



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADA CON COMPUESTOS FERRÍTICOS

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN INGENIERÍA MECÁNICA

CHUQUIMARCA QUINCHIMBLA LISBETH ALEXANDRA
lisbeth.chuquimarca@epn.edu.ec

MIRANDA CASTELLANOS RONNY ANDRÉS
ronny.miranda@epn.edu.ec

DIRECTOR: CARLOS WIME DÍAZ CAMPOVERDE
carlos.diaz@epn.edu.ec

CODIRECTOR: CARLOS ORLANDO ROMO HERRERA
carlos.romo@epn.edu.ec

Quito, mayo 2020

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **LISBETH ALEXANDRA CHUQUIMARCA QUINCHIMBLA** y **RONNY ANDRÉS MIRANDA CASTELLANOS**, bajo mi supervisión.

Ing. Carlos Wime Díaz Campoverde

DIRECTOR DE PROYECTO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **LISBETH ALEXANDRA CHUQUIMARCA QUINCHIMBLA** y **RONNY ANDRÉS MIRANDA CASTELLANOS**, bajo mi supervisión.

Ing. Carlos Orlando Romo Herrera, MSc.

CODIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros, **Lisbeth Alexandra Chuquimarca Quinchimbla** y **Ronny Andrés Miranda Castellanos**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Lisbeth Alexandra Chuquimarca Quinchimbla

Ronny Andrés Miranda Castellanos

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, a mis padres y hermano, quienes siempre me han apoyado y con su esfuerzo he logrado cumplir una meta más en mi vida. En especial agradezco a mi madre María, quien siempre me dio su apoyo incondicional, con paciencia y amor me enseñó que con esfuerzo todo se puede lograr si uno se propone, gracias por los valores y enseñanzas inculcadas en el transcurso de mi vida personal y profesional, te debo lo que soy madre.

A mi hermano Steven quien estuvo conmigo en los momentos felices y difíciles, que me supo comprender y brindar su apoyo y compañía, ayudándome a sobrellevar de la mejor manera esta etapa de mi vida, te quiero pequeño.

A ti amor, gracias por tu paciencia, consejos, enseñanzas, apoyo, por no dejarme caer y darme fuerzas para seguir adelante a pesar de todas las circunstancias.

Lisbeth Chuquimarca

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a todas las personas que son parte importante en mi vida, ya que gracias a ellos y por el apoyo que me brindaron este trabajo salió adelante, en especial a mi mami, a mi papi y a mis hermanos que siempre estarán ahí para brindarme su apoyo, y a mis amigos con los cuales siempre contaré.

De verdad gracias por todo.

Andrés Miranda

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haber sido mi guía y fortaleza en todo momento de mi vida, personal y profesional. A mis padres, su apoyo y confianza me permitió culminar mis estudios, todo su esfuerzo se ve reflejado ahora. De manera especial a mi madre, quien me supo escuchar, comprender, entender y enseñar que, se debe superar los miedos para alcanzar las metas.

A mi hermano, Steven gracias por ser esa persona que siempre está conmigo en todas las circunstancias de la vida, a pesar de todo lo que hemos pasado, apoyándonos mutuamente hemos salido adelante como un equipo. Eres la mayor fortaleza y alegría de mi vida, te quiero pequeño y te deseo lo mejor en tu vida personal y profesional.

Luciano, amor gracias por todo tu apoyo, paciencia, comprensión, haladas de oreja, consejos, forma de ayudarme a sobrellevar las cosas, por enseñarme que a pesar de que la vida te ponga obstáculos siempre hay una salida y una solución, por todos los momentos compartidos como mi mejor amigo y mi compañero de vida.

Mishu, eres la hermana de vida con la que he aprendido y he compartido grandes momentos, formas una parte fundamental de mi vida, con tus ocurrencias siempre me sacas una sonrisa, te quiero.

Al Ing. Carlos Díaz, por enriquecer con sus conocimientos, sugerencias y aportaciones en el desarrollo de éste proyecto, gracias por su tiempo, confianza y apoyo en todo momento como Director de tesis.

A las personas que Dios puso en mi camino y con las que he compartido gratos momentos, Luis, Jean, Anita, Jesse, Marianita, Dianita, Ing. Narcisa, Ing. Chris, Ing. Miguel, Ing. Ricky y Vicky, Ing. Daniel, Ing. Hugo, Ing. Marquito, gracias por su amistad y apoyo incondicional.

Lisbeth Chuquimarca

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que estuvieron a mi lado y siempre me brindaron su apoyo incondicional, a mis padres y hermanos los cuales siempre estuvieron a mi lado y ayudándome en lo que más podían y lo más importante siempre estuvieron ahí cuando los necesitaba, a mis amigos con los cuales formé más que una amistad una hermandad gracias por todos los momentos que compartimos, ojalá que sean muchos más.

Sin más que decir un gracias no es suficiente más bien un Dios les pague por todo y les dé mucho más.

Andrés Miranda

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	i
DECLARACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
Pregunta de Investigación.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
1. MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Hierro.....	4
1.1.1. Diagrama Hierro- Carbono (Fe-C).....	4
1.1.2. Ferrita.....	6
1.2. Materiales compuestos.....	6
1.2.1. Componentes de los materiales compuestos.....	7
1.2.1.1. Matriz.....	7
1.2.1.2. Material de refuerzo.....	8
1.2.1.3. La interfaz.....	9
1.2.2. Tipos de refuerzos empleados en los materiales compuestos.....	10
1.2.3. Propiedades mecánicas de los materiales compuestos.....	11
1.2.4. Métodos de fabricación.....	11
1.2.4.1. Moldeo por compresión.....	12
1.2.5. Caracterización de materiales compuestos.....	13
1.3. Ondas Electromagnéticas.....	14
1.3.1. Propiedades de las ondas electromagnéticas.....	15
1.4. Interferencia Electromagnética.....	17
1.5. Equipos Móviles.....	18
1.6. Ondas electromagnéticas emitidas por las redes de telefonía móvil.....	19
1.6.1. Funcionamiento de las redes inalámbricas de los sistemas de transmisión móvil.....	21

1.7.	Equipos utilizados para la absorción de energía electromagnética	23
1.7.1.	Jaulas de Faraday	23
1.7.2.	Cámaras anecoicas	24
1.8.	Medición de radiaciones electromagnéticas.....	24
1.8.1.	Medición señal uplink	25
1.8.1.1.	Analizador de espectro.....	25
1.8.1.2.	Medidor de Radiación Selectiva SRM-3006	25
1.8.2.	Medición señal downlink.....	27
2.	METODOLOGÍA.....	28
2.1.	Obtención de las probetas de material compuesto de matriz polimérica con refuerzo ferrítico para la caracterización mecánica	28
2.2.	Obtención de las cajas de blindaje del material compuesto de matriz polimérica con refuerzo ferrítico	29
2.3.	Medición de ondas electromagnéticas	29
2.4.	Elaboración del material compuesto	30
2.4.1.	Elaboración de las probetas	30
2.4.1.1.	Caracterización mecánica de la matriz y del material compuesto.....	35
2.5.	Elaboración de las cajas de blindaje	36
2.6.	Consideraciones previas a la medición de ondas electromagnéticas.....	38
2.7.	Medición de ondas electromagnéticas	40
2.7.1.	Procedimiento utilizado para la medición de ondas electromagnéticas.....	41
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
3.1.	Distribución del material de refuerzo dentro de la matriz	44
3.2.	Ensayo de tracción.	45
3.3.	Ensayo de flexión.	48
3.4.	Ensayo de densidad	51
3.5.	Análisis de la atenuación de las ondas electromagnéticas utilizando el material compuesto	52
3.5.1.	Mediciones en el Laboratorio de Termodinámica de la EPN, Hospital Militar y C.C. Recreo.....	53
3.5.2.	Resumen de los porcentajes de atenuación obtenidos en el Laboratorio de Termodinámica de la EPN, Hospital Militar y C.C.Recreo, para la operadora Otecel y Conecel.....	68
3.6	Discusión de resultados.....	74
4.	CONCLUSIONES.....	80
5.	Recomendación.....	81

6.	Referencias Bibliográficas	82
7.	Anexos	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama Fe-C.....	5
Figura 1.2 Estructura interna de la ferrita.....	6
Figura 1.3 Componentes de un material compuesto	7
Figura 1.4 Matriz con refuerzo particulado.....	9
Figura 1.5 Componentes del material compuesto.	9
Figura 1.6 Micrografía electrónica del níquel TD dispersas de ThO ₂ , con partículas de 300nm.....	10
Figura 1.7 Micrografía electrónica del níquel TD dispersas de ThO ₂ , con partículas de diámetro de 200nm.....	10
Figura 1.8 Refuerzo de fibras (de izquierda a derecha): alambres, fibras y whiskers (bigotes).	11
Figura 1.9 Método de moldeo por compresión aplicando calor.	12
Figura 1.10 Descripción del método de moldeo por compresión.....	13
Figura 1.11 Forma de propagación de la onda electromagnética	14
Figura 1.12 Disminución de la onda electromagnética debido a la atenuación de un medio material	15
Figura 1.13 Esquema de las reflexiones y transmisiones generadas en un medio material.....	16
Figura 1.14 Representación gráfica de los dos tipos de interferencia: a) Interferencia constructiva, b) Interferencia destructiva.....	17
Figura 1.15 Elementos que intervienen en la EMI	18
Figura 1.16 Señal afectada por la EMI.....	18
Figura 1.17 Distribución de canales en cada una de las celdas.....	19
Figura 1.18 Representación gráfica de la formación de lóbulos.....	20
Figura 1.19 Distribución de los elementos básicos de una red de servicio móvil.....	21
Figura 1.20 Conexión entre los equipos móviles.	23
Figura 1.21 Funcionamiento de la Jaula de Faraday	24
Figura 1.22 Cámara anecoica	24
Figura 1.23 Gráfico de la señal obtenida del Analizador de Espectro.	25
Figura 1.24 Medidor de Radiación Selectiva SRM- 3006.	26
Figura 1.25 Pantalla principal del software KAIBITS	27
Figura 2.1 Proceso experimental para la caracterización mecánica	28
Figura 2.2 Proceso experimental para la obtención de cajas de blindaje.....	29
Figura 2.3 Proceso para realizar la medición de ondas electromagnéticas	29
Figura 2.4 Materiales utilizados en la elaboración de la matriz polimérica.....	30
Figura 2.5 Partículas de ferrita tamizadas a 53 micrómetros	30
Figura 2.6 Baño ultrasónico de partículas de ferrita	32
Figura 2.7 a) Estireno con partículas de ferrita sonicadas, b) Mezcla final obtenida del material compuesto.....	33
Figura 2.8 a) Frotación de la cera desmoldante, b) Colocación del material polimérico	33
Figura 2.9 a) Proceso de prensado, b) Probetas desmoldadas	34
Figura 2.10 a) Proceso de pulida, b) Probetas pulidas	34
Figura 2.11 Máquina Universal para ensayos de tracción	35
Figura 2.12 Diagrama de carga- Procedimiento A.....	35
Figura 2.13 Máquina Universal para ensayos de flexión	36
Figura 2.14 Balanza para medir la densidad	36
Figura 2.15 a) Paredes previas al desmolde, b) Cajas de blindaje armadas.	37
Figura 2.16 Participación de mercado de las operadoras móviles en Ecuador.....	38
Figura 2.17 Modelo de propagación de la señal.....	39
Figura 2.18 Condiciones críticas para realizar las mediciones	40
Figura 2.19 Laboratorio de Termodinámica, EPN.....	41
Figura 2.20 Hospital Militar, sala de espera, planta baja	41
Figura 2.21 Centro Comercial "El Recreo", patio de comidas	41
Figura 3.1 Composición resina más ferrita (a) 1%, (b) 3%, (c) 5%.....	44
Figura 3.2 Localización de los modos de falla en ensayos de tracción	45

Figura 3.3 Relación entre la resistencia última a tracción vs %volumen de ferrita.....	47
Figura 3.4 Relación entre el módulo de elasticidad secante vs %volumen de ferrita.....	47
Figura 3.5 Diagrama esfuerzo-deformación estimado	48
Figura 3.6 Relación entre la resistencia última a flexión vs %volumen de ferrita	50
Figura 3.7 Relación entre el módulo elástico a flexión vs %volumen de ferrita.....	50
Figura 3.8 Relación entre la densidad relativa vs % ferrita.....	52
Figura 3.9 Valores de potencia obtenidos en el ambiente y con la caja de blindaje al 1%.	56
Figura 3.10 Valores de potencia obtenidos en el ambiente y con la caja de blindaje al 1%. (Hospital Militar).....	57
Figura 3.11 Valores de potencia obtenidos en el ambiente y con la caja de blindaje al 1% (C.C.Recreo)	57
Figura 3.12 Porcentaje de atenuación obtenido en cada horario, de las dos operadoras analizadas.	70
Figura 3.13 Porcentajes de atenuación obtenidos en cada lugar de estudio (Concel)	73
Figura 3.14 Porcentajes de atenuación obtenidos en cada lugar de estudio (Otecel)	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características de las fases en un diagrama Fe-C.....	5
Tabla 1.2 Rango de frecuencias y rango de longitudes de onda.....	14
Tabla 1.3 Tipos de antenas de acuerdo al rango de frecuencias.....	26
Tabla 2.1 Dimensiones estandarizadas para el ensayo de tracción bajo la norma ASTM D3039-17.	31
Tabla 2.2 Dimensiones estandarizadas para el ensayo de flexión bajo la norma ASTM D7264-1531	
Tabla 2.3 Cantidades empleadas para la preparación de las probetas de tracción.....	31
Tabla 2.4 Cantidades empleadas para la preparación de las probetas de flexión.....	32
Tabla 2.5 Cantidades empleadas para la preparación de las paredes pequeñas.....	37
Tabla 2.6 Cantidades empleadas para la preparación de las paredes grandes.....	37
Tabla 2.7 Rango de frecuencia de acuerdo a cada operadora.....	38
Tabla 3.1 Códigos de falla para ensayos de tracción.....	46
Tabla 3.2 Resultados promedio obtenidos de los ensayos de tracción bajo la norma ASTM D3039	46
Tabla 3.3 Variación porcentual de las propiedades mecánicas a tracción.....	46
Tabla 3.4 Código de identificación de falla en probetas sometidas a ensayos de flexión.....	49
Tabla 3.5 Resultados promedio obtenidos de los ensayos de flexión de acuerdo a la ASTM D7264	49
Tabla 3.6 Porcentaje de incremento.....	49
Tabla 3.7 Valores promedios obtenidos del ensayo de densidad relativa según la norma ASTM D792-13.....	51
Tabla 3.8 Porcentaje de incremento de densidad relativa.....	52
Tabla 3.9 Condiciones a las cuales se realizaron las mediciones.....	54
Tabla 3.10 Valores de potencia obtenidos en dBm.....	54
Tabla 3.11 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 1%.....	60
Tabla 3.12 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 1%.....	60
Tabla 3.13 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 1%.....	60
Tabla 3.14 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 3%.....	61
Tabla 3.15 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 3%.....	61
Tabla 3.16 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 3%.....	62
Tabla 3.17 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 5%.....	63
Tabla 3.18 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 5%.....	63
Tabla 3.19 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 5%.....	63
Tabla 3.20 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 1%.....	64
Tabla 3.21 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 1%.....	64
Tabla 3.22 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 1%.....	65
Tabla 3.23 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 3%.....	66
Tabla 3.24 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 3%.....	66
Tabla 3.25 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 3%.....	66
Tabla 3.26 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 5%.....	67
Tabla 3.27 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 5%.....	67
Tabla 3.28 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 5%.....	67
Tabla 3.29 Porcentajes de atenuación obtenidos para cada composición volumétrica.....	68
Tabla 3.30 Porcentajes de atenuación obtenidos para cada composición volumétrica.....	69
Tabla 3.31 Porcentajes de atenuación obtenidos para cada composición volumétrica.....	70
Tabla 3.32 Porcentajes de atenuación obtenidos para cada composición volumétrica.....	70
Tabla 3.33 Porcentajes de atenuación obtenidos para cada composición volumétrica.....	71
Tabla 3.34 Porcentajes de atenuación obtenidos para cada composición volumétrica.....	71
Tabla 3.35 Porcentajes de atenuación promedio obtenidos para cada lugar de estudio.....	72
Tabla 3.36 Porcentajes de atenuación promedio obtenidos para cada lugar de estudio.....	72
Tabla 3.37. Comparación de resultados de la cantidad de atenuación obtenida frente a otros estudios.....	75

RESUMEN

El presente trabajo de titulación, propone la preparación y caracterización de un material compuesto de matriz polimérica con refuerzos ferríticos para ser utilizado como blindaje y reducir la cantidad de ondas electromagnéticas emitidas por celulares. Con este fin, se elaboró el material compuesto utilizando resina poliéster como matriz y partículas de ferrita como material de refuerzo. Las partículas de ferrita fueron previamente molidas y tamizadas, con el fin de reducir el tamaño de grano de las mismas, y para garantizar una buena dispersión de éstas dentro la matriz polimérica se empleó un proceso de sonicación, con lo que se evitó la sedimentación y formación de espacios vacíos durante la mezcla. Seguidamente, se elaboraron los materiales compuestos al 1%, 3% y 5% en volumen de concentración de ferrita, mediante el proceso de moldeo por compresión; para posteriormente caracterizarlos mecánicamente mediante ensayos de tracción, flexión y densidad relativa. Además, se realizaron pruebas mediante campos electromagnéticos considerando dos operadoras de celular con el fin de analizar la efectividad del blindaje. Se puede concluir que los resultados obtenidos muestran que las partículas de ferrita presentaron una buena dispersión dentro de la matriz, logrando una buena adhesión matriz-refuerzo, obteniendo un material aislante con propiedades mecánicas aceptables. Así también, los resultados de blindaje muestran que se obtuvo mayor atenuación con un material compuesto al 5% de refuerzo para las dos operadoras analizadas, lo que indica que, a mayor concentración de partículas en el compuesto, las ondas electromagnéticas tienen mayor dificultad de atravesar el material, obteniendo una mayor atenuación.

Palabras clave: atenuación, blindaje, refuerzos ferríticos, ondas electromagnéticas, sonicación

ABSTRACT

This document proposes the preparation and characterization of a polymer matrix composite material with ferritic reinforcement to be use as shielding in order to reduce the amount of electromagnetic waves emitted by cell phones. For this purpose, the composite material was prepared using polyester resin as matrix and ferrite particles as reinforcement. The ferrite particles were previously ground and sieved, in order to reduce their grain size, and also to guarantee their good dispersion within the polymer matrix a sonication process was used which aid to avoid sedimentation and void formation during mixing. Next, the 1%, 3% and 5% volume composite materials of ferrite were made by compression molding process; to be later characterized by tensile, flexural and relative density test. In addition, tests were performed using electromagnetic fields considering two cell operators in order to analyze the shielding effectiveness. It can be concluded that the results obtained reveal that the ferrite particles presented a good dispersion within the matrix, achieving good matrix-reinforcement adhesion, obtaining an insulating material with acceptable mechanical properties. Furthermore, the shielding results show that better effectiveness was obtained with a composite material at 5% reinforcement, therefore, the higher the concentration of particles in the compound, higher difficulty for the electromagnetic waves to cross the composite material, obtaining higher attenuation.

Keywords: attenuation, shielding, ferritic reinforcements, electromagnetic waves, sonication.

CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADA CON COMPUESTOS FERRÍTICOS

INTRODUCCIÓN

El progresivo y continuo desarrollo de la tecnología a partir del siglo XX ha conllevado a la tecnificación de los procesos de producción mediante la utilización de máquinas (de soldadura, corte múltiple, prensas digitales, etc.), motores, equipos de adquisición de datos, redes digitales y sistemas automatizados que han sido implementados en el sector industrial, así como el avance nanotecnológico de los dispositivos móviles (teléfonos inteligentes) y la evolución de las redes de comunicación móvil (2G, 3G y 4G) con altos rangos de frecuencia, que oscilan entre los 850 y 2100 MHz.

Sin embargo, la interacción y uso simultáneo de los equipos y dispositivos móviles de diferentes tecnologías en un mismo sitio de trabajo ha facilitado el incremento de la emisión de energía electromagnética, provocando el deterioro de componentes electrónicos, y circuitos electrónicos, pérdida de sensibilidad en la toma de datos, ruidos en las señales emitidas, errores en mediciones y reducción de la vida útil del equipo [1]. El tipo de afectación que sufre el equipo depende del tipo y cantidad de frecuencia al que se encuentre sometido, ante lo cual, se investiga y desarrolla métodos de blindaje electromagnético que reduzcan la Interferencia Electromagnética (EMI) generada por los dispositivos móviles y equipos eléctricos y electrónicos.

El presente proyecto realizó la preparación y caracterización de un material compuesto con refuerzos ferríticos como blindaje para reducir la cantidad de ondas electromagnéticas emitidas por los dispositivos móviles hacia el ambiente. Se conoce que los refuerzos ferríticos, al ser materiales conductores y/o magnéticos, son capaces de atenuar la propagación de las ondas electromagnéticas mediante la reducción de la señal por reflexión, absorción o dispersión de la onda, haciendo que el material compuesto funcione como una Jaula de Faraday [3].

Para la elaboración de las muestras del material compuesto se utilizó una matriz polimérica constituida por los siguientes componentes: resina poliéster insaturada (82%), estireno (16%), acelerador (octoato de cobalto) al 1% y un catalizador (mek) al 1%, y como material de refuerzo se utilizó partículas de ferrita obtenidas mediante el uso de un tamiz, las cuales se dispersan en la matriz termoestable variando su concentración en volumen (1%, 3% y

5%) mediante un proceso de sonicación. Las muestras obtenidas se someten a ensayos mecánicos de tracción, flexión y densidad, así como a mediciones de campos electromagnéticos que permiten determinar la atenuación electromagnética que se consigue utilizando el material compuesto elaborado con diferentes composiciones volumétricas.

Los resultados obtenidos muestran que al tener una mayor concentración de partículas de ferrita en la matriz, se obtuvo un material menos permisible, con propiedades mecánicas aceptables y propiedades eléctricas capaces de atenuar las ondas electromagnéticas emitidas por los sistemas móviles, obteniendo una efectividad de blindaje de 18 - 24 [dB].

Así también, se debe mencionar que se han realizado varias investigaciones sobre el uso de materiales conductores incorporados en un matriz polimérica, que mediante métodos de fabricación más óptimos han permitido la obtención de nuevos materiales compuestos con mayor efectividad de blindaje que el presentado en este estudio.

Pregunta de Investigación

¿De qué manera afecta la generación de ondas electromagnéticas emitidas por los dispositivos móviles al ambiente, y de qué manera se puede reducir este tipo de contaminación?

Objetivo general

Caracterizar un material compuesto de matriz polimérica con refuerzo ferrítico.

Objetivos específicos

- Obtener por medio del método de moldeo por compresión diversos tipos de probetas con diversas fracciones volumétricas de ferrita.
- Caracterizar mecánicamente las probetas del material compuesto y seleccionar la que presente mejores características aislantes.
- Someter al material compuesto a diversas cargas electromagnéticas y cuantificar la variación de la efectividad de blindaje.
- Comparar los resultados con estudios realizados y determinar la factibilidad de utilizar un material compuesto como blindaje frente a elementos como jaulas de Faraday.

1. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se realiza una revisión teórica sobre el material ferromagnético utilizado en este proyecto, materiales compuestos, materiales de refuerzo, y métodos de fabricación; de igual modo, se revisa conceptos sobre ondas electromagnéticas, interferencia electromagnética y equipos empleados para medir las radiaciones electromagnéticas emitidas por equipos electrónicos.

1.1. Hierro

El hierro es uno de los elementos más utilizados en el sector industrial debido a sus características y propiedades, entre las que se destaca que es un material magnético, dúctil y maleable, conductor de calor y electricidad. Generalmente en la industria se encuentra como una aleación, principalmente con carbono, mismo que mejora sus propiedades [6,7].

Dependiendo de la composición volumétrica, niveles de temperatura, composición porcentual que se encuentre el hierro y el carbono, se puede tener diversas fases con diferentes propiedades, las cuales se pueden determinar en un diagrama Fe-C [6].

1.1.1. Diagrama Hierro- Carbono (Fe-C)

El diagrama de fases Fe-C es un gráfico que permite identificar la microestructura de cada fase al formarse de las aleaciones Fe-C, en función de la temperatura y composición porcentual de carbono de 0,02%C hasta el 6,67%C; en donde, una fase es una porción de una aleación física o química la cual se diferencia por superficies de distinta orientación [7].

Las fases de equilibrio presentes en las aleaciones hierro-carbono son: Ferrita ($Fe \alpha$), , Austenita ($Fe \gamma$), Ferrita- δ ($Fe \delta$), Cementita (Fe_3C), Grafito. En la Figura 1.1. se observa la representación gráfica de las temperaturas de equilibrio y los límites de composición de cada fase en un sistema de aleaciones [7].

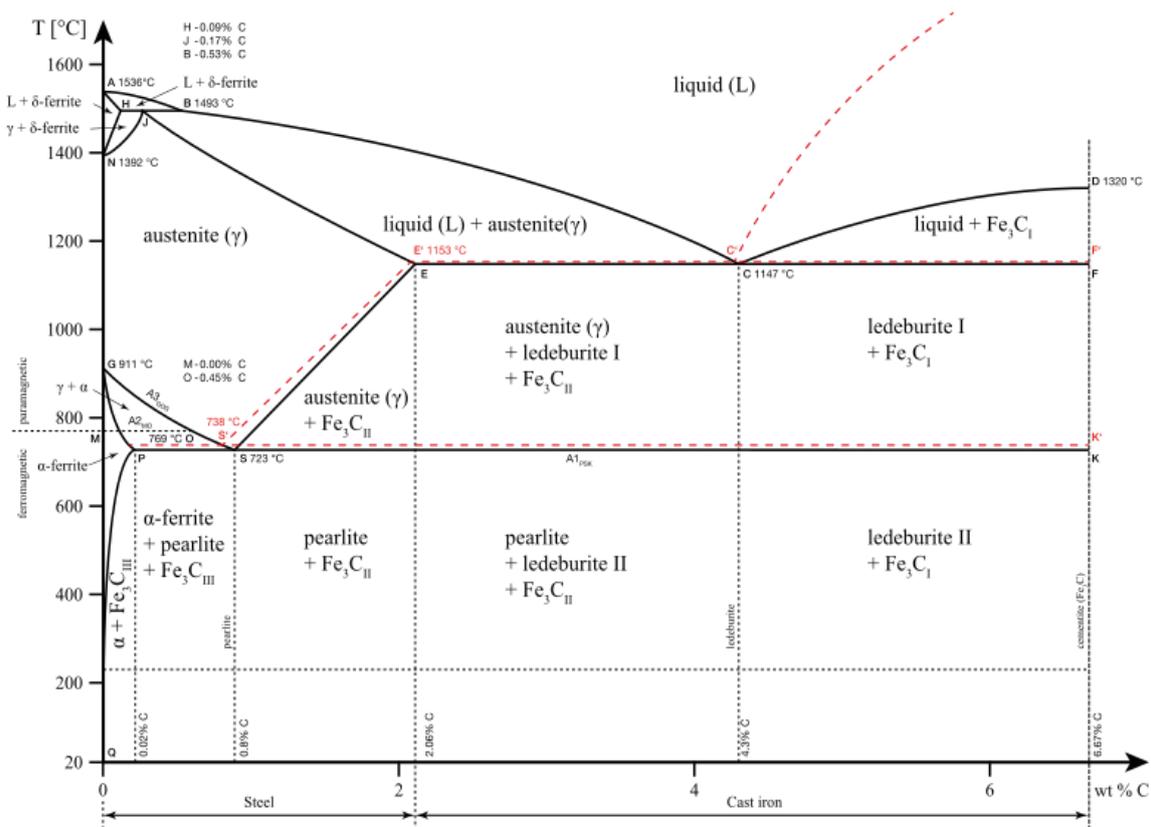


Figura 1.1 Diagrama Fe-C

(Fuente: [7])

La Tabla 1.1, describe brevemente las diferentes fases que contiene el diagrama Fe-C de acuerdo a la variación de temperatura y composición.

Tabla 1.1 Características de las fases en un diagrama Fe-C.

Fase	Temperatura	Composición	Estructura cristalina	Características
Ferrita (Fe α)	$T_{amb} - 769^{\circ}C$	0,008%C – 0,025%C	BCC	Equilibrio a baja temperatura, relativamente blanda
Ferrita- δ (Fe δ)	$1400^{\circ}C - 1538^{\circ}C$ (se funde)	0,007%C – 0,080%C	BCC	Equilibrio a alta temperatura con hierro α
Austenita (Fe γ)	$727^{\circ}C - 1492^{\circ}C$	0,830%C – 2,110%C	FCC	Equilibrio a temperatura media, relativamente blanda.
Cementita (Fe ₃ C)	$769^{\circ}C - 1148^{\circ}C$	0,830%C – 6,670%C	Ortorrónica	Fase metaestable, de alta dureza.
Grafito	$738^{\circ}C - 1135^{\circ}C$ (solidificación)	100%C	Hexagonal	Forma más estable del carbono.
Martensita	Max $727^{\circ}C$	Max 0,70%C	Red tetragonal	Se obtiene por enfriamiento muy rápido de los aceros de alta dureza
Bainita	$215^{\circ}C - 540^{\circ}C$	Mezcla de fases de ferrita y cementita	Forma de agujas o placas	Mezcla no laminar de ferrita y partículas alargadas de cementita

Fuente: [7]

1.1.2. Ferrita

La ferrita es una solución sólida de carbono en hierro α , es un material cerámico ferromagnético compuesto principalmente por hierro, boro y bario, a temperatura ambiente tiene una solubilidad de 0,008% de carbono, por esto se considera como hierro puro con un esfuerzo de 280 N/mm^2 . Este tipo de material es magnético por debajo de los 775°C y amagnético por encima de esa temperatura, presenta una dureza de 90 Brinell, 300MPa de carga de rotura y una resistencia a la tracción de 28 kg/mm^2 . Es menos dura que la austenita, por su menor contenido de carbono, pero más plástica [8].

La ferrita tiene una permeabilidad magnética alta, lo cual permite almacenar campos magnéticos. Se encuentra en forma de polvo, por lo que, al elaborar piezas con este material se obtienen elementos de gran resistencia y dureza mediante un proceso de sinterización, llegando a obtener piezas como núcleos de inductancia, transformadores, bobinas, imanes permanentes, elementos eléctricos y electrónicos, con níquel, zinc o magnesio, los cuales permiten contrarrestar las ondas electromagnéticas generadas en el campo, siendo también utilizado en las telecomunicaciones como una forma de atenuación de radiaciones electromagnéticas. En la Figura 1.2 se observa la microestructura interna de la ferrita.

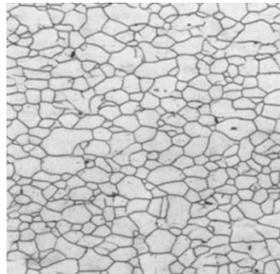


Figura 1.2 Estructura interna de la ferrita

(Fuente: [9])

Cabe mencionar que, los aceros al carbono sin alear, son materiales magnéticamente blandos, es decir, que pueden ser magnetizados siempre y cuando la fuente magnetizante no sea retirada de su entorno, caso contrario, pierden su magnetización.

1.2. Materiales compuestos

Un material compuesto se obtiene de la combinación macroscópica o microscópica de dos o más materiales de diferentes características, que poseen una interfaz claramente

diferenciable y separable, y que dan lugar a un material con mejores propiedades que la de sus constituyentes; y dependiendo de lo que se precise obtener se selecciona el mejor método de elaboración del mismo. El tipo de propiedades que se requieren mejorar dependen del objetivo de aplicación del material [11].

Un ejemplo claro y fácil de entendimiento, es en la industria automotriz, ya que se necesita un material ligero, rígido, resistente al impacto, así como, a la corrosión y al desgaste, propiedades que difícilmente se encuentran juntas en un tipo específico de material, debido a esto, resulta más conveniente la elaboración de un material compuesto que tenga las características mecánicas necesarias para esta aplicación [11, 13].

Los materiales compuestos están formados por dos componentes: una matriz continua y un refuerzo disperso sobre la matriz (Figura 1.3).

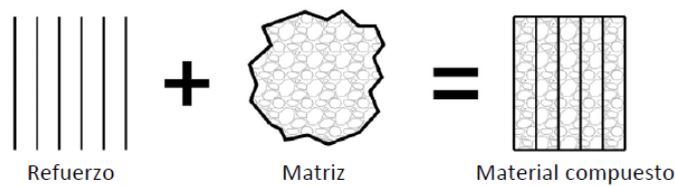


Figura 1.3 Componentes de un material compuesto

(Fuente: [17])

1.2.1. Componentes de los materiales compuestos

1.2.1.1. Matriz

La matriz constituye la fase continua que permite la impregnación del material de refuerzo, entre sus funciones principales se denota la distribución de los esfuerzos entre las fibras, definición de la forma geométrica de la pieza, definición de las propiedades físicas y químicas del material, transmisión de las cargas al refuerzo y protección del mismo. Además, la matriz da información de características como el acabado superficial del material y la capacidad para ser conformado a diversas geometrías, al igual que determina las propiedades físicas, químicas, eléctricas y mecánicas del compuesto. Así pues, ésta puede ser fabricada de resinas orgánicas, materiales metálicos o cerámicos, y generalmente presentan características de menor resistencia y rigidez que el refuerzo [17,18].

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó una matriz polimérica termoestable, debido a su baja densidad, fácil manipulación de conformado, buenas propiedades a temperatura ambiente y bajos costos de adquisición.

Los polímeros termoestables se caracterizan por tener enlaces múltiples entrecruzados en una estructura de red tridimensional [17]. Este tipo de material una vez que ha sido conformado, no puede ser modificado (remoldeado o ablandado), debido a su endurecimiento irreversible, el cual, modifica su estructura química y molecular con la presencia del calor, adquiriendo la forma deseada. A temperatura ambiente es duro y frágil, aunque al someterlo a temperaturas elevadas el polímero se descompone químicamente (carbonización) [18]. Los principales polímeros termoestables utilizados en la industria son: resina poliéster, resina epoxi y fenólicos.

La resina poliéster es isotrópica, ya que, todas sus propiedades son idénticas en todas las direcciones. Presenta baja temperatura de transición vítrea, sin embargo, no tienen elevada resistencia y rigidez [18], pueden ser procesadas a temperatura ambiente, y no se requiere de un alto grado de capacitación para la manipulación de la misma. Es importante recalcar que durante el proceso de polimerización (endurecimiento) la resina poliéster tiende a contraerse entre el 6 y 10 %.

Existen 3 tipos de resina poliéster de acuerdo al tipo de alcohol y ácidos que la constituyen: ortoftálicas, isoftálicas, bisfenólicas. La más utilizada usualmente es la ortoftálica, por su bajo costo [18].

1.2.1.2. Material de refuerzo

Es la fase dispersa que se agrega para mejorar las propiedades que la matriz no posee. Generalmente el refuerzo es utilizado para aumentar la rigidez, tenacidad así como la resistencia a la abrasión, a la tracción a temperatura ambiente o a elevadas temperaturas, mejorar el aislamiento, etc., sin embargo, el tipo de refuerzo depende de las propiedades que se requieran mejorar [12].

El refuerzo puede ser de diferentes configuraciones como partículas, fibras o elementos estructurales. En este proyecto se utilizó un refuerzo en forma de partículas, teniendo en cuenta que, mientras tengan menor tamaño y presenten una distribución uniforme en la matriz, los resultados serán más efectivos [17] (Figura 1.4).

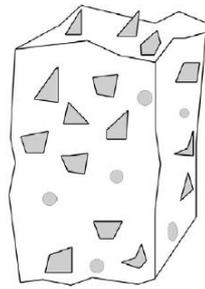


Figura 1.4 Matriz con refuerzo particulado

(Fuente: [17])

1.2.1.3. La interfaz

No solo el refuerzo y la matriz son las que influyen en las propiedades mecánicas del material compuesto, sino también la región de contacto (interfaz) entre estos dos componentes. Dado que, es importante que exista una buena unión entre ellos, pues, si la interfaz es débil, la transferencia de carga de la matriz al refuerzo no será eficiente, haciendo que la matriz sea la que soporte las cargas y llegando a fallar, ya que, no tiene mucha resistencia, o debido a que se producen huecos entre la matriz y las fibras, conllevando a la ruptura de la pieza [11].

Una buena adhesión entre la matriz y el refuerzo depende del contacto íntimo de los átomos en la superficie de uno y otro componente. Si la unión entre los dos componentes es buena, la carga aplicada al material compuesto se transmitirá desde la matriz hacia los refuerzos, caso contrario, las fibras tenderán a salir de la matriz [17].

En la Figura 1.5, al lado izquierdo se muestra una representación de los componentes que constituyen un material compuesto con refuerzo particulado, y con fibras al lado derecho.

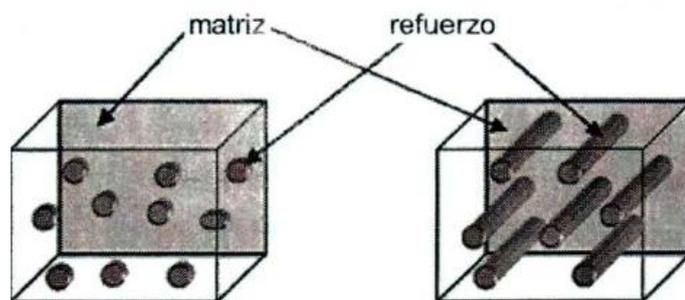


Figura 1.5 Componentes del material compuesto.

(Fuente: [11])

1.2.2. Tipos de refuerzos empleados en los materiales compuestos

a) **Materiales reforzados con partículas grandes:** grande se refiere a indicar las interacciones entre la matriz y las partículas a un nivel macroscópico. Las partículas pueden tener gran variedad de geometría y suelen tener aproximadamente la misma distribución en todas las direcciones, lo cual, es una ventaja a comparación de la distribución por fibras, ya que, mientras más homogénea sea la distribución el refuerzo será más efectivo, (Figura 1.6). Este tipo de distribución tiene una gran aplicación en materiales para herramientas de corte, materiales de construcción, el cermet, entre otros [17].



Figura 1.6 Micrografía electrónica del níquel TD dispersas de ThO₂, con partículas de 300nm.

(Fuente [14])

b) **Materiales consolidados por dispersión:** en este caso las partículas deberán tener un tamaño en un rango de 10 a 250 nm, de modo que puedan ser dispersadas homogéneamente en la matriz mediante métodos a alta temperatura o temperatura ambiente.

Los compuestos endurecidos por dispersión, a temperatura ambiente, pueden tener menor resistencia mecánica que los compuestos endurecidos por dispersión a mayor temperatura. De modo que, es importante que el dispersante tenga baja solubilidad en la matriz, y no reaccione químicamente con ésta. Los materiales compuestos endurecidos por dispersión son utilizados en contactos eléctricos, rejillas de batería o filamentos de calentadores [14]. En la Figura 1.7 se observa la micrografía electrónica de la dispersión de partículas de diámetro 200 nm.

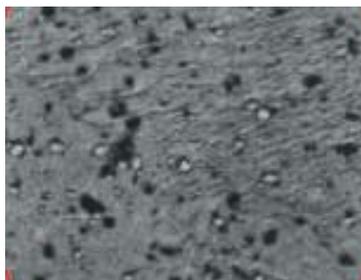


Figura 1.7 Micrografía electrónica del níquel TD dispersas de ThO₂, con partículas de diámetro de 200nm

(Fuente: [14])

c) **Materiales compuestos reforzados con fibras:** esta combinación logra que el material consiga mayor resistencia a la fatiga, mejor rigidez y una mejor relación resistencia/peso, ya que la matriz transmite la fuerza a las fibras, las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada. Este tipo de materiales al presentar gran resistencia a la temperatura, son la configuración más utilizada en compuestos [12] (Figura 1.8).

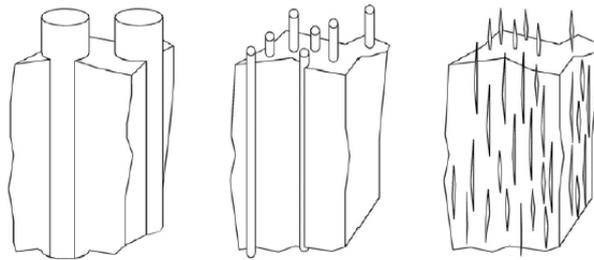


Figura 1.8 Refuerzo de fibras (de izquierda a derecha): alambres, fibras y whiskers (bigotes).

(Fuente: [14])

1.2.3. Propiedades mecánicas de los materiales compuestos

Las propiedades del material compuesto están en función de las propiedades del refuerzo y de la matriz, así como de la relación volumétrica y la geometría que tengan los componentes de la fase dispersa, en forma, tamaño, distribución y orientación [11].

En el caso de utilizar un material particulado, éste presenta una geometría variable, pero con las mismas dimensiones en todas las direcciones, por tanto, es importante que las partículas sean pequeñas y tengan una buena distribución en la matriz, garantizando la buena adhesión matriz/refuerzo. Así también, el uso de refuerzos en forma de partículas permite obtener buenas propiedades a altas temperaturas, reducir la contracción del material una vez completado el proceso de moldeo, elevar la dureza e incrementar la resistencia a la compresión [11, 13].

1.2.4. Métodos de fabricación

Para que un material compuesto sea fabricado correctamente y presente las propiedades mecánicas que se requieren, no solo se debe considerar el tipo matriz y la forma del refuerzo a emplearse en el material, sino también, es importante definir el modo de fabricación mediante el cual se diseñen y se procesen dichos materiales, ya que esto permite obtener un producto con las especificaciones requeridas y a menor costo. Teniendo en cuenta que, la fabricación de un material compuesto representa entre un 50 y 60% del costo del producto total [17].

Los principales parámetros que se deben considerar para seleccionar el mejor método de fabricación de un material compuesto son: el tipo de matriz, la forma y tipo de refuerzo, lugar de aplicación del producto terminado, las ventajas y limitantes del método seleccionado, así como, las condiciones de fabricación [17].

