

CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO DE CÁMARAS ANECÓICAS

BARRIONUEVO DARIO¹ y GONZALEZ JUAN¹

¹Estudiante de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN. FRC), Maestro López Esq. Cruz Roja Argentina. CP X5016ZAA. Córdoba, Argentina.
dariobarrionuevo87@gmail.com, juangblade@hotmail.com

Resumen –Las cámaras anecóicas son recintos cerrados especialmente diseñados y construidos con el fin de poder verificar en su interior las condiciones de campo libre. Esto último, significa que deberá cumplirse para todas las frecuencias la ley del inverso del cuadrado de la distancia. Actualmente, las cámaras anecóicas son una herramienta potente y confiable para realizar diferentes tipos de mediciones y ensayos acústicos y electromagnéticos. En este trabajo plantean las directrices generales para el diseño de cámaras anecóicas. Se describen las principales características acústicas de diferentes materiales seleccionados con el fin de controlar parámetros como aislamiento y absorción sonora.

1. INTRODUCCIÓN

Las cámaras anecóicas son recintos cerrados construidos con el fin de verificar en su interior las características físicas de campo libre. Según el tipo de energía que controlan se las clasifica en acústicas y electromagnéticas. Por lo general, se las construye para fines acústicos ó electromagnéticos de manera independiente, sin embargo, seleccionando adecuadamente los materiales pueden compatibilizarse los requerimientos de manera de construir un único recinto que satisfaga las ecuaciones de campo libre para ondas acústicas y electromagnéticas, lo cual aumenta significativamente el costo de construcción [1].

Básicamente en este tipo de recintos se caracteriza por dos parámetros fundamentales: el aislamiento y la absorción de la energía irradiada por una fuente ubicada en su interior. Para controlar dichos parámetros, se seleccionan materiales que proporcionen el aislamiento y la absorción necesaria para el control del tipo de energía. Actualmente, se denomina cámara *semianecóica*, al recinto que posee una de sus caras interiores reflejantes (habitualmente el piso) y el resto absorbente. Este tipo de recintos establece un campo energético con características específicas adecuado en ocasiones para el estudio de diferentes tipos de fuentes [1].

Las principales aplicaciones de las cámaras anecóicas son la realización de estudios, mediciones y ensayos con condiciones controladas. Para el caso de las electromagnéticas, se realizan ensayos a antenas, radares y se realizan mediciones de interferencia electromagnética (EMI), compatibilidad electromagnética (EMC), directividad entre otros. Mientras que para el caso de las acústicas, se las utilizan para determinar la potencia sonora de una

fente, la función de transferencia de un altavoz, coeficiente de difusión de un material, entre otros.

El tamaño del recinto, no solamente establece límites dimensionales para la realización de los ensayos a diferentes objetos (altavoces, motores, automóviles, satélites, etc.) sino también, límites espectrales en el ancho de banda que satisface las ecuaciones de campo libre [2].

En este trabajo plantean las directrices generales para el diseño de cámaras anecóicas. El mismo está organizado de la siguiente manera: en primer lugar, se analizan las características más importantes de una cámara anecóica, el campo interior, las paredes, piso, y techo, describiendo el aislamiento y absorción de los materiales. En segundo lugar, se presenta el modelo de homogenización y por último la planificación y ubicación geográfica.

2. DISEÑO DE CAMARAS ANECÓICAS

2.1 Dimensión

La acústica física explica como una parte de la energía que transportan las ondas sonoras se refleja cuando estas inciden en determinadas superficies, y como otra parte se transforma en energía calórica ó cinética según las características del material. Un criterio conservador, propone para definir la dimensiones del recinto que el volumen de la misma sea 200 veces mayor que el de la fuente sonora, debido a estos fenómenos físicos, asegurando un espacio propicio para realizar mediciones.

La mayoría de las cámaras anecóicas estudiadas, se construyen en forma de rectángulo ya que de esta forma se maximiza la absorción de las ondas reflejadas en las paredes. Además la energía sonora se disipa en el aire por medio de la ley del inverso del cuadrado de la distancia, afectando directamente al

tamaño de la cámara, en consecuencia un recinto pequeño necesitara mayor absorción para obtener resultados parecidos al de uno de mayor tamaño.

Si los objetos a analizar son demasiados voluminosos, por ejemplo un automóvil, las cámaras deberían de ser excesivamente grandes y costosas. Por tal motivo la norma UNE-EN ISO 3745 establece que las mediciones de campo cercano sean a partir de un metro respecto al objeto de prueba, y a partir de una distancia de un cuarto de la longitud de onda respecto a la pared absorbente [3]. De esta manera se determinan las siguientes ecuaciones para establecer las dimensiones mínimas de la cámara y que aseguran la confiabilidad de las mediciones [4]:

$$L = l + \frac{\lambda}{2} + \dots \quad (1)$$

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

$$H = h + \frac{\lambda}{4} + \dots \quad (3)$$

donde:

- L : largo útil de la cámara [m].
- W : ancho útil de la cámara [m].
- l : largo máximo de la fuente [m].
- w : ancho máximo de la fuente [m].
- λ : longitud de onda de corte [m].
- H : altura útil de la cámara [m].
- h : altura máxima de la fuente [m].

