



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
*La Universidad Católica de Loja*

TITULACION DE ARQUITECTO

Materiales aislantes acústicos para muros

Trabajo de fin de carrera.

Autor:

Soto Zumba Marco Leonardo

Directora:

Medina Alvarado Rosa Elizabeth, Arq.

LOJA – ECUADOR

2012

i





## Certificación

Arquitecta.

Rosa Elizabeth Medina Alvarado

DIRECTORA DEL TRABAJO DE FIN DE CARRERA

CERTIFICA:

Que el presente trabajo denominado: "MATERIALES AISLANTES ACUSTICOS PARA MUROS" realizado por el profesional en formación : Marco Leonardo Soto Zumba; cumple con los requisitos establecidos en las normas generales para la graduación den la Universidad Técnica Particular de Loja, tanto en el aspecto de forma como de contenido, por lo cual me permito autorizar su presentación para los fines pertinentes.

Loja, agosto de 2012

f).....

CI:.....



---



## Cesión de derechos

Yo Marco Leonardo Soto Zumba declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad, la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través o con el apoyo financiero, académico o institucional de la Universidad”

f. ....

Marco Leonardo Soto Zumba

1104609134



---



## DEDICATORIA

Dedico este proyecto de manera muy especial a Dios padre y guía de mis acciones, así mismo a mis padres quienes me supieron guiar y encaminar por el camino del bien enseñándome día a día su sabiduría, además a mis hermanos apoyo incondicional en momentos difíciles.

Dedico además a todos mis compañeros y compañeras de la escuela de arquitectura que durante todo este tiempo supieron brindar una amistad sincera y transparente.

El Autor

iv

---



---



## AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme la oportunidad de culminar las metas propuestas, a mi familia por apoyarme constantemente e incondicionalmente y de manera muy especial a la Arq. Rosa Medina por compartir de manera espontánea durante toda mi carrera y ejecución de esta tesis sus conocimientos y amistad y por brindarme su tiempo y apoyo para la culminación de esta investigación, finalmente a la UTPL y sus directivos, por acogerme y guiarme para cumplir esta meta propuesta.

A todas las personas que hicieron posible la realización de esta investigación, con información, sugerencias y criterios con respecto al trabajo.

El Autor



I.	INTRODUCCION	
II.	PROBLEMÁTICA	
III.	JUSTIFICACION	
IV.	OBJETIVOS	
V.	HIPOTESIS	

## CAPITULO I

### GENERALIDADES Y NOCIONES BASICAS DEL SONIDO Y AISLAMIENTO ACUSTICO

#### 1. FUNDAMENTOS FISICOS DEL SONIDO

1.1	EL SONIDO	1
1.1.1	ONDA	1
A.	CLASES DE ONDA	1
B.	PARAMETROS QUE DEFINEN UNA ONDA	2
1.2	EL RUIDO	5
1.2.1	EFFECTOS DEL RUIDO	5
1.2.2	CLASIFICACION DEL RUIDO	5
A.	RUIDOS AEREOS	5
B.	RUIDOS DE IMPACTO	6
C.	RUIDOS PROVOCADOS POR VIBRACIONES	6
1.3	MEDIDAS DE LOS SONIDOS	7
1.3.1	NIVEL DE PRESION ACUSTICA	7
1.3.2	EL DECIBELIO	7
1.4	APARATOS DE MEDIDA	8
1.4.1	SONOMETRO	8
1.4.2	REGISTRADOR	8
1.4.3	OSCILOSCOPIO	9
1.5	COMPORTAMIENTO DEL SONIDO EN LOCALES CERRADOS	9
1.5.1	REFLEXION	9
1.5.2	ABSORCION	9
1.5.3	DIFRACCION	10
1.5.3	ECO	10
1.5.5	FUNCIONAMIENTO ESQUEMATICO DE ABSORCION Y REFLEXION DEL SONIDO	11



## 2 AISLAMIENTO ACUSTICO

2.1 PROPAGACION DE LOS RUIDOS AEREOS	13
2.2 VIAS DE TRANSMISION DE LOS RUIDOS AEREOS	15
2.3 CLASIFICACION DE AISLAMIENTO SEGÚN EL TIPO DE MURO	15
2.3.1 AISLAMIENTO PARA MUROS MIXTOS O MUROS CON ABERTURAS	16
2.3.2 AISLAMIENTO PARA MUROS SIMPLES	17
a. INFLUENCIA DE LA FRECUENCIA EN EL AISLAMIENTO	18
2.3.3 AISLAMIENTO PARA MUROS DOBLES O MULTIPLES	19
a. SEPARACION ENTRE ELEMENTOS O CAMARA DE AIRE	19
b. RESONANCIA DE LAS PAREDES	20
c. LIGAZON ENTRE LOS ELEMENTOS	21
d. AMORTIGUACION DE LA CAMARA	22

### 1.3 NORMATIVAS

3.1 LEGISLACION ECUATORIANA - DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE	24
3.2 NORMA ESPAÑOLA BASICA DE EDIFICACION SOBRE CONDICIONES ACUSTICAS (NBE-CA-88)	
3.3 LEGISLACION ESPAÑOLA DEL CODIGO TECNICO DE LA EDIFICACION (CTE)	26
3.4 NIVELES NORMALES DEL RUIDO	27

## CAPITULO II

### MATERIALES ACUSTICOS PARA MUROS

#### 1. MUROS

#### 2. TIPOS DE MUROS UTILIZADOS EN LOJA

2.1 MATERIALES TRADICIONALES	30
2.1.1 ADOBE	30
2.1.2 TAPIAL	31
2.1.3 BAHAREQUE	33
2.2 MATERIALES COMUNES	36
2.2.1 LADRILLO MACISO/HUECO	36
2.2.2 BLOQUE DE HORMIGON	38
2.2.3 MURO DE HORMIGON	40
2.2.4 VIDRIO	41



2.3 MATERIALES PREFABRICADOS	43
2.3.1 HORMI2	43
2.3.2 FIBRAS DE DENSIDAD MEDIA (MDF)	46
2.3.3 ETERBOARD	47
2.3.4 GYPSUM	49

### **3. MATERIALES AISLANTES**

3.1 MATERIALES FIBROSOS	51
3.1.1 FIBRAS MINERALES	51
a. FIBRA DE VIDRIO	51
b. LANA DE ROCA	52
3.1.2 FIBRAS VEGETALES	52
a. FIBRA DE MADERA	52
b. FIBROGLASS	53
3.2 AISLANTES CON ESTRUCTURA CELULAR	53
3.2.1 AISLANTES MINERALES Y VEGETALES	53
a. YESO	53
b. CORCHO	53
c. VIDRIO CELULAR	54
3.2.2 ESPUMAS PLASTICAS	55
a. ESPUMA DE POLIESTIRENO	55
b. ESPUMA DE POLIURETANO	55

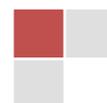
## **CAPITULO III**

### **SISTEMAS DE CONFORMACION DE MUROS PARA AISLAMIENTO ACUSTICO**

#### **1. SISTEMAS DE AISLAMIENTO DE MUROS MIXTOS**

1.1 SISTEMAS DE AISLAMIENTO PARA MUROS MIXTOS EN VENTANAS	57
1.1.1 SISTEMA DE DOBLE CRISTAL	57
1.1.2 SISTEMA DE TRIPLE CRISTAL	57
1.2 SISTEMA DE AISLAMIENTO PARA MUROS MIXTOS EN PUERTAS	58
1.3 CALCULO DEL AISLAMIENTO ACUSTICO DE MUROS MIXTOS	59

#### **2. SISITEMAS DE AISLAMIENTO DE MUROS SIMPLES**



2.1 SISTEMA DE AISLAMIENTO SEGÚN C.T.E	60
2.2 SISTEMA DE AISLAMIENTO SEGÚN ISOVER	61
2.3 SISTEMA DE AISLAMIENTO SEGÚN BERGUER	61
2.4 SISTEMA DE AISLAMIENTO SEGÚN LINARES	62
2.5 COMPARACION DE ECUACIONES DE SISTEMA DE AISLAMIENTO DE MUROS SMPLES	63

### **3. SISTEMA DE AISLAMIENTO DE MUROS DOBLES**

3.1 CALCULO DEL SISTEMA SEGÚN ISOVER	66
3.2 CALCULO DEL SISTEMA SEGÚN HERVAS C, CARBAJO J, GALAN S, RAMIS J.	67
3.3 CALCULO DEL SISTEMA SEGÚN LLINARES	69
3.4 CALCULO DEL SISTEMA SEGÚN PÉREZ DE SILES MARÍN	71
3.5 COMPARACION DE ECUACIONES DE SISTEMA DE AISLAMIENTO DE MUROS DOBLES	74
3.6 SISTEMA DE AISLAMIENTO EXISTENTES	77

## **CAPITULO IV**

### **ALTERNATIVAS PARA CONFORMACION DE MUROS ACUSTICOS**

#### **1. CONFORMACION DE MUROS MULTIPLES CON CAMARA DE AIRE AL VACIO**

1.1 MUROS DOBLES MULTIPLES CONFORMADOS POR EL MISMO MATERIAL	84
1.2 MUROS DOBLES DE MUROS PESADOS CON LIGEROS	86
1.3 MUROS DOBLES DE MUROS LIGEROS CON LIGEROS	89
1.4 MUROS DOBLES DE MUROS PESADOS CON PESADOS	91

#### **2. CONFORMACION DE MUROS MULTIPLES CON CAMARA DE AIRE CON MATERIAL DE RELLENO**

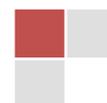
2.1 MUROS CONFORMADOS POR MATERIALES PESADOS Y LIGEROS	92
2.2 MUROS CONFORMADOS POR MATERIALES LIGEROS	96

#### **3. MATERIALES AISLANTES ACUSTICOS PARA MUROS RECOMENDABLES**

3.1 MUROS DOBLES CON CAMARA DE AIRE	97
3.2 MUROS DOBLES CON MATERIAL DE RELLENO EN SU INTERIOR	98
3.3 TABLA RESUMEN DE LOS MUROS PROPUESTOS Y RUIDOS QUE PODRIAN SOPORTAR	100
3.4 FACTIBILIDAD DE MATERIALES	101

#### **4. VERIFICACION DE HIPOTESIS**

#### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



---



## RESUMEN EJECUTIVO

Una detallada descripción de los parámetros iniciales del sonido y el aislamiento y la relación que estos llevan con la aplicación de materiales constructivos de mayor uso en la ciudad, así mismo se ha desarrollado un estudio e investigación de algunos de los sistemas de conformación de muros tanto simples como compuestos que funcionan de manera adecuada ante el fenómeno del ruido, todo esto con el objetivo de crear aplicaciones y propuestas de muros aislantes sabiendo utilizar de manera adecuada cada uno de los materiales estudiados.

En el desarrollo de esta investigación se ha llegado a concebir una hoja electrónica fundamentada en parámetros que se refieren tanto al material que se desea usar así como de las diferentes combinaciones que se puedan aplicar dependiendo de la necesidad que se busca cubrir; esta hoja nos servirá para llegar a encontrar las combinaciones más idóneas y eficientes en el tema de aplicación de muros para el aislamiento acústico de espacios arquitectónicos.

Finalmente se conocerá de manera precisa la relación costo-aislamiento que pueda presentar los distintos tipos y sistemas de muros que puedan existir



## I.-INTRODUCCIÓN

El constante proceso de evolución en el ámbito de la construcción nos invita a innovar diariamente sistemas constructivos que nos ayuden a dar las condiciones de habitabilidad necesarias para el usuario

El estudio de “Materiales aislantes acústicos para muros” tiene como finalidad conocer las cualidades que cada material puede tener y aprovecharlas de manera beneficiosa para conseguir un aislamiento sonoro ante diferentes condiciones de ruido que puedan darse, si bien es cierto en la actualidad poco o nada se hace en el tema de aislamiento acústico en construcciones de la ciudad de Loja, sin duda, que con el fenómeno de la globalización en el que todo ser humano se ve inmerso es mucho más fácil llegar a conocer y aplicar sistemas y materiales aislantes en la construcción.

