



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

### **CARRERA TELECOMUNICACIONES**

#### **“IMPLEMENTACIÓN DE UNA CÁMARA ANECOICA UTILIZANDO MATERIALES DE BLINDAJE Y ABSORBENTES PARA LAS BANDAS DE FRECUENCIAS GSM, LTE Y WIFI SUB 6 GHz PARA EL LABORATORIO DE MICROONDAS DE LA FIE”**

##### **Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

#### **INGENIERA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES**

**AUTORA:** MIRIAN KATHERINE GUTIÉRREZ GAVILÁNEZ

**DIRECTOR:** Ing. JEFFERSON ALEXANDER RIBADENEIRA RAMÍREZ, PhD

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, **Mirian Katherine Gutiérrez Gavilánez**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Mirian Katherine Gutiérrez Gavilánez, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 12 de mayo de 2022



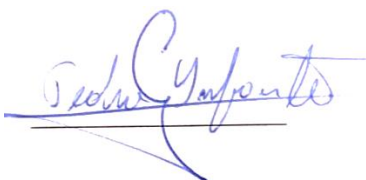
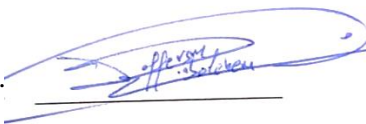

**Mirian Katherine Gutiérrez Gavilánez**  
**2200221048**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA TELECOMUNICACIONES**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de Titulación; tipo: Proyecto de Investigación, **IMPLEMENTACIÓN DE UNA CÁMARA ANECOICA UTILIZANDO MATERIALES DE BLINDAJE Y ABSORBENTES PARA LAS BANDAS DE FRECUENCIA GSM, LTE Y WIFI SUB 6 GHz PARA EL LABORATORIO DE MICROONDAS DE LA FIE**, realizado por la señorita: **MIRIAN KATHERINE GUTIERREZ GAVILANEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Pedro Severo Infante Moreira, Dr. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-05-12
Ing. Jefferson Alexander Ribadeneira Ramírez, PhD. <b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2022-05-12
Ing. Hugo Oswaldo Moreno Avilés, PhD. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		2022-05-12

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a mis padres, a quienes los considero el pilar fundamental de mi vida por haber estado presentes en cada paso que he dado en el transcurso de ella, que con mucho amor y esfuerzo me han podido dar lo necesario para alcanzar cada una de mis metas y lo más importante, por haber confiado siempre en mí.

Mirian

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta esta etapa de mi vida junto a la compañía de mis seres queridos, además de haberme dado la sabiduría y las fuerzas necesarias para recorrer el camino hacia la meta alcanzada.

A mis amados padres Elvira y Francisco quienes con mucho amor se han esforzado siempre para darme lo mejor. Por haber estado presentes en los buenos y malos momentos de mi vida, sobre todo en el transcurso de mi carrera, apoyándome moral y económicamente, dándome varias veces las fuerzas para continuar cuando sentía que ya no las tenía. Por estas y mil razones más, los considero los pilares fundamentales de mi vida.

A mi apreciada hermana Lida y su esposo Jorge, por cuidarme y estar siempre pendientes de mí, ofreciéndome su soporte ante cualquier problema o necesidad, haciendo que estas situaciones no me afecten de ninguna manera mi autoestima y mi desempeño académico.

A mi pequeña y querida hermana Valeria, a la cual siempre consideraré de esta manera, quien estuvo a mi lado en el transcurso de mi vida compartiendo momentos memorables y muy especialmente en mi carrera, apoyándome en lo necesario para que pueda culminarla de la mejor manera.

A mi estimada tía Lilita por todas las muestras de cariño que me ha brindado desde que tengo uso de razón como también por los consejos compartidos y las atenciones que siempre ha tenido conmigo en el transcurso de mi carrera universitaria.

A mis queridos amigos, Jerson, Marlon, Luis y Cristian, personas quienes de cierta manera siempre estuvieron ahí, ofreciéndome su apoyo incondicional sin dejarme caer en mis momentos difíciles de mi vida personal y académica.

Finalmente quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a mi prestigiosa ESPOCH, a la Facultad de Informática y Electrónica, a todos mis docentes que me han compartido sus conocimientos y muy especialmente a mi director de tesis el Ing. Jefferson Ribadeneira quien con su conocimiento, doctrina y paciencia fue mi guía en el desarrollo de este trabajo.

Mirian

## TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY .....	xv
INTRODUCCIÓN .....	xv
CAPÍTULO I.....	4
1. MARCO TEÓRICO .....	4
1.1. Ondas electromagnéticas.....	4
1.2. Radiación electromagnética .....	5
1.2.1. <i>Radiaciones no ionizantes</i> .....	6
1.2.2. <i>Radiaciones ionizantes</i> .....	6
1.3. Apantallamiento electromagnético .....	7
1.3.1. <i>Reflexión de ondas electromagnéticas</i> .....	7
1.3.2. <i>Absorción de ondas electromagnéticas</i> .....	8
1.4. Tecnologías y sistemas de blindaje electromagnético .....	9
1.4.1. <i>Pinturas de blindaje</i> .....	9
1.4.2. <i>Textiles protectoras</i> .....	10
1.4.3. <i>Mallas de blindaje</i> .....	10
1.4.4. <i>Películas adhesivas</i> .....	11
1.5. Campos de radiación.....	12
1.5.1. <i>Campo Cercano</i> .....	12
1.5.2. <i>Campo Lejano</i> .....	13
1.6. Cámara anecoica .....	13
1.6.1. <i>Diseño de una cámara anecoica</i> .....	14
1.6.1.1. <i>Dimensión</i> .....	14
1.6.1.2. <i>Aislamiento</i> .....	15
1.6.1.3. <i>Paredes</i> .....	15
1.6.1.4. <i>Absorción</i> .....	16
1.7. Tecnologías que operan en la banda de 2.4GHz a 6GHz.....	17
1.7.1. <i>Tecnologías móviles</i> .....	17

1.7.1.1.	<i>GSM</i> .....	18
1.7.1.2.	<i>LTE</i> .....	19
<b>1.7.2.</b>	<b><i>Tecnologías inalámbricas</i></b> .....	<b>20</b>
1.7.2.1.	<i>Wi-Fi</i> .....	20
1.7.2.2.	<i>Bluetooth</i> .....	21
1.7.2.3.	<i>WiMAX</i> .....	21
 <b>CAPÍTULO II</b> .....		<b>23</b>
 <b>2. MARCO METODOLÓGICO</b> .....		<b>23</b>
<b>2.1.</b>	<b>Mediciones y selección de materiales absorbentes y reflejantes</b> .....	<b>23</b>
<b>2.1.1.</b>	<b><i>Materiales absorbentes</i></b> .....	<b>23</b>
2.1.1.1.	<i>Cubetas de huevos</i> .....	23
2.1.1.2.	<i>Poliestireno Expandido EPS (Espuma Flex)</i> .....	24
<b>2.1.2.</b>	<b><i>Materiales reflejantes</i></b> .....	<b>25</b>
2.1.2.1.	<i>Chova Alumband</i> .....	25
2.1.2.2.	<i>Láminas de Tol Galvanizado o Acero Galvanizado</i> .....	26
<b>2.2.</b>	<b>Setup de laboratorio para mediciones de materiales</b> .....	<b>29</b>
<b>2.2.1.</b>	<b><i>Equipos y materiales utilizados</i></b> .....	<b>29</b>
2.2.1.1.	<i>Generador de señales</i> .....	29
2.2.1.2.	<i>Analizador de espectros</i> .....	30
2.2.1.3.	<i>Antenas logarítmica-periódica</i> .....	31
2.2.1.4.	<i>Cable SMA</i> .....	32
2.2.1.5.	<i>Adaptador SMA a N</i> .....	32
<b>2.2.2.</b>	<b><i>Materiales para medición</i></b> .....	<b>32</b>
2.2.2.1.	<i>Absorbentes</i> .....	32
2.2.2.2.	<i>Reflejantes</i> .....	33
<b>2.2.3.</b>	<b><i>Montaje de escenario</i></b> .....	<b>33</b>
<b>2.3.</b>	<b>Parámetros de diseño de la cámara anecoica</b> .....	<b>37</b>
<b>2.3.1.</b>	<b><i>Campo lejano</i></b> .....	<b>37</b>
<b>2.3.2.</b>	<b><i>Dimensiones de la cámara</i></b> .....	<b>38</b>
<b>2.3.3.</b>	<b><i>Diseño estructural de la cámara anecoica</i></b> .....	<b>39</b>
<b>2.4.</b>	<b>Metodología de comprobación de la efectividad de la cámara anecoica</b> .....	<b>41</b>
<b>2.4.1.</b>	<b><i>Escenario 1: Medidas de control</i></b> .....	<b>42</b>
<b>2.4.2.</b>	<b><i>Escenario 2: Medidas de absorción de la cámara anecoica</i></b> .....	<b>42</b>
<b>2.4.3.</b>	<b><i>Escenario 3: Medidas de reflexión de la cámara anecoica</i></b> .....	<b>43</b>



<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>44</b>
<b>3. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>44</b>
<b>3.1. Mediciones de materiales absorbentes .....</b>	<b>44</b>
<b>3.1.1. <i>Medidas de potencia y cálculos de atenuación</i> .....</b>	<b>44</b>
<b>3.1.2. <i>Análisis de las medidas</i> .....</b>	<b>46</b>
<b>3.1.3. <i>Selección de materiales absorbentes</i> .....</b>	<b>50</b>
<b>3.2. Mediciones de materiales reflejantes.....</b>	<b>50</b>
<b>3.2.1. <i>Medidas de potencia y cálculos de atenuación</i> .....</b>	<b>50</b>
<b>3.2.2. <i>Análisis de las medidas</i> .....</b>	<b>52</b>
<b>3.2.3. <i>Selección de materiales reflejantes</i> .....</b>	<b>54</b>
<b>3.3. Construcción de la cámara Anecoica. ....</b>	<b>54</b>
<b>3.3.1. <i>Materiales</i>.....</b>	<b>54</b>
3.3.1.1. <i>Tol galvanizado (14 planchas)</i> .....	54
3.3.1.2. <i>Chova (7)</i> .....	55
3.3.1.3. <i>Espuma Flex (16 láminas)</i> .....	55
3.3.1.4. <i>Cubetas de huevos (1100)</i> .....	55
3.3.1.5. <i>Tube cuadrado (18)</i> .....	55
3.3.1.6. <i>Tablas (9)</i> .....	56
3.3.1.7. <i>Pintura uniprimer (1)</i> .....	56
3.3.1.8. <i>Electrodos</i> .....	56
3.3.1.9. <i>Pernos y remaches</i> .....	56
3.3.1.10. <i>Bisagras</i> .....	56
3.3.1.11. <i>Silicón (20 tubos)</i> .....	56
3.3.1.12. <i>Barras de silicona (7 kg)</i> .....	57
<b>3.3.2. <i>Proceso de construcción</i> .....</b>	<b>57</b>
<b>3.4. Medición de la efectividad de la cámara anecoica .....</b>	<b>60</b>
<b>3.4.1. <i>Recolección de mediciones</i> .....</b>	<b>60</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>64</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Coeficientes de absorción de varios materiales .....	16
<b>Tabla 2-1:</b>	Clasificación de las tecnologías inalámbricas .....	20
<b>Tabla 3-1:</b>	Estándares de Wi-Fi .....	21
<b>Tabla 1-2:</b>	Propiedades eléctricas de un material poliestireno PS .....	24
<b>Tabla 2-2:</b>	Propiedades del Aluminio .....	26
<b>Tabla 3-2:</b>	Propiedades de acero templado y revenido de baja aleación a 20 °C.....	27
<b>Tabla 4-2:</b>	Propiedades del Zinc .....	27
<b>Tabla 5-2:</b>	Especificaciones de láminas de acero galvanizadas .....	27
<b>Tabla 1-3:</b>	Mediciones de potencia obtenidas de los materiales absorbentes .....	44
<b>Tabla 2-3:</b>	Medidas de atenuación obtenidas de los materiales absorbentes .....	45
<b>Tabla 3-3:</b>	Medidas de atenuación promedio de los materiales absorbentes .....	46
<b>Tabla 4-3:</b>	Medidas de potencia obtenidas de los materiales reflejantes .....	50
<b>Tabla 5-3:</b>	Medidas de atenuación obtenidas de los materiales reflejantes.....	51
<b>Tabla 6-3:</b>	Medidas de atenuación promedio de materiales reflejantes .....	51
<b>Tabla 7-3:</b>	Mediciones de potencia de la cámara anecoica .....	60
<b>Tabla 8-3:</b>	Medidas de atenuación de la cámara anecoica .....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Onda electromagnética.....	4
<b>Figura 2-1:</b>	Características de una onda electromagnética.....	4
<b>Figura 3-1:</b>	Espectro electromagnético .....	6
<b>Figura 4-1:</b>	Apantallamiento electromagnético en una superficie. ....	7
<b>Figura 5-1:</b>	Principio de reflexión de ondas.....	8
<b>Figura 6-1:</b>	Principio de atenuación de ondas.....	8
<b>Figura 7-1:</b>	Pintura Yshield HSF 54 .....	9
<b>Figura 8-1:</b>	Tela Swiss-Shield.....	10
<b>Figura 9-1:</b>	Malla de acero inoxidable V4A10 .....	11
<b>Figura 10-1:</b>	Película de blindaje RDF62 .....	11
<b>Figura 11-1:</b>	Regiones de campo de una antena .....	12
<b>Figura 12-1:</b>	Partes de una cámara anecoica.....	14
<b>Figura 13-1:</b>	Dimensiones de una cámara anecoica.....	15
<b>Figura 14-1:</b>	Arquitectura GSM.....	18
<b>Figura 1-2:</b>	Cubeta de huevos a base de cartón.....	23
<b>Figura 2-2:</b>	Lámina de espuma flex .....	24
<b>Figura 3-2:</b>	Lámina autoadhesiva de asfalto. Chova.....	25
<b>Figura 4-2:</b>	Lámina de Acero Galvanizado.....	26
<b>Figura 5-2:</b>	Generador de señales marca Anritsu modelo MG3692C.....	30
<b>Figura 6-2:</b>	Analizador de espectros marca Anritsu modelo MS2724C .....	30
<b>Figura 7-2:</b>	Antena HyperLOG modelo 7060.....	31
<b>Figura 8-2:</b>	Antena HyperLOG modelo 30180.....	31
<b>Figura 9-2:</b>	Cable SMA.....	32
<b>Figura 10-2:</b>	Adaptador SMA a N .....	32
<b>Figura 11-2:</b>	Antena transmisora y receptora en el interior de la cámara anecoica .....	34
<b>Figura 12-2:</b>	Escenario exterior con el generador de señales y el analizador de espectros.....	34
<b>Figura 13-2:</b>	Conexión de las antenas con el cable SMA .....	35
<b>Figura 14-2:</b>	Escenario interno con una combinación de materiales para la medición.....	35
<b>Figura 15-2:</b>	Generador de señales configurado para 2.4 GHz.....	36
<b>Figura 16-2:</b>	Analizador de espectros configurado para 2.4 GHz.....	36
<b>Figura 17-2:</b>	Capas de las paredes de la cámara anecoica .....	40
<b>Figura 18-2:</b>	Estructura metálica presentada en forma angular .....	40
<b>Figura 19-2:</b>	Estructura de tol galvanizado vista de arriba .....	41
<b>Figura 20-2:</b>	Cámara anecoica diseñada .....	41

<b>Figura 21-2:</b>	Ubicación de los equipos Tx y Rx en el exterior .....	42
<b>Figura 22-2:</b>	Ubicación de los equipos Tx y Rx en el interior.....	42
<b>Figura 23-2:</b>	Ubicación del Tx en el exterior y Rx en el interior .....	43
<b>Figura 1-3:</b>	Estructura metálica soldada .....	57
<b>Figura 2-3:</b>	Pared de tubos cuadrados con tol galvanizado.....	58
<b>Figura 3-3:</b>	Pared colocada la chova alumband sobre el tol galvanizado .....	58
<b>Figura 4-3:</b>	Pared colocada espuma flex sobre el tol galvanizado.....	58
<b>Figura 5-3:</b>	Pared colocada cubetas de huevos sobre la espuma flex .....	59
<b>Figura 6-3:</b>	Paredes interiores de la cámara anecoica pintadas.....	59
<b>Figura 7-3:</b>	Cámara anecoica terminada .....	60

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b>	Media calculada para materiales absorbentes a 2.4GHz .....	45
<b>Gráfico 2-3:</b>	Atenuación calculada para materiales absorbentes a 2.4GHz .....	46
<b>Gráfico 3-3:</b>	Atenuación calculada para materiales absorbentes a 3GHz .....	47
<b>Gráfico 4-3:</b>	Atenuación calculada para materiales absorbentes a 4GHz .....	47
<b>Gráfico 5-3:</b>	Atenuación calculada para materiales absorbentes a 5GHz .....	48
<b>Gráfico 6-3:</b>	Atenuación calculada para materiales absorbentes a 6GHz .....	48
<b>Gráfico 7-3:</b>	Media calculada para materiales reflejantes a 2.4GHz.....	51
<b>Gráfico 8-3:</b>	Atenuación calculada para materiales reflejantes a 2.4GHz .....	52
<b>Gráfico 9-3:</b>	Atenuación calculada para materiales reflejantes a 3GHz .....	52
<b>Gráfico 10-3:</b>	Atenuación calculada para materiales reflejantes a 4GHz .....	53
<b>Gráfico 11-3:</b>	Atenuación calculada para materiales reflejantes a 5GHz .....	53
<b>Gráfico 12-3:</b>	Atenuación calculada para materiales reflejantes a 6GHz .....	54

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** TABLAS DE MEDICIONES DE ATENUACIÓN Y ABSORCIÓN EN DIFERENTES MATERIALES
- ANEXO B:** MANUAL DE USUARIO DE EQUIPOS
- ANEXO C:** IMÁGENES DE LAS MEDICIONES DE LOS MATERIALES ABSORBENTES Y REFLEJANTES
- ANEXO D:** PLANOS DE LA CÁMARA ANECOICA DISEÑADOS EN AUTOCAD Y SKETCHUP
- ANEXO E:** IMÁGENES DEL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN DE LA CÁMARA ANECOICA

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de titulación fue investigar la teoría de blindaje electromagnético, conceptos básicos que posteriormente fueron aplicados en el proceso de selección de los materiales con características absorbentes y reflejantes. Las mediciones y pruebas de los materiales se realizaron mediante mediciones de potencia dentro de una cámara anecoica existente en el laboratorio de microondas de la Facultad de Informática y Electrónica. Entre los equipos que se utilizaron estuvo el generador de señales marca Anritsu MF3692C, el analizador de espectros marca Anritsu MS2724C, las antenas log-periodic HyperLOG 30180 y 7060 como transmisora y receptora respectivamente. Mediante el generador de espectros conectado a la antena transmisora se emitió señales con variaciones de frecuencias a 2.4GHz, 3GHz, 4GHz, 5GHz y 6GHz y por medio de la antena receptora con conexión al analizador de espectros se verificó la ganancia de la señal recibida colocando un material en el medio del transmisor y receptor, de donde se obtuvo medidas que permitieron escoger como materiales absorbentes al espuma flex y las cubetas de huevos y como materiales reflejantes al tol galvanizado y la chova alumband. Con los materiales seleccionados se diseñó y construyó la cámara anecoica de dimensiones 2.0x2.0x3.0 metros, misma que fue cubierta en su interior con espuma flex en la primera capa y en la segunda capa con cubetas de huevos, mientras que en el exterior se colocó el tol galvanizado y sobre este una capa de chova alumband. Se concluyó formando una estructura completamente cerrada y aislada para el rango de frecuencias de 2.4GHz hasta 6GHz, banda en la que operan las tecnologías GSM, LTE y Wi-Fi. Se recomienda implementar un sistema de control y monitoreo, mismo que permita la visualización y el control de los acontecimientos desarrollados en el interior de la cámara anecoica.

**Palabras clave:** <RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS>, <BLINDAJE ELECTROMAGNÉTICO >, <ABSORCIÓN >, <REFLEXIÓN>, <CÁMARA ANECOICA>, <TELECOMUNICACIONES>, <TECNOLOGÍAS MÓVILES>, <TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS >.

1062-DBRA-UTP-2022

## SUMMARY

The objective of this degree work was to investigate the theory of electromagnetic shielding, basic concepts that were later applied in the selection process of materials with absorbent and reflective characteristics. The measurements and tests of the materials were carried out by means of power measurements inside an existing anechoic chamber in the microwave laboratory in the Informatics and Electronics Faculty. Among the equipment used was the Anritsu MF3692C signal generator, the Anritsu MS2724C spectrum analyzer, and the HyperLOG 30180 and 7060 log-periodic antennas as transmitter and receiver, respectively. Through the spectrum generator connected to the transmitting antenna, signals with frequency variations at 2.4GHz, 3GHz, 4GHz, 5GHz and 6GHz were emitted and through the receiving antenna connected to the spectrum analyzer, the gain of the received signal was verified by placing a material in the middle of the transmitter and receiver, from which measurements were obtained that allowed choosing flex foam and egg trays as absorbent materials and galvanized tol and chova alumband as reflective materials. With the selected materials, the anechoic chamber of dimensions 2.0x2.0x3.0 meters was designed and built, which was covered inside with flex foam in the first layer and in the second layer with egg trays, while outside the galvanized tol was placed and on top of it a layer of chova alumband. It was concluded by forming a completely closed and isolated structure for the frequency range from 2.4GHz to 6GHz, the band in which GSM, LTE and Wi-Fi technologies operate. It is recommended to implement a control and monitoring system, which allows the visualization and control of the events developed inside the anechoic chamber

**Keywords:** <ELECTROMAGNETIC RADIATION>, <ELECTROMAGNETIC SHIELDING>, <ABSORPTION>, <REFLEXION>, <ANECOIC CHAMBER>, <TELECOMUNICATIONS>, <MOBILE TECHNOLOGIES>, <WIRELESS TECHNOLOGIES>.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Wilson G. Rojas', enclosed within a blue oval scribble.

MSc. Wilson G. Rojas

NOMBRE Y FIRMA PROFESOR

C.I 0602361842



## **INTRODUCCIÓN**

Una cámara anecoica es una estructura cerrada, completamente aislada, es decir que mediante sus paredes absorben las reflexiones producidas por ondas electromagnéticas o acústicas. Este tipo de cámaras son construidas para la recopilación precisa de medidas de emisión y recepción de ondas sonoras o electromagnéticas, simulando un ambiente de espacio libre en donde no habrá presencia de interferencias o ruidos (Orrego, 2015, p. 12).

Entre los materiales más utilizados para la construcción de las cámaras anecoicas se encuentra la espuma de poliuretano, lana de vidrio y la ferrita, los cuales poseen un significativo coeficiente de absorción de energía electromagnética. La etapa de absorción se considera al proceso en donde toda la energía electromagnética recibida pasará a transformarse a energía en forma de calor (Rodríguez, 2004, pp. 1-2).

Este tipo de estructura cerrada es utilizada principalmente para estudios o investigaciones en el campo de ingeniería, medicina, industrias y otro tipo de ciencias. Es por ello que las cámaras anecoicas pueden encontrarse diferentes centros de investigación e instituciones, como es el caso del centro de investigación de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) y las universidades más importantes a nivel mundial como la Universidad de Salford en Inglaterra, la Western Michigan University en Estados Unidos y otras instituciones educativas de nivel superior internacionales (Orrego, Elao, Pazos, 2018, pp. 1-2).

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Es posible Implementar una cámara anecoica utilizando materiales de blindaje y absorbentes para las bandas de frecuencias GSM, LTE y wifi sub 6GHz para el laboratorio de microondas de la FIE?

## **SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo el estudio de las tecnologías y sistemas de blindaje electromagnético existentes contribuirá en el desarrollo del tema de investigación planteado?

¿La selección de los materiales a utilizar basado en las características de absorción y reflexión de ondas electromagnéticas de al menos 2 materiales absorbentes y 2 materiales reflejantes permitirá elegir los más apropiados para la implementación de la cámara anecoica?

¿Es posible diseñar e implementar una cámara anecoica de 3 metros de largo, 2 metros de ancho y 2 metros de alto?

¿Se tendrá un adecuado funcionamiento al realizar pruebas del blindaje y absorción electromagnética en la cámara anecoica?

## **JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

El avance de la tecnología ha permitido el desarrollo de diversos sistemas de blindaje para estructuras, mismos que actúan como barrera ante las radiaciones electromagnéticas emitidas por diversas fuentes.

El blindaje electromagnético está basado en la teoría de reflexión de ondas electromagnéticas, misma que ha permitido el desarrollo de diversas tecnologías que permiten la fabricación de diversos productos que actúan como barrera, utilizando materiales ya existentes, entre los más comunes está el aluminio y el cobre. La aplicación de estos materiales en una estructura produce un efecto de reflexión de los campos que inciden en una determinada superficie.