Entre las técnicas empleadas para la fabricación de materiales compuestos se tiene: hand lay (moldeo por colocación manual), spray lay (moldeo por proyección simultánea), moldeo por infusión, RTM (resin transfer molding), enrollamiento filamentario, inyección, extrusión, moldeo por compresión [13]. En este caso se detalla el procesamiento que implica la técnica de moldeo por compresión.

1.2.4.1. Moldeo por compresión

Para el proceso de fabricación mediante el moldeo por compresión se requiere de dos moldes, macho-hembra con una geometría determinada. En el molde se coloca el material compuesto previamente preparado, se tapa con el contramolde y se somete a una presión hidráulica adecuada durante un tiempo definido, transcurrido el tiempo se retira el molde y se extrae el material compuesto. En materiales termoestables, el contenido máximo de refuerzo a emplearse es del 30% [17].

Este método puede ser realizado a temperatura ambiente o con adición de calor. Al adicionar calor se tiene una mejor fluidez del material, lo cual permite cubrir completamente el molde, obtener la forma deseada y optimizar las condiciones de curado, por otro lado, la presión permite expulsar el aire atrapado en el interior del molde [19] (Figura 1.9).

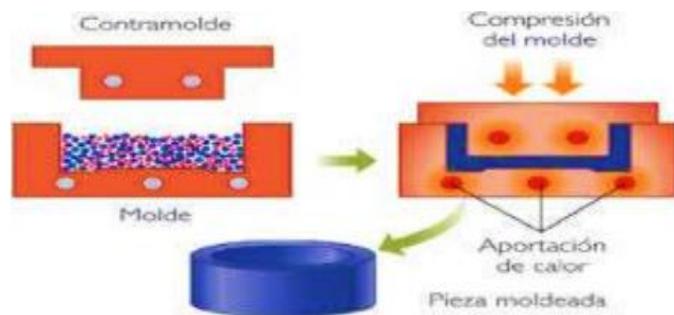


Figura 1.9 Método de moldeo por compresión aplicando calor.

(Fuente [15])

a) Descripción del proceso aplicando calor: el proceso inicia con el precalentamiento de los moldes según lo requerido por la formulación de la resina, se coloca el material en la cavidad del molde abierto y se cierra (con el molde macho) hasta

juntar las dos partes del molde (macho/hembra), se aplica calor y se ejerce presión sobre el material, lo que le obliga a entrar en contacto con todas las áreas del molde; una vez sellado el molde se ejerce una presión máxima, la cual provoca el llenado final y completo de la cavidad (Figura 1.10). Este proceso se realiza por un tiempo aproximado de dos horas hasta que el material cure completamente, finalmente se aplica un tiempo de secado para la obtención del material [16,19].

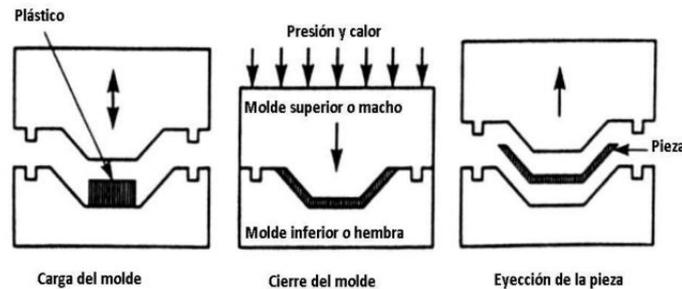


Figura 1.10 Descripción del método de moldeo por compresión.

(Fuente [16])

Este método permite obtener piezas de gran tamaño y con alto grado de complejidad, menor deformación, buen acabado superficial, con producción de poco desperdicio de material y bajos costos. No obstante, puede ser no aconsejable su uso en ciertas piezas en las que se requiera controlar dimensiones, ya que al no controlar la temperatura el curado de las paredes puede ser mucho más rápido que el del interior de la pieza, además de la presencia de rebabas en los bordes de la pieza.

1.2.5. Caracterización de materiales compuestos

La caracterización de materiales compuestos se basa en la evaluación de las propiedades mecánicas mediante ensayos destructivos. Los ensayos se realizan a partir de una determinada cantidad de muestras del material en análisis, las cuales son sometidas a pruebas de comportamiento con la ayuda de un equipo adecuado que permita realizar una simulación de circunstancias a las que el material podría estar expuesto, y de las cuales se obtengan resultados válidos para la aplicación requerida. Los ensayos aplicados para la caracterización mecánica de los materiales, están bajo normas regidas por institutos normalizadores como ASTM, ASME, INEN, ISO, etc. [17].

Es así que, para la caracterización de los materiales compuestos estudiados en este proyecto se realizaron ensayos de tracción, flexión y densidad, basados en la norma ASTM correspondiente a cada caso.

1.3. Ondas Electromagnéticas

Las ondas electromagnéticas son un flujo de energía que se origina por la oscilación de campos eléctricos y campos magnéticos que interactúan perpendicularmente entre sí, generando un campo electromagnético y una propagación de energía incluso en el vacío [20]. De manera que, las ondas electromagnéticas no necesitan de un medio material para su propagación, son independientes de la frecuencia y longitud de onda, siendo así que todas se desplazan en el vacío a una velocidad $c = 299,792 \text{ km/s}$ [21].

En la Figura 1.11 se observa la forma de propagación de una onda electromagnética a lo largo del eje z, por la interacción entre el campo eléctrico E y el campo magnético B [22]. El campo electromagnético se mide por su densidad de potencia (W/m^2) o $\mu\text{W/cm}^2$ [23]. En la Tabla 1.2 se muestra el rango de frecuencias y rango de longitudes de onda en las que se encuentran las ondas de radio.

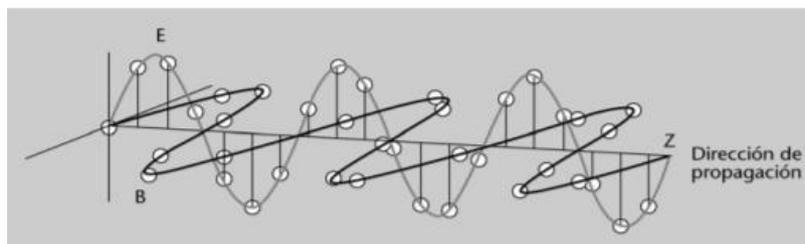


Figura 1.11 Forma de propagación de la onda electromagnética

(Fuente [22])

Tabla 1.2 Rango de frecuencias y rango de longitudes de onda.

Región del espectro	Rango de longitudes de onda (λ)	Rango de frecuencias (f)	Aplicaciones más habituales	Observaciones
Radio	Onda larga	$> 10 \text{ m}$	$< 30 \text{ MHz}$ Señales de radio (AM) Comunicación submarina	Se reflejan en la ionosfera y, por tanto, pueden viajar largas distancias. Por ello se utilizan para comunicar dos puntos lejanos de la Tierra.
	Onda corta	$10 \text{ cm} - 10 \text{ m}$	$30 \text{ MHz} - 3 \text{ GHz}$ Señales de radio (FM) Señales de TV	No se reflejan en la ionosfera y, por tanto, solo se pueden utilizar para distancias cortas.
	Microondas	$1 \text{ mm} - 10 \text{ cm}$	$3 - 300 \text{ GHz}$ Radar Redes sin hilos (WiFi) Hornos de microondas	Presentan mucha atenuación en la atmósfera y, por tanto, sólo se pueden utilizar para distancias muy cortas.
Infrarrojos	$700 \text{ nm} - 1 \text{ mm}$	$3 \cdot 10^{11} - 4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$	Termografías Visión nocturna Controles remotos	Emisión térmica.
Luz visible	$400 - 700 \text{ nm}$	$4 \cdot 10^{14} - 7 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$	Instrumentos ópticos	Radiación visible por el ojo humano y el de la mayoría de los seres vivos.
Ultravioletas	$10 - 400 \text{ nm}$	$7 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{16} \text{ Hz}$	Medicina Espectrofotometría	La materia los absorbe muy fácilmente.
Rayos X	$0,01 - 10 \text{ nm}$	$3 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{19} \text{ Hz}$	Radiografía diagnóstica Cristalografía	Generados por radiación de ionización, su longitud de onda está dentro de la escala de los átomos y los cristales atómicos.
Rayos γ	$< 10^{-11} \text{ m}$	$> 3 \cdot 10^{19} \text{ Hz}$	Esterilización Radioterapia	Generados por interacciones subatómicas.

Fuente: [22]

1.3.1. Propiedades de las ondas electromagnéticas

Cuando una onda se propaga en un medio material, al interactuar con éste, una parte de su energía se consume durante la propagación, por consiguiente se reduce su intensidad. Las propiedades afectadas por dicho efecto son:

a) Absorción y profundidad de penetración

La absorción se da cuando una onda electromagnética penetra una distancia "x" dentro de un medio material y durante cuyo proceso va cediendo parte de su energía al medio, haciendo que la onda vaya perdiendo exponencialmente su intensidad durante el recorrido, a esto se lo conoce como atenuación. La cantidad de atenuación obtenida depende del grosor del material, lo que le hace más o menos opaco, así como de la conductividad del mismo [22].

En la Figura 1.12, se observa la manera como la onda electromagnética va reduciendo la intensidad a medida que existe una mayor profundidad de penetración en un medio material.

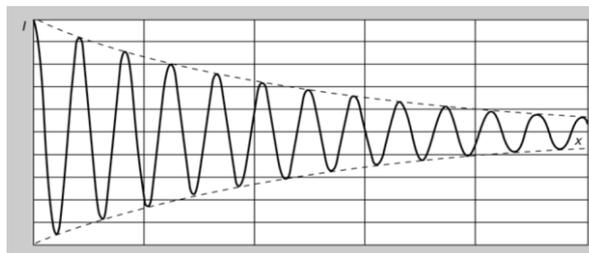


Figura 1.12 Disminución de la onda electromagnética debido a la atenuación de un medio material

(Fuente [22])

Cabe mencionar que la profundidad de penetración de la onda depende de tres factores: que tan conductivo es el medio material, magnetismo del medio (mientras más magnético sea el medio la profundidad de penetración será menor), y la frecuencia de onda [22].

b) Reflexión y Transmisión

Cuando una onda electromagnética incide sobre una superficie de medio material, se genera una onda reflejada y otra transmitida. La onda reflejada se denota cuando, una parte de la onda propagada, sólo se refleja sobre la superficie, pero no llega a penetrar en el segundo medio, mientras que la otra parte de la onda si atraviesa la superficie y continúa propagándose por el segundo medio, correspondiente a la otra cara de la capa del medio material, a esto se lo conoce como onda transmitida [22].

En la Figura 1.13, se observa un esquema de las reflexiones y transmisiones que se generan en un medio material, en donde, se denota un medio material B con un grosor l , el cual está ubicado entre dos medios A y C, en este caso correspondientes al aire. Cuando la onda electromagnética I incide sobre el medio material B, se observa que una parte sólo se refleja (R_0, R_1, R_2) es decir retorna hacia el medio A, mientras que, la otra parte se transmite propagándose por el interior del material B, llegando a la segunda cara de la capa del material en donde se vuelve a generar dos ondas, la reflejada que regresa al interior de B y la transmitida (T_0, T_1, T_2) que continúa su recorrido por el medio C [22].

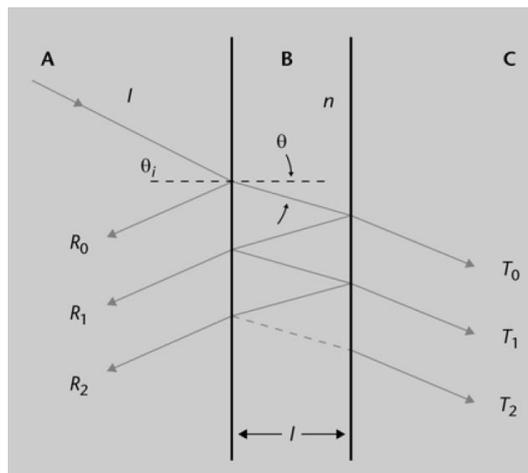


Figura 1.13 Esquema de las reflexiones y transmisiones generadas en un medio material

(Fuente [22])

c) Difracción

Se produce cuando una onda continúa extendiéndose a pesar de que un objeto haya interrumpido su dirección inicial. Sin embargo, esa expansión de onda tendrá menos intensidad que la original [22].

d) Superposición

Se origina cuando en un mismo campo dos o más ondas se entrecruzan, interfieren entre sí, generando una onda resultante con diferente intensidad, la cual depende de las frecuencias y amplitudes de las ondas iniciales [22].

e) Interferencia

Es el resultado de la superposición de las ondas, la cual puede ser: interferencia constructiva o interferencia destructiva. Una interferencia constructiva se produce cuando las ondas solapadas de la misma frecuencia tienen la misma fase (crestas y valles de la onda coinciden) como se puede visualizar en la Figura 1.14a, por el contrario, una

interferencia destructiva se produce cuando las ondas solapadas de la misma frecuencia están desfasadas (la cresta y valle de ninguna de las ondas coincide una con otra) como se observa en la Figura 1.14b, lo que ocasiona una distorsión en la señal de los sistemas o equipos [22].

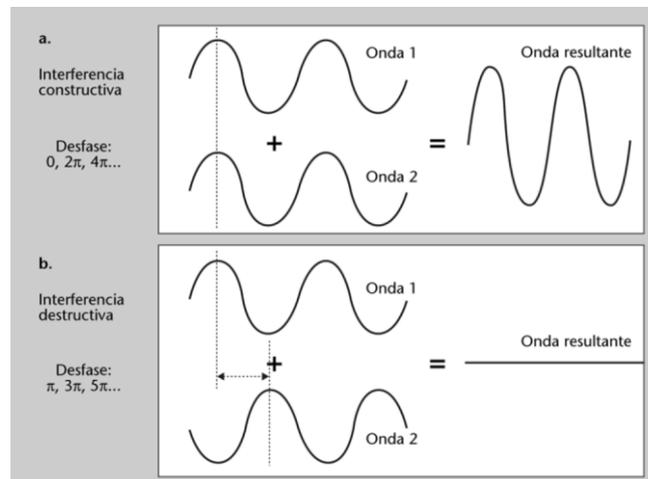


Figura 1.14 Representación gráfica de los dos tipos de interferencia: a) Interferencia constructiva, b) Interferencia destructiva.

(Fuente [22])

La implementación de equipos y máquinas semiautomáticas y automáticas en el sector industrial, junto con la interacción de redes de telefonía móvil y equipos de sonido, ha generado un aumento en la propagación de ondas electromagnéticas, un incremento de la contaminación electromagnética del entorno de trabajo, así como la generación de interferencias debido a la interacción simultánea de los equipos eléctricos y electrónicos, desgastando sus componentes y causando daños en el funcionamiento de los mismos.

1.4. Interferencia Electromagnética

Las interferencias electromagnéticas (EMI) son señales electromagnéticas generadas por la presencia de voltajes o corrientes no deseadas, emitidas por varios equipos como radios, televisiones, celulares, computadoras, máquinas eléctricas, equipos de adquisición de datos, sistemas de automatización, líneas de alimentación, lámparas fluorescentes, calentadores, accionamiento de relés, etc., cuyas radiaciones generan un acoplamiento de energía con cualquier equipo susceptible a captarlas, produciendo perturbaciones y causando una respuesta indeseable en el funcionamiento normal de éstos equipos o en sus circuitos; así como producir alteraciones de sobretensión, subtensión, picos, fallos en sus componentes eléctricos electrónicos, etc., y junto con ello afectar la red de comunicación entre equipos [26].

En la Figura 1.15 se puede observar los elementos que intervienen en la EMI. Donde se tiene la fuente o generador de interferencias, el medio de propagación y los receptores de las señales electromagnéticas.

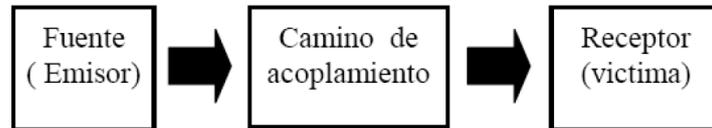


Figura 1.15 Elementos que intervienen en la EMI

(Fuente: https://www.seguridadaerea.gob.es/media/3785431/modulo05_cap14.pdf)

Un claro ejemplo de EMI, se observa en la ineficiente comunicación que se genera cuando los dispositivos de una red de equipos o computadoras no pueden ejecutar correctamente sus funciones, debido a la quema o deterioro de los componentes o circuitos electrónicos que lo constituyen, lo que causa una distorsión en la señal durante la toma de datos, o a su vez produce un daño interno en el equipo [25]. En la Figura 1.16, se muestra la representación de una señal afectada por la EMI.

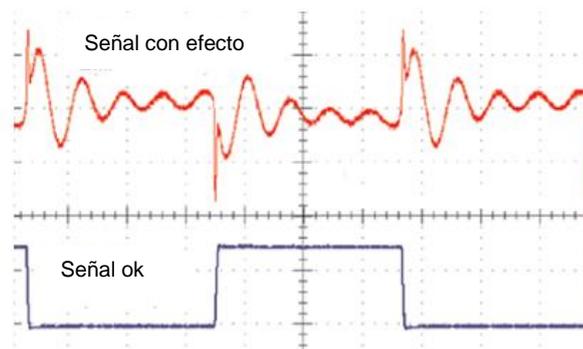


Figura 1.16 Señal afectada por la EMI

(Fuente [26])

1.5. Equipos Móviles

Las necesidades generadas en el mercado global con el fin de mantener una comunicación rápida, inalámbrica y de calidad a largas distancias, movilidad en las redes de comunicaciones, transmisión de información a mayor velocidad y acceso a banda ancha que permita tener contenido multimedia, audio, video y otros servicios generales, fueron los causantes para realizar un avance tecnológico en los equipos móviles, con el fin de obtener una alta capacidad de almacenamiento y el uso de redes móviles de datos mediante la aplicación de una tecnología conocida como LTE (Long Term Evolution), conllevando a la evolución de las redes de comunicación móvil (2G, 3G, 4G), y una revolución en el estilo de vida moderno del hombre [27].

En consecuencia, el continuo y rápido avance tecnológico de los sistemas móviles generó el incremento de operadoras que ofrezcan los diferentes servicios de telefonía móvil a los usuarios. Así pues, en Ecuador, las operadoras autorizadas a prestar servicio móvil actualmente son Otecel S.A., Conecel S.A., CNT E.P [31].

1.6. Ondas electromagnéticas emitidas por las redes de telefonía móvil

Los equipos de telefonía móvil trabajan en un rango de frecuencias entre 850 y 2100 MHz, emitiendo ondas electromagnéticas constantemente, facilitando que los teléfonos móviles y las estaciones base reciban y transmitan señales que permitan mantener una comunicación con otros equipos, así como llevar la información entre dos o más estaciones o ubicaciones [44].

Es así que, las empresas de telefonía móvil han dividido las ciudades por un sistema de celdas hexagonales o células, que están ligadas unas con otras, en cada celda se coloca una antena repetidora de señal conocida como estación base o radio base, la cual utiliza una parte pequeña del conjunto de canales disponibles para dar servicio a los usuarios que se encuentren en esa zona, a su vez, en la celda continua se coloca otro repetidor con un subconjunto de canales de voz diferente al primero, y así sucesivamente en cada una de las celdas hasta que se acaben los canales de voz disponibles. De modo que, la última celda se encontrará muy alejada de la primera, con el fin de poder reutilizar los mismos canales de la primera y no existan interferencias. En la Figura 1.17, se muestra una representación gráfica de la distribución de canales en cada una de las celdas [44].

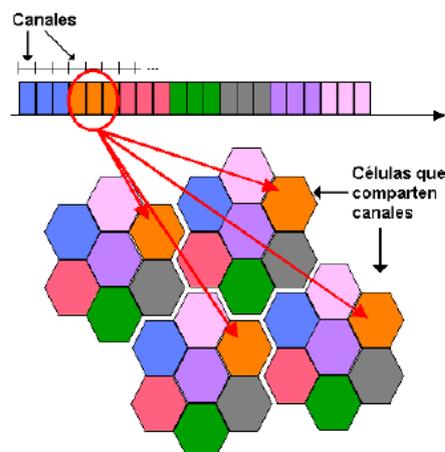


Figura 1.17 Distribución de canales en cada una de las celdas

(Fuente: [44])

Cabe mencionar, que la forma hexagonal de la celda se debe a que dicha figura geométrica permite cubrir una zona determinada con el menor número de celdas, cubriendo toda la región sin dejar lugares sin cobertura, y a la vez posibilitando que exista la misma distancia de una antena a otra, para una buena recepción de la señal [44].

Por tanto, la estación base recibe y transmite la señal continuamente, emitiendo una potencia relativamente baja para no producir interferencias en las estaciones base que utilizan los mismos canales, y que le permita mantener el nivel de la señal necesaria en la zona de cobertura, garantizando que la comunicación sea la más óptima. Es así que, los sistemas móviles no están diseñados para emitir una alta potencia, ante lo cual, es necesario que la estación base se coloque cerca de los edificios, dentro del área urbana, cerca de los móviles de cobertura, de modo que la potencia emitida sea mínima y se pueda establecer la comunicación en ambas direcciones [44].

Además, se debe considerar que, las ondas electromagnéticas emitidas por la radio base deben ser capaces de atravesar diferentes obstáculos (paredes, árboles, objetos no metálicos, etc.), los cuales generan una pérdida de la señal en el proceso y un deterioro considerable en la cobertura. Siendo indispensable que las antenas de las estaciones base se coloquen en zonas relativamente elevadas y sin obstáculos cercanos, con respecto a la zona que se procure cubrir, para que se tenga una buena cobertura y se establezca la conexión [44].

Así pues, la antena de un teléfono móvil irradia ondas electromagnéticas en todas las direcciones, sin embargo, la antena de una estación base genera una emisión direccional en forma de lóbulo, lo cual produce que la emisión no sea homogénea en todas las direcciones, generando la formación de varios lóbulos secundarios de menor potencia, dirigidos hacia los lados y parte posterior, en las proximidades de la antena, como se observa en la Figura 1.18 [24].



Figura 1.18 Representación gráfica de la formación de lóbulos.

(Fuente: [29])

Las estaciones base de telefonía móvil regularmente disponen de tres sectores, con tres antenas, que cubren un ángulo de 120 grados cada una, por lo que éstas emiten radiaciones de microondas que a pesar de que se alejen de la fuente siguen persistiendo, aunque la fuente sea desconectada, llegando a mantenerse hasta 30 km de distancia [24]. De manera que, si se desea saber la intensidad de potencia radiada en una dirección determinada, con respecto a la antena, y considerando que no existe ningún tipo de perturbación en el campo, la densidad de potencia en un punto varía de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente emisora, se mide en W/m^2 o W/cm^2 . Por ejemplo, a una distancia de 50 metros de una antena de telefonía móvil la densidad de potencia es de $10\mu W/cm^2$, mientras que a distancias de 150 y 200 metros, se tiene valores de décimas de $\mu W/cm^2$ [24].

1.6.1. Funcionamiento de las redes inalámbricas de los sistemas de transmisión móvil

Cuando un equipo móvil requiere establecer una comunicación con otro, la antena incorporada en el móvil que establece la llamada busca automáticamente la radio base más cercana de acuerdo a la operadora, a su vez esta le asigna una frecuencia libre por donde se establecerá la llamada, seguidamente, la radio base envía la información al móvil (receptor) y al mismo tiempo a una central de conmutación, la cual hará de intermediario para encontrar la radio base más cercana al móvil receptor y se pueda establecer la conexión. Es decir, la comunicación no se realiza entre unidades móviles emisor/receptor, sino más bien, entre cada unidad con la radio base más cercana, por lo que, la señal de comunicación no se ve afectada por la distancia a la que se encuentren los móviles [45]. La Figura 1.19 muestra la forma de distribución de los elementos básicos de una red que da servicios móviles.

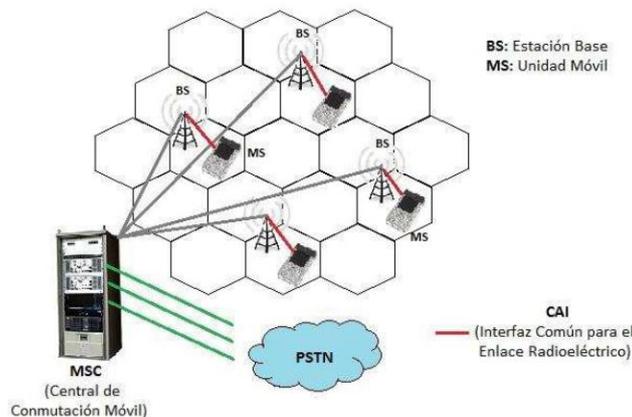


Figura 1.19 Distribución de los elementos básicos de una red de servicio móvil.

(Fuente: [45])

La estación base es una instalación fija de radio para la comunicación bidireccional, que establece el enlace entre la central de conmutación y las unidades móviles que requieren algún tipo de servicio.

La interfaz común para enlace radioeléctrico es la encargada de definir la comunicación entre los móviles y la estación base, especificándose 4 tipos de canales diferentes:

- Canal de control directo (base a móvil)
- Canal de control reverso (móvil base)
- Canal de control de tráfico directo
- Canal de control de tráfico reverso

Estos canales permiten controlar el estado de cada uno de los móviles dentro del sistema, como realizar el pedido de una llamada, establecer la llamada y mover la llamada a un canal de voz libre [45].

Cabe mencionar que, cada celda presenta un determinado número de canales asignados para cada zona, con el fin de que varias personas puedan realizar llamadas al mismo tiempo sin que exista interferencia de una señal con otra; puesto que las estaciones base emiten potencias del orden de decenas o centenas de watios, dependiendo de la estación [44]. De modo que, cuando no hay canales disponibles en la radio base más cercana al móvil en uso, se tiene una notificación que el móvil receptor "está apagado o fuera de cobertura", esto se puede observar en fechas festivas como navidad o fin de año, épocas en las que la red se satura.

Cuando se realiza la llamada durante un viaje, la antena del móvil emisor, busca la estación base más cercana continuamente, de tal manera que la señal cambia de celda en celda constantemente mediante un proceso denominado handover o traspaso entre celdas, que dura milisegundos, manteniendo la comunicación todo el tiempo, hasta que la llamada finalice [45].

Los equipos móviles son bidireccionales, es decir, que trabajan como emisor y receptor al mismo tiempo, enviando constantemente señales a la radio base con el fin de mantener la conexión [44]. De modo que, el enlace de comunicación entre el móvil y la radio base, se da mediante dos tipos de conexión:

- Uplink (enlace ascendente): es la conexión para la transmisión de las señales de radio, que va desde la unidad móvil hacia la radio base [44].

- Downlink (enlace descendente): es la conexión para la transmisión de las señales de radio, que va desde la radio base hacia la unidad móvil [44].

En la Figura 1.20 se observa el modo de comunicación entre los móviles emisor/receptor y la radio base más cercana.

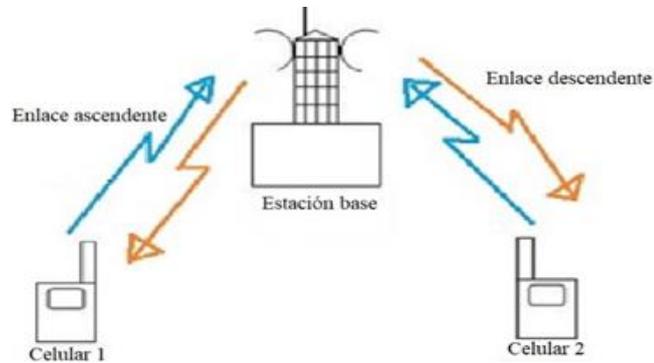


Figura 1.20 Conexión entre los equipos móviles.

(Fuente: [44])

1.7. Equipos utilizados para la absorción de energía electromagnética

1.7.1. Jaulas de Faraday

Las jaulas de Faraday son cajas formadas por un material conductor, aluminio o metal, lo que hace que la concentración de campos electrostáticos genere que, en su interior, no se produzcan intercambios de cargas eléctricas, sino que todas las cargas negativas radiquen en un solo lado de la jaula y no se mezclen con las cargas positivas, sirviendo como protección de descargas eléctricas, como blindaje en equipos electrónicos, en telecomunicaciones para evitar interferencias y ruidos, etc. [32].

Al colocar la caja metálica en presencia de un campo eléctrico externo, las cargas positivas se quedan en las posiciones de la red, mientras que las cargas negativas (los electrones) se mueven debido a la fuerza que actúa sobre ellos: $\vec{F} = e * \vec{E}_{ext}$, donde e es la carga del electrón y \vec{E}_{ext} es la intensidad del campo eléctrico externo. De modo que, cuando las cargas se comienzan a desplazar en el interior de la pared, generan un campo eléctrico en sentido opuesto al campo externo de la caja, produciendo un campo eléctrico nulo en el interior del conductor y evitando que las cargas puedan atravesar las fronteras de la caja (Figura 1.21). Este método es utilizado como protección de varios dispositivos como apantallamiento eléctrico [32].

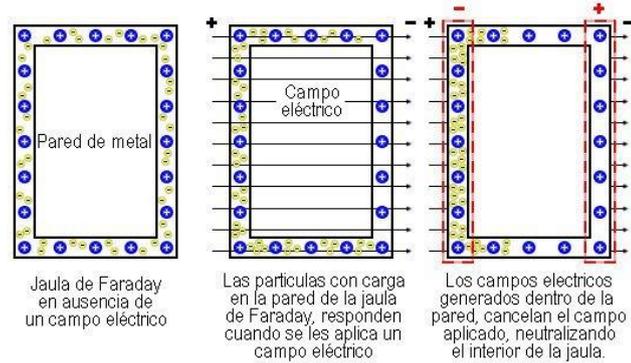


Figura 1.21 Funcionamiento de la Jaula de Faraday

(Fuente: http://electromagnetismotelecouax2013.blogspot.com/2013/05/jaula-de-faraday_3.html)

1.7.2. Cámaras anecoicas

Las cámaras anecoicas (Figura 1.22) son cuartos que tienen por objetivo absorber y medir las radiaciones electromagnéticas que incidan sobre sus paredes. Las cámaras anecoicas constan de dos partes: una estructura metálica que reviste totalmente la superficie del cuarto, y cuyo principio de funcionamiento se basa en la jaula de Faraday, por otro lado, el interior del cuarto se encuentra revestido por materiales anecoicos o absorbentes que permiten la absorción de ondas electromagnéticas, creando un espacio ideal con características de propagación del espacio libre [27].



Figura 1.22 Cámara anecoica

(Fuente: <http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/camara-anechoica.pdf>)

1.8. Medición de radiaciones electromagnéticas

A continuación, se muestran los equipos que pueden ser utilizados para medir cada una de las señales uplink y downlink mencionadas en el apartado 1.6.1.

1.8.1. Medición señal uplink

Entre los equipos que se pueden utilizar para medir la cantidad de potencia emitida de la señal uplink durante una comunicación, se tiene: el analizador de espectro y el medidor de radiación selectiva SRM-3006.

1.8.1.1. Analizador de espectro

Es un equipo de medición utilizado para captar la potencia de la intensidad de la señal emitida desde el celular hacia la radio base en dBm, evaluar la calidad de la señal, analizar las interferencias que se generan, entre otros, mediante la incorporación de una antena. La antena permite captar todas las señales que se encuentren en un rango de frecuencia determinado en un instante de tiempo, enviando todos los datos adquiridos a un computador para tratar la información de manera ordenada. Para lo cual, se debe tomar en cuenta que antes de realizar las mediciones es importante configurar el equipo de acuerdo a las especificaciones que se requieran, como el rango de frecuencia que se encuentre transmitiendo la señal a capturar, el número de muestras, el tiempo entre cada muestra, etc. La Figura 1.23 muestra la imagen que se obtiene de la señal en el analizador de espectro.



Figura 1.23 Gráfico de la señal obtenida del Analizador de Espectro.

(Fuente: propia)

1.8.1.2. Medidor de Radiación Selectiva SRM-3006

Este equipo (Figura 1.24) permite realizar una medición selectiva de frecuencias para análisis de seguridad y mediciones ambientales de campos electromagnéticos generados entre 9 kHz a 6 GHz. Utiliza una combinación de señales analógicas y digitales para

obtener el los valores absolutos y límites de campo electromagnético de transmisión de radio (AM, FM), TV (analógica, DVB-T), BOS (Tetra), telecomunicaciones móviles (GSM, UMTS), radar y comunicaciones inalámbricas (WiMax, WLAN) [28].



Figura 1.24 Medidor de Radiación Selectiva SRM- 3006.

(Fuente: [28])

El sistema de medición SRM-3006 comprende de la Unidad Básica SRM- 3006 y una antena de tres ejes Narda Safety Test Solutions montado directamente sobre el equipo, la cual permite realizar mediciones isotrópicas y simples de manera automática en los tres componentes, permitiendo cubrir varias aplicaciones y rangos de frecuencia [28]. El tipo de antena a utilizarse está determinado por los niveles de exposición de intensidad de campo, de acuerdo como se indica en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3 Tipos de antenas de acuerdo al rango de frecuencias

Tipo	Tipo de campo	Rango de frecuencia (Valores típicos)	Observaciones
Tres ejes	E-campo	420 MHz- 6 GHz	Para mediciones rápidas y no direccionales en el rango de frecuencia de la última generación de tecnologías inalámbricas y teléfonos móviles.
Tres ejes	E-campo	27 MHz - 3 GHz	Solución universal para mediciones rápidas y no direccionales.
Eje único	E-campo	27 MHz - 3 GHz	Para mediciones de precisión en el rango de frecuencia más utilizado por los servicios de comunicaciones.
Eje único	E-campo	9 kHz - 300 MHz	Para mediciones de precisión de campos eléctricos alrededor de transmisores de radio / TV y equipos industriales.
Tres ejes	H-campo	9 kHz - 250 MHz	Para mediciones rápidas, no direccionales de campo cercano en campos magnéticos alrededor de transmisores de radio / TV y equipos industriales.
Eje único	H-campo	9 kHz - 300 MHz	Para mediciones de precisión de campo cercano en campos magnéticos alrededor de transmisores de radio / TV y equipos industriales.

Fuente: [28]

Como se observa en la Tabla 1.3, la antena Narda Safety Test Solutions de tres ejes, implementada en el equipo, es la requerida para realizar mediciones en telefonía móvil para un rango de frecuencias entre 420 MHz y 6 GHz.

1.8.2. Medición señal downlink

La señal downlink no es fácil de discretizar, por tanto, ésta señal debe ser medida mediante el propio software del móvil, permitiendo obtener los datos en un instante de tiempo y visualizar la variación de potencia en el transcurso del tiempo.

Para ello, en este estudio se utilizó el software KAIBITS, que es una aplicación móvil que mide la potencia que recibe el móvil desde la radio base para mantener la comunicación emisor- receptor, y que muestra detalladamente el comportamiento de la señal de la red downlink mediante gráficas y valores de potencia en dBm. Los datos del software pueden ser obtenidos mediante un grabador de video que sea activado como una aplicación en el mismo móvil.

La Figura 1.25, muestra la pantalla principal de la aplicación KAIBITS, en la cual se observa gráficamente la potencia que recibe el móvil en función del tiempo.



Figura 1.25 Pantalla principal del software KAIBITS

(Fuente: Propia)

2. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se describe la metodología experimental aplicada en la preparación y obtención del material compuesto, la caracterización mecánica de las probetas, la elaboración de las cajas de blindaje, y las pruebas de exposición de campos electromagnéticos realizadas al material.

A continuación, mediante diagramas de flujo se muestran los procedimientos que se llevaron a cabo durante la elaboración del material compuesto.

2.1. Obtención de las probetas de material compuesto de matriz polimérica con refuerzo ferrítico para la caracterización mecánica

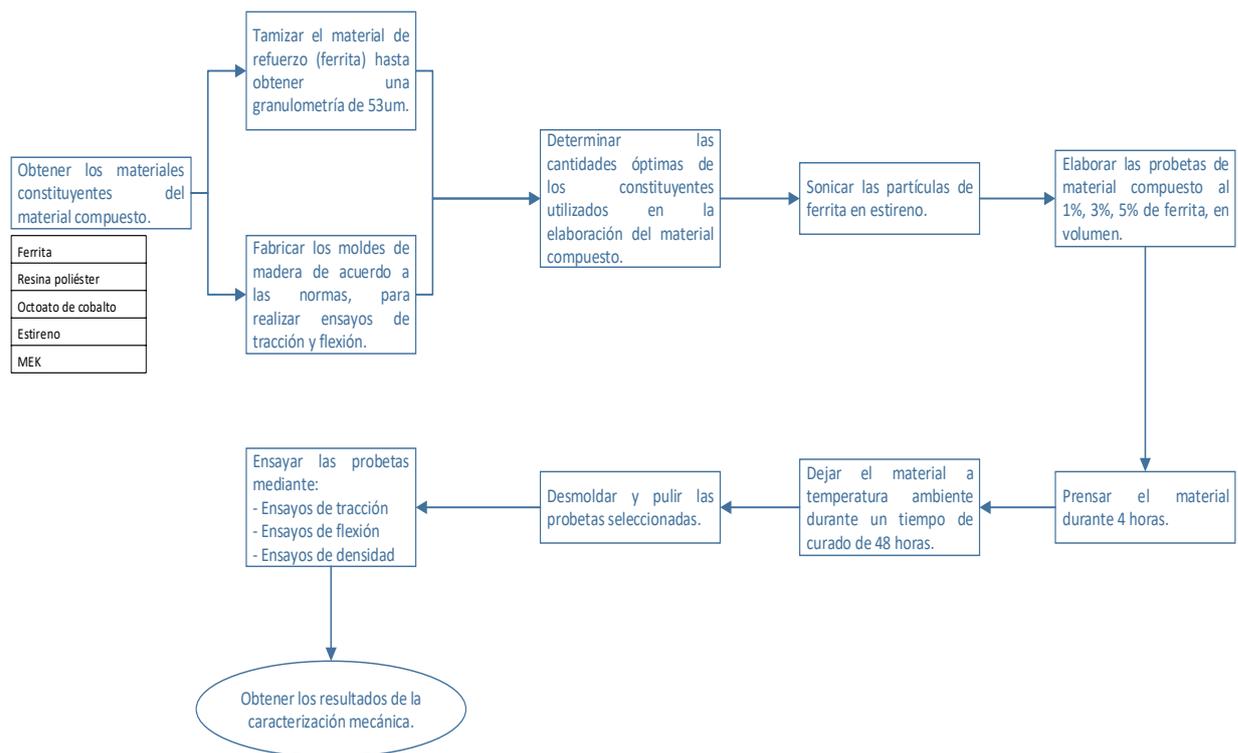


Figura 2.1 Proceso experimental para la caracterización mecánica

(Fuente: propia)

2.2. Obtención de las cajas de blindaje del material compuesto de matriz polimérica con refuerzo ferrítico

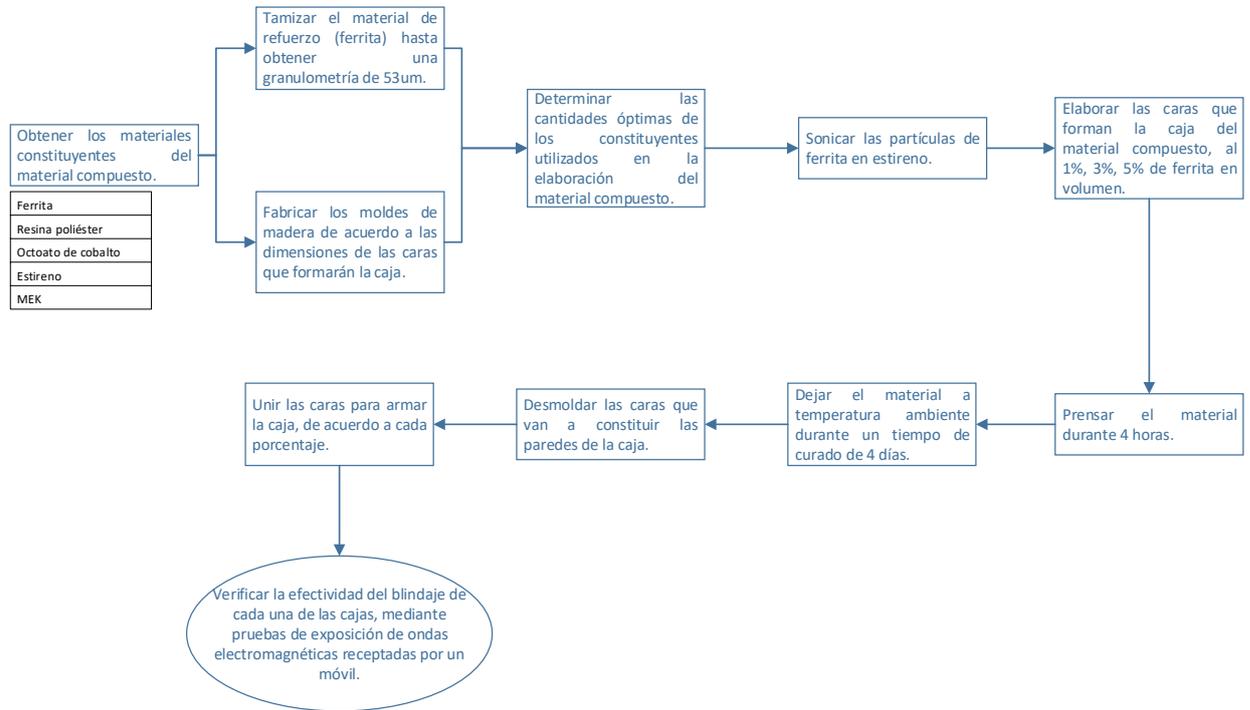


Figura 2.2 Proceso experimental para la obtención de cajas de blindaje

(Fuente: propia)

2.3. Medición de ondas electromagnéticas

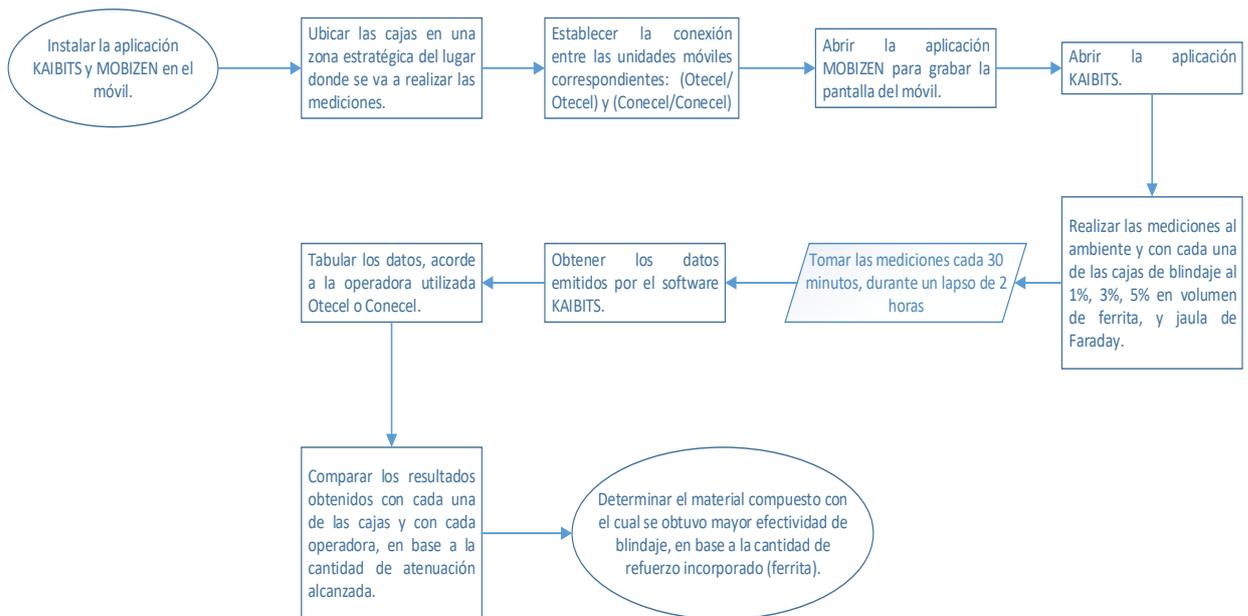


Figura 2.3 Proceso para realizar la medición de ondas electromagnéticas

(Fuente: propia)

2.4. Elaboración del material compuesto

Para la elaboración de la matriz polimérica se utilizó resina poliéster insaturada ortoftálica marca CRISTALÁN 896, cuya hoja técnica del fabricante se encuentra detallada en el Anexo 1, un acelerador (octoato de cobalto), un catalizador (peróxido metil etil cetona-MEK), y un medio reactivo (estireno), el cual permite disminuir la viscosidad de la resina y facilitar la impregnación del refuerzo en la matriz. Los elementos mencionados se muestran en la Figura 2.4.