La importancia de realizar construcciones que garanticen un aislamiento acústico adecuado es primordial para conseguir obras eficientes en cuanto al tema de la habitabilidad, sin embargo al no existir en nuestro país una normativa específica destinada al cuidado del confort acústico será importante que cada constructor y planificador tome conciencia de manera voluntaria de la importancia que conlleva los efectos del ruido en el desenvolvimiento de las actividades diarias de los usuarios de las edificaciones.

En la presente investigación se llevara a cabo una detallada descripción de los parámetros iniciales del sonido y el aislamiento y la relación que estos llevan con la aplicación de materiales constructivos de mayor uso en la ciudad, así mismo se ha desarrollado un estudio e investigación de algunos de los sistemas de conformación de muros tanto simples como compuestos que funcionan de manera adecuada ante el fenómeno del ruido, todo esto con el objetivo de crear aplicaciones y propuestas de muros aislantes sabiendo utilizar de manera adecuada cada uno de los materiales estudiados.

En el desarrollo de esta investigación se ha llegado a concebir una hoja electrónica fundamentada en parámetros que se refieren tanto al material que se desea usar así como de las diferentes combinaciones que se puedan aplicar dependiendo de la necesidad que se busca cubrir; esta hoja nos servirá para llegar a encontrar las combinaciones más idóneas y eficientes en el tema de aplicación de muros para el aislamiento acústico de espacios arquitectónicos.



Finalmente a través de esta investigación conoceremos de manera precisa la relación costo-aislamiento que pueda presentar los distintos tipos y sistemas de muros que puedan existir.

## II.-PROBLEMÀTICA

Las políticas de considerar condiciones acústicas antes de planificar un espacio arquitectónico enfrentan un desinterés generalizado debido a la poca importancia que se le da a estas condiciones. Así mismo no existe un análisis completo en relación al espacio y al uso que se le va a dar, tomando en cuenta que las características sonoras de los espacios pueden variar respecto al uso.

La problemática que experimenta la construcción de edificaciones con respecto a los efectos sonoros del entorno se torna conflictiva debido al desconocimiento de la existencia de materiales aislantes, el no saberlos aplicar, y la utilización común de un muro simple para cualquier tipo de edificación sin previo estudio además de la poca importancia en garantizar el confort, haciendo que con esto se pierda la garantía de poder brindar al usuario espacios que le permitan realizar sus actividades sin molestar ni ser molestado por los demás.

## III.-JUSTIFICACIÒN

Cuando una onda sonora incide sobre un elemento divisorio como un muro, sea del material que sea, se producen básicamente tres efectos, una onda se refleja, una onda se transmite y la última es absorbida por el muro; todas estas de menor amplitud que la onda incidente, lo que conlleva a crear en el espacio afectado una especie de cámara de sonido en ciertos casos de mayor o menor incidencia en las actividades que se desarrollan en este espacio, es así que para poder prever que las ondas no afecten al confort se desarrollan muros aislantes y se acondiciona el espacio.

Por lo tanto es necesario realizar un estudio de materiales aislantes que nos permitiría conocerlos y utilizarlos para poder garantizar espacios que brinden confort con la utilización de sistemas de conformación acústica aplicables especialmente en los muros que son los elementos que reciben directamente la incidencia de las ondas sonoras. Así mismo estos sistemas deben ir asociados con la correcta aplicación de los materiales más



apropiados de acuerdo a sus características, pues las pocas intervenciones con muros que tienen aislamiento acústico, y la repetitiva aplicación de los mismos materiales en casos diferentes, no garantizan soluciones eficientes y adecuadas al problema de aislamiento; de esta manera es indispensable determinar los diferentes sistemas de conformación de muros para cada caso en donde se requiera un aislamiento, utilizando materiales que sean factibles y asequibles en la ciudad de Loja y el Ecuador.

#### **IV.-OBJETIVOS**

##### **General:**

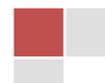
- Potencializar las características aislantes de los materiales en sistemas para la conformación de muros.

##### **Específicos :**

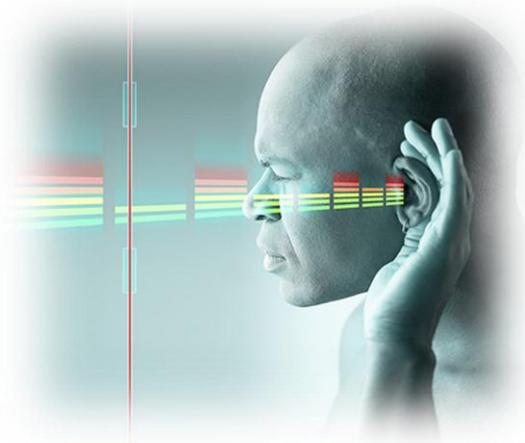
- Determinar el comportamiento del sonido, sistemas de aislamiento acústico y las normativas existentes al respecto.
- Identificar y analizar los materiales utilizados y de uso acústico para la conformación de muros en la ciudad de Loja.
- Establecer la compatibilidad de los materiales en la conformación de muros acústicos.
- Alternativas y aplicación de materiales para la conformación de muros acústicos.

#### **V.-HIPÓTESIS**

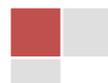
El uso de muros simples en una obra arquitectónica conlleva a un mayor grado de transmisión de ruido generando bajas condiciones de confort acústico.



# CAPITULO I



## GENERALIDADES Y NOCIONES BASICAS DEL SONIDO Y AISLAMIENTO ACUSTICO



## 1. FUNDAMENTOS FÍSICOS DEL SONIDO

### 1.1 EL SONIDO

El sonido es una sensación auditiva producida por una onda acústica, la misma que es el resultado de una vibración del aire, debido a una serie de expansiones y compresiones. Esta vibración se propaga en un medio elástico produciendo variaciones de presión o vibración de partículas que pueden ser percibidas por el oído humano o detectadas por instrumentos. <sup>1</sup>

#### 1.1.1 ONDA

Es una perturbación que se propaga transportando energía mas no materia. El medio perturbado puede ser de diferente naturaleza como el agua, el aire, un trozo de metal e inclusive el vacío. <sup>2</sup>

##### a. CLASES DE ONDA

- Onda Longitudinal

Es aquella en que las partículas oscilan en la misma dirección en que se propaga la onda.

- Onda transversal o elástica

Es aquella en que las partículas del medio oscilan en dirección perpendicular a la dirección de propagación de la onda.

- Onda plana

Es aquella en que los frentes de onda se propagan como planos paralelos unos respecto de los otros.

##### b. PARAMETROS QUE DEFINEN UNA ONDA

- Desplazamiento

Es la distancia que una partícula que oscila tiene entre la posición de reposo a su posición instantánea.

- Amplitud

Es el máximo desplazamiento que sufre una partícula en vibración.

- Periodo

Es el tiempo en que se efectúa un ciclo completo, y solamente puede estar dado en unidades de tiempo. Su denominación se la realiza con la letra "T". Ver fig. 1.1

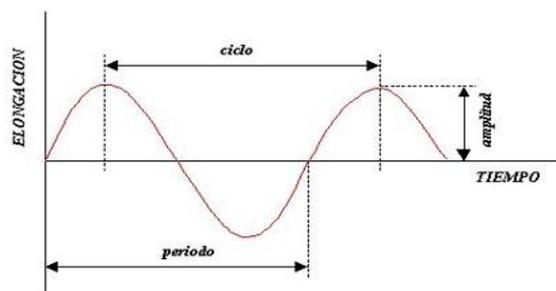
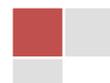


Fig.1.1. Ejemplo de una onda sinusoidal.

Fuente: Moreno J.

<sup>1</sup> Jorge N. Moreno Ruiz, Fundamentos del Control del Ruido, (México: Editorial Gustavo Gili S.A., 1987),15

<sup>2</sup> Ibid.,17



- Ciclo

Es la menor distancia a partir de la cual una onda se repite. Ver fig.1.1

- Frecuencia

La Frecuencia es el número de oscilaciones por segundo del movimiento vibratorio. Se expresa en hertzios (Hz)<sup>3</sup>; la fórmula para el cálculo de la frecuencia es:

**Fórmula 1.1** Calculo de la frecuencia.

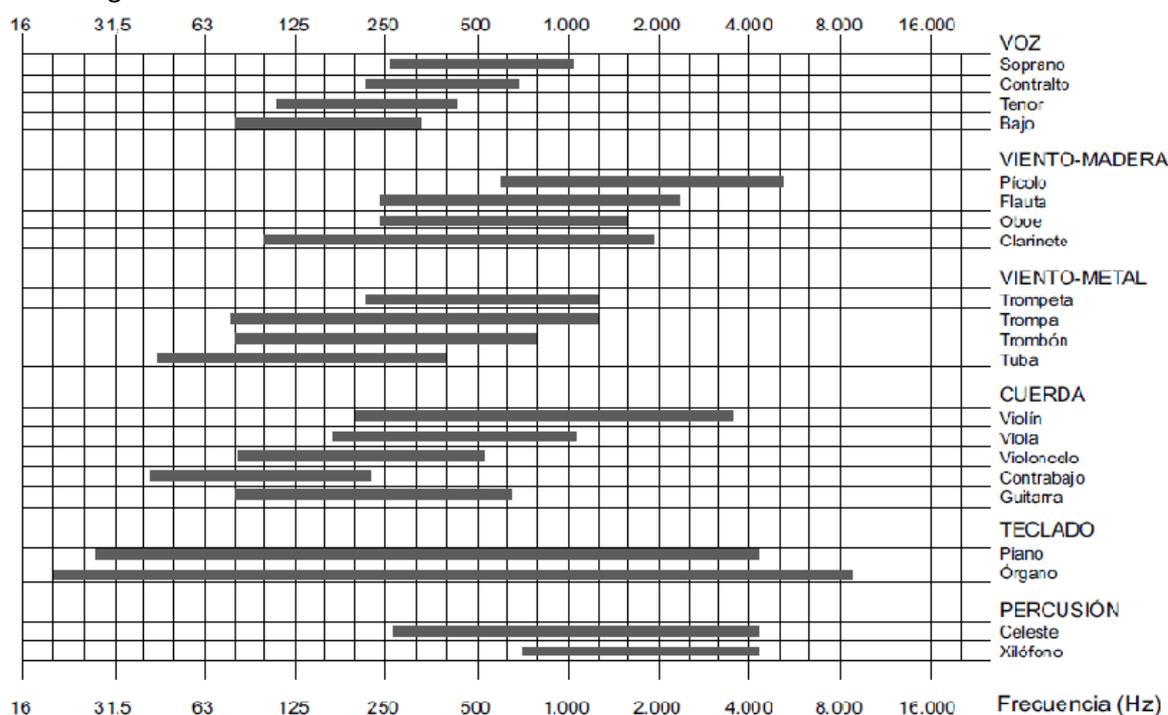
Fuente: Rougeron C.

$$F = 1/ T$$

Si la frecuencia es alta, el sonido es agudo; mientras que si la frecuencia es baja el sonido viene a ser grave.

Los sonidos según la frecuencia se clasifican en:

- Graves: de 20 a 400 Hz.
- Medios: de 400 a 1600 Hz.
- Agudos: de 1600 a 16000 Hz.



**Fig.1.2.** Bandas de frecuencias de instrumentos musicales y de la voz.

Fuente: Carrión I.

Usualmente, el contenido en frecuencias de un sonido se agrupa en lo que se denomina bandas de frecuencia. Cada banda está compuesta por un número determinado de frecuencias: los extremos y la frecuencia central, mediante la cual se designa cada banda, están normalizadas. El oído humano es capaz de identificar sonidos entre 20 Hz y 20.000 Hz, aunque para usos generales se utiliza el rango de frecuencias entre 100 Hz y 8 kHz. La escala de frecuencia empleada es logarítmica por ser la que mejor se ajusta al comportamiento del oído humano.

