

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de  
Telecomunicación

**Equipamiento y dispositivos para ensayos de  
compatibilidad electromagnética en entornos de  
cámaras anecoicas en el ámbito de la regulación  
europea**

## TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA EN SISTEMAS DE  
TELECOMUNICACIÓN

**Autor: Domingo Martínez Ródenas**

Director: José Fayos Fernandez

Codirector: Antonio Manuel Martínez Gonzalez

Cartagena, diciembre de 2020



## Resumen

Con la presente memoria se realiza un estudio del estado del arte de cámaras anecoicas en el ámbito de la compatibilidad electromagnética. Se destaca la importancia de esta tecnología y su evolución a lo largo de los años. Se conocerán las características propias de estas cámaras: tanto los fenómenos electromagnéticos que tienen lugar en ella como todos aquellos elementos necesarios para evitar o amortiguar dichos fenómenos (en el caso de que sean perjudiciales) o incrementarlos (cuando sean beneficiosos). Se continuará con los organismos reguladores que se encargan de realizar la normativa vigente en Europa, la cual establecerá el protocolo de medida. Se finalizará conociendo el sector privado dedicado a esta tecnología: se hará un repaso de algunas de las compañías europeas más destacables y la diversidad de productos que ponen a servicio del cliente. Con el fin de dar forma a este proyecto, se incluye un proyecto de cámara diseñada por una de estas empresas.

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>5</b>
<b>2. Consideraciones previas</b>	<b>6</b>
<b>3. Conceptos electromagnéticos</b>	<b>7</b>
3.1. Reflexión . . . . .	7
3.2. Apantallamiento . . . . .	8
3.3. Distancia . . . . .	8
3.4. Polarización . . . . .	9
3.5. Pérdidas por propagación en espacio libre . . . . .	10
3.6. Quiet Zone . . . . .	10
<b>4. Estructura</b>	<b>12</b>
4.1. Ventilación . . . . .	13
4.2. Conexión con el equipamiento exterior . . . . .	14
4.3. Sistemas de extinción de incendios . . . . .	14
4.4. Iluminación . . . . .	15
<b>5. Absorbentes electromagnéticos</b>	<b>16</b>
5.1. Comportamiento . . . . .	16
5.2. Absorbentes Dieléctricos . . . . .	19
5.2.1. Absorbentes piramidales . . . . .	19
5.2.2. Absorbente de cuña (Wedge Absorber) . . . . .	23
5.2.3. Absorbente de microondas «Convolutad» . . . . .	24
5.2.4. Absorbente transitable (Walkway absorber) . . . . .	24
5.3. Absorbentes Magnéticos: Placas de Ferrita (Ferrite Tiles) . . . . .	25
5.4. Absorbentes híbridos . . . . .	26
5.5. Protección contra el fuego . . . . .	27
<b>6. Normativa</b>	<b>28</b>
6.1. Organismos reguladores . . . . .	28
6.2. Estándares . . . . .	29
<b>7. Clasificación</b>	<b>45</b>
7.1. Según el recubrimiento de absorbente . . . . .	45
7.2. Según el estándar . . . . .	45
7.3. Según la distancia de medida . . . . .	45
<b>8. Modelos de cámara más comunes</b>	<b>46</b>
8.1. Cámara rectangular convencional . . . . .	46
8.2. Cámara compacta (compact range chamber) . . . . .	47
8.3. Cámara cónica (tapered chamber) . . . . .	51
8.4. Cámara de doble bocina (Double Horn Chamber) . . . . .	52
8.5. Celda TEM . . . . .	53
8.6. Cámara de reverberación (Mode-stirred chamber) . . . . .	53

<b>9. Tipos de medidas</b>	<b>54</b>
9.1. Medidas de RCS (Radar Cross Section) . . . . .	54
9.2. Medidas de campo cercano . . . . .	55
<b>10. Base de datos</b>	<b>57</b>
<b>11. Proyecto real</b>	<b>59</b>
<b>12. Conclusión</b>	<b>60</b>
<b>13. Bibliografía</b>	<b>61</b>
<b>14. Anexo</b>	<b>63</b>

## 1. Introducción

La compatibilidad electromagnética ha adquirido una gran importancia en las últimas décadas debido a la necesidad de conocer la interacción de los numerosos dispositivos electrónicos de reducido tamaño (i.e. una antena de parche), sistemas integrados de tamaño medio (i.e. un electrodoméstico), y estructuras de gran volumen con electrónica embarcada (i.e. u avión) con su entorno. Según el Informe Técnico de la Comisión Electrotécnica Internacional 61000-1-1, se define a la compatibilidad electromagnética como "la capacidad de cualquier aparato, equipo o sistema para funcionar de forma satisfactoria en su entorno electromagnético sin provocar perturbaciones electromagnéticas sobre cualquier cosa de ese entorno". En una cámara anecoica somos capaces de determinar tanto que sus niveles de radiación no sobrepasen ciertos límites para asegurar que estos no interfieren con otros, como su inmunidad frente a posibles interferencias que puedan haber e impedir su correcto funcionamiento. El objetivo de este trabajo de fin de estudios es el de recopilar toda la información disponible sobre la tecnología de cámaras anecoicas, para después, a partir de estos conocimientos, realizar un diseño óptimo de una cámara.

Pero primero, ¿qué es una cámara anecoica? Una cámara anecoica es un recinto cerrado diseñado para evitar la penetración de campos exteriores y la reflexión de ondas electromagnéticas en su interior, con el objetivo de caracterizar la sensibilidad e influencia de la energía radiante sobre dispositivos en un rango de frecuencias determinado, para lo que se requiere medidas de precisión sin ecos electromagnéticos del propio dispositivo ni ruidos electromagnéticos ambientales. A través de este documento haremos un repaso de los conceptos físicos más importantes que tienen lugar durante el proceso de medición y que definirá el equipamiento necesario en la estructura. Estudiaremos dicho equipamiento: su función en el protocolo de medida, cómo trabajan, los tipos que podemos encontrar y características de cada uno. Una vez conocido la que será nuestra base para dar forma a la cámara, nos sumergiremos en el protocolo de medida a través de la normativa vigente. Una vez conocido el estado del arte, recurriremos a las entidades privadas para conocer el mercado actual: hay gran variedad de productos y de empresas dedicadas a la elaboración e instalación tanto de cámaras completas como del equipamiento necesario para dar forma a una. Por lo tanto es de vital importancia conocer dichas empresas y sus productos, con el fin de equipar nuestra cámara correctamente.

Por último, una vez conocido todo lo necesario, pasaremos a dar forma a una cámara anecoica a través de un proyecto diseñado con la ayuda de una de estas empresas.

## 2. Consideraciones previas

Antes de pasar a materia, es interesante conocer un poco la historia de esta tecnología y ver como surgió y desarrolló a lo largo de los años, ya que ésta tenía una precursora, las Open Area Test Site (OATS). Se tratan de instalaciones donde se realizan mediciones en campo abierto sobre un plano de masa metálico. Esto encuentra su similitud con las cámaras semi-anecoicas. El objetivo era la simulación del "free space", cosa que no se podía conseguir en un espacio confinado debido a que en estos se producían una gran cantidad de reflexiones que impedían una correcta medición. Sin embargo, estas OATS presentaban a su vez algunas desventajas: interferencias RF, la influencia de las condiciones meteorológicas, reflexiones producidas en entornos cercanos a la zona de medida o la limitación del proceso de medida a las horas del día son algunos de los ejemplos. Estas desventajas, unidas al hecho de empezaron a surgir absorbentes (basados en pelo de animal con una reflectividad de -20 dB) y la necesidad durante la segunda guerra mundial de numerosas mediciones de antenas y radar, fueron lo que impulsó por la década de 1950 a realizar mediciones en espacios confinados equipados con dichos absorbentes [4]. Comenzaron a surgir las cámaras anecoicas.

Aunque los absorbentes fueron mejorando, dando lugar en 1960 a los absorbentes piramidales, sólo eran eficaces para el rango de frecuencias entre [100,1000] MHz. Esto supuso un problema en 1970 puesto que con la entrada de nuevas regulaciones se requerían de absorbentes capaces de bajar hasta los 30 MHz. Sin embargo, los principales proveedores no eran capaces de producir absorbentes eficaces a estas frecuencias, debido a que no tenían métodos eficientes para predecir o medir el rendimiento de éstos y requerían de grandes dimensiones, lo que encarecía mucho el producto. En 1969, la Universidad de Tokyo patentó las «ferrite tiles» (placas de ferrita): absorbentes eficaces en el rango de [30,1000] MHz. La liberación de esta patente en la década de 1980 permitió que se redujeran los precios de estos absorbentes y por consecuencia, los de las cámaras anecoicas. Otra etapa estuvo marcada por el surgimiento de modelos numéricos para los absorbentes y programas que permitían simular los campos que se generaban en una cámara anecoica. Ésto dió lugar a otro popular tipo de absorbente: el híbrido, una combinación del absorbente piramidal y las placas de ferrita [4].

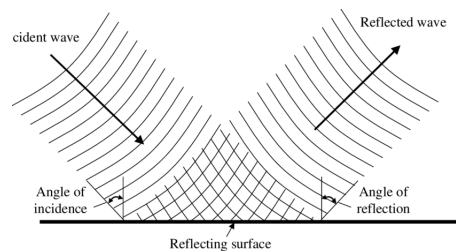
Por último, destacar la aportación de IBM, una de las primeras compañías que invirtió en la construcción de cámaras anecoicas. En 1982 construyeron la primera cámara operativa de 3 m de largo. Situada en Florida, su desarrollo costó alrededor de dos millones de dólares. Más tarde, en 1986, Tejas, volvieron a construir la primera cámara operativa de 10 m, esta vez utilizando como absorbente las placas de ferrita [4].

### 3. Conceptos electromagnéticos

Antes de comenzar a seleccionar el equipamiento adecuado para nuestra cámara, necesitamos conocer una serie de fenómenos físicos que ocurren dentro de nuestro recinto y que pueden afectar a nuestras mediciones. El conocimiento de estos fenómenos y las posibles consecuencias que puedan tener en el proceso de medición serán determinantes en la selección del equipamiento y sus características, con el objetivo de evitar los efectos perjudiciales o incrementar los beneficiosos.

#### 3.1. Reflexión

El primer fenómeno a tener en cuenta es aquel que da nombre a nuestra cámara: el eco, o en términos electromagnéticos, la reflexión. Este fenómeno genera las llamadas ondas reflejadas: ondas secundarias producidas por el choque con las paredes del recinto o cualquier superficie presente en la medición. Este 'choque' se produce por una discontinuidad en el medio de propagación. Las ondas reflejadas pueden interferir de forma destructiva o constructiva (en función de la fase y amplitud) en la señal deseada. En cualquier caso, se produce una distorsión de la señal que midamos y por lo tanto dará lugar a datos erróneos. Podemos ver un ejemplo en la Figura 1.



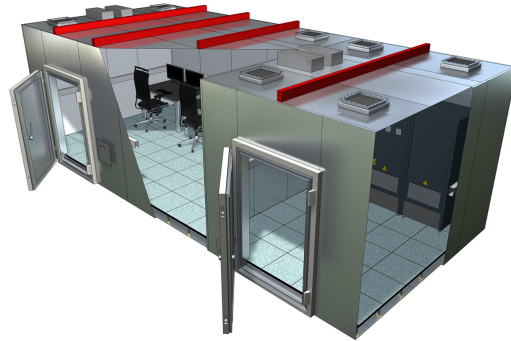
**Figura 1:** Ejemplo de reflexión en una cámara anecoica. Fuente: Stine, J.A., Portugal, David, Spectrum 101: An Introduction to Spectrum Management

La intensidad de esta energía reflejada dependerá del número de reflexiones que se produzcan y de la reflectividad de la superficie en la que se ha producido el fenómeno. El número de reflexiones no podremos controlarlo, únicamente podremos simularlo mediante diferentes técnicas para poder ver su comportamiento. En todo caso, las primeras reflexiones son las más críticas en cuestión de interferencias pues son las que mayor energía concentran, ya que la intensidad energética de las réplicas decrecen en cada iteración. En cuanto a la reflectividad, deseamos que sea del menor valor posible, es decir, que la superficie en la cual incida la onda absorba la mayor parte de la energía. Para ello haremos uso de los absorbentes, de los cuales hablaremos con mucho más detalle, debido a su importancia, en otro apartado. Los niveles de interferencia de estas reflexiones

determinará la "Quiet Zone" (zona quieta), en la cual estos niveles tendrán que estar por debajo de un nivel indicado por el estándar correspondiente.

### 3.2. Apantallamiento

Como hemos dicho, no deseamos que ninguna señal externa a nuestra medida interfiera. Por lo tanto, no sólo debemos evitar aquellas ondas resultantes de los mecanismos de propagación en el interior de nuestra cámara, sino aquellas que puedan provenir del exterior. Para ello nuestra estructura se basará en una jaula de Faraday, donde todas las posibles interferencias se verán amortiguadas. Se intentará diseñar de forma que apantalle tanto la energía que vaya del exterior al interior como la que escape del interior al exterior, así como la de los propios dispositivos de medición.



**Figura 2:** Jaula de Faraday para aislamiento electromagnético en cámaras anecoicas. Fuente: Frankonia Group.

### 3.3. Distancia

Otra serie de fenómenos importantes vienen del hecho de usar antenas como instrumento de medida. No se pueden obviar los diferentes efectos que se producen y sus características en función de la distancia a la antena: hablamos del campo cercano reactivo, campo cercano radiado y campo lejano (o Fraunhofer). Por una parte, los efectos capacitivos e inductivos de las corrientes en el campo cercano son perjudiciales para nuestra medición. Por otra parte, en campo lejano la situación cambia: nos encontraremos con una onda plana, por lo que tendremos una variación de fase y de amplitud mínima. El criterio a seguir será una variación de la fase máxima de  $\pi/8$  radianes y una variación de la amplitud menor de 1 dB. Esto establece una separación mínima entre nuestra antena de medida y la antena a medir de

$$R = \frac{2D_{max}^2}{\lambda}$$

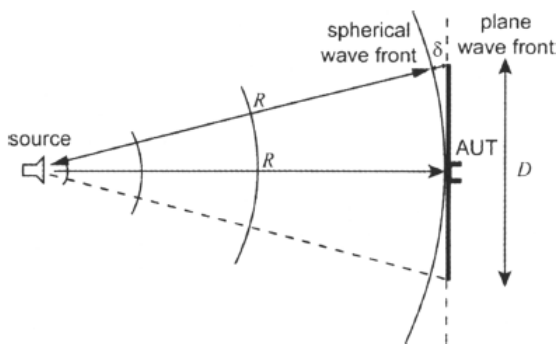


donde  $D$  es la dimensión más grande de la antena. Para antenas pequeñas (menores de  $\lambda$ ) podemos usar la siguiente aproximación:

$$R = 10\lambda$$

Una vez tenemos establecido este criterio, debemos hablar también de algunas excepciones, puesto que habrá situaciones en las que será imposible respetarlo. En ocasiones esta distancia puede ser de decenas de metros. Por supuesto, esto no se puede conseguir de una manera económicamente eficiente. Por lo tanto, en estos casos recurriremos a otro tipos de medida, en campo cercano, o utilizaremos otras tipo de instalaciones, que comentaremos en apartados posteriores.

Esta distancia mínima requerida tiene una gran importancia, puesto que determinará las dimensiones de nuestra cámara.



**Figura 3:** Onda plana. Fuente: Hamming, L.H., Electromagnetic Anechoic Chambers. A fundamental Design and Specification Guide

### 3.4. Polarización

Deberemos tener especial cuidado en la orientación entre las antenas receptoras y las transmisoras, puesto que las polarizaciones tendrán un papel importante: si las polarizaciones coinciden tendremos una transferencia de potencia máxima. Sin embargo, si las polarizaciones son ortogonales, esta transferencia será nula.

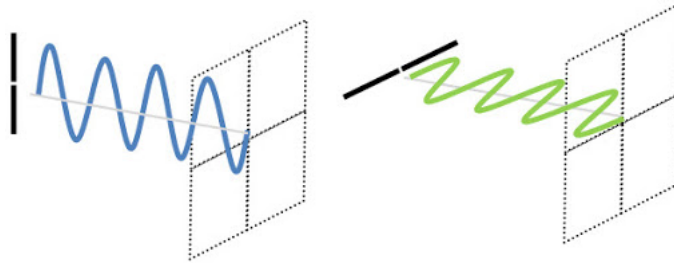


Figura 4: Polarizaciones vertical y horizontal. Fuente: TelecomHall

### 3.5. Pérdidas por propagación en espacio libre

Se deben de tener en cuenta las pérdidas de propagación descritas por la fórmula de Friis («Free Space Path Loss» o «FSPL»):

$$FSPL = \frac{P_t}{P_r} = \left(\frac{4d\pi}{\lambda}\right)^2$$

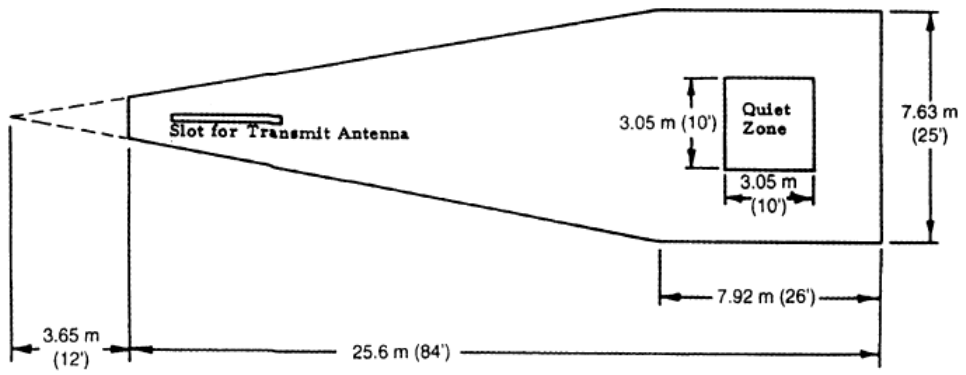
$$FSPL(dB) = 20\log_{10}\left(\frac{4d\pi}{\lambda}\right)$$

donde  $d$  es la distancia entre receptor y transmisor en metros, y  $\lambda$  la longitud eléctrica en el medio de propagación en metros.

Estas pérdidas no afectarán mucho a la calidad de nuestra medida, únicamente es un factor que habrá que tener en cuenta en los cálculos. En ocasiones este efecto será beneficioso ya que atenuará las reflexiones, por lo que su interferencia con la señal deseada será menor.

### 3.6. Quiet Zone

Por último hablar de una región de la cámara que surge durante el proceso de medición y que cobra gran importancia: se trata de la «Quiet Zone» o zona quieta. Se trata de la zona de la cámara donde situaremos el dispositivo a medir. Sin embargo, esta área no es elegida al azar: se trata de aquella zona donde durante las mediciones la energía externa a la medida (principalmente energía reflejada) es muy inferior a la señal interesada, por debajo de un nivel especificado por el estándar correspondiente. El tamaño y calidad de ésta es especificada en función de las variaciones de amplitud y fase. Además, la definición de esta zona implica la diferenciación de otra, la zona especular (*specular area*) donde los niveles de reflexión son demasiado altos y por lo tanto no nos interesa trabajar.



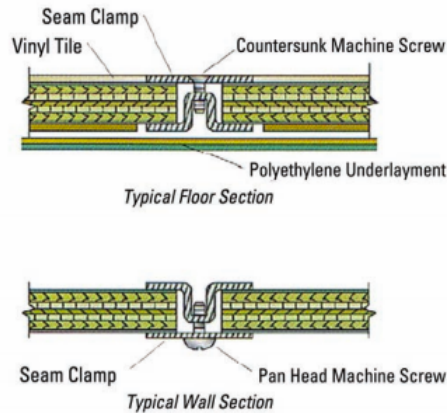
**Figura 5:** Ejemplo de «quiet zone». Fuente: Hamming, L.H., Electromagnetic Anechoic Chambers. A fundamental Design and Specification Guide

## 4. Estructura

Nuestro deseo de que ningún tipo de señal externa pueda interferir en nuestra medida nos lleva a la utilización de estructuras las cuales, aparte de otorgarnos soporte para el equipamiento, nos confieran una protección del exterior. Para ello se emplean estructuras basadas en jaulas de Faraday: un volumen encerrado por una estructura metálica (jaula) y conectada a la toma de tierra, de tal forma que todo el campo eléctrico se acople a ella y sea derivada a tierra, a modo de cortafuegos electromagnético. La dimensión máxima de los orificios de la jaula viene determinada por la máxima longitud de onda que se quiera filtrar, por lo que unas planchas macizas supone un filtro hasta las frecuencias más elevadas. Los campos en el interior de dicho recinto serán nulos, de acuerdo con la ley de Gauss. De esta manera nos aseguramos de que los campos obtenidos durante la medida provengan de ésta, y no de radiaciones exteriores como pueden ser las emitidas por los equipos usados u otras fuentes lejanas. Estas estructuras pueden llegar a otorgar un apantallamiento de hasta 120 dB. Esta eficiencia suele cubrir de sobra los protocolos de medida. Normalmente la especificación del apantallamiento va desde los 10 KHz hasta los 18 GHz, descrito en el estándar IEE 299 o EN 50147-1.

Podemos encontrar tres tipos de estructuras en función del proceso de fabricación, donde la diferencia reside en la atención puesta en las uniones, puesto que en éstas se producen discontinuidades que determinarán en gran medida la eficiencia de nuestra estructura [1]. Estas son:

- Estructuras soldadas: se trata del tipo de unión más fiable, aunque también la de mayor coste. Se puede conseguir hasta un aislamiento de 120 dB. Se lleva a cabo mediante una soldadura del tipo MIG (*Metal Inert Gas*) de las uniones de forma hermética, por lo que en ningún momento se producen agujeros que puedan reducir la calidad del apantallamiento (además de ser impermeable). Se realiza una comprobación de la soldadura durante el proceso (In-process Weld Testing) de forma continua, evitando así la necesidad de una post-reparación que encarecería mucho el coste. Debemos tener especial cuidado en las zonas más problemáticas, como el suelo, donde el calor producido en el proceso podría producir que este se abollara. Otra zona problemática son las esquinas, sobre todo la unión de tres superficies, por lo que se requiere de un cuidadoso diseño de estas zonas previamente.
- Prefabricadas: se trata del más usado. Consigue una efectividad de 100 dB en un rango de frecuencias de hasta 18 GHz. Se basa en un tipo de unión llamada “hats and flats”. Hay que prestar especial atención a puertas y ventilación.



**Figura 6:** Unión «Hats and Flats». Fuente: Rodriguez, V. and M. Wiles, Choosing the Right Chamber for Your Test Requirements.

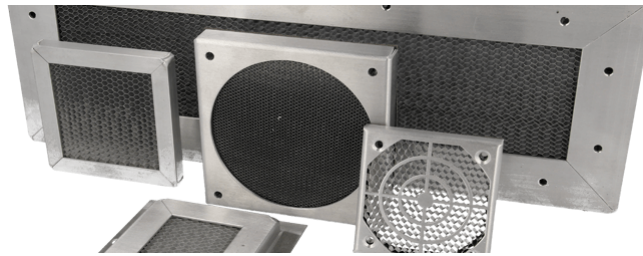
- «Single-shield systems»: consiste en el recubrimiento de las uniones con una cinta adhesiva conductora, con el objetivo de conseguir una unión metal con metal en toda la estructura. Con el diseño más eficiente podemos llegar a 60 dB en un rango de trabajo de hasta 1 GHz.

Los materiales usados para su fabricación no varían mucho: laminas de metal galvanizado o paneles de madera recubiertos de este metal, junto con el uso aluminio o cobre para las uniones. Una vez elegido el sistema de apantallamiento, se debe tener en cuenta otras consideraciones en el diseño de la estructura, como el equipamiento que va a ser instalado, la ventilación requerida, el sistema de alimentación eléctrico y la accesibilidad de los operarios, por citar algunas, y que serán tratadas en los siguientes apartados. Otro aspecto importante es la necesidad de estructuras reforzadas en el caso de usar placas de ferrita con el objetivo de aguantar su elevado peso, o la recomendación de no pintar las estructuras puesto que las prestaciones pueden verse reducidas. Por ejemplo, la pintura aplicada sobre la superficie puede penetrar en las discontinuidades disminuyendo su efectividad.

#### 4.1. Ventilación

La obvia necesidad de zonas que permitan el paso de aire del exterior presenta uno de los mayores problemas, puesto que esta abertura también funciona como puerta para todas las posibles interferencias. Para evitar esto, comúnmente se recurre al uso de panales de abeja («honeycombs»): láminas de metal con numerosas aberturas hexagonales de tamaño muy reducido que adopta la forma típica del panal de las abejas (de ahí su nombre). El tamaño de estos agujeros, el grosor de la plancha y el material del que esté fabricado, determinarán el nivel de apantallamiento y la frecuencia de trabajo, con valores típicos de entre 60

dB y 90 dB de los 100 MHz a los 10 GHz. Debe haber una correcta revisión de estos paneles puesto que en el caso de que se introduzca un material conductor en una de estas aperturas que conecte el exterior e interior, funcionará como antena de las señales externas interfiriendo gravemente en nuestros resultados. Si por ejemplo se instalara un sistema de aire acondicionado por conductos, una simple varilla empleada en su limpieza y olvidada en su interior podría provocar este hecho.



**Figura 7:** «Honeycombs». Fuente: Holland Shielding Systems.

## 4.2. Conexión con el equipamiento exterior

Con el fin de obtener una menor exposición a interferencias es interesante situar fuera de la cámara los instrumentos de medida, tales como el analizador de espectros, el generador de señales, los ordenadores, los controles del interior, etc. Por ello se requiere de una conexión cableada con el exterior. En estos casos se recurre a pequeños paneles con guías de onda que contienen filtros donde conectaremos nuestros cables. Se recomienda el uso de fibras ópticas, ya que las frecuencias de trabajo de estos sistemas apenas interferirán con nuestra medida.