Figura 2.4 Materiales utilizados en la elaboración de la matriz polimérica

(Fuente: propia)

Como material de refuerzo se utilizó partículas de ferrita, que fueron previamente molidas y tamizadas utilizando un tamiz de granulometría (U.S. STD. Sieve) No. 270, del cual se obtuvieron partículas de 53 micrómetros o menos (Figura 2.5), las cuales fueron utilizadas en el proceso de elaboración del material compuesto.

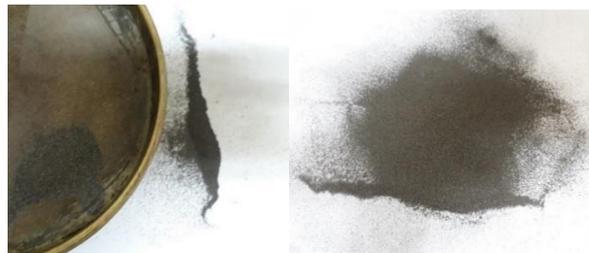


Figura 2.5 Partículas de ferrita tamizadas a 53 micrómetros

(Fuente: propia)

2.4.1. Elaboración de las probetas

Las probetas de material compuesto para ensayos de tracción y flexión fueron elaboradas considerando una variación porcentual de ferrita al 1%, 3% y 5% en volumen. Estos porcentajes fueron seleccionados considerando la alta densidad que presenta la ferrita ($7,15 \text{ g/cm}^3$) en comparación con la densidad de la resina ($1,23 \text{ g/cm}^3$), sin exceso de material para así evitar su sedimentación durante el proceso de curado.

Los moldes macho-hembra utilizados para obtener las probetas de caracterización mecánica se fabricaron en madera bajo las dimensiones dadas por las normas ASTM D3039/D3039 M-17 para los ensayos de tracción y bajo la norma ASTM D7264/D7264-M15 para ensayos de flexión (respectivamente).

Tabla 2.1 Dimensiones estandarizadas para el ensayo de tracción bajo la norma ASTM D3039-17.

Parámetros	Dimensiones
Unidades	SI
Ancho	25,00 [mm]
Longitud	250,00 [mm]
Espesor	2,50 [mm]
Distancia calibrada uso extensómetro	50,00 [mm]
Número de probetas	5 evaluadas en condiciones favorables
Velocidad de ensayo	2,00 [mm/min]

Fuente: Norma ASTM D3039-17

Tabla 2.2 Dimensiones estandarizadas para el ensayo de flexión bajo la norma ASTM D7264-15

Parámetros	Dimensiones
Unidades	SI
Ancho	15,00 [mm]
Longitud	32:1 con respecto al espesor [mm]
Espesor	4,00 [mm]
Relación de espesor-distancia entre apoyos	1:32
Número de probetas	5 evaluadas en condiciones favorables
Velocidad de ensayo	1,00 [mm/min]

Fuente: Norma ASTM D7264-15

En la Tabla 2.3. y Tabla 2.4, se muestran las cantidades adicionadas de cada componente en la preparación de mezcla.

Tabla 2.3 Cantidades empleadas para la preparación de las probetas de tracción

Descripción	Norma D3039 (Tracción)		
Volumen del molde (cm ³)	15,63		
Volumen de estireno (cm ³)	2,50		
Volumen de octoato de cobalto (cm ³)	0,16		
Volumen de MEK (cm ³)	0,16		
Volumen de ferrita al 1% (cm ³)	0,16	Volumen de resina (cm ³)	12,66
Volumen de ferrita al 3% (cm ³)	0,47		12,34
Volumen de ferrita al 5% (cm ³)	0,78		12,03

Fuente: propia

Tabla 2.4 Cantidades empleadas para la preparación de las probetas de flexión

Descripción	Norma D7264 (Flexión)		
Volumen del molde (cm ³)	9,60		
Volumen de estireno (cm ³)	1,54		
Volumen de octoato de cobalto (cm ³)	0,10		
Volumen de MEK (cm ³)	0,10		
Volumen de ferrita al 1% (cm ³)	0,10	Volumen de resina (cm ³)	7,78
Volumen de ferrita al 3% (cm ³)	0,29		7,58
Volumen de ferrita al 5% (cm ³)	0,48		7,39

Fuente: propia

Como se mencionó anteriormente, la alta densidad de la ferrita produce que las partículas no se suspendan en la matriz, sino que se precipiten al fondo del molde. Ante lo cual, una vez determinada la cantidad a emplear de cada componente, las partículas de ferrita se incorporaron en el estireno y pasaron por un proceso de sonicación. Para ello, se utilizó el equipo de ultrasonido Misonix Sonicator 4000 Vibracell, que mediante vibraciones mecánicas a través de una sonda de titanio de 12,5 mm de diámetro permiten generar un movimiento vibratorio elevando la temperatura del espacio en el cual se emite, haciendo que las partículas disminuyan de volumen, se mantengan suspendidas y distribuidas uniformemente en la matriz.

El proceso de sonicación se realizó con una intensidad del 70% de la amplitud de salida de la onda del equipo, durante 30 minutos, como se observa en la Figura 2.6.



Figura 2.6 Baño ultrasónico de partículas de ferrita

(Fuente: propia)

Considerando lo mencionado previamente, el proceso continúa con la preparación del material compuesto. Para lo cual, en un recipiente se realizó la mezcla de la resina poliéster con el estireno que contiene las partículas de ferrita previamente sonicadas (Figura 2.7a), una vez obtenida la mezcla (resina-estireno-ferrita) se adicionó el acelerador (octoato de

cobalto), se agitó manualmente hasta combinarlo con los demás componentes, y finalmente se añadió el MEK, agitando constantemente hasta incorporarlo por completo en la mezcla y obtener una buena homogeneidad de la misma (Figura 2.7b); al ser un catalizador da inicio a la reacción química y curado de la mezcla.

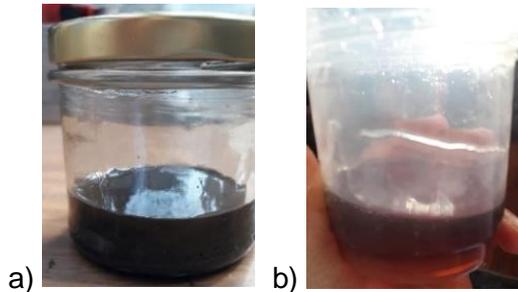


Figura 2.7 a) Estireno con partículas de ferrita sonicadas, b) Mezcla final obtenida del material compuesto

(Fuente: propia)

Para que la mezcla obtenida no quede impregnada en el molde, se utilizó cera desmoldante, que fue frotada previamente de manera uniforme sobre todas las caras de la cavidad en donde se vertió la mezcla (Figura 2.8a), lo cual garantizó el fácil desmolde de las probetas una vez que terminado el tiempo de curado del material. De modo que, una vez obtenida la mezcla homogénea del material compuesto, se colocó en los moldes de manera rápida, distribuida y cubriendo toda la cavidad (Figura 2.8b), permitiendo obtener probetas completas y sin cambio de dimensiones.

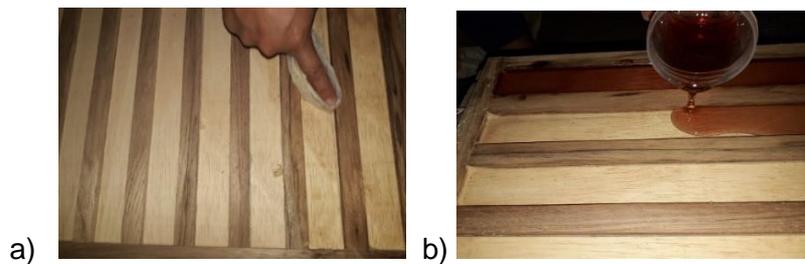


Figura 2.8 a) Frotación de la cera desmoldante, b) Colocación del material polimérico

(Fuente: propia)

Una vez colocada la mezcla en el molde, se cerró el molde macho/hembra y se llevó a una prensa hidráulica manual (Figura 2.9a), en donde al aplicar una presión de 1000 Psi, permitió obtener una buena consolidación y un llenado uniforme del material en el molde. El tiempo de moldeo empleado fue de 4 horas, seguidamente, se retira el molde de la prensa y se deja por un periodo de 48 horas a temperatura ambiente hasta que el material se solidifique completamente. Finalmente, transcurrido el tiempo de curado las probetas son desmoldadas (Figura 2.9b).

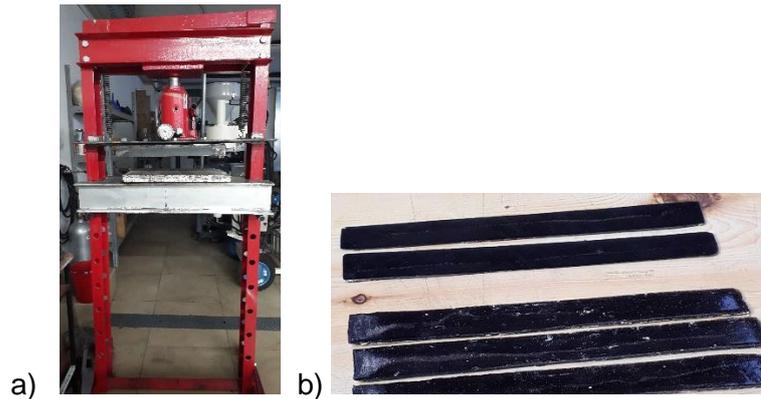


Figura 2.9 a) Proceso de prensado, b) Probetas desmoldadas

(Fuente: propia)

Una vez obtenidas todas las probetas, se verificó que cumplan con las dimensiones dadas por las normas de tracción y flexión previamente analizadas en las Tabla 2.1 y Tabla 2.2, al mismo tiempo, se observó que las probetas no presenten algún defecto relevante como: exceso de porosidades, cambio de dimensión, grietas superficiales, burbujas de aire. Las probetas que no cumplieron con los parámetros establecidos, fueron desechadas y se elaboraron nuevamente hasta obtener probetas que cumplan con los parámetros requeridos.

Las probetas seleccionadas fueron pulidas con el fin de mejorar el acabado superficial, así como para eliminar rebabas existentes en los fillos (Figura 2.10a), de manera que no presenten defectos, sean planas y cumplan con las dimensiones establecidas. Una vez finalizado el proceso de pulido, se verificó las dimensiones finales de las probetas y se observó que los defectos superficiales hayan sido eliminados (Figura 2.10b), garantizando que los ensayos se realicen efectivamente.

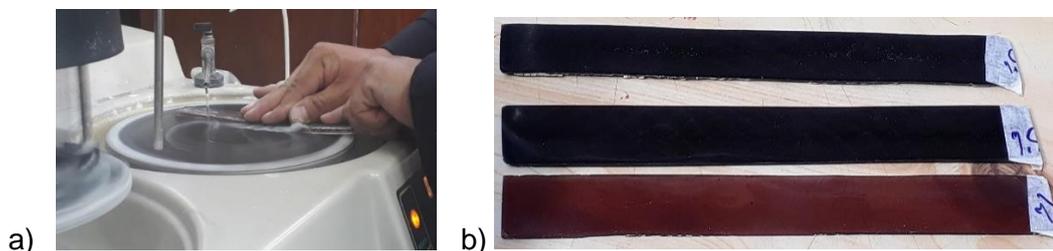


Figura 2.10 a) Proceso de pulida, b) Probetas pulidas

(Fuente: propia)

Finalmente, las probetas fueron sometidas a ensayos de tracción, flexión y densidad, bajo las normas ASTM D3039/D3039 M-17, ASTM D7264/D7264-M15 y ASTM D792-13, respectivamente, caracterizando mecánicamente el material.

2.4.1.1. Caracterización mecánica de la matriz y del material compuesto

2.4.1.1.1. Ensayos de tracción

Para el ensayo de tracción, la probeta normalizada fue sometida a una fuerza uniaxial progresiva a lo largo del eje longitudinal, lo cual causó una continua deformación en la probeta hasta llegar a la rotura de la misma. Los ensayos se realizaron a las probetas elaboradas bajo la norma ASTM D3039M-17, en la máquina universal Tinius Olsen modelo: H25KS, que tiene una capacidad máxima de 25kN con una precisión de 0.01 N (Figura 2.11). El ensayo se realizó a la matriz y a los materiales compuestos con composiciones volumétricas de ferrita al 1%, 3%, 5%, lo cual permitió determinar la resistencia del material al ser sometido a una fuerza estática.



Figura 2.11 Máquina Universal para ensayos de tracción

(Fuente: propia)

2.4.1.1.2. Ensayos de flexión.

El ensayo de flexión se realizó bajo la norma ASTM 7264 M-15 de acuerdo a la configuración del procedimiento A (flexión en tres puntos) como se muestra en la Figura 2.12. El ensayo consiste en apoyar la probeta en dos apoyos fijos y aplicar en el centro una carga, de tal manera que la probeta se flexione hasta que llegue a su punto de falla dentro del área señalada previamente, validando así el ensayo. El equipo utilizado en este ensayo se muestra en la Figura 2.13. De igual modo, el ensayo se realizó a la matriz y a los materiales compuestos con composiciones volumétricas de ferrita al 1%, 3%, 5%.

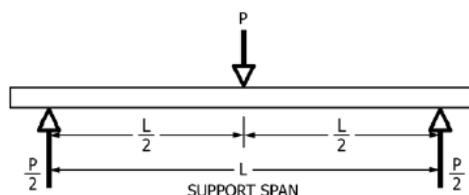


Figura 2.12 Diagrama de carga- Procedimiento A

(Fuente: Norma ASTM D7264/D7264 M-15)



Figura 2.13 Máquina Universal para ensayos de flexión

(Fuente: propia)

2.4.1.1.3. Ensayos de densidad

Mediante este ensayo se determinó la densidad relativa de la materia prima utilizada en la elaboración del material compuesto (ferrita y matriz polimérica), así como de los materiales compuestos con composiciones volumétricas de ferrita al 1%, 3%, 5%. El ensayo se realizó bajo la norma ASTM D792-13 utilizando el equipo mostrado en la Figura 2.14.



Figura 2.14 Balanza para medir la densidad

(Fuente: propia)

2.5. Elaboración de las cajas de blindaje

Se elaboraron 6 paredes de material compuesto para el armado de cada una de las cajas, considerando la variación porcentual de ferrita (1%, 3%, 5%); en consecuencia, se obtuvieron 3 cajas de blindaje diferentes, considerando un ejemplar de cada porcentaje.

El procedimiento utilizado para la preparación del material compuesto, es el mismo analizado previamente en el apartado 2.4.1. No obstante, para este caso el tiempo de moldeo por compresión fue de 4 horas y se dejó 4 días a temperatura ambiente, hasta que el material se solidifique completamente. Así también, las cantidades adicionadas de cada componente en la preparación de cada mezcla se detallan en las Tabla 2.5 y Tabla 2.6.

Tabla 2.5 Cantidades empleadas para la preparación de las paredes pequeñas

Descripción	Paredes pequeñas		
Volumen del molde (cm ³)	680,00		
Volumen de estireno (cm ³)	108,80		
Volumen de octoato de cobalto (cm ³)	6,80		
Volumen de MEK (cm ³)	6,80		
Volumen de ferrita al 1% (cm ³)	6,80	Volumen de resina (cm ³)	550,80
Volumen de ferrita al 3% (cm ³)	20,40		537,20
Volumen de ferrita al 5% (cm ³)	34,00		523,60

Fuente: propia

Tabla 2.6 Cantidades empleadas para la preparación de las paredes grandes

Descripción	Paredes grandes		
Volumen del molde (cm ³)	920,00		
Volumen de estireno (cm ³)	147,20		
Volumen de octoato de cobalto (cm ³)	9,20		
Volumen de MEK (cm ³)	9,20		
Volumen de ferrita al 1% (cm ³)	9,20	Volumen de resina (cm ³)	745,20
Volumen de ferrita al 3% (cm ³)	27,60		726,80
Volumen de ferrita al 5% (cm ³)	46,00		708,40

Fuente: propia

Los moldes utilizados para obtener las paredes pequeñas fueron de 17x20x2 cm, mientras que los moldes que forman las paredes grandes fueron de 20x23x2 cm, de modo que, una vez obtenida cada una de las paredes del material compuesto (Figura 2.15a), se verificó que los defectos superficiales no sean relevantes y que no afecten en las pruebas de medición electromagnética. Seguidamente, se utilizó una mezcla de matriz polimérica para unir las paredes que forman cada una de las cajas de blindaje al 1%, 3% y 5% de ferrita, respectivamente, obteniendo las cajas armadas como se observa en la Figura 2.15b.

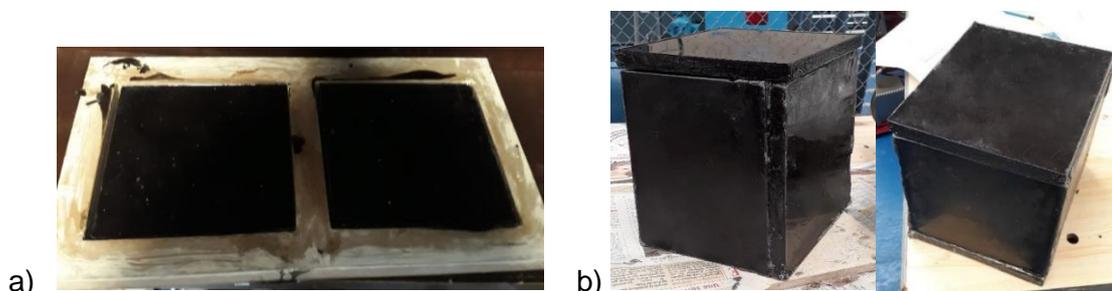


Figura 2.15 a) Paredes previas al desmolde, b) Cajas de blindaje armadas.

(Fuente: propia)

2.6. Consideraciones previas a la medición de ondas electromagnéticas

Las cajas de blindaje obtenidas con composiciones volumétricas de ferrita al 1%, 3% y 5%, y jaula de Faraday, fueron sujetas a la exposición de campos electromagnéticos en diferentes rangos de frecuencia. La frecuencia en la que se conecta un móvil para establecer la comunicación, depende de la red de telefonía móvil utilizada, Conecel u Otecel, así como, de la disponibilidad de canales que haya en la radio base más cercana correspondiente a cada operadora. En la Tabla 2.7, se observa los rangos de frecuencia en los trabaja cada una de estas operadoras móviles.

Tabla 2.7 Rango de frecuencia de acuerdo a cada operadora

BANDAS DE TELEFONÍA MÓVIL GSM/UMTS		
CONECCEL		
824 – 835 MHz	845 – 846,5 MHz	1885 – 1895 MHz
869 – 880 MHz	890 – 891,5 MHz	1965 – 1975 MHz
OTECCEL		
835 – 845 MHz	846,5 – 849 MHz	1865 – 1875 MHz
880 – 890 MHz	891,5 – 894 MHz	1945 – 1955 MHz

Fuente: Arcotel

Para este estudio se seleccionaron dos operadoras de telefonía móvil, Conecel y Otecel, siendo la primera y segunda operadora con más usuarios en el Ecuador, respectivamente. En base a la última actualización patrocinada por TUTELA en noviembre de 2019, en la Figura 2.16, se observa el porcentaje de mercado aproximado que cada operadora aborda actualmente, siendo Conecel la operadora con mayor acogida, con el 52,3% de mercado, seguida por Otecel con el 29,7% de mercado y, finalmente CNT con el 18% de mercado, a nivel nacional.

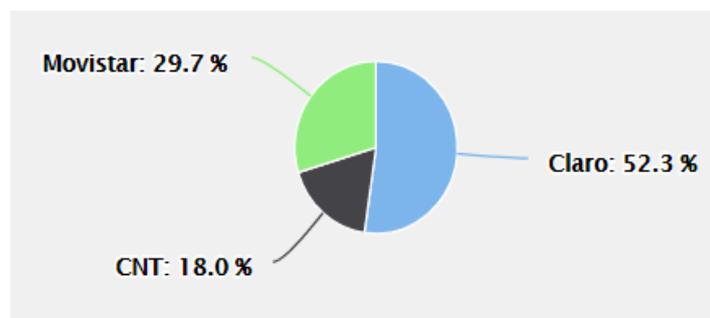


Figura 2.16 Participación de mercado de las operadoras móviles en Ecuador

(Fuente: <https://www.telesemana.com/panorama-de-mercado/ecuador/>)

Así pues, dentro de la competitividad de mercado, cada telefonía móvil ofrece una variedad de servicios de tecnología avanzada, con el fin de dar alternativas de comunicación, mejorar la calidad del servicio y brindar comodidad a sus clientes. Sin embargo, para este estudio se deshabilitaron las opciones de conectividad que ofrece el dispositivo móvil como: red wifi, datos móviles, bluetooth, GPS, etc., ya que afectan directamente a la potencia que recibe el móvil desde la radio base, por lo que, el móvil fue configurado sólo para recibir y emitir llamadas.

En este proyecto, se realizaron las mediciones de potencia de la señal downlink, emitida desde la radio base hacia el móvil, utilizando el software KAIBITS, mediante el cual se obtuvieron los valores de potencia medida durante el comportamiento de la señal en el transcurso del tiempo, cuando el móvil se encontraba en el interior de cada una de las cajas de blindaje (1%,3%, 5%) y jaula de Faraday. Al mismo tiempo, los valores de potencia permitieron determinar el material compuesto con el cual se obtuvo la mayor efectividad de blindaje.

Cabe mencionar, que la intensidad de potencia que recibe un móvil desde la radio base más cercana, no se ve afectada solo por las interferencias o ruidos que se presenten en el lugar de medición, sino también, por factores como: la distancia entre la radio base y el móvil, la cantidad de construcciones aledañas al lugar, condiciones climáticas, disponibilidad de canales en la estación base, densidad de usuarios que frecuentan el lugar, características del entorno para la propagación de la señal, entre otros. Factores que generan la pérdida de señal debido al deterioro de la cobertura, como se muestra en la Figura 2.17.

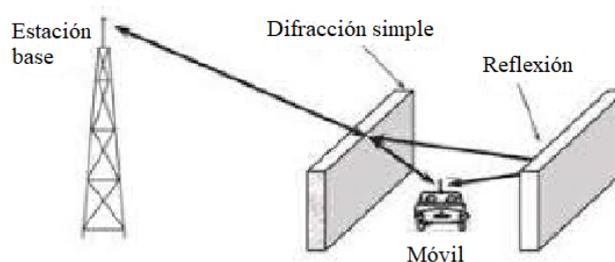


Figura 2.17 Modelo de propagación de la señal

(Fuente: http://oa.upm.es/44152/1/TFG_FRANCISCO_JAVIER_GARCIA_RUEDA.pdf)

2.7. Medición de ondas electromagnéticas.

Contemplando los factores que influyen en el deterioro de la cobertura del móvil debido a la pérdida de potencia, como se mencionó en el apartado 2.6., se dice que las condiciones más críticas a las cuales se puede exponer el material compuesto, son:

- Un lugar cerca a la radio base.
- Un lugar despejado.
- Un clima despejado.

La representación gráfica de las condiciones críticas a las que fue expuesto el material se observa en la Figura 2.18.



Figura 2.18 Condiciones críticas para realizar las mediciones

(Fuente: propia)

Ante lo cual, se plantea que, si el material compuesto atenúa las ondas electromagnéticas bajo las condiciones críticas, va a atenuar bajo cualquier otra condición. En virtud de ello, se realizaron mediciones en tres lugares diferentes de la ciudad de Quito: Laboratorio de Termodinámica de la EPN, Hospital Militar y el Centro Comercial El Recreo, lugares en los cuales existe la variación de factores como:

- Afluencia de personas.
- Variación de perturbaciones ambientales.
- Variación de temperatura.
- Interferencias causadas por edificios, árboles o por la orografía del lugar.
- Distancia de la radio base al móvil.

En la Figura 2.19, Figura 2.20 y Figura 2.21 se muestran algunas imágenes de los lugares en donde se realizaron las mediciones de las ondas electromagnéticas, al exponer el material compuesto en sus diferentes composiciones volumétricas, a diferentes ambientes de trabajo.



Figura 2.19 Laboratorio de Termodinámica, EPN

(Fuente: propia)



Figura 2.20 Hospital Militar, sala de espera, planta baja

(Fuente: propia)



Figura 2.21 Centro Comercial "El Recreo", patio de comidas

(Fuente: propia)

2.7.1. Procedimiento utilizado para la medición de ondas electromagnéticas.

La cantidad de ondas electromagnéticas que envía una red de telefonía móvil, desde la radio base hasta el móvil durante una conexión emisor/receptor, se mide en base a la cantidad de potencia que emite la radio base en función de la frecuencia en la que se conecte el móvil dentro de la celda y considerando los factores mencionados en el apartado 2.7. En vista de ello, para determinar la cantidad de atenuación que se obtiene al utilizar cada una de las cajas de blindaje cuando el móvil se encuentra en el interior de la misma, se siguió el siguiente procedimiento:

1. Transportar las cajas de blindaje al lugar de medición correspondiente (laboratorio, hospital o centro comercial).
2. Ubicar las cajas en una zona estratégica dentro del lugar de medición (puede ser sobre una mesa, en el piso, en las gradas, etc.), siendo el sitio en el cual se permaneció durante el periodo de tiempo en el que se realizaron todas las mediciones.
3. Establecer la conexión (llamada) entre las unidades móviles emisor/receptor, que utilicen la misma operadora Otecel/Otecel y Conecel/Conecel. Se debe mencionar que las mediciones de potencia downlink se realizaron utilizando las dos operadoras simultáneamente, con dos unidades móviles diferentes (receptores), y dos móviles externos adicionales (emisores), correspondiente a cada operadora.
4. Abrir la aplicación KAIBITS desde el móvil; a partir de ese momento el software comienza a medir la potencia que recepta la unidad desde la radio base, en dBm.
5. Activar el grabador de pantalla "Mobizen" desde el móvil.
6. Ubicar el móvil en una posición determinada y obtener los valores de potencia, enviados desde la radio base, que recepta el móvil en el ambiente en ese momento. Los datos en el ambiente serán tomados durante un tiempo 30 segundos.
7. Introducir la unidad móvil en la caja de blindaje del 1% de ferrita, y tomar los datos durante 30 segundos.
8. Sacar el móvil de la caja y colocar en una posición determinada en el ambiente, tomar datos durante 30 segundos.
9. Introducir el móvil en la caja del 3% de ferrita, y tomar datos durante 30 segundos.

A partir de aquí, el proceso del punto 7 y 8, se repitió sucesivamente con la caja del 5% y jaula de Faraday, sin cortar la comunicación emisor/receptor, con el fin de mantener la frecuencia en la que se estableció la conexión. Igualmente, a partir del punto 3, el proceso se repitió cada 30 minutos en el mismo lugar, durante un periodo de 2 horas, desde las 12:00 p.m. hasta las 14:00 p.m. Lo cual permitió obtener 5 mediciones diferentes por cada operadora, con cada una de las cajas de blindaje y jaula de Faraday.

10. Tabular los datos obtenidos de acuerdo a cada operadora, dependiendo de la hora y considerando las condiciones de cada lugar al momento de realizar las mediciones; las cuales a su vez se muestran en la Tabla 3.9. del apartado 3.5.1.

Cabe recalcar que, a pesar de no conocer la ubicación exacta de la radio base a la cual el móvil estuvo conectado, al mantener la posición del móvil constante durante todo el transcurso del tiempo en el que se tomaron las mediciones, se puede decir que, la distancia a la cual se encuentra el móvil cuando está fuera o dentro de la caja, es la misma para

ambos casos. Lo cual permite considerar que las pérdidas de potencia generadas por la ubicación de la antena, van a ser las mismas en todas las mediciones tomadas en un mismo lugar de análisis, contemplando únicamente las pérdidas generadas por ruidos o perturbaciones que se presentaron en el lugar al momento de realizar las mediciones.

Una vez obtenidos todos los valores de potencia downlink, en los tres lugares de medición, bajo el procedimiento previamente detallado, se realizó un proceso de transformación de unidades y análisis de resultados, como se muestra en el apartado 3.5., de acuerdo a cada lugar. A partir de esta información, se realizó un análisis comparativo de los porcentajes de atenuación que se obtienen con cada una de las operadoras, al igual que con cada una de las cajas de blindaje (1%, 3%,5%); determinando de esa manera el material compuesto con el cual se obtenía la mayor cantidad de atenuación de ondas electromagnéticas, así como, identificar la operadora que redujo la mayor cantidad de potencia receptada por el móvil al utilizar una caja de blindaje.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se detallan los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos de tracción, flexión y densidad del material compuesto con diferentes concentraciones volumétricas. Además, se analizan las pruebas de atenuación electromagnética realizadas a las cajas de blindaje previamente obtenidas.

3.1. Distribución del material de refuerzo dentro de la matriz

El tamaño de grano y la distribución de las partículas de refuerzo dentro de la matriz polimérica, son parámetros a considerarse para evitar la aglomeración del material de refuerzo (ferrita) en una sola zona, así como también, evitar la formación de espacios vacíos por la falta de material. De igual manera, al tener una distribución más uniforme de material de refuerzo dentro de la matriz, se minimiza la afectación en la efectividad del blindaje.

Una vez obtenido el material compuesto con diferentes composiciones (ferrita al 1%, 3%, 5%), se analiza la distribución de las partículas de refuerzo dentro de la matriz polimérica mediante microscopía, utilizando el microscopio MEIJI EMZ-13TR a 20X (Figura 3.1).

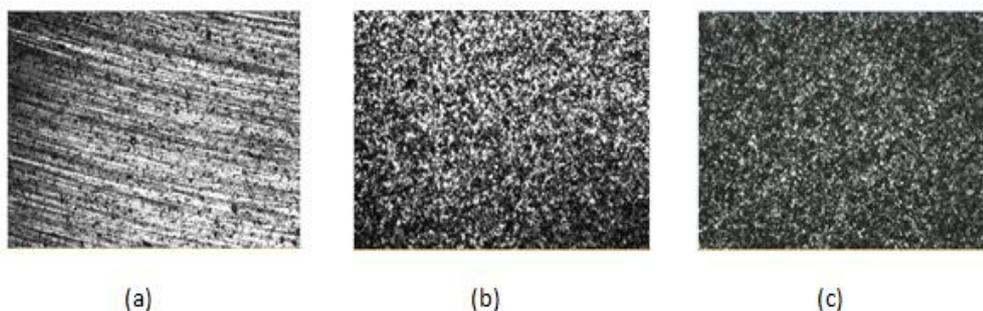


Figura 3.1 Composición resina más ferrita (a) 1%, (b) 3%, (c) 5%

(Fuente: propia)

Como se observa en la Figura 3.1, las tres composiciones tienen una buena dispersión de ferrita en la matriz, lo cual garantiza un material más uniforme. Cabe resaltar que la Figura 3.1c correspondiente a la microscopía obtenida al 5% de fracción volumétrica de ferrita, se nota que, a pesar de tener una mayor concentración de material, no existe sedimentación ni espacios vacíos por la falta de material gracias a la disminución del tamaño de grano mediante el tamizado y sonicación de partículas realizado previamente a la elaboración del material, lo que permitió obtener una buena dispersión de las partículas en toda la matriz y evitó la generación de concentradores de esfuerzos.

Estos análisis permitieron obtener las probetas finales, con las dimensiones requeridas y sin defectos para los diferentes ensayos a realizarse.

3.2. Ensayo de tracción.

Se realizaron 5 ensayos de tracción para cada composición volumétrica de material compuesto (1%, 3%, 5%) y 5 ensayos de tracción a la resina poliéster (sin refuerzo), según la norma ASTM D3039 M-17. Los ensayos realizados permiten determinar las propiedades de tracción de un material compuesto de matriz polimérica. El modo de falla de las probetas ensayadas mostrado en la Figura 3.2 fue registrado en base a los códigos de falla de prueba de la Tabla 3.1 correspondiente a la norma ASTM D3039/D3039-M17.

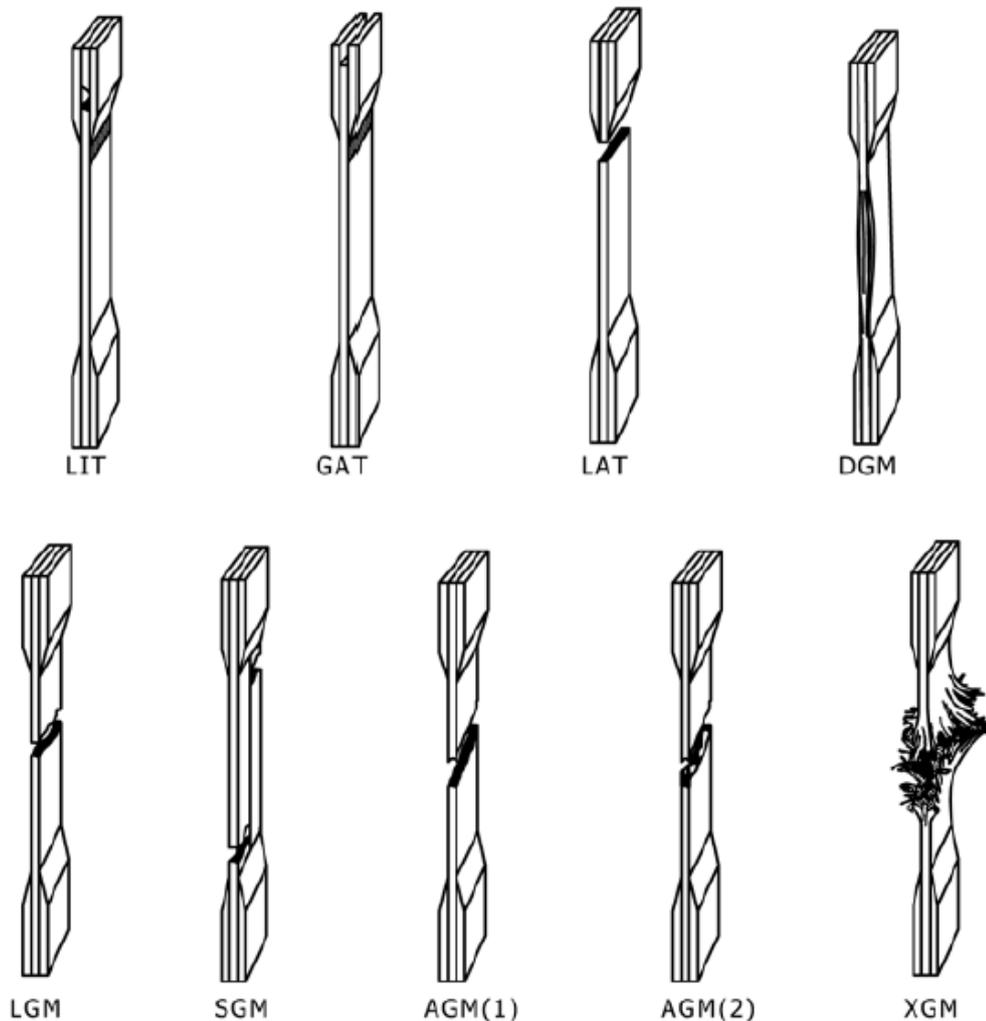


Figura 3.2 Localización de los modos de falla en ensayos de tracción

(Fuente: Norma ASTM D3039/D3039M-17)

Tabla 3.1 Códigos de falla para ensayos de tracción

Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
Modo de Fallo	Código	Modo de Fallo	Código	Modo de Fallo	Código
Angular	A	Dentro agarre/pestaña	I	Abajo	B
Delaminación de borde	D	En agarre/pestaña	A	Parte superior	T
Agarre/pestaña	G	<1W de agarre/pestaña	W	Izquierda	L
Lateral	L	Calibrar	G	Derecha	R
Modo múltiple	M (x, y, z)	Áreas múltiples	M	Medio	M
División larga	S	Varios	V	Varios	V
Explosivo	X	Desconocido	U	Desconocido	U
Otros	O				

Fuente: Norma ASTM D3039/D3039M-17

En la Tabla 3.2 se muestran los valores promedio obtenidos de los ensayos de tracción, de la resina poliéster y del material compuesto con diferentes composiciones. Del mismo modo, en la Tabla 3.3. se observa la variación porcentual de la resistencia última y módulo de elasticidad secante que presentan los materiales compuestos con diferentes composiciones, tomando como valor referencial la resina poliéster sin refuerzo.

Tabla 3.2 Resultados promedio obtenidos de los ensayos de tracción bajo la norma ASTM D3039

Muestra	Resistencia última (MPa)	Módulo de elasticidad secante (MPa)	Deformación última (%)
Resina poliéster	42,64	4212,64	1,54
Probeta 1%	33,14	5019,35	0,62
Probeta 3%	29,46	6040,23	0,47
Probeta 5%	24,11	6062,58	0,35

Fuente: propia

Cabe mencionar que los resultados obtenidos del ensayo de tracción junto con las desviaciones estándar de cada muestra se detallan en el Anexo 2.

Tabla 3.3 Variación porcentual de las propiedades mecánicas a tracción

Cantidad de concentración de refuerzo (% en volumen)	Porcentaje de decremento	Porcentaje de incremento
	Resistencia última (MPa)	Módulo de elasticidad secante (MPa)
Sin refuerzo	Valor referencial	
1%	22,28%	19,15%
3%	30,91%	43,38%
5%	43,47%	43,91%

Fuente: propia

La resistencia última a tracción [MPa] y módulo de elasticidad secante [MPa] de la resina poliéster y del material compuesto con composiciones diferentes de volumen de ferrita fueron graficados en la Figura 3.3 y Figura 3.4 respectivamente.

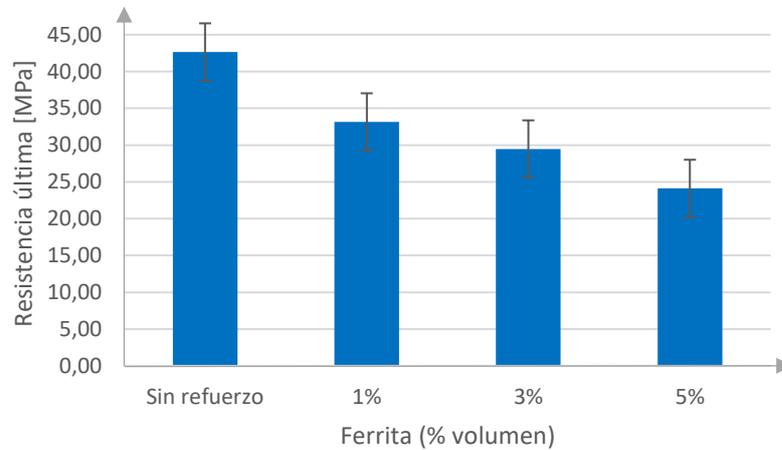


Figura 3.3 Relación entre la resistencia última a tracción vs %volumen de ferrita
(Fuente: propia)

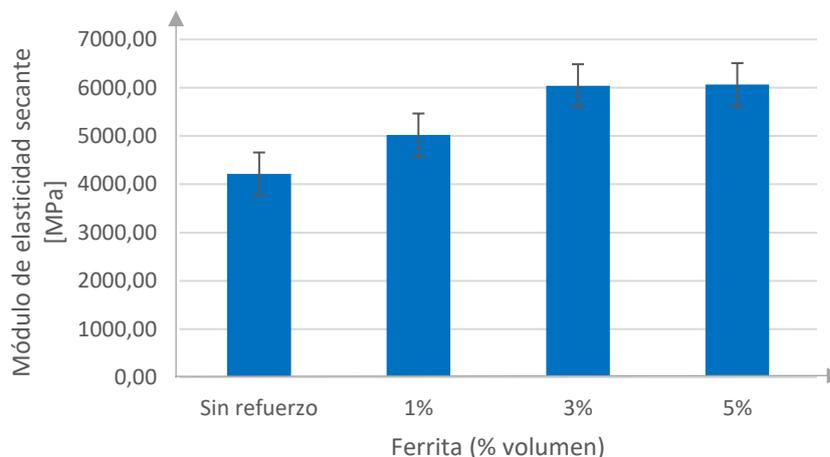


Figura 3.4 Relación entre el módulo de elasticidad secante vs %volumen de ferrita
(Fuente: propia)

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 3.2 se observa que en las tres muestras analizadas, a medida que se incrementa la cantidad de concentración del material de refuerzo la resistencia disminuye; al utilizar un material compuesto al 5% se obtuvo un valor de 24,11 [MPa] (Figura 3.3.) correspondiente a un decremento del 43,47% (Tabla 3.3) con respecto a un material sin refuerzo del cual se obtuvo una resistencia de 42,64 [MPa]. Esto se debe a que el material particulado en la matriz no bloquea el desplazamiento de las dislocaciones eficientemente, y actúa como un concentrador de esfuerzos, incrementando

la rigidez, además al tener una matriz termoestable genera que el material tenga cadenas fuertemente entrelazadas provocando que tenga un comportamiento frágil.