Las bandas pueden poseer un mayor o menor contenido de frecuencias dependiendo de sus anchura de banda. Las bandas de octava (1/1 octava) se definen como un intervalo de

<sup>3</sup> Claude Rougeron, Aislamiento acústico y térmico en la construcción. (Barcelona: Editores técnicos asociados SA, 1977)



frecuencias entre dos sonidos cuyas frecuencias centrales son dobles una de la otra. Cuando se requiere mayor resolución, las banda de tercio de octava (1/3 octava) se obtienen al dividir cada banda de octava en tres intervalos, logarítmicamente iguales.<sup>4</sup>

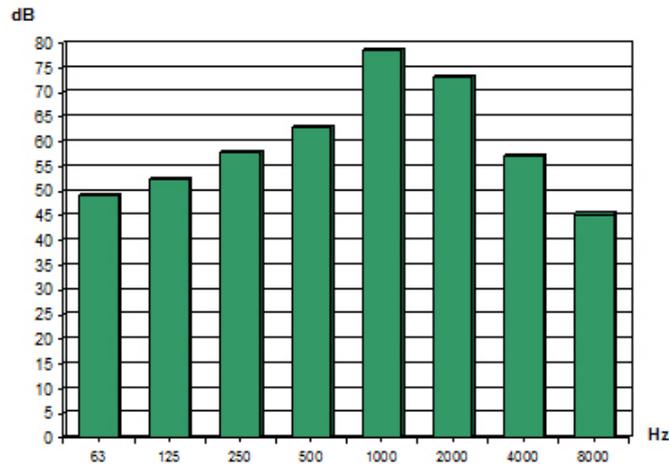


Fig.1.3. Niveles sonoros en bandas de octava de frecuencia.  
Fuente: <http://www.bizkaia.net>

- Velocidad de propagación

Es la velocidad de propagación de una onda en un determinado medio, esta velocidad es constante siempre que no varíen las condiciones del medio. Se la denomina con la letra “V”. Para fines prácticos se puede considerar que la velocidad del sonido en el aire es de 340 mts/seg.<sup>5</sup>

- Longitud de onda

Es la distancia recorrida por una onda durante un periodo “T”. Se la denomina por medio de “λ”. Viene dada por la siguiente formula. Ver fig. 1.4

Fórmula 1.2. Para calcular la longitud de onda.

Fuente: Blumenta S.

$$\lambda = VT = \frac{V}{F}$$

V: Velocidad en m/seg.  
T: Período en segundos.  
F: Frecuencia.

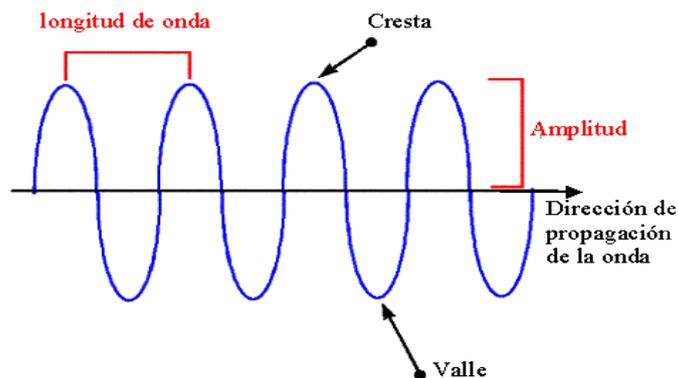
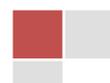


Fig.1.4. Longitud de onda.  
Fuente: Blumenta S.

<sup>4</sup> Antoni Carrión Isbert, Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos, (México: Ediciones UPC, 2001)

<sup>5</sup> Jorge N. Moreno Ruiz, Fundamentos del Control del Ruido, (México: Editorial Gustavo Gili S.A., 1987)



- Intensidad

Es la propiedad por la cual percibimos un sonido fuerte o débil. La intensidad de las compresiones y depresiones de un sonido, dependen de la energía con que se produce el movimiento vibratorio. A mayor energía, mayor amplitud, y a mayor amplitud el sonido será más intenso. Ver fig.1.5

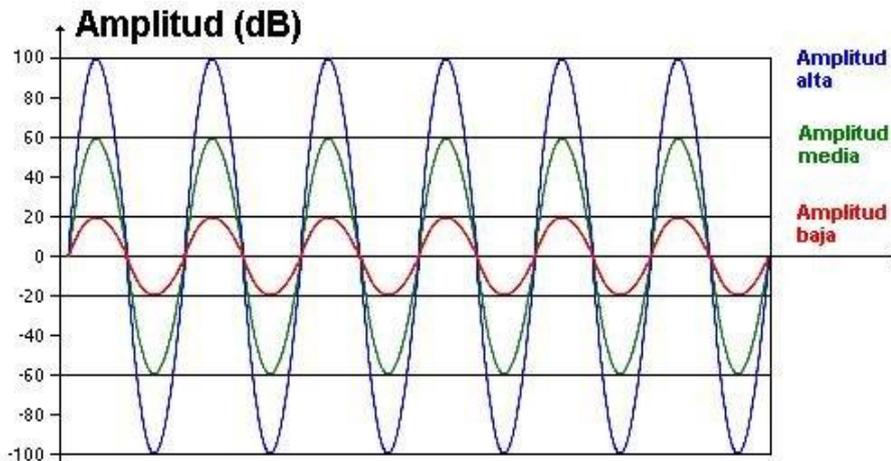


Fig.1.5. Imagen que relaciona la amplitud de la onda con decibeles.  
Fuente: Ing. Eléctrico Alejandro Docampo Disponible en: <http://javi1624.wordpress.com>

Para fijar las condiciones de aislamiento, es decir cuando hay que suprimir el ruido exterior. Se utilizará la siguiente tabla (tabla1.1) que sirve para fijar los niveles de intensidad de la voz.

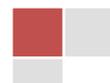
Tenemos que mencionar que los datos expuestos en la tabla se refieren a un metro de distancia y en locales ausentes de toda reverberación.

DESCRIPCION DEL SONIDO	NIVEL (dB)	Intensidad (Watios/cm2)	DESCRIPCION DEL SONIDO	NIVEL (dB)	Intensidad (Watios/cm2)
Nivel mínimo, cuchicheo	20	$10^{-8}$	Mujer hablando en público sin esforzarse	60	$10^{-10}$
Hombre conversando tranquilamente	30	$10^{-14}$	Hombre hablando en público esforzándose	75	$3,15 \times 10^{-10}$
Mujer conversando tranquilamente	25	$3,15 \times 10^{-13}$	Mujer hablando en público esforzándose	70	$10^{-9}$
Hombre conversando normalmente	55	$3,15 \times 10^{-14}$	Hombre gritando	85	$10^{-8}$
Mujer conversando normalmente	50	$10^{-11}$	Mujer gritando	80	$10^{-8,5}$
Hombre hablando en público son esforzase	65	$3,15 \times 10^{-11}$	Potencia máxima	90	$10^{-8}$

TABLA 1.1. Niveles de intensidad de la voz humana.  
Fuente: .Pérez M.

- Fuente sonora.

Se llama fuente sonora al punto donde tienen origen las vibraciones que producen el sonido, y se la denomina con la letra "F".



### 1.1.2 EL RUIDO.

El Comité de electrotécnica francés incorporó en 1956 al vocabulario de acústica la definición del ruido como: *“toda sensación auditiva desagradable o molesta, que generalmente no posee componentes definidos”*. Mientras que en términos físicos se considera al ruido como un sonido de gran complejidad resultante de la superposición inarmónica de sonidos provenientes de muy variadas fuentes, que no admite ninguna clasificación u orden de composición.<sup>6</sup>

#### 1.2.1 EFECTOS DEL RUIDO

Los ruidos de componente grave son los menos perjudiciales. Si tienen poca intensidad producen ligera fatiga y pesadez. Si su nivel es superior a los 100 decibelios, actúan sobre los músculos y el estómago provocando vértigos, vómitos e incluso síncope. A los 130 decibelios perjudican el oído interno.

Los sonidos de frecuencia media se encuentran en la mitad de los efectos anteriores, pero en mayor grado. A los 80 decibelios ya producen trastornos digestivos, aumentan la presión arterial y se acelera el pulso.

Sin duda alguna los ruidos más perjudiciales son los agudos, ya que son de muy altas frecuencias, para las cuales el sistema auditivo es muy sensible, provocando fatiga nerviosa y cansancio mental.<sup>7</sup>

Los infrasonidos y los ultrasonidos también provocan trastornos, Los infrasonidos cuando son de suficiente intensidad, producen mareos vómitos y temblores así como fuertes dolores en la frente y nuca. Los ultrasonidos son más peligrosos sobre los 25000 Hz. producen perturbaciones en la sangre, mientras que a los 3000 Hz. si su intensidad llega a los 100 decibelios, pueden provocar hemorragia cerebral y ataques epilépticos.

Además de los daños producidos en el organismo del ser humano, también existen daños psicológicos que afectan su desempeño profesional, y alteran su estabilidad emocional; el cansancio, la torpeza en las reacciones, el cometer errores y la lentitud de producción, es la consecuencia inevitable del ruido. Es así que la disminución del ruido en áreas de trabajo y descanso es indispensable para que las funciones humanas puedan desarrollarse normalmente.

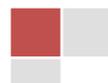
#### 1.2.2 CLASIFICACION DE LOS RUIDOS

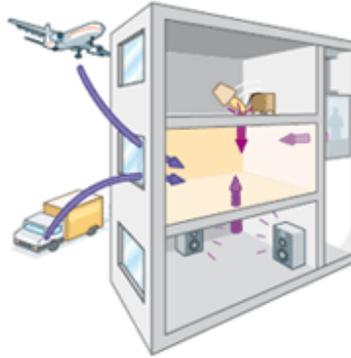
##### a. RUIDOS AEREOS

Se los denomina a aquellos que se propagan en el aire y que al llegar a un panel aislante las ondas lo someten a una vibración, provocando que se generen nuevas ondas, las mismas que serán propagadas en el otro lado del panel. Una de las soluciones más eficaces para aislar este tipo de ruidos es la utilización de un panel que presente gran masa y que por consecuencia sea muy difícil de vibrar.

<sup>6</sup> Antoni Carrión Isbert, Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos, (México: Ediciones UPC, 2001)

<sup>7</sup> R. Cadiergues, Aislamiento y Protección de las construcciones. (Barcelona: Editorial GGSA, 1987)





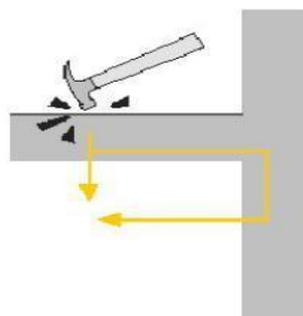
*Fig.1.6. Imagen representativa de algunos ruidos aéreos- vibratorios.  
Fuente: (Italmex Termo construcciones, artículo de acústica).*

### b. RUIDOS DE IMPACTO

Son aquellos que se generan por impacto o percusión sobre el panel aislante, que se convierte así en un elemento generador de ruidos aéreos. Una solución muy eficiente es la colocación de un panel elástico y de poca densidad para conseguir con eso que el impacto sea “sordo”. A través del material elástico conseguimos que la energía del golpe se convierta en deformación del panel y no en energía sonora.

Haciendo una relación con la clasificación anterior un grueso muro de hormigón sería un buen aislante para los ruidos aéreos pero un pésimo para los ruidos de impacto; mientras que un panel elaborado de corcho sería un mal aislante para ruidos aéreos por su densidad pero uno muy bueno para los de impacto por su elasticidad.