Se diferencian dos tipos de dimensiones, las útiles que son entre las puntas de cuña, y las dimensiones mínimas que incluyen el tratamiento absorbente sobre las paredes.

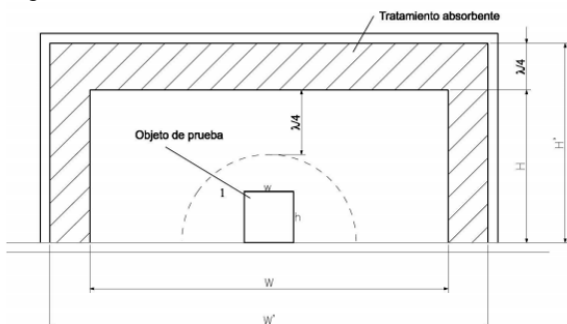


Figura 1: Esquema de dimensiones útiles y mínimas de la cámara.

2.2 Aislamiento

Para poder realizar una cámara anecoica, se debe aislar mediante diferentes métodos todos los aspectos físicos que puedan afectar las diversas mediciones que se efectúen. La frecuencia mas baja nos determinara el nivel de aislamiento efectivo, es por ello que se especifican el rango de frecuencias en la cual la cámara aísla las ondas producidas por la fuente sonora [5].

2.2.1 Paredes

La absorción y el aislamiento son tenidos en cuenta cuando se diseñan las paredes. Las ondas de baja frecuencia se transmiten en paredes de baja densidad y grosor, es por ello que se construyen dos recintos desvinculados uno del otro, y en el medio de ellos se coloca material absorbente poroso con valores elevados de coeficientes sonoros para bandas de baja frecuencia, conteniendo así las señales en el interior y logrando que las del exterior no ingresen. Los grosores de las paredes de estos recintos son diferentes, ya que de esta forma no se produce un acoplamiento entre las frecuencias de resonancia de las cavidades [6].

Para el caso de cámaras anecoicas electromagnéticas, la zona exterior de las paredes internas se recubre con una malla metálica para que se logre el efecto de la jaula de Faraday, este es un aspecto importante ya que con este efecto se consigue una considerable atenuación de los campos incidentes sobre la cámara anecoica [7].

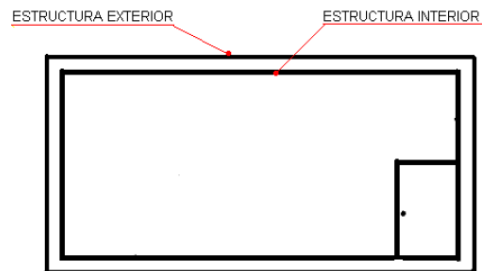


Figura 2: Esquema del recinto, vista de corte.

2.2.2 Piso

El piso también se debe de tratar con material absorbente, la característica mas importante que se busca es que el material empleado para armar el piso no sea reflejante a las frecuencias emitidas por la fuente. Si el peso de la misma es considerable, entonces se debe instalar soportes flotantes como rejillas de acero [6]. Los alambres de acero deben estar correctamente tensados, generalmente por resortes, para que estos posean una tensión uniforme. La sección del alambre de acero debe ser suficiente para soportar las fuentes que se analicen dentro de la cámara [5].

Para el caso de fuentes sonoras de bajo peso puede utilizarse una malla de alambre de acero que forma un piso flotante de alambre delgado. Sin embargo, sobre este se producen reflexiones de altas frecuencias que van a depender del ángulo de incidencia.

2.2.3 Iluminación

Las luminarias que se utilizan en las cámaras anecoicas deben irradiar la menor cantidad de calor y ruido posible, ser de pequeñas dimensiones y de alta eficiencia. Generalmente el color de la iluminación es blanco [5].

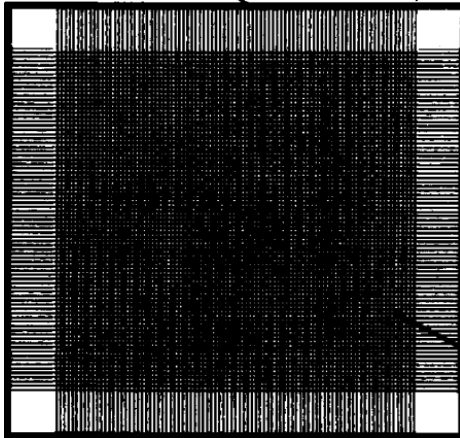


Figura 3: Malla de alambre utilizada como piso.