**Figura 8:** Ejemplos de conexiones con el exterior. Fuente: Albatross-Project.

## 4.3. Sistemas de extinción de incendios

En el apartado de los absorbentes comentaremos que debido al calor provocado por éstos al disipar la energía de las ondas electromagnéticas, se pueden provocar incendios. Esto llevó a una regulación, a través de absorbentes ignífugos y sistemas de extinción de incendios en el interior de los recintos. En este

apartado hablaremos de estos últimos, ya que estarán implementados en nuestra estructura y habrá que tenerlos en cuenta en su diseño. Los tres tipos más usados son [1]:

1. Sistema de riego: se trata del sistema más común. Utiliza el agua como medio de extinción mediante un sistema que expulsa el agua en la cámara en caso de incendio. Sin embargo, su diseño no es muy recomendado, debido a que la el absorbente más comúnmente presente en las cámaras es el de geometría piramidal, el cual actúa como una esponja absorbiendo el agua. Esto puede provocar su degradación, además de que su secado es muy difícil, dejando la cámara inutilizable. Además, hay que tener cuidado con la colocación de estos sistemas puesto que puede provocar reflexiones durante el proceso de medición. Como solución se opta por 'esconder' el sistema hasta que un detector informe de la presencia de fuego en la cámara.
2. Sistema de descarga de gas: diseñado con el objetivo de no dañar la cámara, se basa en el uso de  $CO_2$  para extinguir el fuego. Se recomienda la instalación adicional de un sistema de seguridad que, en el caso de haber personas en el interior de la cámara, permita primero que salgan del recinto.
3. Contención: otro método consiste en aislar completamente la cámara con el objetivo de que el fuego consuma únicamente el oxígeno del interior de la cámara, y una vez consumido, el fuego se extinga. Esto evita tener que implementar ningún sistema de seguridad extra más que el detector de humo. Se puede situar un sistema de riego en el exterior de la cámara.

Aparte de los detectores de humo y el equipamiento requerido para cada método, se recomienda el uso de un inhaladores de humo en el interior de la cámara.

#### 4.4. Iluminación

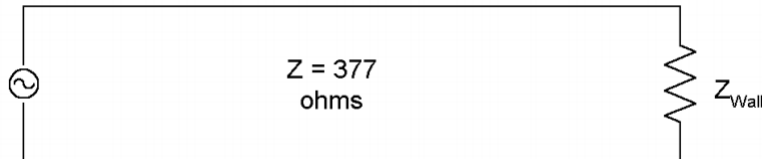
La iluminación debe ser adecuada, puesto que la exposición de los absorbentes a una luz continua de alta potencia puede dar lugar a un sobrecalentamiento y riesgo de incendio. Se puede optar por una iluminación fija o por una iluminación móvil que esté presente sólo en los momentos requeridos, no durante las mediciones. En el caso de elegir una iluminación fija se recomienda el uso de tecnología LED debido a su alta eficiencia y una emisividad térmica muy reducida.

## 5. Absorbentes electromagnéticos

Consisten en materiales con una reflectividad muy baja, cuya principal función es la disipación de la energía incidente en los límites del recinto, con el objetivo de que no se produzcan ondas reflejadas que pueda interferir en nuestra medida. Estos materiales presentan una baja conductividad eléctrica, pero suficiente como para lograr que el campo eléctrico se acople en él y se disipe la energía en forma de calor por efecto Joule. El absorbente es una de las tecnologías más importantes y características de las cámaras anecoicas, puesto que es lo que permite realizar este tipo de mediciones en entornos cerrados (lo que las diferencia con respecto a las OATS) y lo que determinará la eficiencia de la cámara y el rango de frecuencias en los que podremos trabajar. A lo largo de este apartado estudiaremos su funcionamiento y haremos un recorrido por los diferentes tipos de absorbentes disponibles y sus características. Al finalizar, seremos capaces de escoger un tipo de absorbente u otro en función del propósito de nuestra medición y de la frecuencia de trabajo.

### 5.1. Comportamiento

Como hemos introducido, nuestro objetivo es que la energía que llegue al absorbente no sea devuelta al medio, o que esta sea la mínima posible. Para ello, el absorbente deberá disipar dicha energía, principalmente en forma de calor. ¿Cómo llevamos a cabo esta disipación? Para ello primero nos ayudaremos de un modelo circuital:

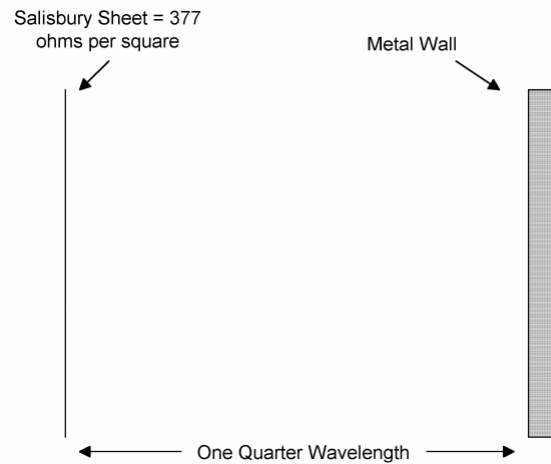


**Figura 9:** Modelo Circuital. Fuente: Dash, Glen and Llc. Ampyx, How RF Anechoic Chambers Work

Como sabemos de teoría de circuitos, para que la potencia se disipe en la carga y no se produzcan reflexiones, la impedancia de esta debe de ser igual a la impedancia característica del medio. Teniendo en cuenta que la impedancia del medio es de aproximadamente unos  $377 \Omega$ , únicamente tenemos que utilizar una carga de este valor. Sin embargo, tenemos que tener en cuenta que las paredes de nuestra cámara son conductores que idealmente tienen impedancia cero, lo que en un circuito se representaría como un cortocircuito. Para solucionar esto, se ideó la «Salisbury Sheet» [5], una lámina de papel recubierta de una substancia aislante que le confiere una resistencia de  $377 \Omega$  situada a  $\lambda/4$  de la



pared metálica. De esta forma, la onda que llega a la pared (cortocircuito) y se refleje estará en contrafase con la onda transmitida, anulándose entre ambas. La desventaja de esta solución es que únicamente es válida para una determinada  $\lambda$ , es decir, para una única frecuencia.

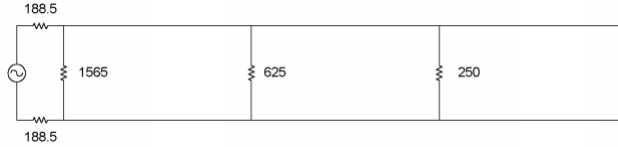


**Figura 10:** «Salisbury Sheet». Fuente: Dash, Glen and Llc. Ampyx, How RF Anechoic Chambers Work

La necesidad de solucionar este problema llevó a la realización de un segundo diseño: «Jaumann Sandwich» [5]. Para poder trabajar en un rango de frecuencias, se utilizan varias impedancias de distinto valor, colocadas a diferentes distancias las cuales en total suman una longitud de onda, para la frecuencia central.



**Figura 11:** «Jaumann Sandwich». Fuente: Dash, Glen and Llc. Ampyx, How RF Anechoic Chambers Work



**Figura 12:** «Jaumann Sandwich» Modelo circuital. Fuente: Dash, Glen and Llc. Ampyx, How RF Anechoic Chambers Work

Mientras la onda atraviesa el absorbente se van produciendo pequeñas reflexiones que se cancelan entre sí. Con esto se conseguía una atenuación de las reflexiones de 20 dB en un pequeño rango de frecuencias. Este diseño sería el precursor de los absorbentes piramidales, puesto que para conseguir la diferencia de impedancias se recurre a cambiar el tamaño: un mayor tamaño implica una menor impedancia y viceversa.

A pesar del gran desarrollo que ha habido durante estos años de los absorbentes y el perfeccionamiento del proceso de fabricación, estos siguen sin ser del todo homogéneos: presentan discontinuidades, imperfecciones en la forma o en la carga de carbono que provocan pequeñas reflexiones que escapan al medio. A esto contribuye además que durante el proceso de instalación se pueden producir roturas y más imperfecciones. La pared metálica situada detrás de los absorbentes influye en la eficiencia, puesto que aquella energía que no ha sido absorbida puede llegar a esta y ser reflejada.

Por último, queremos conocer cómo se producen las pérdidas en los absorbentes. Sabemos que los materiales dieléctricos están caracterizados por su permitividad eléctrica. Esta permitividad mide el efecto que tiene el material sobre el campo eléctrico:

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$$

donde la parte compleja de esta es la que produce las pérdidas. Por lo tanto podemos definir la tangente de pérdidas como

$$\tan(\delta_e) = \frac{\epsilon''}{\epsilon'}$$

Cuanto mayor sea ésta tangente de pérdidas mayor será la atenuación de la onda al propagarse por el absorbente

De forma análoga, en las ferrite tiles hablamos de permeabilidad magnética:

$$\mu = \mu' - j\mu''$$

$$\tan(\delta_m) = \frac{\mu''}{\mu'}$$

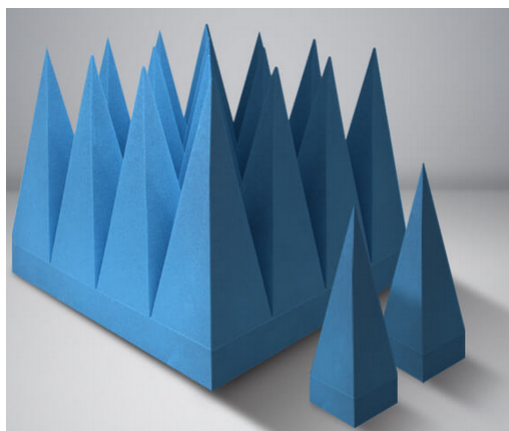
A continuación estudiaremos diferentes tipos de absorbentes. Aunque existen numerosas subcategorías dentro de cada tipo de absorbente, nos centraremos en aquellos más importantes y comunes.

## 5.2. Absorbentes Dieléctricos

### 5.2.1. Absorbentes piramidales

Se trata del absorbente más común ya que proporciona el mayor ancho de banda para cualquier ángulo de incidencia, además de no depender de la polarización.

Está formado por espuma de poliuretano cargada con carbono, y se adapta a una forma de pirámide cuadrangular debido a su funcionamiento, ya explicado en el apartado anterior. Es conocido como «blue foam» (esponja azul) o «blue stuff» (cosa azul). En un principio, estos absorbentes son negros. Sin embargo, se recubren con una pintura de látex azul para que refleje más la luz, dando mayor iluminación a la cámara. Aun así, en mediciones de alta frecuencia, este recubrimiento degrada la eficiencia del absorbente, por lo que las puntas se dejan sin pintar. Ésto, además, otorga mayor una mayor durabilidad ya que reduce la degradación.



**Figura 13:** Absorbentes piramidales. Fuente: Global EMC

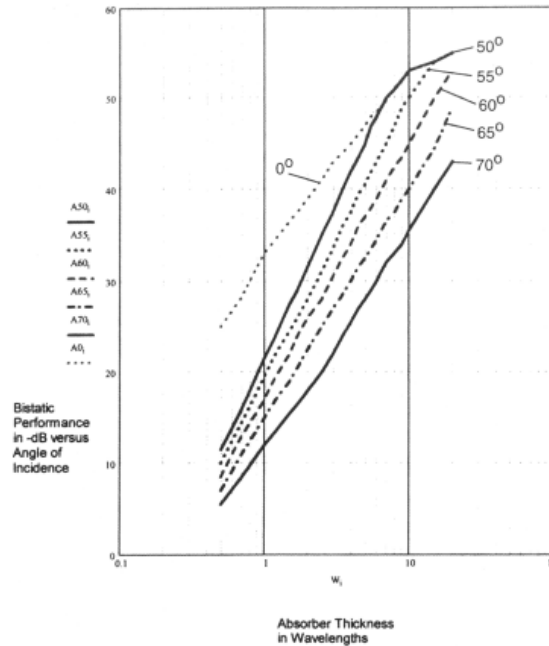
El ancho de banda de operación de estos absorbentes vendrá determinado por su geometría. La altura fijará la frecuencia de trabajo: a mayores frecuencias, menor el tamaño, y viceversa. Por ello, a bajas frecuencias no se usa este tipo de absorbente, ya que deberían ser de grandes dimensiones, lo que agrandaría la cámara y encarecería muchísimo la infraestructura. Se emplea para mediciones por encima de 200 MHz. Las dimensiones del absorbente por su parte determinarán la reflectividad, es decir, la cantidad de energía que será capaz de disipar. La reflectividad se especifica para una incidencia normal, en dB, y para una carga óptima de carbono. En la figura 14 tenemos un ejemplo del rendimiento del absorbente en función de la frecuencia.

	80 MHz	120 MHz	200 MHz	300 MHz	500 MHz	1-2GHz	2-4 GHz	4-8 GHz	8-12 GHz	12-18 GHz	18-40 GHz
EHP3PCL								-30 dB	-40 dB	-45 dB	-45 dB
EHP5PCL							-30 dB	-40 dB	-45 dB	-50 dB	-50 dB
EHP8PCL						-30 dB	-40 dB	-45 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB
EHP12PCL						-35 dB	-40 dB	-45 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB
EHP18PCL					-30 dB	-40 dB	-45 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB
EHP24PCL			-20 dB	-30 dB	-35 dB	-40 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB
EHP36PCL	-11 dB	-13 dB	-25 dB	-30 dB	-40 dB	-45 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB
EHP48PCL	-15 dB	-20 dB	-30 dB	-35 dB	-40 dB	-45 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB
EHP72PCL	-20 dB	-30 dB	-40 dB	-40 dB	-45 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB	-50 dB

**Figura 14:** Niveles de reflectividad del «EHP High Performance Microwave Pyramidal Absorber». Fuente: ETS-Lindgren

Si las dimensiones en términos de  $\lambda$  es demasiado grande, la onda no se absorberá correctamente y comenzará a reflejarse debido a que se produce un salto de impedancia, por lo que la reflectividad decae. Como hemos indicado esto ocurre para una carga de carbono óptima. El carbono determina la conductividad del material: si esta carga es insuficiente o, por el contrario, demasiado elevada, el rendimiento decrecerá. Esto se debe a que para un alto contenido en carbón el salto de impedancia será muy elevado, provocando una reflexión; para un contenido muy bajo, la onda podrá propagarse sin ser absorbida.

Otro aspecto que determina la eficiencia de estos absorbentes es el ángulo de incidencia. La incidencia óptima es para un ángulo normal. Conforme el ángulo de incidencia aumente, la eficiencia decae rápidamente. Esto se puede apreciar en la figura 15. El intento de mejorar esta característica dará lugar a nuevos tipos de absorbentes que estudiaremos.



**Figura 15:** Ejemplo de niveles de absorción según el ángulo de incidencia. Fuente: Hamming, L.H., Electromagnetic Anechoic Chambers. A fundamental Design and Specification Guide

Los absorbentes piramidales no son muy resistentes, y requieren de un mantenimiento constante, sobre todo en las zonas delicadas como pueden ser puertas o zonas de mucho tránsito. Por lo tanto, su instalación debe ser muy cuidadosa y realizada adecuadamente. Se usan adhesivos por presión: se recubre la superficie de la cámara y la parte trasera del absorbente y se hace contacto. Se deben usar los adhesivos recomendados por los expertos, puesto que una mala aplicación puede hacer que estos bloques se despeguen y caigan.

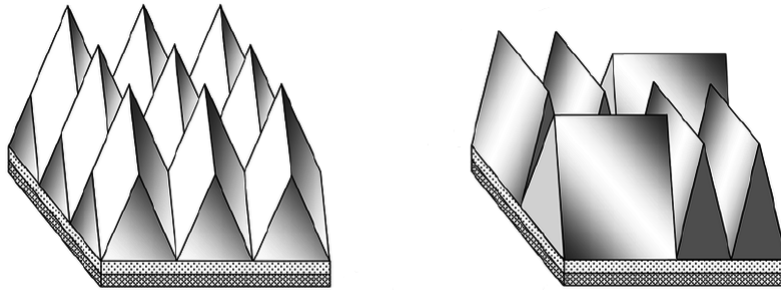
A lo largo de los años se han desarrollado varias mejoras del diseño que aumentan la eficiencia de estos absorbentes. Las dos más importantes son:

- Absorbente «Doubly periodic curved»: se aumenta la eficiencia en bajas frecuencias.
- Distribución de Chebyshev: utiliza la técnica de transformación de Chebyshev, debido a que tiene un mayor ancho de banda. La colocación de los absorbentes piramidales se realiza de forma uniforme en la pared que se desea recubrir, quedando todos a la misma altura. Este diseño propone romper esa uniformidad, variando la longitud de las pirámides. Con esto se consigue una mejora de unos 10 dB, mejora que de forma tradicional se conseguiría doblando el tamaño del absorbente. Los campos reflejados son

el resultado de la reflexión original del absorbente multiplicada por un factor de Chebyshev. Esta técnica además se puede aplicar al diseño anterior, incrementando los resultados [6].

Además de estas mejoras, se han desarrollado otras geometrías o estructuras con el objetivo no de aumentar su rendimiento, sino dotarlo de otras características:

- «Twisted Pyramid»: la pirámide se gira  $45^\circ$  respecto a la base. Se usan en las cámaras cónicas (de las cuales hablaremos en un apartado posterior) debido a que aunque presentan una peor reflectividad que los convencionales, son más duraderos cuando requerimos que sean de una longitud elevada.



**Figura 16:** Estructura de una Twisted Pyramid. Fuente: Wideband numerical modelling and performance optimisation of arbitrarily-shaped anechoic chambers via an unconditionally stable time-domain technique - Scientific Figure on ResearchGate.

- Absorbente piramidal hueco: su uso está muy extendido para aquellas frecuencias por debajo de 1 GHz donde el absorbente piramidal debe de ser más largo. Se basa en láminas finas de espuma absorbente que envuelven una estructura ligera con forma de pirámide.



**Figura 17:** Hollow Pyramidal Absorber. Fuente: ECE

### 5.2.2. Absorbente de cuña (Wedge Absorber)

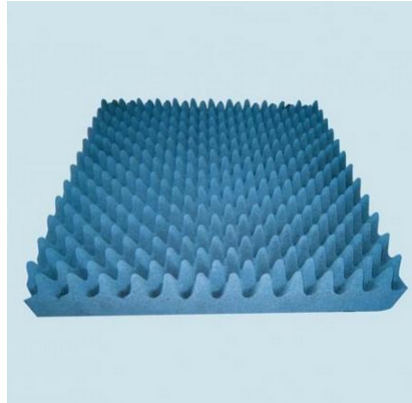
Similar al absorbente de geometría piramidal, posee dicha geometría en una de las direcciones, presentando en la otra una forma uniforme. Para una incidencia normal, sus características de absorción son peores, pero mejora en el caso de incidencias inclinadas. Por ello, se usa en aquellas cámaras donde se desea guiar la energía hacia una zona, como ocurre en mediciones de RCS o en las cámaras cónicas. Las mejoras anteriormente indicadas para el absorbente piramidal pueden ser aplicadas en este tipo de absorbente.



**Figura 18:** Wedge Absorber. Fuente: MVG

### 5.2.3. Absorbente de microondas «Convoluted»

Se consigue usando espuma «convoluted». Se usa en altas frecuencias del rango de microondas, sobre todo en las bandas milimétricas (de 1 a 18 GHz).



**Figura 19:** Convoluted Absorber. Fuente: MVG

### 5.2.4. Absorbente transitable (Walkway absorber)

Se trata de un absorbente piramidal o de cuña 'tapado' por una superficie de poliestireno. Esto permite crear una área por la que se puede caminar sin perder la capacidad de absorción, por lo que se usa principalmente como suelo en las *Full Anechoic Chamber* (cámaras completamente anecoicas).

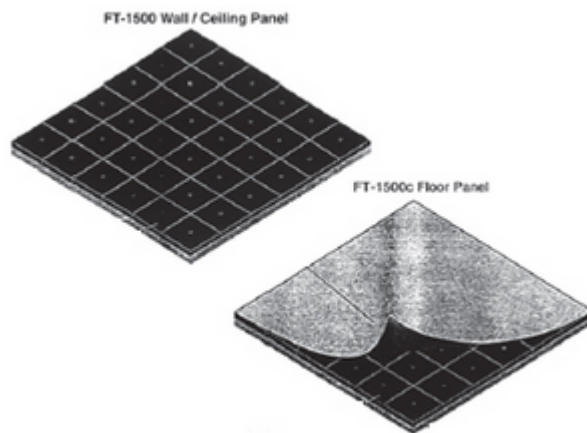


**Figura 20:** Walkway Absorber. Fuente: ETS-Lindgren

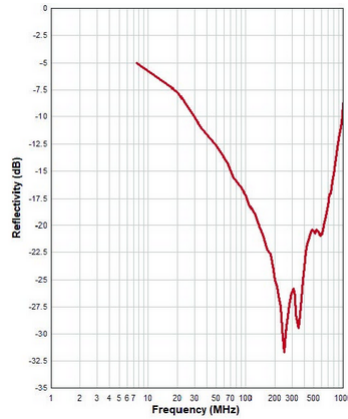


### 5.3. Absorbentes Magnéticos: Placas de Ferrita (Ferrite Tiles)

Su desarrollo se basó en la necesidad de encontrar absorbentes para las bajas frecuencias. Por lo tanto, se utiliza en aquellas cámaras cuyo rango de trabajo se encuentra entre los 30 y 1000 MHz. Se trata de un material que provoca pérdidas magnéticas. Su grosor se diseña de forma que la fase de la onda reflejada se cancele con la onda incidente, produciendo una condición de resonancia que dependerá de las propiedades eléctricas de la ferrita, como la permeabilidad  $\mu$  y la permitividad  $\epsilon$ . Para que funcione de forma óptima, tiene que estar situado sobre un apoyo metálico. Hay que tener cuidado, puesto que el espaciado entre la losa y el metal es crítico, pudiendo provocar que pierda la capacidad de absorción. También se puede situar sobre un dieléctrico de un determinado grosor, por ejemplo, madera, para aumentar su ancho de banda. Tiene unas buenas características de absorción, incluso para grosores pequeños, lo que permite un ahorro de espacio. Sin embargo, su peso es elevado, por lo que normalmente requiere de estructura adicional para soportar dicho peso.



**Figura 21:** Placas de ferrita. Fuente: ETS-Lindgren



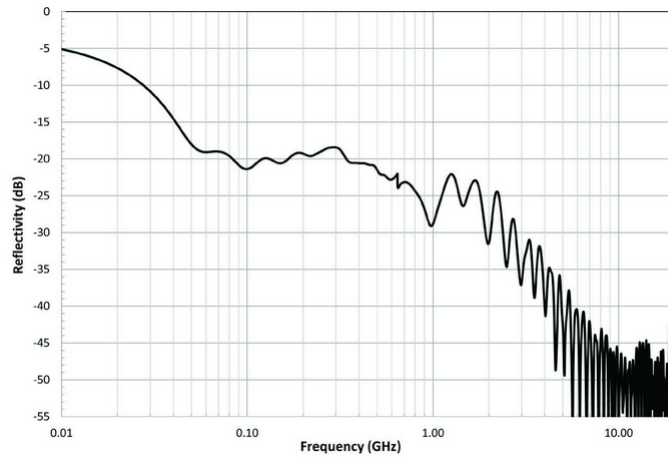
**Figura 22:** Ejemplo de comportamiento de las placas de ferrita. Fuente: ETS-Lindgren

#### 5.4. Absorbentes híbridos

Se trata de la combinar las ventajas de los dos absorbentes más populares: el absorbente piramidal y la placa de ferrita. Una posible combinación es la colocación del absorbente de geometría piramidal sobre la ferrite tile. Una simple colocación no es posible, ya que de esta forma se elimina la contribución de la ferrita, debido a que cuando la onda electromagnética penetra en el primer absorbente, viaja a través de la impedancia de éste. Cuando llegue a la ferrita, se producirá un salto de impedancia cuya consecuencia será la reflexión de la onda. Para que esto no ocurra se debe ajustar la cantidad de carbono en el absorbente piramidal, o se utiliza un recubrimiento sobre la superficie de unión para que la transición de impedancia sea más suave. De esta forma se consigue un rango de frecuencias de 30 MHz hasta 40 GHz. Su uso está muy extendido debido a su gran rango de funcionamiento para un tamaño compacto y un rendimiento adecuado para incidencias oblicuas.



**Figura 23:** Absorbente híbrido. Fuente: ETS-Lindgren



**Figura 24:** Ejemplo de funcionamiento del absorbente híbrido. Fuente: ETS-Lindgren

### 5.5. Protección contra el fuego

Un problema recurrente durante los años primeros años fueron los incendios originados en cámaras. Como hemos dicho, la disipación de la energía absorbida se hace en forma de calor. Sin embargo, los absorbentes piramidales no son muy buenos en cuanto a disipar el calor se refiere. Por lo tanto, un exceso en la potencia puede provocar la fisura del material o incluso que se incendie. Eso llevó a una regulación de los absorbentes en cuanto a capacidades ignífugas y de la extinción de los incendios en las cámaras. Por ejemplo, para los absorbentes piramidales se utilizan químicos que se mezclan con el carbono o se aplican aparte. Este tratamiento llega incluso a mejorar las capacidades de absorción. Con las placas de ferrita no existe este problema pues son muy resistentes al fuego, con lo que únicamente se requiere de un sistema de apagado de incendios en el recinto.

## 6. Normativa

Una vez conocidos todos los aspectos técnicos de una cámara anecoica, tenemos que saber cómo vamos a trabajar con ella: los procedimientos que llevaremos a cabo durante la medición para que podamos caracterizar el dispositivo, y en el caso de un producto comercial, validarlo. Para ello haremos uso de la norma establecida en el momento. En este apartado veremos la importancia de estos estándares y como se aplican en el ámbito internacional y europeo, enfocando nuestra atención en este último. Primero introduciremos las organizaciones encargadas de su elaboración, pasando desde el nivel internacional al regional. Posteriormente nos centraremos en el contenido de estos estándares.

### 6.1. Organismos reguladores

En el ámbito internacional encontramos a International Electrotechnical Commission (IEC), cuyos principales comités en el ámbito de compatibilidad electromagnética son:

- Technical Committee 77 (TC 77): elabora las normas cuando nos encontramos por debajo de los 9 KHz.
- International Special Committee on Radio Interference (CISPR): para aquellos casos por encima de los 9 KHz hasta los 18 GHz.

En Europa tenemos tres organizaciones principales:

- Comité Européen de Normalisation Electrotechniques (CENELEC)
- European Telecommunications Standards Institute (ETSI)
- European Committee for Standardization (CEN)

Nuestra atención se centrará en el IEC y CISPR para el ámbito internacional (puesto que el TC 77 es para frecuencias con las que no trabajaremos).

En Europa el encargado de elaborar los documentos para la compatibilidad electromagnética es el CENELEC, en colaboración con ETSI y CEN, acorde a la directiva 2014/30/EU del parlamento europeo y del consejo sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética. Estos documentos vendrán precedidos por EN (European Norm).