El enfoque de la teoría de reflexión utilizada en el exterior de la cámara anecoica actuará en el instante en el que una onda electromagnética incida en dicha estructura, ocasionando que esta retroceda o tome una dirección opuesta a la inicial, mientras que en la parte interna se aplicaran materiales con propiedades de absorción de radiaciones electromagnéticas lo que permitirá obtener un entorno libre de radiaciones en la banda de frecuencias GSM, LTE y Wi-Fi sub 6GHz.

### **JUSTIFICACIÓN APLICATIVA**

Para el desarrollo de la cámara anecoica se investigará tecnologías y sistemas de blindaje electromagnético, así mismo se seleccionará los materiales con propiedades anti radiación y absorbentes analizando las características de al menos 2 materiales para cada propiedad, con la finalidad de elegir el más apropiado, posteriormente se hará cálculos que permitan obtener los parámetros y características necesarios para el diseño y la implementación dicha estructura.

La estructura a implementar utilizará materiales con propiedades de reflexión de ondas electromagnéticas en su exterior, mientras que en su interior se constituirá de materiales

absorbentes, así mismo será diseñada en dimensiones de 3 metros de largo, 2 metros de ancho y 2 metros de alto, medidas que facilitarán el desarrollo de las pruebas de efectividad de la cámara como también el poder ser utilizada para futuras investigaciones en el área de electromagnetismo realizadas por docentes y estudiantes de la Facultad de Informática y Electrónica.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Implementar una cámara anecoica utilizando materiales de blindaje y absorbentes para las bandas de frecuencias GSM, LTE y wifi sub 6 GHz para el laboratorio de microondas de la FIE.

### **Objetivos Específicos**

- Estudiar las tecnologías y sistemas de blindaje electromagnético existentes.
- Seleccionar los materiales a utilizar basado en las características de absorción y reflexión de ondas electromagnéticas de entre al menos 2 materiales absorbentes y 2 materiales reflejantes.
- Diseñar e implementar la cámara anecoica de 3 metros de largo, 2 metros de ancho y 2 metros de alto.
- Realizar pruebas del blindaje y absorción electromagnética que ofrece la cámara anecoica implementada mediante medidas de potencia.

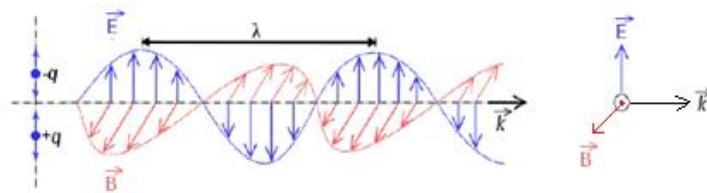
# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se detallará cada uno de los contenidos fundamentales a entender para el desarrollo de este trabajo de titulación, como es el caso ondas electromagnéticas, radiación electromagnética, el apantallamiento electromagnético, la teoría de la reflexión y absorción, tecnologías y sistemas de blindaje electromagnético, campos de radiación e información relevante sobre cámaras anecoicas y sus características.

### 1.1. Ondas electromagnéticas

(Fontal, 2005, p. 9) Define a una onda electromagnética como la transmisión de forma oscilatoria de campos eléctricos y magnéticos, su velocidad de propagación en el espacio libre es de  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ .

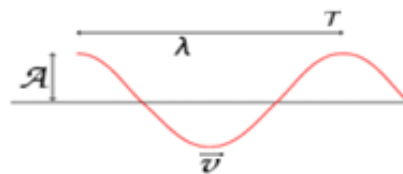


**Figura 1-1.** Onda electromagnética

Fuente: (Rojas, 2009, p. 13)

En la figura 1-1 se puede observar la representación de una onda electromagnética con sus componentes eléctricos y magnéticos.

Entre las características más importantes de una onda electromagnética se encuentra la amplitud, longitud de onda, frecuencia, periodo y velocidad como se muestra en la figura 2-1.



**Figura 2-1.** Características de una onda electromagnética

Fuente: (Rojas, 2009, p. 14)

La amplitud viene definida por  $\mathcal{A}$  la cual representa la potencia de la onda. La longitud de onda ( $\lambda$ ) representa la distancia existente desde el inicio hasta el final de un ciclo. La frecuencia ( $f$ ) simboliza el número de veces que se repite un ciclo por unidad de tiempo ( $T$ ), mientras que el tiempo que tarde en completarse un ciclo se denomina periodo. La velocidad a la que se desplaza una onda se denomina como ( $v$ ), esta dependerá de sus propias características y del medio, en el caso de propagarse en un el vacío su velocidad es de  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$  (Rojas, 2009, pp. 14-15).

La longitud de onda se expresa como el dividendo entre la velocidad de la luz y la frecuencia como se muestra en la ecuación (1).

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Donde:

c: Es la velocidad de la luz expresada en metros sobre segundo [ $m/s$ ].

Al despejar la ecuación (1) se obtiene la fórmula de la frecuencia como se muestra en la ecuación (2) en donde se relaciona la velocidad de la luz con la longitud de onda.

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (2)$$

El periodo de una onda corresponde al inverso de la frecuencia como se define en la ecuación (3).

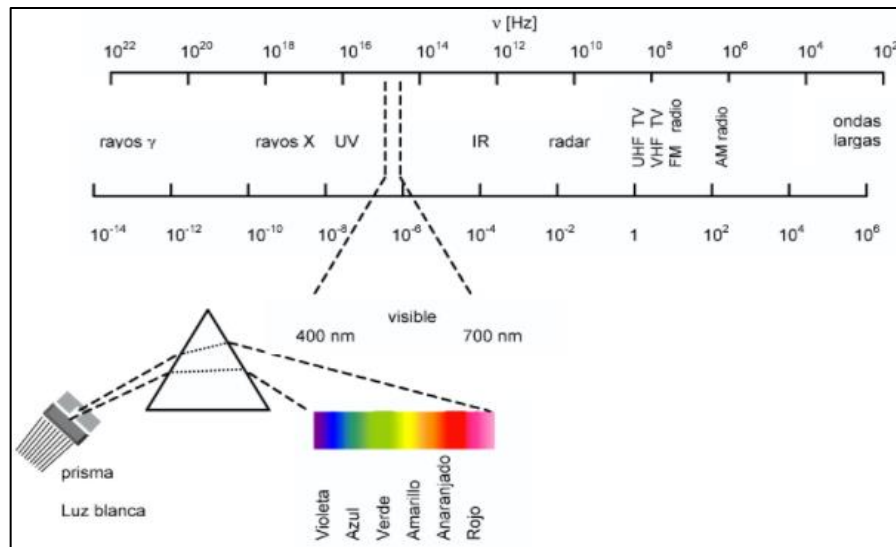
$$T = \frac{1}{f} \quad (3)$$

## 1.2. Radiación electromagnética

Se considera como radiación electromagnética a la combinación de ondas eléctricas y magnéticas oscilantes que se trasladan por el espacio a la velocidad de la luz en forma de ondas transversales. Siendo así que la transmisión de las ondas dependerá de la intensidad de sus campos y la frecuencia a la cual estas operan (Fernández, 2007, pp. 13-14).

A partir del concepto anterior se puede definir que la agrupación de radiaciones con sus respectivas frecuencias forma un espectro electromagnético, mismo que se divide en la escala de frecuencias de altas a bajas, como también se identifican por la longitud de onda cortas a bajas.

En la figura 3-1 se puede observar estas segmentaciones en función de la frecuencia, desde el rango superior hacia el inferior se posicionan de la siguiente manera: rayos gamma, rayos X, ultravioleta, visible, infrarrojo, microondas y en la última posición las ondas de radio (Fernández, 2007, p. 14).



**Figura 3-1.** Espectro electromagnético

Fuente: (Fernández, 2007, p. 15)

Las radiaciones electromagnéticas dependiendo del nivel de frecuencia utilizada se pueden clasificar en: Radiaciones Ionizantes y no Ionizantes.

### ***1.2.1. Radiaciones no ionizantes***

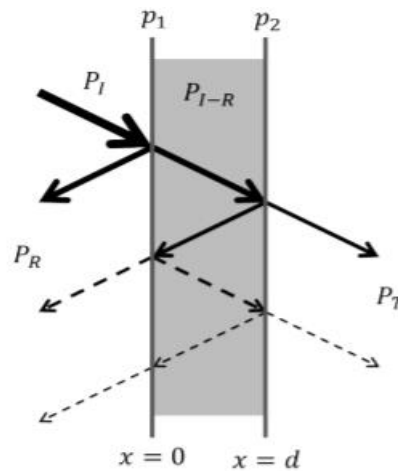
Este tipo de radiación electromagnética es caracterizada por operar en frecuencias bajas y longitudes de onda más larga que la luz visible, por ende, no están en la capacidad de ionizar o romper las uniones químicas, dicho en otras palabras, no alteran las estructuras moleculares, características que permiten utilizar este tipo de radiaciones para la ejecución de las radiocomunicaciones (Huidobro, Ordoñez, 2014, pp. 201-202).

### ***1.2.2. Radiaciones ionizantes***

Son aquellas radiaciones electromagnéticas que se caracterizan por su alta frecuencia y su longitud de onda más corta que la luz visible por lo que pueden ionizar o romper las estructuras moleculares, motivo por el cual es altamente peligrosa para el ser humano y por ende es utilizada únicamente para procedimientos de salud o desinfección de materiales (Huidobro, Ordoñez, 2014, pp. 201-202).

### 1.3. Apantallamiento electromagnético

El apantallamiento electromagnético o también conocido como blindaje electromagnético se define como la barrera existente en una estructura que utiliza materiales con propiedades de apantallamiento (cobre, aluminio), mismas que actúan limitando o atenuando los campos electromagnéticos que llegan a una superficie, evitando así que la radiación alcance al elemento que se desea proteger (Boltrán, 2015, p. 30).



**Figura 4-1.** Apantallamiento electromagnético en una superficie.

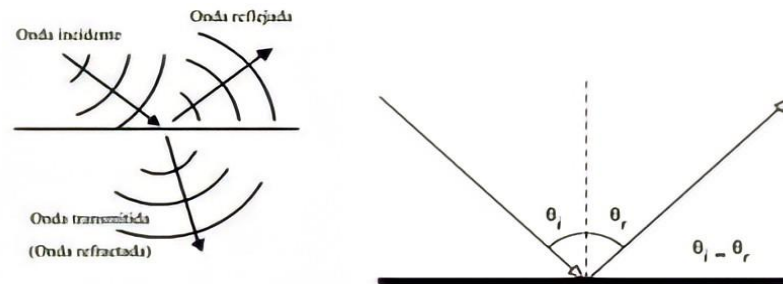
Fuente: (Boltrán, 2015, p. 30)

En la figura 4-1 se puede observar con mayor claridad un esquema de apantallamiento o blindaje electromagnético. Para comprender mejor dicho significado de blindaje se considera que una onda es transmitida con dirección a una superficie, misma que está conformada por dos capas de material metálico denominados plano 1 ( $p_1$ ) y plano 2 ( $p_2$ ). La onda al chocar con el plano 1 ( $p_1$ ) puede reflejarse en el mismo plano 1 ( $p_1$ ) y otra parte de la onda puede transmitirse hacia el plano 2 ( $p_2$ ) en donde nuevamente al chocar con este se va a repetir los mismos efectos anteriores, es decir que la onda puede regresar hacia el plano 1 ( $p_1$ ) o puede atravesar el plano 2 ( $p_2$ ), sin embargo, la onda ya habrá sufrido una significativa absorción.

#### 1.3.1. Reflexión de ondas electromagnéticas

Según (Huidobro, Ordoñez, 2014, p. 130) considera como reflexión de ondas electromagnéticas al efecto producido de una onda al incidir en un medio ajeno al que esta se encuentra, lo que provoca que dicha onda tome una nueva dirección de propagación contraria a la inicial. La teoría de la reflexión se basa en dos leyes fundamentales que se detallan a continuación:

- **Primera ley:** El rayo de incidencia, el reflejado y la normal se localizan en el mismo plano.
- **Segunda ley:** El ángulo formado por el rayo de incidencia es igual al del ángulo de reflexión.



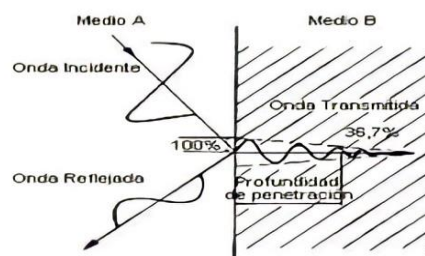
**Figura 5-1.** Principio de reflexión de ondas.

**Fuente:** (Huidobro, Ordoñez, 2014, p. 130)

El principio de reflexión se basa fundamentalmente en la acción que toma una onda denominada incidente al chocar en un medio ajeno al que esta viaja, provocando así que esta pueda tomar dos efectos secundarios, el primero en que la onda pueda reflejarse y direccionarse al lado opuesto de su transición y el otro que una parte de dicha onda pueda ser transmitida cruzar el medio con una determinada desviación, aplicándose así la primera ley de la reflexión. De la misma manera se cumple la segunda ley, en donde  $\theta_i = \theta_r$ , es decir, que el ángulo que forma una onda al incidir en un medio distinto al que proviene va a ser el mismo ángulo de la onda que se refleja, como se puede apreciar en la figura 5-1.

### 1.3.2. Absorción de ondas electromagnéticas

Se denomina absorción al efecto que toma una onda al colisionar en un medio extraño al que esta se transmite, provocando que la energía transportada se transfiera total o parcialmente al material que actúa como intruso en el recorrido de la onda, acción que podría causar la disipación de la misma. Sin embargo, se debe considerar que la absorción total o parcial va a depender del nivel de frecuencia de la onda y de las características de permitividad, conductividad, composición y espesor del material en el que incide la onda (Huidobro, Ordoñez, 2014, p. 126).



**Figura 6-1.** Principio de atenuación de ondas.

**Fuente:** (Huidobro, Ordoñez, 2014, p. 128)



Anteriormente se había estudiado los efectos de una onda causados al incidir en una superficie ajena al que esta atraviesa. La onda inicial se divide en ondas reflejadas y transmitidas, no obstante, se debe considerar las afectaciones que una onda transmitida puede sufrir al atravesar un material (véase la figura 6-1), en donde se aprecia que la onda se pierde en su totalidad, hecho que depende principalmente de la profundidad de penetración de la onda en la materia.

#### **1.4. Tecnologías y sistemas de blindaje electromagnético**

En el mundo existen múltiples empresas fabricantes de tecnologías y sistemas que actúan contra la radiación los cuales pueden ser aplicados en diferentes estructuras dependiendo de la necesidad. Radiansa, es una empresa pionera en España que se dedica a la elaboración de materiales de protección para la radiación con más de 15 años de experiencia. En el caso de blindaje para radiaciones producidas por bandas móviles y wifi, esta oferta productos como láminas, pintura, mallas, que pueden ser utilizados en infraestructuras como edificios, viviendas (Radiansa, 2022).

Existen diversos tipos de materiales utilizados para el blindaje de edificaciones ante radiaciones. En el caso de las bandas de frecuencias móviles y wifi, la empresa Radiansa oferta los siguientes:

##### ***1.4.1. Pinturas de blindaje***

En la figura 7-1 se puede observar un tipo de pintura es diseñada para la protección de espacios expuestos a radiaciones de frecuencias móviles y wifi ya que funcionan como un escudo y no permiten el ingreso de las ondas electromagnéticas. Al ser una pintura compuesta de grafito esta toma un color negro y es considerada una industria ecológica debido al bajo porcentaje de compuestos nocivos que esta contiene (Radiansa, 2022).



**Figura 7-1.** Pintura Yshield HSF 54

**Fuente:** (Radiansa, 2022)

Características:

- Eficacia nominal: 37 dB (99.98% reducción) en una sola aplicación y 44 dB en dos aplicaciones.
- Rendimiento: 7,5 m<sup>2</sup>/l
- Contenido, disolventes: VOC = 0,2 g/l

#### ***1.4.2. Textiles protectoras***

Este tipo de material viene representado por una tela como se ve en la figura 8-1, misma actúa como escudo ante las radiaciones electromagnéticas, se emplea principalmente para cortinas dentro de una edificación ya que generalmente la radiación suele ingresar principalmente por las ventanas, adecuada para la banda de frecuencias móviles y wifi. Al contrario de las pinturas de blindaje, este producto es muy confiable debido a la ausencia de sustancias tóxicas en su fabricación (Radiansa, 2022).



**Figura 8-1.** Tela Swiss-Shield

**Fuente:** (Radiansa 2022)

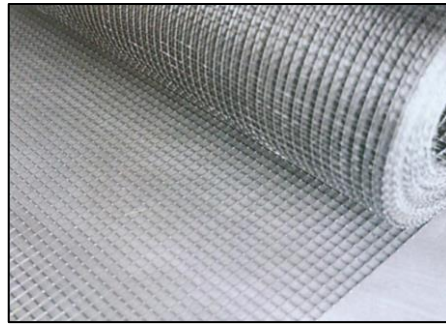
Características:

- Tela a base de algodón (82%), delgados hilos de cobre (17%) y recubrimiento de plata (1%).
- Eficacia nominal: 41dB (99,99% reducción)
- Color: Blanco-crudo
- Peso: 70 g/m<sup>2</sup>

#### ***1.4.3. Mallas de blindaje***

En la realización de una edificación se puede incluir una malla de blindaje sobre la estructura de hormigón ya sea en las paredes o techo de un edificio o vivienda, esto dará un apantallamiento

que no permitirá la penetración de las radiaciones emitidas en la banda de frecuencias móviles y wifi, véase en la figura 9-1 el material (Radiansa, 2022).



**Figura 9-1.** Malla de acero inoxidable V4A10

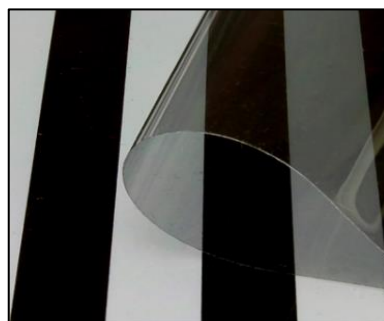
**Fuente:** (Radiansa, 2022)

Características:

- Eficacia nominal:  $40dB$  (99,99% reducción)
- Apertura de malla:  $1,0mm$
- Espesor:  $0,32mm$
- Color: plata
- Peso:  $260g/m^2$

#### ***1.4.4. Películas adhesivas***

Película conformada por una pequeña capa metalizada como se puede observar en la figura 10-1, este tipo de material puede ser empleado para el blindaje de superficies que se desee tener visibilidad al exterior, es decir en ventanas, puede ser colocada y adherida insertando agua en el un lado de la lámina protegiendo así el interior de radiaciones en la banda de frecuencias móviles y wifi (Radiansa, 2022).



**Figura 10-1.** Película de blindaje RDF62

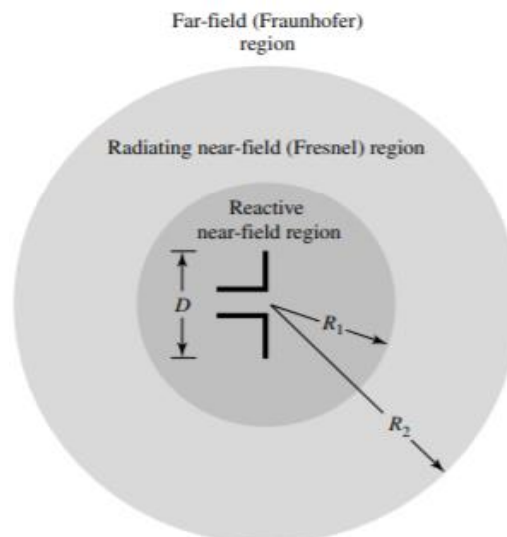
**Fuente:** (Radiansa, 2022)

Características:

- Anchura de rollo: 76cm, 152cm.
- Eficacia nominal: 19dB (98,74% reducción)
- Grosor: 37,5 micras
- Transmisión de luz: 62%

### 1.5. Campos de radiación

Las regiones de campo de una antena se dividen en tres como se observa en la figura 11-1: la región más cercana que rodea a la antena denominada *Reactive Near Field* y definida por  $R_1$ , la siguiente región se define por  $R_2$  y corresponde a la región *Radiating Near Field* (Fresnel) y por último se encuentra la región de *Far Field* (Fraunhofer) (Balanis, 2005, p. 34).



**Figura 11-1.** Regiones de campo de una antena

Fuente: (Balanis, 2005, p. 34)

Para el cálculo de las regiones se considera las ecuaciones (4) y (5) que se muestran a continuación.

#### 1.5.1. Campo Cercano

A continuación, se detallan las ecuaciones que representan a las regiones de campo cercano de una antena según (Balanis, 2005, p. 34).

$$R_1 = 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (4)$$

$$R_2 = 2 \frac{D^2}{\lambda} \quad (5)$$

Donde:

$\lambda$ : Es la longitud de onda en el espacio libre dada en metros [ $m$ ].

$D$ : Es la distancia de apertura máxima de la antena dada en metros [ $m$ ].

La longitud de onda se define en la ecuación (1) y se expresa como  $\lambda = \frac{c}{f}$ , donde ( $c$ ) es la velocidad de la luz y está dada en [ $m/s$ ] y ( $f$ ) es la frecuencia de la antena dada en [ $Hz$ ].

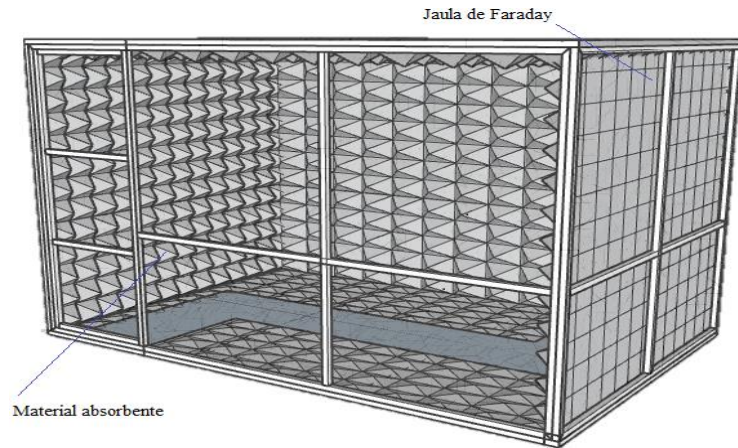
En la región  $R_1$  se encuentra comprendida *reactive near field* (Fresnel) a la cual pertenece la distancia existente desde la superficie de la antena hasta  $R < 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$ . Seguido a la región  $R_1$  se ubica *radiating near field* y corresponde al campo comprendido entre  $R_1$  y  $R_2$  o también definido por la distancia que va desde  $R \geq 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$  hasta  $R < 2 \frac{D^2}{\lambda}$ .

### 1.5.2. Campo Lejano

Se considera un campo lejano o far field (Fraunhofer) a la región comprendida desde  $R > 2 \frac{D^2}{\lambda}$ , su característica principal es que su “distribución del campo angular es independiente de la distancia desde la antena” según lo describe en el libro de (Balanis, 2005, p. 35).

### 1.6. Cámara anecoica

Se define a una cámara anecoica como una estructura cerrada diseñada para la absorción de la energía electromagnética penetrada en la misma, efecto producido debido a las características de blindaje implementadas en las paredes mediante el uso de materiales reflejantes en el exterior lo que simulará una jaula de Faraday, mismos que provocarán la reflexión de las ondas electromagnéticas incidentes en esta superficie, mientras que las ondas penetradas serán absorbidas por los materiales absorbentes del interior de la cámara, consiguiendo así un espacio libre de ecos, adecuado para realizar mediciones con una buena precisión simulando un ambiente de propagación en el espacio libre (CITE, 2017, p. 1). Las partes de una cámara anecoica se muestran en la figura 12-1.



**Figura 12-1.** Partes de una cámara anecoica

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

### 1.6.1. Diseño de una cámara anecoica

En el diseño de una cámara anecoica se considera varios factores, entre los más importantes se puede considerar a la frecuencia a apantallar y los materiales para la construcción, sin embargo, existen otros parámetros a considerar como la dimensión, aislamiento, paredes, temperatura y humedad, la absorción como la reflexión.

#### 1.6.1.1. Dimensión

En la actualidad el diseño de una cámara anecoica por lo general viene dado de forma rectangular, no obstante, existen cámaras anecoicas de forma piramidal, siendo así que el diseño dependerá de la aplicación de la misma.

