IAR sobre cómo deben hacerse las mediciones y el procedimiento que debe seguirse al momento de efectuar la calibración de la cámara resultó de un gran reto en lo personal. Y estoy orgulloso de que así haya sido.

6.2. Mejoras a Futuro

1. Realizar la medición de la uniformidad del frente de campo con un sensor de campo. Esto permitirá tener mayor certeza del comportamiento del frente irradiado.

2. Hacer un barrido en frecuencia para la medición de la UFA acorde a lo especificado en la sección 4.1 y con un sensor de campo. Esto permitirá tener un mayor detalle de la respuesta en frecuencia para la antena con que se irradie.
3. Evaluar la factibilidad de diseñar antenas dipolo con las longitudes especificadas en la tabla 1 de la norma ETSI TS 102 321 para medir a atenuación de sitio normalizada.
4. Analizar la factibilidad económica de la compra de paneles de ferrita. El objetivo sería cubrir la cámara de ellos ya que atenúan las señales en el rango de frecuencia estudiado.
5. Analizar la factibilidad económica de la compra de un generador de señales de mayor potencia o amplificadores y núcleos de ferrita. Con estos dispositivos, las mediciones de la UFA podrán efectuarse para sensores que requieran como mínimo 2 V/m. Respecto a la NSA, se podrá cumplir con la potencia sugerida en la norma ETSI TS 102 321.
6. Evaluar una modificación en la cámara con el fin de evitar los modos de resonancia de la misma y así disminuir la dispersión de energía que se observa en la figura 44.

Capítulo **7**
Bibliografía y
Referencias

- [Anguera y Pérez, 2008] ANGUERA, Jaume y PÉREZ, Antonio. *Teoría de Antenas*. 1a. ed. LaSalle Online Ingenierías, 2008. Capítulo 3, Parámetros en recepción. Ecuación de transmisión, 65 p.
- [ANSI, 2015] AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE [en línea]. <http://www.ansi.org/about_ansi/overview/overview.aspx?menuid=1> [Consulta: 26 de junio de 2015].
- [Balanis, 2005] BALANIS, Constantine. *Antenna Theory: Analysis and Design*. 3a. ed. Wiley India, 2005. Capítulo 2, Fundamental Parameters of Antennas, p. 70-108. ISBN 978-0-471-66782-7.
- [Bauer, 2011] BAUER, Wolfgang. *Física Para Ingeniería y Ciencias*. 1a. ed. McGraw-Hill, 2011. Capítulo 15, Ondas, p. 493-505. ISBN 978-607-15-0545-3.
- [Clayton, 2006] CLAYTON, Paul. *Introduction to Electromagnetic Compatibility*. 2a. ed. Hoboken: John Wiley & Sons Inc, 2006. Capítulo 1, Introduction to Electromagnetic Compatibility (EMC), p. 1-48. ISBN 978-0-471-75500-5.
- [ComPower, s.a.] COM-POWER CORPORATION [en línea]. [Consulta: 25 de marzo de 2015]. <<http://www.com-power.com/application%20notes/AN-106%20Antenna%20Factor.pdf>>
- [Donohoe, s.a.] DONOHOE, Patrick. *Electromagnetic Compatibility* [en línea]. [Consulta: 21 de marzo de 2015]. <<http://www.ece.msstate.edu/~donohoe/ece3323emc.pdf>>
- [ETS, s.a.] ETS-LINDGREN. *Chamber, Enclosure & Test Cell Solutions for Test & Measurement Applications* [en línea]. [Consulta: 28 de abril de 2015]. <<http://www.ets-lindgren.com/pdf/chamberbrochure.pdf>>
- [ETSI, 2005] ETSI, *Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Normalized Standard Attenuation (NSA) and validation of a fully lined anechoic chamber up to 40 GHz*. ETSI TS 102 321 V1.1.1. European Telecommunications Standards Institute, 2004.

- [ETSI, 2011] ETSI, *Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Expanded Measurement Uncertainty for the Measurement of Radiated Electromagnetic Fields*. ETSI TS 103 051 V1.1.1. European Telecommunications Standards Institute, 2011.
- [Ferrando y Valero, s.a.] FERRANDO, Miguel y VALERO, Alejandro. *Introducción. Parámetros de Antenas* [en línea]. [Consulta: 25 de marzo de 2015].
<http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Tema_1.PDF>
- [Frenzel, 2012] FRENZEL, Lou. What's The Difference Between EM Near Field and Far Field. *Electronic Design* [en línea]. [Consulta: 24 de marzo de 2015]. <<http://electronicdesign.com/energy/what-s-difference-between-em-near-field-and-far-field>>
- [GAO, 2015] U.S. GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE [en línea]. <<http://www.gao.gov/>>. [Consulta: 29 de junio de 2015].
- [Hemming, 2000] HEMMING, Leland. *Architectural Electromagnetic Shielding Handbook*. 1a. ed. John Wiley & Sons Inc, 2000. Capítulo 6, Architectural Shielding, p. 89-93. ISBN 978-0-7803-6024-2.
- [Hemming, 2002] HEMMING, Leland. *Electromagnetic Anechoic Chambers: A Fundamental Design and Specification Guide*. 1a. ed. John Wiley & Sons Inc, 2002. Capítulos 6, The Rectangular Chamber, p. 73-94. ISBN 978-0-471208105.
- [Hemming, 2002] HEMMING, Leland. *Electromagnetic Anechoic Chambers: A Fundamental Design and Specification Guide*. 1a. ed. John Wiley & Sons Inc, 2002. Capítulos 7, The Compact Range Chamber, p. 97-108. ISBN 978-0-471208105.
- [Hemming, 2002] HEMMING, Leland. *Electromagnetic Anechoic Chambers: A Fundamental Design and Specification Guide*. 1a. ed. John Wiley & Sons Inc, 2002. Capítulos 8, Incorporating Geometry in Anechoic Chamber Design, p. 109-135. ISBN 978-0-471208105.

- [Huang y Boyle, 2008] HUANG, Yi y BOYLE, Kevin. *Antennas: from theory to practice*. 1a. ed. John Wiley & Sons Inc, 2006. Capítulo 1, Introduction, p. 4-21. ISBN 978-0-470-51028-5.
- [IEC, 2015] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION [en línea]. <<http://www.iec.ch/about/activities/?ref=menu>>. [Consulta: 26 de abril de 2015].
- [IEC, 1992] IEC, *Electromagnetic Compatibility (EMC) Part 1: General*. IEC Standard 61000-1-1. Electromagnetic Compatibility (EMC), 1992.
- [IEEE, 1979] IEEE, *Standard Test Procedures for Antennas*. IEEE Standard 149-1979. IEEE Inc., 1979.
- [IEEE, 1983] IEEE, *Standard for Definitions of Terms for Antennas*. IEEE Standard 145-1983. IEEE Inc., 1983.
- [IEEE, 1997] IEEE, *Standard Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures*. IEEE Standard 299-1997. IEEE Inc., 1997.
- [INTI, 2008] INTI. *Nueva Cámara Semianecoica de Compatibilidad Electromagnética Única en Sudamérica*. <<http://www.inti.gob.ar/noticiero/noticiero98.htm>> [Consulta: 09 de julio de 2015].
- [Kraus, 1950] KRAUS, John. *Antennas*. 1a. ed. USA: McGraw-Hill Book Company Inc, 1950. Capítulo 1, Introduction, p. 1-10. ISBN 978-0-07-035410-4.
- [Morin, 2010] MORIN, David. *Electromagnetic Waves*. *HUIT Harvard* [en línea]. [Consulta: 2 de abril de 2015]. <<http://www.people.fas.harvard.edu/~djmorin/waves/electromagnetic.pdf>>
- [ONB, 2007] OBSERVATORIO NACIONAL BRASIL. *Radiation* [en línea]. [Consulta: 8 de mayo de 2015]. <http://staff.on.br/jlkm/astron2e/AT_MEDIA/CH03/CHAP03AT.HTM>

- [OSHA, 1990] OCCUPATIONAL SAFETY & HEALTH ADMINISTRATION [en línea]. [Consulta: 24 de marzo de 2015] <https://www.osha.gov/SLTC/radiofrequencyradiation/electromagnetic_fieldmemo/electromagnetic.html#section_6>
- [Ott, 2009] OTT, Henry. *Electromagnetic Compatibility Engineering*. 1a. ed. Hoboken: John Wiley & Sons Inc, 2009. Capítulo 1, Electromagnetic Compatibility, p. 3-43. ISBN 978-0-470-18930-6.
- [Pérez Vega *et al*, 2007] PÉREZ VEGA, Constantino, *et al*. *Sistema de telecomunicación*. 1a. ed. España: Eujoa Artes Gráficas, 2007. Capítulo 10, Antenas, p. 319-399. ISBN 978-84-8102-454-8.
- [Rajeev, 2009] RAJEEV, S.G. *Electromagnetic Waves*. *University of Rochester* [en línea]. [Consulta: 2 de abril de 2015]. <<http://www.pas.rochester.edu/~stte/phy114S09/lectures/lect18.pdf>>
- [RFC, 2013] RF CAFÉ [en línea]. [Consulta: 24 de marzo de 2015] <http://www.rfcafe.com/references/electrical/near-far-field.htm#Near_and_Far_Fields_-_From_Statics_to_Radiation>
- [RFiD, 2006] RFiD Magazine. *Los Aspectos Físicos Detrás de la Tecnología* [en línea]. [Consulta: 12 de noviembre de 2015]. <http://www.tagingenieros.com/sites/default/files/Aspectos_fisicos_RFID.pdf>
- [Rodríguez Boix, s.a.] RODRIGUEZ BOIX, Rafael. *Antenas* [en línea]. [Consulta: 23 de marzo de 2015]. <<http://personal.us.es/boix/uploads/pdf/master%20microelectronica/5-antenas.pdf>>
- [Sadiku, 2003] SADIKU, Matthew. *Elementos de Electromagnetismo*. 3a ed. México, D.F.: Oxford University Press, 2003. Capítulo 13, Antenas, p. 588-608. ISBN 978-970-15-1214-2.
- [STEL, s.a] SINGAPORE TECHNOLOGIES ELECTRONICS LIMITED. *EMC Anechoic Chamber* [en línea]. [Consulta: 28 de abril de 2015].

- <http://www.stee.stengg.com/pdf/systems_engineering/EMC_anechoic_chamber.pdf>
- [Telam, 2012] TELAM. *Desarrollan en el país equipo de compatibilidad electromagnética* <<https://es-us.noticias.yahoo.com/desarrollan-pais-equipo-compatibilidad-electromagnetica-175501462.html>> [Consulta: 09 de julio de 2015].
- [Tipler y Mosca, 2005] TIPLER, Paul y MOSCA, Gene. *Física para la ciencia y la tecnología. Volumen 2A Electricidad y Magnetismo*. 5a ed. España: Reverté S.A., 2005. ISBN 978-84-291-4404-8.
- [TMW, 2004] THE MYSEARCH WEBSITE. *Electromagnetic Radiation* [en línea]. [Consulta: 3 de mayo de 2015] <<http://www.mysearch.org.uk/website1/html/475.Radiation.html>>
- [UCO, s.a.] Universidad de Córdoba. *Ondas Electromagnéticas. Conceptos Básicos* [en línea]. [Consulta: 23 de marzo de 2015]. <http://www.uco.es/organiza/departamentos/ing-electrica/documentos/ONDAS_EM_CONCEPTOS_BASICOS.pdf>
- [Willes y Rodriguez, 2010] WILLES, Martin y RODRIGUEZ, Vince. Choosing the Right Chamber for your Test Requeriments. *ETS LINDGREN* [en línea]. [Consulta: 21 de marzo de 2015]. <http://www.ets-lindgren.com/pdf/item_mwvr_0510.pdf>

Glosario de Términos

AE	Analizador de Espectro.
ANSI	Instituto Nacional Americano de Normalización. Se encarga de supervisar la creación, promulgación y uso de normas y directrices.
Campo Lejano	Región del espacio en la cual se conforma un frente de onda plano.
CE	Emisión Conducida. Una de las formas posibles que tiene un equipo para emitir energía.
CISPR	Comité Especial Internacional de Perturbaciones Radioeléctricas. Organización de normalización en el campo de las interferencias electromagnéticas en dispositivos eléctricos y electrónicos.
CS	Susceptibilidad Conducida. Una de las formas posibles en que un equipo recibe energía.
EB	Efectividad del Blindaje. Relación entre la magnitud de un campo eléctrico o magnético incidente en un equipo de medición sin un blindaje y con un blindaje electromagnético de por medio.
EMC	Compatibilidad Electromagnética. Rama de las telecomunicaciones que estudia mecanismos para eliminar, disminuir o prevenir interferencias electromagnéticas.
EME	Emisión Electromagnética. Fenómeno por el cual se emite energía electromagnética desde una fuente.
EMI	Interferencia Electromagnética. Perturbación causada en un sistema electrónico por una fuente de radiación electromagnética externa.
EMS	Susceptibilidad Electromagnética. Incapacidad de un dispositivo, equipo o sistema para funcionar sin degradación al estar en presencia de una perturbación electromagnética.
ETSI	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones. Organización de estandarización independiente.
GS	Generador de Señales.
IAR	Instituto Argentino de Radioastronomía.
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional. Organización de normalización en el área eléctrica, electrónica y tecnologías relacionadas.

IEEE	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Asociación de Ingenieros dedicada a la estandarización y el desarrollo en áreas técnicas.
IRAM	Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
NSA	Atenuación de Sitio Normalizada. Parámetro utilizado para determinar cuán parecido al espacio libre es el sitio empleado para efectuar ensayos.
RE	Emisión Radiada. Una de las formas posibles que tiene un equipo para emitir energía.
RS	Susceptibilidad Radiada. Una de las formas posibles en que un equipo recibe energía.
UFA	Uniformidad de Frente de Campo. Parámetro utilizado para determinar si un frente de campo es plano o no.
UHF	Rango de frecuencia comprendido entre los 300 MHz y los 3000 MHz.
VHF	Rango de frecuencia comprendido entre los 30 MHz y los 300 MHz.

Anexo **I**
Factor de Antena y
Ganancia

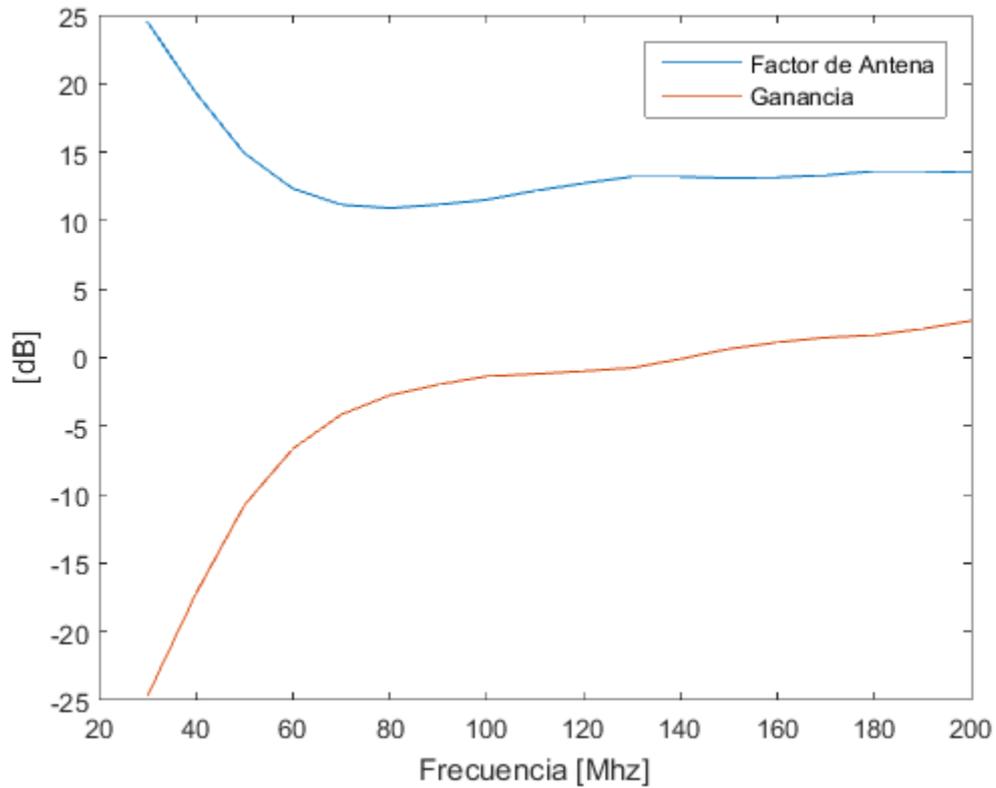


Figura 46. Antena Moño 1: Polarización Horizontal.

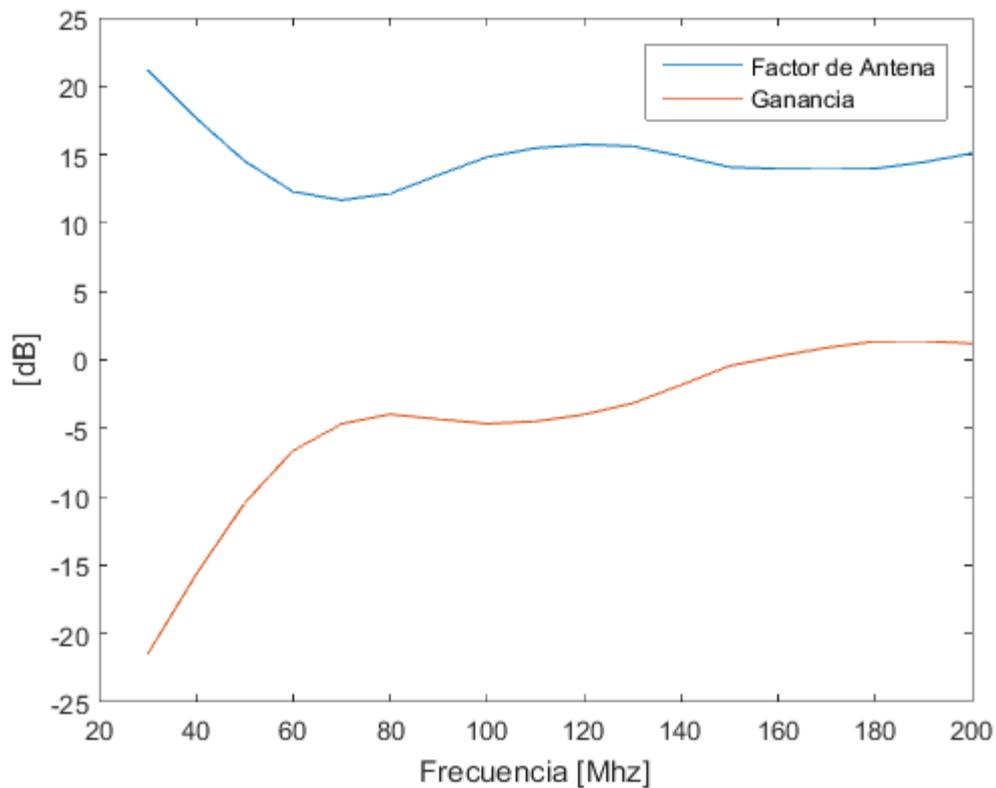


Figura 47. Antena Moño 1: Polarización Vertical.