La iluminación estándar se compone de lámparas halógenas, que se instalan en las esquinas del techo o entre las cuñas de absorción, dependiendo estas del tipo de cuña que se esté utilizando. Una método para reducir la intensidad luminosa requerida para una cámara anecoica, es considerando el coeficiente de reflexión luminoso de las cuñas (por lo general de color blanco, gris ó celeste).

2.2.4 Ventilación

El sistema de ventilación debe renovar el volumen de aire de la cámara en un tiempo entre 10-15 minutos, ya que la fuente sonora que se estudie en la cámara puede producir gases nocivos como un automóvil.

Los ruidos producidos por los ventiladores que se utilizan para la extracción e inyección del aire también deben ser aislados; esto se puede realizar mediante silenciadores o colocando material absorbente en los conductos de alimentación. La conexión de los ventiladores se realiza por medio de tubos flexibles para así, poder evitar cualquier vibración que se puedan llegar a producir su funcionamiento [5].

Para poder asegurar que se atenúe correctamente el ruido, los conductos de ventilación deben estar a 16 [m] uno respecto del otro, y correctamente alineados; estos ductos están separados por material absorbente y antivibratorio [8].

Para controlar el polvo existente en los conductos de ventilación, puede instalarse un precipitador electrostático, el cual absorbe el polvo e impide que este afecte las propiedades del material absorbente poroso instalado en el interior del conducto [8].

2.2.5 Temperatura y humedad

La temperatura de la cámara anecoica debe permanecer dentro de un rango de 15°C a 30°C, de este modo se puede despreocupar las variaciones de humedad que se puedan llegar a producir dentro de esta. La temperatura de la cámara puede ser controlada a través del sistema de ventilación, adecuando la intervención de éste dentro de un

determinado tiempo en función de las dimensiones de la cámara [6].

2.2.5 Puertas

Al realizar una hendidura en la pared de la cámara, para colocar una puerta, se produce una importante disminución en el aislamiento de la misma. La puerta no tendrá el mismo coeficiente de absorción que las paredes, ya que debería poseer el mismo peso y rigidez que el material de las mismas.

Se colocan dos puertas acústicas, una en la estructura exterior y la otra en la interior. Se utilizan para la construcción de estas, generalmente los siguientes materiales: placas de acero, plomo, rellenas con fibra de vidrio, vinilo, caucho y otros materiales porosos.

La apertura se puede hacer de forma convencional, o sea hacia afuera, como una puerta corrediza, y también se pueden desmontar. La ventaja de estas últimas es que se pueden instalar sobre ellas cuñas de un tamaño considerable [2].

Cuando las puertas poseen pesos significativamente elevados que dificultan su manipulación manual, puede implementarse un sistema automático de apertura y cierre de tipo neumático.

2.3 Absorción

El coeficiente de absorción sonora, α es el principal parámetro a definir cuando se selecciona un material para recubrir las superficies del recinto. El mismo controla el tiempo de reverberación en el recinto y define el ancho de banda útil de la cámara anecoica. Según lo establecido en la norma ISO 3745, el coeficiente de absorción sonora debe de ser igual o mayor de 0,99 en el rango de frecuencias de interés cuando es medido en un tubo de impedancia para ondas planas.

Comúnmente se requiere que la reflectividad en el interior de la cámara sea de -30 dB a -40 dB. Si se conoce el ángulo de incidencia se puede determinar el espesor del material absorbente [9].

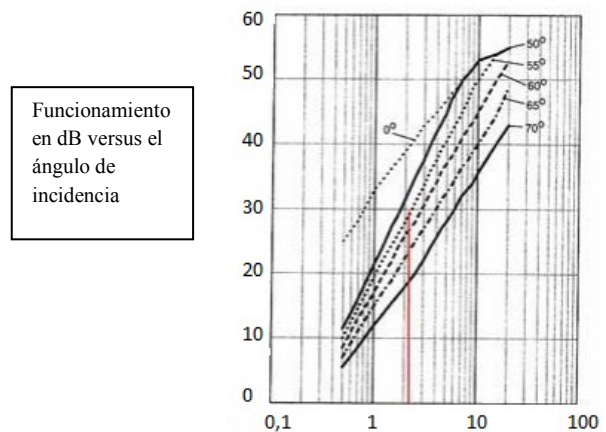


Figura 4: Espesor del absorbente en función de la longitud de onda.