En la investigación realizada por (Barrionuevo, Gonzalez, 2012, p. 2) menciona que la dimensión de una cámara anecoica rectangular dependerá del cálculo de campo cercano lo que definirá la dimensión mínima de altura, ancho y profundidad que deberá tener la estructura según la norma UNE-EN ISO 3745. Para el cálculo de estas dimensiones se establecen las ecuaciones (6), (7) y (8) a continuación.

$$L = l + \frac{\lambda}{2} \quad (6)$$

$$W = w + \frac{\lambda}{2} \quad (7)$$

$$H = h + \frac{\lambda}{4} \quad (8)$$

Donde:

$L$ : Es el largo útil de la cámara, dado en metros [ $m$ ].

$W$ : Es el ancho útil de la cámara, dado en metros [ $m$ ].

$H$ : Es la altura útil de la cámara dada en metros [ $m$ ].

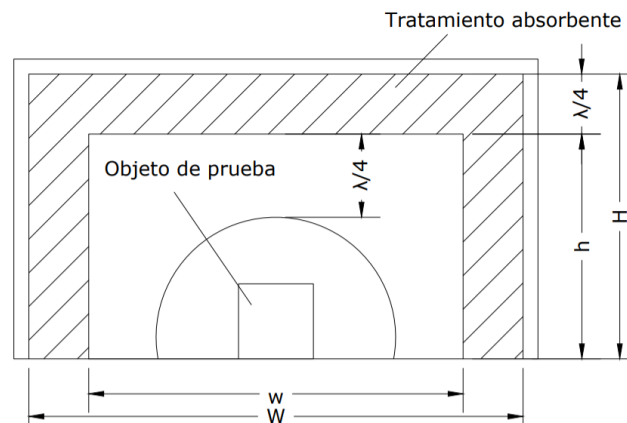
$l$ : Es el largo máximo de la fuente dado en metros [ $m$ ].

$w$ : Es el ancho máximo de la fuente dado en metros [ $m$ ].

$h$ : Es la altura máxima de la fuente dada en metros [ $m$ ].

$\lambda$ : Es la longitud de onda de corte dada en metros [ $m$ ].

En la figura 13-1 se puede visualizar de forma gráfica las dimensiones de una cámara anecoica, las cuales corresponden a las dimensiones útiles y mínimas. En el caso de las útiles son aquellas consideradas desde la punta del material piramidal, mientras que las mínimas incluyen el área denominada tratamiento absorbente la cual representa a un cuarto de la longitud de onda respecto a la pared absorbente (Barrionuevo, Gonzalez, 2012, p. 2).



**Figura 13-1.** Dimensiones de una cámara anecoica

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

### 1.6.1.2. Aislamiento

Las mediciones efectuadas dentro de una cámara anecoica serán efectivas siempre y cuando se considere las frecuencias de diseño de la misma, es decir que en la elección de los materiales para su construcción se considerará el espesor de los mismos dependiendo de la longitud de onda obtenida en la frecuencia más baja a operar la cámara, de esta manera se obtendrá un aislamiento óptimo en un determinado rango de frecuencias (Barrionuevo, Gonzalez, 2012, p. 2).

### 1.6.1.3. Paredes

Es fundamental que en la etapa de elección de los materiales para la construcción de las paredes de la cámara anecoica se considere para el exterior materiales con características de reflexión

mientras que para el interior se opta por materiales absorbentes. En el caso particular de selección de un material absorbente se aplica el concepto definido en la teoría electromagnética donde señala que a menor frecuencia la longitud de onda es mayor por lo que se debe calcular la longitud de onda con la frecuencia más baja a operar para posteriormente elegir un material con igual o mayor grosor, mientras que para la superficie externa de la cámara se debe colocar un material metálico que simulará la jaula de Faraday en donde se conseguirá el efecto de reflexión de los campos electromagnéticos incidentes en el mismo como se puede ver en la figura 12-1 según lo enuncia (Barrionuevo, Gonzalez, 2012, p. 2).

#### 1.6.1.4. Absorción

En la norma ISO 3745 se establece que el coeficiente de absorción debe ser igual o superior a 0.99, mientras que para el interior de la cámara anecoica se debe considerar una reflectividad desde -30dB a -40dB. El coeficiente de absorción puede variar dependiendo de la frecuencia y el espesor del material, en especial de los que tienen estructura porosa como es el caso de la espuma de poliuretano, la lana de vidrio y la ferrita (Barrionuevo, Gonzalez, 2012, p. 3).

**Tabla 1;**Error! No se encuentra el origen de la referencia.;Error! No se encuentra el origen de la referencia.;Error! No se encuentra el origen de la referencia.;Error! No se encuentra el origen de la referencia.-1: Coeficientes de absorción de varios materiales con variaciones de frecuencia

Material		Frecuencia					
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Hormigón pintado		0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Ladrillo visto pintado		0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m3)	25 mm	0,15	0,25	0,40	0,50	0,65	0,70
	50 mm	0,25	0,45	0,70	0,80	0,85	0,85
Lana de vidrio (fieltro 35 kg/m3)	25 mm	0,20	0,40	0,80	0,90	1,00	1,00
	50 mm	0,30	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00
Espuma de poliuretano (fonac)	35 mm	0,11	0,14	0,36	0,82	0,90	0,97
	50 mm	0,15	0,25	0,50	0,94	0,92	0,99
	75 mm	0,17	0,44	0,99	1,03	1,00	1,03
Espuma de poliuretano (sonex)	35 mm	0,06	0,20	0,45	0,71	0,95	0,89
	50 mm	0,07	0,32	0,72	0,88	0,97	1,01
	75 mm	0,13	0,53	0,90	1,07	1,07	1,00
Madera aglomerada en panel		0,47	0,52	0,50	0,55	0,58	0,63



Madera en paneles	0,30	0,25	0,20	0,17	0,15	0,10
-------------------	------	------	------	------	------	------

**Fuente:** (Barrionuevo, Gonzalez, 2012, p. 4)

**Realizado por:** GUTIÉRREZ, M, 2022

En la tabla 1-1 se detallan los coeficientes de absorción sonora medidos en varios materiales con diferente espesor sometidos a frecuencias distintas de 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz y 4000Hz. Según los valores presentados se puede verificar que los materiales con mayor coeficiente de absorción es la espuma de poliuretano y la lana de vidrio.

El cálculo del grosor del material dependerá de la frecuencia a operar y puede obtenerse a partir de la ecuación del largo útil de la cámara anecoica expresada en la ecuación (6).

El espesor del material absorbente se obtiene el despejar la ecuación (6) y se define a continuación en la ecuación (10).

$$Espesor = L - l = \frac{\lambda}{2} \quad (9)$$

Donde el espesor del material es igual a la diferencia del largo útil de la cámara y el largo máximo de la fuente, lo que es equivalente al valor de  $\frac{\lambda}{2}$  o media longitud de onda.

## **1.7. Tecnologías que operan en la banda de 2.4GHz a 6GHz**

Actualmente existen muchas tecnologías que operan en la banda de frecuencias de 2.4GHz a 6GHz que pueden dividirse en móviles e inalámbricas y se detallan a continuación:

### **1.7.1. Tecnologías móviles**

Las tecnologías de comunicación móviles son un subgrupo de las radiocomunicaciones las cuales utilizan ondas radioeléctricas para operar. Los sistemas móviles se dividen en diferentes servicios móviles dependiendo del entorno por el que se distribuyan estos pueden ser: terrestre, marítimo y aeronáutico (Rábanos, 1996, p. 23).

Los sistemas de comunicación móvil a diferencia de otros sistemas de radiocomunicación, nos posibilita la comunicación dentro de una zona de servicio con cualquier otro dispositivo y mantener la comunicación entre los terminales aun en movimiento, es decir, nos dan una movilidad completa (Rábanos, 1996, p. 23).

En estos sistemas de radiocomunicación móvil se pueden transmitir todo tipo de información como puede ser voz, video o datos; ya sea entre personas y terminales que estén en movimiento

o terminales fijos. La comunicación se realiza por diferentes interfaces ya sea de aire o radio, y estos a su vez se enlazan a una estación base la cual está conectada con la red fija (Rábanos, 1996, p. 24).

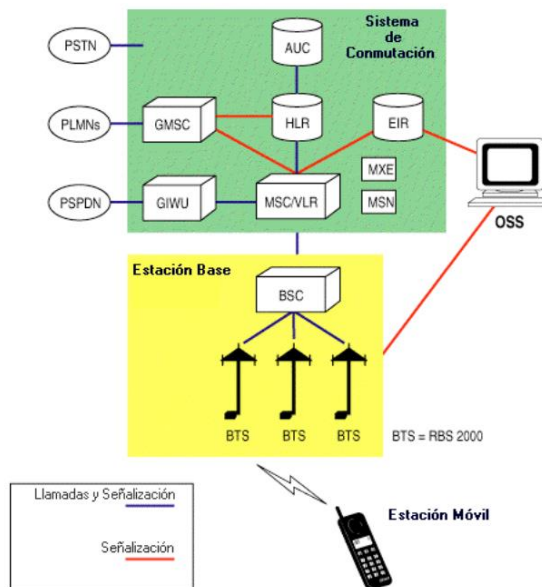
### 1.7.1.1. GSM

El Sistema Global de Comunicaciones Móviles (GSM) se trata de una tecnología celular digital utilizada para transmitir servicios móviles de voz y datos. Esta tecnología nace a partir de la incompatibilidad que existía entre los sistemas de comunicación móviles a falta de un estándar a cuál regirse (Espín, Maldonado, 2008, p. 13).

GSM funciona en las bandas de comunicación móvil de 900MHz-1800MHz la cual digitaliza y comprime los datos y los envía por un canal con otras dos secuencias de datos de usuario, cada uno en su propio slot de tiempo (Espín, Maldonado, 2008, p. 14).

### Arquitectura GSM

Una red GSM se compone de varias unidades operativas como se observa en la figura 14-1:



**Figura 14-1.** Arquitectura GSM

Fuente: (Kentucky, 2017, p. 4)

Estas unidades se pueden dividir en cuatro grupos:

- La estación móvil (MS)

- El subsistema de estación base (BSS)
- El subsistema de conmutación de red (NSS)
- El subsistema de operación y soporte (OSS)

La unión de todos estos elementos forma una red telefónica pública (PSTN). Además, GSM utiliza una estructura celular en donde la idea básica de una red celular es dividir la gama de frecuencias disponible, asignar sólo partes de ese espectro de frecuencias a cualquier estación base y reducir el alcance de una estación base para reutilizar las frecuencias escasas con la mayor frecuencia posible. Uno de los principales objetivos de la planificación de redes es reducir las interferencias entre las distintas estaciones base (González, 1999, p. 9).

#### 1.7.1.2. LTE

La tecnología LTE (*Long-Term Evolution*) es un estándar inalámbrico de cuarta generación (4G) que proporciona mayor capacidad y velocidad de red para los teléfonos móviles y otros dispositivos celulares en comparación con la tecnología de tercera generación (3G) (Dominguez, 2014, p. 4).

LTE ofrece velocidades máximas de transferencia de datos superiores a las de 3G, inicialmente de hasta 100Mbps de bajada y 30Mbps de subida. Proporciona una latencia reducida, capacidad de ancho de banda escalable y compatibilidad con la tecnología existente del Sistema Global de Comunicaciones Móviles (GSM) y del Servicio Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) (Dominguez, 2014, p. 1).

LTE utiliza la división de frecuencia dúplex (FDD) o la división de tiempo dúplex (TDD). Mientras que FDD utiliza bandas separadas para transmitir datos de *uplink* y *downlink*, TDD utiliza franjas horarias en la misma frecuencia para el enlace ascendente y el descendente. Las redes LTE FDD y TDD se han desplegado en todos los continentes.

Las principales ventajas de LTE provienen de las siguientes características:

- Mayor capacidad de portadoras
- Altas velocidades de transmisión de datos
- Conectividad fiable
- Rentabilidad

### 1.7.2. Tecnologías inalámbricas

Las tecnologías inalámbricas son redes las cuales fueron diseñadas para utilizar ondas de radio para conectarse entre dispositivos, sin la intervención de ningún medio físico (Salazar, 2016, p. 6).

Estas redes inalámbricas se clasifican según el área de aplicación y el rango de alcance de la señal.

**Tabla 2;** Error! No se encuentra el origen de la referencia.; Error! No se encuentra el origen de la referencia.; Error! No se encuentra el origen de la referencia.; Error! No se encuentra el origen de la referencia. **-1:** Clasificación de las tecnologías inalámbricas

Tipo	Rango	Aplicación	Standard
Redes de Área Personal (PAN)	Al alcance de una persona	Sustitución de cables por periféricos	Bluetooth, ZigBee, NFC
Redes de Área Local (LAN)	Dentro de un edificio o campus	Extensión inalámbrica de la red por cable	IEEE 802.11 (Wi-Fi)
Redes de Área Metropolitana (MAN)	Dentro de una ciudad	Conectividad inalámbrica entre redes	IEEE 802.15 (WiMAX)
Redes de Área Amplia (WAN)	En todo el mundo	Acceso a la red inalámbrica	Telefonía (UMTS, LTE, etc.)

Fuente: (Salazar, 2016, p. 7)

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

En la tabla 2-1 se realiza un resumen de la clasificación de las tecnologías inalámbricas según (Salazar, 2016, p. 7).

#### 1.7.2.1. Wi-Fi

Una red Wi-Fi es una red la cual utiliza ondas de radio para transmitir y recibir datos de alta velocidad. Wifi es el termino común que hace referencia al estándar 802.11 para redes locales inalámbricas (Yinan, Suguo, Dawei, 2012, p. 1).

El funcionamiento de una red Wi-Fi puede ser de dos tipos según (Huidobro, 2005, p. 36).

- Ad-hoc: Es el más básico ya que los diferentes dispositivos que se conecten en la red van a enviar y recibir información, siendo un grupo cerrado sin ningún tipo de jerarquía.
- Infraestructura: Este es el modo más común en donde va a existir una estación base (AP) la cual va a gestión el acceso al medio además de recibir toda la información transmitida de los demás dispositivos.

**Tabla 3**;Error! No se encuentra el origen de la referencia.;Error! No se encuentra el origen de la referencia.;Error! No se encuentra el origen de la referencia.;Error! No se encuentra el origen de la referencia.-1: Estándares de Wi-Fi

<b>Estándar</b>	<b>Banda de Frecuencia [GHz]</b>	<b>Velocidad [Mb/s]</b>
IEEE 802.11	2.4	2
IEEE 802.11b	2.4	11
IEEE 802.11a	5.8	54
IEEE 802.11g	2.4	54
IEEE 802.11n	2.4/5.8	600

Fuente: (Yinan, Suguo, Dawei, 2012, p. 1)

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

Wifi ha ido evolucionando de tal forma que cuenta con distintos estándares de acuerdo con las mejoras realizadas, como se puede observar en la tabla 3-1:

#### *1.7.2.2. Bluetooth*

Bluetooth es una tecnología inalámbrica que se utiliza para transferir datos entre diferentes dispositivos electrónicos. La distancia de transmisión de datos es pequeña pensado para redes de Área Personal (WPAN). La tecnología Bluetooth utiliza el estándar 802.15.1 la cual opera en la banda de los 2.4GHz, con la técnica de espectro ensanchado con saltos de frecuencia (SSFH) la cual cuenta con 79 canales RF con un ancho de banda de 1MHz cada uno. La velocidad de transferencia va desde el 1MHz hasta los MHz (Corredor, Pedraza, Hernández, 2009, p. 74).

Las características principales de Bluetooth según (Corredor, Pedraza, Hernández, 2009, p. 75) son:

- Comunicaciones entre equipos móviles y fijos más cómodas.
- Mayor eficiencia de energética.
- Eliminar conectores y cables entre dispositivos.
- Facilitar la sincronización de datos entre equipos.

#### *1.7.2.3. WiMAX*

WiMAX es un sistema de comunicación inalámbrica que permite a los dispositivos conectarse a redes de datos de alta velocidad utilizando ondas de radio como medio de transmisión. La tecnología WiMAX opera bajo el estándar IEEE 802.16. Este estándar podría aportar al enlace para la conexión conocido como "última milla" en las redes inalámbricas de área metropolitana.

El acceso inalámbrico de banda ancha se configura como los sistemas celulares, utilizando estaciones base que dan servicio a un radio de varios kilómetros (Omerovic, 2006, p. 3).

Entre las características principales de WiMAX según (Omerovic, 2006, p. 3) se encuentran:

- Cubre distancias de hasta 50km.
- Alcanza velocidades de hasta 70Mbps.
- La facilidad de añadir más canales.
- Capa MAC con soporte de múltiples especificaciones físicas (PHY).
- Anchos de banda configurables y no cerrados.
- Llamadas telefónicas usando VoIP (Voz sobre IP).

WiMAX puede proporcionar dos formas de servicio inalámbrico según lo detalla (Omerovic, 2006, p. 14):

- Servicio sin línea de vista, tipo Wi-Fi, en el que una pequeña antena en la computadora del usuario se conecta a la torre. En esta modalidad, WiMAX utiliza una gama de frecuencias más baja: de 2GHz a 11GHz (similar a Wi-Fi).
- Servicio de línea de visión, en el que una antena parabólica fija apunta directamente a la torre WiMAX desde un tejado o un poste. La conexión en la línea de visión es más fuerte y estable, por lo que puede enviar muchos datos con menos errores. Las transmisiones en la línea de visión utilizan frecuencias más altas, con rangos que pueden alcanzar los 66GHz.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se detalla el proceso de selección de los materiales reflejantes y absorbentes por medio de las mediciones realizadas de un conjunto de materiales, el *setup* de laboratorio empleado para las mediciones y posteriormente se presenta el diseño de la cámara anecoica con cada uno de los materiales previamente elegidos.

#### 2.1. Mediciones y selección de materiales absorbentes y reflejantes

Para la selección de los materiales absorbentes y reflejantes se realizó la medición de la ganancia y atenuación de la señal recibida al colocar un material intermedio del equipo transmisor y receptor.

##### 2.1.1. *Materiales absorbentes*

Se puede considerar un material absorbente de radiación electromagnéticas a todos aquellos con estructura porosa o forma piramidal.

###### 2.1.1.1. *Cubetas de huevos*

Denominadas así a bandejas con geometría piramidal o tipo cono, elaboradas a base de papel reciclado, papel periódico, cartón u otros recortes de material sobrantes de estos, mismos que se incorporan mediante procesos industriales. Véase la figura 1-2.



**Figura 1-2.** Cubeta de huevos a base de cartón

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

### 2.1.1.2. Poliestireno Expandido EPS (Espuma Flex)

El poliestireno Expandido o más conocido en el mercado como espuma flex (véase la figura 2-2) es un material que pertenece al grupo de los polímeros termoplásticos los cuales se caracterizan por su estructura compuesta de cadenas unidas mediante enlaces secundarios (Fombuena, Fenollar, Montanés, 2016, p. 8).



**Figura 2-2.** Lámina de espuma flex

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

Debido a su estructura, el poliestireno PS puede adoptar propiedades eléctricas destacables como se detallan en la tabla 1-2 tales como la resistividad de volumen, la resistencia dieléctrica, la constante dieléctrica y el factor de disipación según lo describe (Barrionuevo, Gonzalez, 2012, p. 4) en su artículo.

**Tabla 1;Error! No se encuentra el origen de la referencia.;Error! No se encuentra el origen de la referencia.;Error! No se encuentra el origen de la referencia.-2: Propiedades eléctricas de un material poliestireno PS**

<b>Propiedades Eléctricas</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Resistividad del volumen	$10^{16}$	$\Omega. cm$
Resistencia dieléctrica	300	$V/mil$
Constante dieléctrica 60 Hz	3,4	Faradios/m
Constante dieléctrica $10^3$ Hz	3,2	Faradios/m
Constante dieléctrica $10^6$ Hz	3,1	Faradios/m
Factor de disipación 60 Hz	0,004	-
Factor de disipación $10^3$ Hz	0,004	-
Factor de disipación $10^6$ Hz	0,004	-

Fuente: (Barrionuevo, Gonzalez, 2012, p. 4)

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

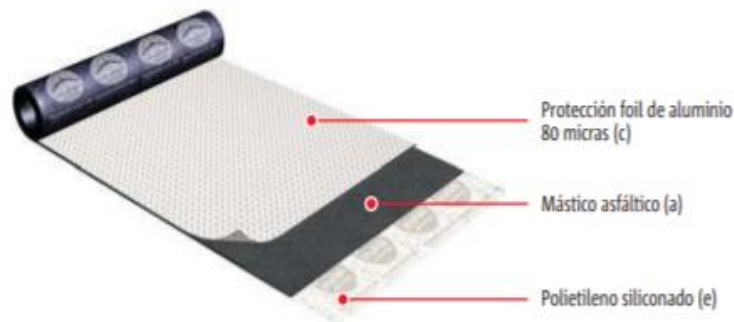


### 2.1.2. Materiales reflejantes

En la siguiente sección se plasmará dos tipos de materiales reflejantes que actuarán como una barrera ante la radiación electromagnética que incida en esta estructura como es el caso de la chova alumband y el tol galvanizado.

#### 2.1.2.1. Chova Alumband

Este tipo de material con forma de cinta o banda adhesiva está compuesta a base de asfaltos modificados con polímeros elastoméricos tipo SBS y otros aditivos. En la estructura de este tipo de material se encuentran 3 capas, en la capa inferior polietileno antiadherente desprendible lo que permitirá ser colocado fácilmente en la superficie, en la capa superior está compuesta de foil de aluminio con un espesor de 80 micras, material que lo hace eficiente para la protección de la lámina contra la radiación ultravioleta del sol y por último en el medio de estas dos capas se encuentra una lámina de mástico asfáltico, obteniendo así una cinta con un espesor total de aproximadamente 2mm. Las partes de este material se pueden observar en la figura 3-2 (Imptek, 2015).



**Figura 3-2.** Lámina autoadhesiva de asfalto. Chova

Fuente: (Imptek 2015)

Debido a sus materiales que la componen, este tipo de cinta se caracteriza por su flexibilidad, además puede ser altamente resistente al envejecimiento, radiación solar, entre otros agentes destructivos presentes en el ambiente. Así mismo, al estar recubierto de aluminio, esta cinta adquiere la propiedad de reflexión (Imptek, 2015).

Es ampliamente utilizada para impermeabilizar, corregir o reparar ya sean orificios, roturas o imperfecciones en diferentes estructuras. Entre los campos aplicables de este material se encuentran se encuentran techos (planos, inclinados, bóvedas), cubiertas no transitables sin protección, ductos de ventilación, carrocerías metálicas, tuberías subterráneas, cables eléctricos, entre otros.

En la siguiente tabla 2-2 se encuentran detalladas las principales propiedades del Aluminio o también conocido en la tabla periódica como Al.

**Tabla 2-2.** Propiedades del Aluminio

Propiedades	Valor	Unidad
Densidad	2700	$kg/m^3$
Rango de fusión	660	$^{\circ}C$
Punto de Ebullición	2467	$^{\circ}C$
Conductividad eléctrica	34-38	$\Omega^{-1}m^{-1}$
Conductividad térmica	80-230	$W/m^{\circ}K$

Fuente: (Benavides, 2012, p. 16)

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

#### 2.1.2.2. Láminas de Tol Galvanizado o Acero Galvanizado

Este tipo de material compuesto de acero se caracteriza por sus propiedades anti corrosión debido a su recubrimiento con una capa de zinc en su estructura exterior como se puede observar en la figura 4-2 en donde se presenta una muestra de una lámina la cual está conformada por el sustrato o material a recubrir en este caso el acero y las capas de recubrimiento galvanizado (ACESCO, 2000).



**Figura 4-2.** Lámina de Acero Galvanizado

Fuente: (ACESCO, 2021)

En la tabla 3-2 se muestra las propiedades del acero templado y revenido de baja aleación a 20 °C tales como la densidad, resistencia a la tracción, alargamiento de rotura, coeficiente de dilatación y estabilidad térmica según el libro de (Hull, 1987, p. 5).

**Tabla 3-2:** Propiedades de acero templado y revenido de baja aleación a 20 °C

Propiedades	Densidad	Resistencia a tracción	Alargamiento de rotura	Coeficiente de dilatación térmica	Estabilidad térmica
<b>Unidad</b>	$Mg\ m^{-3}$	$MN\ m^{-2}$	%	$^{\circ}C^{-1}$	$^{\circ}C$
<b>Valor</b>	7,85	2050-600	12-28	11	800

Fuente: (Hull, 1987, p. 5)

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

Como lo estipula (Acero, Romoleoux, 2020, p. 27), el zinc es un metal muy utilizado para la protección de superficies metálicas debido a su resistencia a la corrosión y fácil adherencia, esto debido a sus propiedades que se detallan en la tabla 4-2.

**Tabla 4;** Error! No se encuentra el origen de la referencia.; Error! No se encuentra el origen de la referencia.; Error! No se encuentra el origen de la referencia.; Error! No se encuentra el origen de la referencia.-2: Propiedades del Zinc

Propiedades	Densidad	Tensión Superficial	Punto de fusión	Punto de Ebullición
<b>Unidad</b>	$Kg/m^3$	$mN/m$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$
<b>Valor</b>	7192	760	420	907

Fuente: (Acero, Romoleoux, 2020, p. 28)

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

A continuación, se detalla en la tabla 5-2 las especificaciones de las láminas de acero galvanizado estipuladas por la empresa ACESCO.