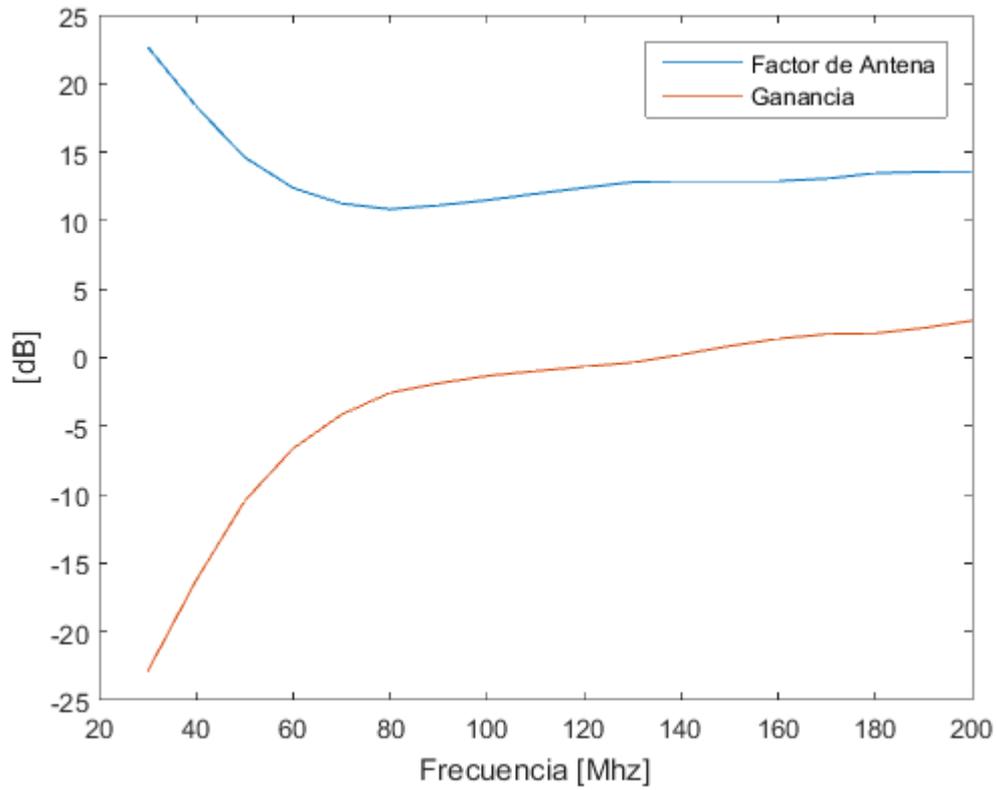


Figura 48. Antena Moño 2: Polarización Horizontal.

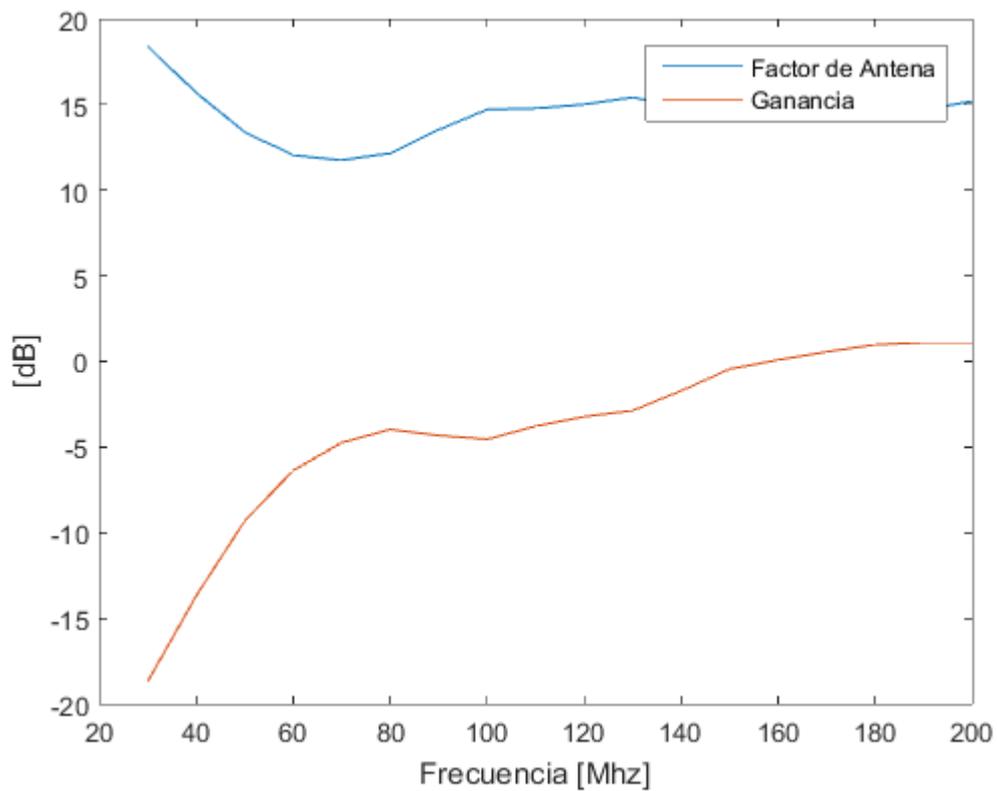


Figura 49. Antena Moño 2: Polarización Vertical.

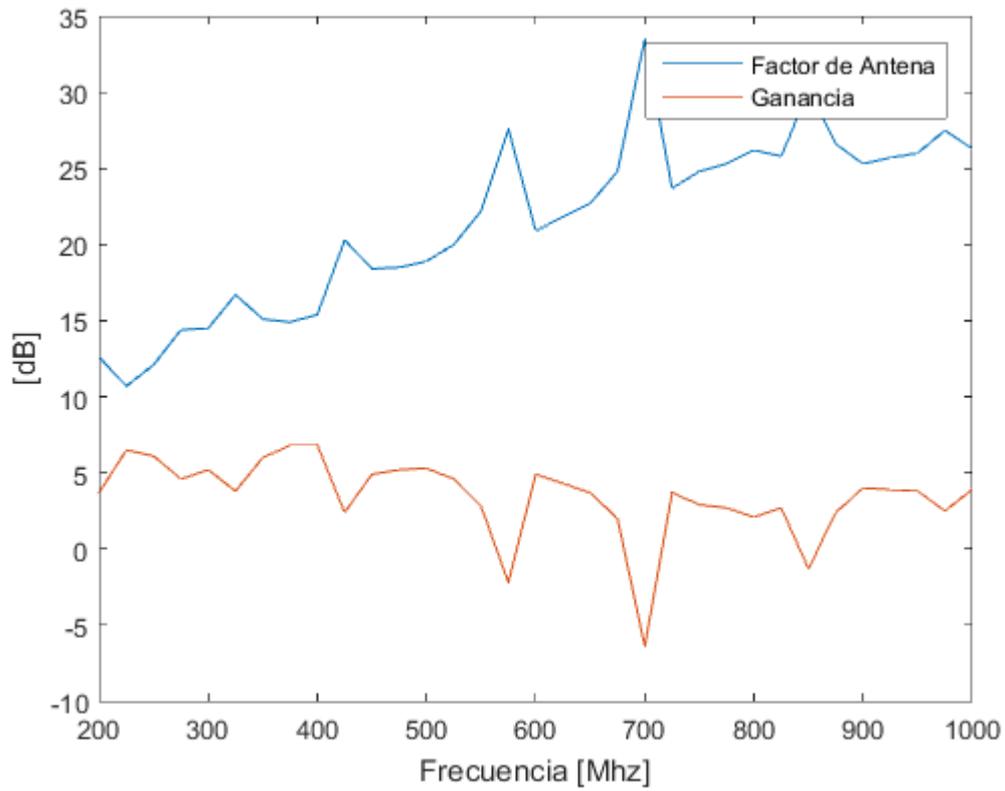


Figura 50. Antena Logoperiódica 1: Polarización Horizontal.

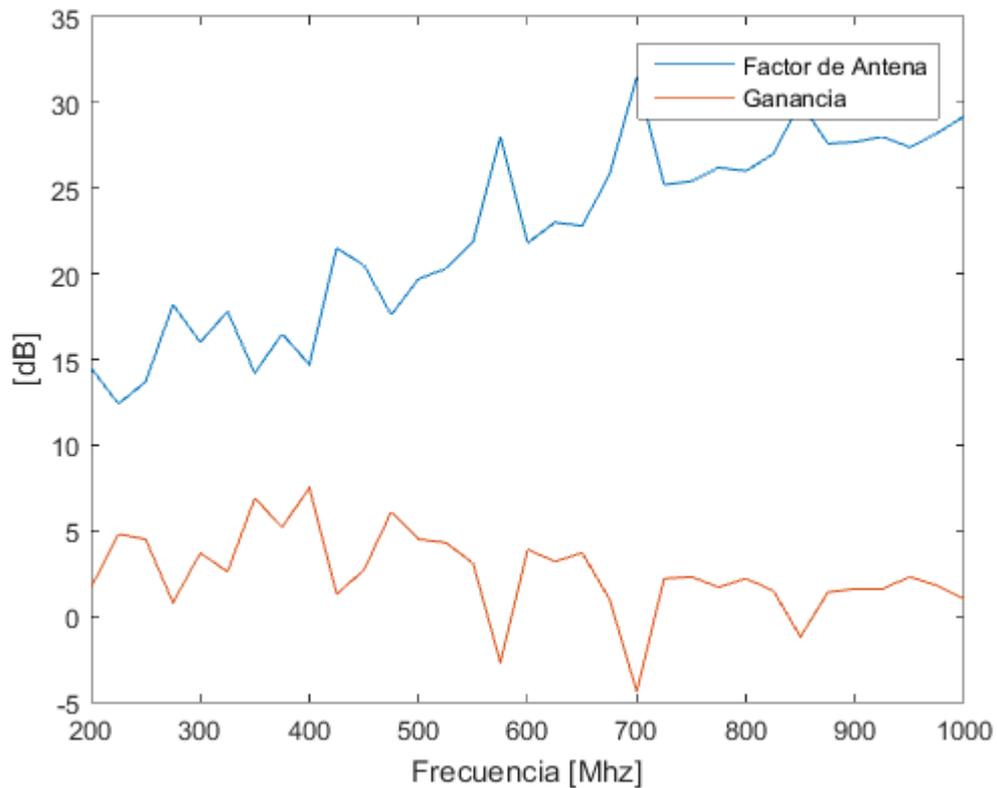


Figura 51. Antena Logoperiódica 1: Polarización Vertical.

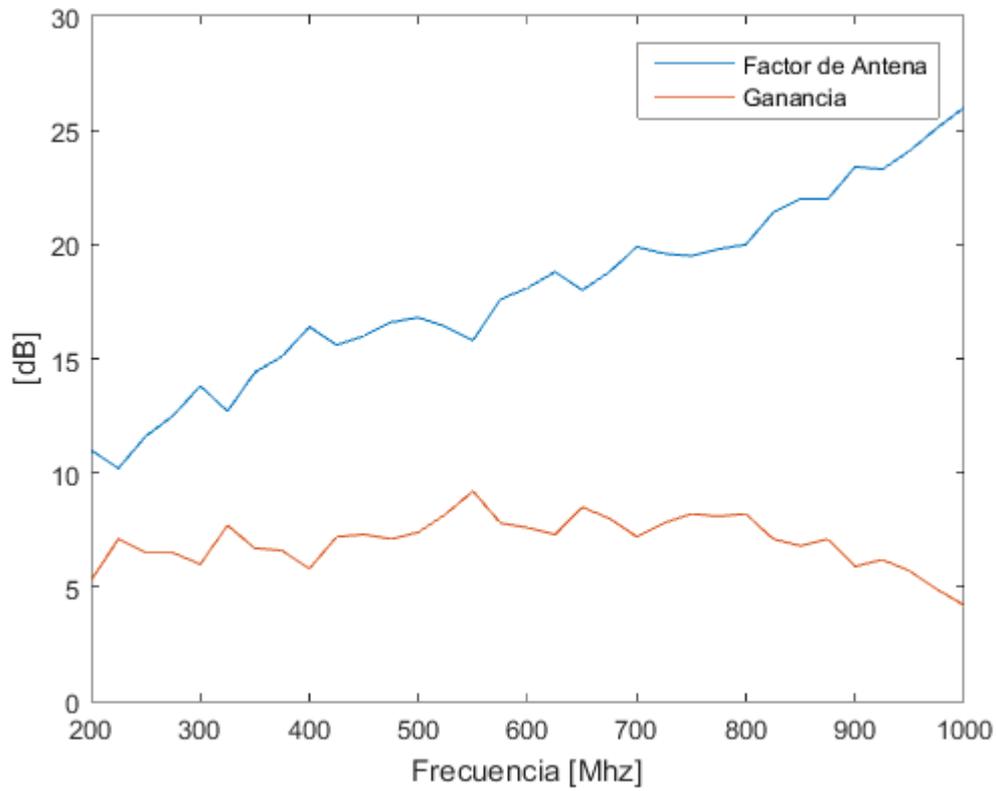


Figura 52. Antena Logoperiódica 2: Polarización Horizontal.

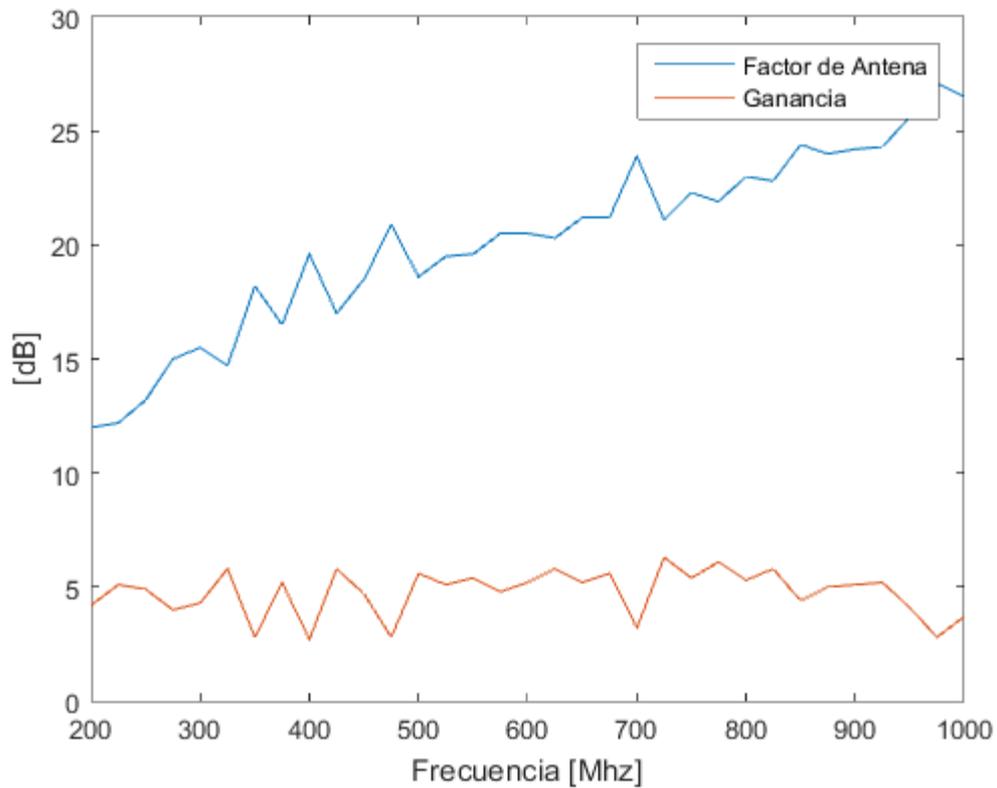


Figura 53. Antena Logoperiódica 2: Polarización Vertical.

Anexo **II**
Resultado de las
Mediciones

10.1. Uniformidad de Frente de Campo: Polarización Horizontal

Frec	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
3,00E+07	0,02	2,04	4,14	5,59	5,54	3,98	2,09	0,00
3,20E+07	0,00	2,99	4,89	6,05	6,01	4,76	3,38	0,11
3,40E+07	0,05	2,43	4,29	5,52	5,20	3,99	2,55	0,21
3,60E+07	0,19	0,51	0,88	1,42	1,46	1,14	1,40	1,07
3,80E+07	-1,67	0,00	2,37	4,43	3,31	1,10	-2,25	-3,69
4,00E+07	-0,07	3,30	5,61	7,20	6,29	4,47	0,00	-5,15
4,20E+07	1,56	4,57	6,53	7,58	6,62	5,33	0,00	-5,03
4,40E+07	3,46	5,84	7,28	7,72	6,70	5,96	0,00	-5,61
4,60E+07	4,00	5,34	5,99	5,76	5,00	5,11	0,00	-3,54
4,80E+07	5,36	5,08	4,59	3,77	3,52	4,33	1,65	0,21
5,00E+07	4,65	3,83	3,37	5,12	4,32	3,19	1,57	0,92
5,20E+07	3,45	2,91	2,45	3,89	3,09	2,10	0,68	0,37
5,40E+07	2,31	2,84	2,89	2,63	2,77	2,93	1,40	0,00
5,60E+07	1,95	2,51	2,05	0,00	0,91	2,27	1,70	0,49
5,80E+07	3,23	3,80	2,84	0,00	0,76	2,91	3,23	2,38
6,00E+07	3,40	4,02	2,99	0,00	0,79	2,85	3,52	2,90
6,20E+07	0,11	1,13	0,90	0,00	1,11	1,13	1,13	0,16
6,40E+07	0,50	1,29	1,15	0,87	1,40	0,94	0,98	0,59
6,60E+07	2,09	2,27	1,19	2,05	2,51	0,00	1,05	2,00
6,80E+07	3,42	2,53	1,55	6,56	7,81	1,29	1,02	3,33
7,00E+07	3,25	3,15	0,36	2,15	2,59	0,85	4,67	5,13
7,20E+07	0,63	1,92	0,00	-8,17	-7,30	1,66	4,24	3,46
7,40E+07	3,39	5,26	4,61	0,00	1,81	6,24	7,68	5,94
7,60E+07	0,30	2,97	2,97	0,00	1,59	4,56	4,91	2,61
7,80E+07	0,07	3,04	3,39	1,19	2,50	4,82	4,59	2,13
8,00E+07	0,00	3,26	3,86	1,99	3,05	5,18	4,71	2,08
8,20E+07	0,00	3,19	3,79	1,71	2,62	5,04	4,69	2,08
8,40E+07	0,00	2,90	3,41	1,04	1,82	4,49	4,44	1,96
8,60E+07	0,00	2,69	3,16	1,01	1,83	4,33	4,36	1,81
8,80E+07	0,00	2,34	3,37	2,71	4,11	4,81	4,19	1,51
9,00E+07	-2,40	0,00	2,94	5,44	6,98	4,57	1,63	-0,76
9,20E+07	-3,81	-0,32	7,82	12,13	13,54	9,21	1,04	-2,53
9,40E+07	-17,69	1,75	10,57	14,93	16,19	11,71	2,26	-15,92
9,60E+07	-14,64	2,98	11,01	15,24	16,35	11,95	3,36	-12,83
9,80E+07	-4,43	2,88	11,82	16,43	17,40	12,22	2,58	-2,06
1,00E+08	-3,48	0,00	5,84	10,12	10,92	6,26	1,48	-1,39
1,02E+08	-4,22	0,00	3,35	6,09	6,90	4,54	1,59	-2,48
1,04E+08	0,00	5,00	8,67	10,57	11,50	9,92	6,55	1,69