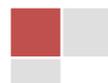
6



*Fig.1.7. Imagen representativa de ruido de impacto.  
Fuente: Revista arquitectura tema: aislamiento acústico al ruido de impacto.*

### c. RUIDOS PROVOCADOS POR VIBRACIONES

Generalmente se lo considera a este tipo de ruido como una variante de los ruidos de impacto, se presenta cuando un cuerpo en movimiento actúa sobre un panel divisorio transmitiendo su agitación, produciendo con esto una trepidación del conjunto. Para su tratamiento al igual que en los ruidos de impacto se utiliza materiales elásticos que no transmiten el movimiento que reciben. Un claro ejemplo de este tipo de ruidos es el causado por un ascensor el mismo que provoca movimientos los mismos que se recargan sobre las paredes continuas provocando ruidos.



### 1.3 MEDIDA DE LOS SONIDOS

#### 1.3.1 NIVEL DE PRESION ACUSTICA

El nivel de presión sonora o acústica determina la intensidad del sonido que genera una presión sonora instantánea, es decir, del sonido que alcanza a una persona en un momento dado, se mide en decibelios y varía entre 0 decibelios que es el umbral de audición y 140 decibelios que es el umbral de dolor.<sup>8</sup> En la fig. 1.8 podemos darnos cuenta algunos sonidos comunes, y relacionarlos con las dos formas de expresar la presión acústica o sonora, ya sea en pascal o en decibelio.

Las unidades clásicas de presión son:

$$PASCAL = \frac{NEWTON}{m^2}$$

$$BARIA = \frac{DINA}{cm^2}$$

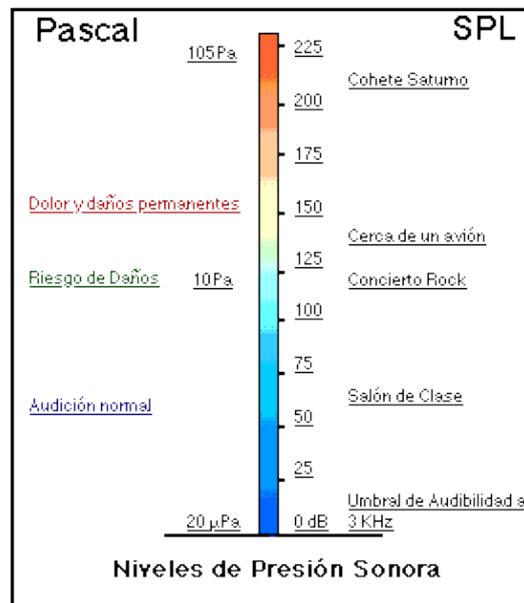


Fig. 1.8. Niveles de Presión sonora SPL o acústica.  
Fuente: Sonido clave .com

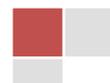
#### 1.3.2 EL DECIBELIO

El oído es sensible a presiones que van desde  $2 \times 10^{-5}$  Pa a 20 Pa por lo que resultaría incomodo utilizar estas unidades. Para salvar este inconveniente se introduce una notación logarítmica que permite expresar sin dificultades los valores más extremados.

La elección de esta notación logarítmica; es sobre todo una consecuencia de la ley de WEBER – FECHNER, según la cual “la sensación auditiva es proporcional al logaritmo del estímulo”

En acústica se utiliza el decibelio (dB) para medir el “nivel de presión acústica” o el “nivel sonoro” que viene dado por la fórmula:

<sup>8</sup> José Pérez Miñana, Compendio Practico de Acústica, (Barcelona: Editorial Labor SA, 1969)



Fórmula 1.3. Representativa del decibelio.  $L_p = 20 \log \frac{P_1}{P_0}$   
 Fuente: Moreno J.

EJEMPLOS.	PRESION ACUSTICA EN PASCAL.	PRESION ACUSTICA EN DECIBELES.	EJEMPLOS.	PRESION ACUSTICA EN PASCAL.	PRESION ACUSTICA EN DECIBELES.
Umbral del dolor.	20	120	Receptor de radio con baja intensidad.	0,002	40
Taller textil	2	100	Campo tranquilo.	0,0002	20
Calle con gran circulación.	0,2	80	Umbral audible.	0,00002	0
Conversación corriente de oficina.	0,02	60			

Tabla 1.2 . Tabla demostrativa de diferencia entre unidades de medidas de la presión acústica.  
 Fuente: Moreno J.

## 1.4 APARATOS DE MEDIDA

### 1.4.1 SONOMETRO

Este aparato nos permite medir objetivamente el nivel de presión sonora. Los resultados los expresa en decibeles (dB). Para determinar el daño auditivo, el equipo trabaja utilizando una escala de ponderación que deja pasar sólo las frecuencias a las que el oído humano es más sensible, respondiendo al sonido de forma parecida que lo hace éste.<sup>9</sup>

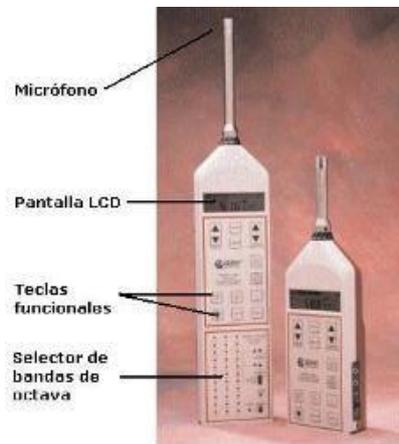
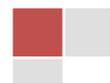


Fig.1.9. Imagen del sonómetro.  
 Fuente: Caprotesca, Notiambiente Nº 3.

### 1.4.2 REGISTRADOR

El registrador mide, registra y limita el nivel de presión acústica de la sala donde está instalado. Este equipo consiste en un atenuador lineal y en un sensor integrador-promediador, el

<sup>9</sup> Claude Rougeron, Aislamiento acústico y térmico en la construcción. (Barcelona: Editores técnicos asociados SA, 1977)



atenuador actúa corrigiendo automáticamente hasta 40 dB para que el nivel de presión sonora medido por el sensor no sobrepase el máximo que tenga programado.<sup>10</sup>

### 1.4.3 OSCILOSCOPIO

Se lo usa seleccionando la base de tiempos y ganancias oportunas podremos observar la forma de la onda sonora que registra en ese momento el sonómetro y que transferimos al osciloscopio mediante un cable conectado, por la salida de la señal del sonómetro y por otro, a uno de los canales del osciloscopio. Pero la utilización de un osciloscopio digital, tiene sus ventajas, activando el modo de almacenamiento, podréis congelar la imagen de la señal y estudiarla directamente sobre la pantalla.<sup>11</sup>

## 1.5 COMPORTAMIENTO DEL SONIDO EN LOCALES CERRADOS

### 1.5.1 REFLEXION

Cuando una onda incide sobre una superficie, ocurre que una parte de su energía será reflejada, y el resto de será absorbida o transmitida. Cuando hablamos de acústica “*todo rayo que incide con un ángulo sobre una superficie reflectora será reflejada con el mismo ángulo*”.<sup>12</sup> La fig. 1.10 nos muestra cómo actúa una onda respecto a una superficie.

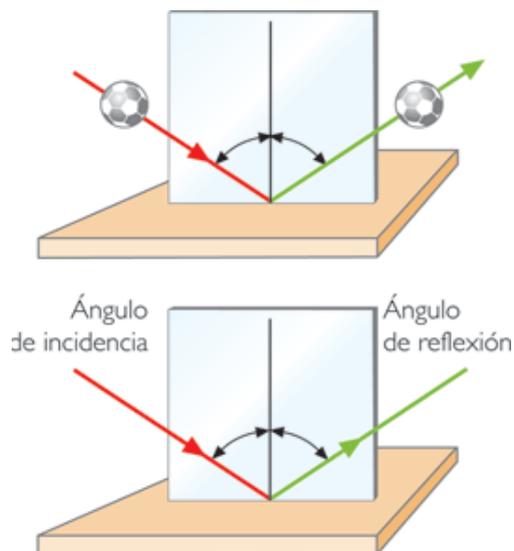


Fig.1.10. Reflexión de la onda respecto de la superficie. Fuente: Kalipedia reflexión del sonido.

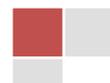
### 1.5.2 ABSORCION

Cuando una onda sonora choca contra un obstáculo parte de la energía es absorbida por el material del que está compuesto el obstáculo. La absorción de los materiales se debe principalmente al hecho de que son altamente porosos. El aire existente en los poros entra en

<sup>10</sup> Claude Rougeron, Aislamiento acústico y térmico en la construcción. (Barcelona: Editores técnicos asociados SA, 1977), 30

<sup>11</sup> Ibid., 35

<sup>12</sup> Jorge N. Moreno Ruiz, Fundamentos del Control del Ruido, (México: Editorial Gustavo Gili S.A., 1987)



vibración por la incidencia de la onda sonora, y la fricción que produce el movimiento de éstas partículas de aire contra los poros produce calor.

Una fracción de la energía total de la onda incidente es de este modo transformada en energía térmica, y el porcentaje restante, devuelto (reflejado) en forma de onda sonora reflejada.<sup>13</sup>

#### a. COEFICIENTE DE ABSORCION

Todos los materiales absorben la energía sonora en mayor o menor proporción. La absorción de la energía sonora por un material está separada por el coeficiente de absorción  $\alpha$ , que es la relación existente entre la energía acústica absorbida y la energía acústica incidente.<sup>14</sup> (Ver anexo 1)

**Fórmula 1.4. Coeficiente de absorción.**

Fuente: Rougeron C.

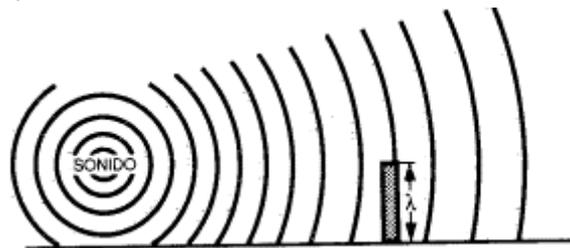
$$\alpha = \frac{I_a}{I_i}$$

La absorción de los materiales es ampliamente aprovechada en la acústica moderna, no solo para mejorar las condiciones de audición de los locales, sino para eliminar en lo posible los ruidos inconvenientes en sitios públicos.

### 1.5.3 DIFRACCION

El fenómeno de la reflexión se cumple cuando la superficie reflejante es grande con relación a la longitud de onda.

Pero cuando la superficie es muy pequeña con relación a la longitud de onda, la onda sonora sufre una desviación. Esto quiere decir que cuando una onda encuentra un obstáculo en su camino esta seguirá propagándose casi como si este no existiera siempre y cuando la longitud de onda sea grande comparada con las dimensiones del obstáculo.<sup>15</sup>



*Fig. 1.11. Imagen que demuestra la difracción.*

Fuente: Curso práctico sonido, José A. Poo Morilla.

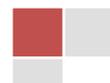
### 1.5.4 ECO

Cuando una fuente sonora deja de vibrar aún después de un breve espacio de tiempo de cesar su movimiento vibratorio en el aire, el oído mantiene la excitación producida, durante aproximadamente 1/15 de segundo, durante este tiempo, pues y aunque el sonido ya no existe, el oído lo sigue escuchando.

<sup>13</sup> Claude Rougeron, Aislamiento acústico y térmico en la construcción. (Barcelona: Editores técnicos asociados SA, 1977), 58

<sup>14</sup> *Ibíd.*, 65

<sup>15</sup> José Pérez Miñana, Compendio Práctico de Acústica, (Barcelona: Editorial Labor SA, 1969)



Si dos sonidos se producen simultáneamente, el oído percibirá una combinación de ambos. Si los sonidos no son simultáneos, pero se producen con una diferencia de tiempo igual o inferior a 1/15 de segundo, al oído le parecerá que los dos sonidos son simultáneos.