El coeficiente de absorción sonora varía en los materiales porosos según la frecuencia, este disminuye significativamente para frecuencias inferiores a la de corte, dada por el $\frac{1}{4}$ de la longitud de onda obtenido con el valor del espesor del material. En el diseño se tienen en cuenta el material absorbente con el que se recubre el recinto. En la Figura 5 se observan los valores de coeficientes de absorción sonora entre 125 Hz y 4000 Hz de paneles rígidos de lana de roca de diferentes espesores y 70 kg/m³ de densidad.

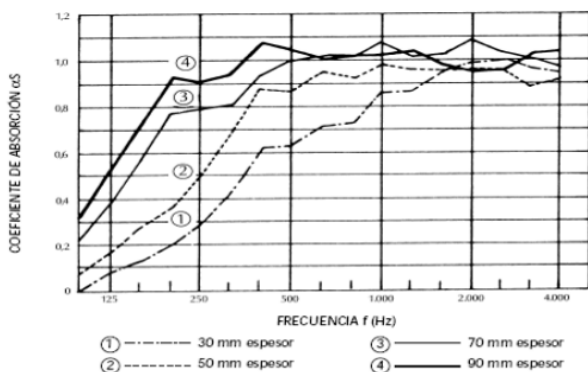


Figura 5: Variaciones del coeficiente de absorción según la frecuencia de paneles rígidos de lana de roca.

La Tabla 1 muestra los coeficientes de absorción sonora de diferentes materiales en función de la frecuencia por octava, expresados en sabins:

Material	Coeficiente de absorción sonora por octava					
	125	250	500	1000	2000	4000
Hormigón pintado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Ladrillo visto pintado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Lana de vidrio (fieltro 14kg/m ³) 25mm / 50mm	0,15	0,25	0,40	0,50	0,65	0,70
Lana de vidrio (fieltro 35kg/m ³) 25mm / 50mm	0,20	0,40	0,80	0,90	1,00	1,00
Espuma de poliuretano (fonac) 35mm/ 50mm/75mm	0,11	0,14	0,36	0,82	0,90	0,97
Espuma de poliuretano (sonex) 35mm/ 50mm/75mm	1,15	0,25	0,50	0,94	0,92	0,99
Madera aglomerada en panel	0,17	0,44	0,99	1,03	1,00	1,03
Madera en paneles	0,06	0,20	0,45	0,71	0,95	0,89
	0,07	0,32	0,72	0,88	0,97	1,01
	0,13	0,53	0,90	1,07	1,07	1,00

Tabla 1: Coeficientes de absorción sonora de algunos materiales.

Los materiales que se utilizan para absorber campos eléctricos deben poseer alta resistividad eléctrica, alta resistividad dieléctrica y bajo factor de pérdida. El material característico para esta función son los polímeros y la siguiente tabla muestra las

características eléctricas principales de algunos polímeros, donde A es Policarbonato, B Polietileno PE y C Poliestireno PS [9].

Propiedades eléctricas	A	B	C
Resistividad del volumen Ω.cm	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶
Resistencia dieléctrica V/mil	364	420-550	300
Constante dieléctrica 60 Hz	3.2	2.4	3.4
Constante dieléctrica 10 ³ Hz	3.0	2.4	3.2
Constante dieléctrica 10 ⁶ Hz	3.0	2.4	3.1
Factor de disipación 60 Hz	0,0009	<0,0005	0,0004
Factor de disipación 10 ³ Hz	0,0021	<0,0005	0,0004
Factor de disipación 10 ⁶ Hz	0,01	<0,0005	0,0004

Tabla 2: Propiedades eléctricas de polímeros.

En conclusión los materiales porosos y blandos permiten la penetración de las ondas sonoras causando gran absorción, mientras que las superficies con acabados no porosos generalmente absorben menos del 5 %.

2.3.1 Modelos de tratamientos absorbentes

Existen diversos modelos de tratamientos absorbentes a continuación se detalla el basado en capas y en cuñas tipo Wedge y Cremer:

A. Modelo basados en capas:

Los techos y paredes de la cámara se recubren con varias capas de tejido absorbente, consiguiendo un incremento de la densidad hacia el interior [10].

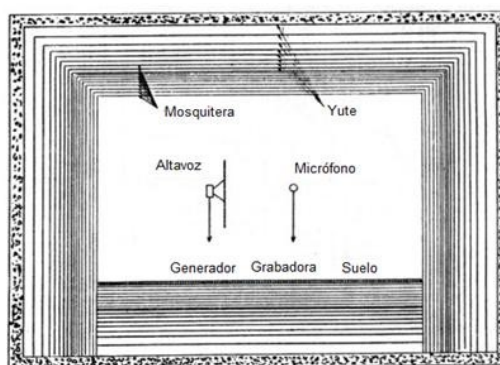


Figura 6: Modelo basado en capas.