La Figura 3.5. muestra un diagrama esfuerzo-deformación estimado de las cuatro probetas ensayadas, en el cual se observa que a medida que se incrementa la concentración de partículas en la matriz la resistencia disminuye mientras que el módulo de elasticidad secante se incrementa. De modo que, al ser el módulo de elasticidad inversamente proporcional a la deformación que presenta el material compuesto, de acuerdo a la ley de Hooke, se observa que al tener un material al 5% de refuerzo, presenta una deformación de 0,35% llegando a un módulo de elasticidad de 6.062,58 [MPa] (Figura 3.4.) correspondiente al incremento del 43,91% (Tabla 3.3) con respecto a la resina poliéster sin refuerzo, la cual presentó una deformación de 1,54% llegando a un módulo de elasticidad de 4.212,64 [MPa].

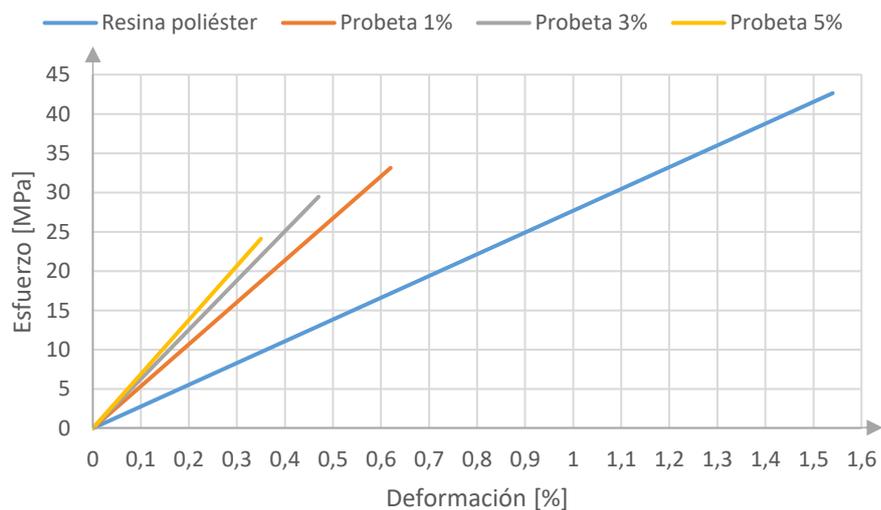


Figura 3.5 Diagrama esfuerzo-deformación estimado

(Fuente: propia)

3.3. Ensayo de flexión.

Se realizaron 5 ensayos de flexión para cada composición volumétrica de material compuesto (1%, 3%, 5%) y 5 ensayos de flexión a la resina poliéster (sin refuerzo), según la norma ASTM D7264 M-15. Los ensayos realizados permiten determinar las propiedades de rigidez, resistencia y comportamiento del material compuesto en las condiciones definidas. El modo de falla de las probetas ensayadas, se registró en base al código de identificación de fallas mencionado en el apartado 11.7.1. correspondiente a la norma ASTM D7264/D7264-M15, y el cual se observa en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Código de identificación de falla en probetas sometidas a ensayos de flexión

Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
Modo de fallo	Código	Área de fallo	Código	Localización de falla	Código
Tensión	T	En la punta de carga	A	Arriba	T
Compresión	C	Entre las puntas de carga	B	Abajo	B
Pandeo	B	En la punta de soporte	S	Izquierda	L
Cizallamiento entre láminas	S	Entre la carga y la punta de apoyo	L	Derecha	R
Modo múltiple	M (xyz)	Desconocido	U	Medio	M
Otros	O			Varios	V
				Desconocido	U

Fuente: Norma ASTM D7264/D7264M-15

La Tabla 3.5. muestra los valores promedio obtenidos de los ensayos de flexión realizados a la resina poliéster, así como al material compuesto en sus diferentes composiciones. En la cual, se observa que el modo de falla en las cuatro muestras analizadas corresponde a MLV (modo múltiple entre la carga y la punta de apoyo varios), lo cual indica que el material sufrió un tipo de fractura frágil producido en la zona de aplicación de la carga.

Tabla 3.5 Resultados promedio obtenidos de los ensayos de flexión de acuerdo a la ASTM D7264

Muestra	Tipo de falla	Resistencia última (MPa)	Módulo elástico a flexión (MPa)	Deformación última (%)
Resina poliéster	MLV	44,35	1625,16	3,99
Probeta 1%	MLV	45,84	2097,20	2,94
Probeta 3%	MLV	46,61	2159,67	2,44
Probeta 5%	MLV	49,80	2342,95	3,13

(Fuente: propia)

Los resultados obtenidos del ensayo de flexión junto con las desviaciones estándar de cada muestra se detallan en el Anexo 3.

En la Tabla 3.6. se observa el porcentaje de incremento de la resistencia última y módulo elástico a flexión que presentan los materiales compuestos en sus diferentes composiciones, tomando como valor referencial la resina poliéster sin refuerzo.

Tabla 3.6 Porcentaje de incremento

Cantidad de concentración de refuerzo (% en volumen)	Resistencia última (MPa)	Módulo elástico a flexión (MPa)
Sin refuerzo	Valor referencial	
1%	3,36%	29,05%
3%	5,10%	32,89%
5%	12,29%	44,17%

(Fuente: propia)

La resistencia última a flexión [MPa] y módulo elástico a flexión [MPa] de la resina poliéster y del material compuesto con composiciones diferentes de volumen de ferrita fueron graficados en la Figura 3.6 y Figura 3.7., respectivamente.

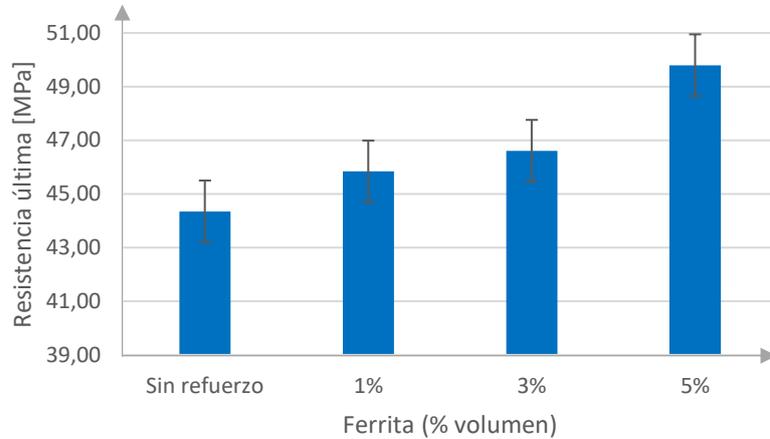


Figura 3.6 Relación entre la resistencia última a flexión vs %volumen de ferrita

(Fuente: propia)

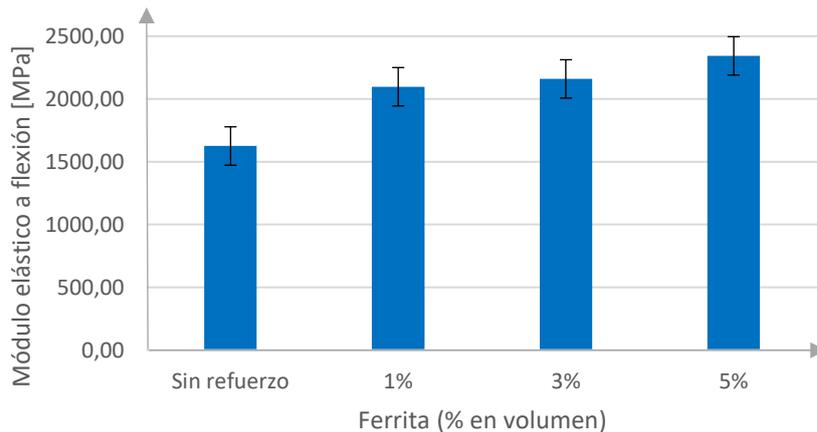


Figura 3.7 Relación entre el módulo elástico a flexión vs %volumen de ferrita

(Fuente: propia)

En la Figura 3.6 y Figura 3.7, se observa que el material compuesto al 5% de ferrita fue el que presentó las mejores propiedades mecánicas a flexión en comparación con el material sin refuerzo, llegando a una resistencia última de 49,80 MPa y un módulo elástico a flexión de 2.342,95 MPa, lo que representa un incremento del 12,29% y 44,17% de las propiedades (Tabla 3.6.), respectivamente. Esta mejora se debe a que el material de refuerzo fue dispersado de manera efectiva en la matriz (apartado 3.1.), obteniendo una buena interfase partículas - matriz, facilitando que las partículas absorban parte de la carga reduciendo el efecto que tiene la fuerza aplicada sobre la matriz, y mejorando las propiedades mecánicas a flexión de los materiales compuestos.

Es importante mencionar que las probetas pueden fallar en los lugares de concentración de esfuerzo generado por defectos superficiales o internos de la probeta, espacios vacíos o sedimentación de partículas, lo cual evita que la matriz transfiera de manera uniforme la carga aplicada a las partículas, haciendo que las probetas fallen en varios puntos al mismo tiempo.

3.4. Ensayo de densidad

Los ensayos de densidad fueron realizados según la norma ASTM D792-13, aplicando el método de prueba A, el cual consiste en determinar la densidad relativa del material mediante la relación de masas de un volumen determinado de material y el volumen equivalente obtenido al sumergirle al material en agua a 23°C bajo condiciones definidas en la norma. Se realizaron 2 ensayos de densidad relativa a la materia prima (ferrita), 2 ensayos a la resina poliéster sin refuerzo y 2 ensayos a cada composición volumétrica de material compuesto (1%, 3%, 5%).

En la Tabla 3.7. se muestran los valores promedio obtenidos de los ensayos realizados a la resina poliéster, así como al material compuesto en sus diferentes composiciones. En la que se observa que al ensayar una plaquita de material ferrítico, se obtuvo una densidad relativa de 7,16 g/cm³, lo cual indica que al tener mayor concentración de material de refuerzo (partículas de ferrita) en la matriz, la densidad relativa del material compuesto aumenta.

Tabla 3.7 Valores promedios obtenidos del ensayo de densidad relativa según la norma ASTM D792-13

Muestra	TI (°C)	sp gr 23/23°C	D23°C (g/cm3)
Ferrita	23,00	7,18	7,16
Resina poliéster	23,00	1,23	1,23
1%	23,00	1,25	1,25
3%	23,00	1,29	1,29
5%	23,00	1,35	1,35

Fuente: propia

Los resultados obtenidos del ensayo de densidad junto con las desviaciones estándar de cada muestra se detallan en el Anexo 4.

En la Tabla 3.8 se observa el porcentaje de incremento de la densidad relativa que presentan los materiales compuestos en sus diferentes composiciones, tomando como valor referencial la resina poliéster sin refuerzo.

Tabla 3.8 Porcentaje de incremento de densidad relativa

Muestra	Densidad relativa (g/cm ³)
Sin refuerzo	Valor referencial
1%	1,76%
3%	5,42%
5%	9,91%

Fuente: propia

La densidad relativa [g/cm³] de la resina poliéster y del material compuesto con diferentes concentraciones volumétricas de ferrita fueron graficados en la Figura 3.8.

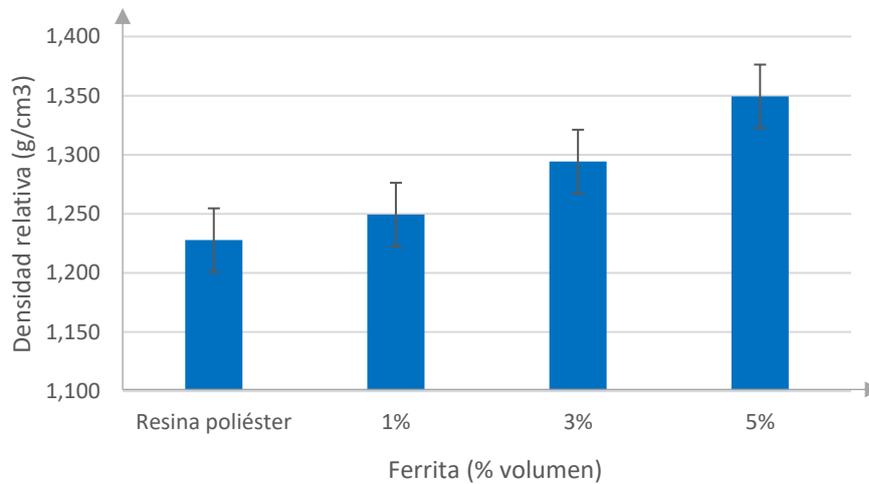


Figura 3.8 Relación entre la densidad relativa vs % ferrita

(Fuente: propia)

En la Figura 3.8., se observa que el material compuesto al 5% de ferrita es el que presentó una densidad relativa de 1,35 [g/cm³], correspondiente a un incremento en peso del 9,91% (Tabla 3.8.) en comparación al material sin refuerzo del cual se obtuvo una densidad de 1,23 [g/cm³]. Lo cual muestra que las propiedades físicas de la matriz polimérica no fueron mayormente afectadas, obteniendo un material compuesto ligero y de fácil maniobrabilidad.

3.5. Análisis de la atenuación de las ondas electromagnéticas utilizando el material compuesto

Con el fin de verificar el comportamiento del material compuesto con refuerzo ferrítico y analizar la cantidad de atenuación de ondas electromagnéticas que se obtiene al utilizar el material como blindaje, se realizó la toma de datos en diferentes ambientes de trabajo considerando las siguientes condiciones de medición:

- 2 operadoras móviles diferentes.
 - Conecel / Movistar
 - Otecel / Claro
- Tres sectores de la ciudad de Quito.
 - Laboratorio de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la EPN.
 - Sala de espera de la planta baja del Hospital Militar.
 - Patio de Comidas del Centro Comercial el Recreo.
- 5 mediciones por operadora con cada una de las cajas, de acuerdo a las fracciones volumétricas y Jaula de Faraday, para cada uno de los lugares en el punto exacto de la medida inicial. Repitiendo el proceso en el horario de 12:00 p.m. a 14:00 p.m., cada 30 minutos, de acuerdo al procedimiento detallado en el apartado 2.7.1.
- Temperatura del ambiente en cada una de las mediciones sobre los 3 lugares mencionados.
- Verificación de la cantidad aproximada de personas presentes en el sitio de medición a las diferentes horas.
- Identificación de agentes externos que puedan causar interferencias adicionales en el proceso de medición.

Es importante mencionar que, las mediciones fueron tomadas simultáneamente de las dos operadoras utilizando dos unidades móviles diferentes, cada móvil recepta la llamada de la operadora correspondiente, es decir, emisor (Conecel)/ receptor (Conecel) y emisor (Otecel) / receptor (Otecel), de tal manera que se establezca la conexión en el canal que esté libre dentro de la radio base más cercana de acuerdo al rango de frecuencia correspondiente a cada operadora, en base a lo observado en la Tabla 2.7 del apartado 2.6. Así también, cabe señalar que cada móvil tiene instalado las aplicaciones, KAIBITS y la grabadora de pantalla Mobizen, las cuales permiten visualizar el comportamiento de la señal y la cantidad de potencia que recepta el móvil durante la comunicación, cuando está en el ambiente y dentro de cada una de las cajas de blindaje, permitiendo la obtención de datos durante las pruebas.

3.5.1. Mediciones en el Laboratorio de Termodinámica de la EPN, Hospital Militar y C.C. Recreo

Las mediciones se realizaron con las cajas de blindaje (1%,3%,5%) y jaula de Faraday en los tres lugares, bajo las condiciones que se muestran en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Condiciones a las cuales se realizaron las mediciones.

N° medición	Hora (p.m.)	Temperatura (°C)			Circulación de personas(aprox)		
		Laboratorio Termodinámica	Hospital Militar	C.C. Recreo	Laboratorio Termodinámica	Hospital Militar	C.C. Recreo
1	12:00	34,4	25,1	30,5	7	50	60
2	12:30	34,7	24,4	30,7	7	70	70
3	13:00	34,4	24,1	31,8	3	50	80
4	13:30	30,2	24,2	31,0	3	40	95
5	14:00	29,8	25,3	31,5	4	80	100

Fuente: propia

La Tabla 3.10. muestra los valores de potencia obtenidos en la primera medición tomada en el Laboratorio de Termodinámica, utilizando la operadora Otecel. El análisis que se realiza con este ejemplo de medición, muestra el procedimiento que se llevó a cabo a partir de los datos obtenidos con cada una de las 5 mediciones tomadas en el mismo lugar, utilizando las dos operadoras y de acuerdo a las condiciones mostradas en la Tabla 3.9.

Tabla 3.10 Valores de potencia obtenidos en dBm

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-71	-75	-69	-85	-67	-89	-67	-111
1	-71	-75	-69	-85	-67	-89	-67	-111
2	-71	-75	-69	-85	-67	-89	-67	Se cierra
3	-71	-75	-69	-85	-67	-89	-67	Se cierra
4	-71	-75	-69	-85	-67	-89	-67	Se cierra
5	-71	-73	-69	-85	-67	-89	-67	Se cierra
6	-71	-73	-69	-85	-67	-89	-67	Se cierra
7	-71	-73	-69	-85	-67	-89	-67	Se cierra
8	-71	-73	-69	-85	-67	-89	-67	Se cierra
9	-71	-73	-69	-85	-67	-89	-69	Se cierra
10	-71	-73	-69	-83	-69	-89	-69	Se cierra
11	-71	-73	-69	-83	-69	-89	-69	Se cierra
12	-71	-73	-69	-83	-69	-89	-69	Se cierra
13	-71	-73	-69	-83	-69	-89	-69	Se cierra
14	-71	-73	-69	-83	-69	-89	-69	Se cierra
15	-71	-73	-69	-83	-69	-89	-69	Se cierra
16	-71	-73	-69	-83	-69	-89	-69	Se cierra
17	-71	-73	-69	-81	-69	-89	-69	Se cierra
18	-71	-73	-71	-81	-69	-89	-69	Se cierra
19	-71	-73	-71	-81	-69	-89	-69	Se cierra
20	-71	-73	-71	-81	-69	-89	-69	Se cierra
21	-71	-73	-71	-81	-69	-89	-69	Se cierra
22	-71	-73	-71	-81	-69	-89	-69	Se cierra
23	-71	-73	-71	-81	-69	-89	-69	Se cierra
24	-71	-73	-71	-81	-69	-89	-69	Se cierra
25	-71	-73	-71	-81	-69	-89	-69	Se cierra
26	-71	-73	-71	-81	-69	-93	-69	Se cierra
27	-71	-73	-71	-81	-69	-93	-69	Se cierra
28	-71	-73	-71	-81	-69	-91	-69	Se cierra
29	-71	-73	-71	-81	-69	-91	-73	Se cierra
30	-71	-73	-71	-81	-69	-91	-69	Se cierra

Fuente: Software KAIBITS

La Tabla 3.10 muestra que para todos los casos, los valores de potencia obtenidos en el ambiente, antes de introducir el móvil en cada una de las cajas de blindaje y jaula de Faraday, no son constantes. La potencia obtenida en el ambiente antes de que el móvil ingrese en la caja del 1%, se mantiene en -71 [dBm] durante los 30 segundos de prueba, la potencia obtenida en el ambiente antes de que el móvil ingrese en la caja del 3%, llega a valores de -69 [dBm] y -71 [dBm], mientras que, la potencia obtenida en el ambiente antes de introducir el móvil en la caja del 5% y jaula de Faraday, llega a valores de -69 [dBm] y -67 [dBm]. De lo cual se infiere que, los valores de potencia que recibe el móvil cuando está en el ambiente son diferentes para cada caso, ya que, al transcurrir el tiempo en los alrededores del lugar se presentan ruidos externos que provocan que aumente o disminuya de la potencia durante el curso de la llamada.

Al utilizar las cajas de blindaje (1%,3%,5%) se observa que, existe una disminución en la potencia receptada por el móvil al estar en el interior de cada una de ellas. La cantidad de potencia que se reduce depende de la composición del material, como se observa en los valores obtenidos en la Tabla 3.10.

Al utilizar la jaula de Faraday se observa que la potencia downlink disminuye de -69 [dBm] a un valor mínimo de -111 [dBm]. Lo cual se debe a que el material conductor constituyente de la jaula es el aluminio, que al estar expuesto a ondas electromagnéticas se polariza quedando cargado positivamente en dirección de las mismas y negativamente en dirección contraria, generando un campo eléctrico de igual magnitud pero en sentido opuesto, por lo que, la suma de los campos anula la interferencia de las ondas al interior de la jaula, ocasionando que la llamada se cierre abruptamente al llegar a un valor de potencia demasiado bajo. Cabe mencionar que, en todas las mediciones realizadas en los tres lugares, se cumple el mismo efecto al utilizar la jaula de Faraday, como se observa en las Tablas [1-57] del Anexo 5, Anexo 6 y Anexo 7.

La Figura 3.9. muestra una gráfica comparativa de los valores de potencia obtenidos al ambiente con respecto a los valores de potencia obtenidos al introducir el móvil en la caja de blindaje al 1% (Tabla 3.10), en el Laboratorio de Termodinámica. La potencia obtenida en el ambiente permanece constante en -71 [dBm] durante los 30 segundos de prueba, mientras que cuando el móvil está dentro de la caja de blindaje al 1%, la potencia disminuye a -75 [dBm] durante los 5 primeros segundos, y se llega a estabilizar en -73 [dBm] los siguientes 25 segundos. La disminución de la potencia que recibe el móvil desde la radio

base, se debe a las propiedades que ejerce el material compuesto sobre las ondas electromagnéticas.

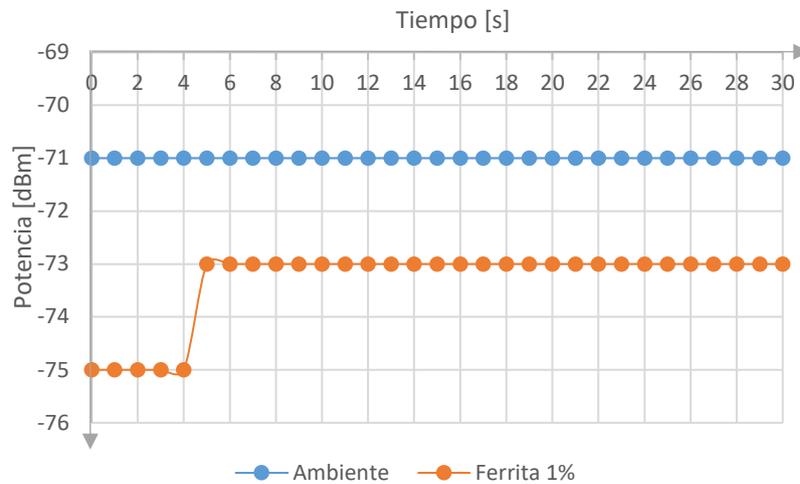


Figura 3.9 Valores de potencia obtenidos en el ambiente y con la caja de blindaje al 1% (Laboratorio de Termodinámica)

(Fuente: Propia)

En la Figura 3.10. y Figura 3.11., se adjuntan los valores de potencia obtenidos al utilizar la caja de blindaje al 1% a las 14:00 p.m. en el Hospital Militar y en el C.C. Recreo, de acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 27 (Anexo 6) y Tabla 57 (Anexo 7), respectivamente.

En la Figura 3.10 y Figura 3.11., se observa que la señal que recibe el móvil presenta un comportamiento inestable, generando que la potencia varíe constantemente durante los 30 segundos de prueba. Esto se debe a la influencia de factores externos que se presentaron en los lugares de medición y que produjeron que la radio base emita una potencia variable al móvil con el fin de mantener la comunicación.

La Figura 3.10. correspondiente al Hospital Militar, muestra que la potencia en el ambiente varía constantemente en un rango de -75 [dBm] a -81 [dBm] durante los 30 segundos, mientras que cuando el móvil está dentro de la caja al 1%, la potencia muestra un comportamiento más lineal, manteniéndose en -81 [dBm] alrededor de 19 segundos. Se observó que la cantidad potencia receptada por el móvil se ve afectada por factores como el ruido de las personas que transitaban el lugar en ese horario, el personal retornaba del almuerzo, inicio de la hora de visitas, además del ruido generado por las actividades realizadas por el personal médico y por las personas particulares.

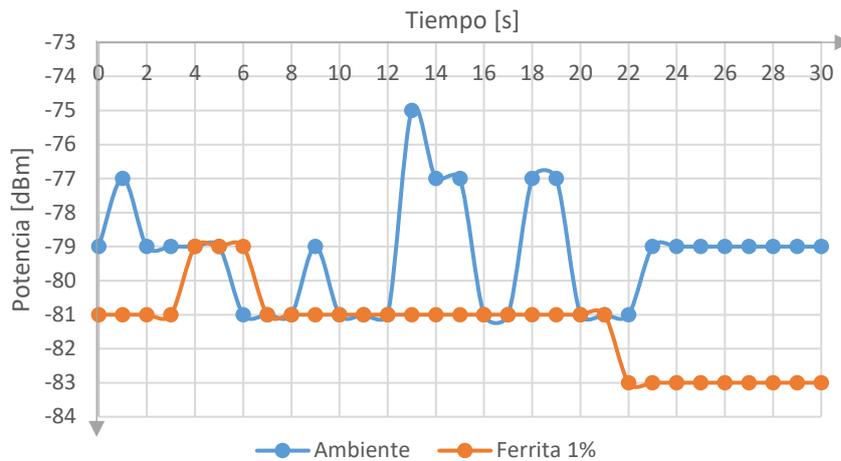


Figura 3.10 Valores de potencia obtenidos en el ambiente y con la caja de blindaje al 1% (Hospital Militar)
(Fuente: propia)

La Figura 3.11. muestra que la potencia en el ambiente se mantiene en -77 [dBm] y al utilizar la caja de blindaje al 1%, disminuye a un valor de -79 [dBm]. Sin embargo, en este caso se observa que los valores de potencia llegan a ser muy similares en el ambiente así como dentro de la caja, esto se debe a que al ser un centro comercial, siendo el patio de comidas y al ser un horario de almuerzo, el ruido de las máquinas para la elaboración de alimentos, el uso de equipos de sonido particulares y del lugar, junto al aumento de ruido de las personas que circulaban el lugar, generan que la señal recibida/emitada por el móvil tenga un comportamiento más oscilante al mantener la conexión. Además, al ser un material con la mínima cantidad de partículas, es más permisible, permitiendo que las ondas pasen con facilidad al interior de la caja.

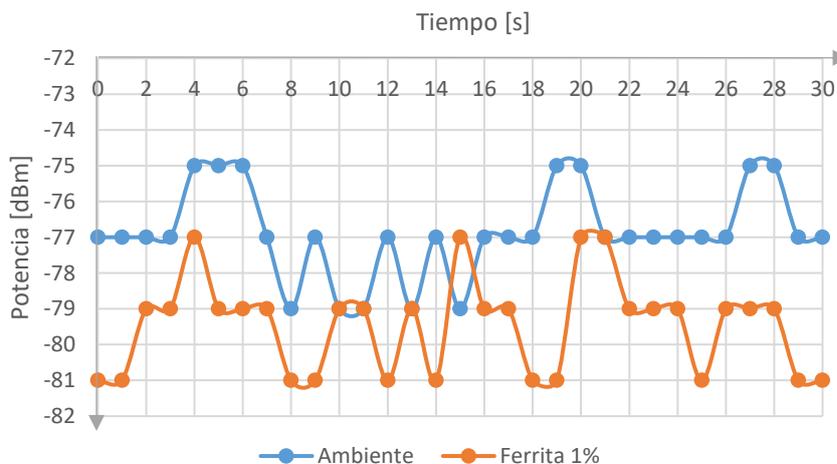


Figura 3.11 Valores de potencia obtenidos en el ambiente y con la caja de blindaje al 1% (C.C.Recreo)
(Fuente: Propia)

En ambos casos, se nota que, a pesar de las perturbaciones las propiedades electromagnéticas del material permiten reducir la potencia receptada por el móvil, obteniendo un blindaje mínimo pero comparativo con las demás composiciones volumétricas.

El análisis se realizó solo utilizando la caja de blindaje al 1% en un horario, y considerando un caso de cada lugar como se observó en la Figura 3.9 (laboratorio), Figura 3.10 (hospital) y Figura 3.11 (C.C.Recreo). En el caso del hospital y del centro comercial se observó una variación relevante de la potencia que recibe el móvil durante los 30 segundos de prueba, siendo las únicas mediciones en las cuales se notó dicho comportamiento. Así pues, las demás mediciones realizadas en los otros horarios utilizando la caja del 1%, 3% y 5% en los tres lugares, de acuerdo a los resultados obtenidos en las Tablas [1-57] mostradas en el Anexo 5, Anexo 6 y Anexo 7, efectuando el mismo análisis, se observa que los valores de potencia receptados en el ambiente con respecto a las potencias receptadas cuando el móvil está dentro de la caja de blindaje correspondiente, se diferencian claramente para cada caso (como se observó en la Figura 3.9.). Por lo que, a partir de los valores de potencia obtenidos de las 5 mediciones realizadas en cada lugar, se determinaron los valores de potencia predominantes de cada medición y con cada operadora.

Una vez determinados los valores de potencia predominantes en el ambiente y con cada una de las cajas (1%, 3%, 5%) en los tres lugares, se procede a obtener la cantidad de potencia que se atenúa de acuerdo a cada composición volumétrica, a partir de la diferencia entre la potencia receptada en el ambiente y la potencia receptada al introducir el móvil en la caja de blindaje correspondiente.

Los valores de la diferencia de potencia obtenidos con cada una de las cajas de blindaje (1%, 3%, 5%), se transforman de dBm a mW, debido a que, al tener valores en escala logarítmica no se puede apreciar el porcentaje de atenuación que se obtiene del material, por lo que, es necesario tener valores en mW que permitan determinar el porcentaje de atenuación de acuerdo cada composición volumétrica.

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo de la transformación de dBm a mW, tomando como referencia la potencia predominante obtenida al ambiente con un valor de -69 [dBm] y al utilizar la caja de blindaje al 5% con un valor de -89 [dBm], de acuerdo a la Tabla 3.10. La relación de transformación entre la escala logarítmica en dBm y la escala lineal en mW, se nota a partir de la siguiente ecuación:

$$P_{mW} = 1_{mW} \times 10^{\left(\frac{P_{dBm}}{10}\right)} \quad (1)$$

Al reemplazar los valores de potencia dados en dBm en la ecuación 1, se obtienen los siguientes resultados:

Potencia al ambiente

$$P_{inicial} = 1_{mW} \times 10^{\left(\frac{-69}{10}\right)}$$

$$P_{inicial} = 1_{mW} \times 10^{(-6,9)}$$

$$P_{inicial} = 1_{mW} \times 1,26E - 7$$

$$P_{inicial} = 1,26E - 7 \text{ mW}$$

Potencia utilizando la caja al 5%

$$P_{final} = 1_{mW} \times 10^{\left(\frac{-89}{10}\right)}$$

$$P_{final} = 1_{mW} \times 10^{(-8,9)}$$

$$P_{final} = 1_{mW} \times 1,26E - 9$$

$$P_{final} = 1,26E - 9 \text{ mW}$$

Una vez realizada la transformación de dBm a mW y tomando en cuenta los resultados obtenidos, se determina el porcentaje de atenuación que se consigue cuando el móvil se encuentra dentro de la caja de blindaje, a partir de la pérdida de potencia, mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta A = \frac{P_{final} - P_{inicial}}{P_{inicial}} * 100\% \quad (2)$$

$$\Delta A = \frac{(1,26E - 9)mW - (1,26E - 7)mW}{(1,26E - 7)mW} * 100\%$$

$$\Delta A = 99\%$$

En este caso, el porcentaje de atenuación obtenido fue del 99%, al utilizar la caja de blindaje al 5% en el Laboratorio de Termodinámica.

Seguidamente, en las Tablas [3.11-3.19] correspondientes a la operadora Otecel y Tablas [3.20-3.28] correspondientes a la operadora Conecel, se muestran los valores de potencia predominantes obtenidos en el ambiente y con cada una de las cajas de blindaje (1%, 3%, 5%), así como también la transformación de unidades de dBm a mW, y el porcentaje de atenuación obtenido en cada lugar de acuerdo a los diferentes horarios de medición.

1. Operadora Otecel

1.1. Caja de blindaje al 1%

Tabla 3.11 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 1%

Lugar	LABORATORIO DE TERMODINÁMICA									
Hora	12:00 p.m.		12:30 p.m.		13:00 p.m.		13:30 p.m.		14:00 p.m.	
Temperatura [°C]	34,4		34,7		34,4		30,2		29,8	
Estado	Ambiente	1%	Ambiente	1%	Ambiente	1%	Ambiente	1%	Ambiente	1%
Potencia predominante [dBm]	-71	-73	-69	-73	-69	-75	-67	-73	-67	-73
Potencia predominante [mW]	7,94E-08	5,01E-08	1,26E-07	5,01E-08	1,26E-07	3,16E-08	2,00E-07	5,01E-08	2,00E-07	5,01E-08
Atenuación (%)	36,90		60,19		74,88		74,88		74,88	

Fuente: Propia

Tabla 3.12 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 1%

Lugar	HOSPITAL MILITAR									
Hora	12:00 p.m.		12:30 p.m.		13:00 p.m.		13:30 p.m.		14:00 p.m.	
Temperatura [°C]	25,1		24,4		24,1		24,2		25,3	
Estado	Ambiente	1%	Ambiente	1%	Ambiente	1%	Ambiente	1%	Ambiente	1%
Potencia predominante [dBm]	-87	-91	-93	-97	-89	-97	-85	-95	-79	-81
Potencia predominante [mW]	2,00E-09	7,94E-10	5,01E-10	2,00E-10	1,26E-09	2,00E-10	3,16E-09	3,16E-10	1,26E-08	7,94E-09
Atenuación (%)	60,19		60,19		84,15		90,00		36,90	

Fuente: Propia

Tabla 3.13 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 1%

Lugar	C.C. RECREO									
Hora	12:00 p.m.		12:30 p.m.		13:00 p.m.		13:30 p.m.		14:00 p.m.	
Temperatura [°C]	30,50		30,70		31,80		31,00		31,50	
Estado	Ambiente	1%	Ambiente	1%	Ambiente	1%	Ambiente	1%	Ambiente	1%
Potencia predominante [dBm]	-51	-59	-53	-61	-57	-63	-55	-67	-51	-63
Potencia predominante [mW]	7,94E-06	1,26E-06	5,01E-09	7,94E-10	2,00E-06	5,01E-07	3,16E-09	2,00E-10	7,94E-06	5,01E-07
Atenuación (%)	84,15		84,15		74,88		93,69		93,69	

Fuente: Propia

En la Tabla 3.11. se observa que el porcentaje de atenuación obtenido al utilizar una caja de blindaje al 1%, varía entre el 36,90% y 74,88%, pero con valores de potencia recibida similar. A las 12:00 p.m. factores externos dieron como resultado un valor de -71 [dBm] de potencia en el ambiente, menor a lo obtenido en otras horas, provocando que el porcentaje de atenuación sea bajo.

En la Tabla 3.12. se observa que el mayor porcentaje de atenuación que se obtuvo fue del 90,00% (13:30 p.m.), al ser la hora de almuerzo, no hubo mayor afluencia de personas que transite el lugar, por lo que la potencia se mantiene en valores de -85 [dBm] al ambiente y -95 [dBm] al ingresar el móvil en la caja del 1%, provocando que el porcentaje de atenuación sea el más alto.

Así también, se observa que en los tres lugares de medición (laboratorio, hospital, centro comercial) el mayor porcentaje de atenuación se obtuvo a las 13:30 p.m., con el 74,88% (Tabla 3.11), el 90% (Tabla 3.12) y llegando a valores del 93,69% (Tabla 3.13), respectivamente, lo cual demuestra que los factores externos afectaron de forma mínima la recepción de la señal.

1.2. Caja de blindaje al 3%

Tabla 3.14 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 3%

Lugar	LABORATORIO DE TERMODINÁMICA									
Hora	12:00 p.m.		12:30 p.m.		13:00 p.m.		13:30 p.m.		14:00 p.m.	
Temperatura [°C]	34,4		34,7		34,4		30,2		29,8	
Estado	Ambiente	3%	Ambiente	3%	Ambiente	3%	Ambiente	3%	Ambiente	3%
Potencia predominante [dBm]	-69	-81	-67	-79	-73	-81	-69	-81	-73	-85
Potencia predominante [mW]	1,26E-07	7,94E-09	2,00E-07	1,26E-08	5,01E-08	7,94E-09	1,26E-07	7,94E-09	5,01E-08	3,16E-09
Atenuación (%)	93,69		93,69		84,15		93,69		93,69	

Fuente: Propia

Tabla 3.15 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 3%

Lugar	HOSPITAL MILITAR									
Hora	12:00 p.m.		12:30 p.m.		13:00 p.m.		13:30 p.m.		14:00 p.m.	
Temperatura [°C]	25,1		24,4		24,1		24,2		25,3	
Estado	Ambiente	3%	Ambiente	3%	Ambiente	3%	Ambiente	3%	Ambiente	3%
Potencia predominante [dBm]	-95	-101	-93	-107	-85	-107	-87	-103	-75	-87
Potencia predominante [mW]	3,16E-10	7,94E-11	5,01E-10	2,00E-11	3,16E-09	2,00E-11	2,00E-09	5,01E-11	3,16E-08	2,00E-09
Atenuación (%)	74,88		96,02		99,37		97,49		93,69	

Fuente: Propia

Tabla 3.16 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 3%

Lugar	C.C. RECREO									
Hora	12:00 p.m.		12:30 p.m.		13:00 p.m.		13:30 p.m.		14:00 p.m.	
Temperatura [°C]	30,50		30,70		31,80		31,00		31,50	
Estado	Ambiente	3%	Ambiente	3%	Ambiente	3%	Ambiente	3%	Ambiente	3%
Potencia predominante [dBm]	-51	-67	-51	-73	-55	-71	-59	-73	-51	-69
Potencia predominante [mW]	7,94E-06	1,99E-07	7,94E-09	5,01E-11	3,16E-06	7,94E-08	1,26E-09	5,01E-11	7,94E-06	1,26E-07
Atenuación (%)	97,49		99,37		97,49		96,02		98,42	

Fuente: Propia

Al comparar los resultados obtenidos en la Tabla 3.11. con respecto a la Tabla 3.14., se nota que el porcentaje de atenuación más frecuente, al introducir el móvil en la caja del 1% es del 74,88%, mientras que al utilizar la caja al 3% se obtiene una atenuación del 93,69%, lo cual muestra que, al aumentar la cantidad de partículas en la matriz la potencia receptada por el móvil disminuye con mayor facilidad, ya que se tiene mayor cantidad de obstáculos que impiden el paso de las ondas al interior de la caja, perdiendo mayor potencia downlink.

La Tabla 3.15. muestra que el menor porcentaje de atenuación obtenido fue del 74,88% (12:00 p.m.). Lo cual se debe a la disminución de potencia que se presentó, de acuerdo al siguiente análisis, en la Tabla 3.12., se observa que la potencia obtenida en el ambiente antes de ingresar el móvil en la caja del 1% fue de -87 [dBm], por el contrario, en la Tabla 3.15., se observa que la potencia obtenida en el ambiente antes de ingresar el móvil en la caja del 3%, fue de -95 [dBm]. Al comparar los dos valores, se concluye que existió una disminución en la potencia cuando el móvil estaba en el ambiente, producto de factores externos, lo que causó obtener el bajo porcentaje de atenuación.

Al comparar la Tabla 3.16. y Tabla 3.13., se observa que los porcentajes de atenuación obtenidos al utilizar la caja del 3% son mayores con respecto al utilizar la caja del 1%. Como se denota en el siguiente ejemplo: al utilizar la caja del 1% se obtuvo el 84,15% de atenuación, mientras que al utilizar la caja al 3% se obtuvo el 99,37% (máximo valor) de atenuación, a la misma hora (12:30 p.m.), obteniendo el 15,22% más de atenuación al utilizar la caja del 3% con respecto a la caja del 1%.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las Tablas [3.14-3.16], se observa que el porcentaje de atenuación aumentó en los tres lugares, al utilizar la caja del 3%, en comparación al utilizar la caja del 1%, en base al análisis realizado en el párrafo anterior.