1,06E+08	-4,98	0,00	4,55	6,83	7,73	5,89	1,46	-3,14
1,08E+08	-2,23	0,00	5,10	8,46	9,50	6,68	1,69	-0,44
1,10E+08	0,00	0,30	2,39	6,26	7,30	4,05	1,87	1,36
1,12E+08	0,07	0,77	0,00	2,28	3,49	1,62	2,00	1,20
1,14E+08	0,02	1,46	0,40	0,22	1,64	1,74	2,52	0,97
1,16E+08	0,18	2,29	1,70	0,85	2,33	2,90	3,25	1,17
1,18E+08	0,42	2,69	2,23	1,42	3,00	3,37	3,51	1,24
1,20E+08	0,59	3,14	2,35	0,28	1,60	3,21	3,90	1,45
1,22E+08	0,69	3,95	3,71	0,89	1,48	4,40	4,76	1,72
1,24E+08	0,59	4,67	5,43	3,83	4,17	6,20	5,58	1,83
1,26E+08	-1,58	3,12	4,96	5,05	5,40	5,88	4,10	0,00
1,28E+08	-3,84	0,00	2,32	4,16	4,52	3,34	1,01	-2,28
1,30E+08	0,00	2,24	4,21	7,54	7,77	4,98	3,36	1,42
1,32E+08	0,00	1,77	2,68	7,03	6,95	2,82	2,60	1,28
1,34E+08	0,00	3,31	3,69	6,23	5,78	3,26	3,57	0,86
1,36E+08	0,18	4,77	5,61	5,56	5,15	5,39	4,97	0,57
1,38E+08	-4,78	0,51	1,72	0,93	0,69	1,67	0,65	-4,52
1,40E+08	-5,29	0,53	2,14	1,76	1,55	2,08	0,56	-5,10
1,42E+08	-6,23	0,49	2,71	2,83	2,48	2,55	0,18	-6,74
1,44E+08	-5,62	0,84	3,02	3,00	2,35	2,60	0,00	-7,13
1,46E+08	-4,57	0,66	2,42	2,21	1,56	1,97	0,00	-5,34
1,48E+08	-4,06	0,62	2,23	2,28	1,71	1,80	0,08	-4,46
1,50E+08	-3,63	0,79	2,34	3,00	2,36	1,67	0,10	-3,95
1,52E+08	0,37	4,60	5,67	7,11	6,07	4,50	3,43	0,00
1,54E+08	0,60	5,00	4,91	6,36	4,63	1,99	3,12	0,00
1,56E+08	1,08	5,92	4,97	3,99	0,44	1,06	3,87	0,23
1,58E+08	1,18	6,32	5,78	1,37	-6,18	2,28	4,25	0,00
1,60E+08	0,00	5,63	5,73	0,05	-7,68	2,58	3,28	-1,61
1,62E+08	0,00	6,24	7,22	2,46	-0,62	4,46	3,55	-2,13
1,64E+08	-3,39	3,28	5,07	1,81	0,13	2,51	0,34	-5,60
1,66E+08	-3,22	3,24	5,86	3,61	2,51	3,33	0,32	-4,53
1,68E+08	-3,38	1,98	4,98	3,65	3,00	2,95	0,07	-3,56
1,70E+08	-3,58	1,33	4,34	3,77	3,38	2,82	0,05	-3,72
1,72E+08	-2,98	1,58	4,94	4,84	4,51	3,53	0,07	-3,07
1,74E+08	-1,23	1,91	5,63	6,09	5,77	4,05	0,04	-0,69
1,76E+08	0,74	1,78	5,37	6,32	5,94	3,20	0,00	1,90
1,78E+08	1,48	0,94	3,39	4,82	4,18	0,05	0,00	3,01
1,80E+08	4,30	2,98	3,33	5,43	4,35	-1,24	2,84	5,61
1,82E+08	3,25	1,77	0,00	3,06	1,63	-5,07	2,18	4,39
1,84E+08	3,18	1,84	-2,85	2,19	0,81	-5,40	2,90	4,10
1,86E+08	4,66	4,33	-4,51	2,96	2,14	0,05	5,80	5,39

1,88E+08	3,46	4,86	-3,26	1,43	1,78	3,04	6,18	4,06
1,90E+08	2,22	5,32	0,00	0,74	2,13	4,79	6,39	2,60
1,92E+08	1,04	5,36	1,86	0,00	2,30	5,60	6,20	1,39
1,94E+08	0,88	6,00	3,65	0,00	3,13	6,75	6,68	1,32
1,96E+08	0,28	5,79	4,17	0,00	3,38	6,79	6,34	0,79
1,98E+08	0,00	6,08	4,98	0,92	4,06	7,15	6,49	0,45
2,00E+08	2,44	4,41	1,69	0,94	3,80	5,22	6,20	3,45
2,10E+08	2,17	4,92	3,39	0,34	3,67	5,63	6,38	4,27
2,20E+08	0,42	2,24	0,93	-3,21	0,05	3,04	3,90	2,73
2,30E+08	4,21	5,05	3,61	-0,70	1,13	5,73	7,14	5,88
2,40E+08	4,89	5,42	3,88	0,18	0,00	4,96	6,57	5,75
2,50E+08	5,03	5,54	3,67	1,10	0,00	3,02	5,06	5,19
2,60E+08	4,75	5,01	2,59	0,65	0,00	0,60	3,77	4,05
2,70E+08	4,11	4,59	1,93	0,00	0,11	0,87	3,80	2,92
2,80E+08	4,13	4,18	0,94	0,23	0,07	1,06	3,53	2,91
2,90E+08	3,14	3,14	0,00	0,66	1,05	1,37	2,79	2,97
3,00E+08	3,38	3,19	0,00	1,68	2,28	1,61	4,06	4,68
3,10E+08	3,47	3,03	0,00	1,91	2,59	1,07	4,91	4,93
3,20E+08	3,36	2,49	0,00	1,61	2,21	0,69	4,34	4,60
3,30E+08	3,18	2,17	0,00	1,17	1,57	0,71	3,59	4,69
3,40E+08	2,76	1,77	0,00	0,00	0,94	0,20	2,46	4,27
3,50E+08	3,63	2,03	0,72	0,00	1,59	0,69	2,56	4,55
3,60E+08	3,43	1,55	0,03	0,00	1,80	0,56	2,01	4,00
3,70E+08	4,52	2,82	0,00	2,03	3,30	1,15	3,14	5,43
3,80E+08	4,53	2,86	0,00	2,97	3,59	0,99	2,58	4,87
3,90E+08	3,95	1,90	0,00	2,91	3,12	0,91	1,81	4,09
4,00E+08	3,39	0,55	0,00	2,25	2,42	0,62	0,72	3,44
4,10E+08	2,92	0,00	0,19	1,91	2,08	0,76	0,19	3,20
4,20E+08	2,87	0,00	0,68	2,01	2,10	1,23	0,18	3,14
4,30E+08	3,00	0,00	1,25	1,93	2,03	1,64	0,45	3,23
4,40E+08	3,30	0,00	1,80	2,06	2,38	2,22	1,00	3,60
4,50E+08	2,95	0,00	1,74	1,88	2,11	2,13	0,95	3,42
4,60E+08	2,70	0,00	1,48	1,67	2,08	2,08	0,80	3,51
4,70E+08	2,61	0,00	1,61	1,41	1,89	2,22	0,62	3,62
4,80E+08	2,86	0,07	1,83	1,08	1,90	2,44	0,48	3,89
4,90E+08	2,88	0,25	1,92	0,86	1,89	2,62	0,46	3,86
5,00E+08	2,77	0,38	1,73	0,64	1,84	2,69	0,68	3,71
5,10E+08	3,36	0,38	2,10	0,85	1,96	3,08	0,96	4,06
5,20E+08	3,60	0,20	2,66	1,29	2,03	3,39	1,01	4,04
5,30E+08	3,20	0,15	2,75	1,24	1,71	3,17	0,92	3,64
5,40E+08	2,74	0,00	2,39	0,89	1,26	2,81	0,80	3,17

5,50E+08	2,72	0,00	2,29	0,51	0,85	2,61	0,90	3,09
5,60E+08	2,85	0,00	2,22	0,09	0,57	2,51	0,87	3,23
5,70E+08	2,71	0,12	2,03	0,00	0,65	2,37	0,88	3,11
5,80E+08	2,79	0,26	1,89	0,00	0,74	2,58	0,91	3,29
5,90E+08	2,24	0,05	1,46	0,00	0,87	2,45	0,69	2,87
6,00E+08	1,81	0,12	1,28	0,00	0,94	2,42	0,92	2,42
6,10E+08	1,37	0,14	1,08	0,00	0,85	2,02	0,99	1,91
6,20E+08	1,44	0,59	1,08	0,00	0,80	1,81	1,30	1,81
6,30E+08	1,30	0,64	0,81	0,00	0,81	1,45	1,36	1,64
6,40E+08	1,14	0,64	0,31	0,00	0,66	0,85	1,46	1,23
6,50E+08	1,03	0,75	0,00	0,21	0,89	0,46	1,74	1,26
6,60E+08	0,85	0,95	0,00	0,46	1,27	0,31	1,79	1,22
6,70E+08	0,48	0,79	0,00	0,45	1,16	0,27	1,44	0,86
6,80E+08	0,23	0,57	0,00	0,46	1,11	0,34	1,11	0,39
6,90E+08	0,09	0,59	0,00	0,30	1,05	0,46	1,37	0,23
7,00E+08	0,04	0,68	0,00	0,26	1,14	0,58	1,66	0,56
7,10E+08	0,09	0,96	0,00	0,28	1,24	0,69	1,88	0,85
7,20E+08	0,12	1,08	0,00	0,41	1,20	0,73	1,90	0,59
7,30E+08	0,24	1,47	0,00	0,71	1,42	0,76	2,25	0,71
7,40E+08	0,21	1,53	0,00	0,82	1,44	0,76	2,25	0,72
7,50E+08	0,26	1,55	0,00	0,93	1,45	0,68	2,16	0,70
7,60E+08	0,02	1,56	0,00	0,75	1,22	0,61	2,06	0,42
7,70E+08	0,00	1,63	0,04	0,67	1,16	0,76	2,12	0,46
7,80E+08	0,00	1,75	0,14	0,39	1,13	1,06	2,26	0,51
7,90E+08	0,00	1,71	0,23	0,11	1,08	1,36	2,32	0,39
8,00E+08	0,00	1,97	0,73	0,18	1,42	1,91	2,68	0,53
8,10E+08	0,00	2,07	1,19	0,42	1,59	2,35	2,93	0,51
8,20E+08	0,00	2,09	1,56	0,71	1,69	2,62	3,06	0,57
8,30E+08	0,00	2,11	1,89	1,08	1,75	2,85	3,06	0,62
8,40E+08	0,00	2,14	2,04	1,33	1,70	3,02	3,00	0,77
8,50E+08	0,00	2,39	2,34	1,38	1,69	3,26	3,16	1,12
8,60E+08	0,00	2,20	2,25	1,01	1,60	3,05	2,82	1,05
8,70E+08	0,00	1,93	2,04	0,70	1,41	2,72	2,32	0,77
8,80E+08	0,00	1,71	1,97	0,68	1,60	2,60	2,15	0,61
8,90E+08	0,20	1,86	2,12	0,87	1,86	2,73	2,35	0,71
9,00E+08	0,45	2,03	2,30	1,11	2,19	3,06	2,63	0,80
9,10E+08	0,40	2,19	2,59	1,32	2,61	3,36	2,91	0,80
9,20E+08	0,30	2,38	2,81	1,56	2,79	3,58	3,04	0,76
9,30E+08	0,35	2,65	3,16	2,04	3,24	3,96	3,36	1,08
9,40E+08	0,49	2,59	3,23	2,43	3,49	4,00	3,37	1,35
9,50E+08	0,48	2,27	3,15	2,73	3,60	3,90	3,10	1,42

9,60E+08	0,51	1,92	2,93	2,72	3,42	3,67	2,86	1,48
9,70E+08	0,10	1,41	2,60	2,30	2,99	3,04	2,39	1,03
9,80E+08	0,00	1,22	2,31	2,10	2,81	2,69	2,15	0,91
9,90E+08	0,00	1,45	2,61	2,59	3,16	2,83	2,45	1,12
1,00E+09	0,00	1,53	2,58	2,51	3,24	2,76	2,51	1,17

Frec	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
3,00E+07	0,02	2,73	4,82	6,03	6,33	4,94	2,73	0,41
3,20E+07	0,02	3,52	5,66	6,90	6,99	5,91	3,92	1,24
3,40E+07	0,00	2,98	4,94	6,07	6,16	5,20	3,33	1,14
3,60E+07	0,00	0,12	0,26	0,42	0,00	0,12	0,40	0,49
3,80E+07	-3,20	-0,32	2,14	4,22	7,75	6,28	3,52	0,63
4,00E+07	-4,19	0,31	2,98	4,44	5,01	3,79	1,91	-0,88
4,20E+07	-4,13	-0,20	2,09	3,27	3,87	2,92	1,05	-1,58
4,40E+07	-4,11	-0,68	0,99	1,46	2,28	1,89	0,67	-1,58
4,60E+07	-2,40	-0,55	0,39	0,14	0,92	1,26	0,60	-0,85
4,80E+07	0,95	1,46	1,00	0,00	0,23	1,34	1,96	1,84
5,00E+07	1,32	1,20	0,35	0,57	0,76	0,00	1,16	1,73
5,20E+07	0,37	0,46	0,00	0,70	1,05	0,12	0,41	0,60
5,40E+07	0,05	1,33	1,65	1,77	1,03	1,12	0,70	0,39
5,60E+07	0,61	2,02	2,14	1,00	0,19	1,65	1,74	0,82
5,80E+07	2,49	3,55	3,18	1,17	0,67	2,84	3,37	2,63
6,00E+07	2,85	3,72	3,24	1,25	0,93	3,26	3,79	3,15
6,20E+07	0,07	1,18	1,68	1,54	0,62	1,33	1,15	0,18
6,40E+07	0,28	0,97	1,35	1,70	0,97	1,10	0,92	0,00
6,60E+07	1,35	0,63	0,31	3,15	1,93	0,59	0,91	0,70
6,80E+07	2,02	0,00	2,30	8,93	7,30	1,72	0,46	0,67
7,00E+07	4,55	4,37	1,22	3,32	1,69	0,00	2,68	1,78
7,20E+07	3,32	4,24	2,21	-7,21	-9,12	0,37	2,38	0,65
7,40E+07	5,92	7,75	6,86	2,43	0,93	5,12	5,80	3,65
7,60E+07	2,59	4,89	4,80	1,87	0,37	3,16	3,02	0,16
7,80E+07	2,15	4,59	4,82	2,48	1,14	3,37	2,93	0,00
8,00E+07	2,27	4,85	5,32	3,05	1,85	3,93	3,47	0,66
8,20E+07	2,41	4,92	5,28	2,79	1,69	3,94	3,67	1,14
8,40E+07	2,31	4,70	4,77	2,28	1,26	3,64	3,55	1,26
8,60E+07	2,27	4,64	4,61	2,62	1,62	3,70	3,58	1,45
8,80E+07	1,96	4,47	5,05	4,81	3,67	4,19	3,41	1,40
9,00E+07	-0,09	2,10	4,98	7,46	6,29	4,06	1,32	-0,42
9,20E+07	-0,78	2,01	9,65	13,84	12,62	8,47	1,53	0,00
9,40E+07	-9,85	1,93	12,03	16,30	14,95	10,59	0,00	-6,10
9,60E+07	-11,65	2,80	12,29	16,28	14,99	10,63	0,00	-8,64

9,80E+07	-0,77	1,69	12,34	17,00	15,42	10,19	-1,73	0,00
1,00E+08	-1,13	1,82	6,31	10,45	8,84	4,52	0,69	-1,41
1,02E+08	-2,50	1,92	4,78	6,85	5,52	3,58	0,95	-3,41
1,04E+08	1,55	6,87	10,20	11,73	10,60	9,17	5,75	0,28
1,06E+08	-3,01	1,83	6,13	7,97	6,97	5,11	0,75	-4,27
1,08E+08	-0,14	2,24	7,03	9,71	8,58	5,76	1,16	-1,45
1,10E+08	1,43	2,15	4,33	7,47	6,28	2,83	0,98	0,30
1,12E+08	1,13	2,10	1,65	3,63	2,24	0,09	1,11	0,21
1,14E+08	0,86	2,56	1,67	1,88	0,31	0,36	1,62	0,00
1,16E+08	1,01	3,30	2,83	2,59	1,15	1,70	2,33	0,00
1,18E+08	1,00	3,53	3,28	3,28	1,88	2,27	2,64	0,00
1,20E+08	1,22	3,83	3,02	1,97	0,82	2,26	2,96	0,00
1,22E+08	1,41	4,69	4,19	1,86	1,36	3,60	3,69	0,00
1,24E+08	1,61	5,58	6,06	4,49	4,28	5,47	4,53	0,00
1,26E+08	0,00	4,27	5,85	5,64	5,50	5,33	3,35	-1,58
1,28E+08	-1,96	1,25	3,38	4,71	4,57	2,93	0,55	-3,15
1,30E+08	1,68	3,45	5,00	7,80	7,54	4,48	2,74	0,49
1,32E+08	1,61	2,58	2,75	6,74	6,62	2,68	2,14	0,37
1,34E+08	1,24	3,57	3,21	5,50	5,71	3,55	3,34	0,19
1,36E+08	0,78	4,90	5,32	4,97	5,15	5,32	4,45	0,00
1,38E+08	-4,50	0,58	1,55	0,53	0,53	1,32	0,00	-5,10
1,40E+08	-5,13	0,53	1,96	1,35	1,30	1,78	0,00	-5,55
1,42E+08	-6,93	0,25	2,46	2,23	2,25	2,46	0,00	-6,72
1,44E+08	-7,53	0,18	2,62	2,11	2,49	3,02	0,48	-6,45
1,46E+08	-5,62	0,07	2,07	1,49	1,93	2,60	0,37	-5,32
1,48E+08	-4,71	0,00	1,85	1,68	2,09	2,42	0,29	-4,62
1,50E+08	-4,00	0,00	1,70	2,29	2,76	2,57	0,55	-3,79
1,52E+08	0,35	3,32	4,45	5,91	6,71	5,86	4,60	0,86
1,54E+08	0,67	3,07	1,75	4,28	5,87	4,82	4,96	1,50
1,56E+08	1,03	4,01	0,87	0,00	3,68	4,57	5,87	2,18
1,58E+08	0,73	4,46	2,14	-6,45	1,39	5,18	6,25	2,14
1,60E+08	-1,27	3,42	2,39	-6,89	0,12	5,10	5,47	0,59
1,62E+08	-2,49	3,44	4,26	0,02	3,04	6,67	5,82	-0,34
1,64E+08	-6,07	0,00	2,37	0,55	2,60	4,58	2,69	-4,44
1,66E+08	-4,64	0,00	3,21	2,76	4,12	5,42	2,83	-4,03
1,68E+08	-3,54	0,00	2,95	3,15	3,95	4,69	1,84	-3,91
1,70E+08	-3,79	0,00	2,91	3,51	4,02	4,29	1,22	-4,21
1,72E+08	-2,96	0,00	3,67	4,67	5,15	5,05	1,34	-3,24
1,74E+08	-0,23	0,00	4,23	6,00	6,59	5,88	1,68	-0,69
1,76E+08	2,51	0,28	3,48	6,27	7,04	5,63	1,71	1,78
1,78E+08	3,54	0,69	0,57	4,65	5,74	3,86	1,29	2,69

1,80E+08	6,15	3,79	0,00	4,93	6,55	4,39	3,82	5,38
1,82E+08	4,89	3,18	-2,92	2,32	4,35	1,74	2,97	4,23
1,84E+08	4,60	3,75	-3,20	1,41	3,59	0,00	3,25	4,07
1,86E+08	5,83	6,50	1,13	2,59	4,31	0,00	5,57	5,34
1,88E+08	4,43	6,76	3,50	2,10	2,55	0,00	5,58	3,99
1,90E+08	3,06	6,85	5,06	2,41	1,59	1,57	5,72	2,60
1,92E+08	1,93	6,57	5,81	2,53	0,69	2,81	5,62	1,46
1,94E+08	1,88	7,01	6,96	3,39	0,81	4,28	6,30	1,32
1,96E+08	1,29	6,66	7,04	3,64	1,05	4,78	6,17	0,65
1,98E+08	0,82	6,81	7,43	4,36	2,18	5,64	6,49	0,27
2,00E+08	3,45	5,90	5,01	3,52	0,00	1,08	3,89	2,30
2,10E+08	4,07	6,12	5,44	3,60	0,00	2,66	4,46	2,10
2,20E+08	2,52	3,74	2,94	0,00	-3,38	0,49	1,79	0,35
2,30E+08	5,88	7,14	5,82	1,47	0,00	3,61	5,05	4,35
2,40E+08	6,03	6,95	5,45	0,82	0,93	4,36	5,86	5,33
2,50E+08	5,54	5,61	3,77	0,71	1,56	4,33	6,05	5,59
2,60E+08	4,52	4,50	1,47	0,09	0,97	3,44	5,59	5,29
2,70E+08	3,21	3,85	0,60	0,00	1,01	3,33	5,77	5,37
2,80E+08	3,09	3,74	0,97	0,00	0,30	1,41	4,86	4,62
2,90E+08	3,07	3,12	1,24	0,87	0,89	0,32	3,84	3,49
3,00E+08	4,61	4,36	1,89	2,46	2,05	1,31	4,36	4,27
3,10E+08	4,84	4,77	1,28	2,94	2,44	0,73	3,97	4,65
3,20E+08	5,31	5,28	1,61	2,91	2,44	0,44	3,27	4,55
3,30E+08	5,05	4,03	0,97	1,87	1,73	0,28	2,61	3,92
3,40E+08	4,52	2,83	0,43	1,10	0,76	0,16	2,02	3,35
3,50E+08	4,83	2,95	0,88	1,66	0,88	1,04	2,37	4,13
3,60E+08	4,28	2,33	0,70	2,01	1,05	0,81	2,08	4,12
3,70E+08	5,18	3,09	1,48	3,26	2,77	0,98	3,39	5,16
3,80E+08	4,81	2,77	1,22	3,33	3,04	0,26	2,86	4,48
3,90E+08	4,07	1,93	1,03	3,05	2,85	0,18	2,04	3,95
4,00E+08	3,39	0,83	0,69	2,37	2,15	0,09	0,74	3,46
4,10E+08	3,13	0,39	0,85	2,03	1,84	0,34	0,07	3,06
4,20E+08	3,14	0,39	1,26	2,10	2,08	0,82	0,11	2,98
4,30E+08	3,37	0,63	1,71	2,14	2,30	1,53	0,25	3,16
4,40E+08	3,87	1,21	2,38	2,61	2,75	2,57	0,76	3,78
4,50E+08	3,56	1,02	2,21	2,35	2,09	2,21	0,29	3,28
4,60E+08	3,60	0,87	2,25	2,34	1,81	1,88	0,17	3,00
4,70E+08	3,57	0,84	2,29	2,22	1,57	1,78	0,09	2,83
4,80E+08	3,78	0,80	2,40	2,19	1,33	1,93	0,00	3,04
4,90E+08	3,79	0,74	2,53	1,99	0,93	1,96	0,00	2,95
5,00E+08	3,73	0,52	2,53	1,61	0,31	1,70	0,00	2,82