B. Modelo basado en cuñas:

Cuñas tipo Cremer

El tratamiento absorbente consiste en una capa sólida de fibra de vidrio cerca de la pared seguida de unas cuñas formadas por cubos fonoabsorbentes de lana de vidrio de diferentes densidades. La cuña se va agrandando mientras se acerca a la pared y a la vez aumenta su densidad. Las salas del tipo Cremer son utilizadas mayormente en altas frecuencias, pero necesita un trabajo más sofisticado para armarla, lo que significa un costo mayor. La construcción de estas cuñas es tubular, lo que reduce las superficies

planas, de modo que todas las reflexiones son minimizadas en todas las direcciones [10].

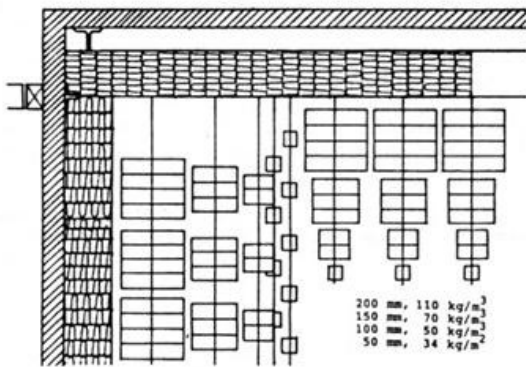


Figura 7: Modelo basado en cuñas tipo Cremer.

Cuñas tipo Wedge

Son cuñas con el mismo material absorbente tanto en la base como en la punta, que posee igual densidad en todos los puntos. Generalmente es el tipo de cuña utilizada en todas las cámaras anecoicas ya que presentan una mayor facilidad de montaje, distribución, y un menor costo. Además tiene mejor rendimiento en bajas frecuencias, pero a frecuencia sobre los 3 kHz una sala de Wedge siempre tiene unos cambios de fase que son incontrolables, puesto que las cuñas tienen superficies planas más grandes que las cuñas de Cremer [10].

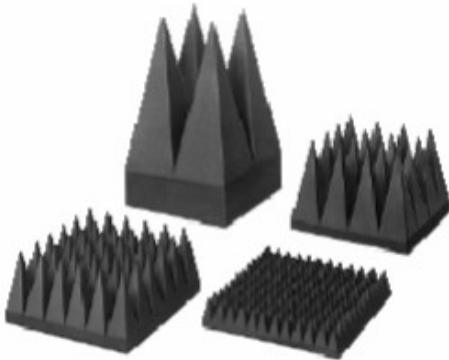


Figura 8: Formas cuña tipo Wedge.

Las prestaciones de las pirámides absorbentes de poliuretano dependen de su altura. Mientras mayor sea su altura, mayor será su absorción en bajas frecuencias. Las más utilizadas son del orden de los 0,61 m pero su tamaño varía entre los 0,1 m y 3 m.

En las siguientes figuras se muestran los coeficientes de reflexión electromagnético utilizando pirámides de diferente tamaño dopadas con un 7 % y 18 % de carbón respectivamente [11].

Existen nuevos tipos de cuñas que basadas en una única geometría, es decir su punta esta girada 45° grados, logran utilizar menos material y sus puntas no se inclinan con el paso del tiempo. Sin embargo su absorción no esta buena como la pirámide normal [11].

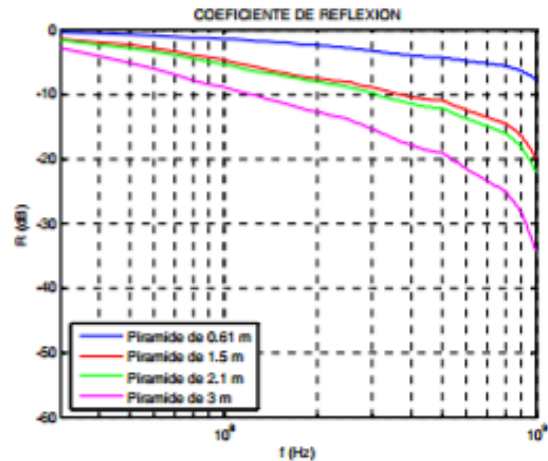


Figura 9: Coeficiente de reflexión electromagnético para cuñas con 7 % de carbón.

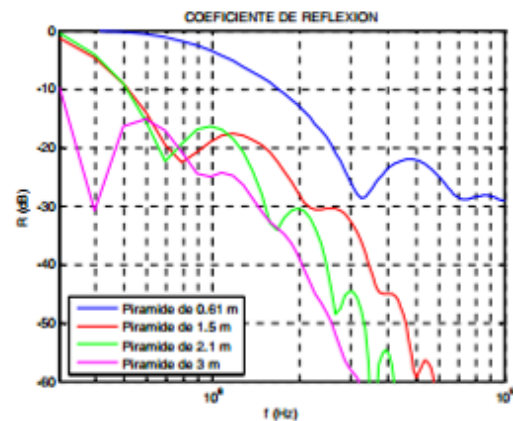


Figura 10: Coeficiente de reflexión electromagnético para cuñas con 14 % de carbón.