Es España, los Comités Técnicos de Normalización (CTN) de la Asociación Española de Normalización (AENOR) se encargan de la elaboración de los documentos normativos españoles (UNE, Una Norma Española). En el ámbito CEM, estos se encargarán de la revisión de la norma europea y su adaptación al sistema español elaborando dichos documentos UNE.

Aclarar que en muchas ocasiones la diferencia entre los documentos de las organizaciones internacionales y las europeas son mínimas, con índices diferentes pero muy semejantes en contenido. Lo mismo ocurre en cuanto a Europa y

España, en donde las normas UNE-EN son transposiciones directas al idioma español de sus respectivas normas EN.

Por último destacar también el American National Standards Institute (ANSI) en EEUU, puesto que aunque no lo estudiaremos en este documento, mucha de la bibliografía sobre cámaras anecoicas que podemos encontrar hace referencia a sus estándares.

## 6.2. Estándares

Antes de entrar en materia, es importante hacer una aclaración de cómo están dispuestos los estándares y cómo estos se complementan entre ellos:

- Estándar básico: especifica las reglas, métodos o técnicas para la realización de pruebas de compatibilidad electromagnética. Sin embargo, estos no contienen los límites máximos o mínimos de emisión o inmunidad, dejando esto a las demás clasificaciones. Es la base puesto que las demás utilizarán referencias a este tipo de estándar. Dentro del estándar básico podemos hacer una diferenciación entre:

General: da indicaciones de como realizar documentos de compatibilidad electromagnética, aportando definiciones y consideraciones generales. (IEC 60050-161).

Entorno: clasifica los diferentes entornos electromagnéticos y niveles. (IEC TS 61000-2-5).

Emisión: define las configuraciones, equipo y entorno necesario para la medida de emisiones. (CISPR 16).

Inmunidad: realiza las mismas especificaciones que los referentes a emisión pero la medición de inmunidad. (IEC 61000-4-1).

Instalación: guías para la instalación del equipamiento para evitar su influencia en el proceso de medida. (IEC TR 61000-5-1).

- Estándar de productos: concreta para la certificación de productos comerciales, determinando sus niveles de emisión e inmunidad. (IEC 62599-2 para electrónica aplicada a sistemas de seguridad).
- Estándar para familia de productos: al igual que el estándar de productos, en este caso especifica los niveles para familias de productos, [listados por la IEC](#). (IEC 61326 para eléctricos de medición).
- Estándar genérico: aplicados a productos los cuales no podemos agrupar en las categorías anteriores ya que no poseen un estándar específico. Por ello se realizan estándares generales que funcionan de forma temporal y sirven como puente a uno específico.

Para resumir, si queremos medir cierto dispositivo, acudimos al estándar básico para saber el procedimiento de medida, y para saber los niveles vamos al estándar de producto. Si no encontramos nuestro dispositivo en este tipo de

estándar, acudimos al de familias de productos, y en caso de no encontrarlo en ésta tampoco, al genérico.

Una vez que conocemos la estructura de los estándares y las diferentes organizaciones encargadas de su elaboración, podemos pasar a estudiar los que más nos interesan: los estándares redactados por dichas organizaciones encargadas de regular las mediciones de CEM.

Como hemos dicho anteriormente, en el contexto internacional vamos a prestar atención a los estándares IEC y CISPR, concretamente el 61000-6 y 16 respectivamente, los más interesantes en el ámbito CEM. Su estructura se organiza de la siguiente forma:

#### IEC 61000:

- 61000-1 : General: aspectos básicos y definiciones. Incertidumbre de la medida.
- 61000-2 : Entorno: descripción y clasificación del entorno, junto con sus niveles de compatibilidad electromagnética.
- 61000-3 : Límites: establece algunos límites de emisión e inmunidad.
- 61000-4 : Técnicas de medición: detalla aquellas técnicas usadas para el proceso de medición sin establecer los límites.
- 61000-5 : Guía de instalación: puntos esenciales para la distribución del equipamiento y cableado, mitigando su interferencia con el proceso de medida.
- 61000-6: Estándares genéricos: requisitos de inmunidad y emisión genéricos aplicados a entornos industriales, comerciales y residenciales.

#### CISPR 16

- 16-1:
  - 16-1-1: aparatos de medida.
  - 16-1-2,3,4: equipo auxiliar
  - 16-1-5: calibración de la antena desde 30 MHz hasta 1000 MHz.
  - 16-1-6: calibración de la antena para CEM.
- 16-2:
  - 16-2-1: medida de perturbaciones conducidas.
  - 16-2-2: medida de la potencia de perturbación.
  - 16-2-3: medida de perturbaciones radiadas.
  - 16-2-4: medida de inmunidad.
  - 16-2-5: medida de perturbaciones emitidas por equipamiento de grandes dimensiones.

- 16-3: contiene información y reportes técnicos de la historia del CISPR.
- 16-4:
  - 16-4-1: incertidumbre en pruebas CEM estandarizadas.
  - 16-4-2: incertidumbre en medidas CEM.
  - 16-4-3: consideraciones estadísticas en la determinación del cumplimiento CEM para productos producidos en masa.
  - 16-4-4: estadísticas de quejas y modelo para el cálculo de límites.
  - 16-4-5: condiciones para el uso de métodos de test alternativos.

En la comunidad Europea la elaboración de las normas en materia de CEM recaen en el ESO (European Standardisation Organisations), formados por el CENELEC, ETSI y CEN. Sus estándares se denominan EN (European Norm) y se encuentran coordinadas con los estándares IEC y CISPR. A su vez, Aenor se encarga de su traducción y adaptación al sistema español (aunque como hemos dicho antes, muchas veces esta adaptación es innecesaria, por lo que no hay diferencia entre ambas normas). A continuación se muestra el listado de los estándares relacionados con la compatibilidad electromagnética acorde a la directiva 2014/30/EU anteriormente mencionada. Esta lista ha sido obtenida de la página de la Unión Europea y actualizada a fecha de 18 de mayo de 2020.

Estándar	Estándar
<p>UNE-EN 617:2002+A1:2011</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Equipamiento y sistemas de mantenimiento continua. Requisitos de seguridad y de compatibilidad electromagnética (CEM) para el <b>equipamiento de almacenamiento de materiales a granel en silos, tanques, depósitos y tolvas.</b></li> </ul>	<p>UNE-EN 618:2002+A1:2011</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Equipamiento y sistemas de mantenimiento continua. Requisitos de seguridad y de compatibilidad electromagnética (CEM) para el <b>equipamiento para manutención mecánica de materiales a granel</b>, con la excepción de cintas transportadoras fijas.</li> </ul>
<p>UNE-EN 619:2003+A1:2011</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Equipamientos y sistemas de mantenimiento continua. Requisitos de seguridad y de CEM para los <b>equipamientos de manutención mecánicos de cargas aisladas.</b></li> </ul>	<p>UNE-EN 620:2002+A1:2011</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Equipamiento y sistemas de mantenimiento continua. Requisitos de seguridad y de compatibilidad electromagnética (CEM) para <b>cintas transportadoras fijas para productos a granel.</b></li> </ul>
<p>UNE-EN 1155:2003/AC:2006</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Herrajes para la edificación. Dispositivos de retención electromagnética para <b>puertas batientes.</b> Requisitos y métodos de ensayo.</li> </ul>	<p>UNE-EN 12015:2014</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Compatibilidad electromagnética. Norma de la familia de productos para <b>ascensores, escaleras mecánicas y andenes móviles. Emisión.</b></li> </ul>
<p>UNE-EN 12016:2014</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Compatibilidad electromagnética. Norma de familia de productos para <b>ascensores, escaleras mecánicas y andenes móviles. Inmunidad.</b></li> </ul>	<p>UNE-EN 12895:2016+A1:2020</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Carretillas de manutención.</b> Compatibilidad electromagnética.</li> </ul>
<p>UNE-EN 13241:2004+A2:2017</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Puertas industriales, comerciales y de garaje y portones.</b> Norma de producto, características de prestación.</li> </ul>	<p>UNE-EN 13309:2010</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Maquinaria para la construcción.</b> Compatibilidad electromagnética de máquinas con alimentación eléctrica interna.</li> </ul>
<p>UNE-EN ISO 13766-1:2018</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Maquinaria para movimiento de tierras y construcción.</b> Compatibilidad electromagnética (CEM) de <b>máquinas con alimentación eléctrica interna.</b> Parte 1: Requisitos generales de compatibilidad electromagnética (CEM) en las condiciones electromagnéticas ambientales típicas. (ISO 13766-1:2018).</li> </ul>	<p>UNE-EN 14010:2004+A1:2010</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Seguridad de las máquinas. <b>Dispositivos de estacionamiento mecanizado de vehículos automóviles.</b> Requisitos relativos a la seguridad y la CEM para el diseño, construcción, montaje y puesta en servicio</li> </ul>



Estándar	Estándar
<p>UNE-EN ISO 14982:2009</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Maquinaria agrícola y forestal.</b> Compatibilidad electromagnética. Métodos de ensayo y criterios de aceptación. (ISO 14982:1998)</li> </ul>	<p>UNE-EN 16361:2014+A1:2017</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Puertas peatonales automáticas.</b> Norma de producto, características de prestación. Puertas peatonales, excepto batientes, diseñadas inicialmente para su instalación con motorización automática.</li> </ul>
<p>UNE-EN 50065-1:2012</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Transmisión de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencias de 3 kHz a 148,5 kHz.</b> Parte 1: Requisitos generales, bandas de frecuencia y perturbaciones electromagnéticas.</li> </ul>	<p>UNE-EN 50065-2-1:2004/A1:2006</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Transmisión de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencias de 3 kHz a 148,5 kHz.</b> Parte 2-1: Requisitos de inmunidad para los sistemas y equipos de comunicación a través de la red de alimentación que funcionan en la banda de frecuencias de 95 kHz a 148, 5 kHz y destinados para uso en entornos residenciales, comerciales y de industria ligera.</li> </ul>
<p>UNE-EN 50065-2-2:2004/A1:2006</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Transmisión de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencias de 3 kHz a 148,5 kHz.</b> Parte 2-2: Requisitos de inmunidad para los sistemas y equipos de comunicación a través de la red de alimentación que funcionan en la banda de frecuencias de 95 kHz a 148,5 kHz y destinados para uso en entornos industriales.</li> </ul>	<p>UNE-EN 50065-2-3:2004/A1:2006</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Transmisión de señales por la red eléctrica de baja tensión en la banda de frecuencias de 3 kHz a 148,5 kHz.</b> Parte 2-3: Requisitos de inmunidad para los sistemas y equipos de comunicación a través de la red de alimentación que funcionan en la banda de frecuencias de 3 kHz a 95 kHz y destinados para uso por los suministradores y distribuidores de electricidad.</li> </ul>
<p>UNE-EN 50083-2:2013/A1:2016</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Redes de distribución por cable para señales de televisión, señales de sonido y servicios interactivos.</b> Parte 2: Compatibilidad electromagnética de los equipos.</li> </ul>	<p>UNE-EN 50121-1:2017</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aplicaciones ferroviarias.</b> Compatibilidad electromagnética. Parte 1: Generalidades.</li> </ul>
<p>UNE-EN 50121-2:2017</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aplicaciones ferroviarias.</b> Compatibilidad electromagnética. Parte 2: Emisión del sistema ferroviario completo al mundo exterior.</li> </ul>	<p>UNE-EN 50121-3-1:2017/A1:2019</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aplicaciones ferroviarias.</b> Compatibilidad electromagnética. Parte 3-1: Material rodante. Tren y vehículo completo.</li> </ul>

Estándar	Estándar
UNE-EN 50121-3-2:2017 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aplicaciones ferroviarias.</b> Compatibilidad electromagnética. Parte 3-2: Material rodante. Aparatos.</li> </ul>	UNE-EN 50121-4:2017 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aplicaciones ferroviarias.</b> Compatibilidad electromagnética. Parte 4: Emisión e inmunidad de los aparatos de señalización y de telecomunicaciones.</li> </ul>
UNE-EN 50121-5:2018 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aplicaciones ferroviarias.</b> Compatibilidad electromagnética. Parte 5: Emisión e inmunidad de las instalaciones fijas de suministro de energía y de los equipos asociados.</li> </ul>	UNE-EN 50130-4:2011/A1:2014 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Sistemas de alarma.</b> Parte 4: Compatibilidad electromagnética. Norma de familia de producto: Requisitos de inmunidad para componentes de sistemas de detección de incendios, intrusión, atraco, CCTV, control de acceso y sistemas de alarma social.</li> </ul>
UNE-EN 50148:1996 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Taxímetros eléctricos.</b></li> </ul>	UNE-EN 50270:2016 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidad electromagnética. <b>Aparatos eléctricos para la detección y medida de gases combustibles, gases tóxicos u oxígeno.</b></li> </ul>
UNE-EN 50293:2013 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Sistemas de señalización del tráfico por carretera.</b> Compatibilidad electromagnética.</li> </ul>	UNE-EN 50370-1:2005 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidad Electromagnética (CEM). Norma de familia de producto para <b>máquinas herramienta.</b> Parte 1: Emisión.</li> </ul>
UNE-EN 50370-2:2004 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidad Electromagnética (CEM). Norma de familia de productos para <b>máquinas herramienta.</b> Parte 2: Inmunidad.</li> </ul>	UNE-EN 50412-2-1:2006 CORR:2009 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Equipos y sistemas de comunicación de corriente portadora utilizados en instalaciones de baja tensión en la banda de frecuencias de 1,6 MHz a 30 MHz.</b> Parte 2-1: Entorno residencial, comercial y de industria ligera. Requisitos de inmunidad.</li> </ul>
UNE-EN 50470-1:2007/A1:2020 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Equipos de medida de la energía eléctrica (c.a.).</b> Parte 1: Requisitos generales, ensayos y condiciones de ensayo. Equipos de medida (índices de clase A, B y C).</li> </ul>	UNE-EN 50490:2010 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Instalaciones de ayudas visuales y sistemas eléctricos asociados en aeródromos.</b> Requisitos técnicos para los sistemas de control y supervisión del alumbrado aeronáutico de superficie. Unidades para la conmutación selectiva y la supervisión de lámparas individuales.</li> </ul>

Estándar	Estándar
<p>UNE-EN 50491-5-1:2010</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos generales para <b>sistemas electrónicos para viviendas y edificios (HBES) y sistemas de automatización y control de edificios (BACS)</b>. Parte 5-1: Requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM), condiciones y montaje de ensayos.</li> </ul>	<p>UNE-EN 50491-5-2:2010</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos generales para <b>sistemas electrónicos para viviendas y edificios (HBES) y sistemas de automatización y control de edificios (BACS)</b>. Parte 5-2: Requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM) para HBES/BACS utilizados en entornos residenciales, comerciales y de industria ligera.</li> </ul>
<p>UNE-EN 50491-5-3:2010</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos generales para <b>sistemas electrónicos para viviendas y edificios (HBES) y sistemas de automatización y control de edificios (BACS)</b>. Parte 5-3: Requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM) para HBES/BACS utilizados en entornos industriales.</li> </ul>	<p>UNE-EN 50498:2011</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidad electromagnética (CEM). Norma de familia de productos para <b>equipos electrónicos de piezas de recambio y accesorios para vehículos</b>.</li> </ul>
<p>UNE-EN 50512:2011</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Instalaciones de ayudas visuales y sistemas eléctricos asociados en aeródromos</b>. Sistemas avanzados de guía visual para el atraque.</li> </ul>	<p>UNE-EN 50529-1:2010</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Norma CEM para <b>redes de telecomunicación</b>. Parte 1: Redes de telecomunicación por cable que utilizan teléfonos inalámbricos</li> </ul>
<p>UNE-EN 50529-2:2010</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Norma CEM para <b>redes de telecomunicación</b>. Parte 2: Redes de telecomunicación por cable que utilizan cables coaxiales</li> </ul>	<p>UNE-EN 50550:2012/AC:2012</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Dispositivos de protección contra sobretensiones a frecuencia industrial para usos domésticos y análogos (POP)</b>.</li> </ul>
<p>UNE-EN 50557:2012</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos para los <b>dispositivos de rearme automático (ARD) para interruptores automáticos, AD e ID de uso doméstico y análogo</b>.</li> </ul>	<p>UNE-EN 50561-1:2014/AC:2015</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Equipos de comunicación sobre la red eléctrica utilizados en instalaciones de baja tensión</b>. Características de las perturbaciones radioeléctricas. Límites y métodos de medida. Parte 1: Equipos de uso doméstico.</li> </ul>

Estándar	Estándar
UNE-EN 55011:2016 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Equipos industriales, científicos y médicos.</b> Características de las perturbaciones radioeléctricas. Límites y métodos de medición.</li> </ul>	UNE-EN 55012:2008/A1:2010 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Vehículos, embarcaciones y dispositivos propulsados por motores de combustión interna.</b> Características de las perturbaciones radioeléctricas. Límites y métodos de medición para la protección de receptores externos.</li> </ul>
UNE-EN 55014-1:2017 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidad electromagnética. Requisitos para <b>aparatos electrodomésticos, herramientas eléctricas y aparatos análogos.</b> Parte 1: Emisión.</li> </ul>	UNE-EN 55014-2:2015 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidad electromagnética. Requisitos para <b>aparatos electrodomésticos, herramientas eléctricas y aparatos análogos.</b> Parte 2: Inmunidad. Norma de familia de productos.</li> </ul>
UNE-EN 55015:2013 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Límites y métodos de medida de las características relativas a la perturbación radioeléctrica de los <b>equipos de iluminación y similares.</b></li> </ul>	UNE-EN 55024:2011 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Equipos de tecnología de la información.</b> Características de inmunidad. Límites y métodos de medida.</li> </ul>
UNE-EN 55032:2016 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidad electromagnética de <b>equipos multimedia.</b> Requisitos de emisión.</li> </ul>	UNE-EN 55035:2017 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidad electromagnética de <b>equipos multimedia.</b> Requisitos de inmunidad.</li> </ul>
UNE-EN 55103-2:2010 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidad Electromagnética. Norma de familia de productos para <b>aparatos de uso profesional de sonido, vídeo, sistemas audiovisuales y para el control de iluminación para espectáculos.</b> Parte 2: Inmunidad.</li> </ul>	UNE-EN 60034-1:2011 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Máquinas eléctricas rotativas.</b> Parte 1: Características asignadas y características de funcionamiento.</li> </ul>
UNE-EN 60204-31:2013 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas. Parte 31: Requisitos particulares de seguridad y CEM para <b>máquinas de coser, unidades y sistemas de costura.</b></li> </ul>	UNE-EN 60255-26:2013/AC:2013 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Relés de medida y equipos de protección.</b> Parte 26: Requisitos de compatibilidad electromagnética.</li> </ul>

Estándar	Estándar
UNE-EN 60669-2-1:2005/A1:2010 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Interruptores para instalaciones eléctricas fijas, domésticas y análogos.</b> Parte 2-1: Prescripciones particulares. Interruptores electrónicos.</li> </ul>	UNE-EN 60730-1:2013 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Dispositivos de control eléctrico automático para uso doméstico y análogo.</b> Parte 1: Requisitos generales.</li> </ul>
UNE-EN 60730-2-5:2015 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Dispositivos de control eléctrico automático para uso doméstico y análogo.</b> Parte 2-5: Requisitos particulares para los sistemas de control eléctrico automáticos de los quemadores.</li> </ul>	UNE-EN 60730-2-6:2016 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispositivos de control eléctrico automático. Parte 2-6: Requisitos particulares para <b>dispositivos de control eléctrico automático sensibles a la presión incluyendo requisitos mecánicos.</b></li> </ul>
UNE-EN 60730-2-7:2012 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispositivos de control eléctrico automático para uso doméstico y análogo. Parte 2-7: Requisitos particulares para <b>temporizadores e interruptores temporizados.</b></li> </ul>	UNE-EN 60730-2-8:2003 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispositivos de control eléctrico automático para uso doméstico y análogo. Parte 2-8: Requisitos particulares para <b>electroválvulas hidráulicas, incluyendo los requisitos mecánicos.</b></li> </ul>
UNE-EN 60730-2-9:2012 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispositivos de control eléctrico automático para uso doméstico y análogo. Parte 2-9: Requisitos particulares para <b>dispositivos de control termosensibles.</b></li> </ul>	UNE-EN 60730-2-14/A1:2002 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispositivos de control eléctrico automático para uso doméstico y análogo. Parte 2: Requisitos particulares para los <b>accionadores eléctricos.</b></li> </ul>
UNE-EN 60730-2-15:2011 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispositivos de control eléctrico automático para uso doméstico y análogo. Parte 2-15: Requisitos particulares para <b>dispositivos de control eléctrico automático, detectores del caudal de aire, de caudal de agua y de nivel de agua.</b></li> </ul>	UNE-EN 60870-2-1:1997 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Equipos y sistemas de telecontrol.</b> Parte 2: Condiciones de funcionamiento. Sección 1: Alimentación y compatibilidad electromagnética.</li> </ul>

Estándar	Estándar
UNE-EN 60945:2003 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Sistemas y equipos de radio-comunicación y navegación marítima.</b> Requisitos generales. Métodos de ensayo y resultados requeridos.</li> </ul>	UNE-EN 60947-1:2008/A1:2011 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aparamenta de baja tensión.</b> Parte 1: Reglas generales.</li> </ul>
UNE-EN 60947-2:2007/A1:2011 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparamenta de baja tensión. Parte 2: <b>Interruptores automáticos.</b></li> </ul>	UNE-EN 60947-3:2009/A1:2013 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparamenta de baja tensión. Parte 3: <b>Interruptores, seccionadores, interruptores-seccionadores y combinados fusibles.</b></li> </ul>
UNE-EN 60947-4-1:2011/A1:2013 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparamenta de baja tensión. Parte 4-1: <b>Contactores y arrancadores de motor. Contactores y arrancadores electromecánicos.</b></li> </ul>	PNE-EN IEC 60947-4-1 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparamenta de baja tensión. Parte 4-1: <b>Contactores y arrancadores de motor. Contactores y arrancadores electromecánicos.</b></li> </ul>
UNE-EN 60947-4-2:2013 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparamenta de baja tensión. Parte 4-2: <b>Contactores y arrancadores de motor. Controladores y arrancadores semiconductores de motores de corriente alterna.</b></li> </ul>	UNE-EN 60947-4-3:2014 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparamenta de baja tensión. Parte 4-3: <b>Contactores y arrancadores de motor. Reguladores y contactores semiconductores para cargas, distintas de los motores, de corriente alterna.</b></li> </ul>
UNE-EN 60947-5-1:2005/A1:2009 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparamenta de baja tensión. Parte 5-1: <b>Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Aparatos electromecánicos para circuitos de mando.</b></li> </ul>	UNE-EN 60947-5-2:2008/A1:2013 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparamenta de baja tensión. Parte 5-2: <b>Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Detectores de proximidad.</b></li> </ul>
UNE-EN 60947-5-3:2014 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparamenta de baja tensión. Parte 5-3: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Requisitos para <b>dispositivos de detección de proximidad con comportamiento definido en condiciones de defecto (PDDB).</b></li> </ul>	UNE-EN 60947-5-6:2001 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparamenta de baja tensión. Parte 5-6: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Interfaz de corriente continua para <b>sensores de proximidad y amplificadores de conmutación (NAMUR).</b></li> </ul>

Estándar	Estándar
UNE-EN 60947-5-7:2005 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparamenta de baja tensión. Parte 5-7: Aparatos y elementos de conmutación para circuitos de mando. Requisitos para <b>detectores de proximidad con salida analógica</b>.</li> </ul>	UNE-EN 60947-5-9:2008 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparamenta de baja tensión. Parte 5-9: <b>Aparatos de control de circuitos y elementos de conmutación. Detectores de caudal.</b></li> </ul>
UNE-EN 60947-6-1:2006/A1:2014 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparamenta de baja tensión. Parte 6-1: <b>Equipos de funciones múltiples. Equipos de conexión de transferencia automática.</b></li> </ul>	UNE-EN 60947-6-2:2005/A1:2008 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparamenta de baja tensión. Parte 6-2: <b>Materiales de funciones múltiples. Aparatos (o material) de conexión de mando y de protección (ACP).</b></li> </ul>
UNE-EN 60947-8:2005/A1:2007 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparamenta de baja tensión. Parte 8: <b>Unidades de control para protección térmica incorporada a máquinas eléctricas rotativas.</b></li> </ul>	UNE-EN 60974-10:2014/A1:2015 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Equipos de soldadura eléctrica por arco.</b> Parte 10: Requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM). (Ratificada por AENOR en septiembre de 2015.)</li> </ul>
UNE-EN 61000-3-2:2014 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3-2: Límites. Límites para las emisiones de corriente armónica (<b>equipos con corriente de entrada <math>\leq 16</math> A por fase</b>).</li> </ul>	UNE-EN 61000-3-3:2013 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3-3: Límites. Limitación de las variaciones de tensión, fluctuaciones de tensión y flicker en las <b>redes públicas de suministro de baja tensión para equipos con corriente asignada <math>\leq 16</math> A por fase y no sujetos a una conexión condicional.</b></li> </ul>
UNE-EN 61000-3-11:2002 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3: Límites. Sección 11: Límites de las variaciones de tensión, fluctuaciones de tensión y flicker en las <b>redes públicas de alimentación de baja tensión. Equipos con corriente de entrada <math>\leq 75</math> A y sujetos a una conexión condicional.</b></li> </ul>	UNE-EN 61000-3-12:2012 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3-12: Límites para las corrientes armónicas producidas por los <b>equipos conectados a las redes públicas de baja tensión con corriente de entrada <math>\leq 16</math> A y <math>\leq 75</math> A por fase.</b></li> </ul>