Cuando por efecto de una superficie reflectora nos llega una onda reflejada con un retraso de tiempo superior a 1/15 de segundo, oiremos primero el sonido original (directo) y luego el reflejado, repetición distinta y clara del primero. A éste fenómeno se le conoce con el nombre de eco. Para el estudio de las condiciones acústicas de los locales generalmente se acepta un tiempo menor como límite de separación máxima en la producción de dos sonidos. Este límite es 1/17 de segundo.<sup>16</sup>

### 1.5.5 FUNCIONAMIENTO ESQUEMATICO DE ABSORCION Y REFLEXION DEL SONIDO

Cuando una superficie se interpone al avance del sonido, la energía de este queda repartida en partes variables, entre el sonido que atraviesa la pared, el absorbido, el reflejado y el disipado.

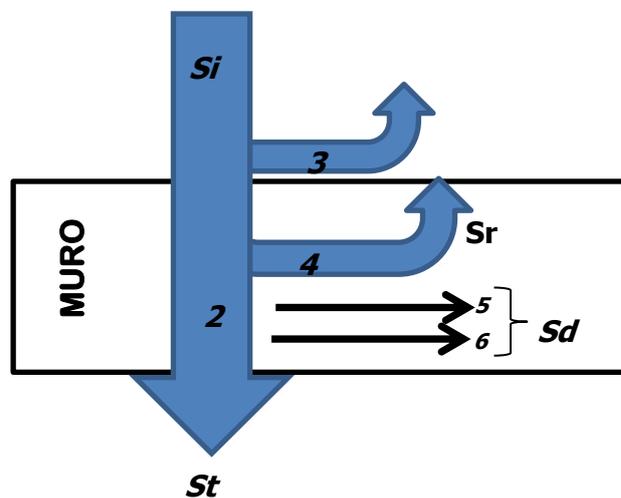


Fig.1.12 Onda incidente sobre una superficie.  
Elaboración: El autor. Fuente: Pérez J.

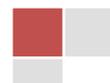
( $S_i$ ) corresponde al sonido incidente parte del mismo ( $2$ ) avanza a través del muro y el resto ( $3$ ) se refleja en la superficie de la misma. La energía ( $2$ ) someterá al muro a una vibración, parte de la cual ( $5$ ) se convertirá en calor por frotamiento, otra parte ( $6$ ) avanzará a lo largo de la pared y se perderá propagándose por el suelo y techo; estas dos proporciones ( $5$  y  $6$ ) constituyen el sonido disipado ( $S_d$ ). El resto de esta energía ( $2$ ) supondrá una emisión de sonido por sus dos caras; por la cara donde ha incidido el sonido, la emisión ( $4$ ) se sumará a la energía ( $3$ ) reflejada y constituirá el ( $S_r$ ) o sonido total reflejado; mientras que por la cara opuesta será ( $St$ ), o sonido transmitido.<sup>17</sup>

$$S_i = S_r + S_t + S_d; S_r = S_i - (S_t + S_d); S_t = S_i - (S_r + S_d).$$

El valor de  $S_t + S_d$ , viene a suponer la absorción que ofrece el material.

<sup>16</sup> José Pérez Miñana, Compendio Practico de Acústica, (Barcelona: Editorial Labor SA, 1969)

<sup>17</sup> José Pérez Miñana, Compendio Practico de Acústica, (Barcelona: Editorial Labor SA, 1969)



## 2. AISLAMIENTO ACUSTICO

“Es el conjunto de medios que se ponen para oponerse al paso del sonido. Se aíslan los edificios de los ruidos que vienen de la calle o los unos a los otros”<sup>18</sup>

Cuando se quiere aislar un espacio arquitectónico se debe comprender dos aspectos, el primero que el aislamiento se lo realiza cuando existe demasiado ruido que interfiere con el libre desarrollo de las actividades, y el segundo aspecto a comprender es que aislando un espacio se consigue un confort acústico que colabora con el bienestar en el hábitat del ser humano.

Para conseguir niveles de ruido aceptables en un local es necesario realizar procedimientos en el sistema de muros que conformen dicho local; por ejemplo disipando la energía en el interior del medio de propagación o en términos concretos absorción del ruido, otra solución es impedir la propagación del sonido incidente o también llamado aislamiento acústico. Cualquier tratamiento implicara una transformación energética bien en forma de calor o en forma de energía dinámica.

En la presente investigación nos centraremos únicamente en el aislamiento acústico, cuando aislamos, actuamos sobre la diferencia entre el nivel de intensidad acústica en el local emisor o ruido y el nivel de intensidad en el local receptor.

El resultado de las medidas de aislamiento, está definido por la norma francesa S30.001 como:

- Un debilitamiento de un mismo sonido entre dos puntos dados situados a una y otra parte de un obstáculo.
- Una diferencia de nivel de intensidad acústica resultante de este fenómeno.

12

Si en un local se emite un nivel sonoro L1 y en el otro lado de un cerramiento se recibe el nivel residual L2, el aislamiento acústico de la pared expresado en decibelios será:

**Fórmula 1.5. Aislamiento acústico.**

$$D = L1 - L2.$$

**Fuente: Payá M.**

Este resultado expresa un aislamiento bruto, se distingue de un aislamiento normalizado porque este tiene en cuenta las posibilidades de amplificación del sonido en la sala de recepción por efecto de la reverberación.

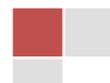
Para una frecuencia determinada el aislamiento acústico normalizado está definido por la relación:

**Fórmula 1.6. Aislamiento acústico normalizado.**

$$D = L1 - L2 + 10 \log \frac{T}{0,5}$$

**Fuente: Payá M.**

<sup>18</sup> Claude Rougeron, Aislamiento acústico y térmico en la construcción. (Barcelona: Editores técnicos asociados SA, 1977)



En donde L1 y L2 son los valores en decibelios en la emisión y en la recepción; T es el tiempo de reverberación de la habitación de recepción para la frecuencia considerada; 0,5 el tiempo de reverberación considerado como normal para una habitación amoblada.

Hay que tener en cuenta que por reflexión puede aumentar el nivel sonoro hasta un 10%; un mayor índice de ruido en el interior significa una mayor transmisión de ruido en el exterior. Ese exceso de energía debido a la reflexión se podrá reducir en gran parte mediante absorción. Pero debemos tener muy claro la diferencia entre absorción y aislamiento, por ejemplo si introducimos absorción en una discoteca, disminuiríamos el nivel sonoro en un primer momento y por tanto el ruido transmitido. Pero al perder sonoridad el dejay subirá el volumen de la música y volveremos a tener el mismo problema en los locales adjuntos, en este caso lo que se tiene que actuar es sobre el grado de aislamiento; para lograr un aislamiento eficiente siempre es fundamental que reconozcamos el tipo de ruido que se desea aislar y la fuente que lo genera, ya que puede ingresar al recinto en cuestión a través de muchos medios.<sup>19</sup>

En el subtema anterior del capítulo I de la presente tesis ya se ha hecho mención de la clasificación de los ruidos, así que partiremos directamente con los medios de propagación de los diferentes ruidos.

## 2.1 PROPAGACION DE LOS RUIDOS AEREOS

El aislamiento sonoro depende del nivel acústico del lugar en que se produce el ruido y del nivel acústico admisible en el local que se quiere aislar acústicamente dependiendo de la actividad que se vaya a realizar en este lugar.<sup>20</sup>

13

Para emprender debidamente el estudio acústico de las construcciones, hay que tener una clasificación de los ruidos y de su transmisión. Se deben distinguir dos grandes clases de ruidos: los ruidos aéreos y los ruidos de impacto. Los ruidos aéreos son los que se propagan por la vibración de aire como palabras, música, gritos, etc., mientras que los ruidos de impacto son engendrados por choques y se transmiten directamente a los elementos de la construcción.<sup>21</sup> Los ruidos aéreos para un local determinado pueden ser de origen externo o de origen interno. Para Cadiergues, (1987) para reducir la molestia debida a la propagación de los ruidos aéreos, existen tres métodos:

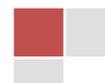
- Acondicionar el lugar en que se produce el ruido, por ejemplo se podría utilizar la vegetación en el exterior para evitar la propagación de las ondas sonoras.
- Acondicionar el local en donde se recibe el ruido, evitando la reflexión del sonido en las paredes de este local, es decir revistiendo las paredes del local receptor con materiales absorbentes.
- Aislar el local receptor del lugar en que se produce el ruido.

El principal concepto es el de aislamiento sonoro, que se ilustra en el esquema de la figura 1.13; en que un tabique separa los locales 1 y 2. Si el local 1 produce ruidos de un nivel

<sup>19</sup> R.M.E. Diamant, Aislamiento térmico y acústico de edificios. (Madrid: Editorial Blume, 1967)

<sup>20</sup> R. Cadiergues, Aislamiento y Protección de las construcciones. (Barcelona: Editorial GGSA, 1987)

<sup>21</sup> Miguel Payá, Aislamiento térmico y acústico, (Barcelona: Ediciones CEAC, 1978)



acústico de 70 decibelios, y si los ruidos transmitidos al local 2 producen ahí un nivel acústico de 40 decibelios, se obtendrá por lo tanto que el aislamiento sonoro del tabique sea de 30 decibelios.

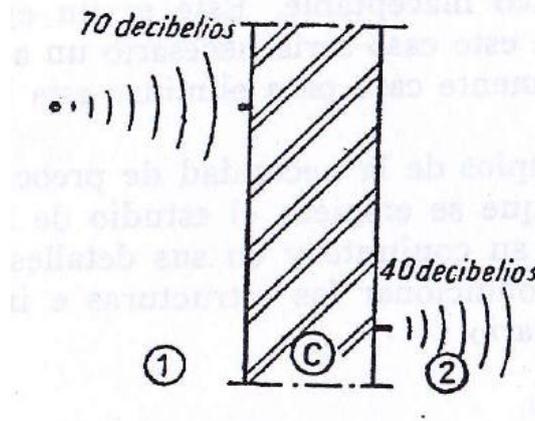


Fig. 1.13 Aislamiento sonoro de un muro.  
Fuente: Cadiegues R.

La transmisión del sonido a través del tabique está producida por la combinación de dos fenómenos distintos:

1. Transmisión directa por las aberturas, poros o fisuras, cuando el tabique no es impermeable al aire.
2. Transmisión por vibración de flexión de las paredes que actúan como un diafragma.

14

En el primer caso solo la transmisión es importante cuando existen fisuras o juntas en el mampuesto o en su defecto existen ventanas o puertas, o cuando se tratan de materiales muy permeables al aire.

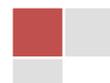
En la mayoría de los casos, para un tabique continuo el segundo fenómeno es el más importante, ya que si hablamos de "diafragma", tenemos que entender que está directamente relacionado con la masa y la rigidez de la pared. Esto en vista que el sonido transmitido va a depender mucho de la vibración que las ondas sonoras produzcan en el mismo, o sea a más peso habrá más dificultad para hacer que entre en vibración el muro y por lo tanto traspase el sonido.

Hay que tomar en cuenta que un material dado no tiene prácticamente un aislamiento sonoro, sino que sus propiedades acústicas dependen en gran parte de las dimensiones de cada elemento y de la forma como está sujeto al resto de la construcción.

Además la masa tiene una importancia esencial, ya que el aislamiento sonoro es mejor cuanto más pesado sea el material.<sup>22</sup>

Otro factor a tomar en cuenta son los llamados "puentes acústicos", que no son sino más que el punto más débil de un muro continuo por ejemplo ventanas, puertas. Si en un tabique hay

<sup>22</sup> R. Cadiegues, Aislamiento y Protección de las construcciones. (Barcelona: Editorial GGSA, 1987)



un punto débil bajo el punto de vista acústico, el aislamiento sonoro del tabique será el que presente ese punto débil, salvo el caso de ser una superficie extremadamente reducida, y es totalmente imposible mejorar el aislamiento de un tabique si no se han eliminado los puntos débiles.<sup>23</sup>

Por la misma causa si es posible la transmisión indirecta por las paredes laterales, puede resultar totalmente ineficaz mejorar el aislamiento de un tabique si no se corrigen estas paredes laterales primeramente.