1.3. Caja de blindaje al 5%

Tabla 3.17 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 5%

Lugar	LABORATORIO DE TERMODINÁMICA									
Hora	12:00 p.m.		12:30 p.m.		13:00 p.m.		13:30 p.m.		14:00 p.m.	
Temperatura [°C]	34,4		34,7		34,4		30,2		29,8	
Estado	Ambiente	5%	Ambiente	5%	Ambiente	5%	Ambiente	5%	Ambiente	5%
Potencia predominante [dBm]	-69	-89	-69	-93	-71	-91	-71	-87	-71	-93
Potencia predominante [mW]	1,26E-07	1,26E-09	1,26E-07	5,01E-10	7,94E-08	7,94E-10	7,94E-08	2,00E-09	7,94E-08	5,01E-10
Atenuación (%)	99,00		99,60		99,00		97,49		99,37	

Fuente: Propia

Tabla 3.18 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 5%

Lugar	HOSPITAL MILITAR									
Hora	12:00 p.m.		12:30 p.m.		13:00 p.m.		13:30 p.m.		14:00 p.m.	
Temperatura [°C]	25,1		24,4		24,1		24,2		25,3	
Estado	Ambiente	5%	Ambiente	5%	Ambiente	5%	Ambiente	5%	Ambiente	5%
Potencia predominante [dBm]	-95	-107	-93	-109	-87	-111	-91	-109	-75	-89
Potencia predominante [mW]	3,16E-10	2,00E-11	5,01E-10	1,26E-11	2,00E-09	7,94E-12	7,94E-10	1,26E-11	3,16E-08	1,26E-09
Atenuación (%)	93,69		97,49		99,60		98,42		96,02	

Fuente: Propia

Tabla 3.19 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 5%

Lugar	C.C. RECREO									
Hora	12:00 p.m.		12:30 p.m.		13:00 p.m.		13:30 p.m.		14:00 p.m.	
Temperatura [°C]	30,50		30,70		31,80		31,00		31,50	
Estado	Ambiente	5%	Ambiente	5%	Ambiente	5%	Ambiente	5%	Ambiente	5%
Potencia predominante [dBm]	-51	-75	-51	-75	-51	-69	-59	-77	-51	-73
Potencia predominante [mW]	7,94E-06	3,16E-08	7,94E-09	3,16E-11	7,94E-06	1,26E-07	1,26E-09	2,00E-11	7,94E-06	5,01E-08
Atenuación (%)	99,6		99,6		98,42		98,42		99,37	

Fuente: Propia

Al comparar la Tabla 3.15 y Tabla 3.18, se observa que a las 13:00 p.m., se obtuvieron los mayores porcentajes de atenuación con las cajas del 3% y 5%, con el 99,37% y el 99,60%, respectivamente. Como se nota, la diferencia entre ambos valores porcentuales no es muy notoria, lo cual se debe a que la señal fue afectada por factores externos que produjeron obtener valores cercanos. A pesar de ello, en la Tabla 3.18. se observa que el mayor

blindaje se obtuvo al utilizar la caja al 5%, con valores de atenuación superiores al 96,02% en la mayoría de los casos.

Al observar la Tabla 3.16. y Tabla 3.19, se nota que los mayores porcentajes de atenuación se obtuvieron a las 12:30 p.m. con las cajas del 3% y 5%, con el 99,37% y el 99,60%, respectivamente. Obteniendo valores de atenuación superiores al 98% al utilizar la caja al 5% de acuerdo a la Tabla 3.19.

Se concluye que, la mayor atenuación se obtuvo al utilizar la caja del 5% con valores superiores al 96% en todos los lugares de medición, manteniendo la tendencia de atenuación de acuerdo a la composición volumétrica en todos los horarios de medición, a pesar de las interferencias externas que se presentaron y que produjeron la reducción de la potencia recibida en ciertas ocasiones.

2. Operadora Conecel.

2.1. Caja de blindaje al 1%

Tabla 3.20 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 1%

Lugar	LABORATORIO DE TERMODINÁMICA									
	12:00 p.m.		12:30 p.m.		13:00 p.m.		13:30 p.m.		14:00 p.m.	
Temperatura [°C]	34,4		34,7		34,4		30,2		29,8	
Estado	Ambiente	1%	Ambiente	1%	Ambiente	1%	Ambiente	1%	Ambiente	1%
Potencia Predominante [dBm]	-71	-75	-63	-67	-73	-77	-65	-67	-73	-75
Potencia Predominante [mW]	7,94E-08	3,16E-08	5,01E-07	2,00E-07	5,01E-08	2,00E-08	3,16E-07	2,00E-07	5,01E-08	3,16E-08
Atenuación [%]	60,19		60,19		60,19		36,90		36,90	

Fuente: Propia

Tabla 3.21 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 1%

Lugar	HOSPITAL MILITAR									
	12:00 p.m.		12:30 p.m.		13:00 p.m.		13:30 p.m.		14:00 p.m.	
Temperatura [°C]	25.1		24.4		24.1		24.2		25.3	
Estado	Ambiente	1%	Ambiente	1%	Ambiente	1%	Ambiente	1%	Ambiente	1%
Potencia predominante [dBm]	-97	-103	-95	-99	-93	-99	-99	-103	-85	-87
Potencia predominante [mW]	2,00E-10	5,01E-11	3,16E-10	1,26E-10	5,01E-10	1,26E-10	1,26E-10	5,01E-11	3,16E-09	2,00E-09
Atenuación (%)	74,88		60,18		74,88		60,18		36,90	

Fuente: Propia

Tabla 3.22 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 1%

Lugar	C.C. RECREO									
Hora	12:00 p.m.		12:30 p.m.		13:00 p.m.		13:30 p.m.		14:00 p.m.	
Temperatura [°C]	30,50		30,70		31,80		31,00		31,50	
Estado	Ambiente	1%	Ambiente	1%	Ambiente	1%	Ambiente	1%	Ambiente	1%
Potencia predominante [dBm]	-69	-73	-73	-77	-73	-77	-75	-81	-77	-79
Potencia predominante [mW]	1,26E-07	5,01E-08	5,01E-08	2,00E-08	5,01E-08	2,00E-08	3,16E-08	7,94E-09	2,00E-08	1,26E-08
Atenuación (%)	60,18		60,18		60,18		74,88		36,90	

Fuente: Propia

En la Tabla 3.20, se observa que el porcentaje de atenuación obtenido al utilizar una caja de blindaje al 1%, desde las 12:00 p.m. hasta las 13:00 p.m. es de 60,19%, sin embargo, a las 13:30 p.m. y 14:00 p.m. el porcentaje de atenuación disminuye a 36,90%. Los valores de potencia obtenidos en el ambiente, varían constantemente de un horario a otro, lo cual puede ser por la distancia a la que se encuentra el móvil de la antena de la operadora, las interferencias y ruidos externos que se generen en los alrededores de la antena, así como en los alrededores del lugar de medición, siendo factores que generan que la potencia disminuya o aumente de un momento a otro.

En la Tabla 3.21. se observa que el mayor blindaje fue del 74,88% de atenuación a las 12:00 p.m. y 13:00 p.m., ya que, la señal fue afectada en menor medida por factores externos, permitiendo que la potencia se mantenga estable en un rango de -97, -93 [dBm] al ambiente y -103, -99 [dBm] al ingresar el móvil en la caja del 1%, obteniendo un porcentaje de atenuación igual en ambos casos.

En la Tabla 3.22., se observa que a las 14:00 p.m, la potencia obtenida al ambiente llega a un valor de -77 [dBm], mientras que al introducir el móvil dentro de la caja de blindaje del 1% la potencia llega a -79 [dBm]. La diferencia no es muy notoria, ya que, al tener menor concentración de partículas en las paredes, el material permite el paso de las ondas al interior de la caja, junto a ello los factores externos, generan que la disminución de la señal sea menor en comparación a las otras mediciones, obteniendo el menor porcentaje de atenuación (36,90%).

Al utilizar la caja de blindaje al 1%, de acuerdo a los resultados obtenidos en las Tablas [3.11-3.13] con la operadora Otecel y las Tablas [3.20-3.22] de la operadora Conecel, se observa que los porcentajes de atenuación son similares y superiores al 60,19% en los tres lugares de medición.

2.2. Caja de blindaje al 3%

Tabla 3.23 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 3%

Lugar	LABORATORIO DE TERMODINÁMICA									
Hora	12:00		12:30		13:00		13:30		14:00	
Temperatura [°C]	34,4		34,7		34,4		30,2		29,8	
Estado	Ambiente	3%	Ambiente	3%	Ambiente	3%	Ambiente	3%	Ambiente	3%
Potencia Predominante [dBm]	-79	-83	-67	-75	-73	-79	-67	-75	-67	-73
Potencia Predominante [mW]	1,26E-08	5,01E-09	2,00E-07	3,16E-08	5,01E-08	1,26E-08	2,00E-07	3,16E-08	2,00E-07	5,01E-08
Atenuación [%]	60,19		84,15		74,88		84,15		74,88	

Fuente: Propia

Tabla 3.24 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 3%

Lugar	HOSPITAL MILITAR									
Hora	12:00 p.m.		12:30 p.m.		13:00 p.m.		13:30 p.m.		14:00 p.m.	
Temperatura [°C]	25.1		24.4		24.1		24.2		25.3	
Estado	Ambiente	3%	Ambiente	3%	Ambiente	3%	Ambiente	3%	Ambiente	3%
Potencia predominante [dBm]	-99	-107	-95	-101	-95	-101	-99	-105	-83	-91
Potencia predominante [mW]	1,26E-10	2,00E-11	3,16E-10	7,94E-11	3,16E-10	7,94E-11	1,26E-10	3,16E-11	5,01E-09	7,94E-10
Atenuación (%)	84,15		74,88		74,88		74,88		84,15	

Fuente: Propia

Tabla 3.25 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 3%

Lugar	C.C. RECREO									
Hora	12:00 p.m.		12:30 p.m.		13:00 p.m.		13:30 p.m.		14:00 p.m.	
Temperatura [°C]	30,50		30,70		31,80		31,00		31,50	
Estado	Ambiente	3%	Ambiente	3%	Ambiente	3%	Ambiente	3%	Ambiente	3%
Potencia predominante [dBm]	-67	-75	-67	-75	-73	-79	-77	-89	-73	-85
Potencia predominante [mW]	2,00E-07	3,16E-08	2,00E-07	3,16E-08	5,01E-08	1,26E-08	2,00E-08	1,26E-09	5,01E-08	3,16E-09
Atenuación (%)	84,15		84,15		74,88		93,69		93,69	

Fuente: Propia

La Tabla 3.23., muestra que cuando el móvil está dentro de la caja de blindaje al 3% logra atenuar hasta el 84,15%, mientras que al utilizar la caja al 1% (Tabla 3.20.) se obtiene una atenuación máxima del 60,19%, de manera que, se nota que el porcentaje de atenuación obtenido con el 3% aumenta en un 23,96% con respecto al 1%. El mismo análisis se puede observar en el Hospital (Tabla 3.24) y C.C.Recreo (Tabla 3.25.), ya que los porcentajes de atenuación obtenidos con la caja del 3% son muy similares.

Al utilizar la caja de blindaje al 3%, de acuerdo a los resultados obtenidos en las Tablas [3.14-3.16] con la operadora Otecel y las Tablas [3.23-3.25] de la operadora Conecel, se observa que los porcentajes de atenuación en ambos casos varían entre el 74,88% y 99,37% en los tres lugares de medición.

2.3. Caja de blindaje al 5%

Tabla 3.26 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 5%

Lugar	LABORATORIO DE TERMODINÁMICA									
Hora	12:00		12:30		13:00		13:30		14:00	
Temperatura [°C]	34,4		34,7		34,4		30,2		29,8	
Estado	Ambiente	5%	Ambiente	5%	Ambiente	5%	Ambiente	5%	Ambiente	5%
Potencia Predominante [dBm]	-71	-81	-67	-79	-71	-81	-63	-79	-67	-83
Potencia Predominante [mW]	7,94E-08	7,94E-09	2,00E-07	1,26E-08	7,94E-08	7,94E-09	5,01E-07	1,26E-08	2,00E-07	5,01E-09
Atenuación [%]	90,00		93,69		90,00		97,48		97,48	

Fuente: Propia

Tabla 3.27 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 5%

Lugar	HOSPITAL MILITAR									
Hora	12:00 p.m.		12:30 p.m.		13:00 p.m.		13:30 p.m.		14:00 p.m.	
Temperatura [°C]	25.1		24.4		24.1		24.2		25.3	
Estado	Ambiente	5%	Ambiente	5%	Ambiente	5%	Ambiente	5%	Ambiente	5%
Potencia predominante [dBm]	-97	-107	-93	-103	-95	-103	-99	-109	-85	-95
Potencia predominante [mW]	1,99E-10	2,00E-11	5,011E-10	5,01E-11	3,16E-10	5,01E-11	1,26E-10	1,26E-11	3,16E-09	3,16E-10
Atenuación (%)	90,00		90,00		84,15		90,00		90,00	

Fuente: Propia

Tabla 3.28 Porcentajes de atenuación obtenidos a una fracción volumétrica del 5%

Lugar	C.C. RECREO									
Hora	12:00 p.m.		12:30 p.m.		13:00 p.m.		13:30 p.m.		14:00 p.m.	
Temperatura [°C]	30,50		30,70		31,80		31,00		31,50	
Estado	Ambiente	5%	Ambiente	5%	Ambiente	5%	Ambiente	5%	Ambiente	5%
Potencia predominante [dBm]	-67	-85	-69	-79	-71	-81	-71	-87	-75	-89
Potencia predominante [mW]	2,00E-07	3,16E-09	1,26E-07	1,26E-08	7,94E-08	7,94E-09	7,94E-08	2,00E-09	3,16E-08	1,26E-09
Atenuación (%)	98,41		90,00		90,00		97,48		96,01	

Fuente: Propia

De acuerdo a la Tabla 3.26, Tabla 3.27 y Tabla 3.28, el porcentaje de atenuación obtenido al utilizar una caja de blindaje al 5% varía entre el 84,15% y 98,41%, en los tres lugares de medición. De igual manera, al comparar con los valores obtenidos al utilizar la caja del 1% y del 3% correspondientes a las Tablas [3.20-3.22] y Tablas [3.23-3.25], respectivamente, se concluye que, a pesar de tener interferencias externas presentes en el ambiente de medición, se mantiene la tendencia de atenuación de acuerdo a las composiciones volumétricas de cada caja, obtenido el mayor porcentaje de atenuación al utilizar la caja del 5%.

Los porcentajes de atenuación obtenidos con la operadora Otecel son superiores al 99,00% de acuerdo a las Tablas [3.17-3.19], mientras que al utilizar la operadora Conecel se obtienen valores de atenuación superiores al 90,00% como se observa en las Tablas [3.26-3.28], de lo cual se concluye, que la efectividad del blindaje al utilizar la caja del 5% se mantiene para los dos casos, sin embargo, la cantidad de atenuación obtenida depende del rango de frecuencia en la que se establece la conexión.

3.5.2. Resumen de los porcentajes de atenuación obtenidos en el Laboratorio de Termodinámica de la EPN, Hospital Militar y C.C.Recreo, para la operadora Otecel y Conecel

En las Tablas [3.29., 3.31., 3.33] y Tablas [3.30., 3.32., 3.34], se muestran los resultados de atenuación obtenidos en el apartado 3.5.1. en cada lugar de medición, con las operadoras Otecel y Conecel, respectivamente, en el horario de 12:00 p.m. a 14:00 p.m., de acuerdo a cada composición volumétrica (1%, 3%, 5%)

1. Laboratorio de Termodinámica

Tabla 3.29 Porcentajes de atenuación obtenidos para cada composición volumétrica.

OTECCEL			
Horario	1%	3%	5%
12:00 p.m.	36,90	93,69	99,00
12:30 p.m.	60,19	93,69	99,60
13:00 p.m.	74,88	84,15	99,00
13:30 p.m.	74,88	93,69	97,49
14:00 p.m.	74,88	93,69	99,37
Promedio porcentual (%)	64,35	91,78	98,89

Fuente: propia

Tabla 3.30 Porcentajes de atenuación obtenidos para cada composición volumétrica.

CONECEL			
Horario	1%	3%	5%
12:00 p.m.	60,19	60,19	90,00
12:30 p.m.	60,19	84,15	93,69
13:00 p.m.	60,19	74,88	90,00
13:30 p.m.	36,90	84,15	97,48
14:00 p.m.	36,90	74,88	97,48
Promedio porcentual (%)	50,88	75,65	93,73

Fuente: propia

En la Tabla 3.29 y Tabla 3.30 se observa que los mayores porcentajes de atenuación se obtienen al utilizar la operadora Otecel, para todos los casos. Esto se debe a que, al utilizar la operadora Conecel, la comunicación se establece en un rango de frecuencia más amplio dentro del canal libre en comparación a la operadora Otecel, como se observó en la Tabla 2.7 del apartado 2.6, lo cual evita que la potencia disminuya demasiado cuando el móvil está en el interior de cada una de las cajas, consecuentemente el porcentaje de atenuación obtenido de Conecel es menor en comparación al obtenido con Otecel., ya que, al tener una menor cantidad de frecuencia, el material logra una mayor atenuación.

En la Figura 3.12 se muestra gráficamente los porcentajes de atenuación obtenidos en la Tabla 3.29. y Tabla 3.30., correspondiente a las operadoras Otecel Y Conecel, respectivamente.

A pesar de las interferencias y pérdidas de potencia presentadas por factores externos, en la Figura 3.12., se observa que el mayor porcentaje de atenuación se obtuvo al utilizar la caja de blindaje del 5%, llegando a valores superiores al 90% para el caso de las dos operadoras. Lo cual se debe a las características que presentó el material compuesto, ya que, al disminuir el tamaño de grano, las partículas tuvieron una buena distribución en la matriz (Figura 3.1. del apartado 3.1), junto a ello la forma de preparación y elaboración mostrado en el apartado 2.4.1., permitió obtener una mejor interfase del material, además, al tener mayor cantidad de partículas incorporadas en la matriz, hacen que el material sea menos permisible, constituyendo un obstáculo para el paso de ondas al interior de la caja, las cuales, al propagarse en un medio material hacen que una parte de la energía se consume y otra se transmite. Consecuentemente se disminuye la potencia recibida por el móvil en el interior de la caja, obteniendo mayor atenuación y un mayor blindaje.

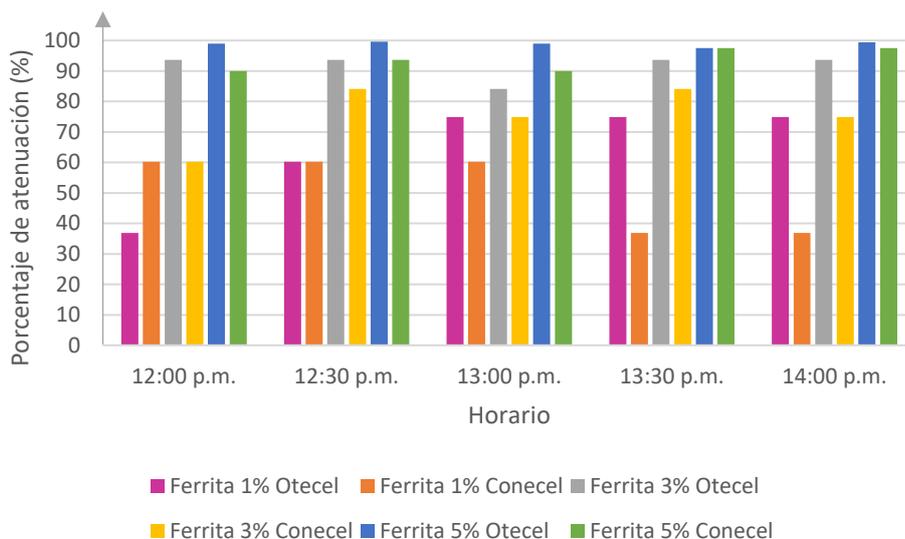


Figura 3.12 Porcentaje de atenuación obtenido en cada horario, de las dos operadoras analizadas.

(Fuente: Propia)

2. Hospital Militar

Tabla 3.31 Porcentajes de atenuación obtenidos para cada composición volumétrica

OTECCEL			
Horario	1%	3%	5%
12:00 p.m.	60,19	74,88	93,69
12:30 p.m.	60,19	96,02	97,49
13:00 p.m.	84,15	99,37	99,60
13:30 p.m.	90,00	97,49	98,42
14:00 p.m.	36,90	93,69	96,02
Promedio porcentual (%)	66,29	92,29	97,04

Fuente: propia

Tabla 3.32 Porcentajes de atenuación obtenidos para cada composición volumétrica

CONECEL			
Horario	1%	3%	5%
12:00 p.m.	74,88	84,15	90,00
12:30 p.m.	36,90	74,88	90,00
13:00 p.m.	74,88	74,88	84,15
13:30 p.m.	60,19	74,88	90,00
14:00 p.m.	36,90	84,15	90,00
Promedio porcentual (%)	56,75	78,59	88,83

Fuente: propia

En la Tabla 3.31. y Tabla 3.32., considerando los promedios porcentuales, se observa que, la tendencia de atenuación al incrementar la cantidad de partículas en el material, se mantiene en los dos casos, ya que al utilizar la caja de blindaje al 3%, se obtiene un incremento en el porcentaje de atenuación del 26% para Otecel y del 21,84% para Conecel,

con respecto al utilizar la caja de blindaje al 1%. De igual manera, se observa que el mayor blindaje se obtuvo al utilizar la caja del 5%, con una atenuación de ondas del 97,04% para Otecel y del 88,83% para Conecel.

3. C.C. Recreo

Tabla 3.33 Porcentajes de atenuación obtenidos para cada composición volumétrica

OTECEL			
Horario	1%	3%	5%
12:00 p.m.	84,15	97,49	99,60
12:30 p.m.	84,15	99,37	99,60
13:00 p.m.	74,88	97,49	98,42
13:30 p.m.	93,69	96,02	98,42
14:00 p.m.	93,69	98,42	99,37
Promedio porcentual (%)	86,11	97,76	99,08

Fuente: propia

Tabla 3.34 Porcentajes de atenuación obtenidos para cada composición volumétrica

CONECEL			
Horario	1%	3%	5%
12:00 p.m.	36,90	84,15	98,41
12:30 p.m.	60,18	84,15	90,00
13:00 p.m.	60,18	74,88	90,00
13:30 p.m.	74,88	93,69	97,48
14:00 p.m.	36,90	93,69	96,01
Promedio porcentual (%)	53,81	86,11	94,38

Fuente: propia

La Tabla 3.33 y Tabla 3.34 muestra que los valores de atenuación obtenidos al utilizar la caja al 3%, con Otecel varían constantemente, mientras que con Conecel, permanecen casi constantes durante las dos horas de prueba. Debido a que la señal de Otecel al tener una menor amplitud de frecuencia, es más sensible frente a los factores externos que se presentan en el lugar, produciendo que la potencia varíe constantemente al intentar mantener la conexión, ocasionando una variación porcentual de un momento a otro. Además se observó que en el C.C.Recreo se obtuvieron los mayores porcentajes de atenuación utilizando las cajas de blindaje (1%, 3%, 5%) y utilizando las dos operadoras.

A continuación, en la Tabla 3.35 y Tabla 3.36, se muestran los valores promedios de los porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición volumétrica y a cada lugar, estos datos se grafican en la Figura 3.13 y Figura 3.14, respectivamente.

Tabla 3.35 Porcentajes de atenuación promedio obtenidos para cada lugar de estudio

CONECEL			
Concentración volumétrica (%)	1%	3%	5%
Hospital Militar	56,75	78,58	88,83
Laboratorio de Termodinámica	50,87	75,65	93,73
C.C. El Recreo	53,81	86,11	94,38

Fuente: Propia

Tabla 3.36 Porcentajes de atenuación promedio obtenidos para cada lugar de estudio

OTECCEL			
Concentración volumétrica (%)	1%	3%	5%
Hospital Militar	66,29	92,29	97,04
Lab. Termodinámica	64,35	91,78	98,89
C.C. Recreo	86,11	97,76	99,08

La Tabla 3.35. y Tabla 3.36. muestran que para los tres lugares de estudio, independientemente de la variación de temperatura, el flujo variable de personas que frecuentan dichos lugares, y las condiciones externas que rodean cada uno de los medios (ruidos, máquinas, bulla de personas, etc.), el mayor blindaje se obtuvo al utilizar el material compuesto al 5% de refuerzo ferrítico. Lo cual indica que, al existir mayor cantidad de partículas incorporadas en la matriz, el material deja de ser permisible y las propiedades electromagnéticas evitan que las ondas electromagnéticas de la señal downlink, ingresen con facilidad al interior de la caja de blindaje.

En la Figura 3.13 y Figura 3.14 se observa, que en el C.C. El Recreo es donde se obtuvo los mayores porcentajes de atenuación para las dos operadoras, esto se debe a que, a menor rango de frecuencia se realice la conexión entre la radio base y el móvil, mejor serán las propiedades electromagnéticas del material. Ya que, se comprobó que en ese lugar el móvil captó menores rangos de frecuencia debido al excesivo ruido ambiental, generando que la señal tenga pérdidas o ganancias de un momento a otro. En cambio, en los dos lugares restantes (hospital y laboratorio), los porcentajes de atenuación son muy similares y siguen la misma tendencia de atenuación.

Así también, la Figura 3.13. muestra que, para todas las composiciones volumétricas, la operadora en la que se obtuvo la mayor cantidad de atenuación, fue la de Otecel, ya que, las propiedades electromagnéticas del material compuesto dependen del tipo de frecuencia a las cuales se expone el material.

Se debe mencionar que la distancia a la que se encuentra la antena del móvil, influye en la variación de potencia que recibe el móvil durante la comunicación, ya que, mientras más lejos esté la radio base del móvil, se requiere emitir mayor potencia downlink para mantener conexión emisor/receptor, lo cual a su vez produce que el porcentaje de atenuación varíe en ciertas ocasiones, pero siempre manteniendo la tendencia de atenuación de acuerdo a cada composición, como se observa en la Figura 3.13 y Figura 3.14.

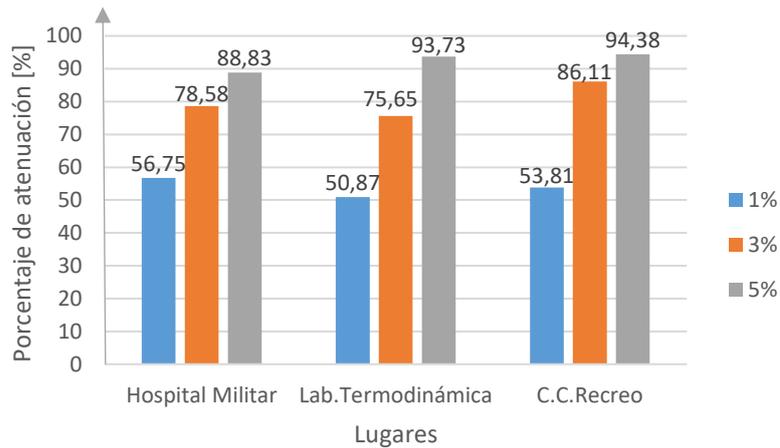


Figura 3.13 Porcentajes de atenuación obtenidos en cada lugar de estudio (Conecel)

(Fuente: Propia)

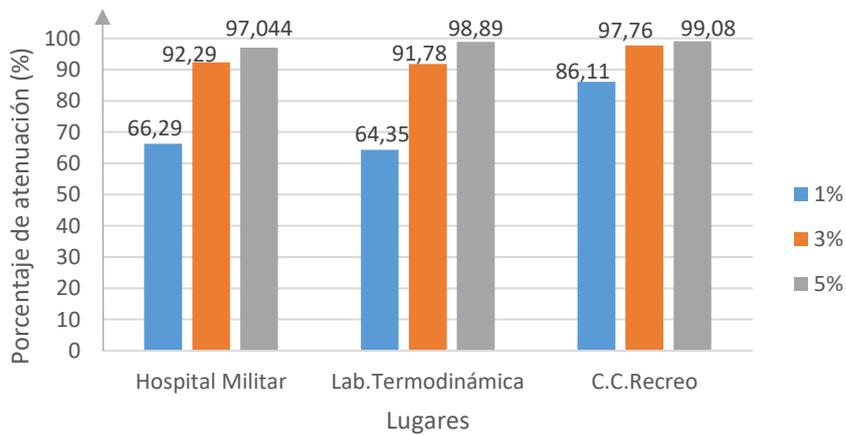


Figura 3.14 Porcentajes de atenuación obtenidos en cada lugar de estudio (Otecel)

(Fuente: Propia)

3.6 Discusión de resultados

Con el fin de establecer un medio de comparación con otros estudios previamente realizados, se utiliza la ecuación (3), que permite obtener un valor en decibelios dB a partir de la potencia final e inicial, el cual indica en una escala logarítmica el porcentaje de atenuación que se obtuvo del material en análisis. A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo utilizando el menor valor de atenuación obtenido al utilizar la caja de blindaje al 5%, para la operadora Conecel, a las 13:00 p.m., en el C.C. Recreo.

$$dB = 10 \log \left(\frac{P_F}{P_I} \right) \quad (3)$$
$$dB = 10 \log \left(\frac{7,94E - 09 [mW]}{7,94E - 08 [mW]} \right)$$
$$dB = 10$$

Se observa que el material compuesto al 5% logró una efectividad de blindaje mínima de 10 dB.

En la Tabla 3.37., se realiza una comparación de los resultados obtenidos del presente estudio de titulación con respecto a varias investigaciones de materiales compuestos destinados a la atenuación de ondas electromagnéticas. El cuadro está dividido según el tipo de material utilizado, el método de elaboración del compuesto, el rango de frecuencia al cual fue expuesto y finalmente los resultados obtenidos. Tomando en cuenta que en la última parte del cuadro se encuentra el resumen del presente proyecto de titulación.

A partir de la Tabla 3.37 se realiza un análisis comparativo con estudios realizados por otros autores, teniendo en consideración que las condiciones de elaboración, materiales de refuerzo utilizados, concentraciones, procedimientos de fabricación y rangos de frecuencia, no fueron los mismos que los empleados en este trabajo de titulación.

Tabla 3.37. Comparación de resultados de la cantidad de atenuación obtenida frente a otros estudios.

Referencia	Material	Método de elaboración	Rango de frecuencia	Resultados
(Chiang W., Cheng K., 1997) [38]	Fibra de carbono conductora (CF) incorporado en un copolímero de acrilonitrilo-butadiencia-estireno (ABS).	Moldeo por inyección.	30 – 1000 [MHz]	Obtuvieron un blindaje de 27.7 [dB] a 20 phr (partes por cien de resina/caucho) y de 30.3 [dB] al utilizar 60 phr de fibra de carbono.
(Das N.C., Khastgir D., Chaki T.K., 2000) [33]	Copolímero de etileno y acetato de vinilo reforzado con fibras de carbón negro (SCF).	Mezcla de componentes mediante Brabander Plasticorder (PLE 330) y moldeo por compresión aplicando calor.	100-2000 [MHz]	La atenuación obtenida fue de 24,5-25,3 [dB] utilizando compuestos que contienen 30 phr de SCF dentro de la matriz, en comparación a la diferencia de potencias inicial y final.
(Kim H. M., Lee Y, Joo J., 2004) [35]	Fibras de nanotubos de carbono de paredes múltiples con varias fracciones de masa (MWCNT) incorporadas en una matriz de poli-metil metacrilato (PMMA) y un catalizador de Fe.	Sintetización mediante el método de deposición química de vapor usando Fe como catalizador principal.	50 [MHz] – 13.5 [GHz]	Con una adición del 40% en peso del material, obtuvieron una efectividad de blindaje de 27 [dB]
(Ning L., Yi Huang, Feng Du, 2006) [47]	Polimero reforzado con nanotubos de carbono de pared simple (SWNTs).	Obtención de SWNTs mediante vaporización de arco usando He como gas portador en la cámara de arco, y un proceso de baño ultrasónico.	10 MHz - 1.5 GHz	Al tener un 15% en peso de SWNTs-largos como material de refuerzo, se obtuvo una atenuación de 49 [dB] con una frecuencia de 10 MHz y una atenuación de 15 -20 [dB] en el rango de 500 MHz - 1.5 GHz.
(Mahnaz M, Anuar B, Wan M., MAT Y., and Zainal A, 2009) [46]	Polímero polipirrol quitosano (PPy-CHI).	Mediante preparación electroquímica con diversas concentraciones de CHI en ácido acético a temperatura ambiente.	8000 [MHz]	Al tener 0.7% peso en volumen de material de refuerzo (CHI) dentro de la matriz, la efectividad de blindaje fue de 33,90 [dB].
(Ding-Xiang Yan, Peng-Gang Ren, Huan Pang, 2012) [34]	Poliestireno reforzado con láminas de grafeno funcionalizadas (FGS/PS).	Moldeo por compresión a 235°C más lixiviación de sal.	8 - 12 [GHz]	Con una concentración del 30% en peso de FGS, la atenuación fue de 29 [dB].
(Botrán A, 2015) [36]	Adición de nanotubos de carbono (CNTs) en un fieltro de lana.	Método de Deposición por vapor químico (CVD).	0 - 18 [GHz]	Al utilizar únicamente materiales absorbentes de la radiación sin el uso de refuerzos metálicos, obtuvo una atenuación de 10 [dB].
Trabajo de titulación	Resina poliéster reforzada con partículas de ferrita con un diámetro de 53 um.	Método de moldeo por compresión en frío.	824 - 1975 [MHz]	Al utilizar una composición volumétrica del 5% de ferrita dentro de la matriz, se obtuvo una atenuación de 18 – 24 [dB] con la operadora Otecel y de 10 - 18 [dB] con la operadora Conecel.

Fuente: propia

En este trabajo de titulación se demostró que al incorporar partículas de ferrita en una matriz polimérica termoestable, y mediante el método de moldeo por compresión se obtuvo un material compuesto con propiedades electromagnéticas, del cual se logró una efectividad de blindaje de 18 - 24 [dB]. En el estudio de Chiang W., Cheng K., se utilizó fibra de carbono y mediante un proceso de moldeo por inyección, se obtuvo un material capaz de blindar 30.3 [dB]. En los dos estudios, así como en las demás investigaciones detalladas en la Tabla 3.37., se demostró que al utilizar materiales de refuerzo conductores de electricidad se obtienen compuestos con buenas propiedades electromagnéticas, que pueden ser utilizados como blindaje, considerando que el valor mínimo necesario para un apantallamiento de EMI efectivo es de 10 [dB], según lo confirma el estudio de Botrán A.

Así también, al comparar los dos estudios, Chiang W. exhibió una mayor efectividad de blindaje que la reportada en este estudio, debido al modo de obtención del material compuesto, ya que al agregar lubricantes al compuesto se formó una red más conductiva, reduciendo el daño de la fibra y aumentando la dispersión de la misma, en cambio en este estudio no se utilizó ningún tipo de lubricante o proceso que brinde dichos beneficios, obteniendo un menor blindaje y demostrando que el modo de preparación del compuesto influye en las propiedades electromagnéticas que este adquiera.

Un factor que influye en la mejora de las propiedades electromagnéticas del material compuesto es la disminución del tamaño de las partículas y su buena dispersión en la matriz, ante lo cual en el estudio reportado por Ding-Xiang Yan, Peng-Gang Ren, Huan Pang., se utilizó un compuesto FGS/PS (láminas de grafeno funcionalizadas/poliestireno), elaborado con partículas de poliestireno con un diámetro de 20-40 μm , que fueron mezcladas mecánicamente con partículas de carbonato de calcio de 3-8 μm , obteniendo partículas complejas que pasaron por un proceso de moldeo por compresión a 235°C logrando láminas de 2,5 mm de espesor, lo cual garantizó una buena difusión molecular y una buena unión de las partículas FGS/PS, y con ello una efectividad de blindaje de 29 [dB] al utilizar el 30% en peso de FGS en un rango de 8-12 [GHz]. Mientras que, en este estudio se utilizó partículas de ferrita de 53 μm de diámetro, las cuales pasaron únicamente por un proceso de sonicación, obteniendo un blindaje de 18 [dB] al utilizar el 5% en volumen de partículas, en un rango de 824- 1975 [MHz].

Al comparar los dos estudios se verificó que se obtiene un material más conductor, al tener una mayor concentración de refuerzo en la matriz, con un menor tamaño de partículas homogéneamente distribuidas mediante un proceso más riguroso, que permitió conseguir

una mayor atenuación electromagnética en rangos de frecuencia más altos, con respecto a este estudio.

Al utilizar materiales de refuerzo, fibras o partículas, en micrómetros de diámetro o longitud, así como la densidad propia del material, generan que la suspensión del material y la distribución del mismo no sea homogénea en toda la matriz polimérica, causando problemas de adherencia entre el refuerzo/matriz, ante lo cual, en el estudio realizado por Ning L., Yi Huang los nanotubos de carbono pasan por un proceso de descarga de arco modificado utilizando Ni/Y como catalizador. En el estudio de Kim H. M., Lee Y, Joo J. los nanotubos de carbono pasan por un proceso de sintetización mediante la deposición química de vapor usando Fe como catalizador. En ambos estudios, dichos procesos fueron realizados al material de refuerzo previo al proceso de sonicación, los cuales además de permitir la buena dispersión de las partículas en la matriz, mejoran la conductividad de los materiales de refuerzo y aumentan la efectividad de blindaje, obteniendo una atenuación de 20 [dB] hasta un rango de 1.5 [GHz] y 27 [dB] hasta un rango de 13.5 [GHz], respectivamente. En tanto que, en este estudio las partículas de ferrita no pasaron por ningún proceso complementario antes de la sonicación, conllevando a obtener una atenuación de 18-24 [dB] al trabajar hasta 1975 [MHz].

Al observar los tres estudios, se demuestra que, al mejorar las propiedades eléctricas del material de refuerzo, así como el proceso de dispersión, el material compuesto obtiene mejores propiedades aislantes, logrando una mayor efectividad de blindaje hasta en rangos de frecuencia en GHz.

En el estudio realizado por Das N.C., Khastgir D., Chaki T.K, se elaboraron compuestos utilizando dos materiales de refuerzo diferentes, uno con incorporación de partículas (Vulcan XC-72) y otro con fibras de carbono (SCF). Los resultados mostraron una efectividad de blindaje de 34.1 [dB] al contener 30phr de fibra de carbono, y de 8.4 [dB] al utilizar partículas (Vulcan XC-72) a 50 phr, en un rango de frecuencia de 8 a 12 [GHz], probando que se obtiene una mayor efectividad de blindaje al utilizar fibras que partículas. Así también, en el mismo estudio al trabajar con fibras en un rango de frecuencia de 100-2000 [MHz] se obtuvo una efectividad de blindaje de 24,5-25,3 [dB], mientras que en este estudio, al utilizar partículas de ferrita al 5% de composición volumétrica, en un rango de frecuencia de 824- 1975 [MHz], se obtuvo una efectividad de blindaje de 18-24 [dB] con la operadora Otecel y de 10-18 [dB] con la operadora Conecel.

Al comparar ambos estudios en rangos de frecuencias similares, se observa que se obtuvo una mayor atenuación al trabajar con fibras, ya que éstas forman una malla conductora que intercepta la radiación electromagnética con facilidad, a diferencia de las partículas, las cuales deben tener mayor concentración dentro de la matriz para formar un material menos permisible que evite el paso de ondas electromagnéticas y blindaje más; reafirmando lo concluido por Das N.C.

En este estudio, al someter las cajas de blindaje a rangos de frecuencia utilizados por las unidades móviles (Tabla 2.7 apartado 2.6), se determinó que el material compuesto que presentó mayor atenuación, fue el que tuvo una concentración volumétrica del 5% de refuerzo ferrítico, valores que se verificaron en los 3 lugares de medición y con las dos operadoras, como se observa en la Tabla 3.35. y Tabla 3.36., del apartado 3.5.2. Demostrando así, que la variación de personas o la temperatura no son factores influyentes en la conexión emisor/receptor durante el curso de una llamada, sino más bien, las perturbaciones externas cercanas al lugar de medición, o la distancia de la radio base hacia el móvil, son los que van a influir en la disminución o aumento de la potencia emitida desde la radio base hacia el móvil.

En base a los resultados obtenidos en la Tabla 3.35, para la operadora Conecel y en la Tabla 3.36, para la operadora Otecel, se observa que la tendencia de atenuación es diferenciable entre cada composición y entre cada lugar, así como también, que los mayores porcentajes de atenuación se obtuvieron al utilizar la operadora Otecel. Lo cual se debe a que al trabajar la operadora Conecel la comunicación se establece en un mayor rango de frecuencia, evitando que la potencia disminuya demasiado cuando el móvil está en el interior de cada una de las cajas, consecuentemente el porcentaje de atenuación obtenido por esta operadora es menor en comparación al obtenido con Otecel.

El grosor de las paredes de la caja de blindaje, es uno de factores que influye en el porcentaje de atenuación obtenido, ya que, cuando las ondas entran en contacto con las paredes de la caja durante la conexión entre móviles, la intensidad de la señal se ve afectada por los fenómenos de absorción, difracción y reflexión que deterioran la cobertura de la red, disminuyendo la potencia que recepta el móvil en el transcurso de la llamada cuando está en el interior de cada una de las cajas. Así pues, al tener una mayor concentración de partículas en la matriz, y un mayor grosor de las paredes con incorporación de ferrita, los efectos de atenuación incrementan.

La caracterización mecánica se analizó considerando el material compuesto con las mejores propiedades de atenuación (5% de ferrita). Los resultados obtenidos en el apartado 3.2 del ensayo de tracción y del apartado 3.3. del ensayo de flexión, se observó que a mayor cantidad de partículas el material se vuelve más frágil debido a que pierde la resiliencia y resistencia, ya que carecen de deslizamiento interior, mostrando un decremento de la resistencia última a la tracción del 43,47% y un incremento en el módulo elástico a flexión del 44,17% en comparación al material polimérico sin adición de refuerzo.

Por otro lado, debido al peso de la ferrita, el material compuesto al 5% de ferrita, presentó un aumento en su densidad relativa, correspondiente al 9,91% en comparación con la resina pura, sin modificar sus propiedades físicas. Con lo cual se constata que este material, sirve como un blindaje adecuado, ya que es ligero, de bajo costo y de fácil manipulación.