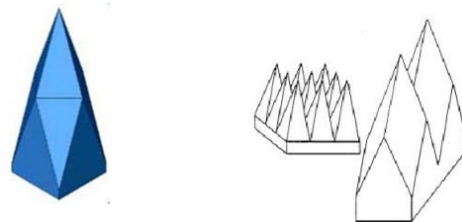


Figura 11: Pirámide girada.

2.3.1 Ferritas

Los absorbentes magnéticos más conocidos son las ferritas, que se pueden encontrar en forma de baldosa y rejilla. Su impedancia se puede adaptar más fácilmente a la del aire. Este tipo de absorbente tiene buena absorción en el rango de frecuencias de 30 a 600 MHz [4].

2.3.2 Acústica geométrica

La acústica geométrica utiliza en su modelo las leyes de reflexión y refracción de las ondas. Uno de los métodos utilizados para estimar la energía en un punto del espacio es el trazado de rayos (ray tracing method: RTM). El mismo, permite además definir el ángulo de incidencia de las posibles reflexiones. El

RTM considera como significativos los rayos de hasta segundo orden, los demás de orden superior no son considerados ya que son fuertemente atenuados luego de cada reflexión [7].

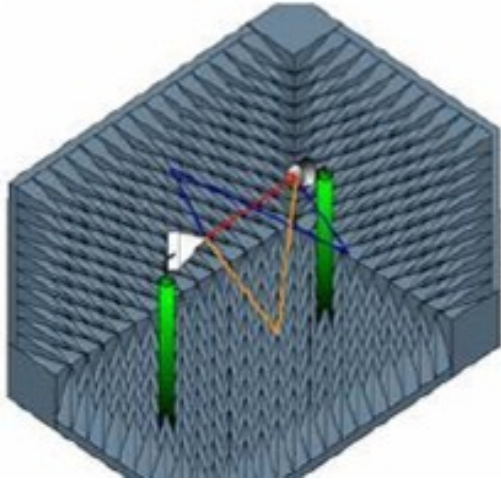


Figura 12: Ejemplo de vectores de sonido directo, y reflexiones de primer y segundo orden.

2.3.3 Calculo del área especular

La reflexión de las ondas que iluminan típicamente las superficies de la cámara es estudiada en términos de las zonas de Fresnel sobre la superficie [12].

Para corroborar las medidas elegidas, se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$Cn = \Re(1 - \tau_2) / 2 \quad (4)$$

$$Ln = \Re F_1 \sqrt{(1 + \tau_2^2 - F_3)} \quad (5)$$

$$Wn = \Re \sqrt{(F_1^2 - \tau_2^2)(1 + \tau_2^2 - F_3)} \quad (6)$$

3. HOMOGENEIZACIÓN

El método de homogeneización se utiliza para tener en cuenta el efecto de los absorbentes piramidales situados sobre paredes y techos de la cámara. La reflectividad de una agrupación de absorbentes se puede calcular sustituyéndola por un medio dieléctrico inhomogeneo equivalente.

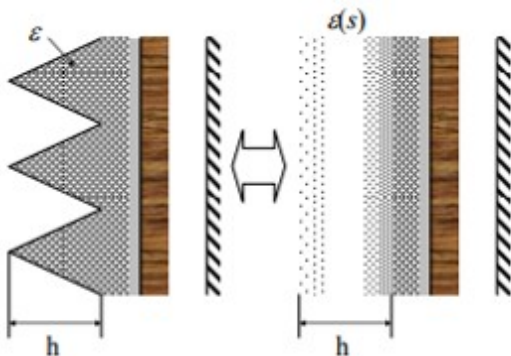


Figura 13: Modelo del medio equivalente para absorbentes.

La permitividad para las capas de material homogéneo isótropo uniaxial viene dado por:

$$\epsilon(s) = \epsilon_0 \left(1 + g \left(\frac{s}{h} \right)^2 \right) \quad (7)$$

ϵ = permitividad del absorbente piramidal
 h = altura del absorbente piramidal
 s = profundidad del medio inhomogeneo

Cuando el material absorbente es sustituido por N capas de material homogéneo anisótropo uniaxial sus propiedades vienen dadas por [11]:

$$\epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_x & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_y & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_z \end{bmatrix} \quad \mu = \begin{bmatrix} \mu_x & 0 & 0 \\ 0 & \mu_y & 0 \\ 0 & 0 & \mu_z \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\epsilon_x = \epsilon_0 \left[1 + g \frac{2(\epsilon_a - \epsilon_0)}{(1+g)\epsilon_0 + (1-g)\epsilon_a} \right] \quad (9)$$

$$\mu_x = \mu_0 \left[1 + g \frac{2(\mu_a - \mu_0)}{(1+g)\mu_0 + (1-g)\mu_a} \right] \quad (10)$$

$$\epsilon_z = (1-g)\epsilon_0 + g\epsilon_a \quad (11)$$

$$\mu_z = (1-g)\mu_0 + g\mu_a \quad (12)$$

donde:

μ_a = permeabilidad del material absorbente
 g = factor de llenado

$$g = \left(\frac{s}{h} \right)^2 \quad (13)$$

$$g = 2 \left(\frac{s}{h} \right)^2, \frac{s}{h} < \frac{1}{2} \quad (14a)$$

$$g = 1 - 2 \left(\frac{s}{h} \right)^2, \frac{s}{h} > \frac{1}{2} \quad (14b)$$

$$g = \frac{\tau}{h} \quad (15)$$

La ecuación (13) se utiliza para pirámides cónicas, mientras que las ecuaciones (14a) y (14b) son para pirámides giradas, y por último la ecuación 15 para cuñas piramidales [11].

Con estas formulas y con la correspondiente ley de Snell se puede calcular la reflectividad a la entrada de las N capas.

4. LOCALIZACIÓN Y PLANIFICACIÓN

Unos de los primeros puntos que se analiza cuando se diseña una cámara anecoica es el estudio del impacto ambiental que se produce al realizar un proyecto de esta envergadura, en el mismo se busca que la nueva situación del medio, no afecte de manera dañina al ambiente [4].

Son dos los aspectos que se analizan principalmente, el estado natural y el estado urbanístico. Desde el natural es vital que la construcción del edificio no afecte ni a la flora ni a la

fauna. Y desde el estado urbanístico por lo general se intenta localizar el edificio dentro de la zona industrial. Se crean programas de vigilancia ambiental que se ocupan de la supervisión del proyecto así como se llevan a cabo las medidas que minimizan los posibles impactos [11].

Para la etapa de planificación se recurre a diagramas de Gantt, ya que en esta herramienta se pueden ver las duraciones de las tareas y en líneas generales el porcentaje que lleva el proyecto. Algunos aspectos a considerar a la hora de realizar el diagrama son [11]:

- Diseño
- Diseño detallado
- Obra civil
- Mecánica y electricidad
- Acústica
- Accesos
- Puesta en marcha

En la planificación también se tiene en cuenta los costos de construcción, como también la rentabilidad esperada y el tiempo de recuperación de la inversión según la demanda que se tenga.

5. NORMATIVAS APLICABLES

Las normas que usualmente se siguen para la construcción de las cámaras anecoicas son las siguientes:

UNE-EN ISO 3745:2004. Acústica. Determinación de los niveles de potencia acústica de las fuentes de ruido a partir de la presión acústica. Métodos de laboratorio para cámaras anecoicas y semi-anecoicas.

UNE-EN ISO 140:1995. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.

UNE 85103:1991 EX Puertas y cancelas pivotantes abatibles. Definiciones, clasificación y características.

NBE-CA/88. Condiciones acústicas en los edificios. Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales, RSIEI.

NBE- CPI/96. Condiciones de protección contra incendios.

IRAM 4063:2003. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.

IRAM 4070:2006. Ruidos. Procedimiento para su evaluación utilizando los perfiles “NC” y “RC”.

IRAM 4111:1989 Acústica. Métodos para la determinación de niveles de potencia sonora de fuentes de ruido. Pautas para la utilización de normas fundamentales y para la preparación de métodos de ensayo relativos a ruido.

IRAM 4115:1991 Acústica. Determinación de potencia acústica emitidos por fuentes de ruido. Métodos de ingeniería para condiciones de campo libre sobre un plano reflejante.

IRAM 31-7:1988. Magnitudes, unidades y sus símbolos. Parte 7: Acústica.

IRAM 4043:2001. Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.

IRAM 4044:1985. Protección contra el ruido en edificios. Aislamiento acústico mínimo en tabiques y edificios. 1985 (en revisión).

ASTM C 423:2000. Método de prueba estándar para la absorción acústica y coeficientes de absorción acústica mediante el método de cámara reverberante.

ASTM E 84:2000. Método de prueba estándar para las características de quemado superficial de materiales de construcción.

ASTM E 795:2000. Prácticas estándar para las piezas de montaje durante las pruebas de absorción de sonido.

ISO 3744:1994. Acústica. Determinación de los niveles de potencia sonora de fuentes de ruido utilizando presión sonora. Método de ingeniería para condiciones de campo libre sobre un plano reflectante.

ISO 7779:2010. Acústica - Medición del ruido aéreo emitido por la tecnología de la información y equipos de telecomunicaciones.