5,10E+08	3,95	0,82	3,01	1,92	0,73	2,06	0,00	3,24
5,20E+08	3,97	1,01	3,48	2,14	1,48	2,78	0,00	3,60
5,30E+08	3,60	1,03	3,29	1,78	1,59	2,89	0,00	3,46
5,40E+08	3,24	0,91	2,94	1,40	1,36	2,76	0,07	3,15
5,50E+08	3,17	0,78	2,77	1,10	1,08	2,70	0,40	2,91
5,60E+08	3,30	0,62	2,85	0,83	0,87	2,60	0,71	2,85
5,70E+08	3,26	0,65	2,76	0,93	0,93	2,49	1,09	2,73
5,80E+08	3,54	0,93	3,10	1,12	1,19	2,67	1,52	3,17
5,90E+08	3,06	0,94	2,89	1,06	1,11	2,22	1,26	2,73
6,00E+08	2,53	1,28	2,62	1,10	1,06	1,88	1,03	2,18
6,10E+08	1,98	1,19	2,07	1,08	0,78	1,37	0,53	1,37
6,20E+08	1,93	1,28	1,74	1,14	0,59	1,21	0,66	1,06
6,30E+08	1,82	1,09	1,28	1,16	0,50	0,86	0,72	0,97
6,40E+08	1,49	1,05	0,78	1,12	0,48	0,41	0,69	0,97
6,50E+08	1,46	1,41	0,69	1,41	0,96	0,44	0,87	1,29
6,60E+08	1,36	1,59	0,81	1,65	1,27	0,78	1,01	1,22
6,70E+08	0,98	1,40	0,76	1,40	1,05	0,71	0,88	0,77
6,80E+08	0,57	1,14	0,53	1,12	0,97	0,51	0,67	0,30
6,90E+08	0,66	1,40	0,44	1,07	1,17	0,37	1,03	0,07
7,00E+08	0,91	1,78	0,61	1,32	1,37	0,37	1,49	0,16
7,10E+08	1,15	2,16	0,85	1,50	1,29	0,35	1,88	0,33
7,20E+08	0,85	2,00	0,73	1,38	0,97	0,21	1,60	0,07
7,30E+08	0,85	2,25	0,78	1,63	1,05	0,35	1,84	0,14
7,40E+08	0,76	2,30	0,76	1,62	1,12	0,42	1,86	0,14
7,50E+08	0,84	2,28	0,75	1,59	1,16	0,47	1,84	0,28
7,60E+08	0,75	2,21	0,78	1,40	0,92	0,30	1,59	0,21
7,70E+08	0,89	2,19	0,91	1,37	0,83	0,32	1,49	0,20
7,80E+08	0,92	2,30	1,18	1,37	0,79	0,53	1,58	0,25
7,90E+08	0,83	2,37	1,50	1,41	0,76	0,81	1,73	0,37
8,00E+08	1,00	2,89	2,09	1,70	1,05	1,49	2,18	0,77
8,10E+08	1,05	3,29	2,58	2,00	1,45	2,07	2,46	0,79
8,20E+08	1,04	3,42	2,83	2,13	1,67	2,39	2,58	0,62
8,30E+08	1,08	3,50	2,90	2,11	1,82	2,48	2,66	0,62
8,40E+08	1,15	3,44	2,86	2,00	1,83	2,35	2,65	0,68
8,50E+08	1,45	3,54	3,14	1,97	1,88	2,57	2,95	0,82
8,60E+08	1,33	3,16	3,12	1,85	1,74	2,69	2,91	0,71
8,70E+08	0,87	2,53	2,84	1,53	1,28	2,27	2,34	0,21
8,80E+08	0,54	2,18	2,67	1,57	1,15	2,04	1,99	0,12
8,90E+08	0,43	2,30	2,80	1,84	1,42	2,05	1,84	0,00
9,00E+08	0,52	2,61	3,10	2,23	1,77	2,14	1,93	0,00
9,10E+08	0,54	2,98	3,41	2,70	2,07	2,42	2,17	0,00

9,20E+08	0,60	3,07	3,58	2,97	2,12	2,54	2,01	0,00
9,30E+08	0,78	3,26	3,91	3,40	2,23	2,79	1,93	0,00
9,40E+08	0,93	3,23	4,08	3,56	2,31	2,95	1,83	0,00
9,50E+08	0,98	3,03	4,11	3,51	2,47	2,99	1,67	0,00
9,60E+08	0,92	2,84	3,85	3,28	2,34	2,81	1,60	0,00
9,70E+08	0,56	2,28	3,20	2,79	1,81	2,23	1,19	0,00
9,80E+08	0,54	1,99	2,81	2,69	1,73	2,06	1,31	0,14
9,90E+08	0,82	2,22	2,88	3,11	2,38	2,24	1,69	0,35
1,00E+09	0,89	2,25	2,53	3,16	2,62	2,04	1,69	0,45

Frec.	PTO.REF	PTO.VAL	Frec.	PTO.REF	PTO.VAL	Frec.	PTO.REF	PTO.VAL
3,00E+07	P8	-77,26	1,40E+08	P15	-37,06	4,50E+08	P2	-34,96
3,20E+07	P9	-67,91	1,42E+08	P15	-38,80	4,60E+08	P2	-35,21
3,40E+07	P9	-76,57	1,44E+08	P7	-39,56	4,70E+08	P2	-35,51
3,60E+07	P9	-80,21	1,46E+08	P7	-38,76	4,80E+08	P2	-36,22
3,80E+07		-76,60	1,48E+08	P10	-39,48	4,90E+08	P15	-37,24
4,00E+07		-66,28	1,50E+08	P10	-41,42	5,00E+08	P15	-37,63
4,20E+07		-61,29	1,52E+08	P8	-46,98	5,10E+08	P15	-37,70
4,40E+07		-63,83	1,54E+08	P8	-48,26	5,20E+08	P15	-37,48
4,60E+07	P7	-61,68	1,56E+08	P12	-48,76	5,30E+08	P15	-37,56
4,80E+07	P12	-63,42	1,58E+08	P8	-48,31	5,40E+08	P2	-37,71
5,00E+07	P14	-63,50	1,60E+08	P1	-47,45	5,50E+08	P2	-38,03
5,20E+07	P11	-62,45	1,62E+08		-48,12	5,60E+08	P2	-39,77
5,40E+07	P8	-62,37	1,64E+08	P10	-45,18	5,70E+08	P4	-43,78
5,60E+07	P4	-58,70	1,66E+08	P10	-45,38	5,80E+08	P4	-45,46
5,80E+07	P4	-57,51	1,68E+08	P10	-44,26	5,90E+08	P2	-39,21
6,00E+07	P4	-58,11	1,70E+08	P10	-43,49	6,00E+08	P4	-38,50
6,20E+07	P4	-54,26	1,72E+08	P10	-44,15	6,10E+08	P4	-38,48
6,40E+07	P16	-54,04	1,74E+08		-45,57	6,20E+08	P4	-38,50
6,60E+07	P6	-58,57	1,76E+08	P7	-46,60	6,30E+08	P3	-38,71
6,80E+07	P10	-63,26	1,78E+08	P7	-45,87	6,40E+08	P3	-39,06
7,00E+07	P14	-61,96	1,80E+08	P11	-47,32	6,50E+08	P3	-40,04
7,20E+07	P3	-56,52	1,82E+08	P3	-45,77	6,60E+08	P3	-40,94
7,40E+07	P4	-56,26	1,84E+08	P14	-45,90	6,70E+08	P3	-41,36
7,60E+07	P4	-51,36	1,86E+08	P14	-47,70	6,80E+08	P3	-42,26
7,80E+07	P16	-50,18	1,88E+08	P14	-46,79	6,90E+08	P3	-44,80
8,00E+07	P1	-49,94	1,90E+08	P3	-46,57	7,00E+08	P3	-49,65
8,20E+07	P1	-49,93	1,92E+08	P4	-46,11	7,10E+08	P3	-48,46
8,40E+07	P1	-49,77	1,94E+08		-45,80	7,20E+08	P3	-42,62
8,60E+07	P1	-51,36	1,96E+08		-45,40	7,30E+08	P3	-41,49
8,80E+07	P1	-52,70	1,98E+08		-45,62	7,40E+08	P3	-41,79

9,00E+07		-53,13	2,00E+08	P13	-29,97	7,50E+08	P3	-42,17
9,20E+07		-59,02	2,10E+08	P13	-29,13	7,60E+08	P3	-42,54
9,40E+07		-60,56	2,20E+08	P12	-25,42	7,70E+08	P1	-42,93
9,60E+07		-61,39	2,30E+08	P13	-28,94	7,80E+08	P1	-43,54
9,80E+07		-63,94	2,40E+08	P5	-29,72	7,90E+08	P1	-43,84
1,00E+08		-57,90	2,50E+08	P5	-30,01	8,00E+08	P1	-44,62
1,02E+08		-52,89	2,60E+08	P5	-30,23	8,10E+08	P1	-44,95
1,04E+08		-54,73	2,70E+08	P12	-32,11	8,20E+08	P1	-45,42
1,06E+08		-48,58	2,80E+08	P12	-35,17	8,30E+08	P1	-45,95
1,08E+08		-49,92	2,90E+08	P3	-33,37	8,40E+08	P1	-47,09
1,10E+08	P1	-48,07	3,00E+08	P3	-32,85	8,50E+08	P1	-49,40
1,12E+08	P3	-44,29	3,10E+08	P3	-32,87	8,60E+08	P1	-49,33
1,14E+08	P1	-41,51	3,20E+08	P3	-33,34	8,70E+08	P1	-46,58
1,16E+08	P16	-41,04	3,30E+08	P3	-33,11	8,80E+08	P1	-46,38
1,18E+08	P16	-42,45	3,40E+08	P3	-32,30	8,90E+08	P16	-46,52
1,20E+08	P16	-42,87	3,50E+08	P13	-32,42	9,00E+08	P16	-46,79
1,22E+08	P16	-42,77	3,60E+08	P3	-32,01	9,10E+08	P16	-47,20
1,24E+08	P16	-43,07	3,70E+08	P3	-33,85	9,20E+08	P16	-47,74
1,26E+08	P8	-43,01	3,80E+08	P3	-33,49	9,30E+08	P16	-48,37
1,28E+08	P2	-42,04	3,90E+08	P3	-33,23	9,40E+08	P16	-49,20
1,30E+08	P1	-45,63	4,00E+08	P3	-32,55	9,50E+08	P16	-49,63
1,32E+08	P1	-45,20	4,10E+08	P2	-33,03	9,60E+08	P16	-50,26
1,34E+08	P1	-44,68	4,20E+08	P2	-34,63	9,70E+08	P16	-51,00
1,36E+08	P16	-43,65	4,30E+08	P2	-39,03	9,80E+08	P1	-52,04
1,38E+08	P15	-37,44	4,40E+08	P2	-35,73	9,90E+08	P1	-50,39
						1,00E+09	P1	-50,90

10.2. Uniformidad de Frente de Campo: Polarización Vertical

Frec.	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
3,00E+07	1,09	2,05	0,56	0,37	1,11	1,25	2,09	5,54
3,20E+07	3,50	1,71	0,00	1,43	2,46	2,60	3,20	11,73
3,40E+07	4,68	4,17	1,55	0,00	1,82	2,10	3,61	6,95
3,60E+07	3,86	2,85	0,00	-3,23	-2,31	0,71	3,10	8,45
3,80E+07	5,13	4,12	1,96	0,00	0,95	2,90	4,40	10,09
4,00E+07	4,24	3,37	1,29	0,00	1,02	2,66	4,59	8,12
4,20E+07	4,04	2,87	0,97	0,00	1,20	1,96	3,85	7,53
4,40E+07	4,36	3,35	1,39	0,00	1,13	2,54	3,74	7,84
4,60E+07	4,09	3,08	1,56	0,05	0,70	2,20	3,63	7,12
4,80E+07	3,87	2,72	1,38	0,00	0,28	1,65	3,23	6,98
5,00E+07	3,42	2,54	1,17	0,00	0,31	1,35	2,96	6,17

5,20E+07	3,78	3,03	1,85	0,52	0,61	1,84	3,28	5,82
5,40E+07	5,09	4,22	2,95	1,06	0,93	2,93	4,43	6,45
5,60E+07	5,93	4,89	3,16	0,00	-0,55	3,05	5,05	6,75
5,80E+07	3,81	2,33	0,00	-4,18	-3,85	0,15	2,79	3,95
6,00E+07	5,12	4,47	2,19	-1,53	0,00	2,72	4,98	4,79
6,20E+07	5,17	5,03	2,57	-1,61	0,00	3,26	5,56	5,08
6,40E+07	4,39	4,02	1,18	-3,38	-1,64	1,90	4,89	3,99
6,60E+07	5,68	4,91	1,77	-1,75	0,00	3,05	6,25	5,58
6,80E+07	5,67	4,33	1,10	-0,97	1,26	3,32	6,27	5,99
7,00E+07	4,36	3,20	0,78	0,00	1,96	3,06	5,13	4,72
7,20E+07	3,73	2,65	0,26	0,00	1,85	2,44	4,27	4,13
7,40E+07	3,85	2,11	0,00	1,45	3,23	2,37	3,94	4,24
7,60E+07	2,24	0,35	0,00	2,61	3,30	1,63	1,47	1,78
7,80E+07	2,76	1,17	2,00	4,17	4,50	2,90	1,31	1,38
8,00E+07	1,23	0,77	2,41	4,17	5,41	3,74	-0,37	-2,77
8,20E+07	1,17	2,88	4,01	5,32	6,78	5,71	2,44	-2,26
8,40E+07	1,06	3,15	3,51	4,86	7,13	6,02	3,41	-1,41
8,60E+07	1,78	3,91	3,97	5,82	8,76	7,46	4,90	0,00
8,80E+07	-2,32	0,21	0,00	2,22	6,22	4,42	1,33	-4,13
9,00E+07	-2,33	0,93	0,70	2,82	8,63	6,50	2,84	-3,13
9,20E+07	-3,30	1,44	1,39	2,41	9,98	8,12	4,14	-2,34
9,40E+07	-5,83	1,39	2,00	1,20	9,50	8,42	4,42	-3,73
9,60E+07	2,21	10,81	12,55	11,30	17,68	17,26	13,30	3,10
9,80E+07	-8,06	0,49	3,40	2,33	6,27	6,29	2,35	-10,19
1,00E+08	-9,13	0,03	3,59	2,61	5,29	5,32	1,57	-12,43
1,02E+08	-10,06	0,31	4,10	3,32	5,69	5,20	1,36	-14,81
1,04E+08	-9,52	1,08	4,86	4,74	6,45	5,39	1,34	-18,58
1,06E+08	11,03	20,38	24,13	24,67	25,30	23,99	19,90	0,00
1,08E+08	-7,00	1,99	5,67	6,31	6,45	4,95	1,16	-21,28
1,10E+08	20,14	29,90	33,55	34,26	34,56	32,70	29,15	0,00
1,12E+08	-7,38	3,62	7,42	8,78	9,06	6,43	2,80	-16,35
1,14E+08	-6,03	5,05	8,95	11,44	11,55	7,56	3,50	-10,88
1,16E+08	-2,81	6,57	10,53	14,16	13,72	8,97	4,10	-7,51
1,18E+08	0,99	5,08	9,35	15,49	14,10	7,04	0,00	-3,16
1,20E+08	4,69	3,86	4,67	9,70	3,79	-3,44	0,00	0,09
1,22E+08	1,66	3,54	5,60	5,53	0,00	3,82	2,16	-3,48
1,24E+08	-2,93	0,69	3,34	3,06	0,57	2,54	0,00	-8,79
1,26E+08	-4,29	0,36	3,34	3,47	2,19	2,94	0,00	-10,31
1,28E+08	-4,30	0,75	3,89	4,67	3,24	3,12	0,00	-10,46
1,30E+08	-3,39	1,90	5,44	6,79	4,10	3,52	0,00	-10,71
1,32E+08	-1,78	4,11	8,30	10,28	5,67	4,39	0,00	-14,49

1,34E+08	-2,81	4,26	9,30	12,11	8,28	5,39	0,03	-16,34
1,36E+08	-6,03	1,11	6,26	9,51	8,10	4,94	0,00	-9,71
1,38E+08	-5,04	1,00	5,68	8,84	7,94	4,84	0,00	-9,11
1,40E+08	-2,12	3,41	8,11	11,40	9,71	5,85	0,00	-9,55
1,42E+08	0,00	4,63	9,78	13,86	10,03	1,66	-7,30	-4,73
1,44E+08	0,00	3,38	5,72	8,67	-1,06	2,38	4,49	0,07
1,46E+08	-1,65	2,44	3,95	3,63	1,95	5,23	4,72	-1,44
1,48E+08	-4,42	0,00	2,06	1,33	2,29	3,47	2,20	-4,74
1,50E+08	-4,96	0,00	2,64	2,59	3,36	3,47	1,59	-6,04
1,52E+08	-5,57	0,00	3,33	4,27	4,47	3,78	1,15	-6,37
1,54E+08	-5,84	0,00	3,99	6,04	7,49	6,20	3,18	-3,49
1,56E+08	-6,34	-1,67	2,99	5,61	9,73	8,05	4,92	-1,01
1,58E+08	-5,91	-2,64	2,01	4,71	9,85	7,69	4,71	-0,62
1,60E+08	-4,99	-2,17	1,44	3,95	9,19	6,94	4,29	-0,24
1,62E+08	-4,50	-1,32	0,78	2,40	7,75	6,06	3,99	-0,32
1,64E+08	-3,81	-0,24	1,34	1,80	7,24	6,30	4,45	-0,17
1,66E+08	-4,00	0,00	1,55	1,29	7,17	6,76	4,95	-0,16
1,68E+08	-4,36	0,00	1,76	1,02	7,44	7,23	5,37	-0,04
1,70E+08	-4,68	0,00	1,94	1,14	7,29	7,12	5,07	-0,50
1,72E+08	-4,93	0,10	2,31	1,92	7,34	6,98	4,66	-1,10
1,74E+08	-4,55	0,93	3,68	3,87	8,82	8,02	5,21	-0,82
1,76E+08	-3,97	1,57	4,92	5,74	10,57	9,12	5,88	0,00
1,78E+08	-4,35	0,48	3,80	5,10	10,08	8,09	4,66	0,00
1,80E+08	-4,06	0,00	2,55	3,58	8,77	6,60	3,56	0,16
1,82E+08	-3,87	0,00	1,96	2,38	7,37	5,33	2,91	0,00
1,84E+08	-3,86	0,00	1,76	1,71	6,33	4,57	2,69	0,00
1,86E+08	-2,49	1,48	3,24	2,85	6,96	5,77	4,31	1,68
1,88E+08	-3,42	0,77	2,65	2,15	5,78	5,20	3,80	0,96
1,90E+08	-4,31	0,11	2,10	1,63	5,14	4,82	3,19	0,00
1,92E+08	-3,33	1,25	3,18	2,72	6,11	5,73	3,80	0,56
1,94E+08	-3,08	1,41	3,34	2,90	5,74	5,23	3,13	0,00
1,96E+08	-2,15	2,38	4,38	4,15	6,29	5,73	3,52	0,64
1,98E+08	-2,37	2,11	4,30	4,41	6,09	5,51	3,35	0,66
2,00E+08	0,00	2,55	4,19	3,74	5,76	6,29	4,80	1,45
2,10E+08	1,20	4,46	5,55	5,22	3,94	4,57	3,31	0,00
2,20E+08	1,80	5,35	6,03	5,37	2,64	3,57	3,06	0,00
2,30E+08	2,86	5,69	5,55	4,23	1,36	2,74	3,35	0,58
2,40E+08	3,40	6,28	6,49	5,08	2,47	4,29	4,18	0,80
2,50E+08	1,95	4,60	4,70	2,93	1,62	3,19	2,82	0,09
2,60E+08	0,72	2,93	2,72	0,74	0,98	2,52	2,65	0,00
2,70E+08	0,00	1,89	1,52	0,28	2,61	3,70	3,97	0,99