4. CONCLUSIONES

- Se logró obtener un material compuesto capaz de atenuar ondas electromagnéticas emitidas por las redes de telefonía móvil, al utilizar una caja de blindaje al 5% de refuerzo ferrítico.
- Mediante las pruebas de atenuación electromagnética se verificó que, gracias al baño ultrasónico y al método de moldeo por compresión, se obtuvo una buena interfase matriz/refuerzo, ocasionando que el material tenga buenas propiedades electromagnéticas para un blindaje efectivo.
- Al aumentar la cantidad volumétrica de partículas en la matriz, se obtuvo un mayor porcentaje de atenuación, gracias a que, el material se vuelve menos permisible y cuando las ondas electromagnéticas entran en contacto con las partículas de ferrita, éstas evitan el paso de las mismas por los efectos de absorción y difracción, reduciendo la potencia downlink recibida por el móvil.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de flexión y tracción, al tener una composición al 5% en volumen, se presentó una fractura tipo frágil debido a que, al tener mayor cantidad de refuerzo, se incrementa la rigidez del material y la resistencia a la tracción disminuye, provocando que tenga un comportamiento frágil y quebradizo.
- En los ensayos de densidad se observó que la densidad relativa del material compuesto respecto a la matriz pura, no incrementa de manera significativa, lo cual da a notar que el material a pesar de tener un refuerzo metálico mantiene sus propiedades físicas, siendo ligero.
- Los resultados obtenidos muestran que al trabajar con un material compuesto al 5% de refuerzo ferrítico, se obtiene el mayor porcentaje de atenuación, llegando a valores superiores al 88% al utilizar la operadora Conecel y superiores al 97% al utilizar la operadora Otecel.
- El rango de frecuencia al cual se enlaza la conexión entre las unidades móviles, depende del canal que esté disponible dentro de la radio base más cercana, en el momento de establecer la comunicación.
- Se comprobó que la operadora Otecel trabaja con un rango de frecuencia menor (835-1955 MHz) que la operadora Conecel (824-1975 MHz), por lo que, la potencia receptada por el móvil Otecel es menor que la potencia receptada por el móvil Conecel, ocasionando que, en los tres lugares de medición, al utilizar un material al 5% de refuerzo se obtuvo los mayores porcentajes de atenuación entre el 97,04% y 99,08% con la operadora Otecel.

- Los ruidos y perturbaciones que se generan en el ambiente, producen una pérdida en la potencia de la señal que permite mantener la comunicación entre las unidades móviles, ocasionando la variación de la potencia en ciertos intervalos de tiempo.
- Se comprobó que al incorporar materiales conductores (partículas metálicas) al 5% en volumen en una matriz polimérica, se obtuvo una efectividad de blindaje de 24 [dB], valor que muestra que el material puede ser utilizado como un apantallamiento de EMI efectivo para aplicaciones comerciales, siendo 10 [dB] el valor mínimo necesario para dichos objetivos.
- Se obtuvieron mejores resultados de atenuación al utilizar la jaula de Faraday, llegando a una efectividad de blindaje de 42 [dB] para este estudio, no obstante, el material compuesto obtenido al 5% de ferrita es aceptable, llegando a valores de blindaje de 18-24 [dB] con la operadora Otecel y de 10-18 [dB] con la operadora Conecel.

5. RECOMENDACIÓN

Con el fin de mejorar este estudio para trabajos posteriores, se recomienda realizar las mediciones electromagnéticas variando el espesor del material, así como aumentar la frecuencia al cual está expuesto el material para verificar el alcance de su blindaje.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bayat, M., Yang, H., Ko, F. K., Michelson, D., & Mei, A. (2014). "Electromagnetic interference shielding effectiveness of hybrid multifunctional Fe₃O₄/carbon nanofiber composite". *Polymer*, 55(3), pp. 936-943. doi: 10.1016/j.polymer.2013.12.042
- [2] Kong, I., Hj Ahmad, S., Hj Abdullah, M., Hui, D., Nazlim Yusoff, A., & Puryanti, D. (2010). "Magnetic and microwave absorbing properties of magnetite-thermoplastic natural rubber nanocomposites". *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 322(21), pp. 3401-3409. doi: 10.1016/j.jmmm.2010.06.036
- [3] Thomassin, J.-M., Jérôme, C., Pardoën, T., Bailly, C., Huynen, I., & Detrembleur, C. (2013). "Polymer/carbon based composites as electromagnetic interference (EMI) shielding materials". *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 74(7), pp. 211-232. doi: 10.1016/j.mser.2013.06.001
- [4] Consejo Nacional de Telecomunicaciones "CONATEL"(2015). "RESOLUCIÓN.TEL-138-04-CONATEL" 2015 Ecuador.
- [5] Agencia de regulación y control de las telecomunicaciones (2018). "Informe de ejecución de procesos de consultas públicas del proyecto". Uso y canalización de las bandas 3300-3400MHz" 2018 Ecuador
- [6] J. Maldonado, "Aceros y sus aplicaciones", M.S. tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Técnica de Nuevo León, México, Nuevo León, 1996.
- [7] M. Suresh. C.P. Metalografía, diagrama hierro carbono. Diciembre 2015. [Online]. Disponible: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/5-diagrama-hierro-carbono/>
- [8] L. Martinez, "Ingeniería de materiales- Cap. Diagrama de Fase ", *Fuel*, vol. 13, pp. 160-167, ago. 2015. UDIMA.
- [9] V. Larre, "Metalografía y tratamientos térmicos Cap. Estructuras del acero", Vol 1, pp. 156-170, mayo.
- [10] P. Antequera, A. Miravete, L. Jiménez. Los materiales compuestos de fibra de vidrio. Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 1991.
- [11] A. Miravete, E. Larrodé, *Materiales Compuestos. Tomos I y II*. A. Miravete, Zaragoza 2000.
- [12] W.D. Callister, D.G. Rethwisch, *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. Limusa-Wiley: México, 2009.
- [13] A. Miravete, L. Jiménez, P. Antequera. *Cálculo y diseño de estructuras de materiales compuestos de fibra de vidrio*. Secretariado de Publicaciones de Zaragoza (Geológicas), Zaragoza, 2010.

- [14] INASMET. Materiales compuestos: aplicaciones en el transporte terrestre. INASMET, San Sebastián. 1998.
- [15] N. J. E. Adkins, G. P. Yiasemides, "Production of powders for metal injection moulding by inert gas atomisation". *Advances in Powder Metallurgy and Particulate Materials*. 1992. vol. 7. pag. 201-214.
- [16] I. Agote, A. Odriozola, M. Gutierrez, A. Santamaría, J. Quintanilla, P. Coupelle. "Rheological study of waste porcelain feedstocks for injection moulding". *Journal of the European Ceramic Society*. 2001. Vol. 21; pag. 2843 –2853.
- [17] V.H. Guerrero., J. Dávila. S. Galeas. Nuevos materiales, aplicaciones estructurales industriales. 1era.ed. Quito-imprefep. Escuela Politécnica Nacional. 2011.
- [18] A. Besednjak, *Los Materiales compuestos*, 1era.ed.UPC, Barcelona, 2005.
- [19] H. Villacís, "Materiales compuestos híbridos reforzados con fibra de vidrio y ábaca mediante estratificación", trabajo de fin de grado, Esc Pol. Nacional, 2011.
- [20] W. H.Hayt, J. A. Buck, *Teoría Electromagnética*, 7ma. ed. New York: McGraw-Hill, 2006.
- [21] G. Moreano, "La influencia de las radiaciones electromagnéticas en los seres humanos, sus efectos, consecuencias y recomendaciones", trabajo de fin de grado, Esc Pol. Nacional, 2003.
- [22] J. Bonastre, *Propagación de ondas electromagnéticas*, Universitat Oberta de Catalunya, España.
- [23] J.L. Pérez, R. Miranda. "Radiaciones electromagnéticas y salud en la investigación médica", *Revista Cubana de Medicina Militar*, 39 (1) 35-43, 2010.
- [24] A. Balmori, "Posibles efectos de las ondas electromagnéticas utilizadas en la telefonía inalámbrica sobre los seres vivos". *Ardeola*, 51(2), 477-490, 2004.
- [25] J. Balcells, J. Daura, F. Esparza, R. Pallás, R, *Interferencias electromagnéticas en sistemas electrónicos*, Marcombo, S.A. Barcelona, España, 1992
- [26] C. Cassiolato, C, *Interferencia Electromagnética en instalaciones industriales y mucho más*, Revista Smar, Technology Company, 2012. [Online]. Disponible: <http://www.smar.com/espanol/articulos-tecnicos/emi-interferencia-electromagnetica-en-instalaciones-industriales-y-mucho-mas>
- [27] M. Jaramillo, *Implementación de Red Móvil con Tecnología 4G LTE*, ESPOL, Apartado 09-01-5863, 2015.
- [28] *Manual de uso del Medidor de Radiación Selectiva SRM 3006*.
- [29] J.M. Huidobro, *Antenas de telecomunicaciones*, Revista Digital de ACTA, Editorial CEDRO, 2013.

- [30] J. Navarro, "Evolución de 3G y su convergencia a 4G en comunicaciones móviles", trabajo de fin de grado, Univ Austral. Chile, 2008.
- [31] A. Guevara, V. Vásquez, "Estado Actual de las redes LTE en Latinoamérica", trabajo de fin de grado, Univ. Cuenca, 2013.
- [32] O.A. Muñoz, Jaula de Faraday, *Vida científica Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No.4*, 5(10), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 2017, [Online]. Disponible: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n10/r3.html>
- [33] Das N.C., Khastgir D., Chaki T.K., "Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbón black and carbón fibre filled EVA and NR based composites", *Composites, Part A: applied science and manufacturing*, 31 (2000) Rep: 1069-1081, 2000.
- [34] Ding-Xiang Yan, Peng-Gang Ren, Huan Pang, "Efficient electromagnetic interference shielding of lightweight Graphene/polystyrene composite", *Journal of Materials Chemistry, J. Mater Chem.*, 2012, 22, 18772, DOI: 10.1039/c2jm32692b, 2012.
- [35] Kim H.M., Lee Y., Joo J., "Electrical conductivity and electromagnetic interference shielding of multiwalled carbon nanotube composites containing Fe catalyst", *AIP*, DOI: 10.1063/1.16441167, 2004.
- [36] Botrán A, "Desarrollo de un material absorbente de radiaciones electromagnéticas en el espectro de [0-18 GHz]", Universidad Carlos III de Madrid, 2015.
- [37] M. Abdi, A. Kassim, H. Ekramut, "Electromagnetic Interference Shielding Effectivities of new Conducting Polymer Composite", *Univ. Newcastle, Australia, Part A: Pure and Applied Chemistry*, 47:1, 71-75, DOI: 10.1080/10601320903399834, 2014.
- [38] W. Chiang, K. Cheng, "Processing Conditions for Electromagnetic Interference Shielding Effectivities and Mechanical Properties of Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Based Composites", Taipei 104, Taiwan, Republic of China, Vol. 18, No. 6, 1997.
- [39] D.D.L. Chung, "Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon materials", NY 14260-4400, *Carbon* 39 (2001) 279-285, Pergamon, USA, 2000.
- [40] J. Liang, Y. Wang, Y. Huang, Y. Ma, "Electromagnetic interference shielding of graphene/epoxy composites", *Laboratory of Condensed Matter Physics and Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*, 2008.
- [41] J. Thomassin, C. Jérôme, T. Pardoen, "Polymer/carbon based composites as electromagnetic interference (EMI) shielding materials", Elsevier, 2013.
- [42] Y. Yang, M. Gupta, "Novel Carbon Nanotube-Polystyrene Foam Composites for Electromagnetic Interference Shielding", *Electromagnetic Research Branch, NASA Langley Research Center, Virginia 23681*, Vol5. No. 11, 2131-2134, 2005.
- [43] C. Martínez, "Preparación y Caracterización de Películas flexibles compuestas por micro-nano partículas de polímeros conductores incorporados en una matriz elastomérica

de poli (estireno-etileno/butileno-estireno) ", trabajo de fin de grado, Univ Pol. Catalunya, 2013.

[44] Fernández V, "Ejemplo de diseño e implementación de una estación base GSM/UMTS", trabajo de fin de grado, Univ. Politécnica de Valencia, Gandia, 2010.

[45] Vargas V, "Estudio de factibilidad para la implementación de un sistema de localización geográfica aproximada en las redes del servicio móvil avanzado para las llamadas generadas a los servicios de emergencia de la ciudad de Quito", trabajo de fin de grado, Esc. Politécnica Nacional, Quito, 2011

[46] Mahnaz M, Anuar B, Wan M., MAT Y., and Zainal A, "Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of New Conducting Polymer Composite", Taylor and Francis Group, Journal of Macromolecular Science, Part A, DOI: 10.1080/10601320903399834, 2009.

[47] L. Ning, Y. Huang, F. Du, "Electromagnetic Interference (EMI) Shielding of Single-Walled Carbon Nanotube Epoxy Composites", Nano Letters, Vol.6, No.6, 1141-1145, 2006.

7. ANEXOS

ANEXO 1. FICHA TÉCNICA DE RESINA POLIÉSTER

CRISTALÁN 896

RESINA DE POLIÉSTER 230896

RÍGIDA USO GENERAL

PROPIEDADES PRINCIPALES:

El Cristalán 896 es una resina ortoftálica de poliéster lineal no saturada, con estireno monómero como diluyente reactivo.

La fabricación del Cristalán 896 se realiza con materias primas **no recicladas**, que cumplen con estándares internacionales de calidad.

El curado de la resina se realiza con la adición de octoato de cobalto (acelerador) y mek-peróxido (catalizador), esta reacción exotérmica desprende calor, el cual a su vez acelera el proceso de gelificación.

Cuando la resina gelifica disminuye su volumen por contracción. Para disminuir esa contracción se utilizan cargas minerales y refuerzos como fibra de vidrio, materiales que absorben parte del calor de reacción y aumentan la resistencia a la tensión, flexión e impacto de los laminados, partes, piezas y objetos fabricados.

El Cristalán 896 debe almacenarse en sus envases originales sellados, a temperaturas inferiores a 25°C, en lugares cubiertos, secos y por no más de tres meses, por ser esta una resina inestable.

APLICACIONES:

El Cristalán 896 se utiliza en la fabricación de carrocerías, embarcaciones marítimas, tuberías y tanques para transporte y almacenamiento de agua y ciertos líquidos.

El Cristalán 896 se utiliza en la formulación de gel coat, recubrimientos de madera, fabricación de mármol sintético, tejas traslúcidas, esculturas y figuras decorativas. En su amplia gama de aplicaciones, el Cristalán 896 es compatible con pigmentos orgánicos.

ESPECIFICACIONES:

CONTENIDO DE SÓLIDOS	68 a 72 %
VISCOSIDAD BROOKFIELD, 25°C ⁽¹⁾	2000 a 2200 centipoises
COLOR (A.P.H.A.)	máximo 80
ÍNDICE DE ACIDEZ	21 a 27 mg KOH / g resina
APARIENCIA	Líquido transparente levemente amarillo
TIEMPO DE GEL, 25°C ⁽²⁾	14 a 18 minutos

(1) La medida de viscosidad se realiza con aguja 4, a 50 rpm, durante 30 segundos.

(2) Para determinar el tiempo de gel (RTG), se utiliza 0.23 ml de octoato de cobalto al 6% y 1.1 ml de mek-peróxido de 9.5% de oxígeno activo por cada 100 gramos de resina pura.

CRISTALÁN 896

RESINA DE POLIÉSTER 230896

RÍGIDA USO GENERAL

CONSIDERACIONES:

La adición de cargas minerales, pigmentos y otros aditivos, así como condiciones ambientales de alta humedad, bajas o altas temperaturas, modifican el tiempo de gelificación de la resina.

Dependiendo de la aplicación, se puede diluir el Cristalán 896 hasta con un 20% de estireno monómero calculado sobre el peso de resina.

FÓRMULA ORIENTATIVA PARA GEL COAT:

Cristalán 896	1000 gramos
Estireno monómero	200 gramos
Carga mineral	250 gramos
Pigmento en polvo	100 gramos
Agente tixotrópico	30 gramos
Octoato de cobalto del 12%	3 gramos
Mek peróxido	3 gramos

La carga mineral puede ser carbonato de calcio, talco, silicato, etc.

La cantidad de pigmentos es de acuerdo al color y tono requeridos.

El agente tixotrópico es sílice pirogénica coloidal (Aerosil, Cabosil).

Departamento Técnico
REQUIMEC S.A.
Telfs.: 02 2671678 – 02 2912101
Fax: 02 2675684

Fecha de actualización: Septiembre de 2016

ANEXO 2. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Resina poliéster

Tabla 1. Ensayos de tracción de resina poliéster sin refuerzo, según la Norma ASTM D3039 M-17.

Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Código de falla	Fuerza última (N)	Resistencia última (MPa)	Deformación última (%)	Módulo de elasticidad secante (MPa)
1	26,64	2,50	66,60	LAT	2868,33	43,15	1,42	4478,28
2	27,01	2,65	71,58	GAT	2998,33	41,89	1,58	3937,88
3	26,70	2,48	66,22	AGM	2895,09	43,82	1,60	4322,25
4	27,01	2,68	72,39	AGM	3021,67	41,75	1,58	4113,16
5	25,96	2,52	65,42	LAT	2787,50	42,61	1,50	4211,15
Promedio					2914,18	42,64	1,54	4212,54
Desviación estándar					96,37	0,87	0,08	204,92

Fuente: propia

Material compuesto al 1%

Tabla 2. Ensayo de tracción de material compuesto al 1%, según la Norma ASTM D3039 M-17.

Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Código de falla	Fuerza última (N)	Resistencia última (MPa)	Deformación última (%)	Módulo de elasticidad secante (MPa)
1	22,41	2,39	53,56	AAT	1764,32	32,94	0,55	5144,67
2	23,48	1,86	43,67	AGB	1510,78	34,69	0,67	5124,31
3	23,37	2,34	54,69	AAT	1860,17	34,10	0,61	5064,14
4	23,56	1,91	45,00	XMV	1637,84	36,40	0,82	4335,51
5	23,58	2,16	50,93	LIT	1400,83	27,57	0,46	5428,13
Promedio					1634,79	33,14	0,62	5019,35
Desviación estándar					185,54	3,35	0,14	407,27

Fuente: propia

Material compuesto al 3%

Tabla 3. Ensayo de tracción de material compuesto al 3%, según la Norma ASTM D3039 M-17.

Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Código de falla	Fuerza última (N)	Resistencia última (MPa)	Deformación última (%)	Módulo de elasticidad secante (MPa)
1	22,81	1,99	45,39	XVV	1355,00	29,87	0,53	5676,54
2	22,58	2,19	49,45	XVV	1557,38	31,49	0,48	6494,81
3	23,15	1,98	45,84	AGM	1369,56	29,88	0,44	6361,52
4	24,30	1,86	45,20	XVV	1089,74	24,18	0,38	5911,38
5	22,75	2,44	55,51	XVV	1768,53	31,87	0,51	5756,91
Promedio					1428,04	29,46	0,47	6040,23
Desviación estándar					252,91	3,09	0,06	367,09

Fuente: propia

Material compuesto al 5%

Tabla 4. Ensayo de tracción de material compuesto al 5%, según la Norma ASTM D3039 M-17.

Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Código de falla	Fuerza última (N)	Resistencia última (MPa)	Deformación última (%)	Módulo de elasticidad secante (MPa)
1	22,91	2,07	47,42	XVV	1425,83	30,15	0,46	6875,95
2	23,67	55,73	1319,13	LVV	1107,28	19,87	0,27	5962,75
3	23,08	1,55	35,77	AVV	1038,83	29,13	0,44	6188,42
4	23,19	2,11	48,93	XVV	912,77	18,66	0,30	5594,63
5	23,72	1,76	41,75	LIT	945,67	22,72	0,30	5691,14
Promedio					1086,08	24,11	0,35	6062,58
Desviación estándar					204,86	5,27	0,09	510,96

Fuente: propia

ANEXO 3. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN

Resina poliéster

Tabla 5. Ensayos de flexión de resina poliéster sin refuerzo, según la Norma ASTM D7264 M-15.

Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Distancia entre apoyos (mm)	Tipo de falla	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo elástico a flexión (MPa)	Deformación última (%)
1	14,48	3,19	46,19	101,92	MLV	43,33	45,12	1735,57	3,84
2	14,37	3,29	47,28	88,80	MLV	50,83	43,55	1474,85	3,88
3	15,00	2,8	42,00	89,6	MSL	43,33	49,52	1988,34	3,65
4	14,45	3,45	49,85	89,60	MSM	45,00	35,27	966,26	5,07
5	14,30	3,25	46,48	103,84	MLV	46,67	48,27	1960,78	3,49
Promedio						45,83	44,35	1625,16	3,99
Desviación estándar						3,12	5,61	422,34	0,63

Fuente: propia

Material compuesto al 1%

Tabla 6. Ensayo de flexión de material compuesto al 1%, según la Norma ASTM D7264 M-15.

Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Distancia entre apoyos (mm)	Tipo de falla	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo elástico a flexión (MPa)	Deformación última (%)
1	14,36	3,69	52,99	117,92	MLV	43,33	39,31	1995,79	2,81
2	14,68	2,87	42,13	91,84	MLV	47,50	54,13	2564,33	2,41
3	15,01	3,65	54,79	116,8	MLV	53,33	46,73	2249,44	2,41
4	14,40	3,64	52,42	116,32	MLV	50,83	46,61	1919,41	3,57
5	15,59	2,52	39,29	80,64	MLV	32,50	42,43	1757,03	3,49
Promedio						45,50	45,84	2097,20	2,94
Desviación estándar						8,18	5,58	315,83	0,57

Fuente: propia

Material compuesto al 3%

Tabla 7. Ensayo de flexión de material compuesto al 3%, según la Norma ASTM D7264 M-15

Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Distancia entre apoyos (mm)	Tipo de falla	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo elástico a flexión (MPa)	Deformación última (%)
1	14,16	3,70	52,39	118,40	MLV	50,17	45,96	2257,26	1,86
2	14,64	3,60	52,70	115,04	MLV	53,67	48,81	2217,22	2,57
3	14,56	3,33	48,48	106,56	MLV	48,44	47,96	1525,01	3,26
4	14,56	2,77	40,33	88,64	MLV	49,64	59,08	2449,3	1,82
5	14,69	3,99	58,61	81,67	MLV	59,67	31,26	2349,58	2,69
Promedio						52,32	46,61	2159,67	2,44
Desviación estándar						4,55	8,92	365,92	0,61

Fuente: propia

Material compuesto al 5%

Tabla 8. Ensayo de flexión de material compuesto al 5%, según la Norma ASTM D7264 M-15

Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm ²)	Distancia entre apoyos (mm)	Tipo de falla	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo elástico a flexión (MPa)	Deformación última (%)
1	14,53	3,44	49,98	109,92	MLV	39,17	37,68	1586,19	3,46
2	14,61	3,67	53,62	117,44	MLV	57,50	51,49	3263,52	1,72
3	14,54	3,16	45,95	100,64	MLV	42,06	43,89	1783,32	4,53
4	14,24	2,73	38,88	87,36	MLV	51,67	63,82	2580,68	3,25
5	14,67	3,67	53,84	117,28	MLV	58,33	52,10	2501,04	2,67
Promedio						49,75	49,80	2342,95	3,13
Desviación estándar						8,78	9,83	673,58	1,03

Fuente: propia

ANEXO 4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE DENSIDAD RELATIVA

Ferrita

Tabla 1. Ensayo de densidad de la ferrita, según la Norma ASTM D792-13

Muestra No.	Wa (g)	Wl (g)	Tl (°C)	sp gr 23/23°C	D23°C (g/cm ³)
1	5,4704	4,7081	23,0	7,1762	7,1590
2	5,4695	4,7075	23,0	7,1778	7,1606
Promedio				7,1770	7,1598
Desviación estándar				0,0012	0,0012

Fuente: propia

Resina poliéster

Tabla 2. Ensayo de densidad resina poliéster, según la Norma ASTM D792-13

Muestra No.	Wa (g)	Wl (g)	TI (°C)	sp gr 23/23°C	D23°C (g/cm3)
1	2,6402	0,4998	23,0	1,2335	1,2305
2	2,0392	0,3786	23,0	1,2280	1,2250
Promedio				1,2307	1,2278
Desviación estándar				0,0039	0,0039

Fuente: propia

Material compuesto al 1%

Tabla 3. Ensayo de densidad ferrita al 1%, según la Norma ASTM D792-13

Muestra No.	Wa (g)	Wl (g)	TI (°C)	sp gr 23/23°C	D23°C (g/cm3)
1	2,1287	0,4333	23,0	1,2556	1,2526
2	3,4687	0,6920	23,0	1,2492	1,2462
Promedio				1,2524	1,2494
Desviación estándar				0,0045	0,0045

Fuente: propia

Material compuesto al 3%

Tabla 4. Ensayo de densidad ferrita al 3%, según la Norma ASTM D792-13

Muestra No.	Wa (g)	Wl (g)	TI (°C)	sp gr 23/23°C	D23°C (g/cm3)
1	4,6564	1,0709	23,0	1,2987	1,2956
2	3,7167	0,8492	23,0	1,2961	1,2930
Promedio				1,2974	1,2943
Desviación estándar				0,0018	0,0018

Fuente: propia

Material compuesto al 5%

Tabla 5. Ensayo de densidad ferrita al 5%, según la Norma ASTM D792-13

Muestra No.	Wa (g)	Wl (g)	TI (°C)	sp gr 23/23°C	D23°C (g/cm3)
1	3,3028	0,8827	23,0	1,3647	1,3615
2	3,3587	0,8533	23,0	1,3406	1,3374
Promedio				1,3527	1,3494
Desviación estándar				0,0171	0,0170

Fuente: propia

ANEXO 5. RESULTADOS OBTENIDOS POR EL SOFTWARE KAIBITS CON LA OPERADORA OTECEL Y CONECEL, EN EL LABORATORIO DE TERMODINÁMICA DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.

OPERADORA OTECEL

Tabla 1. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 12:30 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-71	-73	-69	-79	-69	-91	-77	-107
1	-71	-73	-69	-79	-69	-91	-77	-107
2	-71	-73	-69	-79	-69	-91	-77	Se cierra
3	-71	-73	-69	-79	-69	-91	-77	Se cierra
4	-71	-73	-67	-79	-69	-91	-77	Se cierra
5	-71	-73	-67	-79	-69	-91	-73	Se cierra
6	-71	-73	-67	-79	-69	-91	-71	Se cierra
7	-71	-73	-67	-79	-69	-91	-71	Se cierra
8	-71	-73	-67	-79	-69	-91	-71	Se cierra
9	-71	-73	-67	-79	-69	-91	-69	Se cierra
10	-71	-73	-67	-79	-69	-91	-69	Se cierra
11	-69	-73	-67	-79	-69	-95	-69	Se cierra
12	-69	-73	-67	-79	-69	-95	-69	Se cierra
13	-69	-73	-67	-79	-69	-95	-69	Se cierra
14	-69	-73	-67	-79	-69	-95	-69	Se cierra
15	-69	-73	-67	-79	-69	-93	-69	Se cierra
16	-69	-73	-67	-79	-69	-93	-69	Se cierra
17	-69	-73	-67	-79	-69	-93	-69	Se cierra
18	-69	-73	-67	-79	-69	-93	-69	Se cierra
19	-69	-73	-67	-79	-69	-93	-69	Se cierra
20	-69	-73	-67	-79	-69	-93	-69	Se cierra
21	-69	-73	-67	-79	-69	-93	-69	Se cierra
22	-69	-73	-67	-79	-69	-93	-69	Se cierra
23	-69	-73	-67	-79	-67	-93	-71	Se cierra
24	-69	-73	-67	-79	-67	-93	-71	Se cierra
25	-69	-73	-67	-79	-67	-93	-71	Se cierra
26	-69	-73	-69	-79	-67	-93	-71	Se cierra
27	-69	-73	-69	-79	-67	-93	-71	Se cierra
28	-69	-73	-69	-79	-67	-93	-71	Se cierra
29	-69	-73	-69	-79	-67	-93	-71	Se cierra
30	-69	-73	-69	-79	-69	-93	-71	Se cierra

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 2. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición porcentual	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-69	-73	-67	-79	-69	-93	-69	-107
Potencia predominante [mW]	1,26E-07	5,01E-08	2,00E-07	1,26E-08	1,26E-07	5,01E-10	1,26E-07	2,00E-11
Atenuación (%)	60,19		93,69		99,60		99,98	

Fuente: propia

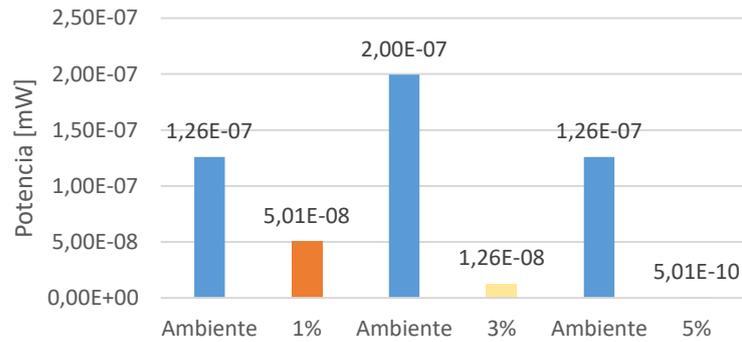


Figura 1. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

Tabla 3. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 13:00 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-71	-75	-73	-81	-71	-91	-69	Valores erróneos
1	-71	-75	-73	-81	-71	-91	-69	Valores erróneos
2	-71	-73	-73	-81	-71	-89	-69	Valores erróneos
3	-71	-73	-73	-81	-71	-89	-69	Valores erróneos
4	-71	-75	-73	-81	-71	-89	-71	Valores erróneos
5	-71	-75	-73	-81	-71	-89	-71	Valores erróneos
6	-69	-75	-73	-81	-71	-89	-71	Valores erróneos
7	-69	-75	-73	-81	-71	-89	-71	Valores erróneos
8	-69	-75	-73	-81	-71	-89	-71	Valores erróneos
9	-69	-75	-73	-81	-71	-93	-71	Valores erróneos
10	-69	-75	-73	-81	-71	-93	-71	Valores erróneos
11	-69	-75	-73	-81	-71	-93	-71	Valores erróneos
12	-69	-75	-73	-81	-71	-93	-71	Valores erróneos
13	-69	-75	-73	-81	-71	-91	-71	Valores erróneos
14	-71	-75	-73	-81	-71	-91	-71	Valores erróneos
15	-71	-75	-71	-81	-71	-91	-71	Valores erróneos
16	-71	-75	-71	-81	-71	-91	-71	Valores erróneos
17	-71	-75	-71	-81	-71	-91	-71	Valores erróneos
18	-69	-75	-73	-81	-71	-91	-71	Valores erróneos
19	-69	-75	-73	-81	-71	-91	-71	Valores erróneos
20	-69	-73	-73	-81	-71	-91	-71	Valores erróneos
21	-69	-73	-73	-81	-71	-91	-71	Valores erróneos
22	-69	-75	-73	-81	-71	-91	-71	Valores erróneos
23	-69	-75	-73	-81	-71	-91	-71	Valores erróneos
24	-69	-75	-71	-81	-71	-91	-71	Valores erróneos
25	-69	-75	-71	-81	-71	-91	-71	Valores erróneos
26	-71	-75	-71	-81	-71	-91	-71	Valores erróneos
27	-71	-75	-71	-81	-71	-91	-71	Valores erróneos
28	-71	-75	-71	-81	-71	-91	-71	Valores erróneos
29	-71	-75	-71	-81	-71	-91	-71	Valores erróneos
30	-71	-75	-71	-81	-71	-91	-71	Valores erróneos

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 4. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición porcentual	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-69	-75	-73	-81	-71	-91	-71	Llega a la potencia máxima
Potencia predominante [mW]	1,26E-07	3,16E-08	5,01E-08	7,94E-09	7,94E-08	7,94E-10	7,94E-08	Valores erróneos
Atenuación (%)	74,88		84,15		99,00		100,00	

Fuente: propia

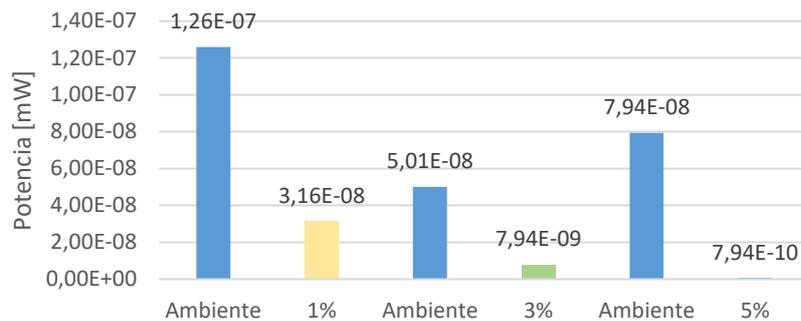


Figura 2. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

Tabla 5. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 13:30 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-67	-73	-71	-81	-69	-87	-69	Valores erróneos
1	-67	-73	-71	-81	-69	-87	-69	Valores erróneos
2	-67	-73	-71	-81	-69	-87	-69	Valores erróneos
3	-67	-73	-71	-81	-69	-87	-69	Valores erróneos
4	-67	-73	-71	-81	-69	-87	-69	Valores erróneos
5	-67	-73	-71	-81	-69	-87	-69	Valores erróneos
6	-67	-73	-71	-81	-71	-87	-69	Valores erróneos
7	-67	-73	-71	-81	-71	-87	-69	Valores erróneos
8	-67	-73	-69	-81	-71	-87	-69	Valores erróneos
9	-67	-71	-69	-81	-71	-87	-69	Valores erróneos
10	-67	-71	-69	-81	-71	-87	-69	Valores erróneos
11	-67	-71	-69	-81	-71	-87	-69	Valores erróneos
12	-67	-71	-69	-81	-71	-87	-69	Valores erróneos
13	-67	-71	-69	-81	-71	-87	-69	Valores erróneos
14	-67	-71	-69	-81	-71	-87	-69	Valores erróneos
15	-67	-71	-69	-81	-71	-87	-69	Valores erróneos
16	-67	-71	-69	-81	-71	-87	-69	Valores erróneos
17	-67	-71	-69	-81	-71	-87	-69	Valores erróneos
18	-67	-71	-67	-83	-71	-89	-69	Valores erróneos
19	-67	-73	-67	-83	-71	-89	-69	Valores erróneos
20	-67	-73	-67	-83	-71	-89	-69	Valores erróneos
21	-67	-73	-71	-83	-71	-89	-69	Valores erróneos

22	-67	-73	-71	-83	-71	-89	-69	Valores erróneos
23	-67	-73	-71	-83	-71	-89	-69	Valores erróneos
24	-67	-73	-69	-83	-71	-89	-69	Valores erróneos
25	-67	-73	-69	-83	-71	-89	-69	Valores erróneos
26	-67	-73	-69	-83	-71	-91	-69	Valores erróneos
27	-67	-73	-69	-83	-71	-91	-69	Valores erróneos
28	-67	-73	-69	-83	-71	-91	-69	Valores erróneos
29	-67	-73	-69	-83	-71	-91	-69	Valores erróneos
30	-67	-73	-69	-83	-71	-89	-69	Valores erróneos

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 6. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición porcentual	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-67	-73	-69	-81	-71	-87	-69	Llega a la potencia máxima
Potencia predominante [mW]	2,00E-07	5,01E-08	1,26E-07	7,94E-09	7,94E-08	2,00E-09	1,26E-07	Valores erróneos
Atenuación (%)	74,88		93,69		97,49		100,00	

Fuente: propia

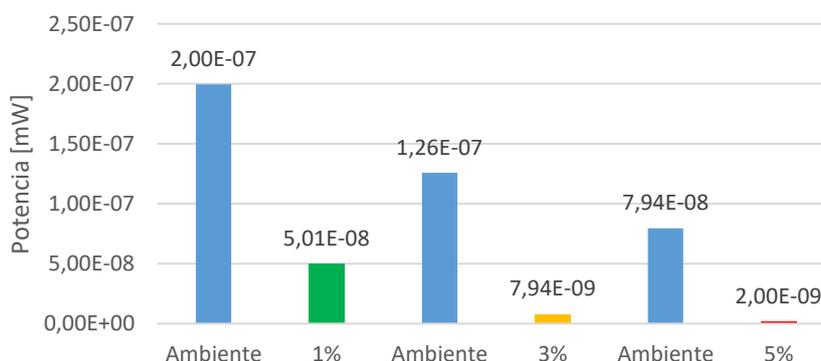


Figura 3. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

Tabla 7. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 14:00 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-67	-71	-73	-83	-69	-93	-73	Valores erróneos
1	-67	-71	-73	-83	-69	-93	-73	Valores erróneos
2	-67	-71	-73	-83	-69	-93	-73	Valores erróneos
3	-67	-69	-73	-83	-71	-93	-71	Valores erróneos
4	-67	-69	-73	-83	-71	-93	-71	Valores erróneos
5	-67	-69	-73	-83	-71	-93	-71	Valores erróneos
6	-67	-73	-73	-83	-71	-93	-71	Valores erróneos
7	-67	-73	-73	-83	-71	-93	-71	Valores erróneos
8	-67	-73	-73	-83	-71	-93	-71	Valores erróneos
9	-67	-73	-73	-85	-71	-93	-71	Valores erróneos

10	-67	-73	-73	-85	-71	-93	-73	Valores erróneos
11	-67	-69	-73	-85	-71	-93	-73	Valores erróneos
12	-67	-73	-73	-85	-71	-93	-73	Valores erróneos
13	-67	-73	-73	-85	-71	-93	-73	Valores erróneos
14	-67	-73	-73	-85	-71	-93	-73	Valores erróneos
15	-67	-73	-73	-85	-71	-93	-73	Valores erróneos
16	-67	-73	-73	-85	-71	-93	-73	Valores erróneos
17	-67	-73	-73	-85	-71	-93	-73	Valores erróneos
18	-67	-73	-73	-85	-71	-93	-73	Valores erróneos
19	-67	-73	-73	-85	-71	-93	-73	Valores erróneos
20	-67	-73	-71	-85	-71	-93	-73	Valores erróneos
21	-67	-73	-71	-85	-71	-93	-73	Valores erróneos
22	-67	-73	-71	-85	-71	-93	-73	Valores erróneos
23	-67	-73	-71	-85	-69	-95	-73	Valores erróneos
24	-67	-73	-71	-85	-69	-95	-73	Valores erróneos
25	-67	-73	-71	-85	-69	-95	-73	Valores erróneos
26	-67	-73	-71	-85	-69	-95	-73	Valores erróneos
27	-67	-73	-71	-85	-69	-95	-73	Valores erróneos
28	-67	-73	-71	-83	-69	-95	-73	Valores erróneos
29	-67	-73	-71	-83	-69	-93	-73	Valores erróneos
30	-67	-73	-71	-83	-69	-93	-73	Valores erróneos

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 8. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición porcentual	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-67	-73	-73	-85	-71	-93	-73	Llega a la potencia máxima
Potencia predominante [mW]	2,00E-07	5,01E-08	5,01E-08	3,16E-09	7,94E-08	5,01E-10	5,01E-08	Valores erróneos
Atenuación (%)	74,88		93,69		99,37		100,00	

Fuente: propia

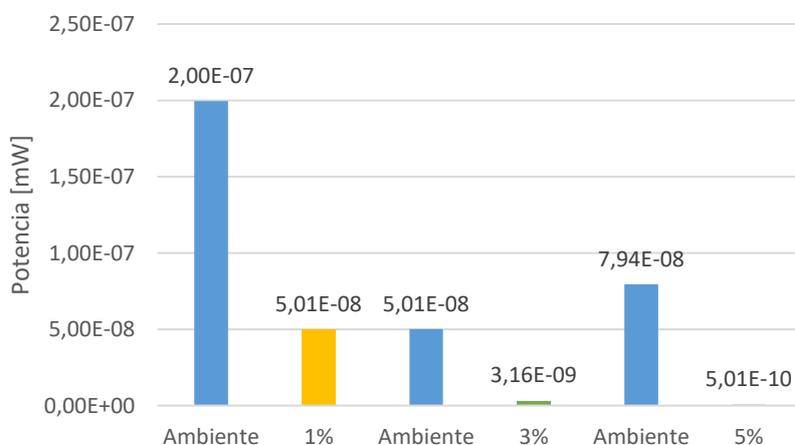


Figura 4. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

OPERADORA CONECEL

Tabla 9. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 12:00 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-73	-75	-79	-81	-71	-81	-81	-109
1	-73	-75	-77	-83	-71	-79	-81	-107
2	-71	-75	-79	-81	-71	-79	-81	-109
3	-71	-75	-79	-81	-71	-79	-83	-109
4	-71	-75	-79	-81	-71	-81	-83	-111
5	-73	-77	-79	-83	-71	-81	-83	-109
6	-69	-73	-79	-83	-73	-81	-83	-111
7	-69	-77	-79	-83	-71	-81	-83	-111
8	-69	-77	-77	-83	-71	-81	-83	-109
9	-71	-75	-81	-83	-71	-81	-83	-111
10	-71	-73	-79	-83	-71	-81	-85	Se cierra
11	-71	-75	-79	-83	-73	-81	-85	Se cierra
12	-69	-73	-77	-83	-73	-81	-85	Se cierra
13	-71	-73	-77	-83	-71	-81	-87	Se cierra
14	-71	-73	-79	-83	-73	-81	-81	Se cierra
15	-71	-75	-81	-85	-73	-79	-81	Se cierra
16	-71	-73	-79	-85	-73	-81	-81	Se cierra
17	-69	-75	-83	-85	-73	-81	-81	Se cierra
18	-71	-73	-81	-87	-73	-81	-81	Se cierra
19	-71	-75	-79	-83	-71	-79	-83	Se cierra
20	-71	-75	-77	-83	-71	-81	-83	Se cierra
21	-69	-75	-79	-83	-77	-79	-83	Se cierra
22	-71	-73	-77	-81	-73	-79	-81	Se cierra
23	-71	-73	-81	-83	-77	-83	-81	Se cierra
24	-69	-75	-79	-81	-75	-79	-81	Se cierra
25	-69	-75	-79	-81	-73	-81	-83	Se cierra
26	-69	-75	-77	-81	-73	-79	-83	Se cierra
27	-71	-75	-79	-81	-79	-81	-83	Se cierra
28	-71	-77	-77	-81	-73	-79	-81	Se cierra
29	-71	-75	-77	-83	-71	-81	-81	Se cierra
30	-71	-77	-81	-81	-73	-85	-81	Se cierra