Estándar	Estándar
UNE-EN 61000-6-1:2007 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 6-1: Normas genéricas.</li> </ul> <b>Inmunidad en entornos residenciales, comerciales y de industria ligera.</b>	UNE-EN 61000-6-2:2006 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 6-2: Normas genéricas.</li> </ul> <b>Inmunidad en entornos industriales.</b>
UNE-EN 61000-6-3:2007/A1:2012 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 6-3: Normas genéricas.</li> </ul> Norma de <b>emisión en entornos residenciales, comerciales y de industria ligera.</b>	UNE-EN 61000-6-4:2007/A1:2011 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidad Electromagnética (CEM). Parte 6-4: Normas genéricas.</li> </ul> Norma de <b>emisión en entornos industriales.</b>
UNE-EN 61000-6-5:2016/AC:2018-01 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidad Electromagnética (CEM). Parte 6-5: Normas genéricas.</li> </ul> Inmunidad para los <b>equipos utilizados en entornos de centrales eléctricas y subestaciones.</b>	UNE-EN 61008-1:2013/A1:2015 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Interruptores automáticos para actuar por corriente diferencial residual, sin dispositivo de protección contra sobreintensidades, para usos domésticos y análogos (ID).</b> Parte 1: Reglas generales.</li> </ul>
UNE-EN 61009-1:2013 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Interruptores automáticos para actuar por corriente diferencial residual, con dispositivo de protección contra sobreintensidades incorporado, para usos domésticos y análogos (AD).</b> Parte 1: Reglas generales.</li> </ul>	UNE-EN IEC 61058-1:2019 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Interruptores para aparatos.</b> Parte 1: Requisitos generales.</li> </ul>
UNE-EN 61131-2:2007 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Autómatas programables.</b> Parte 2: Requisitos y ensayos de los equipos (IEC 61131-2:2007).</li> </ul>	UNE-EN 61204-3:2002 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fuentes de alimentación de baja tensión con salida en corriente continua.</b> Parte 3: Compatibilidad electromagnética (CEM).</li> </ul>



Estándar	Estándar
<p>UNE-EN 61326-1:2013</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Material eléctrico para medida, control y uso en laboratorio.</b> Requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 1: Requisitos generales. (Ratificada por AENOR en marzo de 2013.)</li> </ul>	<p>UNE-EN 61326-2-1:2013</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Material eléctrico para medida, control y uso en laboratorio.</b> Requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 2-1: Requisitos particulares. Configuraciones de ensayo, condiciones de funcionamiento y criterios de aptitud para la función para ensayo de sensibilidad y material de medida para aplicaciones no protegidas de CEM.</li> </ul>
<p>UNE-EN 61326-2-2:2013</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Material eléctrico para medida, control y uso en laboratorio.</b> Requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 2-2: Requisitos particulares. Configuraciones de ensayo, condiciones de funcionamiento y criterios de aptitud para la función para material de monitorización, medida y ensayo portátil usado en sistemas de distribución de baja tensión.</li> </ul>	<p>UNE-EN 61326-2-3:2013</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Material eléctrico para medida, control y uso en laboratorio.</b> Requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 2-3: Requisitos particulares. Configuración de ensayo, condiciones de funcionamiento y criterios de aptitud para la función para transductores con acondicionamiento de la señal integrado o remoto.</li> </ul>
<p>UNE-EN 61326-2-4:2013</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Material eléctrico para medida, control y uso en laboratorio.</b> Requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 2-4: Requisitos particulares. Configuración de ensayo, condiciones de funcionamiento y criterios de funcionamiento para dispositivos de monitorización del aislamiento conforme a la Norma IEC 61557-8 y para los equipos de localización de fallo de aislamiento conforme a la Norma IEC 61557-9.</li> </ul>	<p>UNE-EN 61326-2-5:2013</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Equipos eléctricos para medida, control y uso en laboratorio.</b> Requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 2-5: Requisitos particulares. Configuraciones de ensayo, condiciones de funcionamiento y criterios de comportamiento para dispositivos de campo con interfaces conforme a la norma IEC 61748-1</li> </ul>
<p>UNE-EN 61439-2:2012</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conjuntos de aparata de baja tensión. Parte 2: <b>Conjuntos de aparata de potencia.</b></li> </ul>	<p>UNE-EN 61439-3:2012/AC:2019-04</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conjuntos de aparata de baja tensión. Parte 3: <b>Cuadros de distribución destinados a ser operados por personal no cualificado (DBO).</b></li> </ul>

Estándar	Estándar
UNE-EN 61439-4:2013 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conjuntos de aparamenta de baja tensión. Parte 4: Requisitos particulares para <b>conjuntos para obras (CO)</b>.</li> </ul>	UNE-EN 61439-5:2015 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conjuntos de aparamenta de baja tensión. Parte 5: <b>Conjuntos de aparamenta para redes de distribución pública</b>.</li> </ul>
UNE-EN 61439-6:2013 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conjuntos de aparamenta de baja tensión. Parte 6: <b>Canalizaciones prefabricadas</b>.</li> </ul>	UNE-EN 61543/A11:2004 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Dispositivos diferenciales residuales (DDR) para usos domésticos y análogos</b>. Compatibilidad electromagnética.</li> </ul>
UNE-EN 61547:2011 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Equipos para iluminación para uso general</b>. Requisitos relativos a la inmunidad CEM.</li> </ul>	UNE-EN 61557-12:2010 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seguridad eléctrica en <b>redes de distribución de baja tensión de hasta 1 000 V en c.a. y 1 500 V en c.c.</b> Equipos para ensayo, medida o vigilancia de las medidas de protección. Parte12: Dispositivos de medición y vigilancia del funcionamiento.</li> </ul>
UNE-EN IEC 61800-3:2018 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Accionamientos eléctricos de potencia de velocidad variable</b>. Parte 3: Requisitos CEM y métodos de ensayo específicos</li> </ul>	UNE-EN 61812-1:2012 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Relés temporizados para uso industrial y residencial</b>. Parte 1: Requisitos y ensayos.</li> </ul>
UNE-EN 62020:2001/A1:2006 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pequeña aparamenta eléctrica. <b>Controladores de aislamiento por corriente diferencial residual (RCM) para usos domésticos y análogos</b></li> </ul>	UNE-EN 62026-1:2008 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparamenta de baja tensión. <b>Interfaces para dispositivos controladores (CDIs)</b>. Parte 1: Reglas generales.</li> </ul>
UNE-EN 62026-2:2013/A1:2019 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparamenta de baja tensión. <b>Interfaces para dispositivos controladores (CDIs)</b>. Parte 2: Interfaz del sensor/actuador (AS-i)</li> </ul>	UNE-EN 62026-3:2015/A11:2020 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparamenta de baja tensión. <b>Interfaces para dispositivos controladores (CDIs)</b>. Parte 3: Red de dispositivos.</li> </ul>
UNE-EN 62026-7:2013 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aparamenta de baja tensión. <b>Interfaces para dispositivos controladores (CDIs)</b>. Parte 7: CompoNet.</li> </ul>	UNE-EN IEC 62040-2:2018 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI)</b>. Parte 2: Requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM)</li> </ul>

Estándar	Estándar
UNE-EN 62052-11:2004/A1:2018 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Equipos de medida de la energía eléctrica (c.a.)</b>. Requisitos generales, ensayos y condiciones de ensayo. Parte 11: Equipos de medida</li> </ul>	UNE-EN 62052-21:2006/A1:2017 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Equipos de medida de la energía eléctrica (c.a.)</b>. Requisitos generales, ensayos y condiciones de ensayo. Parte 21: Equipos de tarificación y control de carga.</li> </ul>
UNE-EN 62053-11:2003/A1:2018 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Equipos de medida de la energía eléctrica (c.a.)</b>. Requisitos particulares. Parte 11: Contadores electromecánicos de energía activa (clases 0,5, 1 y 2).</li> </ul>	UNE-EN 62053-21:2003/A1:2018 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Equipos de medida de la energía eléctrica (c.a.)</b>. Requisitos particulares. Parte 21: Contadores estáticos de energía activa (clases 1 y 2).</li> </ul>
UNE-EN 62053-22:2003/A1:2018 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Equipos de medida de la energía eléctrica (c.a.)</b>. Requisitos particulares. Parte 22: Contadores estáticos de energía activa (clases 0,2 y 0,5).</li> </ul>	UNE-EN 62053-23:2003/A1:2018 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Equipos de medida de la energía eléctrica (c.a.)</b>. Requisitos particulares. Parte 23: Contadores estáticos de energía reactiva (clases 2 y 3).</li> </ul>
UNE-EN 62054-11:2006/A1:2017/AC:2018-04 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Equipos de medida de la energía eléctrica (c.a.)</b>. Tarificación y control de carga. Parte 11: Requisitos particulares para receptores estáticos de telemando centralizado.</li> </ul>	UNE-EN 62054-21:2005/A1:2017/AC:2018-04 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Medida de la energía eléctrica (c.a.)</b>. Tarificación y control de carga: Parte 21: Requisitos particulares para interruptores horarios.</li> </ul>
UNE-EN 62135-2:2015 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Equipos de soldadura eléctrica por resistencia</b>. Parte 2: Requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM).</li> </ul>	UNE-EN 62310-2:2007 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Sistemas de transferencia estática (STS)</b>. Parte 2: Requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM).</li> </ul>
UNE-EN 62423:2013 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Interruptores automáticos tipo F y tipo B para actuar por corriente diferencial residual</b>, con y sin dispositivo de protección contra sobretensiones incorporado, para usos domésticos y análogos.</li> </ul>	UNE-EN 62586-1:2017 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Medida de la calidad de suministro en los <b>sistemas de suministro de energía</b>. Parte 1: Instrumentos de Calidad de Suministro (PQI).</li> </ul>

Estándar	Estándar
UNE-EN 62586-2:2017/AC:2018-09 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Medida de la calidad de suministro en los <b>sistemas de suministro de energía</b>. Parte 2: Ensayos funcionales y requisitos de incertidumbre.</li> </ul>	UNE-EN 62606:2014/A1:2018 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos generales para <b>dispositivos de detección de defectos por arco eléctrico (AFDD)</b>.</li> </ul>
UNE-EN 63024:2019 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requisitos para los <b>dispositivos de rearme automático (ARD) para interruptores automáticos, AD e ID de uso doméstico y similar</b></li> </ul>	UNE-EN 300 386 V1.6.1 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuestiones de Compatibilidad Electromagnética y Espectro de Radiofrecuencia (ERM). <b>Equipos de redes de telecomunicaciones</b>. Requisitos de Compatibilidad Electromagnética (EMC).</li> </ul>
UNE-EN 301 489-1 V1.9.2 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuestiones de Compatibilidad Electromagnética y Espectro de Radiofrecuencia (ERM). Norma de Compatibilidad Electromagnética (EMC) para <b>equipos y servicios de radiocomunicaciones</b>. Parte 1: Requisitos técnicos comunes.</li> </ul>	UNE-EN 301 489-34 V1.4.1 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuestiones de Compatibilidad Electromagnética y Espectro de Radiofrecuencia (ERM). Norma de Compatibilidad Electromagnética (EMC) para <b>equipos y servicios de radiocomunicaciones</b>. Parte 34: Condiciones específicas para Suministros de Alimentación Externa (EPS) para teléfonos móviles</li> </ul>
UNE-EN 301 489-1 V1.9.2 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuestiones de Compatibilidad Electromagnética y Espectro de Radiofrecuencia (ERM). Norma de Compatibilidad Electromagnética (EMC) para <b>equipos y servicios de radiocomunicaciones</b>. Parte 1: Requisitos técnicos comunes.</li> </ul>	UNE-EN 301 489-34 V1.4.1 <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuestiones de Compatibilidad Electromagnética y Espectro de Radiofrecuencia (ERM). Norma de Compatibilidad Electromagnética (EMC) para <b>equipos y servicios de radiocomunicaciones</b>. Parte 34: Condiciones específicas para Suministros de Alimentación Externa (EPS) para teléfonos móviles</li> </ul>

**Tabla 1:** Estándares acordes a la directiva 2014/30/EU del parlamento europeo y del consejo sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética

## 7. Clasificación

Una vez conocidos los distintos elementos que componen una cámara, pasamos a ver las distintas clasificaciones que se realizan de éstas en función de diferentes características: la cantidad de superficie recubierta por absorbente, el cumplimiento de los estándares vigentes o la distancia de medida.

### 7.1. Según el recubrimiento de absorbente

Esta clasificación se realiza en función de la superficie de la cámara recubierta por material absorbente [8]. Si la totalidad o casi totalidad de la cámara está recubierta de absorbentes (incluso mesas o mástiles), estaremos en el caso de una cámara anecoica. Ésto puede dar lugar a error puesto que en castellano usamos el término como generalización, siendo mejor el término en inglés «Fully Anechoic Room» (FAR). Este tipo de cámara se usa principalmente para la medición de antenas.

Si tanto paredes como techo están recubiertos, a excepción del suelo, nos encontramos con una cámara semi-anechoica (Semi Anechoic Chamber, SAC). Éstas se utilizan para la certificación de compatibilidad electromagnética, ya que en condiciones reales tendremos un plano de masa, simulado por el suelo.

Puede ocurrir que únicamente ciertas partes específicas de la cámara estén recubiertas por el absorbente: se trata de las «partially lined». Se trata de una cámara cubierta principalmente de ferritas salvo una zona que únicamente está recubierta por dieléctricos. Ésto permite que a bajas frecuencias el comportamiento de la cámara esté condicionado por la ferrita, y en alta frecuencia el rol es asumido por los absorbentes dieléctricos.

### 7.2. Según el estándar

Otra clasificación se basa en el cumplimiento o no de los estándares CEM [8]. Muchas veces nuestro objetivo será puramente académico o de investigación, por lo tanto, no requerimos de cumplir muchos de los estándares vigentes, lo que puede dar lugar a una reducción de los costes de la cámara. En este caso estaríamos ante una «Pre-compliance».

Si por el contrario nuestro objetivo es cumplir con el mayor número de estándares posibles para que nuestras mediciones sean validadas y de esta forma podamos realizar la certificación de productos, requeriremos de una cámara «Full-compliance».

### 7.3. Según la distancia de medida

Una última clasificación se establece según las dimensiones de nuestra cámara, más concretamente la distancia de medida. Hablamos de las cámaras de 3, 5 y 10 metros. Idealmente, la distancia de medida mínima es la condición de campo lejano tal y como se explicaba en el apartado de conceptos electromagnéticos.

Sin embargo, de forma tradicional en las OATS se usaba este rango de medidas, por lo que se ha establecido este estándar de hecho. Dichas distancias se siguen respetando, por lo que, una vez calculada la distancia mínima requerida, escogeremos el rango de medida que mejor se nos ajuste, siendo la distancia de 3 metros la más extendida. Hay que tener en cuenta que, a mayor distancia del dispositivo a medir, mayor atenuación, y para mantener una buena relación señal a ruido deberemos usar absorbentes más eficientes.

## 8. Modelos de cámara más comunes

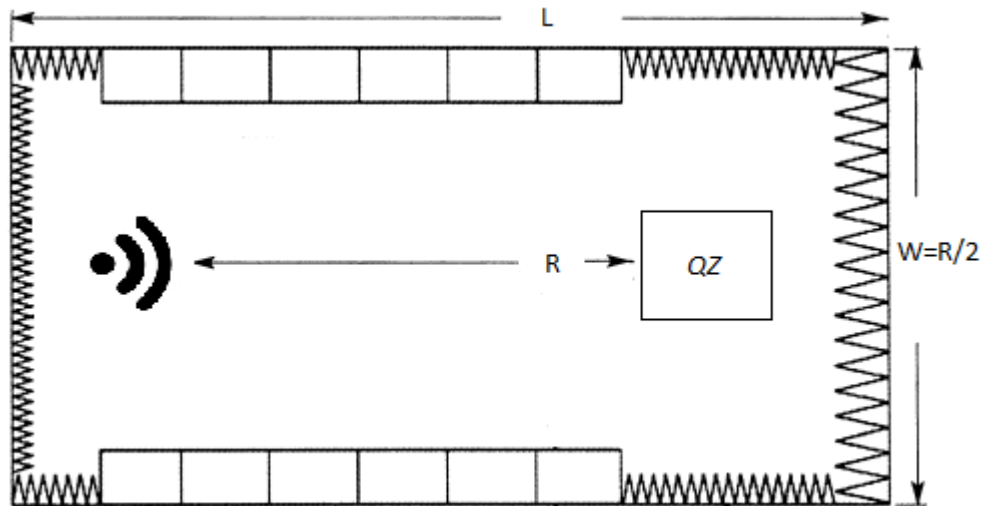
### 8.1. Cámara rectangular convencional

Es el tipo de cámara más común. Puede adquirir cualquier tipo de tamaño en función de las dimensiones del dispositivo a medir: desde un tamaño reducido para dispositivos móviles hasta uno considerable, capaz de alojar aviones. Todo depende, como siempre, del tipo de medida que vayamos a realizar.

Su dimensionado está condicionado por la condición de campo lejano, la cuál limita la distancia mínima del ensayo. A partir de ésta se determinan las dimensiones de la cámara: largo  $L$ , ancho  $W$  y alto  $H$ . Según las especificaciones de frecuencia mínima y máxima de trabajo requerida, obtendremos la menor longitud de onda  $\lambda_{min}$ , por lo que a partir de ésta y usando la ecuación de campo lejano:

$$R_{min} = \frac{2D_{max}^2}{\lambda_{min}}$$

determinamos la distancia necesaria (lo más común es que una vez determinada la longitud escojamos entre las distancias de 3, 5 o 10 metros). Una vez tengamos esta distancia, dependiendo del tipo de absorbente usado y el espacio requerido para que el personal se desplace por la cámara, ajustamos la longitud  $L$ . El ancho  $W$  está relacionado con la distancia de medida  $R$ , ya que tiene que ser mayor que  $R_{min}/2$ . Esta consideración no es arbitraria, sino que se determina de esta manera para que el ángulo de incidencia en las paredes adyacentes sea menor de 60 grados, con el objetivo de que el rendimiento de los absorbentes sea el mayor posible (como se describía en el apartado de absorbentes). La altura  $H$  de la cámara suele ser del mismo valor que el ancho  $W$ . Una vez determinadas los valores de longitud, ancho y alto de la cámara, podemos limitar las dimensiones que tendrá nuestra zona quieta, la cual es recomendable que mida  $W/3$ .

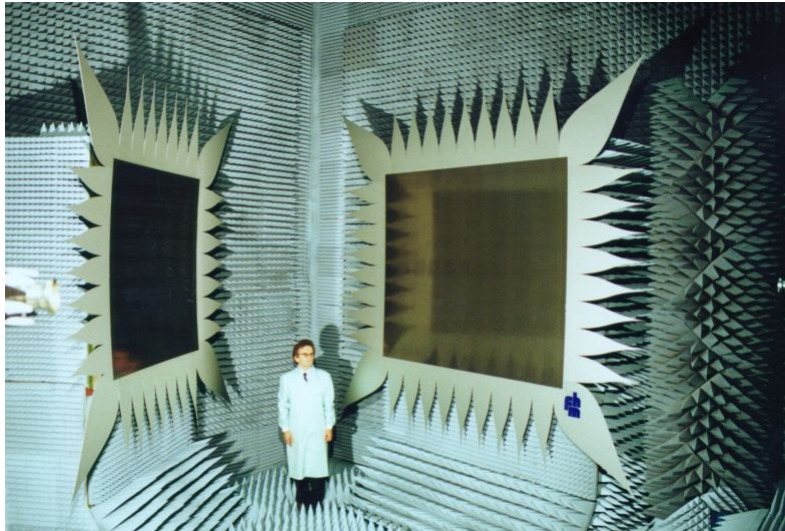


**Figura 25:** Ejemplo de cámara rectangular. Fuente: Hamming, L.H., Electromagnetic Anechoic Chambers. A fundamental Design and Specification Guide

## 8.2. Cámara compacta (compact range chamber)

Junto con las mediciones en campo cercano que veremos más adelante, este tipo de cámara es otra solución a aquellas medidas donde no se consiga la condición de campo lejano. Este método se basa en el uso de un reflector apuntando al dispositivo de medida, que ilumina con una onda plana al dispositivo de medida. Este reflector debe ser lo suficientemente grande y poseer los bordes dentados para impedir que las ondas difractadas lleguen a la zona quieta. Estos dientes suelen ser de un tamaño comprendido entre  $3\lambda_{min}$  y  $5\lambda_{min}$ . Aun así, hay que llevar cuidado con que la superficie del reflector no presente imperfecciones, pues estas pueden afectar a la medida. Un ejemplo, para un dispositivo que requiera de 25 m para la condición de campo lejano, podría reducirse dicha distancia a 3 m en una cámara compacta [1]. Para sujetar el reflector se utiliza una estructura, con un tamaño comprendido entre 60 cm y 2 m.

Al tener un elemento muy directivo como es el reflector, se minimizan las reflexiones producidas en las paredes, por lo que los absorbentes colocados en dichas paredes pueden reducirse. Debajo del reflector también se colocan absorbentes. Este reflector debe guardar una distancia mayor a  $\lambda/2$  con los absorbentes de la cámara.

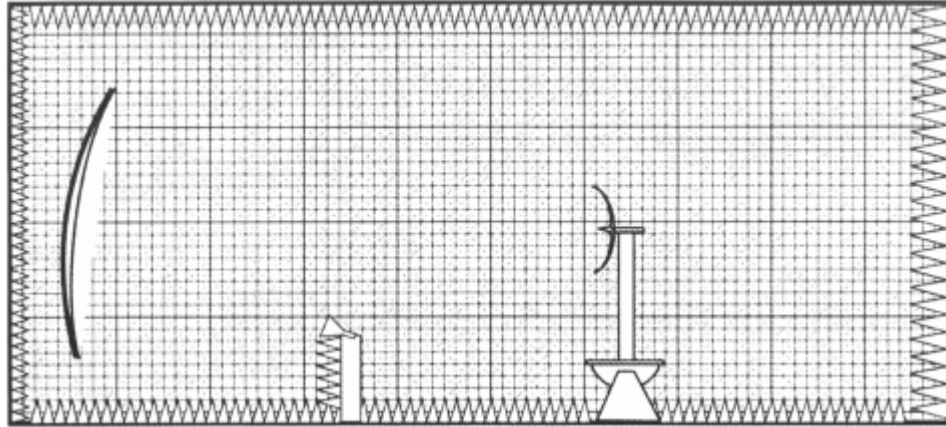


**Figura 26:** Imagen de una «compact range» en el laboratorio de comunicaciones satélites en la Universidad de Munich

Existe una subclasificación de este tipo de cámaras en función de la cantidad o disposición de los reflectores.

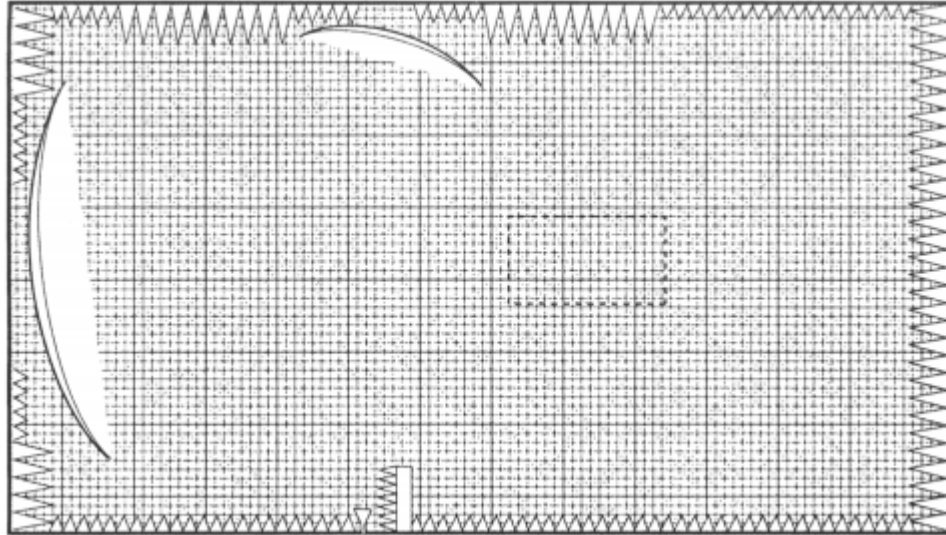
- Cámara compacta «Prime focus»: se ilumina al reflector de forma uniforme en su superficie con una fuente situada a una distancia de éste (Figura 27). A otra distancia de dos distancias focales situaremos el dispositivo a medir. En la pared trasera al reflector destaca la falta de absorbentes, debido a que las dimensiones del reflector hacen que la potencia que llegue a esta zona sea mínima.





**Figura 27:** Esquema de un «prime focus». Fuente: Hamming, L.H., *Electromagnetic Anechoic Chambers. A fundamental Design and Specification Guide*

- Cámara compacta «Dual Reflector»: en este caso usaremos dos reflectores (Figura 28), lo que aumentará la longitud efectiva. Este segundo será el que refleja la energía sobre la zona quieta, reflejando la energía transmitida por una antena desde el suelo. Tendremos que tener especial cuidado con las zonas iluminadas por ambos reflectores, sobre todo el que se encuentra en el techo, puesto que las zonas que iluminan son muy amplias y se pueden producir numerosas reflexiones. Además, la antena fuente debe ser direccionada al reflector del techo intentando situar un nulo en la dirección del reflector principal. Con esta metodología conseguimos aumentar la eficiencia del proceso.



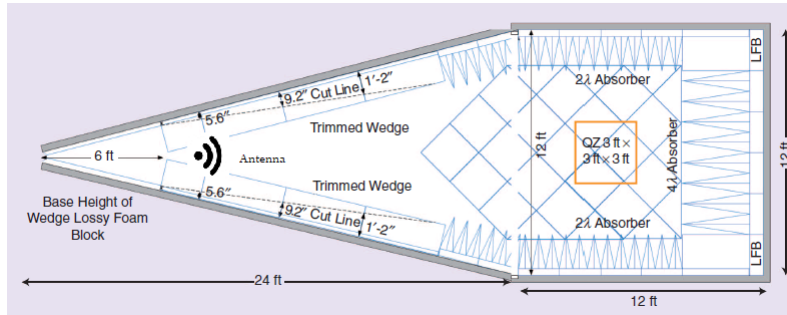
**Figura 28:** Esquema de un «dual reflector». Fuente: Hamming, L.H., Electromagnetic Anechoic Chambers. A fundamental Design and Specification Guide

- Cámara compacta «Shaped Reflector»: las características de reflector se modifican para una mayor directividad y focalización de la energía en la zona de medida. Además, en esta ocasión la antena fuente alimenta tanto al reflector principal como al secundario de forma simultánea. Se requieren de antenas de una alta ganancia con un ancho de banda de los lóbulos muy pequeño, por lo que se suelen usar varias antenas.

Aunque estas dos últimas modificaciones consiguen una mejora respecto a la primera de la eficiencia del proceso mediante una mayor uniformidad de la zona quieta, hay que tener en cuenta que esto significa un aumento del coste de la cámara.