2,80E+08	0,67	2,52	1,35	0,24	2,24	4,24	5,01	2,75
2,90E+08	0,54	2,75	1,73	0,75	1,03	3,26	4,64	2,73
3,00E+08	1,15	3,38	2,69	0,99	0,23	2,95	4,34	2,78
3,10E+08	1,53	3,67	2,82	0,76	0,41	2,46	4,02	2,67
3,20E+08	1,39	3,17	2,49	0,00	0,44	2,03	3,38	1,91
3,30E+08	2,96	4,48	2,87	0,36	0,80	2,23	4,04	2,96
3,40E+08	3,29	4,59	2,42	0,00	1,10	2,19	4,11	3,06
3,50E+08	3,49	4,34	1,84	0,00	1,26	2,23	4,04	3,08
3,60E+08	2,58	3,20	0,79	0,00	0,76	1,61	3,17	2,21
3,70E+08	2,58	3,25	0,46	0,14	0,33	1,48	3,68	2,70
3,80E+08	3,20	3,29	0,00	0,81	0,39	0,51	3,36	2,99
3,90E+08	3,90	3,30	0,26	1,35	0,77	0,33	3,17	3,56
4,00E+08	3,82	2,93	0,00	1,36	1,13	0,33	2,90	3,51
4,10E+08	3,77	2,48	0,00	1,70	1,54	0,41	2,79	3,70
4,20E+08	3,26	1,90	0,00	1,75	1,72	0,57	2,66	3,61
4,30E+08	2,68	0,97	0,20	1,84	1,40	0,20	2,19	3,51
4,40E+08	2,21	0,41	0,81	2,02	1,39	0,00	1,62	3,27
4,50E+08	2,32	0,12	0,99	1,15	0,92	0,00	0,63	3,34
4,60E+08	2,46	0,85	0,45	0,38	0,96	0,07	0,47	3,33
4,70E+08	2,79	1,02	0,14	0,36	1,25	0,50	0,27	3,37
4,80E+08	3,50	1,18	0,00	0,46	1,86	1,23	0,48	3,77
4,90E+08	4,00	0,79	0,07	0,83	2,26	1,76	0,62	4,04
5,00E+08	4,79	0,24	1,23	1,44	2,55	2,58	1,04	4,79
5,10E+08	4,25	0,00	1,79	1,32	1,76	2,55	1,32	4,28
5,20E+08	4,53	0,00	2,80	1,83	1,52	2,76	1,52	4,46
5,30E+08	4,15	0,00	3,22	1,85	0,99	2,60	1,15	4,11
5,40E+08	3,83	0,00	3,36	1,62	0,64	2,49	0,50	3,81
5,50E+08	3,53	0,14	3,38	1,27	0,63	2,62	0,00	3,62
5,60E+08	3,50	0,37	3,45	0,89	0,93	3,06	0,00	3,75
5,70E+08	2,94	0,25	2,74	0,09	0,92	2,91	0,00	3,29
5,80E+08	3,01	0,56	2,51	0,00	1,23	3,29	0,42	3,39
5,90E+08	2,94	0,45	2,24	0,00	1,07	3,36	0,62	3,40
6,00E+08	2,95	0,45	2,02	0,03	0,62	3,25	0,92	3,48
6,10E+08	3,71	0,97	2,48	0,50	0,48	3,41	1,61	4,06
6,20E+08	4,04	1,32	2,74	0,62	0,54	3,53	2,03	4,25
6,30E+08	3,92	1,19	2,61	0,46	0,32	3,01	1,97	3,94
6,40E+08	3,38	1,10	2,33	0,00	0,21	2,20	1,78	3,36
6,50E+08	2,86	1,24	2,01	0,00	0,44	1,66	1,84	2,88
6,60E+08	2,29	1,45	1,52	0,00	0,69	1,20	1,93	2,38
6,70E+08	1,47	1,22	0,76	0,00	0,57	0,69	1,61	1,50
6,80E+08	1,00	1,10	0,46	0,28	0,65	0,55	1,55	0,95

6,90E+08	1,30	1,79	1,05	1,07	1,23	1,07	2,25	1,03
7,00E+08	1,33	2,10	1,17	1,40	1,58	1,33	2,57	1,05
7,10E+08	1,08	2,07	0,80	1,06	1,22	0,99	2,46	0,87
7,20E+08	0,64	1,90	0,35	0,68	0,96	0,64	2,28	0,75
7,30E+08	0,49	2,35	0,32	0,73	1,06	0,47	2,61	0,68
7,40E+08	0,11	2,36	0,00	0,61	0,96	0,30	2,51	0,43
7,50E+08	0,23	2,62	0,00	0,99	1,21	0,41	2,78	0,62
7,60E+08	0,24	2,61	0,00	1,13	1,36	0,54	2,89	0,87
7,70E+08	0,13	2,53	0,00	1,03	1,24	0,69	2,81	0,84
7,80E+08	0,00	2,36	0,14	0,78	0,92	0,81	2,66	0,71
7,90E+08	0,05	2,47	0,51	0,72	0,86	1,14	2,73	0,51
8,00E+08	0,14	2,63	0,93	0,75	0,88	1,58	3,00	0,65
8,10E+08	0,26	2,92	1,45	0,94	1,01	2,12	3,26	0,49
8,20E+08	0,14	2,94	1,52	0,79	0,84	2,19	3,22	0,28
8,30E+08	0,00	3,34	1,97	0,99	0,88	2,46	3,43	0,29
8,40E+08	0,00	3,31	2,11	0,99	0,99	2,51	3,26	0,40
8,50E+08	0,00	3,25	2,46	0,95	0,93	2,72	3,23	0,33
8,60E+08	0,25	2,99	2,59	0,71	1,12	2,85	3,08	0,25
8,70E+08	0,21	2,67	2,60	0,42	0,95	2,62	2,81	0,07
8,80E+08	0,23	2,44	2,71	0,42	1,04	2,78	2,76	0,14
8,90E+08	0,25	2,31	2,83	0,42	1,11	2,90	2,65	0,37
9,00E+08	0,31	2,28	2,89	0,64	1,24	3,12	2,58	0,59
9,10E+08	0,05	2,07	2,65	0,47	1,17	2,96	2,18	0,68
9,20E+08	0,00	2,14	2,56	0,65	1,10	2,97	2,14	0,73
9,30E+08	0,00	2,06	2,36	0,75	1,03	2,86	2,17	0,82
9,40E+08	0,00	2,27	2,46	1,17	1,31	2,83	2,50	1,05
9,50E+08	0,00	2,17	2,48	1,40	1,62	2,76	2,78	1,19
9,60E+08	0,00	1,96	2,57	1,50	1,75	2,57	2,76	1,24
9,70E+08	0,00	1,77	2,74	1,47	1,68	2,76	2,76	1,22
9,80E+08	0,00	1,60	2,66	1,46	1,69	2,66	2,37	1,06
9,90E+08	0,00	1,76	2,95	1,55	1,80	2,86	2,36	0,96
1,00E+09	0,00	1,38	2,45	1,10	1,45	2,50	1,78	0,67

Frec.	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
3,00E+07	1,57	2,62	1,53	1,06	0,47	0,00	1,16	1,34
3,20E+07	9,47	2,07	1,25	1,50	1,25	1,88	2,95	3,83
3,40E+07	8,47	4,79	2,81	1,01	0,09	1,48	3,94	4,81
3,60E+07	7,57	3,60	1,39	-1,90	-2,13	0,80	3,10	4,22
3,80E+07	9,73	4,95	3,27	1,44	1,02	2,78	4,43	5,63
4,00E+07	8,97	5,28	3,65	2,00	1,81	3,16	4,89	5,79
4,20E+07	7,83	4,06	2,57	1,77	1,43	2,36	3,64	4,55

4,40E+07	8,00	3,85	2,16	0,73	0,00	1,64	3,16	4,45
4,60E+07	7,47	3,79	2,22	0,77	0,00	1,79	2,99	4,12
4,80E+07	7,33	3,54	1,89	0,60	0,25	1,56	2,56	3,66
5,00E+07	6,73	3,33	1,70	0,61	0,31	1,24	2,25	3,38
5,20E+07	6,30	3,46	2,05	0,47	0,00	1,45	2,43	3,51
5,40E+07	6,99	4,57	2,97	0,62	0,00	2,54	3,58	4,79
5,60E+07	7,33	5,21	3,14	0,02	-0,87	2,83	4,45	5,67
5,80E+07	4,75	3,19	0,88	-2,10	-2,79	0,67	2,68	3,72
6,00E+07	6,05	5,42	3,28	1,10	0,32	3,23	5,12	4,93
6,20E+07	6,38	6,01	3,57	0,78	-0,28	3,26	5,19	4,61
6,40E+07	5,17	5,07	2,09	-1,92	-4,22	0,00	3,35	3,46
6,60E+07	6,57	6,13	2,59	-1,09	-3,76	-1,25	3,07	4,68
6,80E+07	7,00	5,96	2,31	0,51	-0,95	0,00	3,23	4,98
7,00E+07	5,86	4,69	1,89	1,22	0,00	0,45	2,58	3,80
7,20E+07	5,37	3,78	1,32	1,39	0,85	0,50	1,89	2,99
7,40E+07	5,44	3,28	1,90	3,42	3,74	2,39	2,28	2,98
7,60E+07	3,20	0,67	1,21	3,25	3,51	2,24	1,26	1,28
7,80E+07	2,33	0,00	2,44	4,59	5,01	4,06	2,31	1,31
8,00E+07	-1,77	0,00	4,31	5,83	6,16	5,76	4,06	1,02
8,20E+07	0,00	3,17	5,92	6,71	5,87	5,94	5,11	2,05
8,40E+07	0,00	3,74	6,00	7,04	5,12	4,89	4,30	1,22
8,60E+07	0,34	5,06	7,37	8,74	5,96	5,52	4,82	1,75
8,80E+07	-4,13	1,58	4,17	6,15	1,64	0,98	0,34	-2,26
9,00E+07	-3,84	3,15	6,21	8,52	1,87	1,07	0,00	-2,50
9,20E+07	-4,39	4,40	7,91	9,93	2,13	2,00	0,00	-3,64
9,40E+07	-7,53	4,63	8,38	9,70	2,13	2,80	0,00	-5,39
9,60E+07	0,00	13,47	17,31	17,93	12,13	12,93	9,73	4,35
9,80E+07	-9,56	2,50	6,53	6,67	2,87	3,54	0,00	-5,21
1,00E+08	-9,06	1,61	5,67	5,85	3,16	3,50	0,00	-5,39
1,02E+08	-9,23	1,22	5,34	5,89	3,71	3,39	0,00	-5,88
1,04E+08	-11,42	0,97	5,18	6,37	4,76	3,39	0,00	-6,72
1,06E+08	3,58	19,30	23,61	25,07	24,13	22,18	18,83	11,75
1,08E+08	-17,31	0,07	4,67	6,15	5,39	3,42	0,00	-7,04
1,10E+08	9,28	27,32	32,24	34,06	33,04	30,20	27,21	20,04
1,12E+08	-12,84	0,00	4,95	8,39	7,47	3,17	0,21	-6,93
1,14E+08	-8,09	0,00	4,73	11,00	10,77	6,15	1,94	-5,05
1,16E+08	-4,45	0,00	4,25	13,19	13,68	9,20	3,98	-3,03
1,18E+08	1,15	-15,08	-4,48	12,72	14,28	9,28	2,42	-1,12
1,20E+08	3,44	4,32	5,03	1,95	8,92	8,43	5,44	3,65
1,22E+08	-0,51	3,92	5,92	2,23	6,04	7,13	4,27	1,21
1,24E+08	-6,23	1,10	3,67	1,96	3,74	4,29	1,15	-2,89

1,26E+08	-8,43	0,91	3,82	3,29	4,42	4,40	1,07	-3,88
1,28E+08	-8,75	0,92	4,00	4,25	5,81	5,10	1,47	-4,02
1,30E+08	-8,93	0,69	4,28	5,05	7,72	6,33	2,28	-3,51
1,32E+08	-12,24	0,10	4,77	6,42	10,86	8,74	3,92	-2,35
1,34E+08	-15,01	0,00	5,15	8,35	12,19	9,26	3,34	-3,94
1,36E+08	-7,60	0,76	4,75	7,96	9,11	5,86	0,42	-5,65
1,38E+08	-6,56	0,93	4,70	7,69	8,24	5,36	0,95	-4,22
1,40E+08	-5,74	0,97	5,51	9,27	10,56	7,70	3,45	-1,46
1,42E+08	-2,07	-3,38	0,54	8,72	12,57	8,86	4,77	0,92
1,44E+08	1,34	5,29	4,04	-1,17	6,30	5,04	3,81	0,61
1,46E+08	0,00	5,37	6,05	3,70	3,04	4,37	2,92	-1,09
1,48E+08	-3,15	2,68	4,09	3,49	2,48	2,82	0,61	-3,93
1,50E+08	-4,42	2,06	3,98	4,46	3,94	3,24	0,45	-4,58
1,52E+08	-5,20	1,74	4,36	5,61	5,52	3,80	0,33	-4,99
1,54E+08	-2,72	3,90	6,86	8,48	7,32	4,56	0,77	-3,86
1,56E+08	0,00	5,77	8,53	10,44	7,26	4,47	0,64	-3,16
1,58E+08	0,28	5,49	8,14	10,31	6,43	3,78	0,00	-3,72
1,60E+08	0,30	4,93	7,33	9,49	5,49	2,98	0,00	-3,44
1,62E+08	0,00	4,47	6,34	7,89	3,53	2,01	0,34	-2,85
1,64E+08	0,00	4,81	6,42	7,20	2,41	2,17	1,08	-2,26
1,66E+08	-0,12	5,14	6,73	7,01	1,48	2,23	1,11	-2,49
1,68E+08	-0,13	5,42	7,18	7,30	1,00	2,40	1,04	-2,92
1,70E+08	-0,87	4,98	7,02	7,29	1,16	2,31	0,63	-3,72
1,72E+08	-1,74	4,32	6,77	7,34	1,85	2,27	0,00	-4,72
1,74E+08	-1,85	4,61	7,61	8,75	3,47	3,13	0,00	-5,38
1,76E+08	-1,48	5,14	8,55	10,39	5,05	3,72	-0,59	-6,66
1,78E+08	-1,59	3,96	7,54	9,82	4,08	2,12	-2,83	-8,47
1,80E+08	-1,05	3,26	6,23	8,45	2,41	0,81	-2,81	-6,76
1,82E+08	-0,90	2,86	5,17	7,07	1,13	0,33	-2,09	-5,73
1,84E+08	-0,85	2,83	4,57	5,97	0,11	0,04	-1,76	-5,48
1,86E+08	0,79	4,57	5,96	6,64	1,06	1,55	0,00	-3,85
1,88E+08	0,00	4,06	5,48	5,67	0,51	1,05	-0,53	-4,57
1,90E+08	-1,00	3,35	5,00	5,07	0,07	0,51	-1,24	-5,46
1,92E+08	-0,37	3,90	5,76	5,99	1,34	1,78	0,00	-4,31
1,94E+08	-0,76	3,34	5,28	5,69	1,94	2,39	0,59	-3,67
1,96E+08	0,00	3,92	5,80	6,31	3,52	3,78	1,96	-2,38
1,98E+08	0,00	3,79	5,63	6,14	3,97	3,99	2,09	-2,28
2,00E+08	1,88	5,08	6,39	5,88	3,25	3,90	2,75	0,21
2,10E+08	0,35	3,54	4,64	3,87	4,90	5,41	4,53	1,43
2,20E+08	0,00	2,88	3,32	2,32	5,14	5,93	5,35	2,12
2,30E+08	0,00	2,58	2,04	0,82	4,11	5,36	5,57	2,95

2,40E+08	0,00	3,42	3,50	1,39	5,03	6,49	6,35	3,48
2,50E+08	0,00	2,53	2,89	1,10	3,12	4,87	4,82	2,25
2,60E+08	0,35	2,88	2,79	1,27	1,09	3,04	3,23	0,95
2,70E+08	1,45	4,15	3,82	2,79	0,37	1,80	2,27	0,14
2,80E+08	3,46	5,69	4,96	3,16	0,00	1,49	2,82	0,69
2,90E+08	3,37	5,58	4,48	2,54	0,00	1,00	2,15	0,14
3,00E+08	3,04	4,92	3,45	0,69	0,00	1,62	2,76	1,25
3,10E+08	2,62	4,02	2,39	0,00	0,27	2,27	3,48	2,14
3,20E+08	1,84	3,11	1,47	0,07	0,49	2,68	3,51	2,03
3,30E+08	2,77	3,61	1,51	0,00	1,12	3,26	4,81	3,49
3,40E+08	3,04	3,59	1,36	0,46	1,15	3,18	5,01	3,71
3,50E+08	3,35	3,85	1,63	0,86	1,05	2,89	4,86	3,70
3,60E+08	2,60	3,17	1,27	0,76	0,09	1,56	3,53	2,63
3,70E+08	3,09	3,70	1,36	0,65	0,00	1,04	3,91	3,06
3,80E+08	3,36	3,32	0,81	0,99	0,48	0,30	3,57	3,48
3,90E+08	3,72	3,17	0,86	1,40	1,03	0,00	3,26	3,90
4,00E+08	3,63	2,88	0,65	1,50	1,32	0,02	2,93	3,80
4,10E+08	3,86	2,83	0,66	1,65	1,75	0,27	2,72	3,79
4,20E+08	3,75	2,52	0,44	1,47	1,90	0,26	2,41	3,40
4,30E+08	3,56	1,96	0,00	1,11	1,66	0,20	1,73	3,12
4,40E+08	3,14	1,50	0,06	1,36	1,53	0,43	1,04	2,69
4,50E+08	3,36	0,92	0,31	1,20	0,78	0,69	0,61	2,94
4,60E+08	3,22	0,85	0,35	1,29	0,07	0,00	0,73	2,99
4,70E+08	3,25	0,45	0,69	1,51	0,19	0,00	0,50	3,14
4,80E+08	3,71	0,44	1,25	1,89	0,69	0,23	0,44	3,66
4,90E+08	4,04	0,39	1,89	2,03	1,44	0,62	0,00	3,86
5,00E+08	4,67	1,07	2,85	2,37	2,25	1,90	0,00	4,37
5,10E+08	4,23	1,39	2,69	1,46	1,72	2,33	0,51	4,11
5,20E+08	4,36	1,55	2,63	1,04	1,64	2,85	0,92	4,36
5,30E+08	4,02	1,29	2,37	0,78	1,20	2,96	0,99	4,02
5,40E+08	3,66	0,78	2,36	0,83	0,87	2,84	0,90	3,72
5,50E+08	3,53	0,63	2,64	1,13	0,77	2,84	0,99	3,46
5,60E+08	3,75	0,60	3,10	1,42	0,91	3,03	1,10	3,66
5,70E+08	3,36	0,39	2,94	1,27	0,76	2,58	0,81	3,15
5,80E+08	3,49	0,46	3,17	1,11	0,86	2,44	0,67	3,13
5,90E+08	3,40	0,45	3,26	0,76	0,64	2,29	0,36	3,17
6,00E+08	3,39	0,69	3,16	0,21	0,21	2,16	0,00	3,18
6,10E+08	3,99	1,30	3,32	0,09	0,00	2,48	0,27	3,76
6,20E+08	4,23	1,72	3,34	0,33	0,00	2,83	0,71	3,99
6,30E+08	3,87	1,64	2,87	0,62	0,00	2,65	0,81	3,69
6,40E+08	3,22	1,52	2,18	0,60	0,14	2,33	1,08	3,06