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 10. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición porcentual	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-71	-75	-79	-83	-71	-81	-81	-111
Potencia predominante [mW]	7,94E-08	3,16E-08	1,26E-08	5,01E-09	7,94E-08	7,94E-09	1,26E-07	2,00E-11
Atenuación (%)	60,18		60,18		90		99,98	

Fuente: propia

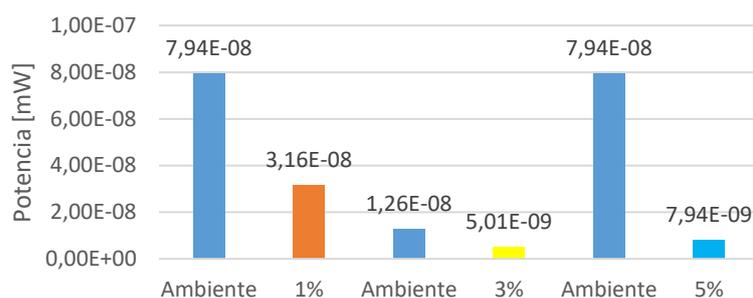


Figura 5. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.
(Fuente: propia)

Tabla 11. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 12:30 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-65	-67	-67	-75	-67	-79	-95	-109
1	-65	-67	-67	-77	-65	-79	-95	-109
2	-63	-67	-67	-75	-65	-79	-91	-109
3	-63	-67	-67	-77	-67	-79	-93	-111
4	-63	-67	-67	-77	-67	-79	-97	-107
5	-65	-67	-67	-75	-67	-79	-91	-109
6	-63	-67	-67	-75	-67	-79	-91	-109
7	-63	-67	-67	-77	-67	-79	-93	-107
8	-63	-67	-67	-77	-67	-79	-93	-111
9	-63	-67	-67	-75	-67	-79	-91	Se cierra
10	-65	-67	-67	-75	-67	-79	-91	Se cierra
11	-63	-67	-67	-75	-67	-79	-91	Se cierra
12	-63	-67	-67	-75	-67	-79	-91	Se cierra
13	-65	-67	-67	-75	-67	-79	-93	Se cierra
14	-65	-67	-69	-75	-67	-79	-93	Se cierra
15	-65	-67	-67	-75	-67	-79	-93	Se cierra
16	-65	-67	-69	-75	-67	-79	-91	Se cierra
17	-63	-67	-69	-75	-67	-79	-93	Se cierra
18	-63	-69	-67	-75	-67	-77	-95	Se cierra
19	-67	-67	-67	-75	-67	-79	-99	Se cierra
20	-65	-69	-67	-73	-67	-79	-95	Se cierra
21	-71	-69	-67	-75	-65	-77	-91	Se cierra
22	-65	-67	-67	-75	-65	-79	-99	Se cierra
23	-67	-67	-67	-75	-67	-77	-95	Se cierra
24	-67	-67	-67	-75	-67	-77	-97	Se cierra
25	-71	-67	-67	-73	-65	-77	-95	Se cierra
26	-63	-67	-69	-73	-65	-77	-95	Se cierra
27	-67	-67	-67	-77	-65	-77	-93	Se cierra
28	-65	-67	-67	-75	-65	-79	-91	Se cierra
29	-67	-67	-67	-75	-65	-79	-89	Se cierra
30	-63	-69	-67	-75	-67	-79	-95	Se cierra

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 12. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición porcentual	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-63	-67	-67	-75	-67	-79	-91	-111
Potencia predominante [mW]	5,01E-07	2,00E-07	2,00E-07	3,16E-08	2,00E-07	1,26E-08	7,94E-10	7,94E-12
Atenuación (%)	60,18		84,15		93,69		99	

Fuente: propia

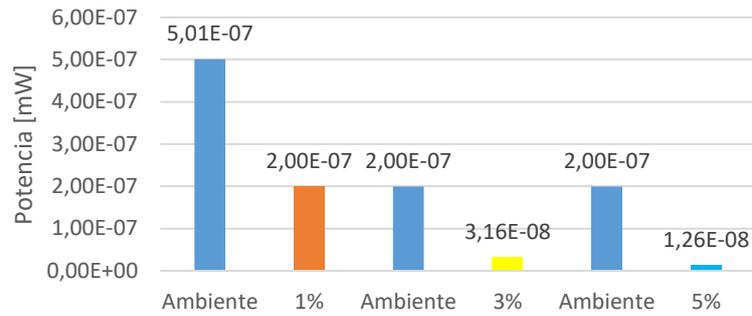


Figura 6. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

Tabla 13. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 13:00 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-75	-77	-73	-83	-73	-89	-77	-111
1	-73	-77	-71	-83	-73	-81	-77	-111
2	-73	-75	-71	-79	-71	-83	-79	-111
3	-73	-75	-73	-79	-71	-85	-79	-107
4	-73	-77	-73	-81	-71	-83	-79	-109
5	-73	-77	-73	-79	-73	-81	-77	-109
6	-75	-77	-73	-79	-73	-83	-77	-111
7	-73	-77	-73	-79	-71	-81	-79	Se cierra
8	-73	-79	-73	-81	-71	-83	-77	Se cierra
9	-75	-81	-73	-81	-71	-81	-77	Se cierra
10	-73	-79	-73	-79	-71	-81	-77	Se cierra
11	-75	-77	-73	-81	-71	-81	-77	Se cierra
12	-75	-77	-73	-81	-71	-83	-77	Se cierra
13	-73	-77	-73	-79	-71	-83	-79	Se cierra
14	-73	-75	-71	-79	-71	-81	-73	Se cierra
15	-73	-77	-73	-81	-73	-83	-77	Se cierra
16	-73	-77	-73	-79	-73	-83	-73	Se cierra
17	-73	-75	-73	-79	-71	-83	-73	Se cierra
18	-73	-75	-73	-79	-71	-81	-73	Se cierra
19	-73	-75	-73	-81	-71	-81	-73	Se cierra
20	-75	-77	-73	-77	-71	-81	-73	Se cierra
21	-73	-77	-73	-81	-73	-83	-73	Se cierra
22	-71	-75	-73	-81	-73	-81	-77	Se cierra
23	-77	-79	-71	-81	-73	-81	-77	Se cierra

24	-69	-73	-73	-79	-75	-83	-79	Se cierra
25	-71	-73	-71	-79	-75	-81	-77	Se cierra
26	-71	-77	-73	-81	-73	-81	-77	Se cierra
27	-75	-79	-75	-79	-71	-83	-75	Se cierra
28	-71	-73	-75	-81	-75	-81	-77	Se cierra
29	-69	-73	-73	-79	-73	-83	-77	Se cierra
30	-73	-73	-73	-79	-71	-81	-73	Se cierra

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 14. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición porcentual	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-65	-67	-67	-75	-63	-79	-71	-111
Potencia predominante [mW]	3,16E-07	2,00E-07	2,00E-07	3,16E-08	5,01E-07	1,26E-08	7,94E-08	7,94E-12
Atenuación (%)	36,90		84,15		97,48		99	

Fuente: propia

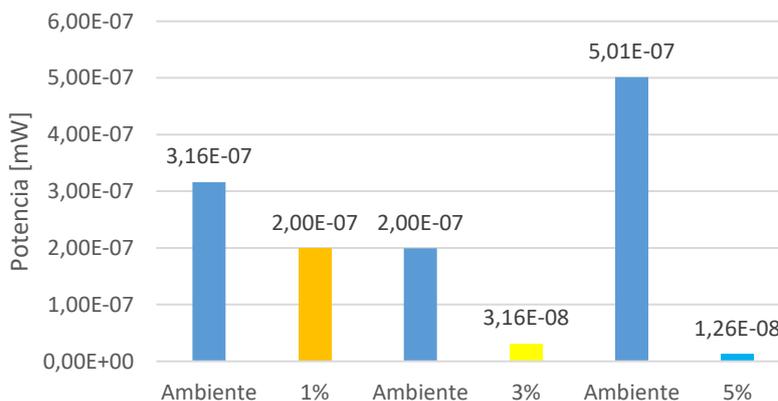


Figura 7. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

Tabla 15. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 13:30 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-67	-67	-67	-75	-63	-79	-71	-109
1	-65	-67	-67	-75	-63	-79	-71	-109
2	-65	-67	-67	-75	-65	-79	-71	-107
3	-63	-69	-65	-75	-63	-79	-73	-109
4	-63	-67	-67	-75	-63	-79	-73	-109
5	-65	-67	-67	-75	-63	-79	-73	-109
6	-65	-67	-67	-75	-65	-79	-73	-111
7	-65	-67	-67	-75	-65	-79	-71	-109
8	-65	-67	-67	-75	-63	-79	-71	-111
9	-65	-67	-67	-75	-65	-79	-71	Se cierra
10	-65	-67	-67	-75	-63	-79	-71	Se cierra
11	-65	-67	-67	-75	-63	-79	-71	Se cierra

12	-63	-67	-67	-75	-63	-79	-73	Se cierra
13	-65	-67	-67	-75	-63	-79	-73	Se cierra
14	-65	-67	-67	-75	-63	-79	-71	Se cierra
15	-65	-67	-67	-75	-63	-79	-71	Se cierra
16	-63	-67	-67	-75	-63	-81	-71	Se cierra
17	-65	-67	-67	-75	-63	-79	-71	Se cierra
18	-65	-67	-67	-75	-63	-79	-71	Se cierra
19	-63	-67	-67	-75	-63	-79	-71	Se cierra
20	-63	-69	-67	-75	-63	-79	-71	Se cierra
21	-63	-69	-65	-75	-63	-79	-71	Se cierra
22	-63	-67	-67	-75	-63	-81	-69	Se cierra
23	-63	-67	-67	-75	-63	-81	-71	Se cierra
24	-65	-67	-67	-75	-63	-81	-69	Se cierra
25	-67	-69	-67	-75	-65	-81	-71	Se cierra
26	-67	-69	-67	-75	-65	-81	-71	Se cierra
27	-69	-67	-65	-75	-63	-79	-67	Se cierra
28	-67	-67	-69	-75	-63	-81	-71	Se cierra
29	-67	-69	-69	-75	-63	-79	-71	Se cierra
30	-69	-65	-69	-75	-63	-79	-73	Se cierra

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 16. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición porcentual	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-73	-77	-73	-79	-71	-81	-77	-111
Potencia predominante [mW]	5,01E-08	2,00E-08	5,01E-08	1,26E-08	7,94E-08	7,94E-09	1,99E-08	7,94E-12
Atenuación (%)	60,18		74,88		90		99,96	

Fuente: propia

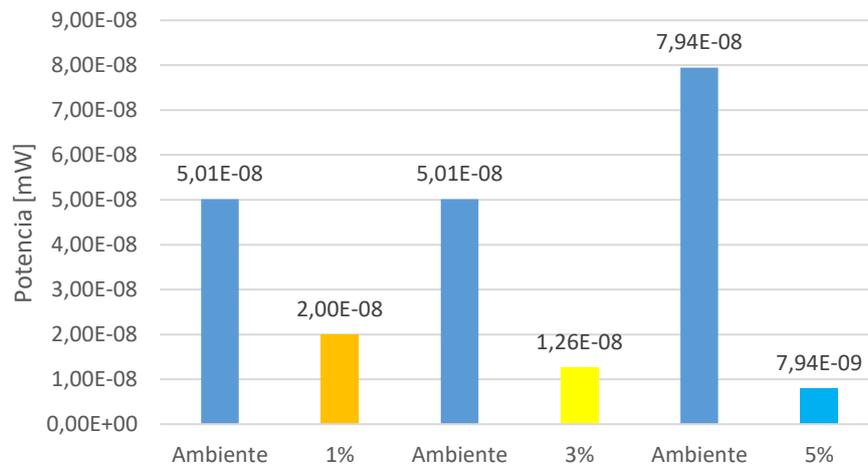


Figura 8. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

Tabla 17. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 14:00 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-69	-75	-67	-73	-69	-85	-75	-107
1	-69	-73	-67	-73	-67	-85	-75	-107
2	-73	-75	-69	-75	-67	-85	-75	-109
3	-73	-75	-67	-75	-67	-85	-75	-109
4	-71	-73	-67	-77	-69	-85	-75	-111
5	-73	-75	-67	-77	-67	-85	-75	-107
6	-73	-75	-67	-77	-67	-85	-75	-109
7	-73	-73	-67	-75	-67	-87	-77	-111
8	-73	-75	-67	-73	-67	-85	-75	-111
9	-73	-75	-67	-77	-67	-85	-75	Se cierra
10	-73	-75	-67	-73	-67	-83	-75	Se cierra
11	-73	-75	-67	-75	-67	-83	-75	Se cierra
12	-73	-75	-67	-75	-67	-83	-75	Se cierra
13	-73	-75	-67	-75	-67	-83	-75	Se cierra
14	-73	-75	-67	-77	-67	-85	-75	Se cierra
15	-73	-77	-67	-75	-67	-83	-75	Se cierra
16	-73	-73	-67	-77	-67	-83	-73	Se cierra
17	-73	-75	-67	-73	-67	-85	-75	Se cierra
18	-73	-77	-65	-73	-67	-83	-75	Se cierra
19	-71	-75	-67	-75	-67	-83	-73	Se cierra
20	-71	-77	-67	-75	-67	-83	-75	Se cierra
21	-71	-77	-67	-73	-65	-83	-75	Se cierra
22	-73	-75	-67	-71	-67	-85	-75	Se cierra
23	-73	-75	-67	-73	-67	-85	-75	Se cierra
24	-73	-77	-67	-73	-65	-83	-73	Se cierra
25	-73	-77	-65	-71	-67	-83	-75	Se cierra
26	-71	-75	-65	-73	-65	-83	-75	Se cierra
27	-71	-75	-65	-75	-65	-85	-75	Se cierra
28	-73	-77	-65	-77	-65	-83	-75	Se cierra
29	-73	-73	-67	-73	-65	-83	-75	Se cierra
30	-71	-75	-67	-73	-65	-83	-75	Se cierra

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 18. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición porcentual	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-73	-75	-67	-73	-67	-83	-75	-111
Potencia predominante [mW]	5,01E-08	3,16E-08	2,00E-07	5,01E-08	2,00E-07	5,01E-09	3,16E-08	7,94E-12
Atenuación (%)	36,90		74,88		97,48		99,97	

Fuente: propia

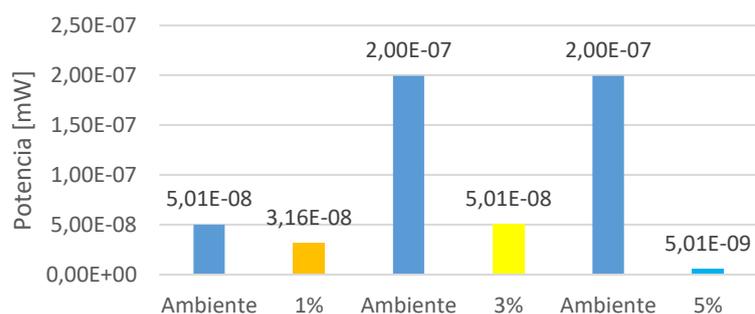


Figura 9. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

ANEXO 6. RESULTADOS OBTENIDOS POR EL SOFTWARE KAIBITS OBTENIDOS CON LA OPERADORA OTECEL Y CONECEL, EN EL HOSPITAL MILITAR.

OPERADORA OTECEL

Tabla 19. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 12:00 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-87	-91	-95	-101	-91	-109	-85	-111
1	-87	-91	-95	-101	-91	-109	-85	-111
2	-87	-91	-95	-101	-91	-109	-85	Se cierra
3	-89	-91	-95	-99	-91	-107	-87	Se cierra
4	-89	-91	-97	-99	-93	-107	-87	Se cierra
5	-89	-91	-93	-101	-93	-107	-87	Se cierra
6	-89	-91	-93	-105	-91	-109	-87	Se cierra
7	-89	-91	-95	-101	-91	-109	-87	Se cierra
8	-87	-91	-93	-101	-93	-111	-87	Se cierra
9	-87	-89	-89	-101	-93	-111	-85	Se cierra
10	-87	-91	-89	-101	-93	-111	-85	Se cierra
11	-87	-91	-89	-103	-95	-107	-85	Se cierra
12	-87	-91	-91	-103	-93	-107	-85	Se cierra
13	-87	-91	-95	-101	-93	-107	-85	Se cierra
14	-85	-91	-95	-101	-95	-107	-85	Se cierra
15	-85	-91	-95	-101	-95	-109	-85	Se cierra
16	-85	-91	-95	-101	-95	-111	-85	Se cierra
17	-85	-91	-95	-101	-95	-111	-85	Se cierra
18	-85	-91	-95	-101	-95	-111	-85	Se cierra
19	-85	-91	-95	-101	-95	-109	-85	Se cierra
20	-85	-91	-95	-101	-97	-109	-85	Se cierra
21	-85	-91	-91	-99	-95	-109	-85	Se cierra
22	-85	-91	-91	-101	-95	-107	-85	Se cierra
23	-87	-91	-91	-103	-95	-107	-85	Se cierra
24	-87	-91	-91	-105	-95	-107	-85	Se cierra
25	-87	-91	-91	-101	-97	-107	-85	Se cierra
26	-87	-91	-93	-101	-97	-107	-85	Se cierra
27	-87	-91	-93	-101	-97	-107	-85	Se cierra
28	-85	-91	-93	-101	-95	-107	-85	Se cierra
29	-85	-91	-93	-101	-95	-107	-85	Se cierra
30	-85	-91	-93	-101	-95	-111	-85	Se cierra

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 20. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición volumétrica	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-87	-91	-95	-101	-95	-107	-85	-111
Potencia predominante [mW]	2,00E-09	7,94E-10	3,16E-10	7,94E-11	3,16E-10	2,00E-11	3,16E-09	7,94E-12
Atenuación (%)	60,19		74,88		93,69		99,75	

Fuente: propia

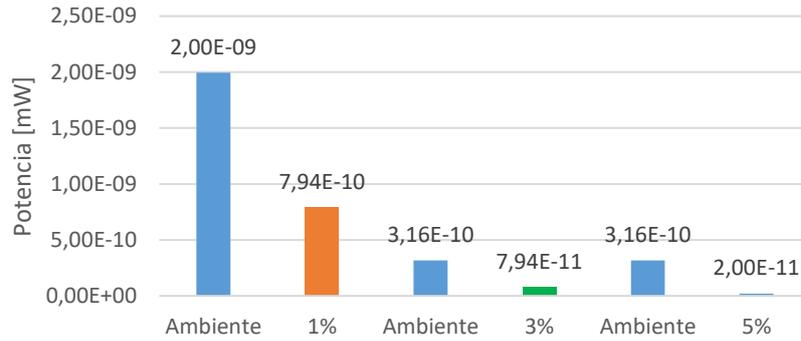


Figura 10. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

Tabla 21. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 12:30 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-89	-95	-95	-105	-93	-111	-97	Valores erróneos
1	-89	-95	-95	-105	-93	-107	-97	Valores erróneos
2	-89	-95	-95	-105	-93	-109	-97	Valores erróneos
3	-89	-97	-95	-107	-93	-109	-99	Valores erróneos
4	-89	-97	-95	-107	-93	-109	-99	Valores erróneos
5	-89	-97	-95	-107	-91	-109	-99	Valores erróneos
6	-89	-93	-95	-107	-91	-107	-99	Valores erróneos
7	-89	-93	-93	-109	-91	-109	-99	Valores erróneos
8	-89	-93	-93	-109	-95	-109	-97	Valores erróneos
9	-93	-97	-93	-105	-93	-109	-97	Valores erróneos
10	-93	-97	-95	-105	-93	-109	-97	Valores erróneos
11	-93	-97	-93	-109	-95	-109	-97	Valores erróneos
12	-93	-97	-93	-107	-93	-109	-97	Valores erróneos
13	-89	-99	-93	-107	-93	-109	-97	Valores erróneos
14	-89	-99	-93	-107	-93	-109	-97	Valores erróneos
15	-93	-99	-93	-107	-93	-107	-97	Valores erróneos
16	-93	-99	-93	-103	-97	-109	-97	Valores erróneos
17	-93	-99	-93	-103	-97	-109	-97	Valores erróneos
18	-95	-95	-93	-107	-97	-109	-97	Valores erróneos
19	-95	-97	-95	-109	-97	-111	-97	Valores erróneos
20	-95	-95	-95	-109	-95	-109	-97	Valores erróneos
21	-93	-97	-95	-109	-95	-111	-97	Valores erróneos
22	-93	-95	-95	-109	-93	-111	-97	Valores erróneos
23	-91	-95	-95	-109	-93	-111	-97	Valores erróneos
24	-93	-95	-95	-107	-93	-111	-97	Valores erróneos

25	-93	-95	-93	-109	-93	-111	-97	Valores erróneos
26	-93	-95	-91	-109	-95	-109	-97	Valores erróneos
27	-93	-97	-93	-107	-95	-111	-99	Valores erróneos
28	-93	-97	-93	-107	-95	-111	-97	Valores erróneos
29	-91	-97	-93	-107	-97	-109	-97	Valores erróneos
30	-91	-97	-93	-107	-97	-109	-97	Valores erróneos

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 22. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición volumétrica	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-93	-97	-93	-107	-93	-109	-97	Llega a la máxima potencia
Potencia predominante [mW]	5,01E-10	2,00E-10	5,01E-10	2,00E-11	5,01E-10	1,26E-11	2,00E-10	Valores erróneos
Atenuación (%)	60,19		96,02		97,49		100,00	

Fuente: propia

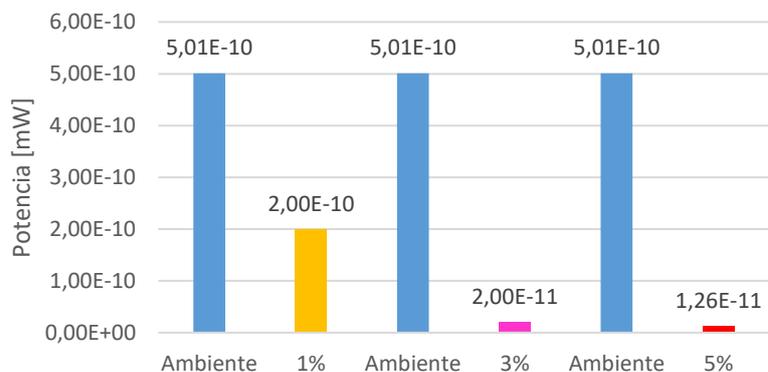


Figura 11. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

Tabla 23. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 13:00 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-87	-97	-85	-105	-87	-109	-85	-111
1	-87	-97	-85	-105	-87	-109	-85	-111
2	-87	-97	-85	-105	-87	-109	-85	Se cierra
3	-87	-97	-85	-107	-91	-109	-85	Se cierra
4	-89	-97	-85	-107	-91	-109	-85	Se cierra
5	-89	-95	-87	-107	-91	-109	-83	Se cierra
6	-89	-95	-85	-107	-89	-109	-83	Se cierra
7	-89	-95	-87	-107	-87	-109	-83	Se cierra
8	-89	-95	-87	-107	-87	-111	-85	Se cierra
9	-89	-95	-87	-107	-87	-111	-87	Se cierra
10	-89	-97	-87	-105	-87	-111	-85	Se cierra
11	-89	-97	-87	-105	-87	-111	-85	Se cierra
12	-87	-95	-87	-105	-89	-111	-85	Se cierra
13	-89	-95	-87	-105	-89	-109	-85	Se cierra
14	-89	-97	-87	-105	-89	-111	-87	Se cierra
15	-89	-95	-87	-103	-89	-111	-87	Se cierra
16	-89	-93	-85	-103	-87	-111	-87	Se cierra

17	-87	-93	-85	-105	-87	-111	-85	Se cierra
18	-87	-93	-85	-103	-93	-111	-85	Se cierra
19	-87	-97	-85	-105	-91	-111	-85	Se cierra
20	-87	-99	-85	-107	-89	-111	-85	Se cierra
21	-87	-99	-85	-107	-89	-111	-91	Se cierra
22	-91	-99	-85	-107	-89	-111	-91	Se cierra
23	-91	-97	-85	-107	-89	-111	-91	Se cierra
24	-91	-97	-85	-107	-89	-111	-87	Se cierra
25	-91	-97	-85	-107	-87	-107	-87	Se cierra
26	-91	-93	-87	-107	-87	-107	-87	Se cierra
27	-91	-93	-87	-109	-87	-107	-85	Se cierra
28	-89	-93	-87	-109	-87	-107	-83	Se cierra
29	-89	-97	-87	-109	-91	-109	-85	Se cierra
30	-89	-97	-87	-109	-91	-109	-85	Se cierra

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 24. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición volumétrica	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-89	-97	-85	-107	-87	-111	-85	Llega a la máxima potencia
Potencia predominante [mW]	1,26E-09	2,00E-10	3,16E-09	2,00E-11	2,00E-09	7,94E-12	3,16E-09	Valores erróneos
Atenuación (%)	84,15		99,37		99,6		100,00	

Fuente: propia

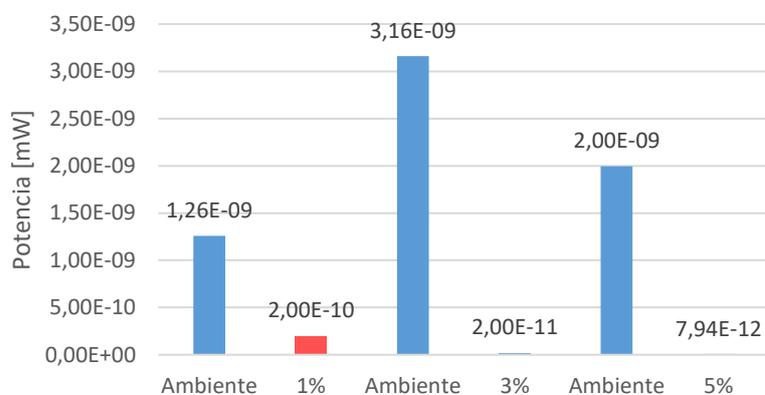


Figura 12. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

Tabla 25. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 13:30 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-87	-95	-87	-101	-93	-111	-95	-120
1	-87	-95	-87	-101	-93	-111	-95	-120
2	-87	-95	-87	-101	-93	-109	-95	Se cierra
3	-85	-95	-87	-101	-91	-109	-95	Se cierra
4	-87	-95	-89	-103	-91	-111	-95	Se cierra
5	-87	-95	-89	-103	-91	-111	-97	Se cierra
6	-83	-95	-89	-103	-91	-107	-99	Se cierra
7	-83	-95	-89	-103	-93	-107	-97	Se cierra
8	-83	-95	-89	-103	-93	-107	-95	Se cierra

9	-83	-95	-89	-103	-93	-111	-95	Se cierra
10	-83	-95	-87	-103	-93	-111	-93	Se cierra
11	-85	-95	-87	-103	-93	-111	-95	Se cierra
12	-89	-95	-87	-105	-89	-111	-97	Se cierra
13	-89	-95	-87	-103	-89	-111	-97	Se cierra
14	-89	-95	-87	-103	-89	-111	-95	Se cierra
15	-89	-95	-87	-103	-91	-109	-95	Se cierra
16	-85	-95	-87	-105	-91	-109	-95	Se cierra
17	-89	-95	-87	-103	-91	-109	-95	Se cierra
18	-85	-97	-87	-103	-91	-107	-93	Se cierra
19	-85	-97	-87	-103	-91	-107	-93	Se cierra
20	-85	-97	-87	-103	-91	-107	-93	Se cierra
21	-85	-97	-87	-103	-91	-107	-95	Se cierra
22	-85	-95	-87	-103	-91	-109	-95	Se cierra
23	-85	-93	-87	-103	-91	-109	-95	Se cierra
24	-85	-93	-87	-103	-91	-109	-95	Se cierra
25	-85	-95	-87	-103	-91	-107	-93	Se cierra
26	-85	-95	-87	-103	-93	-109	-93	Se cierra
27	-85	-95	-87	-105	-93	-109	-91	Se cierra
28	-85	-95	-87	-105	-93	-109	-91	Se cierra
29	-85	-93	-87	-105	-91	-109	-91	Se cierra
30	-85	-93	-87	-105	-91	-109	-91	Se cierra

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 26. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición volumétrica	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-85	-95	-87	-103	-91	-109	-95	-120
Potencia predominante [mW]	3,16E-09	3,16E-10	2,00E-09	5,01E-11	7,94E-10	1,26E-11	3,16E-10	1,00E-12
Atenuación (%)	90,00		97,49		98,42		99,68	

Fuente: propia

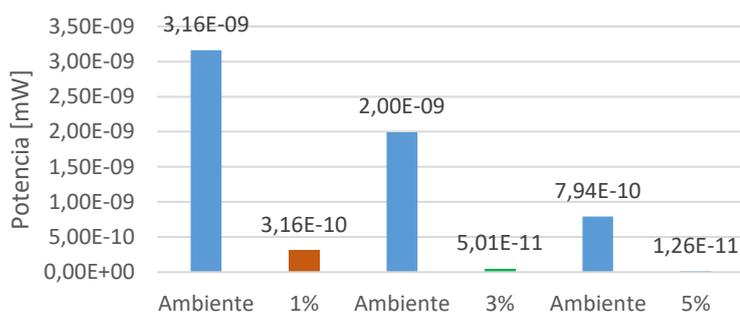


Figura 13. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

Tabla 27. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 14:00 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-79	-81	-75	-87	-75	-89	-75	-120
1	-77	-81	-75	-87	-75	-89	-75	-120
2	-79	-81	-75	-87	-75	-89	-75	Se cierra
3	-79	-81	-75	-87	-75	-89	-75	Se cierra
4	-79	-79	-75	-87	-75	-89	-75	Se cierra

5	-79	-79	-75	-87	-75	-89	-73	Se cierra
6	-81	-79	-73	-87	-75	-87	-73	Se cierra
7	-81	-81	-73	-87	-75	-87	-73	Se cierra
8	-81	-81	-73	-87	-75	-87	-75	Se cierra
9	-79	-81	-73	-87	-75	-87	-75	Se cierra
10	-81	-81	-75	-87	-75	-87	-75	Se cierra
11	-81	-81	-75	-87	-75	-89	-75	Se cierra
12	-81	-81	-75	-87	-75	-89	-75	Se cierra
13	-75	-81	-73	-85	-75	-89	-75	Se cierra
14	-77	-81	-73	-87	-75	-89	-73	Se cierra
15	-77	-81	-73	-87	-73	-89	-73	Se cierra
16	-81	-81	-73	-87	-73	-89	-73	Se cierra
17	-81	-81	-73	-87	-73	-89	-73	Se cierra
18	-77	-81	-73	-89	-73	-89	-73	Se cierra
19	-77	-81	-73	-87	-73	-89	-73	Se cierra
20	-81	-81	-73	-87	-73	-89	-75	Se cierra
21	-81	-81	-73	-87	-73	-89	-73	Se cierra
22	-81	-83	-73	-87	-73	-89	-73	Se cierra
23	-79	-83	-75	-87	-75	-89	-73	Se cierra
24	-79	-83	-75	-87	-75	-89	-73	Se cierra
25	-79	-83	-75	-87	-75	-89	-73	Se cierra
26	-79	-83	-75	-87	-75	-89	-73	Se cierra
27	-79	-83	-75	-87	-75	-89	-75	Se cierra
28	-79	-83	-75	-87	-75	-89	-73	Se cierra
29	-79	-83	-75	-87	-75	-89	-73	Se cierra
30	-79	-83	-75	-87	-75	-89	-73	Se cierra

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 28. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y jaula de Faraday.

Composición porcentual	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-79	-81	-75	-87	-75	-89	-73	-120
Potencia predominante [mW]	1,26E-08	7,94E-09	3,16E-08	2,00E-09	3,16E-08	1,26E-09	5,01E-08	1,00E-12
Atenuación (%)	36,90		93,69		96,02		100,00	

Fuente: propia

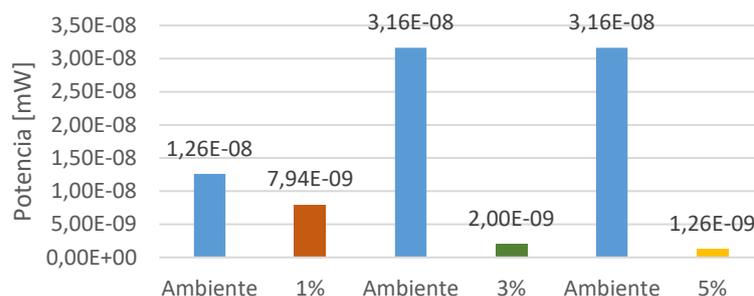


Figura 14. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

OPERADORA CONECEL

Tabla 29. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 12:00 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-97	-103	-99	-103	-99	-107	-97	-109
1	-97	-105	-101	-107	-99	-105	-97	-107
2	-95	-103	-99	-109	-99	-107	-99	-109
3	-93	-103	-99	-107	-99	-107	-99	-109
4	-97	-103	-99	-107	-97	-105	-99	-111
5	-95	-103	-99	-107	-95	-107	-97	-107
6	-97	-103	-99	-107	-95	-107	-97	-111
7	-97	-103	-97	-107	-97	-107	-99	-111
8	-97	-103	-99	-107	-99	-105	-99	Se cierra
9	-97	-107	-101	-109	-97	-107	-99	Se cierra
10	-95	-103	-99	-109	-97	-107	-97	Se cierra
11	-97	-103	-99	-107	-97	-107	-97	Se cierra
12	-95	-103	-97	-107	-95	-107	-99	Se cierra
13	-97	-105	-99	-107	-97	-109	-101	Se cierra
14	-99	-103	-101	-107	-97	-107	-101	Se cierra
15	-95	-103	-99	-105	-97	-107	-101	Se cierra
16	-97	-103	-97	-105	-97	-109	-99	Se cierra
17	-97	-103	-97	-103	-95	-105	-101	Se cierra
18	-99	-105	-101	-105	-95	-107	-101	Se cierra
19	-97	-103	-103	-105	-97	-105	-99	Se cierra
20	-97	-103	-101	-103	-95	-107	-99	Se cierra
21	-95	-105	-99	-105	-97	-103	-101	Se cierra
22	-95	-103	-103	-109	-97	-109	-101	Se cierra
23	-95	-103	-103	-109	-97	-105	-101	Se cierra
24	-99	-103	-101	-105	-95	-107	-97	Se cierra
25	-97	-105	-101	-107	-97	-105	-97	Se cierra
26	-97	-103	-99	-107	-99	-107	-101	Se cierra
27	-97	-101	-95	-107	-95	-107	-99	Se cierra
28	-95	-103	-95	-109	-99	-105	-101	Se cierra
29	-95	-101	-97	-107	-97	-107	-99	Se cierra
30	-95	-103	-97	-107	-95	-107	-99	Se cierra

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 30. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición volumétrica	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-97	-103	-99	-107	-97	-107	-99	-111
Potencia predominante [mW]	2,00E-10	5,01E-11	1,26E-10	2,00E-11	2E-10	2,00E-11	1,26E-10	7,94E-12
Atenuación (%)	74,88		84,15		90		93,96	

Fuente: propia

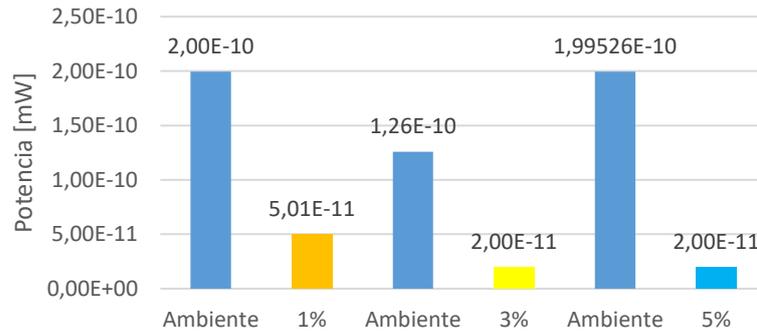


Figura 15. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

Tabla 31. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 12:30 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-97	-101	-99	-99	-95	-105	-95	-109
1	-93	-101	-99	-101	-93	-103	-95	-109
2	-97	-99	-97	-103	-93	-103	-91	-109
3	-99	-99	-99	-101	-93	-103	-93	-111
4	-97	-99	-97	-101	-93	-103	-97	-111
5	-95	-103	-95	-101	-93	-103	-91	-111
6	-97	-103	-95	-101	-93	-103	-91	Se cierra
7	-97	-99	-95	-99	-93	-103	-93	Se cierra
8	-97	-97	-95	-99	-93	-103	-93	Se cierra
9	-99	-97	-95	-99	-91	-103	-91	Se cierra
10	-99	-97	-95	-101	-93	-107	-91	Se cierra
11	-97	-99	-97	-101	-91	-103	-91	Se cierra
12	-99	-99	-95	-103	-93	-105	-91	Se cierra
13	-97	-99	-97	-99	-93	-105	-93	Se cierra
14	-97	-97	-97	-101	-95	-105	-93	Se cierra
15	-99	-99	-97	-101	-93	-107	-93	Se cierra
16	-99	-97	-95	-103	-93	-109	-91	Se cierra
17	-99	-99	-95	-107	-91	-105	-93	Se cierra
18	-97	-97	-95	-101	-95	-103	-95	Se cierra
19	-97	-99	-97	-103	-93	-105	-99	Se cierra
20	-97	-99	-99	-107	-93	-103	-95	Se cierra
21	-97	-101	-97	-103	-95	-105	-91	Se cierra
22	-97	-101	-93	-103	-93	-105	-99	Se cierra

23	-97	-97	-95	-99	-93	-105	-95	Se cierra
24	-99	-99	-95	-107	-93	-105	-97	Se cierra
25	-99	-99	-95	-105	-95	-105	-95	Se cierra
26	-99	-97	-95	-101	-95	-103	-95	Se cierra
27	-97	-101	-93	-105	-93	-105	-93	Se cierra
28	-97	-101	-93	-101	-91	-103	-91	Se cierra
29	-97	-99	-97	-101	-91	-103	-89	Se cierra
30	-99	-99	-97	-103	-91	-105	-95	Se cierra

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 32. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición volumétrica	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-93	-99	-95	-101	-95	-103	-93	-111
Potencia predominante [mW]	5,01E-10	1,26E-10	3,16E-10	7,94E-11	3,16E-10	5,01E-11	5,01E-10	7,94E-12
Atenuación (%)	74,88		74,88		84,15		98,41	

Fuente: propia

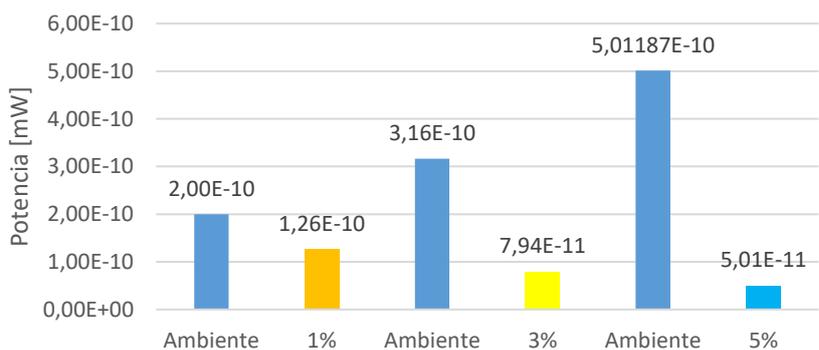


Figura 16. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual. (Fuente: propia)

Tabla 33. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 13:00 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-95	-101	-97	-99	-99	-105	-95	-111
1	-93	-101	-97	-101	-95	-103	-95	-111
2	-93	-99	-95	-103	-95	-103	-91	-111
3	-93	-99	-93	-101	-99	-103	-93	-107
4	-93	-99	-97	-101	-97	-103	-97	-109
5	-93	-103	-95	-101	-95	-103	-91	-109
6	-93	-103	-97	-101	-95	-103	-91	-111
7	-93	-99	-97	-99	-97	-103	-93	Se cierra
8	-93	-97	-97	-99	-99	-103	-93	Se cierra
9	-91	-97	-97	-99	-95	-103	-91	Se cierra
10	-93	-97	-95	-101	-95	-107	-91	Se cierra
11	-91	-99	-97	-101	-97	-103	-91	Se cierra

12	-93	-99	-95	-103	-95	-105	-91	Se cierra
13	-93	-99	-97	-99	-97	-105	-93	Se cierra
14	-95	-97	-99	-101	-97	-105	-93	Se cierra
15	-93	-99	-95	-101	-97	-107	-93	Se cierra
16	-93	-97	-97	-103	-97	-109	-91	Se cierra
17	-91	-99	-97	-107	-95	-105	-93	Se cierra
18	-95	-97	-99	-101	-95	-103	-95	Se cierra
19	-93	-99	-97	-103	-95	-105	-99	Se cierra
20	-93	-99	-97	-107	-95	-103	-95	Se cierra
21	-95	-101	-95	-103	-97	-105	-91	Se cierra
22	-93	-101	-95	-103	-95	-105	-99	Se cierra
23	-93	-97	-95	-99	-97	-105	-95	Se cierra
24	-93	-99	-99	-107	-95	-105	-97	Se cierra
25	-95	-99	-97	-105	-97	-105	-95	Se cierra
26	-95	-97	-97	-101	-99	-103	-95	Se cierra
27	-93	-101	-97	-105	-95	-105	-93	Se cierra
28	-91	-101	-95	-101	-99	-103	-91	Se cierra
29	-91	-99	-95	-101	-97	-103	-89	Se cierra
30	-91	-99	-95	-103	-95	-105	-95	Se cierra

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 34. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición volumétrica	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-93	-99	-95	-101	-95	-103	-93	-111
Potencia predominante [mW]	5,01E-10	1,26E-10	3,16E-10	7,94E-11	3,16E-10	5,01E-11	5,01E-10	7,94E-12
Atenuación (%)	74,88		74,88		84,15		98,41	