**Tabla 5-2:** Especificaciones de láminas de acero galvanizado

Espesor total (mm)	Dimensiones (mm)		Espesor del recubrimiento (mm)	Peso del recubrimiento por metro cuadrado ( $g/m^2$ )	Peso de la lámina galvanizada (kg)
	Ancho	Largo			
3	1220	2440	0,038	275	70,37
2,5	1220	2440	0,038	275	58,63
1,9	1220	2440	0,038	275	44,54
1,5	1000	2000	0,038	275	23,61
1,5	1220	2440	0,038	275	35,15
1,2	1000	2000	0,038	275	18,88

1,2	1220	2440	0,038	275	28,1
0,9	1000	2000	0,026	183	14,11
0,9	1220	2440	0,026	183	21
0,7	1000	2000	0,026	183	10,96
0,7	1220	2440	0,026	183	16,31
0,6	1000	2000	0,026	183	9,38
0,6	1220	2440	0,026	183	13,96
0,46	1000	2000	0,026	183	7,17
0,46	1220	2440	0,026	183	10,67
0,36	1000	2000	0,026	183	5,59
0,36	1220	2440	0,026	183	8,32
0,3	1000	2000	0,021	153	4,74
0,27	1000	2000	0,021	153	4,27

Fuente: (ACESCO, 2000, p. 11)

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

Para la implementación de la estructura reflejante de la cámara anecoica se seleccionó láminas de 0.6mm de espesor con una dimensión de 1220mm de ancho, 2440mm de largo, mismas que tienen un recubrimiento de 0.026mm de galvanizado que equivale a  $183\text{gr}/\text{m}^2$  (gramos por metro cuadrado), constituyendo un peso total a la lámina galvanizada de 13.96kg.

En el proceso de fabricación del acero galvanizado (ACESCO, 2000, pp. 5-7) estipula los siguientes pasos:

### 1. Entrada y soldadura de rollos

En la fase inicial del proceso se tiene los rollos de 20 toneladas de acero laminado, mismos que deben ser soldados cada extremo de los rollos ingresados para no perder la secuencialidad del material.

### 2. Limpieza y pre-tratamiento

Es indispensable tener una buena limpieza de la superficie a galvanizar por lo que en este paso se sumergirá el acero en una solución desengrasante con el fin de remover toda sustancia obsoleta adquirida en el proceso de laminación para posteriormente eliminarla al pasar por el ciclo de enjuague. Al salir de este ciclo, la bobina es sumergida en ácido clorhídrico, sustancia que culminará con el lavado de vestigios de óxido de la lámina.

### 3. Recocido

En esta etapa se realizarán procedimientos que afectan a la estructura del material, como es el caso de su exposición directa al fuego con una temperatura entre los 600 y 700°C, a continuación, pasan por una sección de tubos radiantes en donde las láminas alcanzan una temperatura de 700°C y 800°C lo que provoca que la superficie de la lámina sea homogénea para finalmente pasar por la sección de enfriamiento en donde su temperatura pasará a ser reducida a 450°C.

#### 4. Galvanización

A continuación del debido proceso de recocido, la lámina se sumergirá en 70 toneladas de sustancia de zinc desvanecido a 450°C y para una mayor adherencia se aplicará un pequeño baño de aluminio, pasando por un sistema que controlará el espesor del recubrimiento y enviarlo al contenedor de enfriamiento.

#### 5. Acondicionamiento superficial y tratamiento químico

Como último paso antes del empaquetamiento, los rollos de acero galvanizado pasan por el proceso acondicionamiento del material, eliminando cualquier excedente existente y finalmente es inmersa en ácido crómico lo que creará una película de protección ante la oxidación.

#### 6. Presentación final y empaque

Finalmente, las bobinas son cortadas de acuerdo a las especificaciones estipuladas en el manual técnico de ACESCO adoptando las dimensiones de la tabla 5-2, formando así láminas de acero galvanizado.

### **2.2. Setup de laboratorio para mediciones de materiales**

Para la medición de los distintos materiales absorbentes y reflejantes se montó un escenario en el interior de la cámara anecoica existente en el laboratorio de microondas de la FIE con diferentes equipos y el intercambio de los materiales escogidos basándose en las características de los mismos.

#### **2.2.1. Equipos y materiales utilizados**

Entre los equipos utilizados para el desarrollo de las mediciones está un generador de ondas, un analizador de espectros y dos antenas de banda ancha.

### 2.2.1.1. Generador de señales

El generador de señales utilizado pertenece a la marca Anritsu modelo MG3692C el cual tiene la capacidad de generar frecuencias con una cobertura que va entre los 2GHz y 20GHz a diferencia de otros generadores existentes en la actualidad que pueden alcanzar hasta los 70GHz. Sin embargo, el rango de frecuencias de este generador puede ser configurado para iniciar desde los 10MHz al oprimir la opción 4 y 5. Para el caso de la opción 4 se tendrá un buen rendimiento de ruido de fase mientras que su rendimiento analógico no supera los 500MHz y en la opción 5 se precautela el rendimiento analógico mas no el rendimiento del ruido de fase según lo estipula (Anritsu, 2011, p. 2). Puede verse este equipo en la figura 5-2.

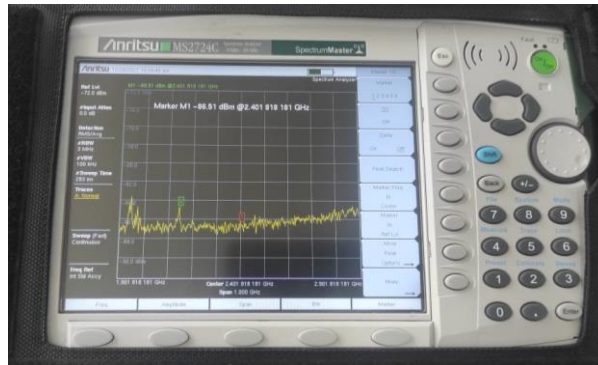


**Figura 5-2.** Generador de señales marca Anritsu modelo MG3692C

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

### 2.2.1.2. Analizador de espectros

Se utilizó el analizador de espectros de alto rendimiento marca Anritsu modelo MS2724C como se ver en la figura 6-2 el cual capta señales que operan en frecuencias desde 9KHz hasta los 20GHz, este analizador es diseñado para el monitoreo en bajas y altas frecuencias por lo que es compatible con las tecnologías GSM, LTE y Wifi, así mismo se puede realizar pruebas de transmisión, análisis de interferencia, como también se puede establecer un ancho de banda que va desde 1Hz hasta los 10MHz (Anritsu, 2013, p. 1).



**Figura 6-2.** Analizador de espectros marca Anritsu modelo MS2724C

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

### 2.2.1.3. Antenas logarítmica-periódica

La antena Aaronia HyperLOG modelo 7060 (véase la figura 7-2) es una antena tipo periódica-logarítmica de banda ancha que opera en el rango de frecuencias desde los 700MHz hasta los 6GHz con una potencia de transmisión de hasta los 100W y una impedancia nominal de 50Ohms, una ganancia típica de 5dBi y una dimensión de 340x200x25mm (L, W, D) la misma que es utilizada como antena transmisora (Aaronia, 2021, p. 4)



**Figura 7-2.** Antena HyperLOG modelo 7060

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

La antena Aaronia HyperLOG modelo 30180 es una antena tipo log-periodic al igual que la antena 7060 sin embargo, su diferencia principal está en el ancho de banda ya que esta opera en el rango de frecuencias desde los 380MHz hasta los 18GHz con una potencia de transmisión máxima de hasta 100W, una impedancia nominal de 50Ohms, una ganancia típica de 5dBi y una dimensión de 590x360x30 mm (L, W, D) utilizada como receptora la cual se puede ver en la figura 8-2 (Aaronia, 2012, pp. 1-2).



**Figura 8-2.** Antena HyperLOG modelo 30180

**Realizado por:** GUTIÉRREZ, M, 2022

#### 2.2.1.4. Cable SMA

Este cable SMA de alta calidad es utilizado para conectar a las antenas, en este caso a la HyperLOG tiene una impedancia de 50Ohms, puede verse este cable en la figura 9-2.



**Figura 9-2.** Cable SMA

**Fuente:** (Aaronia, 2021, p. 5)

#### 2.2.1.5. Adaptador SMA a N

Este adaptador es utilizado para conectar las antenas, además de soportar frecuencias muy altas con una impedancia de 50Ohms, puede verse este adaptador en la figura 10-2.



**Figura 10-2.** Adaptador SMA a N

**Fuente:** (Aaronia, 2021, p. 5)



### ***2.2.2. Materiales para medición***

Para la realización de las pruebas se eligió 11 materiales los cuales se clasificó en 8 absorbentes y 3 reflejantes.

#### ***2.2.2.1. Absorbentes***

Entre los materiales absorbentes puestos a prueba se tienen los siguientes:

- Cubetas de huevos
- Esponja
- Lija gruesa
- Espuma flex
- MDF
- Melánico aglomerado
- Tela cambrela negra
- Tela blanca pellón

#### ***2.2.2.2. Reflejantes***

A continuación, se presenta una lista de materiales reflejantes:

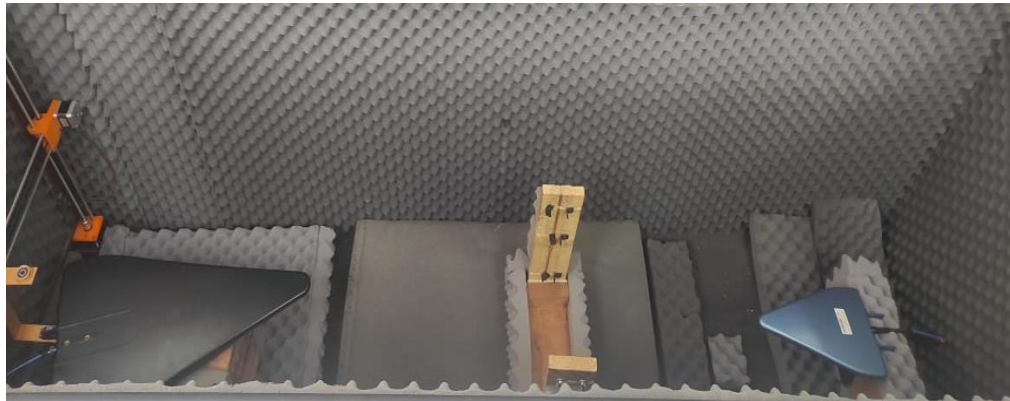
- Tol galvanizado
- Tol prepintado
- Chova alumband

### ***2.2.3. Montaje de escenario***

En el montaje del escenario para las mediciones de los materiales se utilizó la cámara anecoica disponible en el laboratorio de microondas de la FIE en donde se introdujo un generador de señal Anritsu MG3692C conectado a una antena de Aaronia HyperLOG 7060 para el transmisor y para el receptor se colocó una antena de Aaronia HyperLOG 30180 con conexión al analizador de espectros Anritsu MS2724C. Para la conexión de estas antenas a los equipos se utilizó dos cables SMA y un adaptador SMA.

A continuación, se detalla el procedimiento seguido para el montaje del escenario que permitió realizar las pruebas de los materiales.

1. Como primer paso para la realización de las pruebas se abre la cámara anecoica y se coloca las antenas (transmisora y receptora) con dirección vertical la una frente a la otra. Como se puede ver en la figura 11-2.



**Figura 11-2.** Antena transmisora y receptora en el interior de la cámara anecoica

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

2. En la parte externa de la cámara anecoica se coloca el generador de señales, en este caso se lo ubicó en el lado derecho y el analizador de espectro en el lado contrario del generador de señales, lo que corresponde al lado izquierdo exterior de la cámara. Puede verse la ubicación de los equipos en la figura 12-2.

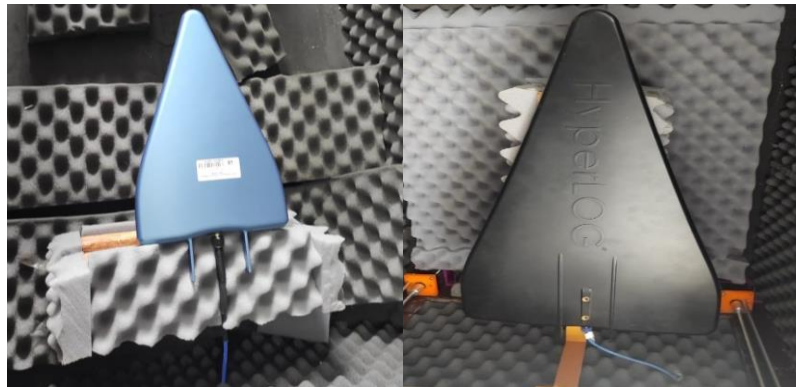


**Figura 12-2.** Escenario exterior con el generador de señales y el analizador de espectros

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

3. Posteriormente se conectaron los equipos a las antenas transmisoras y receptoras con los cables SMA anclados a la cámara anecoica. El cable SMA fue empalmado desde la antena transmisora hasta el generador de señales y de igual manera para la antena receptora sin

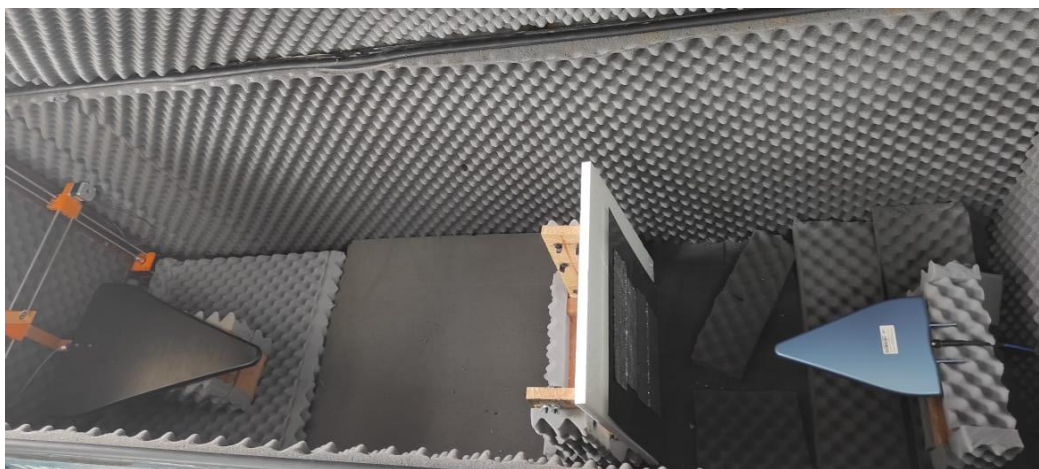
embargo para conectar al analizador de espectros se utilizó un adaptador SMA. Puede verse en la figura 13-2 la conexión de las antenas con el cable SMA.



**Figura 13-2.** Conexión de las antenas con el cable SMA

**Realizado por:** GUTIÉRREZ, M, 2022

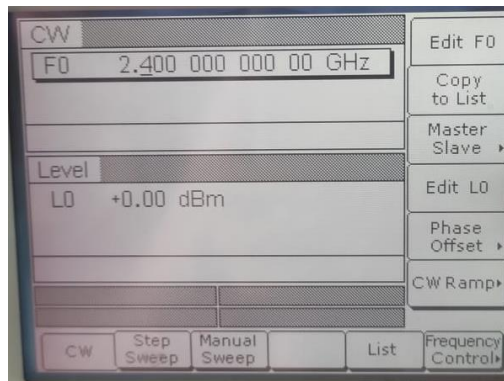
4. Se introduce el material a prueba en el interior de la cámara anecoica, ubicándolo en el medio del transmisor y receptor como se puede ver en la figura 14-2, aplicando para las mediciones las regiones en *Near Field* (campo cercano) y *Far Field* (campo lejano).



**Figura 14-2.** Escenario interno con una combinación de materiales para la medición

**Realizado por:** GUTIÉRREZ, M, 2022

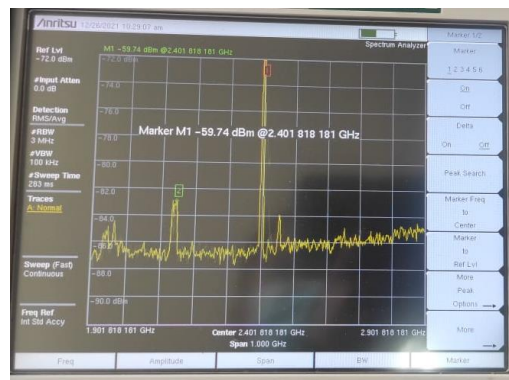
5. Una vez conectados los equipos y ubicado el material adecuadamente se procedió a la configuración de la frecuencia en cada uno de los equipos. En el caso del generador de señales se presiona el botón *frecuency* y se digita el número de la frecuencia a utilizar y posteriormente el rango de las mismas, es decir si está en KHz, MHz, GHz, a continuación, se presiona el botón de output para encender el equipo cuando el escenario ya esté listo, puede verse el menú de configuración para 2.4GHz en la figura 15-2.



**Figura 15-2.** Generador de señales configurado para 2.4GHz

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

Para el analizador de frecuencias se presiona el botón frecuencia, inmediatamente, se digita el número de la frecuencia y se escoge el rango de las frecuencias (KHz, MHz, GHz), en el caso de ser necesario un marcador se puede oprimir el botón *marker* y se digita el número de la frecuencia y el rango como el caso anterior, en la figura 16-2 puede verse el menú de configuración para 2.4GHz con un marcador a la misma frecuencia. El manual de usuario de estos equipos se encuentra en el Anexo B.



**Figura 16-2.** Analizador de espectros configurado para 2.4GHz

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

6. El uso de un documento de Excel fue muy importante ya que en el mismo se almacenó todos los datos recolectados de la ganancia para cada frecuencia puesta a prueba al introducir un material reflejante o absorbente intermedio de el transmisor y receptor, sin embargo, se debe considerar que se debe realizar mediciones de la ganancia recibidas en el receptor sin introducir una material intermedio ya que de esta manera se tiene una medida de referencia que sirve para el cálculo de la atenuación una vez introducido el material.

7. Finalmente, a partir de las medidas de ganancia de referencia para cada frecuencia se calculó la atenuación provocada con la inserción de los diferentes materiales, escogiendo así los materiales con más alto nivel de atenuación para la construcción de la cámara anecoica.

### 2.3. Parámetros de diseño de la cámara anecoica

Entre los parámetros fundamentales considerados en el diseño de una cámara anecoica se establece el cálculo de campo lejano y las dimensiones de la cámara mismos que permitirán las distancias mínimas de la cámara como el espesor del material absorbente.

#### 2.3.1. Campo lejano

Para el diseño de la cámara anecoica se considera la ecuación (6) la cual se basa en la región de campo lejano. Al aplicar el concepto de campo lejano se puede calcular las dimensiones mínimas de la estructura. El valor mínimo a considerarse viene dado por la siguiente ecuación:

$$L = 2 \frac{D^2}{\lambda}$$

Donde:

$D$ : Es la distancia de apertura máxima de la antena dada en metros [m], en el caso de la antena HyperLOG 7060  $D = 0.2m$ .

$\lambda$ : Es la longitud de onda en el espacio libre dada en metros [m] y se enuncia en la ecuación (1).

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde:

$c$ : Es la velocidad de la luz y es equivalente a  $3 \times 10^8$  m/s.

$f$ : Es la frecuencia en la que opera la antena, en este caso 2.4GHz por ser la frecuencia inferior a la que opera la cámara anecoica a implementar.

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \frac{[m]}{[s]}}{2.4 \times 10^9 [Hz]}$$

$$\lambda = \frac{1}{8} [m]$$

$$\lambda = 0.125 [m]$$

$$L = 2x \frac{(0.2)^2 [m]^2}{0.125 [m]}$$

$$L = 2x \frac{8}{25} [m]$$

$$L = 0.64 [m]$$

Reemplazando los datos establecidos en las ecuaciones se obtiene el valor mínimo 0.64m del campo lejano calculado a la frecuencia más baja de 2.4GHz, sin embargo, se considerará un valor inferior de 0.60m para el desarrollo de las mediciones de efectividad.

### 2.3.2. Dimensiones de la cámara

Como distancia mínima a considerar para la transmisión desde una antena transmisora y una receptora dentro de la cámara anecoica se tiene 0.64 metros, por lo que se establece una longitud de 3 metros, 2 metros de ancho y 2 metros de alto con la finalidad de tener un área lo suficientemente espaciosa que permita realizar mediciones sin dificultad alguna.

El espesor del material escogido es de gran importancia para certificar la absorción de las ondas electromagnéticas, este valor puede variar según las dimensiones de la cámara aplicándose la ley inversa del cuadrado de la distancia, en donde el espesor del material absorbente es mayor mientras el tamaño de la estructura vaya decreciendo. Las ecuaciones (7), (8) y (9) establecidas se pueden utilizar para el cálculo del espesor del material.

$$L = l + \frac{\lambda}{2}$$

$$W = w + \frac{\lambda}{2}$$

$$H = h + \frac{\lambda}{4}$$

Donde:

$L$ : Es el largo del exterior de la cámara, dado en metros [ $m$ ].

$W$ : Es el ancho del exterior de la cámara, dado en metros [ $m$ ].

$H$ : Es la altura del exterior de la cámara dada en metros [ $m$ ].

$l$ : Es el largo del interior de la cámara, dado en metros [ $m$ ].

$w$ : Es el ancho del interior de la cámara, dado en metros [m].

$h$ : Es la altura interior de la cámara dada en metros [m].

$\lambda$ : Es la longitud de onda de corte dada en metros [m].

La longitud de onda calculada para 2.4GHz, la frecuencia inferior de operación de la cámara anecoica es de 0.125 metros.

$$\text{Espesor} = L - l = \frac{\lambda}{2} [\text{m}]$$

$$\text{Espesor} = \frac{\lambda}{2} [\text{m}]$$

$$\text{Espesor} = \frac{0.125}{2} [\text{m}]$$

$$\text{Espesor} = 0.0625 [\text{m}]$$

Al remplazar los datos en la ecuación se tiene como resultado 0.0625m, siendo este el valor mínimo de espesor de cada pared.

Para la implementación de las paredes de la cámara anecoica se incorpora dos tipos de material absorbentes y dos reflejantes. En el caso de los materiales absorbentes, las dimensiones de la espuma flex es de 0.02m y 0.055m de las cubetas de huevos, consiguiendo así una capa total de absorción de 0.075 metros, mientras que las dimensiones de los materiales reflejantes son de 0.002m y 0.0006m para la chova alumband y el tol galvanizado respectivamente lo que corresponde a 0.0026m de espesor del material reflejante.

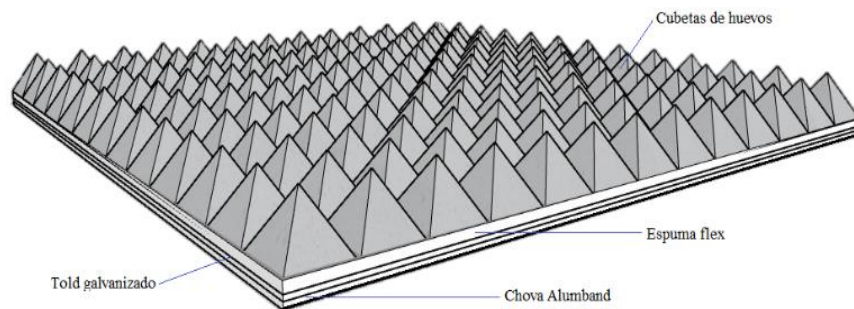
Al incorporar estos cuatro materiales se obtiene una capa total de 0.0776 metros de espesor para cada una de las paredes de la cámara anecoica, superando el valor del espesor mínimo calculado anteriormente.

### **2.3.3. Diseño estructural de la cámara anecoica**

Para el diseño estructural de la cámara anecoica se utilizó el software de diseño asistido por computadora AutoCAD y el software de diseño 3D de alta calidad SketchUp, aplicando así las dimensiones de la estructura rectangular y las especificaciones de los principales materiales a utilizar en la cámara como es el caso de los tubos y el tol galvanizado.