### 8.3. Cámara cónica (tapered chamber)

Este tipo de cámara se aprovecha del método de las imágenes para controlar las reflexiones de la cámara y usarlas a favor del protocolo de medida a bajas frecuencias. Se trata de un modelo alternativo al uso de ferritas. Debido a la necesidad en los años 60 de mediciones de VHF y UHF, se dieron cuenta de que las cámaras rectangulares no podían satisfacer de una manera eficiente este tipo de mediciones, ya que el ángulo de incidencia no era el adecuado y la eficiencia de los absorbentes decaía. Se optó entonces por un diseño que, en lugar de evitar las reflexiones, se aprovechan para crear una iluminación uniforme en la zona de medición. Para ello, se impone una forma cónica en uno de los extremos de la cámara, donde situaremos la antena fuente. De aquí proviene el nombre de 'tapered', afilado. Haciendo referencia a la teoría de imágenes, esto provoca que las imágenes de la antena fuente se junten a ésta, lo que simula un array de antenas, provocando un mayor direccionamiento de las ondas electromagnéticas.



**Figura 29:** Esquema ejemplo de una «tapered chamber». Fuente: Rodríguez, V., Basic Rules for Anechoic Chamber Design

En rangos de frecuencia bajos, los costes de esta cámara se encuentran por debajo de una cámara rectangular equivalente, ya que usamos una menor superficie de absorbente. Para frecuencias altas no supone ninguna mejora. La desventaja es que no podemos realizar mediciones que requieran de varias fuentes o desplazar dicha fuente. El ángulo de la zona cónica de la cámara dependerá de la frecuencia de trabajo. Se requiere de un ajuste lo más exacto posible ya que puede provocar rizados en la zona quieta a la hora de iluminarla. Una vez determinado el ángulo, se debe proceder a la colocación de la antena fuente dentro de esta zona. El lugar donde se sitúe la antena y el ángulo de la zona cónica determinará la posición de las distintas imágenes proyectadas en las paredes, es decir, el factor de agrupación del array, que a su vez establecerá la iluminación de la zona quieta. Este factor debe ser menor de  $\lambda$  para prevenir que el array genere múltiples lóbulos. A lo largo de los años se ha llegado a la conclusión que una de las configuraciones óptima es que el ángulo de la zona cónica sea menor de 36 grados para una frecuencia de hasta 6 GHz y menor de 30 grados para frecuencias de hasta 18 GHz [1]. Por último, se puede calcular la longitud máxima de la zona cónica mediante la siguiente aproximación [9]:

$$L_t = 4 \frac{W}{2}$$

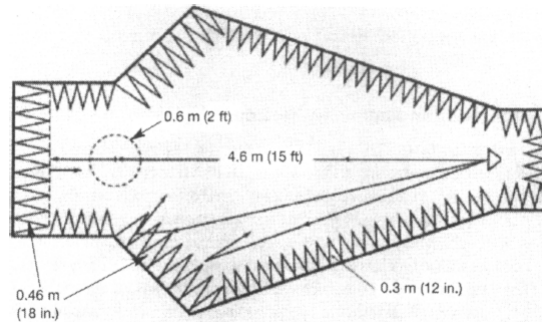
donde  $W$  es el ancho de la zona rectangular. Este ancho también se puede calcular de la siguiente forma [9]:

$$W = H = QZ + 4\lambda + a\lambda$$

donde  $W$  y  $H$  son el ancho y la altura de la zona rectangular respectivamente;  $\lambda$  la longitud de onda mínima de trabajo;  $QZ$  la longitud de la zona quieta y  $a$  el grosor del absorbente de la pared trasera.

#### 8.4. Cámara de doble bocina (Double Horn Chamber)

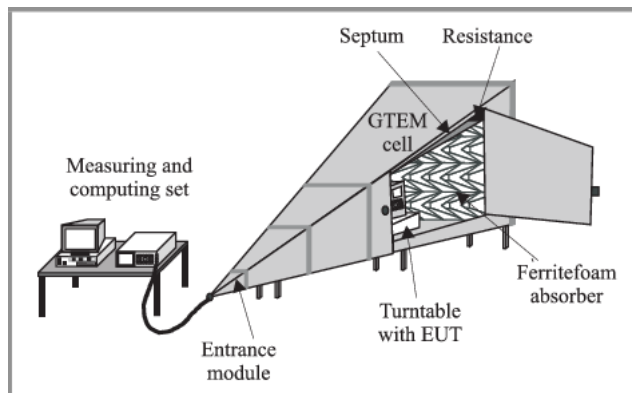
Se trata de un tipo de cámara semi anecoica. Similar a la cámara cónica, el objetivo es conseguir una mayor eficiencia de los absorbentes evitando ángulos de incidencia perjudiciales. Como resultado, esta cámara cambia de forma para guiar y forzar a las ondas electromagnéticas a una incidencia normal. Este tipo de diseño puede ahorrar un 30% de volumen con respecto a la cámara rectangular para mediciones de emisión e inmunidad.



**Figura 30:** Esquema ejemplo de una «double horn chamber». Fuente: Hamming, L.H., *Electromagnetic Anechoic Chambers. A fundamental Design and Specification Guide*

## 8.5. Celda TEM

Se trata de una versión más pequeña de una cámara rectangular la cual podemos considerar como una línea de transmisión, con uno de los extremos acabado en punta y con una conexión a cable coaxial. La uniformidad en el interior de la cámara se consigue utilizando tecnología stripline. Este tipo de estructuras son muy eficientes para la medición de banda ancha de circuitos impresos, los cuales son de un tamaño muy reducido. En estos casos los absorbentes cumplen una función extra, puesto que reducen los modos de orden superior. Dentro de este tipo de cámaras encontramos una variante muy extendida, la GTEM. Este tipo se utiliza para medir la susceptibilidad a altas frecuencias. Conforme aumentamos la frecuencia, la separación entre el conductor central y las paredes se aproxima a  $1.5\lambda$ . A esta distancia, comienzan a aparecer modos que reducen la uniformidad del campo. En estos casos, los absorbentes juegan un papel crucial puesto que eliminan estos modos no deseados.



**Figura 31:** Ejemplo de una celda GTEM. Fuente: Dudcyk, Jnusz y Matuszewski, Jan, Applying the radiated emission to specific emitter identification

## 8.6. Cámara de reverberación (Mode-stirred chamber)

Cámara de reverberación o «Mode-stirred chamber» (MSC) es un tipo de cámara especial, puesto que en lugar de eliminar las reflexiones mediante el uso de absorbentes, las aprovecha. Modela el recinto como cavidad resonante con un alto factor de calidad  $Q$ , por ello se busca que haya las mayores reflexiones posibles. Además, se hace uso de «tunners» (sintonizadores) que se pueden desplazar a lo largo de la cámara para modificar la distribución de los campos según se desee. De esta forma se consigue un campo uniforme resultado de la superposición de modos conocidos donde podemos realizar la medida.



**Figura 32:** Ejemplo de una cámara MSC. Fuente: On the K-Factor Estimation for Rician Channel Simulated in Reverberation Chamber - Scientific, ResearchGate.

## 9. Tipos de medidas

Una vez conocemos los tipos de cámara, vamos a conocer algunos tipos de medida especiales que se llevan a cabo en ellas:

### 9.1. Medidas de RCS (Radar Cross Section)

En el sector de la defensa uno de los mayores intereses es reducir la reflexión en aeronaves para que permanezcan ocultas ante radar. Para caracterizar esa firma electromagnética ante el radar se utiliza el RCS. En principio buscamos lo mismo que en otras cámaras: evitar las posibles reflexiones. Sin embargo, en este caso haremos especial énfasis en la parte trasera de la cámara, en la zona donde situemos el dispositivo a medir. La causa de esto es que como sabemos, el funcionamiento del radar se basa en el envío de una señal y la recepción y medición de esa señal reflejada en el objetivo. Estos sistemas se caracterizan por utilizar grandes potencias. Por lo tanto, si la señal enviada rebota en la pared que se encuentre detrás del objeto, o en la superficie donde situemos el dispositivo a medir, podemos tener una falsa detección.

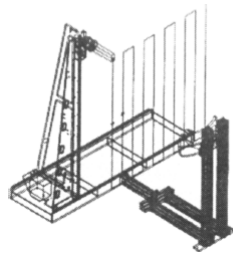
Por lo tanto, vamos a buscar que el nivel de energía reflejada en la parte trasera, el nivel de «background» sea lo más bajo posible. Una posible solución a este problema sería el uso de absorbentes de un alto rendimiento. Esto sin embargo aumentaría considerablemente los costes. Otra posible solución implementada ha sido la inclinación de la pared trasera: las reflexiones producidas no

llegan directamente a la antena receptora.

## 9.2. Medidas de campo cercano

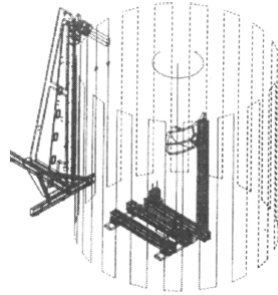
La condición de la distancia mínima de medida requerida impuesta por el campo lejano muchas veces es imposible de conseguir, debido a las grandes dimensiones necesarias. Una de las soluciones a este problema es la realización de la medición en campo cercano. Este método se basa en muestrear el campo cercano del dispositivo a medir en una superficie determinada y realizar una transformación basada en Fourier para hallar el campo lejano. Se requiere que la potencia de estas señales interferentes en la zona de medición sea menor a 60 dB respecto la señal principal. En general, como nos encontramos muy cerca del objeto a medir, la señal deseada no se verá muy atenuada, lo que supone una ventaja, pero dependiendo de la superficie que midamos tendremos que realizar un desplazamiento. Al realizar este desplazamiento podemos alejarnos de la señal lo que producirá un fuerte decaimiento de dicha potencia. Por ello se recomienda realizar una adaptación adecuada. La geometría sobre la que realicemos la medición puede ser de tres tipos: planar, cilíndrica y esférica. Atendiendo a sus puntos débiles y fuertes podremos elegir las para una u otra ocasión:

- Geometría planar: es la más usada, sobre todo con la proliferación de las antenas de parche. Se utiliza para antenas con una alta directividad o ganancia. La antena permanece estática y se realiza un muestreo en el plano X-Y. Otra ventaja es que el procesamiento de los datos suele ser más sencillo.



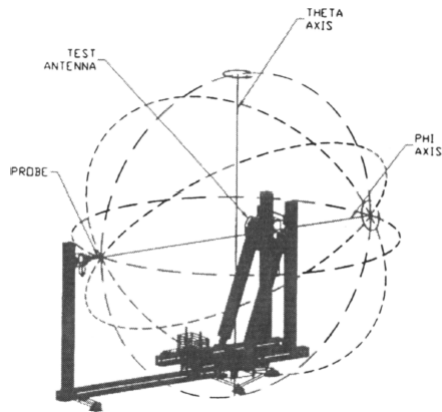
**Figura 33:** Geometría planar. Fuente: Hamming, L.H., Electromagnetic Anechoic Chambers. A fundamental Design and Specification Guide

- Geometría cilíndrica: en este caso se requiere de una rotación en uno de los ejes, por lo que puede ser adecuado para mediciones como las de antenas, que radian de una forma omnidireccional en uno de sus planos.



**Figura 34:** Geometría cilíndrica. Fuente: Hamming, L.H., Electromagnetic Anechoic Chambers. A fundamental Design and Specification Guide

- Geometría esférica: este tipo de geometría sobre la que se realiza el muestreo destaca por ser la que mayor nivel de detalle ofrece. Sin embargo, se requiere un movimiento del dispositivo axial y azimutal, lo que puede ser restrictivo para muchas mediciones, como la de antenas muy sensibles. Otra desventaja es que el procesamiento de las medidas es complicado.



**Figura 35:** Geometría esférica. Fuente: Hamming, L.H., Electromagnetic Anechoic Chambers. A fundamental Design and Specification Guide



## 10. Base de datos

Se ha realizado una recopilación de las entidades privadas dedicadas a la producción de cámaras anecoicas y su equipamiento y se ha elaborado una base de datos que recoge la variedad de productos disponibles en algunas de las empresas más notables. Estas empresas son:

- ETS-Lindgren: una multinacional estadounidense nacida en 1995 mediante la fusión de varias empresas dedicadas a la industria CEM, MRI (Magnetic Resonance Imaging), radiofrecuencia, inalámbrica y acústica. Surgida en Texas, EEUU, es también uno de los principales proveedores de servicios y equipamiento CEM europeos. Forma parte de organizaciones tales como Wi-Fi Alliance, IEEE y ANSI. [www.ets-lindgren.com](http://www.ets-lindgren.com)
- Microwave Vision Group: formado por la unión de varias compañías dedicadas al campo de las medidas y equipamiento RF: Satimo, Orbit RF, AEMI y REMC. Surgida en EEUU, actualmente cuenta con su sede en Francia y cuentan con certificaciones ISO, además de haber participado en la redacción de normas IEEE e IEC. Tiene una filial española, TemSystem. [www.mvg-world.com](http://www.mvg-world.com). [www.temsystem.es](http://www.temsystem.es)
- Frankonia: creada en 1987 en Alemania por un profesor de universidad, su dedicación al desarrollo de absorbentes de alta calidad le ha hecho crecer y expandirse por Europa y Asia, convirtiéndose en una de las principales compañías dedicadas a CEM. Sus productos cumplen con los principales estándares internacionales (IEC, ISO) y europeos (EN). [www.frankonia-solutions.com](http://www.frankonia-solutions.com)
- Comtest: centrada en la instalación de cámaras anecoicas y semi anecoicas, esta empresa nacida en 1985 está situada en Países Bajos. Sus distribuidores en España son Álava Ingenieros. [www.comtest.eu](http://www.comtest.eu). [www.grupoalava.com](http://www.grupoalava.com)
- Rohde and Schwarz: esta empresa situada en el Reino Unido no se centra en el desarrollo de equipamiento para cámaras anecoicas, sino en equipos de medición tales como generadores de señales y analizadores de espectros. Sin embargo presenta un catálogo de productos específicos para medidas CEM que respetan los estándares acordados, lo hacen estar presente en este catálogo. [www.rohde-schwarz.com](http://www.rohde-schwarz.com)
- Global EMC: situada en Reino Unido, esta pequeña compañía es de las más jóvenes en el sector con poco más de 25 años. Aun así, su dedicación a la instalación de jaulas de Faraday y cámaras anecoicas acordadas que cumplen con los estándares vigentes les han hecho un hueco en el sector, trabajando para empresas como Nokia, Samsung, Orange e incluso organizaciones como la NASA. [www.globalemco.co.uk/](http://www.globalemco.co.uk/)
- Albatross Projects: surgida en 1930 con la instalación de jaulas de Faraday para aplicaciones médicas, pasando por la medición incluso de zepelines,

es una de las principales empresas europeas dedicadas a CEM. Con su sede en Alemania, se ha expandido a los continentes de Asia y América, y trabaja con grandes compañías como Fiat o Siemens. [www.albatross-projects.com](http://www.albatross-projects.com)

En las páginas web de cada una de estas compañías se presentan los distintos productos, clasificados por cada página según su criterio y mostrando una serie de características del producto. Se han recogido todos estos productos y características y se han clasificado en la base de datos de la siguiente manera:

- Absorbentes.
- Accesorios.
- Amplificadores.
- Antenas.
- Apantallamiento.
- Filtros.
- Generadores y analizadores.
- Software.

Desde la portada de la base de datos podemos acceder a las distintas categorías presentadas, así como información sobre las compañías.



**Figura 36:** Clasificación mostrada en la portada de la base de datos

Dentro de cada tipo encontramos los diferentes productos diferenciados según la compañía, sus correspondientes características y el enlace a la página web donde se muestra el producto por si es de interés. Cada fabricante muestra diversos aspectos del producto que muchas veces pueden no coincidir entre diferentes compañías, lo que complica la comparación. Por ello, se han recogido las características más comunes y destacables de cada producto.

Company	Category	Product	Min. Frequency	Max. Frequency	Link
Rohde & Schwarz	Microwave Signal Generator	SMA8-8112	8 kHz	12.75 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/sma100-options_83490-427776.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/sma100-options_83490-427776.html</a>
Rohde & Schwarz	Microwave Signal Generator	SMA8-8120	8 kHz	20 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/sma100-options_83490-427776.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/sma100-options_83490-427776.html</a>
Rohde & Schwarz	Microwave Signal Generator	SMA8-8121	8 kHz	31.6 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/sma100-options_83490-427776.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/sma100-options_83490-427776.html</a>
Rohde & Schwarz	Microwave Signal Generator	SMA8-8140	8 kHz	40 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/sma100-options_83490-427776.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/sma100-options_83490-427776.html</a>
Rohde & Schwarz	Microwave Signal Generator	SMA8-8140N	8 kHz	40 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/sma100-options_83490-427776.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/sma100-options_83490-427776.html</a>
Rohde & Schwarz	Microwave Signal Generator	SMA8-8150	8 kHz	50 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/sma100-options_83490-427776.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/sma100-options_83490-427776.html</a>
Rohde & Schwarz	Microwave Signal Generator	SMA8-8150N	8 kHz	50 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/sma100-options_83490-427776.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/sma100-options_83490-427776.html</a>
Rohde & Schwarz	Microwave Signal Generator	SMA8-8167	8 kHz	67 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/sma100-options_83490-427776.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/sma100-options_83490-427776.html</a>
Rohde & Schwarz	Microwave Signal Generator	SMA8-8174	8 kHz	67 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/sma100-options_83490-427776.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/sma100-options_83490-427776.html</a>
Rohde & Schwarz	Microwave Signal Generator	SMB-8112	100 kHz	12.75 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/smb100e-productstartpage_83493-9379.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/smb100e-productstartpage_83493-9379.html</a>
Rohde & Schwarz	Microwave Signal Generator	SMB-8120	100 kHz	20 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/smb100e-productstartpage_83493-9379.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/smb100e-productstartpage_83493-9379.html</a>
Rohde & Schwarz	Microwave Signal Generator	SMB-8131	100 kHz	31.6 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/smb100e-productstartpage_83493-9379.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/smb100e-productstartpage_83493-9379.html</a>
Rohde & Schwarz	Microwave Signal Generator	SMB-8140	100 kHz	40 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/smb100e-productstartpage_83493-9379.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/smb100e-productstartpage_83493-9379.html</a>
Rohde & Schwarz	Midrange Network Analyzers	ZNB78	9 kHz	8.5 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/znb-productstartpage_83493-9379.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/znb-productstartpage_83493-9379.html</a>
Rohde & Schwarz	Midrange Network Analyzers	ZNB720	100 kHz	20 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/znb-productstartpage_83493-9379.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/znb-productstartpage_83493-9379.html</a>
Rohde & Schwarz	Midrange Network Analyzers	ZNB725	100 kHz	26.5 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/znb-productstartpage_83493-9379.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/znb-productstartpage_83493-9379.html</a>
Rohde & Schwarz	Midrange Network Analyzers	ZNB740	100 kHz	40 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/znb-productstartpage_83493-9379.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/znb-productstartpage_83493-9379.html</a>
Rohde & Schwarz	Midrange Network Analyzers	ZNB81	9 kHz	4.5 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/znb-productstartpage_83493-9379.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/znb-productstartpage_83493-9379.html</a>
Rohde & Schwarz	Midrange Network Analyzers	ZNB8	9 kHz	8.5 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/znb-productstartpage_83493-9379.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/znb-productstartpage_83493-9379.html</a>
Rohde & Schwarz	Midrange Network Analyzers	ZNB20	100 kHz	20 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/znb-productstartpage_83493-9379.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/znb-productstartpage_83493-9379.html</a>
Rohde & Schwarz	Midrange Network Analyzers	ZNB40	100 kHz	40 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/znb-productstartpage_83493-9379.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/znb-productstartpage_83493-9379.html</a>
Rohde & Schwarz	Phase Noise Analyzer and VCO Tester	FWP98	1 MHz	8 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/fwp-productstartpage_83493-120512.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/fwp-productstartpage_83493-120512.html</a>
Rohde & Schwarz	Phase Noise Analyzer and VCO Tester	FWP925	1 MHz	26.5 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/fwp-productstartpage_83493-120512.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/fwp-productstartpage_83493-120512.html</a>
Rohde & Schwarz	Phase Noise Analyzer and VCO Tester	FWP992	1 MHz	50 GHz	<a href="https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/fwp-productstartpage_83493-120512.html">https://www.rohde-schwarz.com/uk/product/fwp-productstartpage_83493-120512.html</a>

Figura 37: Variedad de generadores y analizadores mostrados

Esta base de dato permite una búsqueda de productos atendiendo a las necesidades. Por ejemplo, si dentro de la categoría de amplificadores buscamos aquellos que trabajen hasta una frecuencia de 40 GHz:

Company	Min. Frequency	Max. Frequency	Product	Power Max. / W	Input VSWR	Gain Variation	Gainancia	Link
ETS-Lindgren	138 GHz	40 GHz	S100-100	5	2.0:1	± 3	-	<a href="http://www.ets-lindgren.com/product/">http://www.ets-lindgren.com/product/</a>
ETS-Lindgren	26 GHz	40 GHz	S100-018	40	2.0:1	± 6	-	<a href="http://www.ets-lindgren.com/product/">http://www.ets-lindgren.com/product/</a>
ETS-Lindgren	26.5 GHz	40 GHz	S100-083	120	2.0:1	± 6	-	<a href="http://www.ets-lindgren.com/product/">http://www.ets-lindgren.com/product/</a>
MVG	500 MHz	40 GHz	OFB-RFAMP-D40-1	-	-	-	-	<a href="https://www.mvg-world.com/es/product/">https://www.mvg-world.com/es/product/</a>
MVG	500 MHz	40 GHz	OFB-RFAMP-S40-1	-	-	-	-	<a href="https://www.mvg-world.com/es/product/">https://www.mvg-world.com/es/product/</a>

Figura 38: Búsqueda de productos

Dicha base de datos está disponible en Excel en formato digital vinculado a este proyecto.

## 11. Proyecto real

Se ha solicitado a las empresas anteriormente listadas un presupuesto para un proyecto real de cámara anecoica. Sin embargo, debido a la exclusividad del producto muy adaptado a las necesidades del cliente y la competitividad en el sector, estas empresas no aportan mucha información si el proyecto no va a ser realizado. Agradecer a MVG (a través de TemSystem), Global EMC, Frankonia y Comstest (a través de Álava Ingenieros) la información aportada, siendo el de Álava Ingenieros el presupuesto más completo de todos, por lo que se adjuntará en el anexo.

Para una cámara de 3 metros acorde al estándar EN 61000-4-3, el precio puede variar de los 335000€ para una cámara sin equipamiento a los 550000€ para una cámara con equipamiento y de altas prestaciones. Este precio no incluye IVA y puede aumentar según el terreno donde se vaya a situar ésta, puesto que en ocasiones puede no ser adecuado y se requiere que sea tratado, aumentando el coste.

## 12. Conclusión

Esta memoria resume las características técnicas principales de las cámaras anecoicas destinadas a ensayos de compatibilidad electromagnética. Se ha partido de los conceptos más básicos de electromagnetismo para conocer los fenómenos que tienen lugar en una cámara, para así poder razonar los elementos necesarios en ésta. Se ha hecho una recopilación del equipamiento básico necesario, así como los diferentes tipos existentes dependiendo de las necesidades de la medida.

Una vez analizados los diferentes elementos que componen una cámara para ensayos de compatibilidad electromagnética, así como sus diferentes formatos, se concluye que la configuración más común es la cámara anecoica rectangular de 3 metros.

Como aplicación práctica de todo este conocimiento, se ha hecho un estudio de mercado con diferentes proveedores y fabricantes europeos. Así pues, con toda la información proporcionada por 7 empresas diferentes se ha generado una base de datos en formato MS-Excel, con 909 registros clasificados conforme a la siguiente distribución:

219 Absorbentes
81 Accesorios
249 Amplificadores
118 Antenas
50 Estructuras de apantallamiento
43 Filtros
126 Generadores y amplificadores
23 Herramientas software

Adicionalmente, y como caso práctico integrador, se solicitó presupuesto a varias empresas para la instalación de una cámara anecoica de 3 metros con el ánimo de hacer una estimación del precio actual de mercado. Por lo general, en los casos donde se obtuvo respuesta, la información fue muy escasa y difícilmente comparable. No obstante se agradece el presupuesto detallado recibido por parte de Álava Ingenieros, incluido como anexo en esta memoria.

La base de datos proporcionada es útil como punto de partida para la adición de nuevos registros que amplíen el catálogo actual, tanto de elementos como de proveedores, buscando información en los catálogos comerciales disponibles a través de Internet. También se propone mejoras en el detalle de los datos que permitan aplicar filtros de búsqueda. Como mejora de la base de datos se propone la ampliación de características de los elementos, entre las que pueda incluirse un preciarío que ayude a realizar estimaciones de presupuestos económicos. En cualquier caso, recopilar toda la información del coste económico de los elementos será de difícil consecución por el acceso tan limitado a este tipo de datos.

## 13. Bibliografía

- [1] Hamming, L.H., *Electromagnetic Anechoic Chambers. A fundamental Design and Specification Guide*, Wiley-IEEE Press, 2002.
- [2] Comisión Europea, Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. [La 5G para Europea: un plan de acción.](#)
- [3] Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, *Plan Nacional 5G 2018-20*, Secretaría de estado para la sociedad de la información y la agenda digital, Junio 2017. Disponible en: <https://avancedigital.gob.es>
- [4] B. F. Lawrance, Anechoic Chamber, Past and Present, Conformity Magazine, 2005
- [5] Dash, Glen and Llc. Ampyx, *How RF Anechoic Chambers Work* , 1999.
- [6] Gau, J. -. J., W. D. Burnside and M. Gilreath, *Chebyshev multilevel absorber design concept*, in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 45, no. 8, pp. 1286-1293, Aug. 1997. Disponible en: [www.ieeexplore.org](http://www.ieeexplore.org)
- [7] Chung B.K., *Anechoic Chamber Design*. In: Chen Z., Liu D., Nakano H., Qing X., Zwick T. (eds) Handbook of Antenna Technologies. Singapore, 2016.
- [8] Rodriguez, V. and M. Wiles, *Choosing the Right Chamber for Your Test Requirements*, Interference Technology, Mayo 2010.
- [9] Rodriguez, V., *Basic Rules for Anechoic Chamber Design*, IEEE Antennas and propagation magazine, Febrero 2016.
- [10] Haala, J. and W. Wiesbeck, *Upgrade of foam equipped semi anechoic chambers to fully anechoic chambers by the use of ferrite tiles*, 1998 IEEE EMC Symposium. International Symposium on Electromagnetic Compatibility. Symposium Record (Cat. No.98CH36253), Denver, CO, USA, 1998, pp. 14-19 vol.1, doi: 10.1109/ISEMC.1998.750052. Disponible en: [www.ieeexplore.org](http://www.ieeexplore.org)
- [11] Holloway, C.L., R. R. DeLyser, R.F. German, P. McKenna and M. Kanda, *Comparison of electromagnetic absorber used in anechoic and semi-anechoic chambers for emissions and immunity testing of digital devices*, in IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 39, no. 1, pp. 33-47, Feb. 1997. Disponible en: [www.ieeexplore.org](http://www.ieeexplore.org)
- [12] Haner, K., *Anechoic Chamber Evaluation*, NSI-MI Technologies, Antenna Measurement Techniques Association Conference, October 1994. Disponible

en: [www.nsi-mi.com](http://www.nsi-mi.com)

[13] Lawrence, B.F., *Anechoic Chambers*, ETS-Lindgren, Febrero 2005.