Fuente: propia

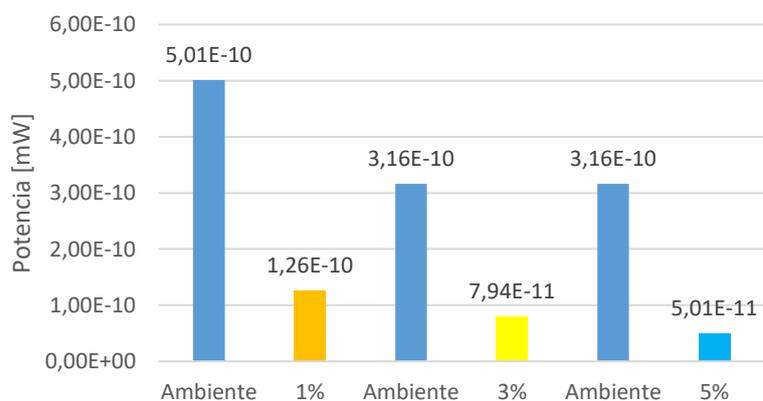


Figura 17. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

Tabla 35. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 13:30 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-99	-101	-99	-105	-101	-107	-97	-109
1	-99	-101	-99	-105	-103	-107	-97	-109
2	-95	-101	-99	-103	-99	-107	-99	-107
3	-101	-103	-101	-105	-99	-107	-99	-109
4	-99	-101	-101	-109	-101	-109	-99	-107
5	-95	-103	-103	-107	-103	-107	-97	-109
6	-95	-103	-101	-105	-99	-107	-97	-111
7	-95	-101	-101	-107	-99	-109	-99	-109
8	-99	-101	-99	-103	-99	-109	-99	-111
9	-95	-99	-99	-105	-99	-109	-99	Se cierra
10	-97	-97	-99	-105	-99	-107	-97	Se cierra
11	-93	-101	-97	-105	-99	-109	-97	Se cierra
12	-97	-103	-99	-105	-101	-109	-99	Se cierra
13	-99	-103	-99	-107	-99	-107	-101	Se cierra
14	-95	-101	-101	-105	-99	-109	-101	Se cierra
15	-95	-99	-101	-105	-99	-107	-101	Se cierra
16	-93	-99	-99	-105	-99	-109	-99	Se cierra
17	-97	-101	-99	-105	-99	-107	-101	Se cierra
18	-95	-105	-99	-107	-97	-107	-101	Se cierra
19	-93	-103	-99	-107	-97	-109	-99	Se cierra
20	-99	-101	-97	-105	-101	-109	-99	Se cierra
21	-97	-103	-99	-105	-101	-109	-101	Se cierra
22	-101	-103	-103	-107	-101	-109	-101	Se cierra
23	-99	-101	-99	-105	-101	-107	-101	Se cierra
24	-99	-105	-101	-105	-99	-109	-97	Se cierra
25	-97	-99	-99	-105	-99	-107	-97	Se cierra
26	-97	-103	-101	-103	-99	-107	-101	Se cierra
27	-97	-103	-101	-105	-99	-107	-99	Se cierra
28	-99	-105	-97	-103	-103	-109	-101	Se cierra
29	-99	-105	-101	-105	-101	-109	-99	Se cierra
30	-99	-103	-101	-103	-99	-109	-99	Se cierra

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 36. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición volumétrica	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-99	-103	-99	-105	-99	-109	-97	-111
Potencia predominante [mW]	1,26E-10	5,01E-11	1,26E-10	3,16E-11	1,26E-10	1,26E-11	1,99E-10	7,94E-12
Atenuación (%)	60,18		74,88		90		96,01	

Fuente: propia

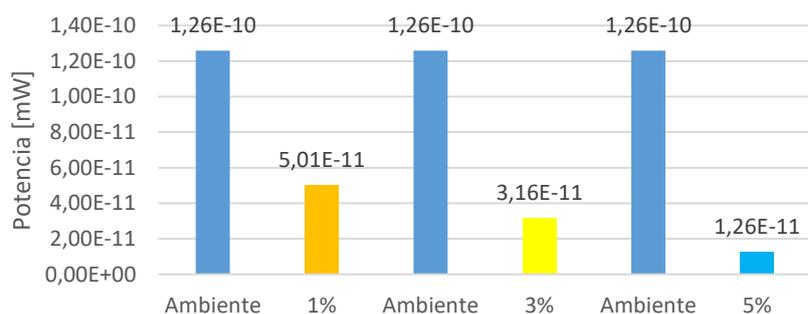


Figura 18. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

Tabla 37. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 14:00 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-85	-87	-83	-91	-87	-99	-89	-107
1	-83	-87	-83	-91	-87	-99	-89	-107
2	-85	-87	-85	-93	-87	-99	-87	-109
3	-85	-87	-85	-93	-85	-97	-89	-109
4	-87	-87	-83	-91	-87	-97	-87	-111
5	-89	-83	-85	-91	-87	-97	-89	Se cierra
6	-85	-87	-83	-91	-85	-97	-89	Se cierra
7	-89	-87	-83	-91	-85	-95	-89	Se cierra
8	-85	-87	-83	-91	-85	-99	-87	Se cierra
9	-87	-89	-83	-93	-85	-95	-89	Se cierra
10	-87	-89	-83	-93	-85	-95	-89	Se cierra
11	-85	-85	-83	-93	-85	-95	-87	Se cierra
12	-85	-85	-83	-91	-85	-97	-87	Se cierra
13	-85	-85	-83	-93	-85	-95	-89	Se cierra
14	-85	-87	-83	-91	-85	-97	-87	Se cierra
15	-85	-85	-83	-91	-85	-95	-87	Se cierra
16	-85	-83	-83	-91	-85	-95	-87	Se cierra
17	-85	-87	-83	-93	-85	-95	-89	Se cierra
18	-85	-87	-83	-93	-85	-99	-87	Se cierra
19	-83	-89	-85	-91	-85	-97	-87	Se cierra
20	-83	-89	-85	-93	-85	-95	-89	Se cierra
21	-83	-87	-83	-93	-85	-95	-87	Se cierra
22	-83	-87	-85	-91	-85	-97	-87	Se cierra
23	-83	-85	-83	-93	-85	-95	-89	Se cierra
24	-83	-83	-83	-91	-85	-95	-89	Se cierra
25	-83	-87	-83	-95	-85	-97	-87	Se cierra
26	-83	-87	-85	-95	-85	-97	-87	Se cierra
27	-85	-87	-81	-91	-87	-95	-87	Se cierra
28	-83	-89	-81	-93	-85	-95	-89	Se cierra
29	-81	-87	-81	-95	-85	-95	-87	Se cierra
30	-85	-87	-83	-95	-89	-95	-87	Se cierra

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 38. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición volumétrica	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-85	-87	-83	-91	-85	-95	-87	-111
Potencia predominante [mW]	3,16E-09	2,00E-09	5,01E-09	7,94E-10	3,16E-09	3,16E-10	2,00E-09	7,94E-12
Atenuación (%)	36,90		84,15		90		99,60	

Fuente: propia

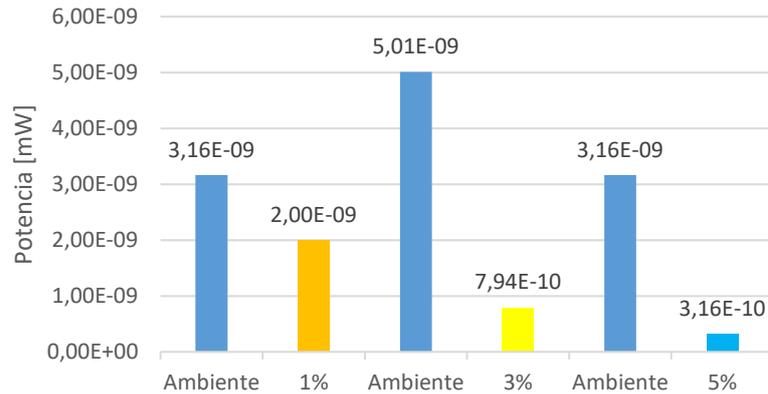


Figura 19. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

ANEXO 7. RESULTADOS OBTENIDOS POR EL SOFTWARE KAIBITS CON LA OPERADORA OTECEL Y CONECEL, EN EL C.C. RECREO.

OPERADORA OTECEL

Tabla 39. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 12:00 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-51	-59	-51	-67	-51	-73	-51	-87
1	-51	-59	-51	-67	-51	-73	-51	-91
2	-51	-59	-51	-67	-51	-73	-51	-91
3	-51	-59	-51	-67	-51	-77	-51	-91
4	-51	-59	-51	-67	-51	-79	-51	-91
5	-51	-59	-51	-67	-51	-77	-51	-91
6	-51	-59	-51	-65	-51	-77	-51	-89
7	-51	-59	-51	-65	-51	-77	-51	-89
8	-51	-59	-51	-65	-51	-75	-51	-91
9	-51	-59	-51	-65	-51	-75	-51	-91
10	-51	-61	-51	-65	-51	-75	-51	-91
11	-51	-61	-51	-65	-51	-75	-51	-91
12	-51	-61	-51	-67	-51	-75	-51	-91
13	-51	-61	-51	-67	-51	-75	-51	-91
14	-51	-61	-51	-67	-51	-75	-51	-91

15	-51	-61	-51	-67	-51	-75	-51	-87
16	-51	-61	-51	-67	-51	-75	-51	-89
17	-51	-61	-51	-67	-51	-75	-51	-89
18	-51	-61	-51	-67	-51	-75	-51	-89
19	-51	-61	-51	-67	-51	-75	-51	-87
20	-51	-59	-51	-67	-51	-75	-51	-87
21	-51	-59	-51	-67	-51	-75	-51	-87
22	-51	-59	-51	-67	-53	-75	-51	-87
23	-51	-59	-51	-67	-53	-75	-51	-87
24	-51	-59	-53	-67	-53	-75	-51	-87
25	-51	-61	-51	-67	-53	-75	-51	-87
26	-51	-59	-51	-67	-53	-75	-51	-85
27	-51	-59	-51	-67	-53	-75	-51	-85
28	-51	-59	-51	-69	-53	-75	-51	-85
29	-51	-59	-51	-69	-53	-75	-51	-85
30	-51	-59	-51	-69	-53	-75	-51	-85

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 40. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición volumétrica	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-51	-59	-51	-67	-51	-75	-51	-91
Potencia predominante [mW]	7,94E-06	1,26E-06	7,94E-06	2,00E-07	7,94E-06	3,16E-08	7,94E-06	7,94E-10
Atenuación (%)	84,15		97,49		99,6		99,99	

Fuente: propia

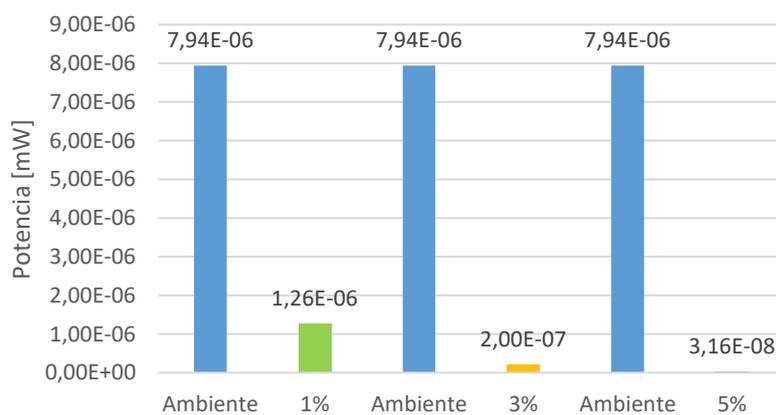


Figura 20. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

Tabla 41. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 12:30 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-53	-61	-51	-73	-51	-77	-55	-85
1	-53	-61	-51	-73	-51	-77	-55	-85
2	-53	-61	-51	-73	-51	-77	-53	-85
3	-53	-61	-51	-73	-51	-77	-55	-85
4	-53	-61	-51	-73	-51	-75	-55	-85
5	-53	-61	-51	-73	-51	-75	-55	-85
6	-53	-61	-51	-73	-51	-75	-55	-85
7	-53	-61	-51	-75	-51	-75	-55	-83
8	-55	-61	-51	-75	-51	-75	-55	-83
9	-55	-61	-51	-75	-51	-75	-55	-83
10	-55	-61	-51	-75	-51	-75	-55	-83
11	-55	-61	-51	-75	-51	-75	-55	-83
12	-55	-61	-51	-75	-51	-75	-55	-83
13	-55	-61	-51	-75	-51	-75	-55	-83
14	-53	-61	-51	-75	-51	-75	-55	-83
15	-53	-61	-51	-75	-51	-75	-55	-83
16	-53	-61	-51	-75	-51	-75	-55	-83
17	-53	-61	-51	-77	-51	-75	-55	-83
18	-53	-63	-51	-77	-51	-75	-55	-83
19	-53	-63	-51	-73	-51	-75	-55	-83
20	-53	-63	-51	-73	-51	-75	-55	-83
21	-53	-63	-51	-71	-51	-75	-57	-83
22	-53	-63	-51	-71	-51	-75	-57	-83
23	-53	-63	-51	-71	-51	-75	-57	-83
24	-53	-63	-51	-71	-51	-75	-55	-83
25	-51	-63	-51	-71	-51	-75	-55	-83
26	-51	-63	-51	-71	-51	-75	-57	-83
27	-51	-61	-51	-73	-51	-75	-59	-83
28	-51	-61	-51	-73	-51	-75	-59	-83
29	-51	-63	-51	-73	-51	-75	-59	-83
30	-51	-63	-51	-73	-51	-75	-59	-83

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 42. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición volumétrica	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predonimante [dBm]	-53	-61	-51	-73	-51	-75	-55	-83
Potencia predonimante [mW]	5,01E-09	7,94E-10	7,94E-09	5,01E-11	7,94E-09	3,16E-11	3,16E-09	5,01E-12
Atenuación (%)	84,15		99,37		99,6		99,84	

Fuente: propia

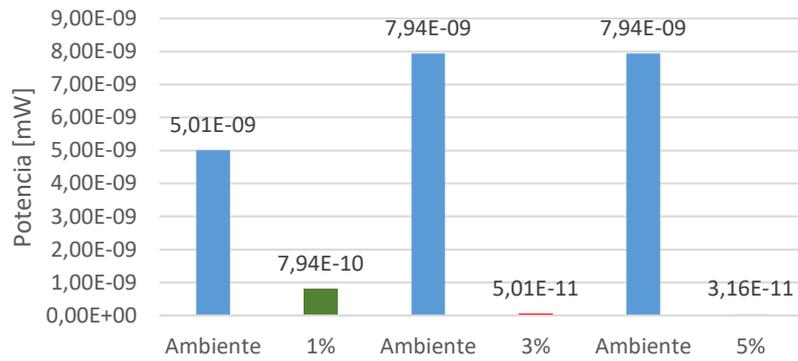


Figura 21. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.
(Fuente: propia)

Tabla 43. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 13:00 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-59	-63	-53	-73	-53	-69	-55	-99
1	-59	-63	-53	-73	-53	-69	-55	-99
2	-59	-63	-53	-73	-53	-69	-55	-99
3	-59	-63	-55	-73	-53	-69	-55	-99
4	-57	-63	-55	-73	-51	-69	-55	-99
5	-57	-61	-55	-71	-51	-69	-53	-101
6	-57	-61	-55	-71	-51	-69	-53	-101
7	-57	-61	-55	-71	-51	-69	-53	-101
8	-57	-61	-55	-71	-51	-69	-55	-99
9	-57	-61	-55	-71	-51	-69	-55	-99
10	-57	-61	-55	-71	-51	-69	-53	-99
11	-57	-63	-55	-71	-51	-69	-53	-99
12	-57	-63	-55	-71	-51	-69	-57	-99
13	-57	-63	-57	-69	-51	-69	-57	-99
14	-57	-63	-57	-69	-53	-69	-57	-101
15	-57	-63	-57	-71	-53	-69	-55	-101
16	-57	-63	-57	-71	-53	-69	-55	-101
17	-55	-63	-57	-71	-53	-69	-53	-101
18	-55	-63	-57	-71	-53	-69	-53	-101
19	-55	-63	-53	-71	-53	-69	-53	-101
20	-55	-63	-53	-71	-53	-69	-53	-101
21	-55	-65	-53	-71	-53	-69	-53	-101
22	-55	-65	-53	-71	-53	-69	-53	-101
23	-55	-65	-53	-71	-53	-69	-55	-101
24	-55	-61	-53	-71	-51	-69	-55	-101
25	-59	-61	-53	-71	-51	-69	-57	-101
26	-57	-61	-57	-71	-51	-69	-57	-99
27	-57	-61	-55	-71	-51	-69	-57	-99
28	-59	-65	-55	-71	-51	-69	-57	-99
29	-59	-65	-55	-71	-51	-69	-55	-99
30	-59	-65	-55	-71	-51	-69	-55	-99

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 44. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición volumétrica	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-57	-63	-55	-71	-51	-69	-55	-100
Potencia predominante [mW]	2,00E-06	5,01E-07	3,16E-06	7,94E-08	7,94E-06	1,26E-07	3,16E-06	1,00E-09
Atenuación (%)	74,88		97,49		98,42		99,97	

Fuente: propia

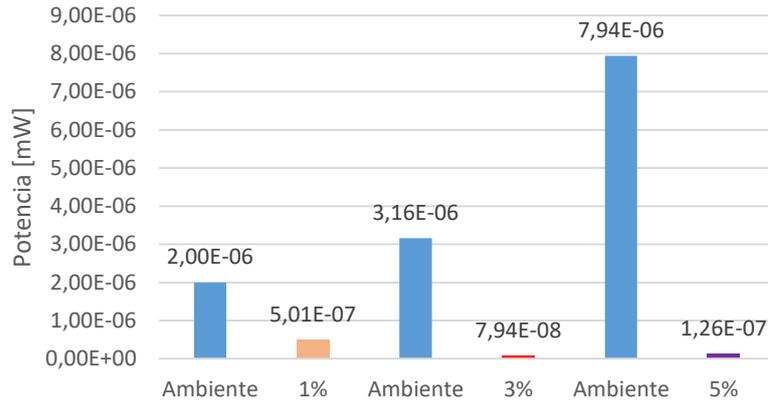


Figura 22. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

Tabla 45. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 13:30 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-55	-69	-51	-77	-57	-77	-57	-103
1	-55	-69	-51	-77	-57	-77	-57	-103
2	-57	-69	-51	-75	-57	-75	-57	-103
3	-59	-69	-51	-75	-57	-75	-57	-103
4	-59	-69	-51	-73	-57	-75	-57	-103
5	-57	-69	-51	-73	-59	-75	-59	-103
6	-55	-69	-51	-71	-59	-75	-59	-105
7	-55	-71	-57	-71	-59	-75	-57	-105
8	-57	-71	-57	-71	-59	-75	-61	-105
9	-57	-69	-57	-71	-61	-75	-61	-105
10	-59	-69	-63	-71	-61	-75	-61	-105
11	-59	-67	-63	-71	-61	-75	-57	-105
12	-61	-67	-63	-71	-59	-77	-57	-105
13	-61	-67	-63	-71	-59	-77	-57	-105
14	-55	-67	-63	-71	-59	-77	-57	-105
15	-55	-67	-63	-73	-59	-77	-57	-105
16	-57	-67	-63	-73	-59	-77	-57	-105
17	-57	-67	-65	-73	-59	-77	-57	-105
18	-57	-67	-61	-73	-59	-77	-55	-105
19	-61	-67	-59	-73	-59	-77	-55	-105

20	-61	-67	-59	-73	-61	-77	-55	-105
21	-61	-67	-59	-73	-61	-77	-55	-105
22	-61	-67	-59	-71	-61	-77	-55	-105
23	-61	-67	-61	-73	-61	-77	-55	-107
24	-61	-67	-59	-73	-57	-77	-55	-105
25	-55	-71	-59	-73	-57	-77	-55	-105
26	-51	-75	-59	-73	-57	-77	-55	-105
27	-55	-75	-59	-73	-57	-77	-55	-103
28	-55	-75	-57	-73	-57	-77	-55	-103
29	-55	-73	-57	-73	-57	-77	-55	-103
30	-59	-73	-59	-73	-57	-75	-55	-107

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 46. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición volumétrica	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-55	-67	-59	-73	-59	-77	-57	-105
Potencia predominante [mW]	3,16E-09	2,00E-10	1,26E-09	5,01E-11	1,26E-09	2,00E-11	2,00E-09	3,16E-14
Atenuación (%)	93,69		96,02		98,42		100	

Fuente: propia

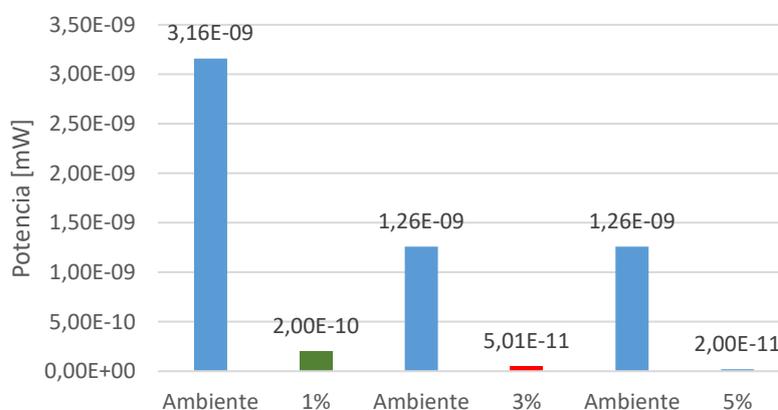


Figura 23. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

Tabla 47. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 14:00 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-51	-61	-61	-69	-53	-73	-53	-101
1	-51	-61	-57	-69	-53	-73	-53	-103
2	-51	-61	-61	-69	-53	-73	-53	-103
3	-51	-61	-61	-67	-53	-73	-51	-103
4	-51	-61	-61	-67	-53	-73	-51	-103
5	-51	-61	-61	-67	-53	-73	-51	-103
6	-51	-63	-59	-67	-53	-73	-51	-101

7	-51	-63	-55	-67	-53	-73	-51	-101
8	-51	-63	-53	-69	-53	-73	-51	-101
9	-51	-63	-53	-69	-53	-73	-51	-97
10	-51	-63	-53	-69	-53	-73	-51	-99
11	-51	-63	-53	-69	-53	-73	-51	-99
12	-51	-63	-53	-69	-55	-73	-51	-99
13	-51	-63	-53	-69	-51	-73	-51	-99
14	-51	-63	-51	-69	-51	-73	-51	-99
15	-51	-63	-51	-69	-51	-73	-51	-99
16	-51	-65	-51	-69	-51	-75	-51	-99
17	-51	-65	-51	-69	-51	-75	-51	-99
18	-51	-65	-51	-67	-51	-75	-51	-103
19	-51	-63	-51	-67	-51	-77	-51	-107
20	-51	-63	-51	-67	-51	-77	-51	-103
21	-51	-63	-51	-69	-51	-77	-51	-107
22	-51	-63	-51	-69	-51	-77	-51	-101
23	-51	-63	-51	-69	-51	-77	-51	-103
24	-51	-63	-51	-71	-51	-77	-51	-103
25	-51	-63	-51	-71	-51	-77	-51	-103
26	-51	-63	-55	-71	-51	-77	-51	-101
27	-51	-63	-55	-71	-51	-73	-51	-103
28	-51	-63	-55	-71	-51	-73	-51	-103
29	-51	-63	-55	-71	-51	-73	-51	-103
30	-51	-65	-57	-67	-51	-73	-51	-103

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 48. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición volumétrica	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-51	-63	-51	-69	-51	-73	-51	-103
Potencia predominante [mW]	7,94E-06	5,01E-07	7,94E-06	1,26E-07	7,94E-06	5,01E-08	7,94E-06	5,01E-11
Atenuación (%)	93,69		98,42		99,37		100,00	

Fuente: propia

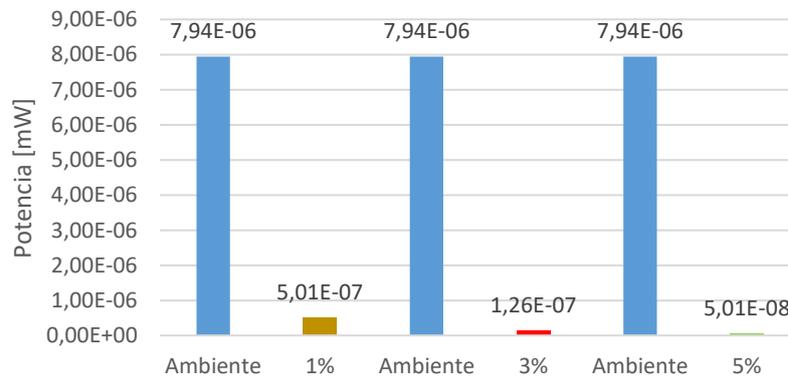


Figura 24. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

OPERADORA CONECEL

Tabla 49. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 12:00 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-69	-71	-67	-77	-65	-85	-65	-109
1	-69	-71	-67	-75	-67	-87	-65	-107
2	-69	-71	-67	-75	-65	-87	-67	-109
3	-69	-73	-65	-77	-67	-89	-67	-109
4	-69	-71	-67	-75	-65	-89	-65	-111
5	-69	-71	-67	-75	-65	-89	-67	-107
6	-69	-71	-67	-75	-65	-89	-67	-111
7	-69	-73	-67	-75	-67	-87	-67	-111
8	-69	-75	-67	-75	-67	-87	-67	-109
9	-69	-71	-67	-75	-67	-87	-67	-111
10	-69	-73	-67	-77	-67	-87	-67	-111
11	-69	-73	-67	-77	-65	-87	-67	Se cierra
12	-69	-73	-67	-77	-65	-87	-67	Se cierra
13	-69	-73	-67	-77	-65	-85	-65	Se cierra
14	-69	-73	-67	-75	-67	-85	-67	Se cierra
15	-69	-71	-67	-75	-67	-85	-67	Se cierra
16	-69	-73	-67	-75	-67	-85	-65	Se cierra
17	-69	-71	-65	-75	-67	-85	-67	Se cierra
18	-69	-71	-65	-77	-65	-87	-67	Se cierra
19	-69	-73	-65	-75	-67	-85	-67	Se cierra
20	-69	-73	-65	-75	-65	-87	-67	Se cierra
21	-69	-75	-65	-75	-65	-85	-67	Se cierra
22	-69	-73	-65	-75	-67	-85	-67	Se cierra
23	-69	-73	-67	-73	-67	-85	-67	Se cierra
24	-69	-75	-67	-77	-65	-85	-67	Se cierra
25	-69	-75	-67	-75	-67	-87	-65	Se cierra
26	-71	-75	-67	-77	-67	-85	-67	Se cierra
27	-71	-71	-67	-79	-65	-85	-67	Se cierra
28	-71	-71	-67	-79	-65	-85	-67	Se cierra
29	-71	-71	-67	-75	-65	-87	-67	Se cierra
30	-71	-71	-67	-75	-71	-87	-67	Se cierra

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 50. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición volumétrica	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-69	-71	-67	-75	-67	-85	-87	-111
Potencia predominante [mW]	1,26E-07	7,94E-08	2,00E-07	3,16E-08	2,00E-07	3,16E-09	2,00E-09	7,94E-12
Atenuación (%)	36,90		84,15		98,41		99,99	

Fuente: propia

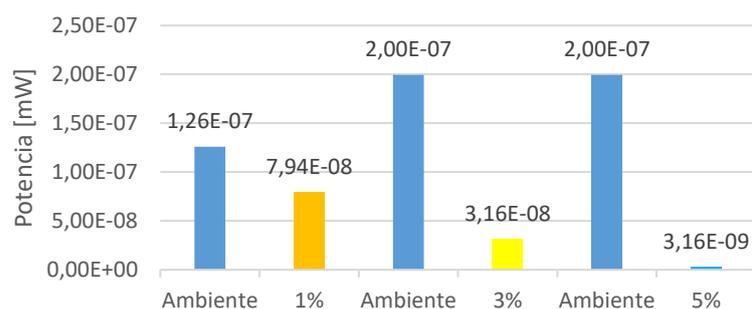


Figura 25. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

Tabla 51. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 12:30 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-73	-77	-67	-77	-69	-79	-69	-109
1	-73	-79	-67	-79	-69	-79	-69	-109
2	-73	-79	-67	-79	-69	-79	-69	-109
3	-73	-77	-67	-79	-69	-79	-69	-111
4	-73	-77	-67	-77	-69	-79	-69	Se cierra
5	-73	-77	-67	-77	-69	-79	-69	Se cierra
6	-73	-77	-67	-77	-69	-79	-69	Se cierra
7	-73	-77	-67	-79	-67	-79	-69	Se cierra
8	-73	-77	-69	-79	-69	-79	-67	Se cierra
9	-71	-77	-67	-77	-67	-79	-67	Se cierra
10	-71	-77	-67	-79	-69	-79	-67	Se cierra
11	-71	-77	-67	-79	-67	-79	-69	Se cierra
12	-71	-77	-67	-79	-69	-79	-69	Se cierra
13	-73	-77	-69	-79	-69	-79	-69	Se cierra
14	-73	-77	-67	-75	-69	-79	-69	Se cierra
15	-73	-77	-67	-75	-69	-79	-69	Se cierra
16	-71	-77	-67	-75	-69	-79	-69	Se cierra
17	-71	-77	-67	-75	-69	-79	-69	Se cierra
18	-71	-77	-67	-75	-71	-77	-69	Se cierra
19	-71	-75	-67	-75	-69	-79	-69	Se cierra
20	-71	-77	-67	-73	-69	-79	-71	Se cierra
21	-73	-75	-67	-75	-69	-77	-69	Se cierra
22	-71	-75	-67	-75	-69	-79	-71	Se cierra
23	-71	-77	-69	-75	-69	-77	-71	Se cierra
24	-71	-75	-69	-75	-69	-77	-69	Se cierra
25	-73	-75	-67	-73	-69	-77	-69	Se cierra
26	-73	-75	-67	-77	-69	-77	-69	Se cierra
27	-71	-73	-67	-77	-69	-77	-69	Se cierra
28	-73	-77	-67	-75	-67	-79	-69	Se cierra
29	-71	-79	-67	-75	-69	-79	-69	Se cierra
30	-71	-75	-67	-75	-69	-79	-69	Se cierra

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 52. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición volumétrica	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-73	-77	-67	-75	-69	-79	-69	-111
Potencia predominante [mW]	5,01E-08	2,00E-08	2,00E-07	3,16E-08	1,26E-07	1,26E-08	1,26E-07	7,94E-12
Atenuación (%)	60,18		84,15		90		99,99	

Fuente: propia

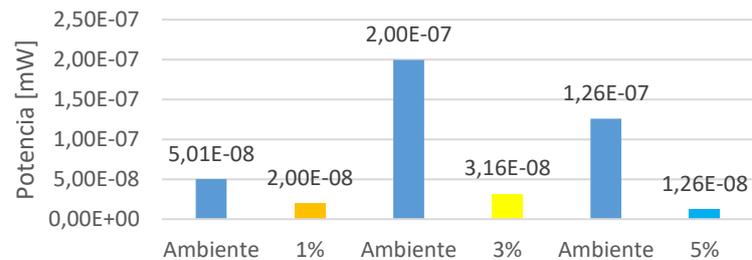


Figura 26. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

Tabla 53. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 13:00 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-75	-77	-73	-83	-73	-89	-69	-111
1	-73	-77	-71	-83	-73	-81	-69	-109
2	-73	-75	-71	-79	-71	-83	-69	-109
3	-73	-75	-73	-79	-71	-85	-69	-111
4	-73	-77	-73	-81	-71	-83	-69	Se cierra
5	-73	-77	-73	-79	-73	-81	-69	Se cierra
6	-75	-77	-73	-79	-73	-83	-69	Se cierra
7	-73	-77	-73	-79	-71	-81	-69	Se cierra
8	-73	-79	-73	-81	-71	-83	-69	Se cierra
9	-75	-81	-73	-81	-71	-81	-69	Se cierra
10	-73	-79	-73	-79	-71	-81	-69	Se cierra
11	-75	-77	-73	-81	-71	-81	-69	Se cierra
12	-75	-77	-73	-81	-71	-83	-69	Se cierra
13	-73	-77	-73	-79	-71	-83	-69	Se cierra
14	-73	-75	-71	-79	-71	-81	-71	Se cierra
15	-73	-77	-73	-81	-73	-83	-69	Se cierra
16	-73	-77	-73	-79	-73	-83	-69	Se cierra
17	-73	-75	-73	-79	-71	-83	-71	Se cierra
18	-73	-75	-73	-79	-71	-81	-69	Se cierra
19	-73	-75	-73	-81	-71	-81	-69	Se cierra
20	-75	-77	-73	-77	-71	-81	-71	Se cierra
21	-73	-77	-73	-81	-73	-83	-69	Se cierra
22	-71	-75	-73	-81	-73	-81	-69	Se cierra
23	-77	-79	-71	-81	-73	-81	-67	Se cierra

24	-69	-73	-73	-79	-75	-83	-71	Se cierra
25	-71	-73	-71	-79	-75	-81	-69	Se cierra
26	-71	-77	-73	-81	-73	-81	-69	Se cierra
27	-75	-79	-75	-79	-71	-83	-69	Se cierra
28	-71	-73	-75	-81	-75	-81	-69	Se cierra
29	-69	-73	-73	-79	-73	-83	-71	Se cierra
30	-73	-73	-73	-79	-71	-81	-69	Se cierra

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 54. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición volumétrica	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-73	-77	-73	-79	-71	-81	-69	-111
Potencia predominante [mW]	5,01E-08	2,00E-08	5,01E-08	1,26E-08	7,94E-08	7,94E-09	1,26E-07	7,94E-12
Atenuación (%)	60,18		74,88		90		99,99	

Fuente: propia

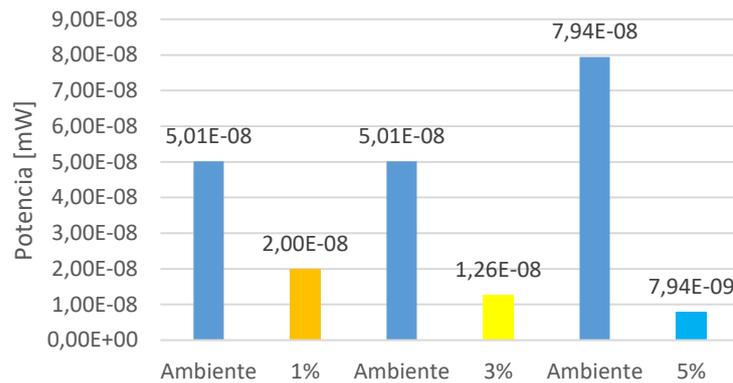


Figura 27. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

Tabla 55. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 13:30 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-75	-81	-79	-89	-71	-89	-69	-109
1	-73	-81	-79	-89	-71	-89	-69	-109
2	-75	-81	-77	-91	-71	-89	-69	-107
3	-75	-81	-79	-91	-71	-89	-69	-109
4	-73	-81	-77	-91	-73	-87	-71	-107
5	-73	-81	-77	-91	-71	-87	-71	-109
6	-73	-81	-77	-89	-71	-87	-71	-111
7	-75	-83	-77	-89	-71	-89	-71	-109
8	-73	-83	-79	-91	-71	-87	-71	-111
9	-71	-83	-77	-91	-71	-87	-71	-111
10	-69	-81	-77	-93	-71	-87	-69	Se cierra

11	-69	-83	-77	-89	-71	-91	-69	Se cierra
12	-73	-83	-77	-89	-73	-89	-69	Se cierra
13	-75	-85	-79	-89	-71	-89	-69	Se cierra
14	-75	-83	-77	-89	-73	-87	-69	Se cierra
15	-77	-85	-81	-91	-73	-87	-69	Se cierra
16	-75	-83	-77	-91	-73	-87	-71	Se cierra
17	-75	-81	-77	-91	-71	-89	-69	Se cierra
18	-73	-81	-77	-89	-73	-87	-71	Se cierra
19	-75	-81	-75	-89	-71	-91	-71	Se cierra
20	-75	-81	-77	-89	-71	-89	-71	Se cierra
21	-73	-83	-77	-91	-73	-87	-69	Se cierra
22	-73	-83	-83	-91	-73	-87	-69	Se cierra
23	-73	-85	-83	-89	-75	-87	-69	Se cierra
24	-75	-85	-77	-89	-75	-89	-71	Se cierra
25	-73	-81	-79	-91	-75	-87	-69	Se cierra
26	-71	-81	-73	-91	-73	-87	-71	Se cierra
27	-69	-83	-77	-93	-73	-87	-71	Se cierra
28	-73	-81	-79	-89	-73	-87	-71	Se cierra
29	-75	-85	-77	-89	-71	-91	-71	Se cierra
30	-69	-83	-79	-91	-71	-89	-71	Se cierra

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 56. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición volumétrica	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-75	-81	-77	-89	-71	-87	-69	-111
Potencia predominante [mW]	3,16E-08	7,94E-09	2,00E-08	1,26E-09	7,94E-08	2,00E-09	1,26E-07	7,94E-12
Atenuación (%)	74,88		93,69		97,48		99,99	

Fuente: propia

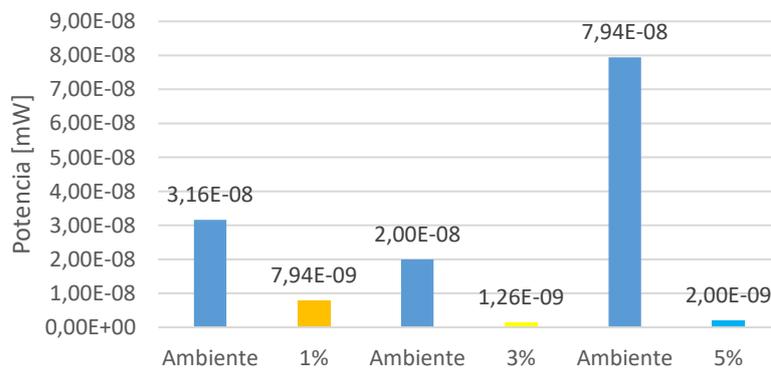


Figura 28. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)

Tabla 57. Valores de potencia obtenidos en dBm a las 14:00 p.m.

Tiempo [s]	Ambiente [dBm]	1% [dBm]	Ambiente [dBm]	3% [dBm]	Ambiente [dBm]	5% [dBm]	Ambiente [dBm]	Faraday [dBm]
0	-77	-81	-75	-85	-75	-89	-75	-111
1	-77	-81	-73	-87	-75	-91	-75	-111
2	-77	-79	-73	-85	-75	-91	-75	-111
3	-77	-79	-75	-85	-77	-89	-75	-109
4	-75	-77	-71	-85	-75	-91	-73	-111
5	-75	-79	-73	-85	-75	-89	-73	se cierra
6	-75	-79	-73	-85	-77	-89	-75	se cierra
7	-77	-79	-73	-85	-75	-89	-73	se cierra
8	-79	-81	-73	-85	-75	-89	-73	se cierra
9	-77	-81	-73	-85	-75	-89	-73	se cierra
10	-79	-79	-73	-85	-77	-89	-73	se cierra
11	-79	-79	-75	-85	-75	-89	-73	se cierra
12	-77	-81	-75	-87	-75	-89	-73	se cierra
13	-79	-79	-75	-85	-77	-89	-73	se cierra
14	-77	-81	-75	-85	-83	-89	-71	se cierra
15	-79	-77	-73	-87	-79	-89	-73	se cierra
16	-77	-79	-75	-89	-75	-89	-75	se cierra
17	-77	-79	-73	-89	-75	-89	-73	se cierra
18	-77	-81	-73	-85	-75	-89	-73	se cierra
19	-75	-81	-73	-87	-73	-87	-73	se cierra
20	-75	-77	-71	-87	-75	-87	-75	se cierra
21	-77	-77	-71	-87	-77	-87	-75	se cierra
22	-77	-79	-73	-87	-79	-87	-75	se cierra
23	-77	-79	-73	-87	-79	-89	-77	se cierra
24	-77	-79	-71	-85	-79	-89	-79	se cierra
25	-77	-81	-73	-85	-79	-89	-75	se cierra
26	-77	-79	-73	-87	-77	-87	-73	se cierra
27	-75	-79	-73	-85	-77	-89	-79	se cierra
28	-75	-79	-73	-85	-77	-89	-73	se cierra
29	-77	-81	-75	-87	-77	-89	-83	se cierra
30	-77	-81	-75	-87	-77	-89	-81	se cierra

Fuente: Software KAIBITS

Tabla 58. Porcentajes de atenuación obtenidos de acuerdo a cada composición porcentual (1%, 3%, 5%) y Faraday.

Composición volumétrica	Ambiente	1%	Ambiente	3%	Ambiente	5%	Ambiente	Faraday
Potencia predominante [dBm]	-77	-79	-73	-85	-75	-89	-73	-111
Potencia predominante [mW]	2,00E-08	1,26E-08	5,01E-08	3,16E-09	3,16E-08	1,26E-09	5,01E-08	7,94E-12
Atenuación (%)	36,90		93,69		96,01		99,93	

Fuente: propia

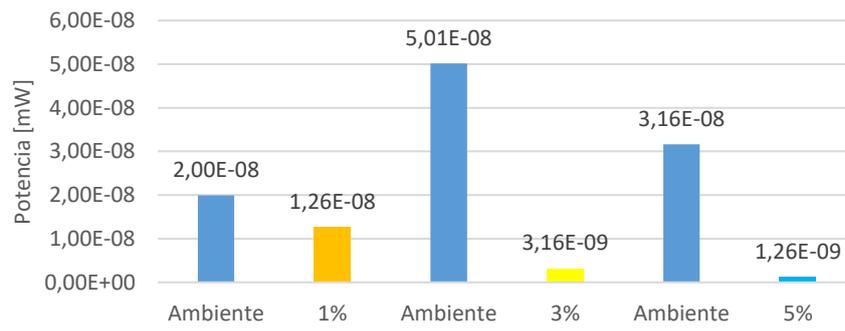


Figura 29. Reducción de la potencia downlink obtenida en cada composición porcentual.

(Fuente: propia)