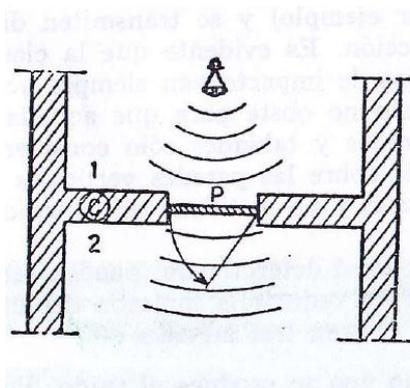


Fig.1.14 Efecto producido por un elemento débil en el muro.  
Fuente: Cadiergues R.

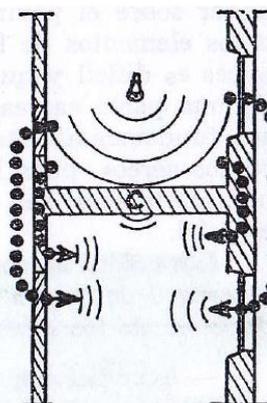


Fig. 1.15 Transmisiones acústicas indirectas.  
Fuente: Cadiergues R.

## 2.2 VIAS DE TRANSMISION DE RUIDOS AEREOS

15

La transmisión de los ruidos aéreos de un local a otro puede efectuarse por diferentes caminos, según.<sup>24</sup>

- A través del cerramiento que los separa primero, esta es la vía directa.
- Por las paredes adyacentes, esta es una primera vía indirecta.
- Eventualmente por una canalización o conducto que atraviesen los locales.

Hay que destacar que de nada sirve prever un cerramiento aislante si la paredes adyacentes son débiles o también si deben ser atravesadas por una canalización insuficientemente estudiada; el ruido rodeara el obstáculo del cerramiento y de todas formas se percibirá.

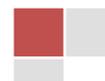
## 2.3 CLASIFICACION DE AISLAMIENTO SEGÚN TIPO DE MURO

Según la conformación del muro se pueden distinguir tres tipos diferentes de aislamientos.

- Aislamiento para muros mixtos: Es el aislamiento que se le da a los muros que están compuestos por vanos y llenos, también conocidos como muros con aberturas.

<sup>23</sup> Rosello G. & Marzo J., Revista Tectónica, 2001

<sup>24</sup> Claude Rougeron, Aislamiento acústico y térmico en la construcción. (Barcelona: Editores técnicos asociados SA, 1977)



- Aislamiento para muros simples: Es el aislamiento que se le da a los muros que están compuestos por un solo material, en este tipo de aislamiento lo indispensable es la masa.
- Aislamiento para muros dobles: Es el aislamiento que se le da a los muros compuestos por diferentes materiales, que en muchos de los casos están separados por cámaras de aire y materiales absorbentes.

### 2.3.1 AISLAMIENTO PARA MUROS MIXTOS O MUROS CON ABERTURAS

Si todos los tabiques, mamposterías, muros o cerramientos fueran homogéneos el problema de aislamiento acústico estaría resuelto con el estudio de los diferentes técnicas de aislamiento para muros, pero es necesario poder entrar en un local, y es necesario también que este local reciba la luz del día; para lo que el constructor deberá prever puertas y ventanas; por estas causa las paredes que tienen uno o varios de estos elementos son heterogéneos. Esto nos lleva a estudiar las consecuencias de la presencia de un acristalamiento, o de una puerta en una mampostería; ya que estos elementos constituyen puntos débiles que provocaran la caída del aislamiento resultante.

#### a. PUERTAS

Como ya se ha dicho, es inútil prever un tabique muy aislante si en él se abre una puerta ligera y de poca estanqueidad al aire. Si el aislamiento de esta puerta debe ser elevado hay que recurrir a procedimientos de construcciones especiales. Siempre basado en la ley de masas y por ende en los materiales y peso que se utilizase, tomando en cuenta que siempre se debe cuidar del paso del aire por las rendijas. El procedimiento más óptimo para el aislamiento del sonido en puertas será explicado con mayor detenimiento y detalle en el capítulo tres de la presente tesis correspondiente a sistemas de aislamiento.

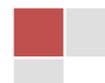
#### b. VENTANAS

Las ventanas presentan, desde el punto de vista acústico, las mismas dificultades que las puertas, pero si los principios en que se funda su tratamiento son los mismos que en las puertas, los detalles de ejecución pueden ser bastante diferentes.

Para ventanas que sean bien herméticas al paso del aire ya sea sencilla o doble se pueden adoptar el valor de 25 dB de aislamiento. Se puede obtener alguna mejora empleando vidrios gruesos obteniendo con esto un aumento de aislamiento acústico de 3 a 4 dB.<sup>25</sup>

Se obtiene un mayor aumento de aislación empleando ventanas dobles, o sea con doble marco, sobre todo si se rodea el espacio interior con un material absorbente. El doble vidrio con un solo marco es relativamente menos eficaz pues el aumento de aislamiento es solo el correspondiente al aumento de masa ya que la cámara de aire tiene poca eficacia, debido a la transmisión rígida en las ondas vibratorias por el marco. Se ha pretendido a veces que era necesario, cuando se usan dos vidrios que sean de diferente grueso, pero esto según

<sup>25</sup> R.M.E. Diamant, Aislamiento térmico y acústico de edificios. (Madrid: Editorial Blume, 1967)



(Cadiergues, 1987), no tiene gran importancia. Para las ventanas que no son con un cerrado hermético o estancas ocurre igual que con las puertas, su aislamiento no pasa de los 15 a 20 dB.

Dada la importancia de la superficie de las ventanas en las fachadas al menos 1/3 de las mismas, el aislamiento sonoro de las fachadas en general está determinado únicamente por las ventanas, a no ser que la pared presente menos aislamiento que las ventanas, caso que generalmente no se da, solo en casos excepcionales, se ve pues la importancia de las ventanas en la protección contra los ruidos que proceden del exterior.

### 2.3.2 AISLAMIENTO PARA MUROS SIMPLES O POR MASA

El aislamiento sonoro de un tabique depende esencialmente de su masa. Para un tabique macizo el aislamiento sonoro viene dado en función del peso por metro cuadrado. Como se ha indicado anteriormente, la energía sonora no atraviesa las paredes, a no ser que su estanqueidad sea muy mala y dejase pasar las ondas sonoras. Son las paredes las que excitadas por las ondas sonoras incidentes, se ponen a vibrar y se deforman siguiendo un proceso propio de su especie y de sus dimensiones convirtiéndose así en verdaderos reemisores del sonido. Así en la fig. 1.16 se indica una aproximación de valores de aislamiento sonoro para una pared maciza según el peso, aunque hay que indicar que no se aplica a materiales muy ligeros, como lanas minerales para las que se podrán admitir un aislamiento sonoro de 2 a 2,5 dB por centímetro de espesor.<sup>26</sup> También tomando en cuenta que se tratan de tabiques macizos, pues utilizando paredes o tabiques formados por dos o más hojas, separados por cámaras de aire se puede mejorar sensiblemente el aislamiento sonoro.

17

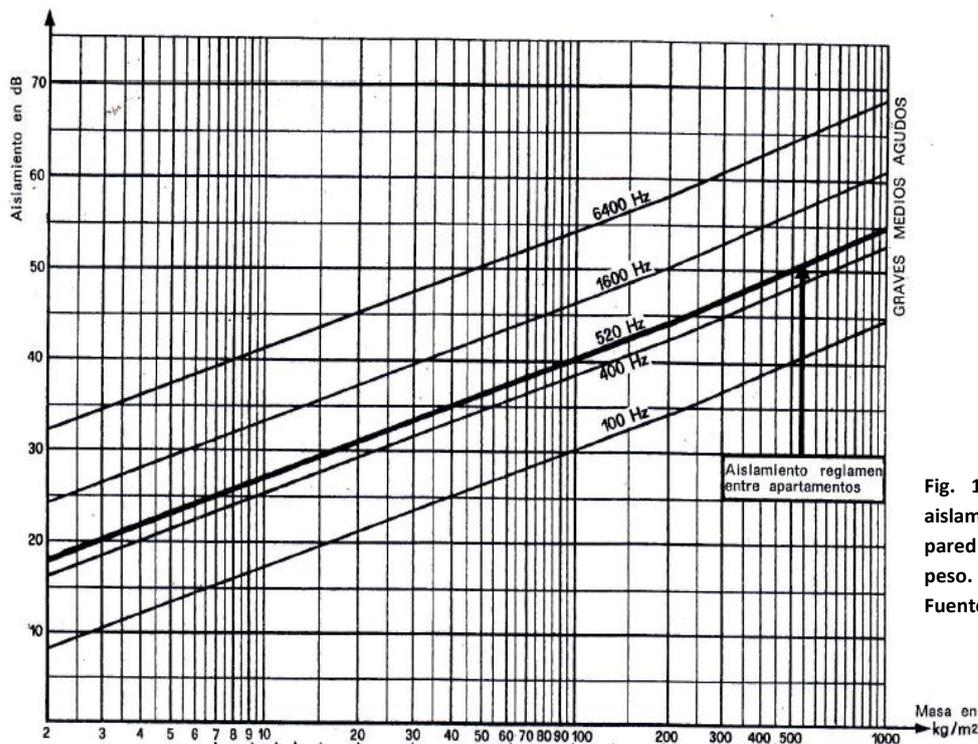
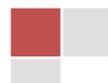


Fig. 1.16 Variación del aislamiento sonoro de una pared en función de su peso.

Fuente: Rougeron C.

<sup>26</sup> Miguel Payá, Aislamiento térmico y acústico, (Barcelona: Ediciones CEAC, 1978)



El valor de aislamiento de una pared para los ruidos aéreos obedece a una ley llamada ley de masa o de Berguer que nos permite calcular la transmisión del sonido en dB a cualquier frecuencia dada la misma que indica que “el aislamiento acústico es mayor cuanto mayor sea su masa superficial, es decir más pesada, y también tiene una importancia fundamental la frecuencia, ya que en mayores frecuencias el aislamiento va a aumentar.”<sup>27</sup>

Esta ley de masa experimental no es absoluta, sino solamente aproximada. Juega con la asociación de otros parámetros como estanqueidad, elasticidad, dimensiones, etc. Sin embargo es interesante por permitir evaluar rápidamente el aislamiento aproximado de un muro; en el capítulo siguiente se analizara con mayor detenimiento el cálculo del aislamiento de un muro en base a la ley de masa.

#### a. INFLUENCIA DE LA FRECUENCIA EN EL AISLAMIENTO

Igualmente el aislamiento por masa es proporcional al logaritmo de la frecuencia, esto se explica claramente en el siguiente ejemplo obtenido del libro de Rougeron, 1977, en el cual se empieza midiendo el aislamiento de un tabique de 100 Kg/m<sup>2</sup> y haciendo variar la frecuencia del sonido, se obtendrá los siguientes resultados.

FRECUENCIA.	AISLAMIENTO.
125 Hz.	32 dB.
250 Hz.	36 dB.
500 Hz.	40 dB.
1000Hz.	44 dB.
2000 Hz.	48 dB.
4000 Hz.	52 dB.

Tabla 1.3. Tabla explicativa de la influencia de la frecuencia en el aislamiento por masa.  
Fuente: Rougeron C

La pendiente de la recta es de 4dB por octava. Este valor aumenta ligeramente para las paredes pesadas mayores a 400 Kg/m<sup>2</sup>.<sup>28</sup>

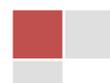
Todos los cuerpos al estremecerse buscan para vibrar sus frecuencias propias, llamadas frecuencias de resonancia, que no hay que confundir con la frecuencia critica aun cuando los efectos sean los mismos. Generalmente la frecuencia de resonancia de las paredes simples es menos molesta cuando se sitúa en frecuencias muy bajas.

Una pared delgada y tensa, como un vidrio bajo el efecto de ciertas frecuencias, vibra como una membrana y posee frecuencias de resonancia audible. Todas las paredes dan origen a este tipo de fenómenos en los que la amplitud es función inversa de la masa ya que se deforman por dos aspectos importantes.