A partir del proceso de selección de materiales se puede determinar la posición de los mismos en las paredes de la cámara anecoica, formando así una superficie con varias capas como se muestra

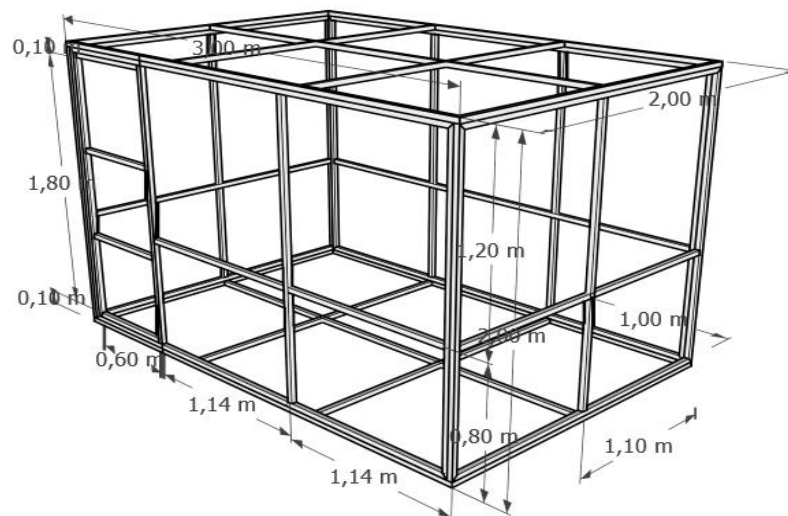
en la figura 17-2 en donde se ubican desde la capa inferior a la superior la chova alumband, el tol galvanizado, espuma flex y por último las cubetas de huevos.



**Figura 17-2.** Capas de las paredes de la cámara anecoica

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

En la figura 18-2 se puede observar la estructura metálica con sus respectivas dimensiones como la longitud, el ancho y el alto. Así también se visualiza las distancias comprendidas entre vigas o columnas las cuales no deben exceder a 1.20 metros debido a que esa es la medida de anchura en las láminas de tol galvanizado.

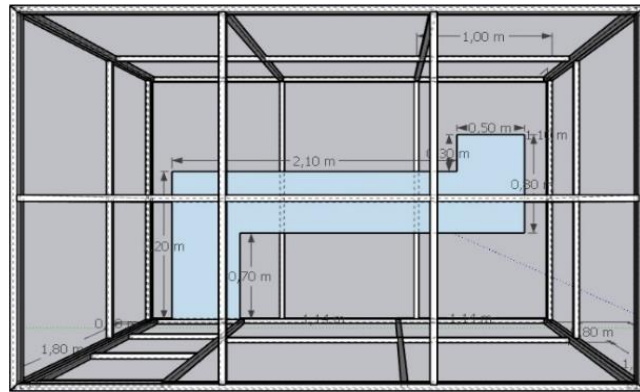


**Figura 18-2.** Estructura metálica presentada en forma angular

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

La estructura de la cámara colocada tol galvanizado se puede observar en la figura 19-2 en donde se tiene una vista del interior de la caja observada desde la parte superior de la misma. En este diseño se puede apreciar las paredes de la estructura como el área determinada para transitar o moverse con sus respectivas dimensiones.

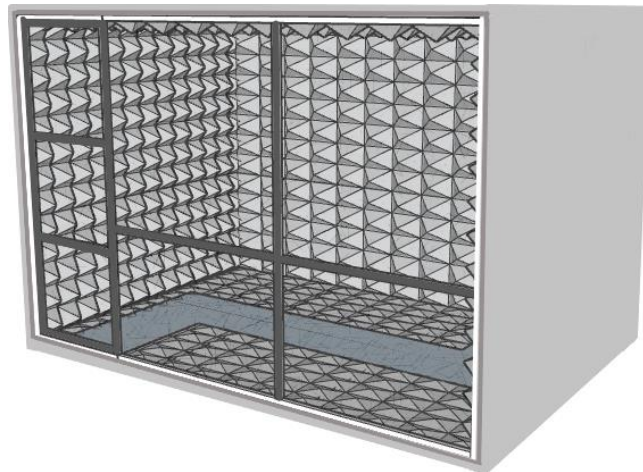




**Figura 19-2.** Estructura de tol galvanizado vista de arriba

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

Finalmente, en la figura 20-2 se puede apreciar el diseño realizado en SketchUp de la cámara anecoica constituida con todos los materiales reflejantes y absorbentes.



**Figura 20-2.** Cámara anecoica diseñada

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

Esta estructura cuenta con una puerta de acceso de 1.80m de alto y 0.60m de ancho, además de un pasillo interior de 3.60m de largo y 0.50m de ancho, dimensiones que permitirá el desplazamiento de los individuos como también la fácil transportación de los equipos, puede verse las dimensiones a mayor detalle en las figuras 18-2 y 19-2 respectivamente.

#### **2.4. Metodología de comprobación de la efectividad de la cámara anecoica**

La comprobación de la efectividad de la cámara anecoica se realizó mediante mediciones de potencia recibida en el interior y exterior de la cámara en condiciones de campo cercano y campo lejano tomando en consideración las medidas obtenidas en los apartados anteriores en donde la distancia mínima de campo lejano es de 0.64m.

Como método de comprobación de la efectividad de la cámara se realiza un montaje de 3 escenarios variando así la ubicación de los equipos en el interior y exterior de la cámara como se detalla a continuación.

#### **2.4.1. Escenario 1: Medidas de control**

En el caso del escenario 1, este consiste en la ubicación inicial de los equipos para la toma de mediciones de control en donde el generador de señales y el analizador de espectros con sus respectivas antenas transmisoras y receptoras se ubican en el exterior de la cámara, aplicándose las condiciones de campo lejano y cercano como se observa en la figura 21-2. Las emisiones de señales a frecuencias de 2.4GHz, 3GHz, 4GHz, 5GHz y 6GHz fueron efectuadas por el generador de señales con una potencia de 1mW lo que corresponde a 0dBm y una ganancia de 0dB, adicionalmente la antena emisora tiene 5dBi de ganancia.

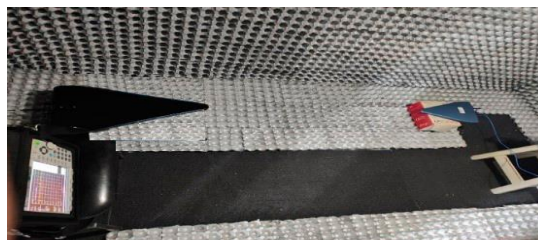


**Figura 21-2.** Ubicación de los equipos Tx y Rx en el exterior

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

#### **2.4.2. Escenario 2: Medidas de absorción de la cámara anecoica**

Al contrario del escenario 1, en este caso los equipos se encuentran ubicados en el interior de la cámara como se muestra la figura 22-2, escenario que permite la toma de medidas de control en la parte interna de la cámara anecoica. La antena emisora y la receptora se colocan una frente a la otra a distancias que cumplen las regiones de campo cercano y lejano, mismas conectadas al generador de señales y analizador de espectros respectivamente. Las mediciones se realizadas aplican las variaciones de frecuencia para las bandas diseñadas como en el escenario 1.



**Figura 22-2.** Ubicación de los equipos Tx y Rx en el interior

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

### **2.4.3. Escenario 3: Medidas de reflexión de la cámara anecoica**

Para el desarrollo de las pruebas de efectividad de la cámara se considera que las señales en la banda de frecuencia de 2.4GHz hasta 6GHz generadas en el exterior de la cámara no deben ser recibidas en el interior de la misma. En este escenario se coloca la antena emisora conectada al generador de señales en el exterior de la cámara y en el interior el analizador de espectros conectado a una antena receptora que captará las señales que ingresan a la estructura cerrada, puede verse este escenario en la figura 23-2.



**Figura 23-2.** Ubicación del Tx en el exterior y Rx en el interior

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

## CAPÍTULO III

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se describe cada uno de los resultados obtenidos en el proceso de selección de los materiales como también de la implementación de la cámara anecoica, reflejando así la efectividad de la misma a través de mediciones de potencia efectuadas.

#### 3.1. Mediciones de materiales absorbentes

Durante el proceso de medición de los materiales absorbentes se consideró tres medidas de potencia con variaciones de distancia de 0.5m y posteriormente se calculó la media de los tres valores, repitiéndose el proceso para cada frecuencia. Para este procedimiento se consideró ocho materiales que estuvieron sujetos a pruebas en donde se midió la atenuación de la potencia recibida con la inserción del material como obstáculo entre el emisor y receptor exponiéndolo a frecuencias que van en el rango de frecuencias de 2.4GHz a 6GHz.

##### 3.1.1. Medidas de potencia y cálculos de atenuación

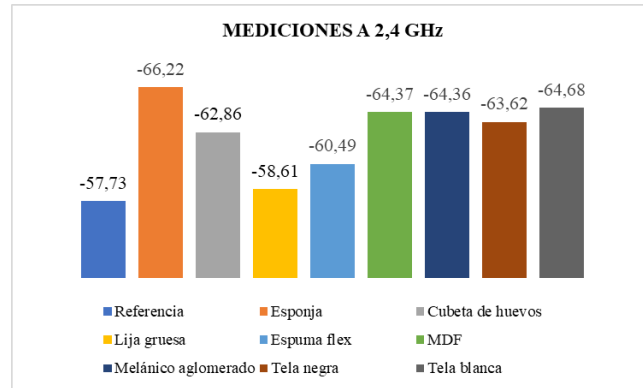
En la tabla 1-3 se puede observar los valores de la media obtenidos a partir de las mediciones de los materiales absorbentes para las diferentes frecuencias.

**Tabla 1-3:** Mediciones de potencia obtenidas de los materiales absorbentes

MATERIALES ABSORBENTES					
TECNOLOGÍA:	Wi-Fi	GSM	LTE	Wi-Fi	-
FRECUENCIA:	2,4GHz	3GHz	4GHz	5GHz	6GHz
Material/Potencia Recibida	[dBm]	[dBm]	[dBm]	[dBm]	[dBm]
Valor referencial de potencia	-57,73	-57,73	-57,73	-57,73	-57,65
Espanja	-66,22	-65,72	-63,93	-62,33	-61,35
Cubeta de huevos	-62,86	-62,96	-63,9	-64,58	-64
Lija gruesa	-58,61	-58,58	-58,62	-58,7	-58,76
Espuma flex	-60,49	-60,32	-60,4	-60,56	-60,65
MDF	-64,37	-63,89	-62,88	-62,41	-61,62
Melánico aglomerado	-64,36	-63,6	-62,1	-61,51	-60,93
Tela negra	-63,62	-63,5	-63,42	-63,21	-63,19
Tela blanca	-64,68	-64,34	-63,95	-63,81	-63,75

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

En el gráfico 1-3 se presenta un diagrama de barras de los valores de la media de potencia.



**Gráfico 1-3.** Media calculada para materiales absorbentes a 2.4GHz

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

Estas medidas fueron realizadas en materiales absorbentes expuestos a la frecuencia de 2.4GHz. A partir de los valores de la media de potencia plasmados en la tabla 1-3 se calculó la atenuación de la potencia provocada por la intervención de un material en el intermedio del escenario. Esta atenuación se obtiene mediante la diferencia entre la potencia de referencia y el valor de potencia del material dados en dBm. Estos valores se presentan en la tabla 2-3.

**Tabla 2-3:** Medidas de atenuación obtenidas de los materiales absorbentes

MATERIALES ABSORBENTES					
TECNOLOGÍA:	Wi-Fi	GSM	LTE	Wi-Fi	-
FRECUENCIA:	2,4GHz	3GHz	4GHz	5GHz	6GHz
Material/ Atenuación	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
Esponja	8,49	7,99	6,19	4,60	3,70
Cubeta de huevos	5,13	5,23	6,17	6,85	6,35
Lija gruesa	0,88	0,85	0,89	0,96	1,11
Espuma flex	2,76	2,59	2,67	2,83	3,00
MDF	6,64	6,15	5,15	4,68	3,97
Melánico aglomerado	6,62	5,86	4,37	3,77	3,28
Tela negra	5,88	5,77	5,69	5,47	5,54
Tela blanca	6,94	6,61	6,22	6,07	6,10

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

En la tabla 3-3 se presenta la atenuación promedio calculada a partir de los valores de atenuación obtenidos para todas las frecuencias.

**Tabla 3-3:** Medidas de atenuación promedio de los materiales absorbentes

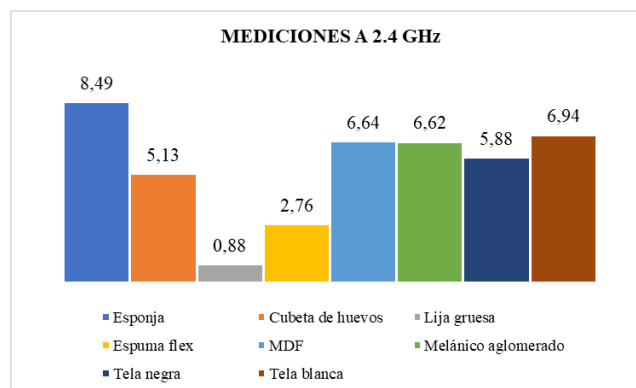
<b>MATERIALES ABSORBENTES</b>	
<b>TECNOLOGÍA:</b>	<b>Wi-Fi, GSM, LTE</b>
<b>FRECUENCIA:</b>	<b>2,4GHz a 6GHz</b>
<b>Material</b>	<b>Promedio Atenuación [dB]</b>
Esponja	6,19
Cubeta de huevos	5,95
Lija gruesa	0,94
Espuma flex	2,77
MDF	5,32
Melánico aglomerado	4,78
Tela negra	5,67
Tela blanca	6,39

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

### 3.1.2. Análisis de las medidas

La atenuación de potencia más alta es producida por la tela blanca o pellón con un valor de 6,39dB mientras que la lija gruesa representa el nivel de atenuación más bajo con 0,94dB según la tabla 3-3 presentada anteriormente.

En el gráfico 2-3 se presenta la atenuación de potencia provocado con la intervención de diferentes materiales absorbentes expuestos a una frecuencia de 2.4GHz. En este gráfico se visualiza que los materiales con mayor nivel de atenuación para una frecuencia de 2.4GHz son la esponja, la tela blanca o pellón y el MDF con valores de atenuación de 8.49dB, 6.94dB y 6.64dB respectivamente.

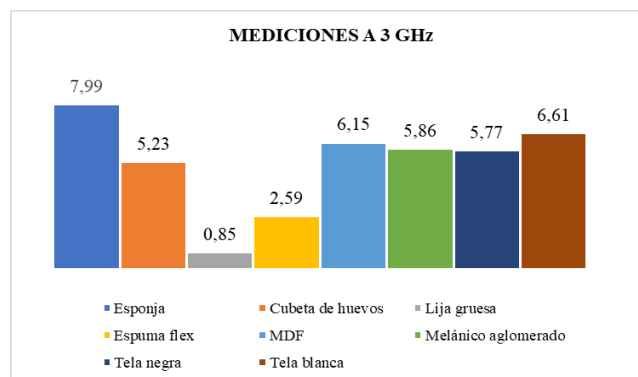


**Gráfico 2-3.** Atenuación calculada para materiales absorbentes a 2.4GHz

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

Las mediciones de atenuación calculadas a una frecuencia de 3GHz para los materiales absorbentes pueden verse a través del gráfico 3-3, donde la esponja es el material que provoca mayor atenuación, con un valor de 7.99dB, seguido con 6.61dB la tela blanca o pellón y ocupando la tercera posición con 6.15dB se encuentra el MDF.

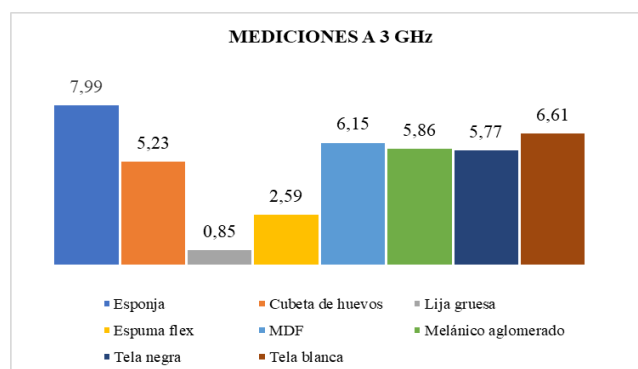
Según los gráficos 2-3 y 3-3 presentados se puede ver que los materiales como la esponja, la tela blanca o pellón y el MDF son los que tienen un mayor nivel de atenuación para las frecuencias de 2.4GHz y 3GHz.



**Gráfico 3-3.** Atenuación calculada para materiales absorbentes a 3GHz

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

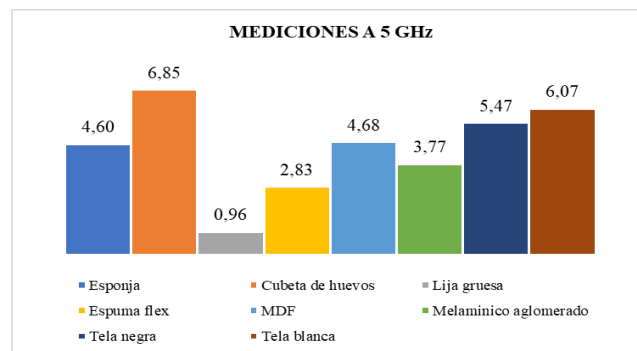
En el diagrama de barras presentado en el gráfico 4-3 se presenta cada una de las atenuaciones calculadas para una frecuencia de 4GHz de los diferentes materiales absorbentes. En este caso se puede observar que la tela blanca o pellón pasa a ocupar el primer puesto con una atenuación de 6.22dB, seguido se encuentra la esponja con 6.19dB, misma que en condiciones de frecuencia de 2.4 y 3GHz ocupaba el primer lugar en atenuación, a continuación, ocupando el tercer puesto con 6.17dB se posiciona las cubetas de huevos. Como consecuencia el MDF pasa de estar en el tercer lugar a ocupar el quinto puesto con 5.15dB de atenuación.



**Gráfico 4-3.** Atenuación calculada para materiales absorbentes a 4GHz

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

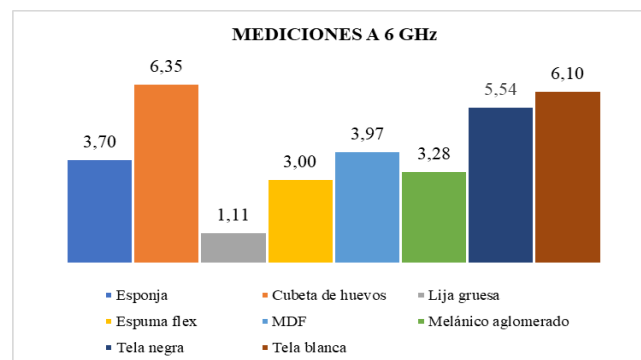
Mediante el gráfico 5-3 se puede ver que las cubetas de huevos causan una atenuación de 6.85dB de potencia a una frecuencia de 5GHz lo que la hace posicionarse en el primer puesto dentro de la tabla de los 5GHz por lo que deduce que la efectividad de este material es superior a medida que se incrementa la frecuencia. Consecutivamente se encuentra la tela blanca o pellón con 6.07dB de atenuación conservando su segundo lugar y finalmente en tercer puesto se ubica la tela negra o tela cambrela con una atenuación de 5.47dB.



**Gráfico 5-3.** Atenuación calculada para materiales absorbentes a 5GHz

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

Además, en este gráfico se puede observar que la atenuación en los materiales rígidos va disminuyendo a medida que se incrementa la frecuencia mientras que en el caso de los materiales de estructura porosa tienden a incrementar su atenuación a mayor frecuencia. Como ejemplo de materiales rígidos se encuentra el MDF, el melánico aglomerado mientras las cubetas de huevos, la esponja, la espuma flex, y las telas se consideran materiales porosos.



**Gráfico 6-3.** Atenuación calculada para materiales absorbentes a 6GHz

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

Finalmente, en el gráfico 6-3 se verifica los valores de atenuación en materiales sometidos a 6GHz de frecuencia, en donde las cubetas de huevos prevalecen en el primer puesto de atenuación con un valor de 6.35dB, posteriormente se encuentra la tela blanca con 6.10dB de atenuación y en la tercera ubicación la tela negra cambrela con una atenuación de 5.54dB.



Considerando las medidas de atenuación de la potencia con relación a la frecuencia presentadas en los diagramas de barras se destaca lo siguiente:

En el caso de la esponja es un material con una muy buena atenuación para frecuencias de 2.4GHz y 3GHz, alcanzando así el primer lugar en estos dos casos, sin embargo, su atenuación disminuye a medida que se incrementa la frecuencia, especialmente para frecuencias de 5 y 6GHz.

La tela blanca o pellón a pesar de no tener la atenuación más alta a 2.4GHz y 3GHz, esta pasa a ser la más efectiva a una frecuencia de 4GHz y posteriormente para frecuencias de 5GHz y 6GHz tiende a mantener un buen nivel de atenuación, inclusive supera a la esponja.

El MDF es un material rígido con un significativo nivel de atenuación por lo que conserva un tercer nivel de atenuación para frecuencias de 2.4GHz y 3GHz, sin embargo, para las frecuencias mayores como 4GHz, 5GHz y 6GHz esta atenuación disminuye al punto de posicionarse en un cuarto puesto.

El melánico aglomerado al estar sometido a frecuencias de 2.4GHz y 3GHz posee una atenuación relativamente buena, lo que le posiciona en el cuarto lugar en estos dos casos, sin embargo, al exponerse a frecuencias de 4GHz, 5GHz y 6GHz este reduce drásticamente su atenuación, posicionándose en el puesto seis para este rango de frecuencias.

La tela negra cambrela posee un nivel de atenuación regular al estar expuesta a frecuencias de 2.4GHz y 3GHz lo que la coloca en un quinto lugar y posteriormente baja a un cuarto lugar a una frecuencia de 4GHz y finalmente se coloca en el tercer lugar para frecuencias de 5GHz y 6 GHz. Las cubetas de huevos no tienen un buen nivel de atenuación para frecuencias pequeñas como 2.4GHz y 3GHz por lo que se posicionan en el sexto lugar, no obstante, su efectividad de atenuación se incrementa a mayores frecuencias como 4GHz lo que le hace posicionarse como el segundo material más atenuante y posteriormente pasa a convertirse en el material con más alto nivel de absorción para frecuencias de 5GHz y 6GHz.

La espuma flex es un material con baja atenuación, no obstante, esta se mantiene relativamente para todo el rango de frecuencias a las que fue sometido, conservando siempre la séptima posición en términos de atenuación.

En el caso de la lija gruesa fue el material con menos nivel de atenuación a comparación de los demás ya que siempre ocupó el último lugar al estar sometido a cualquier frecuencia.

### 3.1.3. Selección de materiales absorbentes

Habiéndose analizado el alcance de la atenuación para los diferentes materiales absorbentes medidos se eligió dos tipos de materiales, sin embargo, el nivel de atenuación superior no fue el único parámetro que se consideró sino más bien su selección se basó en las características como el costo, el peso, la disponibilidad y la complejidad de traslado y adecuación.

Por tal motivo se eligió como materiales absorbentes a las cubetas de huevos y las láminas de espuma flex ya que estos productos se caracterizan por ser de un peso muy ligero, están disponibles en el medio, pueden ser trasladados fácilmente y adecuados en cualquier tipo de superficie.

### 3.2. Mediciones de materiales reflejantes

En el proceso de medición de los materiales reflejantes al igual que para los materiales absorbentes se consideró tres medidas de potencia con variaciones de distancia de 0.5m. A partir de la obtención de los valores se calculó la media de las tres medidas, repitiéndose el proceso para cada frecuencia.

En este caso fueron tres materiales que estuvieron sujetos a pruebas y se siguió el mismo procedimiento de medición que en el caso de los materiales absorbentes.

#### 3.2.1. Medidas de potencia y cálculos de atenuación

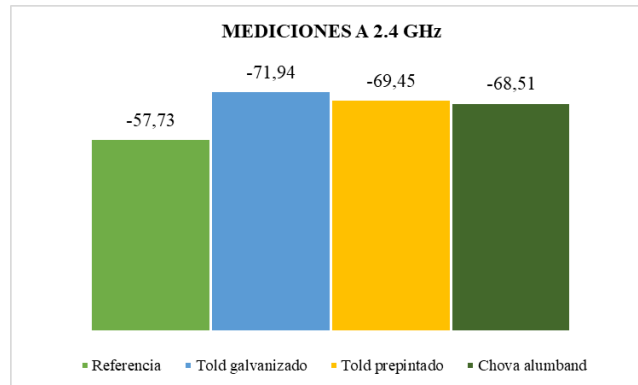
En la siguiente tabla 3-3 se puede observar los valores de la media obtenidos a partir de los valores recopilados en la etapa de mediciones de los materiales reflejantes para las diferentes frecuencias.