6,50E+08	2,70	1,66	1,80	0,81	0,62	1,94	1,45	2,43
6,60E+08	2,09	1,79	1,34	0,69	0,62	1,31	1,60	1,74
6,70E+08	1,22	1,54	0,73	0,40	0,33	0,48	1,17	0,66
6,80E+08	0,76	1,49	0,46	0,35	0,09	0,16	1,03	0,00
6,90E+08	1,05	2,11	0,86	0,93	0,46	0,53	1,72	0,00
7,00E+08	1,14	2,36	1,00	1,40	0,68	0,60	2,10	0,00
7,10E+08	1,06	2,16	0,73	1,13	0,59	0,25	2,02	0,00
7,20E+08	1,03	1,95	0,59	0,98	0,54	0,00	1,71	0,28
7,30E+08	1,32	2,15	0,54	1,06	0,70	0,00	1,76	0,56
7,40E+08	1,22	2,04	0,39	0,93	0,65	0,00	1,43	0,60
7,50E+08	1,42	2,32	0,55	1,26	0,90	0,34	1,58	0,92
7,60E+08	1,34	2,57	0,66	1,38	1,04	0,57	1,76	0,90
7,70E+08	0,93	2,70	0,74	1,28	0,91	0,60	1,92	0,72
7,80E+08	0,37	2,85	0,74	0,85	0,57	0,53	2,05	0,21
7,90E+08	0,00	3,18	1,09	0,77	0,58	0,72	2,40	0,05
8,00E+08	0,00	3,50	1,39	0,84	0,61	1,07	2,77	0,02
8,10E+08	0,00	3,76	1,89	1,08	0,94	1,59	3,22	0,07
8,20E+08	0,14	3,68	1,96	1,13	0,99	1,59	3,20	0,00
8,30E+08	0,43	3,70	2,34	1,18	1,25	2,04	3,53	0,09
8,40E+08	0,78	3,47	2,56	1,29	1,33	2,21	3,47	0,20
8,50E+08	0,77	3,21	2,79	1,17	1,20	2,51	3,35	0,03
8,60E+08	0,71	2,92	2,92	1,14	0,93	2,64	3,01	0,00
8,70E+08	0,42	2,67	2,83	0,83	0,56	2,46	2,62	0,00
8,80E+08	0,18	2,71	3,08	0,70	0,39	2,46	2,34	0,00
8,90E+08	0,00	2,83	3,09	0,67	0,46	2,41	2,22	0,11
9,00E+08	0,00	3,03	3,08	0,83	0,71	2,47	2,28	0,20
9,10E+08	0,00	2,87	2,80	0,96	0,61	2,32	2,09	0,24
9,20E+08	0,09	2,81	2,62	1,12	0,51	2,16	1,96	0,23
9,30E+08	0,17	2,58	2,56	1,13	0,49	2,04	1,90	0,24
9,40E+08	0,39	2,67	2,81	1,38	0,72	2,22	2,10	0,41
9,50E+08	0,59	2,52	3,02	1,42	0,75	2,48	2,27	0,33
9,60E+08	0,75	2,17	3,11	1,54	0,82	2,64	2,40	0,32
9,70E+08	0,89	1,87	3,25	1,47	0,86	2,67	2,51	0,44
9,80E+08	0,85	1,39	2,94	1,55	1,06	2,49	2,25	0,34
9,90E+08	0,87	1,35	2,95	1,69	1,19	2,57	2,20	0,46
1,00E+09	0,67	0,89	2,22	1,36	0,98	2,11	1,38	0,28

Frec.	PTO.REF	PTO.VAL	Frec.	PTO.REF	PTO.VAL	Frec.	PTO.REF	PTO.VAL
3,00E+07	P14	-46,90	1,40E+08		-40,49	4,50E+08	P6	-34,74
3,20E+07	P3	-46,82	1,42E+08		-45,29	4,60E+08	P14	-34,62
3,40E+07	P4	-51,00	1,44E+08	P1	-43,12	4,70E+08	P14	-35,03

3,60E+07		-39,59	1,46E+08	P9	-38,71	4,80E+08	P13	-35,92
3,80E+07	P4	-40,10	1,48E+08	P2	-34,81	4,90E+08	P15	-37,24
4,00E+07	P4	-41,66	1,50E+08	P2	-34,85	5,00E+08	P15	-38,20
4,20E+07	P4	-36,88	1,52E+08	P2	-36,65	5,10E+08	P2	-37,36
4,40E+07	P4	-35,53	1,54E+08		-39,56	5,20E+08	P2	-37,55
4,60E+07	P4	-35,23	1,56E+08		-39,82	5,30E+08	P2	-37,63
4,80E+07	P4	-34,19	1,58E+08		-38,08	5,40E+08	P2	-37,90
5,00E+07	P4	-33,37	1,60E+08		-37,08	5,50E+08	P7	-38,29
5,20E+07	P13	-34,57	1,62E+08		-35,81	5,60E+08	P7	-40,18
5,40E+07	P13	-35,55	1,64E+08		-35,22	5,70E+08	P7	-44,03
5,60E+07	P4	-37,57	1,66E+08		-34,98	5,80E+08	P4	-43,99
5,80E+07	P3	-35,43	1,68E+08		-35,01	5,90E+08	P4	-38,86
6,00E+07	P5	-36,61	1,70E+08		-34,47	6,00E+08	P4	-38,62
6,20E+07	P5	-36,56	1,72E+08		-34,21	6,10E+08	P13	-39,52
6,40E+07	P14	-35,40	1,74E+08		-35,67	6,20E+08	P13	-39,94
6,60E+07		-36,54	1,76E+08		-37,86	6,30E+08	P13	-40,18
6,80E+07	P14	-36,02	1,78E+08		-38,03	6,40E+08	P4	-40,25
7,00E+07	P4	-35,27	1,80E+08		-37,16	6,50E+08	P4	-40,55
7,20E+07	P4	-35,47	1,82E+08		-36,04	6,60E+08	P4	-40,87
7,40E+07	P3	-37,03	1,84E+08		-35,36	6,70E+08	P4	-41,00
7,60E+07	P3	-36,19	1,86E+08	P15	-36,45	6,80E+08	P16	-42,10
7,80E+07	P10	-38,25	1,88E+08	P8	-35,35	6,90E+08	P16	-45,10
8,00E+07	P10	-39,06	1,90E+08	P8	-34,47	7,00E+08	P16	-50,07
8,20E+07	P4	-38,16	1,92E+08	P15	-35,34	7,10E+08	P16	-48,16
8,40E+07	P9	-37,95	1,94E+08	P8	-35,10	7,20E+08	P14	-42,57
8,60E+07	P8	-39,33	1,96E+08	P9	-35,57	7,30E+08	P14	-41,46
8,80E+07		-36,08	1,98E+08	P9	-35,28	7,40E+08	P3	-41,60
9,00E+07		-37,21	2,00E+08	P1	-31,25	7,50E+08	P3	-42,09
9,20E+07		-38,39	2,10E+08	P8	-29,94	7,60E+08	P3	-42,66
9,40E+07		-38,38	2,20E+08	P9	-27,97	7,70E+08	P3	-42,84
9,60E+07		-47,65	2,30E+08	P9	-27,98	7,80E+08	P1	-43,19
9,80E+07		-36,89	2,40E+08	P9	-29,19	7,90E+08	P1	-43,50
1,00E+08	P15	-35,81	2,50E+08	P9	-28,47	8,00E+08	P9	-44,20
1,02E+08	P15	-35,20	2,60E+08	P8	-28,31	8,10E+08	P9	-44,58
1,04E+08		-35,13	2,70E+08	P1	-30,96	8,20E+08	P16	-44,92
1,06E+08		-53,27	2,80E+08	P13	-35,72	8,30E+08	P1	-45,56
1,08E+08		-35,30	2,90E+08	P13	-34,26	8,40E+08	P1	-46,72
1,10E+08		-64,86	3,00E+08	P13	-32,28	8,50E+08	P16	-48,93
1,12E+08		-40,15	3,10E+08	P12	-31,77	8,60E+08	P16	-48,62
1,14E+08		-42,91	3,20E+08	P4	-31,80	8,70E+08	P16	-46,34
1,16E+08		-45,54	3,30E+08	P12	-33,01	8,80E+08	P16	-46,33

1,18E+08		-48,68	3,40E+08	P4	-32,90	8,90E+08	P9	-46,39
1,20E+08	P7	-47,47	3,50E+08	P4	-32,80	9,00E+08	P9	-46,58
1,22E+08	P5	-42,88	3,60E+08	P4	-31,89	9,10E+08	P9	-46,66
1,24E+08	P7	-37,83	3,70E+08	P13	-32,56	9,20E+08	P1	-47,16
1,26E+08	P7	-35,74	3,80E+08	P3	-32,64	9,30E+08	P1	-47,55
1,28E+08	P7	-34,64	3,90E+08	P14	-32,79	9,40E+08	P1	-48,59
1,30E+08		-36,33	4,00E+08	P3	-32,55	9,50E+08	P1	-49,26
1,32E+08		-40,34	4,10E+08	P3	-33,37	9,60E+08	P1	-50,16
1,34E+08		-42,73	4,20E+08	P3	-34,61	9,70E+08	P1	-51,51
1,36E+08		-40,10	4,30E+08	P11	-38,64	9,80E+08	P1	-52,26
1,38E+08		-38,30	4,40E+08	P6	-34,76	9,90E+08	P1	-50,39
						1,00E+09	P1	-50,52

10.3. Atenuación de Sitio Normalizada: Polarización Horizontal

Frec.	Δ NSA(P1)	Δ NSA(P2)	Δ NSA(P3)	Δ NSA(P4)	Δ NSA(P5)	Δ NSA(P6)	Δ NSA(P7)	Δ NSA(P8)
30	-26,76	-23,87	-16,66	-4,72	-13,74	-7,50	-18,02	-14,79
32,5	-22,90	-19,78	-14,29	-23,04	-23,11	-15,64	-24,14	-26,91
35	-21,47	-16,15	-10,30	-11,38	-9,83	-3,99	-10,34	-11,87
37,5	-21,59	-21,61	-16,26	-7,90	-1,54	-13,49	-6,41	-5,92
40	-0,32	0,54	-13,61	-11,10	-11,52	-12,53	-12,08	-12,08
42,7	-4,73	-3,76	3,95	0,12	-7,36	-5,21	-9,75	4,57
45	-10,20	-6,81	-1,33	-9,97	-14,02	-7,76	-16,16	-15,05
47,5	12,95	5,49	8,36	-7,46	-8,53	-2,73	-6,80	-9,04
50	2,14	-0,89	5,66	-9,76	-9,92	-4,76	-7,20	-11,99
55	2,92	4,64	2,49	-4,48	-4,34	-2,13	-5,19	-0,46
60	14,45	10,03	8,93	3,52	-1,36	2,66	-3,73	6,53
65	20,63	17,68	22,34	-0,23	1,07	8,20	9,35	11,54
70	26,90	29,02	20,89	-1,55	2,21	5,80	18,38	6,97
75	13,41	15,53	14,20	0,28	8,14	4,17	6,99	2,51
80	13,66	18,62	21,61	3,68	11,17	5,88	7,65	11,43
85	18,18	35,24	28,40	2,39	7,04	5,79	11,78	-2,41
90	23,82	22,69	23,03	3,48	1,78	-2,99	6,51	-3,03
95	17,21	18,40	19,92	5,19	0,53	-1,03	11,39	3,54
100	19,95	38,14	21,00	12,74	8,56	3,61	12,04	8,35
110	28,42	14,93	12,24	10,37	3,93	7,72	10,74	5,81
120	12,33	10,23	16,41	11,80	4,97	-1,88	1,06	1,39
130	11,06	17,38	13,87	6,23	2,88	-2,31	2,42	-1,00
140	10,89	14,81	13,10	2,31	3,23	2,01	2,57	3,78
150	22,97	16,52	20,32	10,84	7,72	10,01	2,32	10,77
160	20,76	16,35	24,12	6,56	5,06	2,99	4,21	7,72

170	20,63	19,78	17,89	4,15	2,51	0,37	2,60	3,14
180	19,80	17,63	19,61	7,39	9,91	6,33	1,57	4,17
190	20,85	18,50	20,00	11,64	10,18	11,38	6,34	7,38
200	1,26	-2,44	-3,25	-3,41	-1,73	2,61	5,12	3,17
225	2,81	-0,41	-2,31	-2,21	-0,40	3,95	5,03	6,27
250	0,55	2,33	-1,85	-2,29	3,73	0,19	-0,17	0,80
275	0,08	2,05	-0,49	-0,34	2,34	0,89	0,23	-0,13
300	-0,28	1,34	-2,53	-2,36	2,65	-0,75	0,51	-1,21
350	-0,36	1,00	-1,47	0,44	2,12	-0,04	-0,11	0,28
400	-1,17	-1,66	-2,03	1,00	0,52	-0,97	-0,68	-0,66
450	-0,12	-1,38	-0,24	0,73	-0,81	-0,37	0,01	-0,08
500	1,48	1,10	1,86	5,37	1,92	1,26	1,31	1,21
550	0,58	0,39	15,87	0,92	-0,01	-0,61	-0,51	-0,24
600	1,36	1,69	3,53	0,62	0,20	0,09	-0,12	0,13
650	1,19	1,38	6,52	0,03	-0,36	0,03	0,51	0,47
700	-1,71	-2,04	0,28	-2,96	-3,22	-2,89	-2,68	-2,91
750	-0,59	-1,10	4,57	-1,82	-1,75	-1,23	-1,23	-0,65
800	-0,59	-0,68	-0,45	-1,85	-1,27	-0,85	-0,67	-1,08
850	-0,87	-1,58	-2,55	-3,25	-2,40	-2,05	-1,91	-1,80
900	-0,60	-0,22	-1,25	-1,97	-1,09	-1,07	-1,23	-0,84
950	-0,04	0,52	-0,37	-0,71	-0,14	-0,36	-0,24	-0,14
1000	-0,84	-1,01	-1,27	-0,46	-0,43	0,01	-0,20	-0,25

Frec.	Δ NSA(P9)	Δ NSA(P10)	Δ NSA(P11)	Δ NSA(P12)	Δ NSA(P13)	Δ NSA(P14)	Δ NSA(P15)
30	-12,71	-8,68	-8,91	-19,78	-9,90	-4,46	-0,12
32,5	-6,61	-23,64	-20,36	-27,31	-22,09	-17,99	-13,09
35	-5,61	-5,08	-3,21	-11,05	-9,32	-6,07	-3,61
37,5	-14,36	11,02	1,74	-12,88	-2,67	-2,26	0,14
40	-15,27	-12,01	-8,81	-12,63	-7,28	-1,65	-2,62
42,7	-11,04	-9,00	-1,04	-6,31	-5,21	-5,05	-3,83
45	-17,35	-12,96	-13,35	-15,30	-14,97	-14,60	-12,23
47,5	-9,54	-2,83	-2,80	-7,79	-4,57	-8,18	-5,12
50	-9,76	4,98	3,39	-7,38	-3,58	-9,11	-6,08
55	-6,15	21,50	12,87	0,15	-2,77	-4,71	-1,88
60	-2,49	10,84	19,29	5,46	6,67	2,76	5,79
65	7,55	3,88	6,99	5,77	14,18	5,51	4,49
70	5,85	2,47	7,28	3,33	3,50	7,51	5,67
75	7,46	3,36	5,69	4,59	7,19	18,11	4,26
80	11,08	5,46	5,90	14,08	10,77	1,17	1,92
85	7,80	2,72	4,06	13,32	1,04	-4,54	-2,07
90	5,18	8,16	8,59	11,04	2,08	-4,95	2,36

95	6,36	7,37	10,87	8,83	1,55	-2,76	8,35
100	12,02	3,79	9,07	24,39	3,61	10,74	29,02
110	12,05	7,87	11,66	9,34	4,74	10,63	17,39
120	4,09	2,90	5,23	6,14	2,34	14,07	6,50
130	1,91	2,08	2,62	5,00	0,25	2,69	-1,44
140	2,22	3,83	2,94	5,77	0,54	-0,76	-2,46
150	0,90	2,81	4,37	2,88	8,15	6,75	15,42
160	0,57	1,70	5,29	3,30	7,34	5,99	5,43
170	0,16	0,58	4,65	2,58	0,23	6,83	7,06
180	1,86	3,85	6,16	3,56	3,94	13,92	7,84
190	5,41	14,97	7,66	4,46	11,59	6,04	5,50
200	2,19	1,67	-2,59	-1,31	0,73	-2,45	-3,78
225	1,09	0,91	-0,35	-0,12	3,55	-0,57	-2,09
250	1,85	1,92	-2,83	-2,83	0,54	2,75	-1,93
275	3,77	3,40	-0,80	-0,78	0,68	2,22	0,02
300	2,58	1,42	-1,55	-1,69	-0,43	1,82	-1,21
350	1,93	1,38	0,75	0,42	0,07	0,53	-0,87
400	0,94	0,36	1,19	1,33	-0,73	-1,23	-0,59
450	-1,09	-1,09	0,36	0,41	-0,10	-1,46	0,27
500	2,16	1,54	5,28	5,42	1,33	1,40	2,85
550	-0,05	-0,05	1,38	1,38	-0,58	-0,05	1,01
600	0,34	0,23	0,88	0,97	-0,08	0,06	0,97
650	0,35	0,33	0,40	0,21	0,17	0,21	0,21
700	-2,82	-2,93	-2,79	-2,37	-2,91	-3,00	-3,17
750	-1,70	-1,59	-1,38	-1,49	-1,13	-1,49	-1,45
800	-1,32	-1,22	-1,42	-1,63	-1,17	-1,44	-1,74
850	-2,35	-2,58	-2,53	-3,11	-1,70	-2,28	-3,07
900	-0,68	-0,75	-1,62	-1,86	-1,30	-1,33	-1,86
950	-0,07	0,23	-0,31	-0,87	-0,07	0,07	-0,62
1000	-0,27	-0,13	-0,36	-0,09	-0,32	-0,16	-0,62

10.4. Atenuación de Sitio Normalizada: Polarización Vertical

Frec.	Δ NSA(P1)	Δ NSA(P2)	Δ NSA(P3)	Δ NSA(P4)	Δ NSA(P5)	Δ NSA(P6)	Δ NSA(P7)	Δ NSA(P8)
30	-11,29	-7,60	2,31	-18,14	-22,57	-23,82	-12,84	-21,18
32,5	1,26	-13,45	-13,41	-11,59	-17,78	-20,16	-13,15	-18,02
35	-12,85	-9,29	-4,24	-5,70	-8,49	-8,53	-7,72	-5,77
37,5	-8,98	-5,91	-2,58	-13,52	-15,72	-15,60	-9,76	-13,27
40	-2,22	-0,48	1,27	-10,10	-12,12	-10,67	-11,66	-12,40
42,7	-1,65	-4,67	-3,97	-7,59	-6,89	-2,89	-1,81	-5,76
45	0,90	-3,92	-2,39	-3,52	-3,45	1,13	4,12	-2,96