- Por una parte bajo el efecto de ondas oblicuas en el plano de la pared. La traza de la onda provoca una deformación que se desplaza a una velocidad que es función del ángulo de incidencia y de la velocidad del sonido.

<sup>27</sup> Claude Rougeron, Aislamiento acústico y térmico en la construcción. (Barcelona: Editores técnicos asociados SA, 1977), 131

<sup>28</sup> *Ibid.*, 133



- Por otra parte son el origen de deformaciones con independencia de la onda aérea incidente, que se propaga bajo forma de ondas de flexión en las que la frecuencia es llamada frecuencia crítica  $f_c$  de la pared. Esta frecuencia crítica aumenta cuando la rigidez de la pared disminuye y a la inversa, disminuye para un material dado con el espesor de la pared y con su masa.<sup>29</sup>

### 2.3.3 AISLAMIENTO PARA MUROS DOBLES O MULTIPLES

Para proporcionar un aislamiento suficiente a una pared simple debe hacerse extremadamente pesada, este es el resultado de lo que se menciona en el tema de paredes simples. Admitiendo que el aislamiento de un tabique sigue perfectamente la ley de masas y que las otras influencias pueden ser despreciadas, tendríamos que para satisfacer las exigencias de la reglamentación o nivel de confort acústico, sería necesario masas específicas de más o menos 550 Kg/m<sup>2</sup> para lograr un aislamiento de 51 dB; o por ejemplo una masa de 800 Kg/m<sup>2</sup> para 54 dB y más de 1000 Kg/m<sup>2</sup> para aislamientos superiores, lo que originaría una sobrecarga de las estructuras extremadamente costosa.

Para dar solución a este problema se debe fraccionar la pared en dos o más elementos separados por cámaras de aire. La mejora del aislamiento acústico que se consigue al duplicar el peso de las paredes simples compensa el gasto en el caso de paredes ligeras, pero para paredes pesadas ya no es tan rentable. Si dividimos una pared en dos hojas y las separamos una cierta distancia, el conjunto ofrece un aislamiento acústico superior al de la pared simple de masa equivalente.

Bajo la acción de las ondas sonoras, la pared expuesta se deforma incidiendo periódicamente sobre la masa de aire que se comporta como un muelle y que a su vez excita a la otra pared. Si dos elementos distintos no tienen ligazón alguna entre ellos, sino el aire que habitualmente los separa, el aislamiento total será la suma del aislamiento de los dos elementos. Desafortunadamente esta separación completa no se puede realizar y los elementos quedan más o menos acoplados esto con el fin de crear una unión estructural bien establecida en la mampostería. En el acoplamiento influyen cuatro factores principales<sup>30</sup>:

- La separación entre los elementos.
- La resonancia de las paredes.
- El amortiguamiento de la cámara.
- Las ligazones entre los elementos.

#### a. SEPARACION ENTRE ELEMENTOS O CAMARA DE AIRE

Es importante mencionar que los estudios que se han hecho sobre las dimensiones que hay que dar a las cámaras de aire no dan siempre resultados concordantes, pero de los mismos se deduce la conveniencia de que las cámaras de aire tengan un espesor bastante grande al menos de 8 a 10 cm., y uniendo a esto los resultados obtenidos en aislamiento térmico que

<sup>29</sup> José Pérez Miñana, Compendio Práctico de Acústica. (Barcelona: Editorial Labor SA, 1969), 127.

<sup>30</sup> Claude Rougeron, Aislamiento acústico y térmico en la construcción. (Barcelona: Editores técnicos asociados SA, 1977)



dicen que las cámaras de aire deben tener al menos 3 a 4cm., de espesor ; resulta que el espesor idóneo al menos en teoría sería de 8 a 12 cm., que parece ser el perfecto cuando se busca un aislamiento acústico y térmico.

A continuación en la siguiente figura mostraremos un cuadro representativo de los valores a tomar en cuenta para cámaras de aire según Ingerslev y Cammerer.<sup>31</sup>

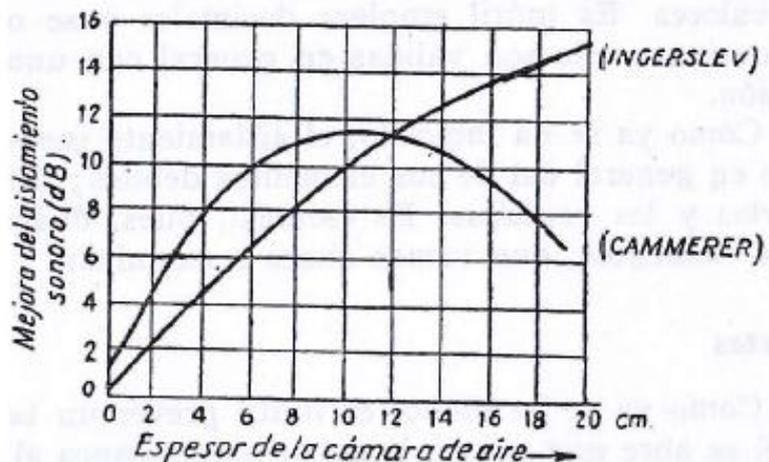


Fig. 1.17. Aislamiento sonoro de las cámaras de aire en función del espesor.  
Fuente: Rougeron C.

Para que la cámara de aire sea plenamente eficaz es preciso que no haya ningún enlace rígido entre sus hojas, esto es tanto más importante cuanto más pesada sea la pared. En algunos casos se ha propuesto que las distintas hojas de las paredes dobles tengan pesos diferentes, este sistema no mejora el aislamiento sonoro global, pero tiene ciertas ventajas en cuanto a la modificación del aislamiento sonoro en función de las frecuencias, que son francamente favorables cuando no obligan a un aumento considerable de gastos.<sup>32</sup>

## b. RESONANCIA DE LAS PAREDES

### • FRECUENCIA PROPIA DE LOS ELEMENTOS

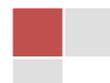
Cada elemento tiene su propia frecuencia de resonancia. Si esta frecuencia es idéntica para los dos elementos, las vibraciones de uno originarán vibraciones en el otro. Por lo tanto es de interés positivo tener elementos de diferente masa y naturaleza.

### • FRECUENCIA DE RESONANCIA DEL CONJUNTO

Los elementos de una doble pared separados por una cámara de aire se comportan como dos masas unidas como un resorte.

<sup>31</sup> José Pérez Miñana, Compendio Práctico de Acústica, (Barcelona: Editorial Labor SA, 1969)

<sup>32</sup> R. Cadiérgues, Aislamiento y Protección de las construcciones. (Barcelona: Editorial GGSA, 1987)



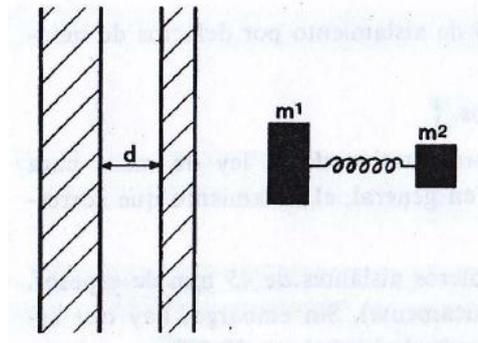


Fig.1.18. Equivalencia de una estructura doble.  
Fuente: Rouaeron C.

Esta frecuencia será tanto más baja cuanto mayor sean las masas y exista mayor distancia entre ellas. Para esta frecuencia el aislamiento del conjunto es muy bajo, prácticamente nulo; por lo tanto se debe conseguir que esta frecuencia sea lo más baja posible, ya que la sensibilidad del oído disminuye al disminuir la frecuencia. Normalmente se busca que esta frecuencia este por debajo de los 75 Hz.

- **FRECUENCIA PROPIA DE LA CAMARA DE AIRE**

En la cámara de aire se producen una serie de resonancias hacia las frecuencias agudas cuando la longitud de onda de la frecuencia dominante del sonido incidente es igual a la distancia entre las paredes (d).

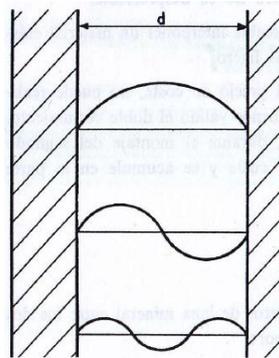


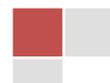
Fig.1.19. Resonancia de una pared doble.  
Fuente: Rougeron C

### c. LIGAZON ENTRE LOS ELEMENTOS

Toda ligazón rígida entre los elementos realiza un cortocircuito acústico, llamado también puente fónico, entonces el conjunto se comporta como una gran pared simple. Hay que señalar que los elementos están ligados en su periferia al suelo, techo, muros laterales. La influencia de estas ligazones inevitables es afortunadamente menos sensible pero no despreciable.

En la medida de lo posible sería deseable interponer un material elástico sobre el contorno del elemento más ligero.<sup>33</sup>

<sup>33</sup> Claude Rougeron, Aislamiento acústico y térmico en la construcción. (Barcelona: Editorstécnicos asociados SA, 1977)



Si esta precaución por razones de precio o coste no puede realizarse, no por ello deja de ser menos valido el doble cerramiento. La presencia de los tableros aislantes durante el montaje del segundo elemento evitara que el mortero se cuele y se acumule en la parte baja de la cámara de aire.

#### d. AMORTIGUACION DE LA CAMARA

Se ha comprobado que la presencia de tableros de lana mineral entre dos elementos de pared está justificada por:

- El amortiguamiento de la cámara de aire.
- El desamortiguamiento de los dos elementos de las paredes.
- El hecho de que con ellos resulte más difícil la constitución de puentes fónicos.

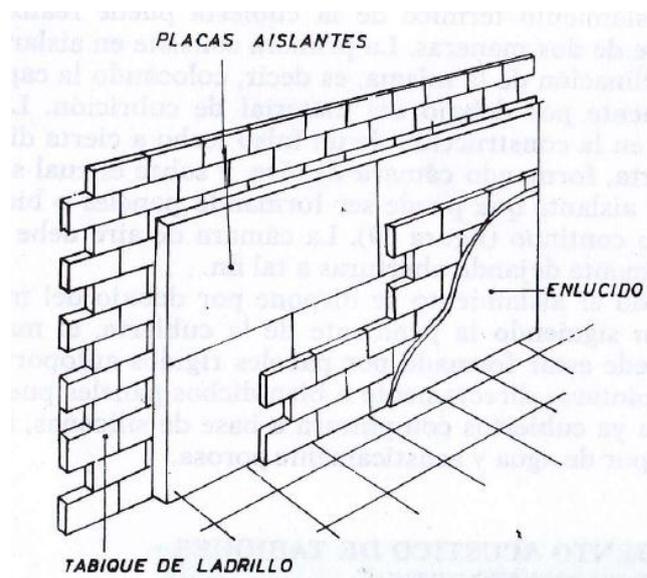


Fig.1.20. Muro con placa aislante.

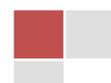
Fuente: Payá Miguel.

Además esta presencia aporta un suplemento de aislamiento. Cuando una onda sonora golpea sobre una capa porosa, la presión acústica se debilita a medida que la onda penetra más profundamente en cada poro.