**Tabla 4-3:** Medidas de potencia obtenidas de los materiales reflejantes

<b>MATERIALES REFLEJANTES</b>					
<b>TECNOLOGÍA:</b>	<b>Wi-Fi</b>	<b>GSM</b>	<b>LTE</b>	<b>Wi-Fi</b>	<b>-</b>
<b>FRECUENCIA:</b>	<b>2,4GHz</b>	<b>3GHz</b>	<b>4GHz</b>	<b>5GHz</b>	<b>6GHz</b>
<b>Material/Potencia Recibida</b>	<b>[dBm]</b>	<b>[dBm]</b>	<b>[dBm]</b>	<b>[dBm]</b>	<b>[dBm]</b>
Valor referencial de potencia	-57,73	-57,73	-57,73	-57,73	-57,65
Tol galvanizado	-71,94	-71,45	-72,43	-76,94	-72,29
Tol prepintado	-69,45	-68,78	-57,53	-66,34	-67,63
Chova alumband	-68,51	-67,99	-67,46	-66,15	-65,03

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

En el gráfico 7-3 se puede apreciar un diagrama de barras que contiene los valores de la media calculados para los materiales reflejantes sometidos a una frecuencia de 2.4GHz.



**Gráfico 7-3.** Media calculada para materiales reflejantes a 2.4GHz

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

A continuación del proceso de recolección de medidas de potencia detalladas en la tabla 4-3 se calculó los valores de atenuación para cada frecuencia y material como se muestra en la tabla 5-3.

**Tabla 5-3:** Medidas de atenuación obtenidas de los materiales reflejantes

MATERIALES REFLEJANTES					
TECNOLOGÍA:	Wi-Fi	GSM	LTE	Wi-Fi	-
FRECUENCIA:	2,4GHz	3GHz	4GHz	5GHz	6GHz
Material/Atenuación	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
Tol galvanizado	14,21	13,72	14,70	19,20	14,64
Tol prepintado	11,71	11,05	9,79	8,60	9,99
Chova alumband	10,77	10,26	9,72	8,42	7,38

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

En la tabla 6-3 se detalla la atenuación promedio de cada material para las diferentes frecuencias analizadas.

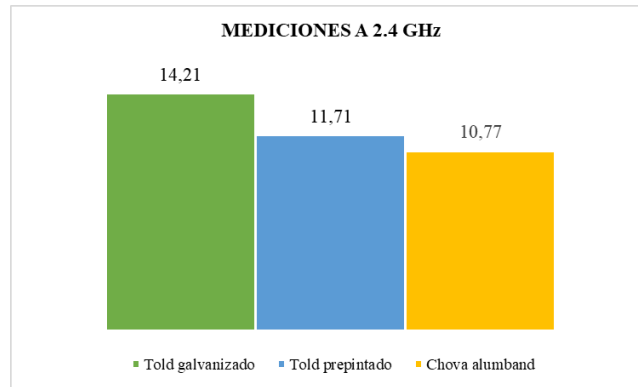
**Tabla 6-3:** Medidas de atenuación promedio de materiales reflejantes

MATERIALES REFLEJANTES	
TECNOLOGÍA:	Wi-Fi, GSM, LTE
FRECUENCIA:	2,4GHz a 6GHz
Material	Promedio Atenuación [dB]
Tol galvanizado	15,29
Tol prepintado	10,23
Chova alumband	9,31

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

### 3.2.2. Análisis de las medidas

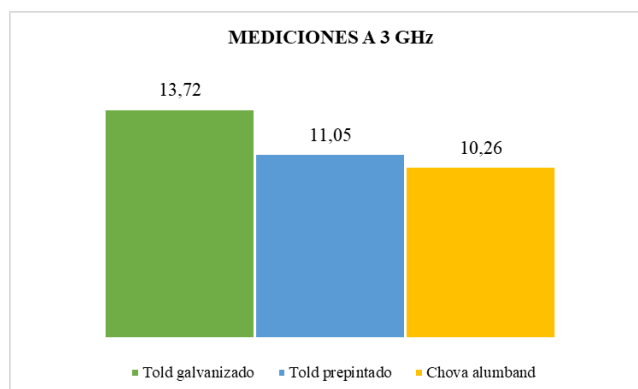
En el gráfico 8-3 se observa la atenuación de la potencia provocada por cada uno de los materiales reflejantes medidos a una frecuencia de 2.4GHz, exponiéndose claramente al tol galvanizado como el material con mayor nivel de atenuación alcanzando los 14.21dB, siguiéndole el tol prepintado con 11.71dB y finalmente con un valor de 10.77dB la chova alumband.



**Gráfico 8-3.** Atenuación calculada para materiales reflejantes a 2.4GHz

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

En el diagrama de barras presentado en el gráfico 9-3 se observa que la atenuación del tol galvanizado expuesto a una frecuencia de 3GHz disminuye a 13.72dB, sin embargo, este material sigue ocupando el primer puesto en parámetros de atenuación. Seguidamente se coloca el tol prepintado con 11.05dB y la chova alumband con 10.26dB de atenuación.

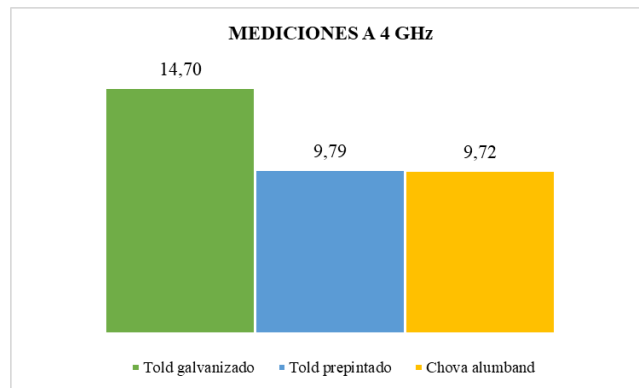


**Gráfico 9-3.** Atenuación calculada para materiales reflejantes a 3GHz

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

Mediante el gráfico 10-3 se muestra la disminución de la atenuación de los materiales al estar sujetos a pruebas a una frecuencia de 4GHz. En este diagrama de barras se puede ver fácilmente que el tol galvanizado es el único material que aumenta su medida de atenuación con un valor de

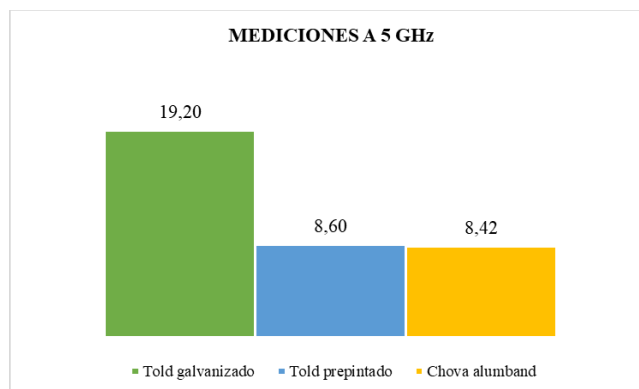
14-70dB mientras que en el caso del tol prepintado la atenuación baja a 9.79dB y la chova alumband a 9.72dB.



**Gráfico 10-3.** Atenuación calculada para materiales reflejantes a 4GHz

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

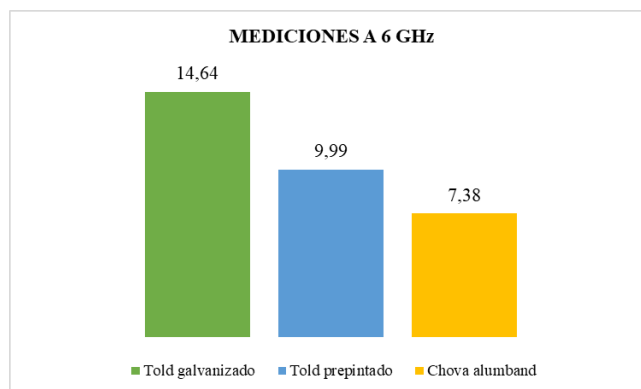
En el gráfico 11-3 se evidencia un incremento de atenuación para el caso del tol galvanizado, alcanzando los 19.20dB mientras que el tol prepintado disminuye su nivel de atenuación a 8.60dB y finalmente en la chova alumband se calcula una atenuación de 8.42dB. Estas medidas fueron calculadas para una frecuencia de 5GHz.



**Gráfico 11-3.** Atenuación calculada para materiales reflejantes a 5GHz

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

Como último diagrama de barras de los valores de atenuación de potencia calculados a una frecuencia de 6GHz se encuentra el gráfico 12-3 en donde se observa que el material predominante en parámetros de atenuación es el tol galvanizado con un valor de 14.64dB y por consiguiente el tol prepintado debido a sus propiedades similares al tol galvanizado se encuentra en el segundo lugar con una atenuación de 9.99dB, lo que significa que la chova alumband ocupa el último lugar con un valor de 7.38dB de atenuación.



**Gráfico 12-3.** Atenuación calculada para materiales reflejantes a 6GHz

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

### 3.2.3. Selección de materiales reflejantes

Según el análisis realizado en cada uno de los gráficos presentados en la sección anterior se destaca que el tol galvanizado posee un alto nivel de atenuación, esto debido a las características de reflexión que poseen los metales por lo que se elige este material como predominante sobre el tol prepintado. Así también se opta por la chova alumband debido a su buena atenuación, consiguiendo los dos materiales reflejantes requeridos para la construcción de la cámara anecoica.

## 3.3. Construcción de la cámara Anecoica.

Para la construcción de la cámara anecoica para la banda de frecuencias GSM, LTE y Wi-Fi Sub 6GHz, se consideró el parámetro de campo lejano de 0.64m y se desarrolla las mediciones de efectividad de la cámara con variaciones de distancia de 0.50m. La implementación de la cámara se realizó a partir de modelado estructural de la misma mediante softwares de diseño como AutoCAD y SketchUp.

### 3.3.1. Materiales

En la implementación de la cámara anecoica se utilizaron los siguientes materiales:

#### 3.3.1.1. Tol galvanizado (14 planchas)

Se utilizó láminas de tol galvanizado con un espesor de 0.60mm y una dimensión de 1200mm de ancho y 2440mm de largo debido a la dureza que este material representa en esas especificaciones lo cual contribuye con el armado de la estructura rectangular, sin embargo, al ser un material muy

fino no presta la factibilidad para el uso de la suelda por lo que fue fijado sobre las vigas por medio de remaches.

#### *3.3.1.2. Chova (7)*

Este tipo de cinta con una capa de aluminio fue utilizado para la cobertura de toda la superficie exterior de la caja, es decir que fue colocada sobre el tol galvanizado, cubriendo así cada orificio ocasionado por el uso de pernos y remaches, además del sellado de las aberturas existentes por las uniones de las caras de la estructura rectangular. Las especificaciones de este material utilizado fueron de las siguientes dimensiones: rollos de 50cm y 10cm de ancho para el caso de las paredes y para el sellado de las rendijas respectivamente, con un espesor de aproximadamente 2 mm y un largo de 10m para ambos casos.

#### *3.3.1.3. Espuma Flex (16 láminas)*

Fue utilizado para cubrir toda la parte interna de la cámara anecoica, es decir que fue colocada sobre el tol galvanizado del interior de la estructura rectangular utilizando como adhesivo principal al silicón. Las especificaciones de las láminas son las siguientes: 2cm de espesor, 120cm de ancho y 200cm de largo.

#### *3.3.1.4. Cubetas de huevos (1100)*

Su uso fue fundamental para toda la cobertura interior de la cámara anecoica, siendo adheridas a la espuma flex mediante barras de silicona caliente. Se utilizaron cubetas de huevos con las dimensiones de 29cm de ancho por 29cm de largo.

#### *3.3.1.5. Tubo cuadrado (18)*

La geometría cuadrada del tubo fue necesaria para tener una mayor facilidad en la adherencia de las láminas de tol galvanizado y el armazón de la cámara. Se utilizó tubo cuadrado de 1" para la puerta y de 1" ¼ para el resto de la estructura, en los dos casos con un espesor de 1.8mm y 6m de largo.

#### *3.3.1.6. Tablas (9)*

Fueron utilizadas para el piso de la cámara anecoica debido a que es un material natural adecuado para la firmeza de la superficie a transitar. Las tablas utilizadas fueron de madera laurel, mismas con un espesor de 20cm, 25cm de ancho y un largo de 3m.

#### *3.3.1.7. Pintura uniprimer (1)*

El uso de este tipo de pintura fue muy importante para la protección ante la corrosión del tubo, debido a sus características de imprimación para superficies metálicas, logrando así que el tubo pueda tener un tiempo de vida útil más largo. El contenido empleado en cubrir las vigas de tubo cuadrado fue de un aproximado de 1 ½ litros.

#### *3.3.1.8. Electrodo*

Utilizado como elemento de soldadura para la unión de las vigas de tubos y la adaptación de las bisagras, dándole a la estructura mayor rigidez y estabilidad.

#### *3.3.1.9. Pernos y remaches*

En el caso de los remaches de ¼ pulgada de largo fueron utilizados para la sujeción de las láminas de tol galvanizado en los tubos cuadrados. Pernos de 2 pulgadas fueron de utilidad para empernar la madera sobre los tubos como también se utilizó pernos de 3 pulgadas para la unión de cada una de las caras metálicas que conforman la cámara.

#### *3.3.1.10. Bisagras*

Se utilizó un par de visagras metálicas para dar sujeción a la puerta colocada en la cámara anecoica, mismas que fueron soldadas, estas con una dimensión de 2 ½ pulgadas.

#### *3.3.1.11. Silicón (20 tubos)*

Utilizado para adherir las planchas de espuma flex en el tol galvanizado y sellar las aberturas existentes en el interior de la cámara. Fue de gran utilidad para la conservación del material ya que este producto no afecta su estructura química con su aplicación a diferencia de la silicona caliente que por su calor puede causar lesiones en la esponja.



### 3.3.1.12. Barras de silicona (7 kg)

Fueron utilizadas para pegar las cubetas de huevos sobre la espuma flex, consiguiendo así una buena fijación de las mismas en toda la estructura de la cámara anecoica debido a su buena adherencia en el cartón.

### 3.3.2. Proceso de construcción

En este apartado se detalla el proceso de construcción de la cámara anecoica con la adecuación de cada uno de los materiales detallados en el apartado anterior. Considerándose que, al ser una estructura desmontable, esta es ensamblada por caras y posteriormente armada en una sola pieza.

A continuación, se presenta paso a paso el proceso:

1. Como primera etapa en la construcción de la cámara anecoica se tiene la limpieza, pintado, corte y soldadura de los tubos cuadrados. La limpieza de los tubos fue fundamental para eliminar cualquier sustancia que afecte a la adherencia de la pintura. Para el corte de este material se consideró las medidas de diseño presentadas en la figura 25 del capítulo 2. La soldadura de los tubos se realizó de acuerdo a las dimensiones de cada cara, obteniéndose una estructura como se muestra en la figura 1-3.



**Figura 1-3.** Estructura metálica soldada

**Realizado por:** GUTIÉRREZ, M, 2022

2. En la segunda etapa se colocó las láminas de tol galvanizado en la estructura metálica con remaches ya que al ser láminas con un espesor muy pequeño no soportan la soldadura. En la figura 2-3 puede verse una pared implementada el tol galvanizado.



**Figura 2-3.** Pared de tubos cuadrados con tol galvanizado

**Realizado por:** GUTIÉRREZ, M, 2022

3. En la tercera etapa se puso las cintas adhesivas de chova alumband de forma horizontal sobre el tol galvanizado como se observa en la figura 3-3. Al ser el tol un metal, se consiguió una muy buena adherencia de la cinta sin necesidad de utilizar calor para su fijación como ocurre en con otras superficies.



**Figura 3-3.** Pared colocada la chova alumband sobre el tol galvanizado

**Realizado por:** GUTIÉRREZ, M, 2022

4. En cuarta etapa se colocó las láminas de espuma flex sobre el tol galvanizado para lo cual fue necesario armar la caja con todas sus partes como se observa en la figura 4-3. El armado de la cámara permitió una mayor comodidad en el pegado de las cubetas. Para este proceso se utilizó silicón industrial lo que dio a la espuma flex una muy buena adherencia al tol.



**Figura 4-3.** Pared colocada espuma flex sobre el tol galvanizado

**Realizado por:** GUTIÉRREZ, M, 2022

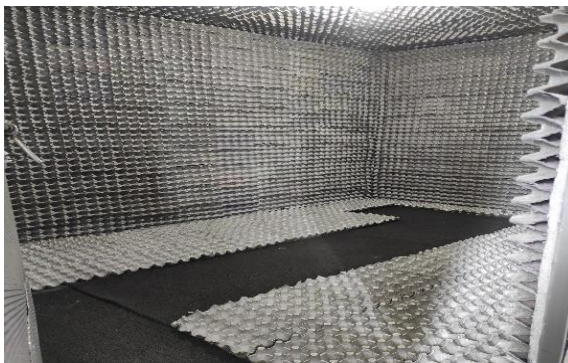
5. En la quinta etapa de construcción se colocó en todas las caras de la estructura las cubetas de huevos sobre la capa de espuma flex mediante barras de silicón caliente que dan como resultado una alta fijación, constituyendo la pared final de la cámara anecoica como se muestra en la figura 5-3.



**Figura 5-3.** Pared colocada cubetas de huevos sobre la espuma flex

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

6. En la sexta etapa se pintó las paredes conformadas de las cubetas de huevos con una pintura semi esmaltada color gris en cada pared de la cámara anecoica como se muestra la figura 6-3. Además, se realizó un circuito eléctrico interior que permite la conexión de los equipos de prueba y tener una buena iluminación.



**Figura 6-3.** Paredes interiores de la cámara anecoica pintadas

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

7. Finalmente se colocó una alfombra en el espacio determinado para pasillo y se cubrió las aberturas exteriores de la cámara con chova, teniéndose como resultado una cámara anecoica totalmente sellada como se muestra en la figura 7-3



**Figura 7-3.** Cámara anecoica terminada

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

### 3.4. Medición de la efectividad de la cámara anecoica

Como último paso después de la construcción de la cámara anecoica se realizó las pruebas de efectividad de la misma mediante un proceso en el cual se tomó medidas de potencia en dB en el interior y exterior de la estructura cerrada con la ejecución de 3 escenarios distintos en donde se ingresó variaciones de frecuencias a la que fue diseñada la cámara, empezando desde 2.4GHz hasta los 6GHz.

#### 3.4.1. Recolección de mediciones

La recolección de los valores que prueban la efectividad de la cámara se obtuvo a partir de mediciones de potencia mediante la ejecución de los distintos escenarios planteados. En la tabla 7-3 se puede observar los resultados obtenidos en las mediciones de efectividad de la cámara anecoica según los escenarios ejecutados.

**Tabla 7-3:** Mediciones de potencia de la cámara anecoica

Medidas de Control		Medidas de Absorción de la Cámara Anecoica		Medidas de Reflexión de la Cámara Anecoica	
Frecuencia [GHz]	Potencia [dBm]	Frecuencia [GHz]	Potencia [dBm]	Frecuencia [GHz]	Potencia [dBm]
2,4	-55,21	2,4	-60,26	2,4	-90,71
3	-58,34	3	-61,74	3	-90,86
4	-62,65	4	-63,91	4	-93,00
5	-66,46	5	-68,75	5	-89,59
6	-55,21	6	-58,54	6	-86,16

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

En el escenario 1, se obtiene medidas de control fuera de la cámara anecoica en donde se puede observar que la potencia captada es alta, esto es producido debido a la intervención de otras señales presentes en el ambiente, y ecos de la misma señal. Sin embargo, para la frecuencia de 5GHz la potencia recibida es relativamente baja a diferencia de las otras analizadas.

Para el caso del escenario 2, se detallan las medidas de absorción de la cámara anecoica en las cuales se observa que la potencia captada en el analizador de espectros es correspondientemente buena ya que este escenario contribuye a las mediciones en condiciones ideales en donde no intervienen campos magnéticos generados en el exterior de la cámara anecoica.

Finalmente, en el caso de las mediciones realizadas a través del escenario 3 el cual representa a las medidas de reflexión de la cámara anecoica, se puede comprobar la efectividad de la cámara ya que se puede ver claramente que la potencia receptada mediante el analizador de espectros es muy pequeña lo que corresponde a una atenuación elevada por consiguiente se considera como una potencia despreciable.

A partir de las mediciones de potencia efectuadas para cada uno de los escenarios a las diferentes frecuencias se pudo calcular el valor de atenuación producido por la cámara anecoica en su interior y exterior, datos que se pueden observar en la tabla 8-3.

**Tabla 8-3:** Medidas de atenuación de la cámara anecoica

<b>Frecuencia [GHz]</b>	<b>Atenuación por Absorción [dB]</b>	<b>Atenuación por Reflexión [dB]</b>
2,4	5,05	35,5
3	3,4	32,52
4	1,26	30,35
5	2,29	23,13
6	3,33	30,95
<b>Promedio</b>	<b>3,066</b>	<b>30,49</b>

Realizado por: GUTIÉRREZ, M, 2022

Los valores de atenuación calculados en el interior de la cámara para la frecuencia de 2.4GHz es de 5.05dB lo que corresponde a un buen nivel de absorción dentro de la estructura cerrada, así también se calculó una atenuación de 3.4dB para los 3GHz de frecuencia, 1.26dB para 4GHz, 2.29dB para 5GHz y finalmente 3.33dB para la frecuencia de 6GHz. A partir de estas medidas se pudo calcular el promedio de atenuación de 3.066dB para la banda de frecuencia de 2.4GHz a 6GHz, valor que manifiesta una variación de la potencia transmitida con respecto a la recibida, debido a la absorción de ondas, efecto producido por los materiales internos de la cámara.

La atenuación producida por reflexión a una frecuencia de 2.4GHz es de 35.5dB, lo que significa que las señales a esta frecuencia tendrán un alto nivel de reflexión al incidir en el exterior de la cámara, así también para la frecuencia de 3GHz se obtuvo una atenuación de 32.52dB, 30.35dB para la frecuencia de 4GHz, 23.13dB para 5GHz y 30.95dB para 6GHz; consiguiendo así un valor promedio de atenuación de 30.49dB para la banda de frecuencia de 2.4GHz hasta los 6GHz, lo que corresponde un alto nivel de atenuación de la potencia al encontrarse el equipo transmisor en el exterior y el receptor en el interior. De esta manera se comprueba que la cámara atenúa las señales GSM, LTE, Wi-Fi y cualquier otro tipo de tecnologías inalámbricas o móviles que trabajen en frecuencias iguales o inferiores a 6GHz.

## CONCLUSIONES

- La cámara anecoica implementada de 3m de largo, 2m de ancho y 2m de alto fue diseñada considerando la distancia mínima de campo lejano de 0,64m; misma que atenúa la potencia en la banda de frecuencia desde los 2.4GHz hasta los 6GHz, en las que se encuentran las tecnologías GSM, LTE y Wi-Fi.
- La selección de los materiales absorbentes se basó en la atenuación que estos presentan, además de otros parámetros como su costo, peso, disponibilidad y la facilidad de traslado y adecuación, así: la tela blanca presenta una absorción de 6.39dB, la esponja 6.19dB, las cubetas de huevos 5.95dB, la tela negra 5.67dB, el MDF 5.32dB, el melánico aglomerado 4.78dB, la espuma flex 2.77dB y la lija gruesa 0.94dB; de los cuales se seleccionó las cubetas de huevos y las láminas de espuma flex.
- De acuerdo al nivel de atenuación que presentaron los materiales reflejantes con los que se hizo prueba se obtuvo valores del tol galvanizado de 15.29dB, el tol prepintado 10.23dB y la chova alumband 9.31dB; a partir de estos parámetros y por su rigidez se seleccionó el tol galvanizado, mientras que para el caso de la chova alumband se optó por las características de fácil adherencia en el metal.
- Mediante las medidas de atenuación en el interior de la cámara se obtuvieron valores de 5.05dB para la frecuencia de 2.4GHz, 3.4dB para 3GHz, 1.26dB para 4GHz, 2.29dB para 5GHz y 3.33dB para 6GHz; por lo que se comprobó la efectividad de los materiales de absorción de la misma.
- En base a las medidas de reflexión realizadas, los valores de atenuación presentados de la cámara son de 35.5dB para la frecuencia de 2.4GHz, 32.52dB para 3GHz, 30.35dB para 4GHz, 20.13dB para 5GHz y 30.95dB para 6GHz, por lo que se comprobó la óptima capacidad de reflexión de los materiales utilizados en la cámara anecoica.
- La efectividad de la cámara se comprobó mediante los valores de atenuación tanto para absorción como para reflexión, dado el caso que se obtuvo un promedio de 3.066dB y 30.49dB respectivamente.

## RECOMENDACIONES

- Las dimensiones de la cámara anecoica implementada ofrecen una buena movilidad de las personas, la facilidad en la adecuación de los equipos y por consiguiente un buen desempeño en la investigaciones o estudios realizados en la estructura, sin embargo, se recomienda que un futuro se implemente un sistema de control y cámaras que permita visualizar y controlar los acontecimientos que se desarrollan en su interior con el fin de evitar la exposición de las personas a la radiación generada en la parte interna de la cámara.
- Para el ingreso a la cámara anecoica se recomienda tomar las debidas precauciones y cuidados en la movilidad de las personas como también en el desplazamiento de los equipos o herramientas, precautelando siempre el uso del pasillo para transitar dentro la misma con la finalidad de evitar el maltrato, deformación o deterioro de las capas internas de la cámara ya que al hacerlo se podría contribuir a la perdida de las características que garantizan el buen funcionamiento de la cámara.
- Para un correcto desempeño de la cámara en la obtención de mediciones y la realización de pruebas se recomienda considerar la banda de frecuencias a la que fue diseñada, ya que, si se excede de estos límites, los resultados obtenidos presentarán irregularidades.