47,5	-0,60	-7,33	-4,10	-10,42	-9,36	1,95	-3,15	-7,15
50	-9,76	-7,54	-3,26	-5,98	-9,11	10,01	-2,75	-6,49
55	-9,29	-7,30	-2,31	-8,00	-12,88	-2,71	-13,53	-6,68
60	5,14	-2,32	-2,67	-11,13	-16,62	-6,73	-14,99	-12,15
65	14,01	3,99	4,37	-4,20	-6,54	1,81	-2,94	1,63
70	15,89	6,18	6,13	-0,49	0,65	8,32	0,12	10,88
75	17,68	11,44	9,27	-2,40	2,47	6,51	3,64	14,56
80	9,71	19,82	18,02	0,68	6,29	2,49	1,41	3,23
85	11,10	26,01	27,16	2,08	6,34	-3,30	12,39	6,74
90	12,50	43,05	18,86	4,65	6,82	-2,41	30,03	9,12
95	14,50	21,43	13,74	5,77	4,74	5,63	20,01	12,45
100	14,34	19,28	13,67	3,47	11,09	1,87	3,98	5,29
110	13,43	14,34	7,48	4,73	1,23	2,01	-0,91	2,17
120	23,54	18,22	18,03	5,27	2,13	4,99	4,64	5,62
130	14,35	18,58	16,52	11,98	7,42	0,55	5,54	-1,34
140	18,12	31,15	17,29	7,25	5,30	7,53	4,06	8,77
150	16,83	17,30	28,58	6,67	3,55	3,73	5,76	6,77
160	14,99	15,34	19,64	4,14	0,97	-0,48	10,75	14,92
170	18,67	16,30	25,50	7,88	3,12	-0,86	7,69	11,88
180	24,85	22,63	27,15	16,31	11,46	5,73	8,85	9,55
190	23,29	29,97	35,07	19,95	10,23	8,31	18,29	8,69
200	-5,62	-5,28	-0,54	-1,04	-5,39	-5,49	-2,97	-4,93
225	-2,93	-4,14	-0,60	-2,33	-5,83	-4,85	-4,29	-4,22
250	-1,46	-4,20	-2,21	-2,82	-5,03	-2,58	-3,16	-2,89
275	-3,53	-6,39	-5,62	-4,29	-5,09	-2,77	-5,25	-2,83
300	-1,04	-4,11	-3,16	-2,07	-3,09	-1,18	-1,46	-0,60
350	-3,31	-2,36	-4,33	-5,30	-2,98	-3,40	-2,57	-3,88
400	-3,45	-2,79	-5,26	-5,16	-2,38	-3,48	-3,78	-3,24
450	-5,46	-4,17	-7,00	-7,34	-4,70	-5,85	-5,85	-5,59
500	-0,71	-1,41	-2,67	-2,73	-1,55	-0,43	-0,03	-0,22
550	-0,74	2,06	1,37	-4,52	-4,07	-3,11	-2,78	-2,87
600	-2,50	-2,64	-1,73	-3,97	-4,63	-3,88	-3,67	-3,04
650	-1,32	0,15	0,44	-3,16	-3,62	-3,41	-3,94	-3,57
700	-3,53	-2,06	-1,28	-3,02	-4,35	-4,42	-4,21	-3,84
750	-2,95	-0,89	-0,50	-2,80	-3,42	-4,31	-3,30	-4,10
800	-2,63	-1,78	-0,84	-1,87	-3,43	-3,25	-3,76	-3,11
850	-3,77	-4,35	-2,36	-2,53	-4,35	-4,42	-4,30	-4,00
900	-3,68	-4,56	-2,84	-3,46	-4,79	-4,21	-3,56	-3,89
950	-2,46	-3,61	-2,32	-2,86	-2,97	-2,53	-2,39	-2,25
1000	-4,36	-4,17	-4,43	-4,34	-3,92	-3,69	-3,87	-4,56

Frec.	Δ NSA(P9)	Δ NSA(P10)	Δ NSA(P11)	Δ NSA(P12)	Δ NSA(P13)	Δ NSA(P14)	Δ NSA(P15)
30	-10,45	-18,60	-15,11	-21,67	-25,10	-23,16	-18,91
32,5	-12,58	-20,58	-18,81	-18,90	-22,51	-20,47	-19,16
35	-5,32	-7,60	-5,53	-5,23	-10,13	-7,04	-7,62
37,5	-12,01	-13,66	-11,41	-8,82	-16,36	-14,13	-15,07
40	-13,64	-12,56	-8,52	-8,45	-11,61	-14,13	-16,03
42,7	-3,04	-2,00	-0,55	2,49	-6,61	-8,77	-10,52
45	1,82	7,11	2,28	4,65	-2,70	-7,30	-7,42
47,5	3,22	8,87	14,97	-2,54	-15,86	-13,84	-12,42
50	1,86	1,72	1,74	1,56	-15,46	-11,71	-11,78
55	-13,14	-5,20	-6,50	-4,79	-9,45	-15,94	-12,82
60	-16,49	-10,30	-10,39	-9,85	-9,76	-16,11	-5,99
65	-6,42	-0,43	-0,66	-2,68	5,66	-3,82	2,46
70	-2,45	3,78	-0,70	-0,14	4,32	-4,84	4,11
75	0,68	6,25	-0,49	1,61	11,39	0,38	5,69
80	2,89	11,68	3,78	4,71	2,86	9,18	4,96
85	3,61	15,24	9,41	7,74	-2,63	6,12	8,97
90	3,27	13,42	10,69	12,64	0,71	5,17	2,35
95	2,11	14,87	8,10	7,66	6,54	28,26	-0,76
100	17,26	3,52	6,90	5,36	6,40	5,68	3,37
110	8,81	0,17	7,43	17,27	12,39	2,36	6,40
120	7,53	20,52	15,06	15,15	-3,80	9,00	6,15
130	4,67	8,83	10,32	6,28	4,27	6,09	9,45
140	12,36	13,02	14,44	14,60	7,94	10,26	8,87
150	9,49	15,70	21,10	11,33	2,59	5,62	5,17
160	8,70	8,47	14,40	10,66	0,62	-0,76	2,19
170	6,95	7,55	17,73	13,64	2,25	1,32	3,96
180	11,93	13,41	31,04	21,53	8,45	8,52	17,73
190	12,46	16,96	20,94	14,67	9,97	10,21	27,39
200	-2,84	-5,83	-1,18	0,70	-4,66	-5,94	-2,57
225	-5,27	-2,35	0,39	-1,48	-3,04	-4,11	-1,81
250	-5,48	-4,61	-2,12	-3,24	-2,62	-4,28	-2,74
275	-8,30	-8,00	-6,83	-7,06	-4,14	-5,81	-5,10
300	-3,91	-3,70	-3,91	-4,18	-1,47	-2,10	-2,62
350	-1,93	-2,26	-4,16	-3,88	-2,51	-2,44	-5,32
400	-2,15	-2,49	-5,56	-5,18	-3,22	-2,07	-4,61
450	-4,54	-4,66	-6,96	-7,17	-4,21	-5,12	-6,72
500	-1,66	-1,75	-3,11	-2,51	-0,63	-1,01	-2,49
550	-3,22	-4,25	-4,57	-3,89	-3,67	-4,72	-4,16
600	-3,74	-4,19	-4,12	-3,16	-3,58	-3,79	-3,45
650	-3,80	-4,06	-3,09	-3,02	-3,56	-3,63	-3,27

700	-3,70	-3,91	-3,67	-2,79	-5,32	-4,57	-3,63
750	-2,85	-3,42	-2,64	-2,06	-4,04	-4,04	-2,69
800	-2,66	-3,48	-2,03	-1,50	-3,77	-3,37	-2,29
850	-4,30	-4,44	-2,22	-2,01	-4,45	-4,80	-3,30
900	-4,05	-4,54	-3,09	-2,60	-4,01	-4,96	-3,53
950	-3,24	-3,11	-2,42	-3,00	-3,23	-3,25	-3,81
1000	-4,17	-4,31	-4,29	-4,31	-4,37	-4,02	-4,82

10.5. Efectividad del Blindaje: Polarización Horizontal

Frec.	Pot Ref.	Pot.	SE	Frec.	Pot Ref.	Pot.	SE
3,00E+07	-54,08	-64,68	10,60	1,96E+08	-61,08	-72,77	11,69
3,10E+07	-55,11	-64,35	9,24	1,97E+08	-59,82	-77,68	17,86
3,20E+07	-55,96	-66,41	10,45	1,98E+08	-59,21	-82,02	22,81
3,30E+07	-56,88	-70,31	13,43	1,99E+08	-58,75	-75,47	16,72
3,40E+07	-55,62	-70,58	14,96	2,00E+08	-11,58	-42,69	31,11
3,50E+07	-54,47	-74,97	20,50	2,05E+08	-10,08	-43,58	33,50
3,60E+07	-54,99	-71,06	16,07	2,10E+08	-9,83	-43,06	33,23
3,70E+07	-56,74	-66,63	9,89	2,15E+08	-9,51	-39,53	30,02
3,80E+07	-59,59	-66,03	6,44	2,20E+08	-9,89	-42,06	32,17
3,90E+07	-62,55	-69,35	6,80	2,25E+08	-9,82	-48,09	38,27
4,00E+07	-64,69	-76,99	12,30	2,30E+08	-7,18	-47,58	40,40
4,10E+07	-64,75	-82,02	17,27	2,35E+08	-9,28	-46,55	37,27
4,20E+07	-63,08	-81,37	18,29	2,40E+08	-11,69	-43,77	32,08
4,30E+07	-61,02	-86,97	25,95	2,45E+08	-11,63	-54,47	42,84
4,40E+07	-59,63	-72,94	13,31	2,50E+08	-12,26	-58,95	46,69
4,50E+07	-58,31	-69,88	11,57	2,55E+08	-14,02	-51,78	37,76
4,60E+07	-57,03	-70,47	13,44	2,60E+08	-14,53	-52,93	38,40
4,70E+07	-55,53	-71,35	15,82	2,65E+08	-13,80	-61,60	47,80
4,80E+07	-54,54	-73,96	19,42	2,70E+08	-15,00	-64,51	49,51
4,90E+07	-55,52	-72,45	16,93	2,75E+08	-20,56	-63,53	42,97
5,00E+07	-56,79	-71,16	14,37	2,80E+08	-21,25	-67,49	46,24
5,10E+07	-57,42	-71,12	13,70	2,85E+08	-16,21	-58,70	42,49
5,20E+07	-58,17	-72,01	13,84	2,90E+08	-16,21	-54,60	38,39
5,30E+07	-59,01	-73,55	14,54	2,95E+08	-23,12	-58,59	35,47
5,40E+07	-60,79	-74,46	13,67	3,00E+08	-22,77	-60,31	37,54
5,50E+07	-57,70	-73,96	16,26	3,05E+08	-16,34	-56,81	40,47
5,60E+07	-57,65	-73,64	15,99	3,10E+08	-16,12	-54,09	37,97
5,70E+07	-65,66	-72,24	6,58	3,15E+08	-19,93	-62,38	42,45
5,80E+07	-64,51	-70,52	6,01	3,20E+08	-20,50	-59,37	38,87
5,90E+07	-65,56	-69,74	4,18	3,25E+08	-16,34	-52,70	36,36

6,00E+07	-64,55	-70,93	6,38	3,30E+08	-15,56	-54,64	39,08
6,10E+07	-61,85	-73,18	11,33	3,35E+08	-15,82	-55,33	39,51
6,20E+07	-60,67	-74,55	13,88	3,40E+08	-16,14	-55,22	39,08
6,30E+07	-59,78	-75,08	15,30	3,45E+08	-14,91	-56,21	41,30
6,40E+07	-59,45	-70,19	10,74	3,50E+08	-14,81	-54,82	40,01
6,50E+07	-58,76	-66,12	7,36	3,55E+08	-15,82	-51,60	35,78
6,60E+07	-57,99	-63,44	5,45	3,60E+08	-13,67	-50,94	37,27
6,70E+07	-57,87	-61,34	3,47	3,65E+08	-13,04	-49,79	36,75
6,80E+07	-58,29	-59,26	0,97	3,70E+08	-13,63	-51,22	37,59
6,90E+07	-58,61	-57,82	-0,79	3,75E+08	-13,64	-51,66	38,02
7,00E+07	-58,87	-58,04	-0,83	3,80E+08	-13,66	-52,17	38,51
7,10E+07	-59,33	-59,41	0,08	3,85E+08	-13,05	-50,55	37,50
7,20E+07	-60,27	-60,76	0,49	3,90E+08	-12,24	-50,88	38,64
7,30E+07	-61,96	-62,17	0,21	3,95E+08	-12,61	-50,57	37,96
7,40E+07	-64,43	-64,40	-0,03	4,00E+08	-13,66	-50,46	36,80
7,50E+07	-68,72	-68,50	-0,22	4,05E+08	-13,47	-51,73	38,26
7,60E+07	-75,88	-76,16	0,28	4,10E+08	-14,73	-51,93	37,20
7,70E+07	-75,97	-81,03	5,06	4,15E+08	-15,13	-52,86	37,73
7,80E+07	-68,13	-74,65	6,52	4,20E+08	-17,50	-52,88	35,38
7,90E+07	-63,25	-70,05	6,80	4,25E+08	-18,59	-53,69	35,10
8,00E+07	-59,99	-67,81	7,82	4,30E+08	-20,49	-57,45	36,96
8,10E+07	-57,79	-68,15	10,36	4,35E+08	-18,83	-56,32	37,49
8,20E+07	-55,91	-70,91	15,00	4,40E+08	-16,66	-53,27	36,61
8,30E+07	-54,74	-74,72	19,98	4,45E+08	-16,77	-51,21	34,44
8,40E+07	-54,08	-71,35	17,27	4,50E+08	-16,48	-51,76	35,28
8,50E+07	-53,21	-68,51	15,30	4,55E+08	-17,13	-53,43	36,30
8,60E+07	-52,10	-67,23	15,13	4,60E+08	-16,93	-54,52	37,59
8,70E+07	-51,60	-67,82	16,22	4,65E+08	-16,58	-54,37	37,79
8,80E+07	-52,14	-70,51	18,37	4,70E+08	-16,27	-53,91	37,64
8,90E+07	-52,82	-74,49	21,67	4,75E+08	-17,48	-54,08	36,60
9,00E+07	-52,86	-78,02	25,16	4,80E+08	-18,67	-56,61	37,94
9,10E+07	-53,29	-77,22	23,93	4,85E+08	-16,94	-54,56	37,62
9,20E+07	-54,82	-76,33	21,51	4,90E+08	-17,69	-53,39	35,70
9,30E+07	-57,21	-75,41	18,20	4,95E+08	-20,93	-56,26	35,33
9,40E+07	-60,77	-73,40	12,63	5,00E+08	-20,07	-56,63	36,56
9,50E+07	-65,60	-71,99	6,39	5,05E+08	-19,71	-58,62	38,91
9,60E+07	-66,89	-71,93	5,04	5,10E+08	-19,54	-60,80	41,26
9,70E+07	-62,22	-73,86	11,64	5,15E+08	-19,69	-59,50	39,81
9,80E+07	-58,89	-77,15	18,26	5,20E+08	-20,20	-58,34	38,14
9,90E+07	-56,70	-79,60	22,90	5,25E+08	-21,44	-59,90	38,46
1,00E+08	-55,19	-78,91	23,72	5,30E+08	-20,31	-63,35	43,04

1,01E+08	-53,72	-77,86	24,14	5,35E+08	-19,27	-62,28	43,01
1,02E+08	-51,99	-78,94	26,95	5,40E+08	-19,87	-62,21	42,34
1,03E+08	-51,09	-81,71	30,62	5,45E+08	-22,61	-61,60	38,99
1,04E+08	-50,73	-74,88	24,15	5,50E+08	-24,07	-63,97	39,90
1,05E+08	-50,42	-71,49	21,07	5,55E+08	-22,41	-70,83	48,42
1,06E+08	-50,39	-70,01	19,62	5,60E+08	-22,02	-70,24	48,22
1,07E+08	-51,12	-70,36	19,24	5,65E+08	-23,55	-70,32	46,77
1,08E+08	-52,26	-72,32	20,06	5,70E+08	-27,69	-77,42	49,73
1,09E+08	-53,39	-75,47	22,08	5,75E+08	-30,92	-75,99	45,07
1,10E+08	-54,70	-74,26	19,56	5,80E+08	-24,72	-68,69	43,97
1,11E+08	-56,71	-70,83	14,12	5,85E+08	-20,95	-64,97	44,02
1,12E+08	-59,78	-69,37	9,59	5,90E+08	-20,59	-65,66	45,07
1,13E+08	-62,13	-70,08	7,95	5,95E+08	-21,29	-66,64	45,35
1,14E+08	-61,69	-71,67	9,98	6,00E+08	-22,33	-69,39	47,06
1,15E+08	-59,08	-74,45	15,37	6,05E+08	-23,50	-67,90	44,40
1,16E+08	-56,32	-79,13	22,81	6,10E+08	-21,62	-65,38	43,76
1,17E+08	-54,30	-81,50	27,20	6,15E+08	-20,07	-64,68	44,61
1,18E+08	-52,85	-75,16	22,31	6,20E+08	-19,51	-60,93	41,42
1,19E+08	-51,86	-71,36	19,50	6,25E+08	-20,82	-59,85	39,03
1,20E+08	-51,03	-70,02	18,99	6,30E+08	-21,26	-60,39	39,13
1,21E+08	-50,02	-70,47	20,45	6,35E+08	-19,87	-60,74	40,87
1,22E+08	-49,96	-73,47	23,51	6,40E+08	-18,97	-58,43	39,46
1,23E+08	-50,47	-79,83	29,36	6,45E+08	-20,56	-58,04	37,48
1,24E+08	-51,13	-74,67	23,54	6,50E+08	-20,54	-59,23	38,69
1,25E+08	-51,80	-70,38	18,58	6,55E+08	-19,71	-59,04	39,33
1,26E+08	-53,00	-69,56	16,56	6,60E+08	-20,79	-58,13	37,34
1,27E+08	-54,68	-69,73	15,05	6,65E+08	-21,05	-59,44	38,39
1,28E+08	-56,15	-70,25	14,10	6,70E+08	-21,49	-60,89	39,40
1,29E+08	-57,72	-70,16	12,44	6,75E+08	-22,89	-60,28	37,39
1,30E+08	-59,58	-70,04	10,46	6,80E+08	-24,21	-59,87	35,66
1,31E+08	-61,49	-70,34	8,85	6,85E+08	-23,92	-61,84	37,92
1,32E+08	-61,07	-72,24	11,17	6,90E+08	-26,14	-63,56	37,42
1,33E+08	-59,25	-74,83	15,58	6,95E+08	-28,92	-65,40	36,48
1,34E+08	-57,39	-79,96	22,57	7,00E+08	-32,93	-66,18	33,25
1,35E+08	-56,61	-87,31	30,70	7,05E+08	-35,06	-67,72	32,66
1,36E+08	-56,27	-92,25	35,98	7,10E+08	-29,45	-63,99	34,54
1,37E+08	-55,96	-89,05	33,09	7,15E+08	-26,39	-61,45	35,06
1,38E+08	-55,78	-83,83	28,05	7,20E+08	-25,62	-59,94	34,32
1,39E+08	-55,89	-80,62	24,73	7,25E+08	-24,77	-59,61	34,84
1,40E+08	-56,09	-79,94	23,85	7,30E+08	-24,96	-59,96	35,00
1,41E+08	-56,86	-82,75	25,89	7,35E+08	-25,14	-59,22	34,08

1,42E+08	-58,62	-85,15	26,53	7,40E+08	-24,23	-59,05	34,82
1,43E+08	-61,29	-79,73	18,44	7,45E+08	-23,54	-59,00	35,46
1,44E+08	-64,42	-74,48	10,06	7,50E+08	-24,16	-59,38	35,22
1,45E+08	-67,01	-70,23	3,22	7,55E+08	-26,10	-59,85	33,75
1,46E+08	-68,14	-67,78	-0,36	7,60E+08	-25,52	-60,10	34,58
1,47E+08	-66,35	-66,65	0,30	7,65E+08	-24,44	-60,32	35,88
1,48E+08	-63,26	-65,87	2,61	7,70E+08	-24,92	-61,36	36,44
1,49E+08	-60,09	-65,27	5,18	7,75E+08	-27,16	-62,32	35,16
1,50E+08	-58,92	-65,31	6,39	7,80E+08	-25,34	-61,80	36,46
1,51E+08	-58,72	-66,79	8,07	7,85E+08	-25,24	-59,91	34,67
1,52E+08	-58,34	-69,23	10,89	7,90E+08	-24,37	-61,30	36,93
1,53E+08	-58,25	-73,50	15,25	7,95E+08	-26,44	-63,66	37,22
1,54E+08	-58,62	-80,60	21,98	8,00E+08	-27,09	-62,85	35,76
1,55E+08	-60,00	-87,99	27,99	8,05E+08	-27,00	-64,50	37,50
1,56E+08	-60,72	-78,15	17,43	8,10E+08	-26,15	-65,59	39,44
1,57E+08	-61,97	-72,31	10,34	8,15E+08	-26,93	-64,11	37,18
1,58E+08	-65,40	-68,38	2,98	8,20E+08	-28,42	-64,59	36,17
1,59E+08	-70,85	-65,78	-5,07	8,25E+08	-26,17	-66,89	40,72
1,60E+08	-81,06	-63,92	-17,14	8,30E+08	-25,91	-72,06	46,15
1,61E+08	-73,29	-62,65	-10,64	8,35E+08	-26,62	-72,05	45,43
1,62E+08	-67,25	-62,22	-5,03	8,40E+08	-27,14	-70,39	43,25
1,63E+08	-64,56	-62,32	-2,24	8,45E+08	-25,95	-72,10	46,15
1,64E+08	-61,45	-62,69	1,24	8,50E+08	-30,09	-71,64	41,55
1,65E+08	-60,30	-63,84	3,54	8,55E+08	-32,29	-75,67	43,38
1,66E+08	-60,71	-66,20	5,49	8,60E+08	-29,50	-76,51	47,01
1,67E+08	-61,46	-69,32	7,86	8,65E+08	-26,67	-70,77	44,10
1,68E+08	-62,46	-72,00	9,54	8,70E+08	-25,62	-76,20	50,58
1,69E+08	-64,30	-75,40	11,10	8,75E+08	-26,51	-68,97	42,46
1,70E+08	-67,82	-78,69	10,87	8,80E+08	-25,85	-67,95	42,10
1,71E+08	-73,28	-79,52	6,24	8,85E+08	-26,73	-70,38	43,65
1,72E+08	-72,83	-76,89	4,06	8,90E+08	-26,35	-71,99	45,64
1,73E+08	-65,32	-74,31	8,99	8,95E+08	-27,34	-68,65	41,31
1,74E+08	-60,87	-72,85	11,98	9,00E+08	-26,88	-67,08	40,20
1,75E+08	-57,98	-72,58	14,60	9,05E+08	-25,97	-70,36	44,39
1,76E+08	-55,76	-72,58	16,82	9,10E+08	-26,14	-71,97	45,83
1,77E+08	-54,30	-72,72	18,42	9,15E+08	-26,99	-68,17	41,18
1,78E+08	-53,45	-72,87	19,42	9,20E+08	-29,25	-67,49	38,24
1,79E+08	-52,94	-73,18	20,24	9,25E+08	-27,42	-71,25	43,83
1,80E+08	-52,32	-72,69	20,37	9,30E+08	-27,43	-70,45	43,02
1,81E+08	-51,82	-71,23	19,41	9,35E+08	-26,97	-70,17	43,20
1,82E+08	-51,97	-70,56	18,59	9,40E+08	-27,52	-70,49	42,97