[14] Appel-Hansen, J., *Reflectivity Level of Radio Anechoic Chamber*, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1973.

[15] Campbell, Derek, G. Gampala, M. Vogel, C.J. Reddy, *Simulating Antenna Measurements in an Anechoic Chamber*. Microwave Journal. 57. 90-100, Virginia, 2014.

[16] Brumley, S.A., *Evaluation of microwave anechoic chamber absorbing materials*, Arizona State University, 1988.

[17] European Comission, *Directive 2014/30/EU on electromagnetic compatibility - Summary list*, GROW.DDG1.B.3, actualizado al 18/05/2020. Disponible en: <https://ec.europa.eu>

[18] <https://www.academyofemc.com/>

## 14. Anexo

CLIENTE

**PROPUESTA DE DISEÑO, SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y VERIFICACIÓN DE**  
**UNA CÁMARA EMC TIPO FULLANECOICA PARA ENSAYOS DE CONFORMIDAD A 3M**  
**A IMPLEMENTARSE EN XXXX**

ITEM	CONCEPTO	CANT.	PRECIO UNIT.	TOTAL [€]
1	<b>COMTEST Series 1720-150 3m Full-Compliance Full-Anechoic Room (FAR-3).            Cámara FullAnechoica (FAR), con Zona Quiera (QZ) Ø1.5m, para Ensayos EMC de Conformidad @ 3m:</b> -Inmunidad Radiada (RI) entorno Industrial <sup>(1)</sup> : Full Compliance @ 80MHz-6GHz. -Emisiones Radiadas (RE) entorno Industrial <sup>(1)</sup> : Full Compliance @ 30-1000MHz & 1GHz-18/40GHz. <sup>(1)</sup> Opcionalmente también Full Compliance en RI y RE en entorno Automoción conforme a ISO 11452-2 e CISPR-25 respectivamente. • <b>Diseño 100% modular.</b> Descripción detallada en Anexo 1. - Totalmente desmontable/reutilizable/trasladable/ampliable en el futuro. • <b>Prestaciones Electromagnéticas (SE, NSA, sVSWR y FU) detalladas en Anexo 1, resumidas:</b> -SE: +100dB s/ EN 50147-1 hasta 18/40GHz. -RSM/NSA: ±4,0dB @ 30-200MHz; ±4,0dB @ 200-1000MHz. -sVSWR; ≤6,0dB @ 1-18GHz. -FU: ≤6,0dB @ 75% puntos @ 80-6000MHz. - <b>Incluye Verificación Ausencia de Fugas y Medida de Apantallamiento en Campo H por ALAVA.</b> - <b>Incluye Validación NSA, sVSWR y FU @ 3m por Laboratorio Acreditado (i.e. CONFORMITAS).</b> • Prestaciones Mecánicas (Dimensiones, Peso, Distribución Carga, etc.) detalladas en Anexo 1. - <b>Dimensiones externas aprox.: 8,10 x 4,80 x 3,975mH</b> (8,10 x 5,02 x 4,315mH con estructura). -Instalada en Planta Primera de la nueva sede de XXXX en XXXX. • Alcance del Suministro (SoW) de bienes y servicios detallado en Anexo 1. -Incluye Kit completo materiales para la Cámara (apantallamiento y absorbente hasta 18/40GHz). - <b>Incluye Sistema Posicionamiento (Mástil, Mesa y Controlador).</b> -Incluye Subsistemas Eléctrico e Iluminación. - <b>Incluye Instalación por Personal Propio Local Cualificado y Experimentado.</b> -Se contemplan ampliaciones opcionales y alternativas. Ver sección OPCIONES y ALTERNATIVAS. • Condiciones de Suministro e Instalación conforme a documento v4.0 adjunto.	1 ud.	233.940,-	233.940,-

**OPCIONES INCLUIDAS**

A1	<b>ALAVA – Nivelación</b> Nivelación de suelo bajo Cámara en ±1mm/1m, ±3mm/3m, ±5mm/5m y ±7mm/total con mortero autonivelante SIKA Level-125 o similar, para una correcta instalación de la misma y garantía de prestaciones. Presupone que el desnivel existente no supera un rizado máximo de 50mm en todo el área a nivelar. En caso de constatarse desniveles superiores, será necesaria recotización. Incluye materiales y mano de obra realizada conjuntamente la instalación de la Cámara, así como generación de informe de cotas de nivelación en retícula de 1m x 1m.	1 set	1.050,-	Incluido,-
B2	<b>COMTEST modelo SA-Kit</b> Kit para operación SemiAutomática de puertas 1766 (abatible hoja simple), 1763 series (abatible doble hoja) y 1752 series (deslizantes). Apertura y cierre de apantallamiento automática (motor eléctrico integrado), abatimiento/desplazamiento manual. Incluye contacto libre de potencial en lado exterior (hasta 24VDC, 1A) para conexión con sistema de control de accesos del CLIENTE (no incluido). Totalmente integrado (en fábrica) en la hoja y oculto a la vista. Requiere toma monofásica 230VAC (por CLIENTE) en las proximidades de la puerta.	1 ud.	2.990,-	Incluido,-



ITEM	CONCEPTO	CANT.	PRECIO UNIT.	TOTAL [€]
<b>D1</b>	<b>COMTEST modelo 1757-990-WP.</b> Pasamuros tipo sifón (trampa de RF rellena de virutas de cobre), sección 250x110mm aprox., para paso de cables/conectores especiales con mínima degradación de la efectividad de apantallamiento. Ésta será tanto mejor si los cables tienen malla y ésta a su vez hace contacto con las virutas de cobre. Requiere vaciado/rellenado de la trampa cada vez que se introduzcan nuevos mazos. ⇒ Ubicación: A definir en CDR o incluso durante el montaje de la Cámara. ⇒ Uso: Paso mazos cableado especiales. Suministro e instalación conjunta con ítem #1.	<b>1 ud.</b>	<b>1.210,-</b>	<b>Incluido,-</b>
<b>F1</b>	<b>COMTEST modelo ECT-45/25.</b> Placa de EPS (poli estireno expandido) transparente a la RF, color blanco, mecánicamente adaptada al absorbente HT-25, HT-25, MT-25 y MT-45. Mejora la luminosidad y protege mecánicamente. Se considera un set completo para HT's de paredes y techo salvo primera fila de paredes. Suministro e instalación conjunta con ítem #1. Se incluye <u>LOGO</u> de XXXX con este ítem, <u>sin coste adicional</u> . Tamaño aprox. 1,2m x 1,2m.	<b>1 set</b>	<b>2.560,-</b>	<b>Incluido,-</b>
<b>F2</b>	<b>COMTEST modelo ECT-45/25-G.</b> Placa de EPS (poli estireno expandido) transparente a la RF, color gris, mecánicamente adaptada al absorbente HT-25, HT-25, MT-25 y MT-45. Mejora la luminosidad y protege mecánicamente. Recomendada para uso en absorbentes de suelo y primera fila de paredes. Se considera un set completo para HT's del suelo y primera fila de paredes. Suministro e instalación conjunta con ítem #1.	<b>1 set</b>	<b>590,-</b>	<b>Incluido,-</b>
<b>G2</b>	<b>MATURO modelo AA 01.</b> [ <a href="#">Hiperlink AA 01</a> ] Adaptador para mayoría de antenas con stinger de 22mmØ y conector RF al final de dicho stinger (i.e. Schwarzbeck modelo VULB 9162). Suministro e instalación conjunta con ítem #1.	<b>1</b>	<b>170,-</b>	<b>Incluido,-</b>
<b>K1</b>	<b>ALAVA ref. Sistema Ventilación Forzada</b> Sistema de Ventilación Forzada en Cámara, compuesto por - (2x) Extractores, velocidad regulable. Situados sobre dos de los paneles de ventilación. Los otros dos quedan libres para no generar infra presión dentro de la Cámara - (1x) Instalación eléctrica (cables y canalizaciones). Suministro e Instalación conjunta con ítem #1.	<b>1 set</b>	<b>520,-</b>	<b>Incluido,-</b>
<b>Z1</b>	<b>TEST HOUSE – RSM (NSA) Validation tests @ 3m:</b> Ensayos de validación RSM (NSA) s/ CISPR16-1-4 Ed. 3.2 (2017) Clause 5.4.7 @ 30MHz-1GHz @ Td=3m, realizado por laboratorio acreditado reconocido internacionalmente (i.e. CONFORMITAS, SEIBERSDORF Labor, etc.). Incluye uso de equipamiento propio debidamente calibrado. Incluye costes de dietas de ingeniero de ensayos, así como elaboración del informe. Incluye soporte de ALAVA durante los ensayos. Servicio opcional a considerar conjuntamente con ítem #1.	<b>1 set</b>	<b>6.300,-</b>	<b>Incluido,-</b>
<b>Z2</b>	<b>TEST HOUSE – sVSWR Validation tests @ 3m:</b> Ensayos de validación sVSWR s/ CISPR16-1-4 Ed. 3.2 (2017) Cláusula 8 @ 1GHz-18GHz @ Td=3m, realizado por laboratorio acreditado reconocido internacionalmente (i.e. CONFORMITAS, SEIBERSDORF Labor, etc.). Incluye costes de elaboración del informe. Incluye uso de equipamiento propio debidamente calibrado. Incluye soporte de ALAVA durante los ensayos. Servicio opcional a considerar conjuntamente con ítem #1 y #Z1.	<b>1 set</b>	<b>1.320,-</b>	<b>Incluido,-</b>
<b>Z3</b>	<b>TEST HOUSE – UFA Validation tests:</b> Ensayos de verificación UFA(*) s/ IEC 61000-4-3 Ed.3.2 (2010) @ 80MHz-6GHz @ Td=3m, realizado por laboratorio acreditado reconocido internacionalmente (i.e. CONFORMITAS, SEIBERSDORF Labor, etc.). Incluye uso de equipamiento propio debidamente calibrado. Incluye costes de elaboración del informe. Incluye soporte de ALAVA durante los ensayos.	<b>1 set</b>	<b>3.950,-</b>	<b>Incluido,-</b>

ITEM	CONCEPTO	CANT.	PRECIO UNIT.	TOTAL [€]
------	----------	-------	--------------	-----------

(\* El ensayo de estaría destinado a validar la uniformidad de campo en el UFA de 16 puntos, PH y PV, no se trataría de una calibración del setup de ensayo RI.  
 Servicio opcional a considerar conjuntamente con ítem #1 y #Z1.

**IMPORTE TOTAL FAR-3..... 233.940,-**

### OPCIONES Y ALTERNATIVAS

#### (A) - ACONDICIONAMIENTO SITIO Y SOPORTE LOGÍSTICO

<b>A2</b>	<b>ALAVA – Aislamiento Eléctrico</b>	<b>1 set</b>	<b>840,-</b>	<b>840,-</b>
Manta aislante 3mm bajo Cámara (incluyendo estructura) para dotar a la instalación de un aislamiento eléctrico >10kΩ cuando el punto único de conexión a tierra se desconecte. Incluye materiales y mano de obra realizada conjuntamente la instalación de la Cámara.				

#### (B) - RECINTO APANTALLADO, PUERTAS Y PANELES DE VENTILACIÓN

<b>B1</b>	<b>COMTEST model 1766-1523-MA Shielded Swing Door. <a href="#">[Hiperlink 1766-1523-MA]</a></b>	<b>1 ud.</b>	<b>(+)1.890,-</b>	<b>(+)1.890,-</b>
Puerta apantallada de RF de altas prestaciones, <b>paso útil 1,5 x 2,3mH</b> , operación manual. Las puertas 1766 caracterizan: •Movimiento abatible •Doble cuchilla y cuádruple línea de contactos Cu-Be para alta efectividad de apantallamiento hasta 40GHz •Sistema de bisagra patentado para apertura/cierre paralelo •Mecanismo apertura/cierre de baja fuerza •Mantenimiento mínimo y accesible totalmente desde exterior •Escalón muy reducido (+50mm mín.). Incluye: - Manivelas metálica modelo 1760-711 en exterior; modelo 1760-745 (transparente a RF) en interior. - Lámina exterior acabada en Color aluminio RAL-9006 (otros colores de forma opcional). - Acabado interior: placa para montaje de ferritas. - Kit de mantenimiento. - Opcional ( <b>no incluido</b> ) 1766-Slope: Rampa manual. Inclinación <30%. Carga: 600kg/m <sup>2</sup> . - Opcional ( <b>incluido</b> ) 1760-310: Monitor mecánico estatus cierre (final de carrera). - Opcional ( <b>no incluido</b> ) SA-Kit: Kit de operación semiautomática (motor eléctrico integrado). Habilita además para implementación sistema control de accesos (suministrado por el CLIENTE). ⇨ Ubicación y Apertura: A definir en CDR (previsto TBD, apertura hacia afuera). ⇨ Escalón: A definir en CDR (previsto 200mm). ⇨ Uso: Acceso de personas y equipos a Cámara. Suministro e instalación conjunta con ítem #1. <i>¡¡Importe por <u>sustitución</u> de la puerta D1 modelo 1766-1521 considerada en SoW del ítem #1!!</i>				

<b>B3</b>	<b>COMTEST modelo 1766-SLOPE</b>	<b>1 ud.</b>	<b>750,-</b>	<b>750,-</b>
Rampa manual especial para puerta D1 considerada en SoW del ítem #1. Inclinación <30%. Escalón 200mm. Carga 600 kg/m <sup>2</sup> . Suministro e instalación conjunta con ítem #1.				

<b>B4</b>	<b>COMTEST model 1792-3030 Honeycomb Grill.</b>	<b>4 ud.</b>	<b>(+)160,-</b>	<b>(+)640,-</b>
Panel de ventilación tipo honeycomb, fc=40GHz, sección 300x300mm. Incluye marco de interface dieléctrico interno y externo para facilitar conexión a conductos sistema HVAC de CLIENTE. ⇨ Ubicación: A definir en CDR o incluso durante el montaje de la Sala. ⇨ Uso: Ventilación no forzada de la Sala. Suministro e instalación conjunta con ítem #1. <i>¡¡Importe por <u>sustitución</u> de los paneles de ventilación VP1 a VP4 modelo 1781-3030 considerados en SoW del ítem #1!!</i>				

#### (C) - FILTROS ELÉCTRICOS Y CONVERTORES DE MEDIO

<b>C1</b>	<b>COMTEST modelo 4801-016.</b>	<b>1 ud.</b>	<b>1.150,-</b>	<b>1.150,-</b>
Filtro de Alimentación, monofásico (1PH+N), 16A/línea, 250VAC 50/60Hz   115VAC 400Hz   400VDC, 100dB IL @ 100kHz-18GHz, 250x110x50mm, 3kg. MPE ref. DS41016. Incluye kit de montaje. ⇨ Ubicación: A definir en CDR o incluso durante el montaje.				

ITEM	CONCEPTO	CANT.	PRECIO UNIT.	TOTAL [€]
------	----------	-------	--------------	-----------

⇒ Uso: Servicios Generales Cámara (iluminación, mesa rotatoria, mástil, CCTV, etc.).  
 Suministro e Instalación conjunta con ítem #1.

<b>C2</b>	<b>COMTEST modelo 4651-100.</b> Filtro de Alimentación DC HV, 2-líneas (Pos+Neg), 1500VDC, 100A/línea, 100dB IL @ 100kHz-40GHz, 760x205x120mm, 28kg. MPE ref. DS30917. Incluye kit de montaje. ⇒ Ubicación: A definir en CDR o incluso durante el montaje. ⇒ Uso: Fuerza HV DC DUT. Suministro e Instalación conjunta con ítem #1. Incluye Caja de registro cercana al Filtro DC para colocación protecciones tipo fusibles.	<b>1 ud.</b>	<b>3.950,-</b>	<b>3.950,-</b>
-----------	---	--------------	----------------	----------------

(D) - PANELES PASAMUROS Y RESTO DE PENETRACIONES

<b>D2</b>	<b>COMTEST modelo 1783-100-HC- G1-11</b> Guiaonda de acero de <b>Ø1" sección</b> y camisa para aislamiento térmico, con inserto fc=40GHz y terminaciones en <b>rosca gas rosca G1"-11</b> . ⇒ Ubicación: A definir en CDR o incluso durante el montaje de la Sala. Previsto en WP1. ⇒ Uso: Paso de tubería agua 1" suministro y retorno. Suministro e instalación conjunta con ítem #1.	<b>2 ud.</b>	<b>500,-</b>	<b>1.000,-</b>
-----------	---	--------------	--------------	----------------

ALTERNATIVA a 1783-100-HC-G1-11:

<b>D2.1</b>	<b>COMTEST modelo 1179-100-HC-DN20.</b> Guiaonda de acero de <b>Ø1" sección</b> y camisa para aislamiento térmico, con inserto fc=40GHz y terminaciones en <b>brida DN20/PN16</b> . ⇒ Ubicación: A definir en CDR o incluso durante el montaje de la Sala. Previsto en WP1. ⇒ Uso: Paso de tubería agua 1" suministro y retorno. Suministro e instalación conjunta con ítem #1.	<b>2 ud.</b>	<b>1.350,-</b>	<b>2.700,-</b>
-------------	---	--------------	----------------	----------------

(E) - FALSO SUELO, PLANO DE TIERRA Y ARQUETAS

<b>E1</b>	<b>COMTEST modelo 1793-3030-FP</b> Arqueta (FP1) sección 300x300mm, eléctricamente conectada con Plano de Tierra, equipada con: - (1x) Pasamuros RF tipo NPrecisión(h)-N(h), 50Ω, 18GHz, Modelo 1795-008. Incluye tapón plástico; - (2x) Pasamuros RF tipo N(h)-N(h), 50Ω, 11GHz, Modelo 1795-002. Incluye tapón plástico; - (1x) Pasamuros Aire comprimido 1/4" P/N 501335; - (2x) Pasamuros Fibra óptica tipo FSMA-FSMA, Modelo 1795-004. Incluye tapón plástico; - (2x) Tomas de corriente Schuko 10/16A. ⇒ Ubicación: A definir en CDR (prevista zona Mástil Antenas). ⇒ Uso: Acceso a coaxiales, fibra óptica y alimentación del Mástil Antenas. Suministro e instalación conjunta con ítem #1. <i>¡¡Importe por <u>sustitución</u> del panel de registro FAP3 considerado en SoW del ítem #1!!</i>	<b>1 ud.</b>	<b>(+)620,-</b>	<b>(+)620,-</b>
-----------	--	--------------	-----------------	-----------------

<b>E2</b>	<b>ALAVA – Acabado Suelo</b> Moqueta gomosa sobre la ferrita de suelo para protección y facilitar limpieza. Incluye marcadores en bandas amarillo/negro delimitando zonas críticas como perímetro absorbente y arquetas. Suministro e instalación conjunta con ítem #1.	<b>1 set</b>	<b>1.060,-</b>	<b>1.060,-</b>
-----------	---	--------------	----------------	----------------

(F) - MATERIAL ABSORBENTE

(G) - SISTEMA POSICIONAMIENTO

<b>G1</b>	<b>MATURO model EAS 0.8/2.0-10kg.</b> [ <a href="#">Hiperlink EAS 0.8/2.0-10kg</a> ] Electric Antenna Stand 2,6mH especially suited for Indoor use on EMC chambers at a fixed measuring height. Manufactured from robust RF-transparent material (exception of the drive unit). Low emissions motor. Fibre optic controlled by means of the FCU 3.0 or NCD controller. Main specs: - Scan height: <b>Manually</b> , adjustable range <b>0.8m to 2,0m</b> . - Load capability: up to 10kg (when balanced). - Positioning speed // accuracy: N/A. - Polarization change: <b>Electrical</b> , 0°/90°, <b>no height offset</b> . - Different antenna adapters available on request. EAS 0.8/2.0-10kg is supplied disassembled, in wooden package. Suministro e instalación conjunta con ítem #1.	<b>1 ud.</b>	<b>(+)170,-</b>	<b>(+)170,-</b>
-----------	--	--------------	-----------------	-----------------

ITEM	CONCEPTO	CANT.	PRECIO UNIT.	TOTAL [€]
------	----------	-------	--------------	-----------

*¡¡Importe por sustitución del mástil modelo EAS 1.0/2.0-10kg considerado en SoW del ítem #1!!*

ALTERNATIVA a EAS 0.8/2.0-10kg:

*¡¡Necesario en caso de pensar en antena inmunidad **STLP 9129!!***

<b>G1.1</b>	<b>MATURO modelo ASP 1.0/1.8-15kg.</b> <a href="#">[Hiperlink ASP 1.0/1.8-15kg]</a>	<b>1 ud.</b>	<b>(-)3.010,-</b>	<b>(-)3.010,-</b>
	Pneumatic Antenna Stand 1,9mH especially suited for Indoor use on EMC chambers at a fixed measuring height. Manufactured from robust RF-transparent material (exception of the drive unit). Low emissions motor. Fibre optic controlled by means of the FCU 3.0 or NCD controller. Main specs: - Scan height: <b>Manually</b> , adjustable range <b>1.0m to 1,8m</b> . - Load capability: up to 15kg (when balanced). - Positioning speed // accuracy: N/A. - Polarization change: <b>Pneumatic</b> , 0°/90°, <b>no height offset</b> . Compressor (6 bar) <u>not included</u> . - Different antenna adapters available on request. ASP 1.0/1.8-10kg is supplied disassembled, in wooden package. Suministro e instalación conjunta con ítem #1.			

*¡¡Importe por sustitución del mástil modelo EAS 1.0/2.0-10kg considerado en SoW del ítem #1!!*

(H) - EQUIPAMIENTO AUXILIAR

<b>H1</b>	<b>MATURO modelo PTT1.5x1.0x0.8-S.</b> <a href="#">[Hiperlink PTT1.5x1.0x0.8-S]</a>	<b>1</b>	<b>2.290,-</b>	<b>2.290,-</b>
	Mesa de ensayos de muy bajo coeficiente de reflexión ( $\epsilon_r$ @ 1MHz aprox. 1.2), especialmente indicada para uso en cámaras semi/anecoicas o en cámaras reverberantes. Construida en Styrodur. Tamaño: 1,5m x 1,0m x 0,8mH. Capacidad de carga: 100kg. Incluye placa superior removible tipo "Pertinax" de 2mm, con retícula impresa 100x100mm. PTT1.5x.10x0.8-S se suministra ensamblada, con embalaje de madera 1.6 x 1.3 x 0.9m (L x W x H), peso total (incluyendo embalaje) 120kg aprox. Suministro e instalación conjunta con ítem #1.			

ALTERNATIVA a PTT1.5x1.0x0.8-S:

<b>H1.1</b>	<b>MATURO modelo PTT1.5x1.0x0.8-R.</b> <a href="#">[Hiperlink PTT1.5x1.0x0.8-R]</a>	<b>1</b>	<b>4.325,-</b>	<b>4.325,-</b>
	Mesa de ensayos de muy bajo coeficiente de reflexión ( $\epsilon_r$ @ 1MHz aprox. 1.05), especialmente indicada para uso en cámaras semi/anecoicas o en cámaras reverberantes. Construida en Rohacell. Tamaño: 1,5m x 1,0m x 0,8mH. Capacidad de carga: 100kg. Incluye placa superior removible tipo "Pertinax" de 2mm, con retícula impresa 100x100mm. PTT1.5x.10x0.8-R se suministra ensamblada, con embalaje de madera 1.6 x 1.3 x 0.9m (L x W x H), peso total (incluyendo embalaje) 120kg aprox. Suministro e instalación conjunta con ítem #1.			

<b>H2</b>	<b>PONTIS modelo WB 45_F</b>	<b>1</b>	<b>620,-</b>	<b>620,-</b>
	RF-Transparent Wall Bracket; 45cmH, ferrite mount version. Max load: 10kg.			