## BIBLIOGRAFÍA

**AARONIA.** *Antenas log-periódicas hasta 18 GHz Línea HyperLOG 30xxx Data Sheet* [En línea]. Germany: Aaronia, 2012. [Consulta: 14 Enero 2022]. Disponible en: [http://www.aaronia.es/Hoja-de-datos/Antenas/Antena\\_de\\_medicion\\_de\\_banda\\_ancha\\_HyperLOG3000.pdf##](http://www.aaronia.es/Hoja-de-datos/Antenas/Antena_de_medicion_de_banda_ancha_HyperLOG3000.pdf##)

**AARONIA.** *LOGPER ANTENNAS HYPERLOG* [En línea]. Germany: Aaronia, 2021. [Consulta: 14 Enero 2022]. Disponible en: [https://downloads.aaronia.com/datasheets/antennas/HyperLOG/Aaronia\\_HyperLOG\\_70\\_Logper\\_Antennas.pdf##](https://downloads.aaronia.com/datasheets/antennas/HyperLOG/Aaronia_HyperLOG_70_Logper_Antennas.pdf##)

**ACERO, ROMOLEOUX.** *“Determinación y análisis de variables críticas en el proceso de galvanizado de la tubería de acero a escala de laboratorio para su posterior optimización en planta”* [En línea]. (Tesis) (Ingeniería). Universidad de Cuenca, Facultad de ciencias Químicas, Escuela de Ingeniería Química. Cuenca-Ecuador. 2020. pp. 27-28. [Consulta: 10 Diciembre 2021]. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/35058/1/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>

**ACESCO.** *Manual técnico del Acero Galvanizado* [En línea]. Colombia: ACESCO, 2000. [Consulta: 14 Febrero 2022]. Disponible en: <https://silo.tips/download/manual-tecnico-del-acero-galvanizado>

**ACESCO.** *ACESCO* [En línea]. Colombia: ACESCO, 2021. [Consulta: 14 Febrero 2022]. Disponible en: <https://www.acesco.com.co/descargas/fichastecnicas/ficha-tecnica-acero-recubierto.pdf>

**ANRITSU.** *RF/Microwave Signal Generators, Technical Data Sheet* [En línea]. United States: Anritsu, 2011. [Consulta: 16 Febrero 2022]. Disponible en: <https://assets-us-01.kc-usercontent.com/ecb176a6-5a2e-0000-8943-84491e5fc8d1/c8654eea-d3ca-414d-8100-fcc2285ddaa7/Anritsu%20MG3690B%20RF%20Microwave%20Signal%20Generators%20Technical%20Data%20Sheet.pdf>

**ANRITSU.** *Technical Data Sheet Spectrum Master High Performance Handheld Spectrum Analyzer MS224C* [En línea]. United States: Anritsu, 2013. [Consulta: 16 Febrero 2022]. Disponible en: <https://dl.cdn-anritsu.com/en-us/test-measurement/files/Brochures-Datasheets-Catalogs/datasheet/11410-00525K.pdf>

**BALANIS, C.** *ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN* [En línea]. Third Edition. New Jersey-USA: Knovel, 2005, pp. 34-35. [Consulta: 11 Enero 2022] Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=v1PSZ48DnuEC&printsec=frontcover&hl=es&source=gs\\_bse\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=v1PSZ48DnuEC&printsec=frontcover&hl=es&source=gs_bse_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

**BARRIONUEVO, GONZALEZ.** *CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE CÁMARAS ANECOICAS* [En línea]. (Proyecto Investigativo). Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Escuela de Ingeniería Electrónica. Córdoba-Argentina. 2012. pp. 2-4. [Consulta: 15 Febrero 2022]. Disponible en: <https://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/fundamentosdeacusticayelectroacustica/pub/file/FAyE0512E1-Barrionuevo-Gonzalez.pdf>

**BENAVIDES, E.** *DISEÑO DE UN DISPOSITIVO EXPERIMENTAL DE MAQUINADO PARA ALEACIONES DE ALUMINIO SILICIO* [En línea]. (Tesis). (Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. San Nicolás de los Garza-México. 2012. p. 16. [Consulta: 15 Febrero 2022]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/3296/1/1080256529.pdf>

**BOLTRÁN, Á.** *DESARROLLO DE UN MATERIAL ABSORBENTE DE RADIACIONES ELECTROMAGNÉTICAS EN EL ESPECTRO DE [0-18GHz]* [En línea]. (Tesis). (Ingeniería). Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química. Madrid-España. 2015. p. 30. [Consulta: 3 Diciembre 2021]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/288497933.pdf>

**CITE, E.** “Cámara Anecoica”. *CITE Energía* [En línea], 2017, (Perú) 1(21), p. 1. [Consulta: 17 Noviembre 2021]. Disponible en: <http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/camara-anecoica.pdf>

**CORREDOR, PEDRAZA, HERNÁNDEZ.** “Tecnología Bluetooth: Alternativa para redes celulares de voz y datos”. *Visión Electrónica* [En línea], 2009, Perú 3(2), pp. 73-84. [Consulta: 20 Febrero 2022]. ISSN 2248-1728 Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4168662.pdf>

**DOMINGUEZ, D.** *Descripción y análisis de la tecnología LTE* [En línea]. (Trabajo de Diploma). Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica. Santa Clara-Cuba. 2014. pp. 1-4. [Consulta: 22 Noviembre 2021]. Disponible en: <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/1052/Daschel%20Dom%C3%ADnguez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**ESPÍN, MALDONADO.** 2008. *Diseño de un sistema de telemetría basado en transmisiones de corriente y tecnología celular GSM, para el monitoreo y prevención de fugas en una sección del poliducto transecuatoriano* [En línea]. (Tesis). (Ingeniería). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Quito-Ecuador. 2008. pp. 13-14. [Consulta: Febrero 20 2022]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/842/1/CD-1269.pdf>

**FERNÁNDEZ, J.** *El universo de las radiaciones* [En línea]. Buenos Aires- Argentina: Eudeba, 2007, pp. 13-15. [Consulta: 18 Enero 2022]. Disponible en: [https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/101405?prev=as&as\\_all=el\\_universo\\_de\\_las\\_radiaciones&as\\_all\\_op=unaccent\\_\\_icontains](https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/101405?prev=as&as_all=el_universo_de_las_radiaciones&as_all_op=unaccent__icontains)

**FOMBUENA, FENOLLAR, MONTANÉS.** *Caracterización de materiales poliméricos* [En línea]. Valencia-España: Universitat Politècnica de Valencia, 2016, p. 8. [Consulta: 11 Diciembre 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/57426>

**FONTAL, B.** *El Espectro Electromagnético y sus Aplicaciones* [En línea]. Mérida-Venezuela: Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química, 2005, p. 9. [Consulta: 5 Febrero 2022]. Disponible en: [http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/16746/espectro\\_electromagnetico.pdf;jsessionid=789A78CEFF110146F271D32C839A5D05?sequence=1](http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/16746/espectro_electromagnetico.pdf;jsessionid=789A78CEFF110146F271D32C839A5D05?sequence=1)

**GONZÁLVEZ, J.** *An overview of the GSM system* [En línea]. (Tesis). (Doctorado). University of Strathclyde, Communications Division, Departamento of Electronic & Electrical Engineering. Glasgow-Escocia. 1999. p. 9. [Consulta: 10 Febrero 2022]. Disponible en: [https://perswww.kuleuven.be/~u0068190/Onderwijs/Extra\\_info/GSM.pdf](https://perswww.kuleuven.be/~u0068190/Onderwijs/Extra_info/GSM.pdf)

**HUIDOBRO, ORDOÑEZ.** *Comunicaciones por radio: tecnologías, redes y servicios de radiocomunicaciones: el espectro electromagnético* [En línea]. Madrid-España: RA-MA, 2014,

pp. 128-202. [Consulta: 12 Diciembre 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/106431>

**HUIDOBRO, J.** “Wi-Fi. Conectividad en todo lugar y momento” *ACTA* [En línea], 2005, (España) 1(35), pp. 33-39. [Consulta: 10 Febrero 2022]. ISSN 1888-6051 Disponible en: [https://www.acta.es/medios/articulos/informatica\\_y\\_computacion/035031.pdf](https://www.acta.es/medios/articulos/informatica_y_computacion/035031.pdf)

**HULL, D.** *Materiales Compuestos* [En línea]. Barcelona-España: Editorial REVERTÉ, 1987, p. 5. [Consulta: 2 Febrero 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/205219>

**IMPTEK.** *BANDAS ASFÁLTICAS autoadhesivas, autoprotección metálica* [En línea]. Ecuador: Imptek, 2015. [Consulta: 04 Febrero 2022]. Disponible en: <https://imptek.com.ec/wp-content/uploads/2021/09/alumband-ficha-tecnica.pdf>

**KENTUCKY, U.** *Global System for Mobile Communication (GSM)* [En línea]. United States: The International Engineering, 2017. [Consulta: 13 Enero 2022]. Disponible en: <https://www.uky.edu/~jclark/mas355/GSM.PDF>

**OMEROVIC, S.** *WiMax Overview* [En línea]. (Tesis). University of Ljubljana. Ljubliana-Eslovenia 2006, pp. 3-14. [Consulta: 10 Febrero 2022]. Disponible en: <https://ece3115.elimu.net/Notes/WiMax/WiMax%20Overview.pdf>

**ORREGO, ELAO, PAZOS.** “Cámaras acústicas anecoicas de bajo costo y fácil implementación” *Redalyc* [En línea], 2018, (Colombia) 23(4), pp. 471-478. [Consulta: 10 Diciembre 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/849/84959055006/html/>

**ORREGO, A.** *DISEÑO DE UNA CÁMARA ANECOICA PARA EL LABORATORIO DE VIBRACIONES Y ACÚSTICA (LAVA) DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE UNIVALLE* [En línea]. (Tesis). (Ingeniería). Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica. Santiago de Cali-Colombia. 2015. p. 12. [Consulta: 24 Diciembre 2021]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/16465/0527773.pdf?sequence=1>

**RÁBANOS, H.** *Comunicaciones Móviles* [En línea]. Tercera Edición. Madrid-España: Centro de Estudios Ramón Áceres, 1996, pp. 23-24. [Consulta: 1 Febrero 2021]. Disponible en:

<https://books.google.com.ec/books?id=lnqnDAAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>

**RADIANSA.** *Radiansa Consulting* [En línea]. España: Radiansa Consulting, 2022. [Consulta: 4 Febrero 2022]. Disponible en: <https://www.radiansa.com/es/radiacion-antenas-alta-frecuencia/blindaje-radiacion-alta-frecuencia.htm#>

**RODÍGUEZ, V.** “INTRODUCCIÓN A LAS CÁMARAS ANECOICAS PARA MEDICIONES DE CAMPO ELÉCTRICO” *ETS-LINDGREN* [En línea], 2004, (United States) 1(1), pp. 1-2 [Consulta: 5 Enero 2021]. Disponible en: <https://www.cenam.mx/simposio2004/memorias/TA-026.pdf>

**ROJAS, K.** *Radiación Electromagnética* [En línea]. (Monografía). (Especialista). Universidad Pontificia Bolivariana, Especialización en Telecomunicaciones. Bucaramanga-Colombia. 2009. pp. 13-15. [Consulta: 8 Enero 2022]. Disponible en: [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/432/digital\\_17516.pdf?sequence=1](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/432/digital_17516.pdf?sequence=1)

**SALAZAR, J.** *Redes inalámbricas* [En línea]. Versión de Prueba. Praga-República Checa: TechPedia, 2016, pp. 6-7. [Consulta: 26 Enero 2021]. Disponible en: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01\\_R\\_ES.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100918/LM01_R_ES.pdf)

**YINAN, SUGUO, DAWEI.** “Overview of Wi-Fi Technology” *Atlantis Press* [En línea], 2012, (Francia) 330(1), pp. 1-4. [Consulta: 20 Febrero 2022]. ISSN 1951-6851 Disponible en: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/iccas-12/2794>

## ANEXOS

### ANEXO A: TABLAS DE MEDICIONES DE ATENUACIÓN Y ABSORCIÓN EN DIFERENTES MATERIALES

Wifi: 2.4GHz

MATERIAL	TECNOLOGÍA/FRECUENCIA				
	WIFI				
	2,4GHz				
	1 medida [dBm]	2 medida [dBm]	3 medida [dBm]	MEDIA [dBm]	ATE. GA [dB]
Sin material	-57,68	-57,82	-57,7	-57,73	
Esponja	-66,14	-66,22	-66,31	-66,22	8,49
Cubeta de huevos	-60,06	-60,08	-60,04	-60,06	2,33
2 cubeta de huevos	-62,87	-62,89	-62,82	-62,86	5,13
Tol galvanizado	-72,05	-71,94	-71,83	-71,94	14,21
Lija gruesa	-58,52	-58,46	-58,85	-58,61	0,88
Espuma flex	-60,52	-60,45	-60,50	-60,49	2,76
Tol pintura gris	-69,52	-69,45	-69,37	-69,45	11,71
Tol pintura blanca	-64,25	-64,26	-64,30	-64,27	6,54
MDF	-64,40	-64,33	-64,38	-64,37	6,64
Melánico aglomerado	-64,36	-64,38	-64,33	-64,36	6,62
Chova	-68,42	-68,58	-68,52	-68,51	10,77
Tela negra	-63,63	-63,60	-63,62	-63,62	5,88
Tela negra pintada	-63,46	-63,48	-63,45	-63,46	5,73
Cubeta+tela negra	-64,55	-64,50	-64,52	-64,52	6,79
Tela negra +cubeta	-63,81	-63,71	-63,73	-63,75	6,02
Pintura+cubeta	-64,10	-64,80	-64,12	-64,34	6,61
Pintura+cubeta+pintura	-64,38	-64,43	-64,40	-64,40	6,67
Tela blanca	-64,70	-64,66	-64,67	-64,68	6,94
Chova+tol gal	-81,75	-81,54	-81,62	-81,64	23,90
Chova+tol gal+espuma	-84,45	-84,44	-84,31	-84,40	26,67
Chova+tol gal+espuma+tela negra	-84,26	-83,67	-83,63	-83,85	26,12
Chova+tol gal+cubeta+tela negra	-76,57	-76,60	-76,86	-76,68	10,45
Chova+tol gal+2cubeta+tela negra	-77,61	-77,57	-77,71	-77,63	19,90

GSM: 3GHz

MATERIAL	TECNOLOGÍA/FRECUENCIA				
	GSM				
	3G				
	1 medida [dBm]	2 medida [dBm]	3 medida [dBm]	MEDIA [dBm]	ATE. GA [dB]
Sin material	-57,68	-57,82	-57,7	-57,73	
Esponja	-65,38	-66,05	-65,74	-65,72	7,99
Cubeta de huevos	-61,76	-61,07	-60,86	-61,23	3,50
2 cubeta de huevos	-63,26	-62,76	-62,87	-62,96	5,23
Tol galvanizado	-71,80	-71,20	-71,36	-71,45	13,72
Lija gruesa	-58,60	-58,47	-58,68	-58,58	0,85

Espuma flex	-60,28	-60,35	-60,34	-60,32	2,59
Tol pintura gris	-68,56	-68,78	-69,00	-68,78	11,05
Tol pintura blanca	-64,96	-65,01	-64,83	-64,93	7,20
MDF	-64,06	-63,86	-63,74	-63,89	6,15
Melánico aglomerado	-63,74	-63,57	-63,48	-63,60	5,86
Chova	-68,19	-68,02	-67,76	-67,99	10,26
Tela negra	-63,45	-63,52	-63,54	-63,50	5,77
Tela negra pintada	-63,05	-62,68	-62,77	-62,83	5,10
Cubeta+tela negra	-64,07	-64,26	-64,30	-64,21	6,48
Tela negra +cubeta	-62,50	-62,92	-63,18	-62,87	5,13
Pintura+cubeta	-64,68	-64,89	-64,75	-64,77	7,04
Pintura+cubeta+pintura	-64,38	-64,27	-64,19	-64,28	6,55
Tela blanca	-64,27	-64,19	-64,57	-64,34	6,61
Chova+tol gal	-81,06	-80,73	-80,98	-80,92	23,19
Chova+tol gal+espuma	-83,59	-84,07	-83,82	-83,83	26,09
Chova+tol gal+espuma+tela negra	-83,17	-83,60	-83,57	-83,45	25,71
Chova+tol gal+cubeta+tela negra	-77,06	-77,39	-77,60	-77,35	19,62
Chova+tol gal+2cubeta+tela negra	-77,44	-77,86	-78,14	-77,81	20,08

#### LTE: 4GHz

MATERIAL	TECNOLOGÍA/FRECUENCIA				
	LTE				
	4G				
	1 medida [dBm]	2 medida [dBm]	3 medida [dBm]	MEDIA [dBm]	ATE. GA [dB]
Sin material	-57,68	-57,82	-57,7	-57,73	
Espuma flex	-60,35	-60,47	-60,39	-60,40	2,67
Tol pintura gris	-67,42	-67,82	-67,34	-67,53	9,79
Tol pintura blanca	-65,63	-65,94	-65,04	-65,54	7,80
MDF	-62,62	-62,87	-63,16	-62,88	5,15
Melánico aglomerado	-61,92	-62,03	-62,35	-62,10	4,37
Chova	-67,28	-67,59	-67,50	-67,46	9,72
Tela negra	-63,38	-63,47	-63,42	-63,42	5,69
Tela negra pintada	-61,92	-62,27	-62,58	-62,26	4,52
Cubeta+tela negra	-65,22	-65,04	-64,98	-65,08	7,35
Tela negra +cubeta	-61,45	-61,79	-61,88	-61,71	3,97
Pintura+cubeta	-64,69	-64,72	-64,76	-64,72	6,99
Pintura+cubeta+pintura	-64,36	-64,40	-64,28	-64,35	6,61
Tela blanca	-63,95	-63,92	-63,99	-63,95	6,22
Chova+tol gal	-79,93	-79,25	-80,06	-79,75	22,01
Chova+tol gal+espuma	-82,65	-82,78	-82,84	-82,76	25,02
Chova+tol gal+espuma+tela negra	-81,73	-82,64	-82,32	-82,23	24,50
Chova+tol gal+cubeta+tela negra	-78,52	-78,14	-77,93	-78,20	20,46
Chova+tol gal+2cubeta+tela negra	-78,29	-78,64	-78,58	-78,50	20,77

**Wifi: 5GHz**

<b>MATERIAL</b>	<b>TECNOLOGÍA/FRECUENCIA</b>				
	<b>WIFI</b>				
	<b>5GHz</b>				
	1 medida [dBm]	2 medida [dBm]	3 medida [dBm]	MEDIA [dBm]	ATE. GA [dB]
Sin material	-57,68	-57,82	-57,7	-57,73	
Esponja	-62,30	-62,37	-62,33	-62,33	4,60
Cubeta de huevos	-63,50	-63,55	-63,47	-63,51	5,77
2 cubeta de huevos	-64,62	-64,58	-64,54	-64,58	6,85
Tol galvanizado	-76,92	-77,06	-76,83	-76,94	19,20
Lija gruesa	-58,73	-58,67	-58,69	-58,70	0,96
Espuma flex	-60,62	-60,58	-60,49	-60,56	2,83
Tol pintura gris	-66,04	-66,45	-66,52	-66,34	8,60
Tol pintura blanca	-67,10	-66,68	-66,53	-66,77	9,04
MDF	-62,23	-62,10	-62,90	-62,41	4,68
Melánico aglomerado	-61,32	-61,58	-61,62	-61,51	3,77
Chova	-65,95	-66,08	-66,43	-66,15	8,42
Tela negra	-63,20	-63,27	-63,15	-63,21	5,47
Tela negra pintada	-61,53	-61,72	-61,57	-61,61	3,87
Cubeta+tela negra	-65,45	-65,32	-65,28	-65,35	7,62
Tela negra +cubeta	-60,82	-60,73	-60,65	-60,73	3,00
Pintura+cubeta	-64,76	-64,64	-64,73	-64,71	6,98
Pintura+cubeta+pintura	-64,32	-64,47	-64,53	-64,44	6,71
Tela blanca	-63,75	-63,82	-63,85	-63,81	6,07
Chova+tol gal	-79,01	-78,92	-78,85	-78,93	21,19
Chova+tol gal+espuma	-81,47	-80,72	-81,54	-81,24	23,51
Chova+tol gal+espuma+tela negra	-80,37	-81,16	-80,54	-80,69	22,96
Chova+tol gal+cubeta+tela negra	-79,09	-79,17	-78,52	-78,93	21,19
Chova+tol gal+2cubeta+tela negra	-79,70	-79,89	-79,68	-79,76	22,02



## 6GHz

MATERIAL	FRECUENCIA				
	6GHz				
	1 medida [dBm]	2 medida [dBm]	3 medida [dBm]	MEDIA [dBm]	ATE. GA [dB]
Sin material	-57,64	-57,62	-57,68	-57,65	
Espanja	-61,30	-61,36	-61,38	-61,35	3,70
Cubeta de huevos	-63,95	-63,90	-64,14	-64,00	6,35
2 cubeta de huevos	-62,80	-62,74	-62,61	-62,72	5,07
Tol galvanizado	-72,19	-72,36	-72,32	-72,29	14,64
Lija gruesa	-60,65	-60,66	-60,63	-60,65	3,00
Espuma flex	-58,71	-58,66	-58,91	-58,76	1,11
Tol pintura gris	-65,41	-66,08	-65,71	-65,73	8,09
Tol pintura blanca	-67,70	-67,67	-67,53	-67,63	9,99
MDF	-61,63	-61,60	-61,62	-61,62	3,97
Melánico aglomerado	-60,93	-60,94	-60,92	-60,93	3,28
Chova	-64,92	-65,19	-64,98	-65,03	7,38
Tela negra	-63,18	-63,22	-63,17	-63,19	5,54
Tela negra pintada	-61,44	-61,48	-61,49	-61,47	3,82
Cubeta+tela negra	-65,37	-65,52	-65,33	-65,41	7,76
Tela negra +cubeta	-60,44	-60,40	-60,46	-60,43	2,79
Pintura+cubeta	-64,80	-65,29	-64,78	-64,96	7,31
Pintura+cubeta+pintura	-63,78	-64,03	-64,26	-64,02	6,38
Tela blanca	-63,60	-63,70	-63,94	-63,75	6,10
Chova+tol gal	-78,02	-78,78	-77,40	-78,07	20,42
Chova+tol gal+espuma	-80,17	-80,26	-80,08	-80,17	22,52
Chova+tol gal+espuma+tela negra	-80,36	-80,15	-80,04	-80,18	22,54
Chova+tol gal+cubeta+tela negra	-79,42	-79,30	-79,10	-79,27	21,63
Chova+tol gal+2cubeta+tela negra	-80,36	-79,79	-80,13	-80,09	22,45

## ANEXO B: MANUAL DE USUARIO DE EQUIPOS

### Generador de señales

Para acceder al manual de usuario del equipo generador de señales puede ingresar al siguiente enlace:

<https://assets-us-01.kc-usercontent.com/ecb176a6-5a2e-0000-8943-84491e5fc8d1/c8654eea-d3ca-414d-8100-fcc2285ddaa7/Anritsu MG3690B RF Microwave Signal Generators Technical Data Sheet.pdf>

### Analizador de espectros

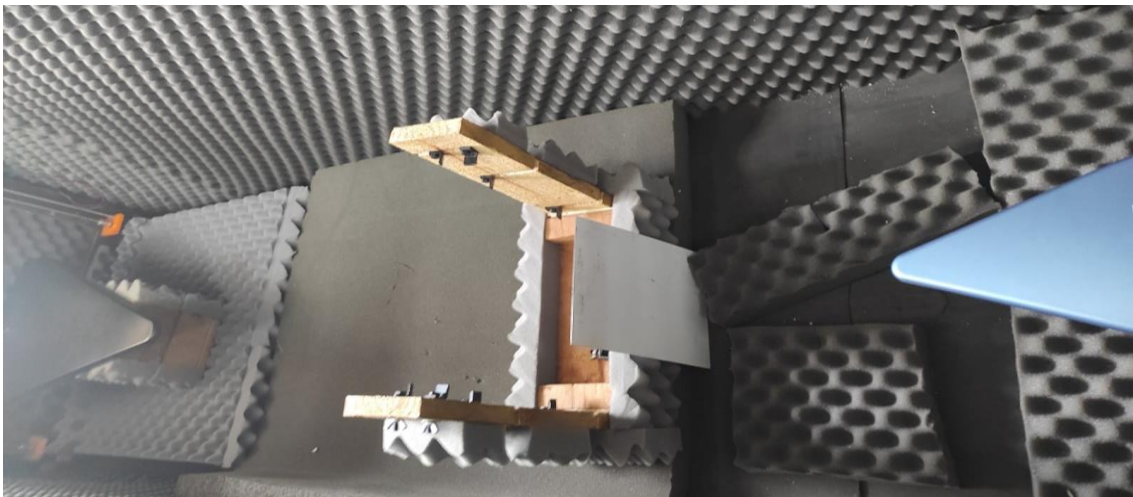
Para acceder al manual de usuario del equipo analizador de espectros puede ingresar al siguiente enlace:

<https://dl.cdn-anritsu.com/en-us/test-measurement/files/Brochures-Datasheets/Catalogs/datasheet/11410-00525K.pdf>

**ANEXO C: IMÁGENES DE LAS MEDICIONES DE LOS MATERIALES ABSORBENTES Y REFLEJANTES**



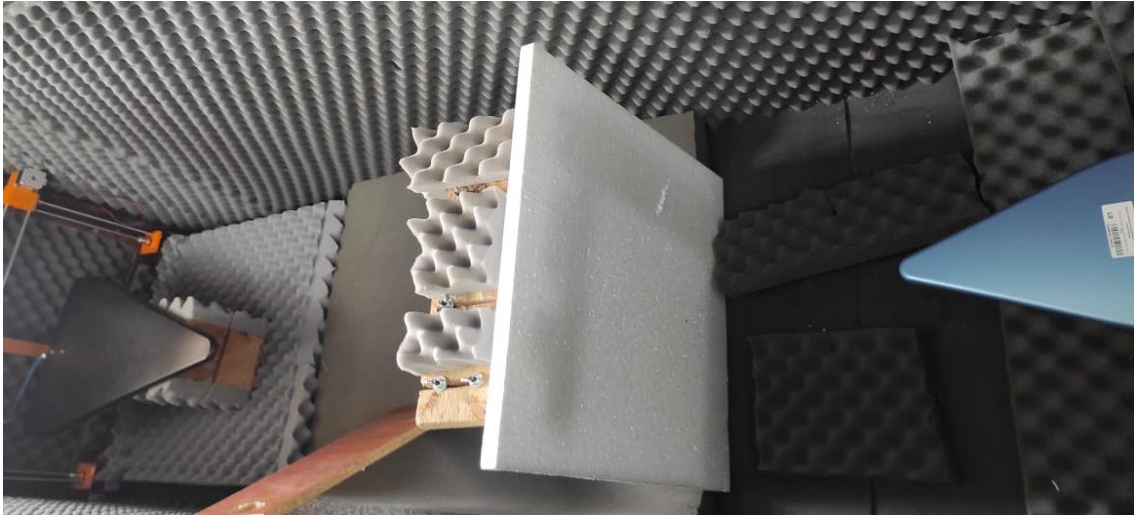
Escenario exterior



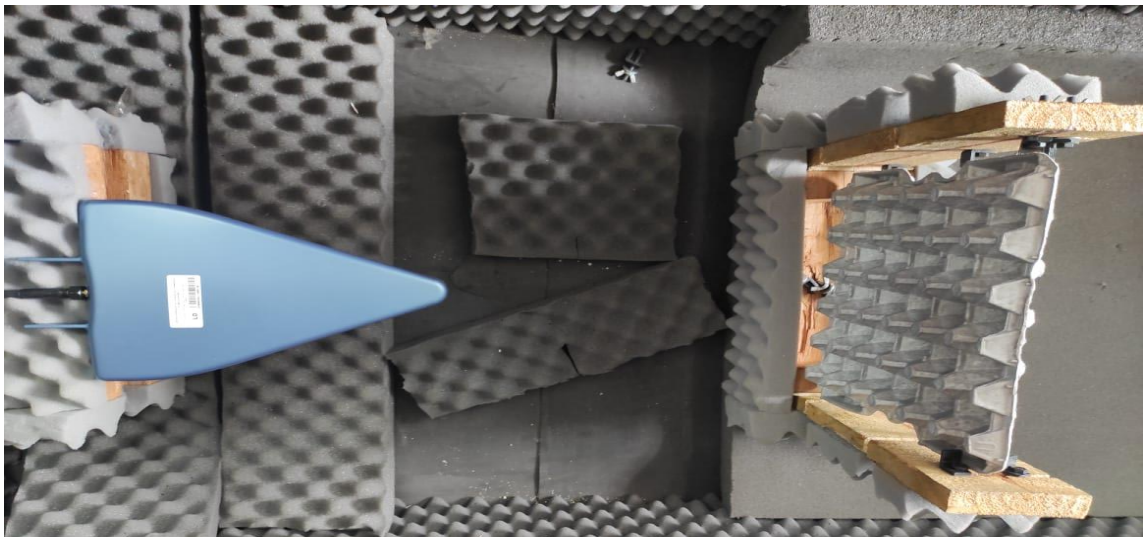
Escenario interior introducido tol prepintado



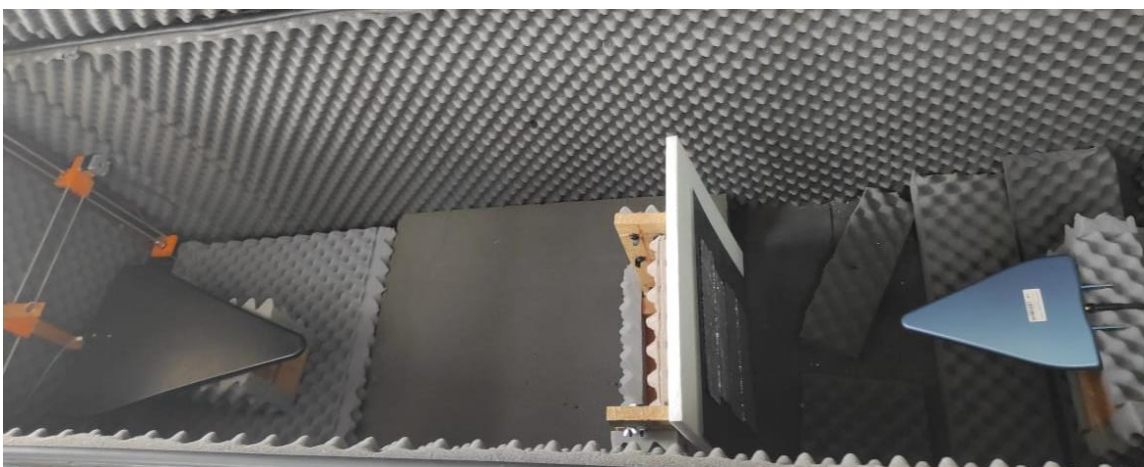
Escenario interior introducido tela cambrela negra



Escenario interior introducido espuma flex

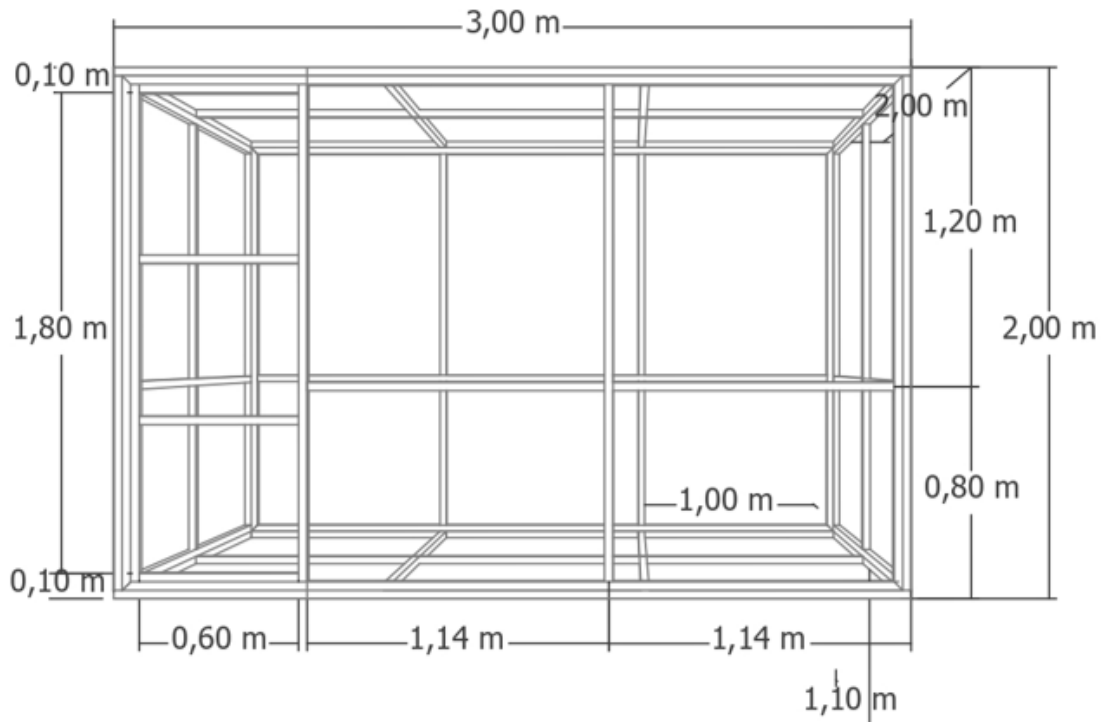


Antena transmisora con cubetas de huevos

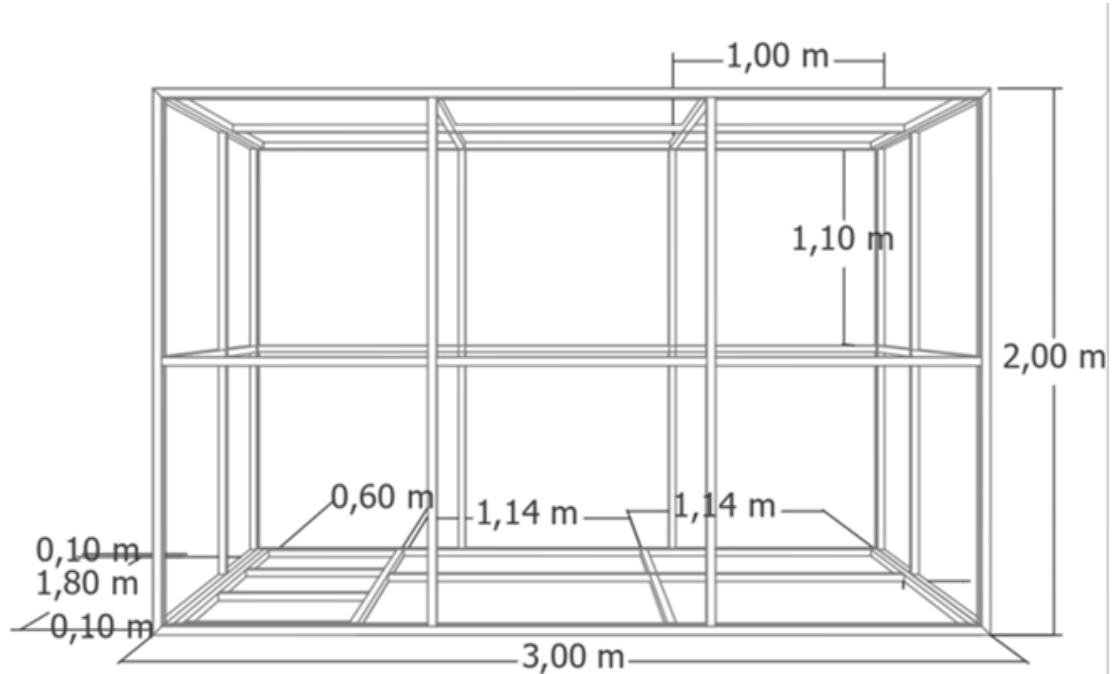


Escenario interior con los materiales escogidos (tol galvanizado, chova alumband, espuma flex y cubetas de huevos)

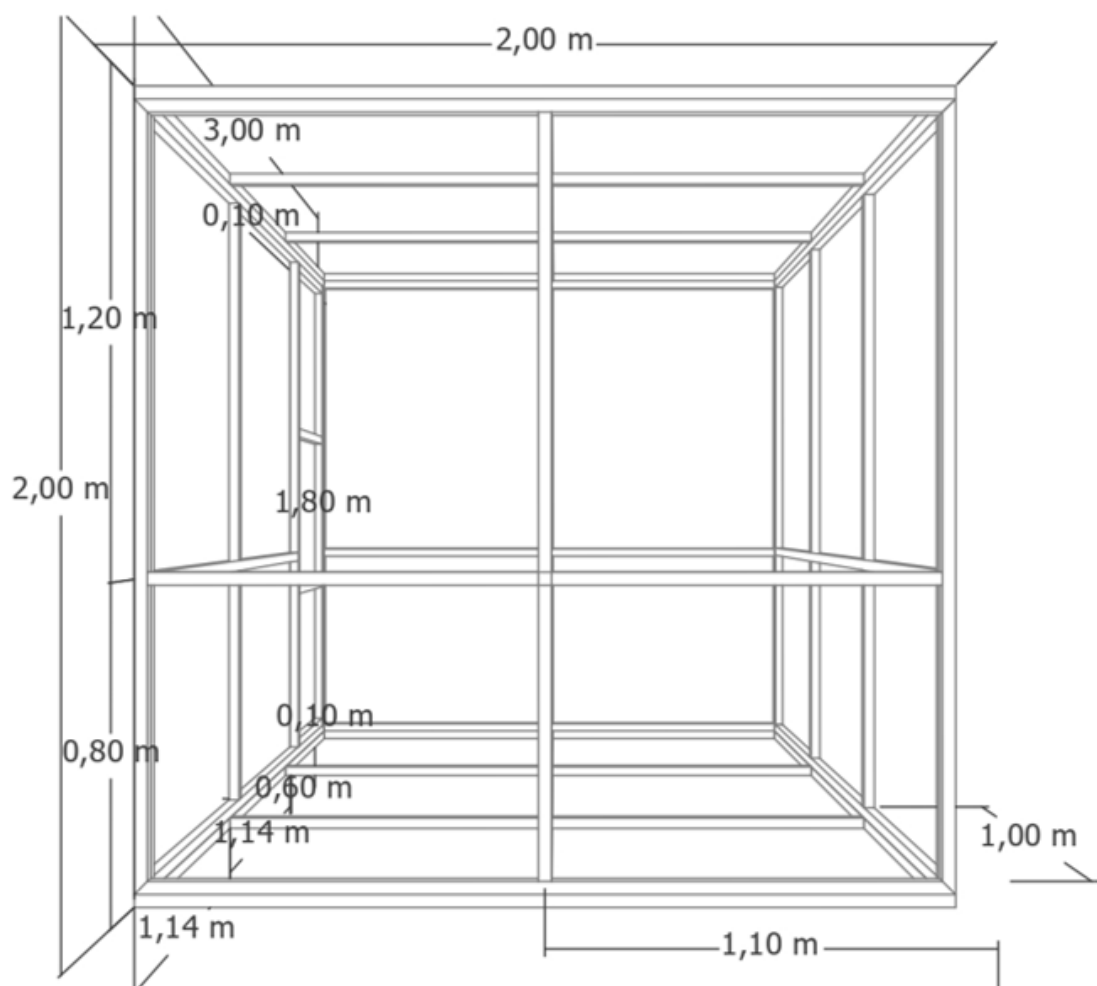
**ANEXO D: PLANOS DE LA CÁMARA ANECOICA DISEÑADOS EN AUTOCAD Y SKETCHUP**



Vista frontal de la estructura



Vista de la planta de la cámara anecoica



Vista lateral de la cámara anecoica

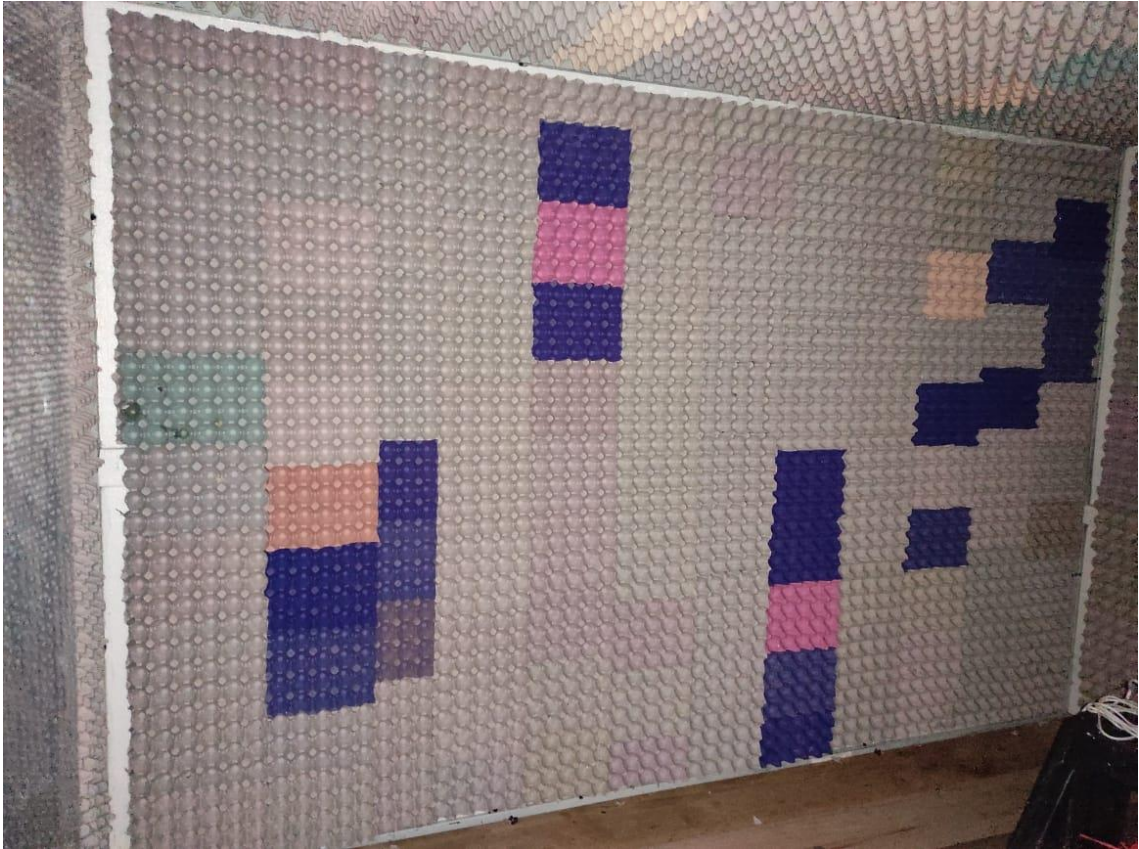
**ANEXO E: IMÁGENES DEL PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN DE LA CÁMARA ANECOICA**



Cobertura total de tol galvanizado en la estructura rectangular.



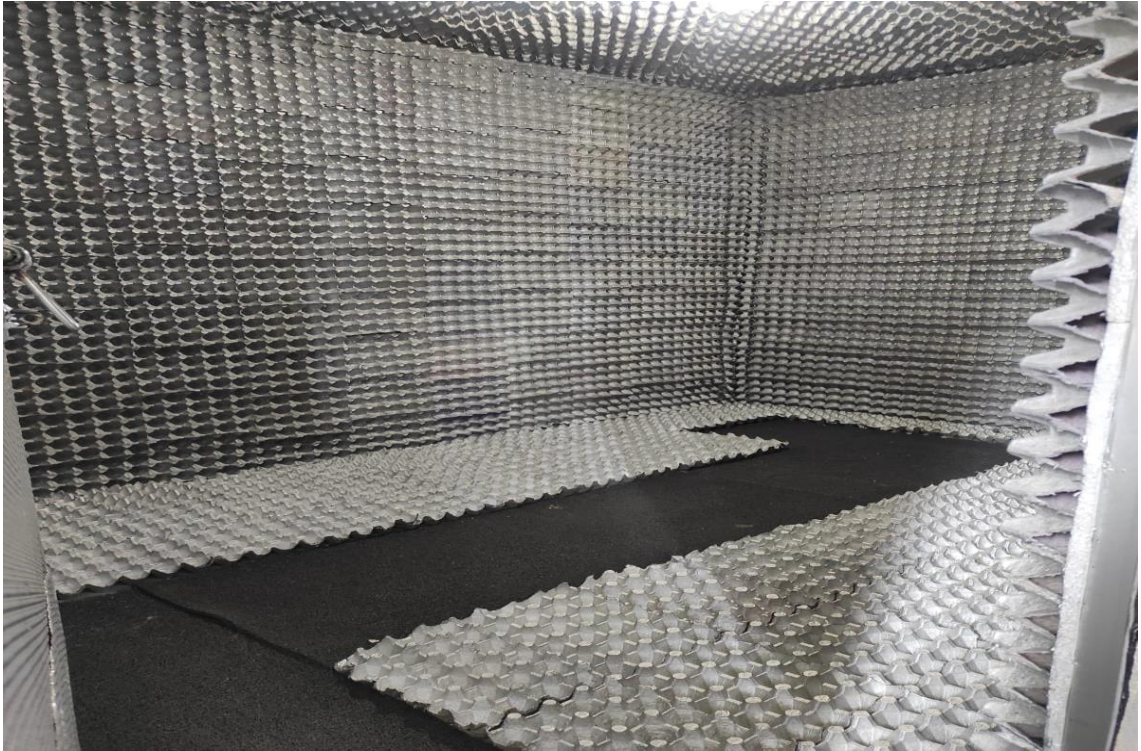
Estructura metálica interna de la caja.



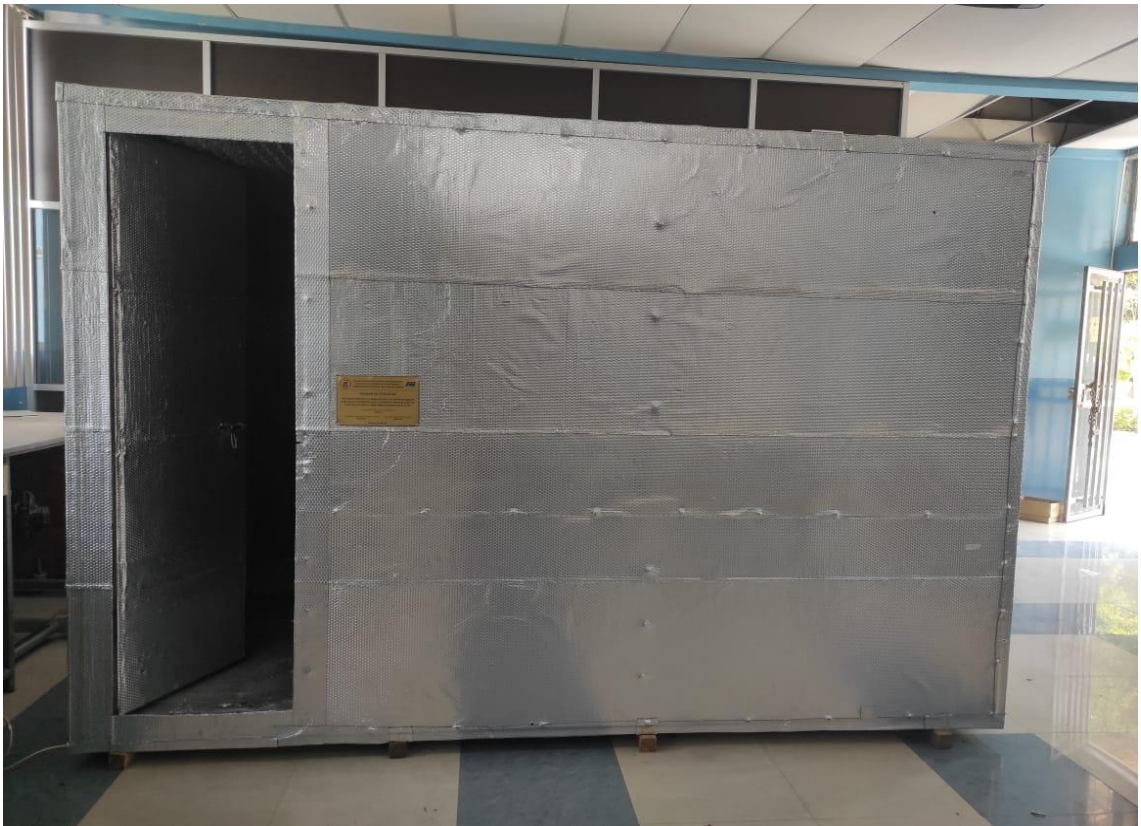
Recubrimiento de cubetas de huevos en las paredes del interior de la caja.



Pegado de cubetas de huevos y colocación de la alfombra en el piso de la caja



Pintado de las cubetas en el interior de la caja.



Cámara anecoica terminada