6. CONCLUSIONES

Realizar el diseño de cámaras anecoicas requiere de una gran inversión y un extenso estudio no solo sobre las distintas características de los materiales, sino también del nivel de costos, localización y rentabilidad. Puesto que un proyecto constructivo de esta magnitud, en el que intervienen un gran número de personas, se crean una infinidad de detalles que no se han podido tratar en el trabajo pero en la práctica son de suma importancia.

Las cámaras anecoicas son recintos de alto desempeño, tanto por sus características de absorción como de aislamiento acústico ó electromagnético, ya que en estas no deben producirse reflexiones de diferentes tipos de ondas (sonoras y electromagnéticas) debido a los altos valores de coeficiente de absorción que poseen los materiales que recubren el techo, las paredes y el piso del recinto.

Es el ambiente controlado propicio para la realización de mediciones y estudios de prototipos y nuevos desarrollos tecnológicos y científicos.

7. REFERENCIAS

- [1] Leo L. Beranek and Harvey P. Sleeper, Jr. *The Design and Construction of Anechoic Sound Chambers*. Journal Acoustical Society of America. Volumen 18, n°1, pp140-150, 1946.
- [2] N, Olson. *Acoustic Properties of Anechoic Chamber*. Journal Acoustical Society of America, Volumen 33, n°6, pp 767-770, 1961.
- [3] Monografías, *salas anecoicas*. <http://www.monografias.com/trabajos4/salasanecoicas/salasanecoicas.shtml>. Revision 23:27, May 4th, 2012.

- [4] Cruz Altamirano, “*Proyecto de una cámara semianecóica*”, Proyecto final de carrera, Universitat Politècnica de Catalunya, 2011.
- [5] Flores Jimenez, Villanueva Jesus, Almaraz Angélica. “*Mini cámara anecóica*”. Tesis de nivel superior. Instituto Politécnico Nacional (México). 2007
- [6] Gallegos Guzmán Fabio Enrique, Montalvo Echeverría Danilo Xavier. “*Diseño de una cámara anecóica y una cámara reverberante*”. Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero en electrónica y telecomunicaciones. Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (Ecuador), 2008.
- [7] López Campos Mónica, Brito Flores Paulina, Saenz Enderica Fabian. “*Implementacion de una cámara anecóica en la banda de 2-3 GHz*”. Publicación. Departamento Eléctrica y Electrónica de la ESPE (Escuela Politécnica del Ejército).
- [8] Peter J. Mills. *Construction and Design of Parmlly Sound Laboratory and Anechoic Chamber*. Journal Acoustical Society of America. Volumen 19, n°6, pp 988-992, 1947.
- [9] Trevor J. Cox, Peter D’Antonio, “*Acoustic absorber and diffusors*”. Taylor & Francis, 2009.
- [10] Acústica y sonido, *cámaras anecóicas*. http://www.acusticaysonido.com/index.php?option=com_content&view=article&id=127%3Acamaras-anechoicas&catid=55%3Aequipos-y-mediciones-acusticas&Itemid=107&fb_source=message. Revision 13:16, May 4th, 2012.
- [11] Esparza Becerra Silvia Rocío, “*Análisis Eficiente de Cámaras Semianecóicas en Alta Frecuencia*”. Publicación. Universidad Politécnica de Valencia.
- [12] Universidad de Córdoba, Escuela Politécnica Superior (España), *control por absorción acústica*. [http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def\(9\)%20Control%20por%20absorcion/absorcion%20acustica.htm](http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def(9)%20Control%20por%20absorcion/absorcion%20acustica.htm). Revision 14:33, May 3rd, 2012.
- [13] AENOR, *UNE-EN ISO 3745*. <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?codigo=N0044755&tipo=N&PDF=Si>. Revision 11:46, May 3rd, 2012.
- [14] Juan C. Giménez de Paz, lic. FI UBA, “*Normas IRAM relacionadas con temas de acústica*”. Publicación FIUBA.
- [15] ASTM international, “*standard worldwide*”. <http://www.astm.org/>. Revision 9:07, June 4th, 2012.
- [16] ISO, “*Standard catalogue*”. <http://www.iso.org/iso/home.html>. Revision 9:30, June 4th, 2012.

8. DATOS BIOGRAFICOS

Darío Barrionuevo, nacido en Comodoro Rivadavia el 30/07/1987. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina. Sus intereses son: acústica de recintos, procesamiento digital de señales, realidad acústica virtual y electroacústica.

E-mail: 50313@electronica.frc.utn.edu.ar

Juan González, nacido en Puerto Rico el 01/09/1988. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina. Sus intereses son: acústica de recintos, procesamiento digital de señales.

E-mail: 52681@electronica.frc.utn.edu.ar