1,83E+08	-52,36	-70,19	17,83	9,45E+08	-28,91	-72,42	43,51
1,84E+08	-52,73	-70,16	17,43	9,50E+08	-30,16	-70,57	40,41
1,85E+08	-53,57	-71,40	17,83	9,55E+08	-30,67	-68,91	38,24
1,86E+08	-54,76	-74,39	19,63	9,60E+08	-30,87	-71,21	40,34
1,87E+08	-55,76	-81,69	25,93	9,65E+08	-28,94	-75,13	46,19
1,88E+08	-57,00	-85,45	28,45	9,70E+08	-30,26	-75,03	44,77
1,89E+08	-59,45	-74,45	15,00	9,75E+08	-33,32	-73,29	39,97
1,90E+08	-63,41	-71,29	7,88	9,80E+08	-32,60	-72,22	39,62
1,91E+08	-68,27	-70,04	1,77	9,85E+08	-32,91	-73,25	40,34
1,92E+08	-70,60	-68,71	-1,89	9,90E+08	-30,91	-75,36	44,45
1,93E+08	-67,16	-67,87	0,71	9,95E+08	-30,83	-73,31	42,48
1,94E+08	-64,62	-68,72	4,10	1,00E+09	-28,94	-75,11	46,17
1,95E+08	-62,82	-70,29	7,47				

10.6. Efectividad del Blindaje: Polarización Vertical

Frec.	Pot. Ref	Pot.	SE	Frec.	Pot. Ref	Pot.	SE
3,00E+07	-53,78	-60,77	6,99	1,96E+08	-57,63	-80,28	22,65
3,10E+07	-54,72	-62,99	8,27	1,97E+08	-56,91	-81,27	24,36
3,20E+07	-55,22	-66,06	10,84	1,98E+08	-56,77	-74,03	17,26
3,30E+07	-55,56	-68,39	12,83	1,99E+08	-56,39	-70,04	13,65
3,40E+07	-54,13	-68,05	13,92	2,00E+08	-14,4	-50,23	35,83
3,50E+07	-53,07	-72,96	19,89	2,05E+08	-14,66	-48,7	34,04
3,60E+07	-53,98	-75,2	21,22	2,10E+08	-17,28	-48,85	31,57
3,70E+07	-55,74	-69,23	13,49	2,15E+08	-15,69	-48,37	32,68
3,80E+07	-57,95	-67,8	9,85	2,20E+08	-12,61	-49,13	36,52
3,90E+07	-60,39	-70,64	10,25	2,25E+08	-11,25	-48,36	37,11
4,00E+07	-62,48	-75,34	12,86	2,30E+08	-12,01	-48,7	36,69
4,10E+07	-63,49	-73,14	9,65	2,35E+08	-11,87	-49,11	37,24
4,20E+07	-62,87	-70,84	7,97	2,40E+08	-13,43	-51,75	38,32
4,30E+07	-61,07	-75,18	14,11	2,45E+08	-13,61	-50,63	37,02
4,40E+07	-59,08	-81,73	22,65	2,50E+08	-13,18	-52,48	39,3
4,50E+07	-57,47	-73,97	16,5	2,55E+08	-12,11	-55,16	43,05
4,60E+07	-56,26	-72,75	16,49	2,60E+08	-12,52	-51,84	39,32
4,70E+07	-55,04	-72,74	17,7	2,65E+08	-12	-52,5	40,5
4,80E+07	-54,34	-73,58	19,24	2,70E+08	-13,94	-54,64	40,7
4,90E+07	-55,22	-71,77	16,55	2,75E+08	-14,97	-55,41	40,44
5,00E+07	-56,17	-69,53	13,36	2,80E+08	-15,5	-57,02	41,52
5,10E+07	-56,36	-68,85	12,49	2,85E+08	-15,11	-56,75	41,64
5,20E+07	-57,14	-70,77	13,63	2,90E+08	-13,69	-55,64	41,95
5,30E+07	-58,1	-72,21	14,11	2,95E+08	-13,81	-56,25	42,44

5,40E+07	-59,42	-72,5	13,08	3,00E+08	-13,36	-55,98	42,62
5,50E+07	-48,8	-71,76	22,96	3,05E+08	-12,25	-59,71	47,46
5,60E+07	-60,73	-70,37	9,64	3,10E+08	-10,99	-57,26	46,27
5,70E+07	-62,34	-68,14	5,8	3,15E+08	-11,27	-55,84	44,57
5,80E+07	-65,15	-65,37	0,22	3,20E+08	-12,18	-55,79	43,61
5,90E+07	-60,48	-64,7	4,22	3,25E+08	-12,29	-57,42	45,13
6,00E+07	-61,48	-66,68	5,2	3,30E+08	-13,01	-60,94	47,93
6,10E+07	-58,9	-70,11	11,21	3,35E+08	-14,27	-62,68	48,41
6,20E+07	-57,64	-71,27	13,63	3,40E+08	-15,07	-62,93	47,86
6,30E+07	-56,58	-69,16	12,58	3,45E+08	-14,16	-61,73	47,57
6,40E+07	-55,9	-66,28	10,38	3,50E+08	-14,32	-60,73	46,41
6,50E+07	-55,6	-64,9	9,3	3,55E+08	-14,48	-60,7	46,22
6,60E+07	-55,29	-64,42	9,13	3,60E+08	-15,49	-61,83	46,34
6,70E+07	-55,15	-63,81	8,66	3,65E+08	-16,98	-64,41	47,43
6,80E+07	-55,56	-61,66	6,1	3,70E+08	-18,51	-68,57	50,06
6,90E+07	-56,34	-60,09	3,75	3,75E+08	-19,43	-67,32	47,89
7,00E+07	-57,16	-60,25	3,09	3,80E+08	-19,55	-65,32	45,77
7,10E+07	-58,07	-61,07	3	3,85E+08	-20,67	-63,16	42,49
7,20E+07	-59,21	-61,8	2,59	3,90E+08	-20,67	-62,85	42,18
7,30E+07	-60,73	-63,37	2,64	3,95E+08	-18,22	-65,68	47,46
7,40E+07	-62,73	-66,21	3,48	4,00E+08	-15,76	-64,89	49,13
7,50E+07	-65,36	-71,33	5,97	4,05E+08	-16,26	-65,16	48,9
7,60E+07	-67,82	-75,25	7,43	4,10E+08	-17,01	-65,8	48,79
7,70E+07	-67,07	-71,37	4,3	4,15E+08	-16,75	-64,22	47,47
7,80E+07	-63,88	-67,87	3,99	4,20E+08	-16,9	-64,75	47,85
7,90E+07	-60,28	-64,85	4,57	4,25E+08	-19,27	-66,35	47,08
8,00E+07	-57,71	-63,15	5,44	4,30E+08	-20,91	-69,29	48,38
8,10E+07	-55,72	-63,12	7,4	4,35E+08	-18,54	-69,66	51,12
8,20E+07	-53,88	-64,29	10,41	4,40E+08	-15,99	-69,71	53,72
8,30E+07	-52,4	-65,73	13,33	4,45E+08	-16,31	-67,41	51,1
8,40E+07	-51,6	-65,88	14,28	4,50E+08	-16,76	-66,09	49,33
8,50E+07	-50,74	-64,95	14,21	4,55E+08	-18,14	-66,89	48,75
8,60E+07	-49,64	-64,27	14,63	4,60E+08	-18,69	-67,67	48,98
8,70E+07	-49,3	-64,85	15,55	4,65E+08	-17,45	-67,38	49,93
8,80E+07	-50,01	-67,26	17,25	4,70E+08	-16,53	-67,07	50,54
8,90E+07	-50,85	-70,79	19,94	4,75E+08	-16,38	-69,59	53,21
9,00E+07	-51,01	-75,74	24,73	4,80E+08	-17,3	-70,73	53,43
9,10E+07	-51,52	-79,89	28,37	4,85E+08	-18,17	-68,24	50,07
9,20E+07	-53,15	-75,34	22,19	4,90E+08	-18,25	-68,16	49,91
9,30E+07	-55,41	-71,8	16,39	4,95E+08	-19,59	-69,5	49,91
9,40E+07	-57,9	-70,07	12,17	5,00E+08	-20,46	-69,61	49,15

9,50E+07	-60,77	-69,08	8,31	5,05E+08	-20,04	-73,86	53,82
9,60E+07	-62,58	-69,05	6,47	5,10E+08	-20,19	-72,32	52,13
9,70E+07	-61,19	-70,06	8,87	5,15E+08	-21	-74,23	53,23
9,80E+07	-59,46	-72,12	12,66	5,20E+08	-20,51	-69,61	49,1
9,90E+07	-58,08	-74,4	16,32	5,25E+08	-20,46	-69,15	48,69
1,00E+08	-56,94	-76,02	19,08	5,30E+08	-20,24	-70,32	50,08
1,01E+08	-55,67	-79,05	23,38	5,35E+08	-20,08	-75,01	54,93
1,02E+08	-54,03	-90,87	36,84	5,40E+08	-21,42	-75,01	53,59
1,03E+08	-52,9	-77,23	24,33	5,45E+08	-21,2	-72,51	51,31
1,04E+08	-52,45	-69,54	17,09	5,50E+08	-21,79	-74,11	52,32
1,05E+08	-51,96	-66,27	14,31	5,55E+08	-23,7	-82,94	59,24
1,06E+08	-51,7	-64,46	12,76	5,60E+08	-23,4	-80,32	56,92
1,07E+08	-52,1	-64,18	12,08	5,65E+08	-23,22	-75,42	52,2
1,08E+08	-52,8	-64,94	12,14	5,70E+08	-27,46	-78,09	50,63
1,09E+08	-53,52	-66,45	12,93	5,75E+08	-30,12	-85,69	55,57
1,10E+08	-54,21	-69,22	15,01	5,80E+08	-26,03	-93,49	67,46
1,11E+08	-55,45	-74,04	18,59	5,85E+08	-20,98	-78,6	57,62
1,12E+08	-57,33	-84,74	27,41	5,90E+08	-19,7	-75,63	55,93
1,13E+08	-59,09	-83,85	24,76	5,95E+08	-20,09	-77,32	57,23
1,14E+08	-59,98	-83,82	23,84	6,00E+08	-20,59	-81,41	60,82
1,15E+08	-59,63	-93,59	33,96	6,05E+08	-22,26	-79,47	57,21
1,16E+08	-58,12	-84,29	26,17	6,10E+08	-24,16	-76,93	52,77
1,17E+08	-56,21	-76,9	20,69	6,15E+08	-21,67	-76,22	54,55
1,18E+08	-54,97	-72,76	17,79	6,20E+08	-20,59	-79,81	59,22
1,19E+08	-53,88	-70,92	17,04	6,25E+08	-20,77	-81,33	60,56
1,20E+08	-52,95	-70,19	17,24	6,30E+08	-20,56	-80,56	60
1,21E+08	-51,47	-70,19	18,72	6,35E+08	-20,11	-78,53	58,42
1,22E+08	-50,75	-71,12	20,37	6,40E+08	-19,62	-79,85	60,23
1,23E+08	-50,75	-71,47	20,72	6,45E+08	-20,19	-81,01	60,82
1,24E+08	-50,77	-70,2	19,43	6,50E+08	-21,31	-79,59	58,28
1,25E+08	-50,74	-67,94	17,2	6,55E+08	-22,39	-78,86	56,47
1,26E+08	-51,05	-67,13	16,08	6,60E+08	-22,34	-79,99	57,65
1,27E+08	-51,73	-66,72	14,99	6,65E+08	-23,35	-77,32	53,97
1,28E+08	-52,19	-66,64	14,45	6,70E+08	-24,88	-79,73	54,85
1,29E+08	-52,42	-66,66	14,24	6,75E+08	-26,07	-78,96	52,89
1,30E+08	-52,95	-66,98	14,03	6,80E+08	-26,15	-78,69	52,54
1,31E+08	-53,51	-67,9	14,39	6,85E+08	-27,49	-78,03	50,54
1,32E+08	-53,51	-69,98	16,47	6,90E+08	-28,95	-80,26	51,31
1,33E+08	-53,03	-72,64	19,61	6,95E+08	-30,7	-86,3	55,6
1,34E+08	-52,64	-79,04	26,4	7,00E+08	-33,78	-86,82	53,04
1,35E+08	-52,86	-90,99	38,13	7,05E+08	-34,87	-87,15	52,28

1,36E+08	-53,02	-82,11	29,09	7,10E+08	-32,19	-86,63	54,44
1,37E+08	-53,31	-80,27	26,96	7,15E+08	-29,37	-85,31	55,94
1,38E+08	-53,13	-80,34	27,21	7,20E+08	-28,22	-80,58	52,36
1,39E+08	-53,24	-80,36	27,12	7,25E+08	-25,16	-82,53	57,37
1,40E+08	-53,26	-79,98	26,72	7,30E+08	-24,15	-79,64	55,49
1,41E+08	-53,9	-77,28	23,38	7,35E+08	-22,95	-83,15	60,2
1,42E+08	-55,39	-74,38	18,99	7,40E+08	-23,45	-89,16	65,71
1,43E+08	-57,18	-72,31	15,13	7,45E+08	-23,89	-90,58	66,69
1,44E+08	-59,16	-70,55	11,39	7,50E+08	-23,9	-87,02	63,12
1,45E+08	-61,08	-68,57	7,49	7,55E+08	-23,88	-86,15	62,27
1,46E+08	-65,04	-68,01	2,97	7,60E+08	-24,06	-85,88	61,82
1,47E+08	-66,95	-68,01	1,06	7,65E+08	-23,82	-82,75	58,93
1,48E+08	-67,39	-67,8	0,41	7,70E+08	-24,34	-82,88	58,54
1,49E+08	-63,62	-67,19	3,57	7,75E+08	-25,38	-82,17	56,79
1,50E+08	-60,86	-67,17	6,31	7,80E+08	-25,23	-85,94	60,71
1,51E+08	-59,41	-67,88	8,47	7,85E+08	-25,38	-82,03	56,65
1,52E+08	-58,32	-69,04	10,72	7,90E+08	-24,88	-81,85	56,97
1,53E+08	-57,38	-70,85	13,47	7,95E+08	-23,05	-81,84	58,79
1,54E+08	-57,35	-73,68	16,33	8,00E+08	-23,66	-85,26	61,6
1,55E+08	-57,69	-79,79	22,1	8,05E+08	-24,66	-83,91	59,25
1,56E+08	-57,67	-83,21	25,54	8,10E+08	-25,76	-83,94	58,18
1,57E+08	-57,76	-72,97	15,21	8,15E+08	-25,99	-83,13	57,14
1,58E+08	-58,82	-67,83	9,01	8,20E+08	-25,63	-87,05	61,42
1,59E+08	-60,64	-64,77	4,13	8,25E+08	-26,33	-95,07	68,74
1,60E+08	-62,66	-63,27	0,61	8,30E+08	-26,56	-87,55	60,99
1,61E+08	-63,88	-62,33	-1,55	8,35E+08	-26,93	-84,39	57,46
1,62E+08	-63,93	-62,31	-1,62	8,40E+08	-28,55	-86,92	58,37
1,63E+08	-63,34	-62,71	-0,63	8,45E+08	-29,3	-85,53	56,23
1,64E+08	-62,84	-63,56	0,72	8,50E+08	-30,74	-86,52	55,78
1,65E+08	-63,29	-65,31	2,02	8,55E+08	-30,71	-91,53	60,82
1,66E+08	-64,74	-68,25	3,51	8,60E+08	-29,5	-89,66	60,16
1,67E+08	-66	-71,23	5,23	8,65E+08	-27,59	-89,48	61,89
1,68E+08	-67,44	-72,05	4,61	8,70E+08	-27,8	-86,07	58,27
1,69E+08	-69,73	-71,87	2,14	8,75E+08	-28,23	-83,76	55,53
1,70E+08	-71,96	-72,79	0,83	8,80E+08	-28,83	-86,5	57,67
1,71E+08	-70,42	-74,7	4,28	8,85E+08	-28,02	-89,97	61,95
1,72E+08	-66,08	-76,3	10,22	8,90E+08	-29,05	-84,92	55,87
1,73E+08	-62,62	-78,3	15,68	8,95E+08	-28,98	-85,47	56,49
1,74E+08	-60,34	-82,61	22,27	9,00E+08	-29,95	-92,04	62,09
1,75E+08	-58,85	-85,42	26,57	9,05E+08	-28,97	-96,87	67,9
1,76E+08	-57,23	-82,23	25	9,10E+08	-27,92	-90,06	62,14

1,77E+08	-55,8	-78,48	22,68	9,15E+08	-28,39	-87,51	59,12
1,78E+08	-55,15	-75,89	20,74	9,20E+08	-28,72	-89,34	60,62
1,79E+08	-55,01	-74,29	19,28	9,25E+08	-29,14	-87,24	58,1
1,80E+08	-54,78	-72,92	18,14	9,30E+08	-29,38	-85,89	56,51
1,81E+08	-54,56	-71,6	17,04	9,35E+08	-29,54	-94,43	64,89
1,82E+08	-54,91	-71,48	16,57	9,40E+08	-29,46	-97,83	68,37
1,83E+08	-55,28	-72,25	16,97	9,45E+08	-28,65	-95,67	67,02
1,84E+08	-55,69	-74,02	18,33	9,50E+08	-28,92	-91,14	62,22
1,85E+08	-56,51	-78,83	22,32	9,55E+08	-29,73	-98,9	69,17
1,86E+08	-58,02	-89,88	31,86	9,60E+08	-31,14	-96,58	65,44
1,87E+08	-59,22	-76,8	17,58	9,65E+08	-31,12	-90,24	59,12
1,88E+08	-60,45	-70,78	10,33	9,70E+08	-31,83	-93,67	61,84
1,89E+08	-62,43	-67,83	5,4	9,75E+08	-33,11	-97,98	64,87
1,90E+08	-64,21	-67,26	3,05	9,80E+08	-32,71	-99,52	66,81
1,91E+08	-64,47	-67,4	2,93	9,85E+08	-31,3	-93,79	62,49
1,92E+08	-62,99	-67,31	4,32	9,90E+08	-31,81	-90,16	58,35
1,93E+08	-60,71	-67,69	6,98	9,95E+08	-31,68	-92,98	61,3
1,94E+08	-59,48	-69,99	10,51	1,00E+09	-31,29	-98,66	67,37
1,95E+08	-58,77	-73,6	14,83				