(I) - ELECTRICIDAD, ILUMINACIÓN Y COMUNICACIONES

(J) - SISTEMA CCTV APANTALLADO

(K) - SISTEMA VENTILACIÓN Y CLIMA (HVAC)

(L) - SISTEMA PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS (PCI)

(M) - OTROS SUBSISTEMAS

(Z) - ENSAYOS DE VALIDACIÓN/CERTIFICACIÓN

## CONDICIONES PARTICULARES DE LA OFERTA

- Plazo de entrega:** En estos momentos 14-16 SEMANAS LABORABLES aprox. (a confirmar ARO), s/ siguiente CALENDARIO PRELIMINAR:  
- INGENIERÍA (planos CDR –Critical Design Review–): 1-2 SEMANAS aprox. Requiere aprobación final de CLIENTE (\*1).  
- FABRICACIÓN: 8-10 SEMANAS aprox.  
- TRANSPORTE: 1/2 SEMANA aprox.  
- INSTALACIÓN: 4 SEMANAS aprox. (\*2).  
- VALIDACIÓN: 1/2 SEMANA aprox. (\*3)  
*(\*1) La aprobación de planos CDR es responsabilidad del CLIENTE. Cualquier retraso en este hito afectará al plazo total. Se incluye una iteración. Dos o más iteraciones serían objeto de cotización adicional.*  
*(\*2) El comienzo de esta tarea sólo puede realizarse una vez el habitáculo que albergará la Cámara esté totalmente pre-acondicionado conforme a las condiciones de preinstalación adjuntas (responsabilidad del CLIENTE en buena medida).*  
*(\*3) Los ensayos de validación se realizarían lo más pronto posible tras conclusión de instalación, si bien puede haber algún impase entretanto en función de disponibilidad de ingeniero de ensayos.*
- Validez de la oferta:** 30 DÍAS.
- Garantía:** 2 AÑOS en piezas y mano de obra contra todo defecto de fabricación desde fecha de entrega en CLIENTE. Quedan excluidas de la garantía aquellos fallos motivados por un uso inapropiado del equipamiento (incluyendo falta de mantenimiento) así como intervenciones debidas a falta de experiencia del usuario o a “falsas averías”. También quedan excluidas de la garantía las averías producidas por un desgaste natural de piezas/componentes.
- Precios:** En EUROS. IVA en vigor (21%) NO INCLUIDO.  
TRANSPORTE INCLUIDO (DAP XXX, Incoterms 2015).  
INSTALACIÓN INCLUIDA.  
iiSon de aplicación las Condiciones Generales para Proyectos de Recintos Apantallados adjuntas!!
- Forma de Pago** 30 DÍAS. F.F. Conforme al siguiente CALENDARIO DE FACTURACIÓN:  
- 30% A LA RECEPCIÓN DEL PEDIDO;  
- 40% PREVIO A LA SALIDA DE MATERIALES DE FÁBRICA (facturaciones parciales con cada entrega);  
- 10% A LA CONCLUSIÓN DEL MONTAJE DEL APANTALLAMIENTO (verificación de ausencia de fugas);  
- 10% A LA CONCLUSIÓN DEL MONTAJE DEL ABSORBENTE.  
- 10% A LA VERIFICACIÓN DE PRESTACIONES RSM, SVSWR y FU por parte de laboratorio externo.
- Pedidos** La formalización del pedido requiere la ACEPTACIÓN mediante EMAIL ([alava@grupoalava.com](mailto:alava@grupoalava.com)) por parte del CLIENTE, haciendo referencia expresa al Nº de Oferta, así como a los ítems objeto de interés.  
Ver condiciones de la oferta completas en: [www.grupoalava.com/grupo/ofertas/](http://www.grupoalava.com/grupo/ofertas/)

## ANEXO I

### OBJETIVO, DESCRIPCIÓN, PRESTACIONES Y ALCANCE DEL SUMINISTRO (SoW)

#### OBJETIVO Y ANTECEDENTES:

El CLIENTE pretende dotarse de una Cámara para ensayos de EMC “Full Compliance” a 3m en entorno industrial. Su principal interés se centra en frecuencias hasta 6GHz tanto en Inmunidad como en Emisiones, si bien no descarta subir en frecuencia en el futuro.

El CLIENTE manifiesta la limitación de espacio para dotarse de una cámara semi/anecoica de certificación, lo que le obliga a dotarse de una full-anecoica con objeto de ofrecer servicios en este sentido. El CLIENTE reconoce que las cámaras Full-anecoicas están limitadas a equipos de sobremesa y que ciertas normas internacionales como CISPR32 no las admiten como recinto de ensayos de certificación por encima de 1GHz, pero reitera la falta de espacio para poder acometer otro tipo de cámara de certificación que no sea una Full-Anecoica. A pesar de estar limitadas a equipos de sobremesa, el CLIENTE solicita disponer de una mesa rotatoria de alta capacidad (1 Tonelada).

La Cámara irá implementada en la primera planta de la nueva nave de XXXX. En visita realizada el 24/SEP/20 se inspecciona la ubicación y se corrobora tanto los aspectos logísticos como que la Cámara propuesta cabe en el hueco destinado para ello. El CLIENTE manifiesta que el suelo en el que se montará la Cámara soportará perfectamente la carga que ésta supondrá.

En visita realizada el 12/NOV/20 se realiza un primer repaso detallado de Alcance de Suministro (SoW), partiendo del SoW preparado en base a las conversaciones iniciadas con el CLIENTE en septiembre de 2018, incorporándose en esta primera oferta oficial aquellos elementos que durante dicha visita se constataron como necesarios, como el filtro DC de 1000V, las guías para paso de agua y la población de los paneles pasamuros, y eliminando otras de momento innecesarias como el sistema CCTV o la antena de emisiones que inicialmente se habían considerado.

Teniendo en cuenta los requisitos y condicionantes anteriores, la solución propuesta por ALAVA consiste en una Cámara Full-Anecoica estándar de medidas a 3m (Modelo 1720-150) cuyas dimensiones encajan en el hueco disponible, con apantallamiento modular tipo bandeja, dotada de absorbente híbrido (ferrita + EPS). La Cámara se ha dimensionado con una Zona Quieta de 1,5mØ equiparable a la Mesa Rotatoria. La Cámara estará equipada con una puerta abatible de 1,5m x 2,1mH de operación semiautomática contemplándose en opción una puerta de 2,3mH. Tanto el apantallamiento, las puertas y el absorbente propuestos, así como el sistema de posicionamiento, suponen el estado del arte de la tecnología, fabricados por COMTEST Engineering (COMTEST) y MATURO respectivamente, empresas europeas líderes en Europa, contando además con el valor añadido local de ALAVA Ingenieros (ALAVA), que será quien se encargue de la instalación y la gestión integral del proyecto.

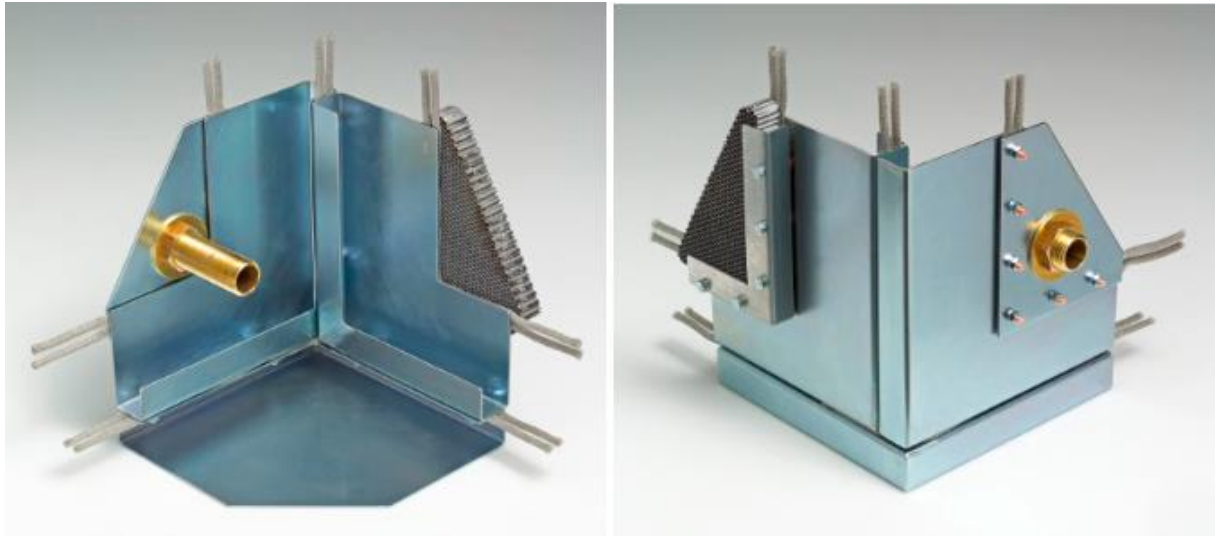
#### DESCRIPCIÓN:

La Cámara 1720-150 propuesta es una Cámara Full-Anecoica (FAR), con Zona Quieta (QZ) Ø1.5m, conforme con CISPR-16-1-4 e IEC 61000-4-3, para Ensayos EMC a 3m tanto de Emisiones Radiadas (RE) [Conformidad @30MHz-18/40GHz]<sup>(1)</sup> como de Inmunidad Radiada (RI) [Conformidad @ 80-6000MHz]<sup>(1)</sup>.



La Cámara 1720-150 propuesta proporciona un ambiente electromagnético estable y uniforme, que permite precisión y repetitividad en las medidas gracias a su eficiente apantallamiento y al absorbente híbrido de última generación que integra.

El **recinto apantallado** de la Cámara 1729-150 propuesta, es un recinto 1700-000 series. Estos recintos están contruidos con paneles tipo bandeja modelo 1790-002 que disponen de un galvanizado especial (ZMA-140) que le confiere alta conductividad y resistencia a la ralladura y a la humedad. El diseño de bandeja confiere ligereza y alta resistencia mecánica, además de permitir ocultar instalaciones internas.



La **puerta apantallada** 1766-1521-SA que integra el recinto es una puerta abatible de muy alta calidad que permite su operación manual sin apenas esfuerzo, un mínimo escalón (50mm), operativa hasta 40GHz y con un sistema patentado de doble pivotaje en bisagras que garantiza años de uso sin daño en los contactos. Preparadas para una operativa manual sin apenas esfuerzo, el mecanismo de apertura/cierre es accesible al 100% desde el exterior, y pueden equiparse con sistemas de operación semiautomático (incluido) tanto desde origen como en cualquier momento futuro.

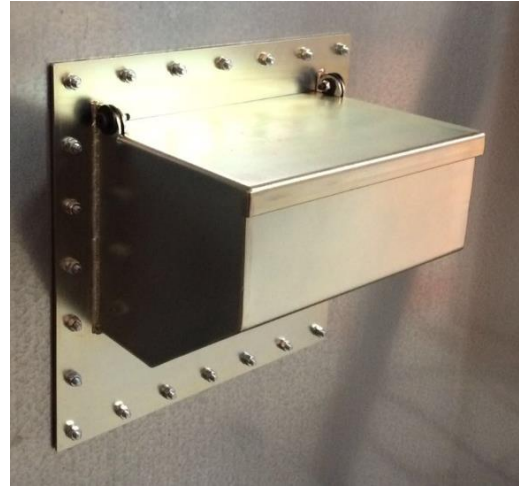


Dual-knife, 4 rows of Be-Cu fingers contact

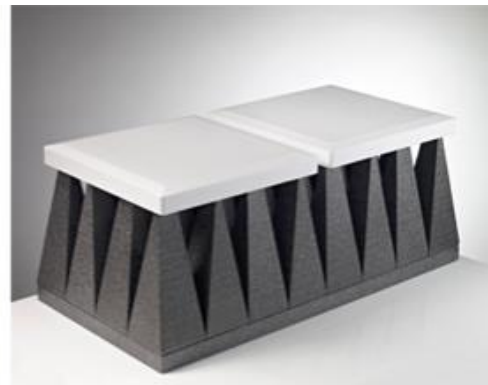
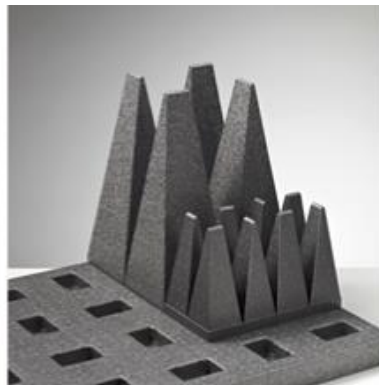


Dual-pivoting hinge-system

La Cámara 1720-150 propuesta dispondrá de **paneles de penetraciones, trampas de RF, paneles de ventilación y filtros eléctricos** conforme acordado con el CLIENTE y según se detalla en el Alcance del Suministro. Todas estas penetraciones atesoran calidad y altas prestaciones acordes a las ofrecidas por la tecnología de apantallamiento propuesta.



El **absorbente** de la Cámara Full-anecoica 1720-150 propuesta es un absorbente híbrido y modular de última generación, fabricado en poli estireno expandido (EPS) que, gracias a su perfecta uniformidad de dopaje, diseño trapezoidal alternado, y eficiente adaptación a la ferrita en un amplísimo ancho de banda, consigue que sea precisamente en cámaras compactas donde más notoria es su mejora de prestaciones en comparación con el absorbente tradicional. Es además limpio y ecológico (REACH & ROHS), mecánica y dimensionalmente estable (alineamientos perfectos sin caída de puntas), e inmune a la humedad.

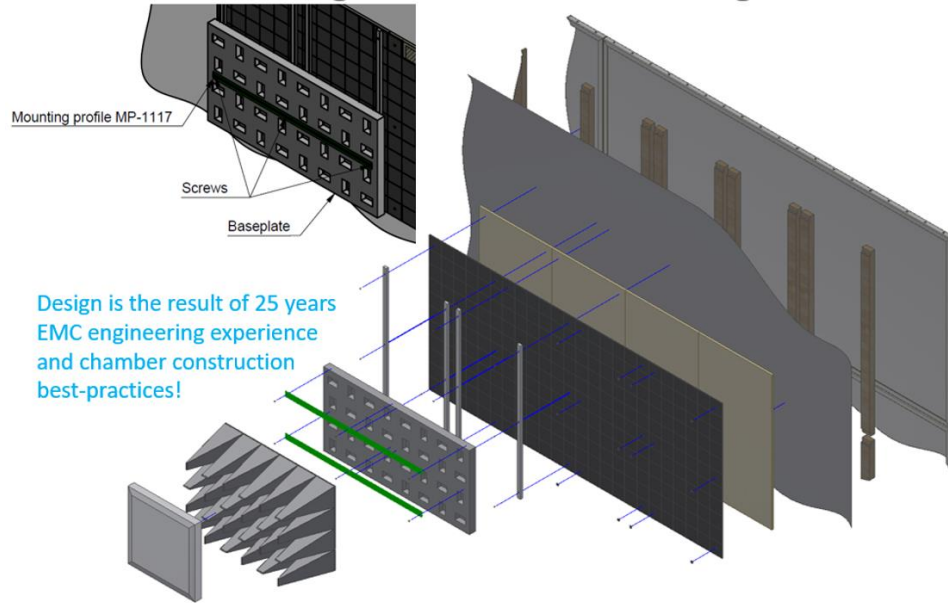


Opcionalmente (incluido) se puede equipar con placas blancas o grises, transparente a la RF, mecánicamente adaptadas a los conos/trapezios (tapers), que mejoran la luminosidad de la Cámara y protegen las puntas de golpes y rozaduras al paso.

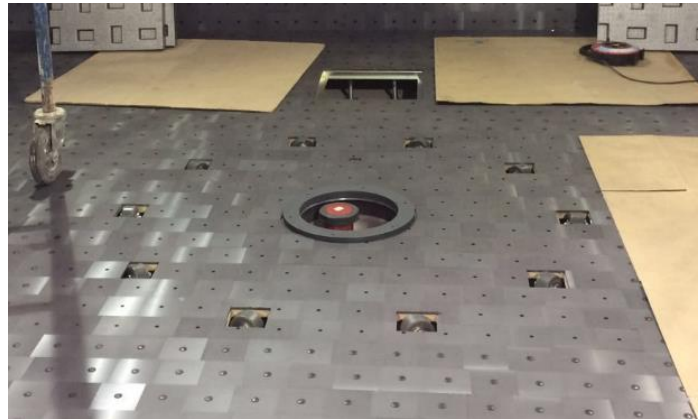
La Cámara 1720-150 propuesta tiene un **diseño 100% modular**, permitiéndose por tanto su actualización, ampliación, traslado y reutilización así como eventual reparación en cualquier momento posterior a la instalación original.



Mechanical mounting =>100% removable design



El **Sistema de posicionamiento** se basa en equipamiento que supone el estado del arte de esta tecnología y que está especialmente diseñado para uso en cámaras EMC tipo full anecoicas, todo ello de nuestro socio MATURO GmbH. Concretamente se propone la **Mesa Rotatoria** modelo TT 1.5 WI-1t, de Ø1,5m y con refuerzo especial para soportar hasta 1 Tonelada uniformemente distribuida.



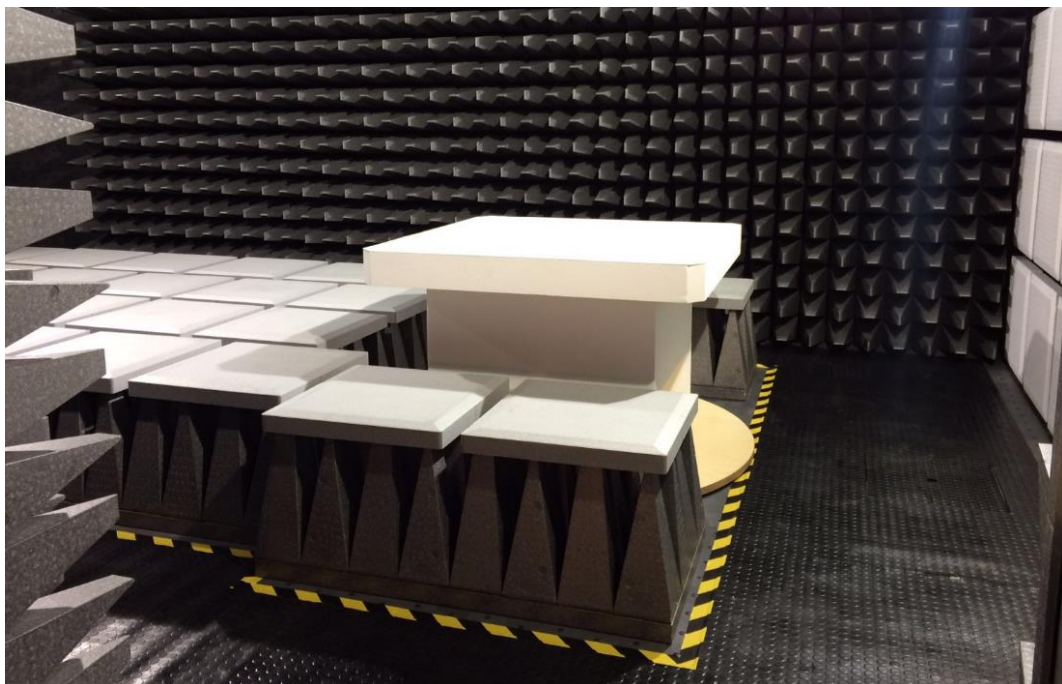
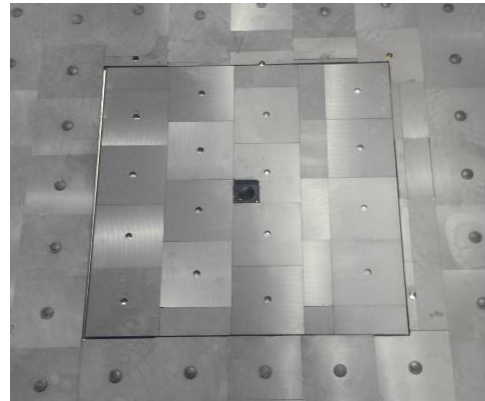
El **Mástil de Antenas** propuesto es el modelo EAS 1.0/2.0-10kg, que permite ajuste de altura de antena entre 1,0m y 2,0m de forma manual, y ofrece cambio de polarización eléctrica sin offset de altura. Alternativamente se propone el modelo ASP 1.0/2.0-15kg, que ofrece cambio de polarización neumática sin offset de altura.



Tanto Mesa como Mástil se controlan por fibra óptica por medio del **Controlador** modelo FCU 3.0, que permite el control de hasta cuatro dispositivos tanto de forma manual (panel frontal) como remota (se suministra con SW y puede integrarse en cualquier SW de ensayos abierto del mercado).



La Cámara 1720-150 propuesta se complementa con **paneles de registro y arquetas en suelo** especialmente diseñadas para uso en cámaras full anecoicas. Asimismo, se contempla en opción un acabado de moqueta gomosa para mejorar la protección de las ferritas y facilitar la limpieza, incluyéndose marcadores en bandas amarillo/negro delimitando zonas críticas como el perímetro de absorbente y las arquetas.



NOTAS ACLARATORIAS DESCRIPCIÓN:

(1) Se podrá utilizar para realizar ensayos RE y RI de preconformidad y conformidad a 3m respecto de todas aquellas normas de ensayo, ya sean básicas, genéricas o de producto, que acaben refiriendo a las cláusulas de CISPR 16-1-4 e IEC/EN 61000-4-3 en cuanto a las prestaciones que debe cumplir el recinto/entorno de ensayos.

## PRESTACIONES:

### PRESTACIONES ELECTROMAGNÉTICAS GARANTIZADAS

- (SE): **+100dB @ 10kHz-18/40GHz** conforme a EN 50147-1 (1996) <sup>(1)</sup>.
- (RSM/NSA) @ TD=3m: **±4.0dB @ 30-200MHz** <sup>(2)</sup> / **±4.0dB @ 200MHz-1GHz** <sup>(2)</sup>, en un volumen de ensayo o zona quieta (QZ) de 1,5mØ x 0,8-2,0mH, s/ CISPR16-1-4 Ed 4.0 (2019) Clause 6. **Conformidad.**
- (sVSWR) @ TD=3m: **≤6.0dB @ 1-18GHz** <sup>(3)</sup>, QZ = 1,5mØ x 0,82,0mH, s/ CISPR16-1-4 Ed 4.0 (2019) Clause 8. **Conformidad.**
- (FU): **≤6dB @ 80MHz-6GHz** <sup>(4)</sup> en ≥del 75% del plano de uniformidad (UFA), conforme con IEC/EN 61000-4-3 (2010). UFA = 1,5mW x 1,5mH (a 0,8m del plano de tierra), 16 puntos equiespaciados 0,5m. **Conformidad.**

La propuesta incluye la verificación de prestaciones RSM (NSA) @ 3m, sVSWR @ 3m y FU @3m por parte de entidad acreditada independiente (i.e. CONFORMITAS, SEIBERSDORF, etc.).

La verificación del resto prestaciones por parte de entidad acreditada independiente no forma parte del alcance del suministro ofertado.

### PRESTACIONES MECÁNICAS:

La Cámara propuesta será modular <sup>(5)</sup>, autosoportada <sup>(6)</sup>, y tendrá las siguientes forma/dimensiones:

- Forma: Recinto único en forma rectangular.
- Dimensiones externas apantallamiento (L x W x H): **8,10m x 4,80m x 3,975m** (incl. Los 20mm de suelo elevado interior).
- Dimensiones externas con estructura de soporte (L x W x H): **8,10m x 5,02m** <sup>(6)</sup> x **4,315m** <sup>(6)</sup>.
- Dimensiones internas shield-to-shield/ground plane (L x W x H): aprox. 8,02m x 4,72m x 3,74m.
- Dimensiones internas entre ferritas/ground plane (L x W x H): aprox. 7,98m x 4,68m x 3,71m.
- Dimensiones internas entre absorbentes híbridos (L x W x H): aprox. 7,08m x 3,78m x 2,81m.

La ubicación precisa y definitiva de la Cámara y de las distintas penetraciones y layout interior que la conforman (puerta, paneles de ventilación, paneles penetraciones, filtros, arquetas, absorbente, sistema de posicionamiento, etc.) se definirán conjuntamente con CLIENTE en la revisión crítica de diseño (CDR), previo a la fabricación.

La Cámara propuesta tendrá el siguiente peso y distribución de cargas <sup>(7)</sup>:

- Peso total: 14.200 kg aprox.
- Peso techo: 3.200 kg aprox. → Carga: 82 kg/m<sup>2</sup> aprox.
- Peso perimetral (paredes + techo) 11.200 kg aprox. → Carga perimetral (en ~40mm ancho): 433 kg/m<sup>1</sup> aprox.
- Peso suelo 3.000 kg aprox. → Carga superficial: 77 kg/m<sup>2</sup> aprox.

### NOTAS ACLARATORIAS PRESTACIONES:

(1) Niveles de Efectividad de Apantallamiento garantizados conforme a EN 50147-1 marzo 1996 en función de la frecuencia:

	Frecuencia: f	SE Garantizada
Campo H	f = 10 kHz	80 dB min.
	f = 156 kHz	95 dB min.
Campo E	1 MHz ≤ f ≤ 10 MHz	110 dB min.
	10 kHz ≤ f ≤ 30 MHz	120 dB min.
Onda Plana	30 MHz ≤ f ≤ 1 GHz	120 dB min.
Microondas	1 GHz ≤ f ≤ 18 GHz	100 dB min.
	18 GHz ≤ f ≤ 40GHz	85 dB min. <sup>(8)</sup>

(2) Para el rango 30MHz-200MHz se usarán antenas Bicónicas. Para el rango 200MHz-1000MHz se usarán antenas LogPeriódicas. De cara a una eventual validación por terceros, el fabricante deberá aprobar con antelación los modelos de antenas a utilizar.

(3) Se deberá utilizar una antena isotrópica y una antena de Bocina linealmente polarizada (i.e. R&S modelo HF907). De cara a una eventual validación por terceros, el fabricante deberá aprobar con antelación el modelo de antena a utilizar.

(4) Se deberán utilizar antenas polarizadas linealmente. De cara a una eventual validación por terceros, el fabricante deberá aprobar con antelación los modelos de antena a utilizar.

(5) El diseño modular de la Cámara propuesta, tanto en su estructura de soporte, paneles de apantallamiento y material anecoico, permite su íntegro traslado, reutilización y eventual ampliación en una nueva ubicación llegado el caso.

(6) La Cámara propuesta contará con perfiles estructurales en la pared de la puerta (+220mm) y en techo (+340mm) que, junto con el diseño tipo bandeja de los paneles que la conforman, la harán autosoportada sin necesidad de soportarse a paredes o forjados existentes.

(7) La Cámara propuesta transmite sus cargas principalmente a lo largo de su perímetro exterior. El suelo sobre el que se montará deberá estar preparado para soportar estas cargas -> RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE.

(8) Aplica únicamente en caso de adquisición del ítem #D1 (opcional).

## ALCANCE DEL SUMINISTRO (SoW):

### Acondicionamiento del Habitáculo y Soporte Logístico:

- (1x) **Opción (no cotizada):** Conjunto de labores de acondicionamiento del área de instalación, compuesto por TBD.
- (1x) **Opción (incluida, ítem A1):** Nivelación del suelo del área de instalación conforme requisitos fabricante ( $\pm 1\text{mm}/1\text{m}$ ,  $\pm 3\text{mm}/3\text{m}$ ,  $\pm 5\text{mm}/5\text{m}$  y  $\pm 7\text{mm}/\text{total}$ ).

### Apantallamiento + Estructura Soporte + Puertas + Paneles Ventilación:

- (1x) Barrera antihumedad bajo Cámara.
- (1x) **Opción (ítem A2):** Manta aislante 3mm (aislamiento eléctrico  $>10\text{k}\Omega$ ) bajo Cámara.
- (1x) Set de Estructura de Soporte ligera (vigas en techo y pared de puerta) Modelo 1910-xxx <sup>(1)</sup>, en acero galvanizado. Incluye elementos de fijación al apantallamiento.
- (1x) Set de Paneles modulares tipo bandeja Modelo 1790-002 <sup>(2)</sup>, con galvanizado ZMA-140 de alta durabilidad. Incluye tornillería y junta de apantallamiento.
- (1x) Puerta apantallada (D1) Modelo 1766-1521-MA, movimiento abatible, paso útil de 1,5 x 2,1mH, operación MManual. Operativa hasta 40GHz, sistema patentado de cierre paralelo, mínimo mantenimiento, mecanismo accesible totalmente desde exterior, mínimo escalón (+50mm). Incluye:
  - Manivelas metálica modelo 1760-711 en exterior; modelo 1760-745 (no metálica, para absorbente 45cm) en interior.
  - Lámina exterior acabada en Color aluminio RAL-9006 (otros colores de forma opcional).
  - Acabado interior: placa para montaje de ferritas + absorbente HT-45.
  - Kit de mantenimiento.
  - **Opción (incluida):** 1760-310: Interlock estatus cierre.
  - **Opción (incluida, ítem B2)** SA-Kit: Kit de operación semiautomática (motor eléctrico integrado). Habilita además para implementación sistema control de accesos (suministrado por el CLIENTE).
  - **Opción (ítem B3):** 1766-SLOPE: Rampa manual, Inclinación  $<30\%$ . Carga: 600kg/m<sup>2</sup>.
    - ⇒ Ubicación y Apertura: A definir en CDR (previsto en pared larga, próxima a columna existente).
    - ⇒ Escalón: A definir en CDR (previsto 200mm).
    - ⇒ Uso: Acceso de personas y equipos a Cámara.
- (1x) **Alternativa (ítem B1):** Puerta apantallada (D1) modelo 1766-1523-MA, movimiento abatible, paso útil de 1,5 x 2,3mH, operación manual [...].
- (4x) Panel de ventilación (VP1 a VP4) Modelo 1791-3030-HC, fc=18GHZ, sección útil 270x270mm. Incluye marco de interface dieléctrico para facilitar conexión a conductos sistema HVAC de CLIENTE.
  - ⇒ Ubicación: A definir en CDR.
  - ⇒ Uso: Paso de aire ventilación y/o clima a Cámara.
- (4x) **Alternativa (ítem B4):** Panel de Ventilación (VP1 a VP4) Modelo 1792-3030-HC, fc= 40GHZ, sección útil 270x270mm [...].

### Filtros Eléctricos + Convertidores de Medio:

- (1x) Filtro de Alimentación <sup>(3)</sup> (MF1) Modelo 4803-032, trifásico (3PH+N), 32A/línea, 250/440VAC 50/60Hz | 115/200VAC 400Hz, 100dB IL @100kHz-18GHz, 350x200x60mm, 8kg. MPE ref. DS43032. Incluye kit de montaje.
  - ⇒ Ubicación: A definir en CDR. Se montará in situ.
  - ⇒ Uso: Fuerza DUT 1PH y/o 3PH hasta 24kVA.
- (1x) **Opción (ítem C1):** Filtro de Alimentación <sup>(3)</sup> (MF2) Modelo 4801-016. Monofásico (1PH+N), 16A/línea, 250VAC 50/60Hz | 115VAC 400Hz | 400VDC, 100dB IL @100kHz-40GHz, 250x110x50mm, 3kg. MPE ref. DS41016. Incluye kit de montaje.
  - ⇒ Ubicación: A definir en CDR. Se montará in situ.
  - ⇒ Uso: Fuerza General 4kVA (Mesa, Mástil, Iluminación, varios).
- (1x) **Opción (ítem C2):** Filtro de Alimentación DC HV (MF3) Modelo 4651-100, 2-Líneas (Pos+Neg), 1500VDC, 100A/línea, 100dB IL @ 100kHz-40GHz, 760x205x120mm, 28kg. MPE ref. DS30917. Incluye kit de montaje. Incluye caja conexiones externa para facilitar conexión/desconexión de fuentes DC externas sin tener que abrir el filtro.
  - ⇒ Ubicación: A definir en CDR. Se montará in situ.
  - ⇒ Uso: Fuerza DC HV DUT.
- (1x) Regletero conexión a tierra.
  - ⇒ Ubicación: A definir en CDR (próximo a los filtros de alimentación). Se montará in situ.
  - ⇒ Uso: Puesta a tierra única para todo el recinto apantallado.

- (Xx) **Opción (no cotizada):** Set de Convertidores de medio EMC-Shielded para buses RS232, RS485, CAN y Ethernet, PONTIS modelos foRS232, foRS484, foCANv4 y foEthernet respectivamente.
- (Xx) **Opción (no cotizada):** Filtro EMI para señales de Control (CF1 a CFx) Modelo 4730-050, 2-líneas, 250V AC/DC, 1A/línea, BW DC-5kHz, 130x50x25mm. Incluye kit de montaje.
  - ⇒ Ubicación: A definir en CDR o incluso durante el montaje.
  - ⇒ Uso: Filtro control propósito general <sup>(4)</sup>.
- (Xx) **Opción (no cotizada):** Filtro de Datos para líneas de control (DF1 a DFx) Modelo 4720-430, 4-líneas, 300mA/línea, 125VAC/250VDC, BW: DC-4MHz, 640kBps, 100x50x25mm. Incluye kit de montaje.
  - ⇒ Ubicación: A definir en CDR o incluso durante el montaje.
  - ⇒ Uso: Filtro datos propósito general <sup>(5)</sup>.

#### Paneles Pasamuros (coaxiales | fibra óptica | líquidos | gases) + Resto Penetraciones:

- (1x) Panel Pasamuros (WP1) Modelo 1795-6015-WP, sustituible, sección 600x150mm, equipado con:
  - (1x) Pasamuros RF tipo N-Precisión(h-h), 50Ω, 18GHz, Modelo 1795-008. Incluye tapón metálico;
  - (4x) Pasamuros RF tipo N(h-h), 50Ω, 11GHz, Modelo 1795-002. Incluye tapón metálico;
  - (6x) Pasamuros Fibra óptica tipo FSMA-FSMA, Modelo 1795-004. Incluye tapón metálico;
  - (1x) Pasamuros Aire comprimido 1/4", P/N 501335.
    - ⇒ Ubicación: A definir en CDR (previsto frente a Mástil, bajo el plano de tierra para ocultar cableados y conexiones).
    - ⇒ Uso: Paso de coaxiales, fibra óptica y aire comprimido a Mástil de Antenas.
- (1x) Panel Pasamuros (WP2) Modelo 1795-6015-WP, sustituible, sección 600x150mm, equipado con:
  - (4x) Pasamuros RF tipo N(h-h), 50Ω, 11GHz, Modelo 1795-002. Incluye tapón metálico;
  - (10x) Pasamuros Fibra óptica tipo FSMA-FSMA, Modelo 1795-004. Incluye tapón metálico;
  - (1x) Pasamuros Aire comprimido 1/4", P/N 501335;
  - (2x) Pasamuros Guíaonda, Sección Ø25mm, Modelo 1781-100. Incluye tapón metálico y lana metálica relleno;
    - ⇒ Ubicación: A definir en CDR (previsto frente a Mesa, bajo el plano de tierra para ocultar cableados y conexiones).
    - ⇒ Uso: Paso de coaxiales, fibra óptica, aire comprimido y conexiones especiales hasta Mesa Rotatoria y DUT.
- (1x) **Opción (incluida, ítem D1):** Trampa de RF (WP3) Modelo 1757-990-WP, sección 250x110mm aprox., rellena de gránulos de cobre para paso de cables y conectores especiales sin apenas degradar la efectividad de apantallamiento. La efectividad será tanto mejor si los cables son a su vez apantallados y la malla de los mismos hacen contacto con las virutas de cobre. Requiere vaciado/relleno de la trampa cada vez que se introduzcan nuevos mazos.
  - ⇒ Ubicación: A definir en CDR. Zona DUT.
  - ⇒ Uso: Paso de mangueras y conectores especiales a zona DUT.
- (2x) **Opción (ítem D2):** Guía de onda (WG1 y WG2) Modelo 1783-100-HC-G1-11, acero inoxidable, sección Ø25mm, camisa para aislamiento térmico, equipada con rejilla fc=40GHz, terminaciones en rosca G1"-11:
  - ⇒ Ubicación: A definir en CDR o incluso durante el montaje (previsto en WP1).
  - ⇒ Uso: Paso de agua suministro y retorno para DUT.
- (1x) **Alternativa (ítem D2.1):** Guía de onda (WG1 y WG2) Modelo 1179-100-HC-G1-11, acero inoxidable, sección Ø25mm, camisa para aislamiento térmico, equipada con rejilla fc=40GHz, terminaciones en brida DN20/PN16 [...]

#### Falso Suelo + Plano de Tierra + Arquetas:

- (1x) Suelo relleno alta capacidad, altura prevista 200mm, enrasado con el quicio inferior de la Puerta D1, capacidad de carga 500kg/m<sup>2</sup> con refuerzo en zona Puerta-Mesa para 1000kg/m<sup>2</sup>.
- (1x) Plano Reflector sobre suelo elevado, realizado mediante lámina Miofoil, incluye bandas de conexión entre láminas y a plano de reflexión de paredes.
- (2x) Panel Registro (FAP1 a FAP2) Modelo 1793-6030-FAP, sección 600x300mm, eléctricamente conectada con Plano de Tierra.
  - ⇒ Ubicación: A definir en CDR (previstos enfrentados a WP1 y WP2 respectivamente).
  - ⇒ Uso: Acceso a conexiones interiores de WP1 y WP2 respectivamente.
- (1x) Panel Registro (FAP3) Modelo 1793-3030-FAP, sección 300x300mm, eléctricamente conectada con Plano de Tierra.
  - ⇒ Ubicación: A definir en CDR (previsto en zona Mástil).
  - ⇒ Uso: Acceso a coaxiales, fibra óptica y aire comprimido para Mástil de Antenas.
- (1x) **Alternativa (ítem E1):** Arqueta (FP1) Modelo 1793-3030-FP, sección 300x300mm, eléctricamente conectada con Plano de Tierra, equipada con:
  - (1x) Pasamuros RF tipo N-Precisión(h)-N-Precisión(h), 50Ω, 18GHz, Modelo 1795-008. Incluye tapón plástico;
  - (2x) Pasamuros RF tipo N(h)-N(h), 50Ω, 18GHz, Modelo 1795-0029. Incluye tapón plástico;
  - (2x) Pasamuros Fibra óptica tipo FSMA-FSMA, Modelo 1795-004. Incluye tapón plástico;
  - (1x) Pasamuros Aire comprimido 1/4", P/N 501335.
  - (2x) Tomas de corriente Schuko 10/16A.
    - ⇒ Ubicación: A definir en CDR (prevista zona Mástil).
    - ⇒ Uso: Acceso a coaxiales, fibra óptica, aire comprimido y alimentación del Mástil de Antenas.

- (1x) Arqueta (FP2), sección circular 285mmØ, formando parte de la mesa rotatoria Modelo TT 1.5-WI (→ ver sección “Sistema de Posicionamiento”), equipada con:
  - (2x) Pasamuros RF tipo N(h)-N(h), 50Ω, 11GHz, con tapón plástico;
  - (4x) Pasamuros Fibra óptica tipo FSMA-FSMA, con tapón plástico;
  - (2x) Tomas de corriente Schuko 10/16A;
  - (1x) Toma de corriente Cetac 3PH / 32A;
  - (2x) Terminales de conexión DC 1000V 32A:
    - ⇒ Ubicación: En el centro de la Mesa Rotatoria.
    - ⇒ Uso: Alimentación y conexiones auxiliares del DUT.
- (1x) Panel Registro (FAP4) Modelo 1793-6030-FAP, sección 600x300mm, eléctricamente conectada con Plano de Tierra.
  - ⇒ Ubicación: A definir en CDR (prevista cerca de Puerta y Filtros).
  - ⇒ Uso: Alojamiento del Cuadro Eléctrico.
- (1x) **Opción (ítem E2):** Moqueta gomosa sobre la ferrita de suelo para protección y facilitar limpieza. Incluye marcadores en bandas amarillo/negro delimitando zonas críticas como perímetro absorbente y arquetas.

#### Material Anecoico + Plano Reflector:

- (1x) Estructura de soporte para plano reflector y material anecoico, en paredes y techo.
- (1x) Plano reflector embebido en estructura de soporte en paredes y techo, mediante lámina Miofoil. Incluye conexión entre láminas y a plano de reflexión de suelo.
- (1x) Set de losetas de Ferrita de 6.0mm Modelo 501010 (SAMWHA modelo SN-20 SD100x100x6.0-10H) para cubrir completamente las cuatro paredes, el techo y el suelo, incluyendo encuentros en esquinas.
- (1x) Set adhesivo especial para fijación individual de las ferritas de paredes y techo en paneles MDF desmontables de 60x60cm.
- (1x) Set de fijadores especiales tipo "remache" para fijación desmontable de las ferritas de suelo.
- (1x) Set de material Absorbente Híbrido de 45cm, Modelo HT-45, para cubrir completa/parcialmente paredes, techo y suelo<sup>(6)</sup>. Modular (base + tappers). Tamaño base: 1200x600mm. No contaminante (Reach-RoHs), limpio (Clase 10.000), perfecta uniformidad de dopaje (prestaciones hasta +110GHz), dimensional y estéticamente perfecto, ignífugo e hidrófugo, superior rigidez y tracción (las puntas no caen con el tiempo), vida útil de +40 años, etc.
- (1x) Kit de montaje MP-117 para fijar modularmente las bases del absorbente a las ferritas en paredes y techo. El absorbente de suelo va sólo superpuesto.
- (1x) **Opción (incluida, ítems F1 y F2):** Set de Placas blancas (o grises –G) transparentes a la RF, Modelo ECT-25/45(-G), para cubrir paredes, techo y/o suelo. Fabricadas en EPS, y adaptadas mecánicamente al absorbente HT-25, HT-45, MT-25 y MT-45. Mejoran muy sensiblemente la luminosidad en el interior de la Cámara si afectar a sus prestaciones electromagnéticas.
- (1x) **Opción (incluida, ítem F1):** Logo XXXX, transparente a la RF. Tamaño aprox. 1,2m x 1,2m.

#### Sistema de Posicionamiento:

- (1x) Mesa Rotatoria de 1,5mØ MATURO Modelo TT 1.5-WI. Especialmente diseñada para integración enrasada en cámaras EMC full anecoicas. Totalmente integrada en suelo elevado. Plato giratorio en madera laminada. Motor de bajas emisiones. Capacidad de carga distribuida 1000kg (200kg en 10x10cm). Altura 166mm. Velocidad ajustable entre 0,3 y 2,5rpm. Precisión de posicionamiento ±0,5°. Control por fibra óptica por medio de controlador FCU 3.0 o NCD. Incluye arqueta en centro de Ø285mm para alimentación y tomas auxiliares del EBE → Ver Arqueta FP2 en Sección “Falso Suelo + Plano de Tierra + Arquetas”.
- (1x) Mástil de Antenas MATURO Modelo EAS 1.0/2.0-10kg. Especialmente diseñado para uso en cámaras EMC semi/full anecoicas con altura fija de antena, fabricado con material transparente a RF, motor de bajas emisiones y correa de transmisión no metálica. Capacidad de carga 10kg (correctamente balanceada). Altura ajustable (manualmente) entre 1,0m y 2,0m. Cambio polarización eléctrico, sin offset de altura. Control por fibra óptica por medio de controlador FCU 3.0 o NCD.
- (1x) **Alternativa (ítem G1):** Mástil de Antenas MATURO Modelo EAS 0.8/2.0-10kg [...] Altura ajustable (manualmente) entre 0,8m y 2,0m. Cambio polarización eléctrico, sin offset de altura [...]
- (1x) **Alternativa (ítem G1.1):** Mástil Antenas MATURO Modelo ASP 1.0/1.8-15kg [...] Altura ajustable (manualmente) entre 1,0m y 2,0m. Cambio polarización neumático, sin offset de altura (compresor 6bar no incluido) [...]
- (1x) **Opción (incluida, ítem G2):** Adaptador MATURO Modelo AA 01 para antenas con stinger de 22mmØ.
- (1x) Controlador de posición MATURO Modelo FCU 3.0. Permite el control simultáneo (manual, semiautomático o completamente automático) de hasta 4 dispositivos de posicionamiento (mesas, mástiles, tunners, etc.). Interface LAN. Control por fibra óptica. El controlador se situará fuera de la Cámara. Incluye SW mcApp y unidad uso manual HSU.
- (2x) Set Latiguillos de fibra óptica (1x 5m y 1x 10m) y pasamuros FSMA (2x), para conexión entre Mástil/WP1/Controlador y Mesa/WP2/Controlador.

#### Equipamiento Auxiliar:

- (1x) **Opción (no cotizada):** Mesa Ensayos Automoción Modelo 1401-253-WGP, conforme con CISPR-25 Ed.4. Tamaño 2,0mL x 1,0mW x 0,9mH. Placa trapezoidal única de conexión a tierra (WGP). Ruedas con freno. Incluye rail con fingers instalado en pared Cámara para conexión “Plug and Play”.
- (1x) **Opción (ítem H1):** Mesa de bajo coeficiente de reflexión (Styrodur) de 1,5mL x 1,0mW x 0,8mH MATURO modelo PTT1.5x1.0x0.8-S. Para ensayar DUT's de tipo sobremesa a la altura correcta sin afectar a las medidas.
- (1x) **Opción Alternativa (ítem H1.1):** Mesa de bajo coeficiente de reflexión (Rohacell) de 1,5mL x 1,0mW x 0,8mH MATURO modelo PTT1.5x1.0x0.8-R. Para ensayar DUT's de tipo sobremesa a la altura correcta sin afectar a las medidas.
- (1x) **Opción (no cotizada):** Antena de banda ancha para medida de emisiones radiadas, SCHWARZBECK modelo VULB 9162. Tipo TRILOG, 30MHz-7GHz, 100W. Conector N(h), Stinger 22mmØ, diámetro <150cm.
- (1x) **Opción (ítem H2):** Soporte transparente a la RF PONTIS modelo WB 45\_F, especialmente diseñado para soporte de futuro sistema CCTV en cámaras EMC con absorbente híbrido de 45cm.

#### Electricidad + Iluminación + Comunicaciones:

- (1x) **Opción (no cotizada):** Set de Transformadores de Aislamiento <sup>(3)</sup> para los Filtros de Alimentación propuestos.
- (1x) Instalación Eléctrica (Fuerza e Iluminación) conforme al REBT, compuesta por:
  - (1x) Cuadro Eléctrico de protecciones y distribución, con protecciones MCB's y RCCD's para la línea de MF1.
  - (4x) Lámparas LED 80W, libre de EMI. En un grupo de encendido.
  - (1x) Lámpara de emergencia sobre Puerta D1, libre de EMI.
  - (1x) Instalación eléctrica (cables y canalizaciones).
  - (1x) Set de canalizaciones extra entre arquetas y paneles conectores para paso cables RF y fibra óptica.
- (1x) **Opción (no cotizada):** Instalación Comunicaciones, compuesta por TBD.

#### Subsistemas CCTV / HVAC / PCI / Megafonía / Seguridad / Etc.:

- (1x) **Opción (no cotizada):** Sistema de CCTV Full-HD EMC-Shielded con opción audio, compuesto por TBD.
- (1x) **Opción (ítem K1):** Sistema de Ventilación Forzada, compuesto por:
  - (2x) Extractores, velocidad regulable. Situados sobre dos de los paneles de ventilación. Los otros dos quedan libres para no generar infra presión dentro de la Cámara
  - (1x) Instalación eléctrica (cables y canalizaciones).
- (1x) **Opción (no cotizada):** Sistema de Climatización (HVAC), compuesto por TBD.
- (1x) **Opción (no cotizada):** Sistema de Protección contra Incendios (PCI), basado en aspiración VESDA, compuesto por TBD.
- (1x) **Opción (no cotizada):** Sistema de Megafonía, compuesto por TBD;
- (1x) **Opción (no cotizada):** Sistema de Control de Accesos, compuesto por TBD;
- (1x) **Opción (no cotizada):** Sistema de Detección de Presencia, compuesto por TBD.

#### Ensayos de Validación:

Conjunto de Ensayos de validación de las prestaciones electromagnéticas de la Cámara, realizados por laboratorio acreditado reconocido internacionalmente (i.e. CONFORMITAS, SEIBERSDORF Labor, etc.). Incluye:

- (1x) **Opción (no cotizada):** SE (Shielding Effectiveness / Efectividad de Apantallamiento) s/ EN 50147-1 (1996). Rango 10kHz-18GHz; Ambas polarizaciones; Puntos de medida: a confirmar s/ proyecto. Criterio aceptación: s/ requisitos de proyecto.
- (1x) **Opción (incluida, ítem Z1):** RSM/NSA (Reference Site Method / Normalized Site Attenuation) s/ CISPR16-1-4 Ed. 3.2 (2017) Clause 5.4.7. Rango frecuencia 30MHz-1GHz; Ambas polarizaciones; Método volumétrico (5 puntos, 3 alturas). Distancia ensayo: 3m; Volumen ensayo: 1.5mØ x 2.0mH; Criterio de aceptación:  $\leq \pm 4.0\text{dB}$  @ 30-200MHz /  $\leq \pm 4.0\text{dB}$  @ 200MHz-1GHz.
- (1x) **Opción (incluida, ítem Z2):** sVSWR (site VSWR recintos anecoicos) s/ CISPR16-1-4 Ed 3.2 (2017) Clause 8. Rango frecuencia 1-18GHz con incrementos de 50MHz; Ambas polarizaciones; Método volumétrico. Distancia: 3m; Volumen: 1.5mØ x 2.0mH; Criterio Aceptación:  $\leq 6,0\text{dB}$ .
- (1x) **Opción (incluida, ítem Z3):** FU (Uniformidad de Campo) s/ IEC 61000-4-3 Ed.3.2. Rango 80MHz-6GHz con incremento del 1%. 16 puntos en UFA (Uniform Field Area) 1,5x1,5mH. Ambas polarizaciones. Criterio aceptación: +0/+6dB en  $\geq 12$  puntos del UFA.
- (1x) **Opción (incluida, ítems Z1, Z2 y Z3):** Alquiler de instrumentación debidamente calibrada, viajes y dietas del ingeniero de ensayos, elaboración del informe de medida, y soporte durante las medidas por parte de oficial de ALAVA.

#### NOTAS ACLARATORIAS SOW:

(1) La estructura de soporte está diseñada para soportar los elementos de la Cámara (apantallamiento, puertas, ferritas, absorbentes, etc.). Cargas adicionales a ésta, como maquinaria de HVAC, suelos elevados (i.e. “Mezannine” o similar), son elementos adicionales a la Cámara y necesitarían tenerse en consideración como diseño especial (coste adicional).

- (2) Los Paneles tendrán la cara lisa en el exterior y el pliegue hacia dentro. La Cámara se montará por tanto desde el interior.
- (3) Los Filtros de Alimentación para AC deberán acometerse con líneas sin protección diferencial (líneas TNS por ejemplo) o bien a través de transformadores de aislamiento/separación galvánica para evitar la activación de las protecciones diferenciales del edificio aguas arriba.
- (4) Las señales de control deberán ser analógicas dentro del ancho de banda proporcionado por el filtro.
- (5) Los datos deberán tener un ancho de banda y/o tasa de bits inferior al proporcionado por el filtro.
- (6) La pared tras el DUT y la pared tras Antena se cubrirán completamente con HT-45. Las paredes laterales se cubrirán parcialmente con HT-45. El suelo y el techo se cubrirá parcialmente con HT-45. La distribución exacta del absorbente se definirá detalladamente en la fase de CDR previo a la fabricación.

#### **INCLUYE:**

- ✓ Designación de un Jefe de Proyecto y de un Jefe de Instalación, ambos españoles y con una vastísima experiencia en este tipo de instalaciones.
- ✓ Visita de replanteo en fase CDR (previo a la fabricación del Recinto) a fin de optimizar diseño, conjuntamente con CLIENTE, y compatibilidad de montaje.
- ✓ **Opción (ítem A1):** Nivelación del habitáculo que albergará la Cámara si fuera necesario.
- ✓ Diseño e Ingeniería del Recinto. Se entregará dossier con documentación estándar (manuales de operación y mantenimiento así como layout general 'as built' en formato PDF).
- ✓ Packing de materiales en fábrica para transporte terrestre.
- ✓ Transporte puerta-a-puerta hasta CLIENTE. Condiciones DAP (Incoterms 2010).
- ✓ Descarga de materiales en muelle de descarga de CLIENTE, utilizando para ello los medios logísticos (i.e. toro) proporcionados por el ALAVA.
- ✓ Acarreo de los materiales desde muelle hasta habitáculo de instalación, asumiendo que están cercanos, al mismo nivel y sin escalones ni angostamientos que impidan acarreo directo de los cajones mediante carros y traspaletas.
- ✓ Instalación de todos los elementos anteriores por parte de personal local experimentado y con todos los cursos necesarios en materia de Seguridad y Salud en vigor, utilizando para ello los medios logísticos (i.e. plataformas elevadoras, elevaplacas, etc.) proporcionados por ALAVA, incluyendo:
  - **Verificación de ausencia de fugas EM** a la conclusión del montaje del recinto apantallado.
  - **Medida de apantallamiento en MF** (Magnetic Field / Campo H) con medidor MF-130D en ocho frecuencias desde 10kHz a 64MHz. Se incluirá informe de medida.
  - Conexión a los filtros del subsistema eléctrico adecuadamente protegido suministrado por CLIENTE.
  - Asesoría para la conexión de subsistemas suministrados por el CLIENTE a las penetraciones suministradas al efecto.
- ✓ **Opción (ítems Z1-Z2-Z3):** Ensayos de verificación/certificación por laboratorio externo independiente de la NSA, sVSWR y FU.
- ✓ Entrenamiento al CLIENTE en el uso y mantenimiento de la instalación.
- ✓ Seguro de responsabilidad civil.

#### **NO INCLUYE,** y por tanto serán a cargo del CLIENTE:

- ✓ Acondicionamiento del habitáculo que albergará la Cámara (desmontajes que fueran necesarios, limpieza, desplazamiento de instalaciones existentes si las hubiera, etc.). (\*)
- ✓ Suministro de los subsistemas que acometan a la Cámara (electricidad, HVAC, etc.) conforme a la legislación vigente. (\*)
- ✓ Gestión de residuos (\*).
- ✓ Ensayos de verificación/certificación por el fabricante (COMTEST) de la SE (\*).
- ✓ Ensayos de verificación/certificación por laboratorio externo independiente de la SE (\*).
- ✓ Ensayos de verificación/certificación por el fabricante (COMTEST) de la NSA, sVSWR y FU por el fabricante (\*).
- ✓ Gestión para consecución de eventual acreditación ENAC.
- ✓ En general, cualquier concepto no contemplado explícitamente.

(\*) Se pueden cotizar opcionalmente si fueran de interés para el CLIENTE.