A la hora de aplicar este tipo de material entre los paramentos es importante tomar en cuenta estas dos recomendaciones:

- 1.- El material que se vaya a colocar debe estar en contacto con las paredes.
- 2.- Se debe colocar un material con una elasticidad adecuada, es decir si el material es muy denso y rígido favorecerá la transmisión de las vibraciones, mientras que si es demasiado flexible no creara la suficiente oposición para la que fue colocado; los materiales más adecuados en estos casos son las lanas de roca de 79 – 90Kg/m<sup>3</sup>; y la fibra de vidrio de 40 – 70 Kg/m<sup>3</sup> con espesores de 4 y 5 cm. <sup>34</sup>

<sup>34</sup> Miguel Payá, Aislamiento térmico y acústico, (Barcelona: Ediciones CEAC, 1978)



### e. CALCULO A PRIORI DEL AISLAMIENTO ACUSTICO DE MUROS DOBLES

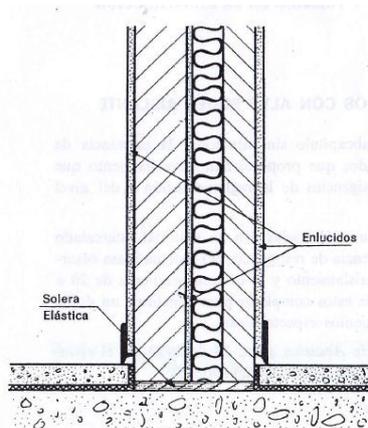
Para determinar a priori el aislamiento dado por un cerramiento doble, se procederá de la manera siguiente:

- Se calculara el peso por metro cuadrado de los dos elementos del cerramiento. Sin embargo se despreciara el peso de no de los enlucidos, para compensar las pérdidas posibles por defectos de montaje.
- Se leerá sobre el grafico representativo de la ley de masas (expuesto en el apartado dedicado al aislamiento en paredes simples de esta tesis); para una frecuencia de 500 Hz que es la que comúnmente se utiliza.
- Se añadirá 4dB para los tableros aislantes de 45 mm de espesor.

En la práctica, el cálculo es más complejo y se deben tener en cuenta las frecuencias criticas de cada elemento, sin embargo este método rápido permite una aproximación que podrá servir en base para un estudio más cuidadoso.

Así mismo para poder lograr un buen aislamiento acústico en los muros dobles se deben tener en cuenta ciertas recomendaciones como por ejemplo:

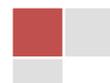
- Los materiales empleados para el montaje de los dos elementos será de peso y de naturaleza diferente. Preferentemente estos materiales serán pesados y macizos.
- El doble cerramiento se enlucirá cuidadosamente por los dos paramentos. Si se desea una realización perfecta, es aconsejable enlucir las dos caras del primer cerramiento, mientras que la del segundo se enlucirá únicamente la cara exterior; esta precaución permite una mejora de 2 dB.



*Fig.1.21. Enlace del cerramiento doble sobre el suelo flotante.*

*Fuente: Pérez J.*

- Los dos elementos se montarán sobre una solera elástica con un espesor mínimo de 4mm, que obligatoriamente reposara sobre la losa de estructura.
- Se evitara todas las ligazones rígidas.
- La cámara de aire amortiguada con mantas de fibra mineral tendrá un espesor de 3cm como mínimo.
- El muro nunca se interrumpirá sea simple o doble a nivel de un falso techo. Continuara hasta la losa, y en el caso de un muro móvil será necesario prever una falsa viga.



### 3. NORMATIVAS

Las normativas son disposiciones que regulan el funcionamiento correcto de determinada actividad; en este caso al referirnos de normativas dentro del ámbito de aislamiento acústico es muy importante mencionar que a nivel nacional poco o nada se ha realizado en cuanto al control del ruido entre espacios arquitectónicos, a lo mucho llegando a mencionar los niveles de ruido que pueden presentar ciertos espacios, esto indicado en una norma técnica del Ministerio del Ambiente; por esta situación se ve necesario hacer una pequeña mención al apartado de normativa tanto nacional como internacional referente al aislamiento acústico en la construcción con el objetivo de tener una breve idea de cómo se maneja el tema del aislamiento acústico.

#### 3.1 LEGISLACION ECUATORIANA - DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE

“La presente norma técnica es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional ecuatoriano. “ Como ya se mencionó en el apartado anterior a nivel nacional no existe una normativa específica relacionada con el aislamiento acústico, a lo mucho existe una mención respecto a los niveles permisibles en ciertos espacios públicos; a continuación una explicación de algunos de los más importante y útiles:

- Los niveles de presión sonora expresados en decibeles que se obtengan de la emisión de una fuente fija emisora de ruido, no podrán exceder los valores que se fijan en la siguiente Tabla.<sup>35</sup>

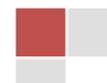
NIVELES MAXIMOS DE RUIDOS PERMITIDOS		
ZONA SEGÚN USO DEL SUELO	HORARIO DE 06h00 A 20h00	HORARIO DE 20h00 A 06h00
Hospitalaria y Educativa	45db.	35db.
Residencial	50db.	40db.
Residencial Mixta	55db.	45db.
Comercial	60db.	50db.
Comercial Mixta	65db.	55db.
Industrial	70db.	65db.

TABLA 1.4 Normativa Ecuatoriana vigente niveles máximos de ruido permitidos.  
Fuente texto unificado de Legislación secundaria del Ministerio de Ambiente, decreto 3516

- En las áreas rurales, los niveles de presión sonora corregidos que se obtengan de una fuente fija, medidos en el lugar donde se encuentre el receptor, no deberán superar al nivel ruido de fondo en diez decibeles A [10 dB(A)].<sup>36</sup>

<sup>35</sup> Legislación secundaria del Ministerio de Ambiente, Anexo 5, Cap. 4.1.1.1

<sup>36</sup> *Ibid.*, Cap. 4.1.1.4



- Los procesos industriales y máquinas, que produzcan niveles de ruido de 85 decibeles A o mayores, determinados en el ambiente de trabajo, deberán ser aislados adecuadamente, a fin de prevenir la transmisión de vibraciones hacia el exterior del local. El operador o propietario evaluará aquellos procesos y máquinas que, sin contar con el debido aislamiento de vibraciones, requieran de dicha medida.<sup>37</sup>
- La medición de los ruidos en ambiente exterior se efectuará mediante un decibelímetro (sonómetro) normalizado, previamente calibrado, con sus selectores en el filtro de ponderación A y en respuesta lenta (slow). Los sonómetros a utilizarse deberán cumplir con los requerimientos señalados para los tipos 0, 1 ó 2, establecidas en las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission, IEC). Lo anterior podrá acreditarse mediante certificado de fábrica del instrumento.<sup>38</sup>
- Se establecen los niveles máximos permisibles de nivel de presión sonora producido por vehículos, los cuales se presentan en la siguiente tabla.<sup>39</sup>

NIVELES DE PRESIÓN SONORA MÁXIMOS PARA VEHÍCULOS AUTOMOTORES		
CATEGORIA DE VEHICULO	DESCRIPCION	NIVEL MAXIMO DE RUIDO
MOTOCICLETAS	De hasta 200 centímetros cúbicos	80
	Entre 200 y 500 centímetros cúbicos	85
	Mayores a 500 centímetros cúbicos	86
Vehículos	Transporte de personas nueve asientos incluido el conductor	80
	Transporte de personas nueve asientos incluido el conductor y peso no mayor a 3.5 toneladas	81
	Transporte de personas nueve asientos incluido el conductor y peso mayor a 3.5 toneladas	82
	Transporte de personas nueve asientos incluido el conductor y peso mayor a 3.5 toneladas, y potencia de motor mayor a 200 HP	85
Vehículos de carga	Peso máximo hasta 3,5 toneladas	81
	Peso máximo de 3.5 toneladas hasta 12,0 toneladas	86
	Peso máximo mayor a 12,0 toneladas	88

TABLA 1.5 Normativa Ecuatoriana vigente niveles máximos de ruido permitidos. Fuente texto unificado de Legislación secundaria del Ministerio de Ambiente.

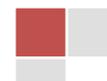
### 3.2 LEGISLACION ESPAÑOLA DE NORMA BASICA DE LA EDIFICACION SOBRE CONDICIONES ACUSTICAS (NBE-CA-88)

Dentro del ámbito internacional y específicamente en España la norma acústica NBE-CA-88; establece el aislamiento acústico exigido para los diferentes constructivos en los edificios, y los

<sup>37</sup> Legislación secundaria del Ministerio de Ambiente, Anexo 5, Cap. 4.1.1.8

<sup>38</sup> *Ibid.*, Cap. 4.1.2.1

<sup>39</sup> *Ibid.*, Cap. 4.1.4.2



procedimientos y métodos de cálculo para la evaluación de sus características acústicas, por ejemplo.

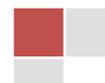
- Para fachadas el aislamiento global mínimo de ruido aéreo exigible a estos elementos constructivos en cada espacio de raspo se fija en 30 dB.
- El aislamiento mínimo a ruidos aéreos exigibles a los elementos constructivos horizontales y verticales que conforman los espacios donde se alojen los equipos comunitarios se fijan en 55 dB.
- Para paredes separadoras de zonas comunes interiores el aislamiento mínimo a ruido aéreo exigible a estos elementos constructivos excluidas las puertas está fijado en 45 dB.
- Para paredes separadoras de propietarios o usuarios distintos el aislamiento a ruido aéreo exigible a estos elementos constructivos se fija en 50 dB.
- Para particiones interiores el aislamiento a ruido aéreo mínimo excluidas las puertas que separen áreas de usos distintos se fijan en 35 dB.
- Para particiones interiores el aislamiento a ruido aéreo excluidas las puertas que separen espacios del mismo uso se fija en 30 dB.

### 3.3 LEGISLACION ESPAÑOLA DEL CODIGO TECNICO DE LA EDIFICACION (CTE)

Mientras que el CTE que es una normativa internacional también dedicada a la edificación española mediante el documento Básico HR de protección contra el ruido, incrementa las exigencias de aislamiento acústico, es así que plantea las siguientes recomendaciones.

26

- El aislamiento acústico a ruido aéreo entre dos espacios habitables, colindantes vertical u horizontal, ambos pertenecientes a la misma unidad de uso, no será menor que 30 dB.
- El aislamiento acústico a ruido aéreo entre un recinto habitable y cualquier otro del edificio colindante, vertical u horizontalmente, que pertenezca a distinta unidad de uso, no será menor que 50 dB.
- El aislamiento acústico a ruido aéreo entre un recinto habitable y otro, colindante vertical u horizontalmente con él, en el que se alojen instalaciones o cualquier otro dispositivo que constituya una fuente de ruido necesaria para el funcionamiento del edificio, no será menor que 55 dB.
- El aislamiento acústico a ruido aéreo entre un recinto habitable y un recinto común del edificio, colindante vertical u horizontal, no será menor que 50 dB.
- El aislamiento acústico a ruido aéreo entre un recinto habitable y un recinto de actividad, colindante vertical u horizontalmente, que pertenezca a distinta unidad de uso, no será menor que 60 dB.
- El aislamiento acústico a ruido aéreo entre un recinto habitable y el exterior del edificio no será menor que 30 dB, cuando predomine el ruido de tráfico rodado, ni menor que 32 dB, cuando predomine el ruido de aeronaves o de tráfico ferroviario.



### 3.4 NIVELES NORMALES DEL RUIDO

A continuación una tabla que recopila una serie de niveles de ruido que emiten ciertos equipos y espacios, esto con el objetivo de luego poder evaluar el nivel del ruido al que un espacio se vería afectado si se lo enfrenta ante uno de estos emisores del ruido.

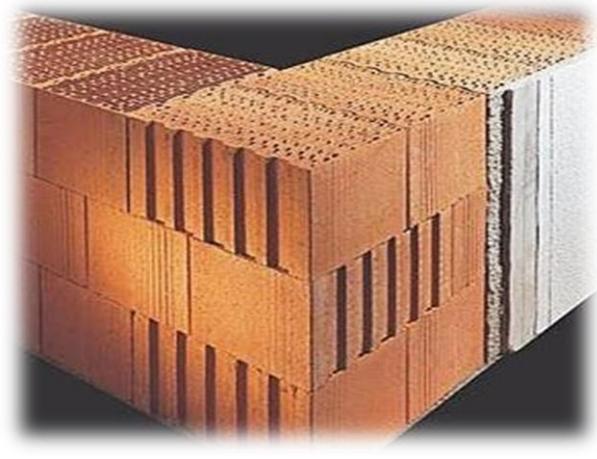
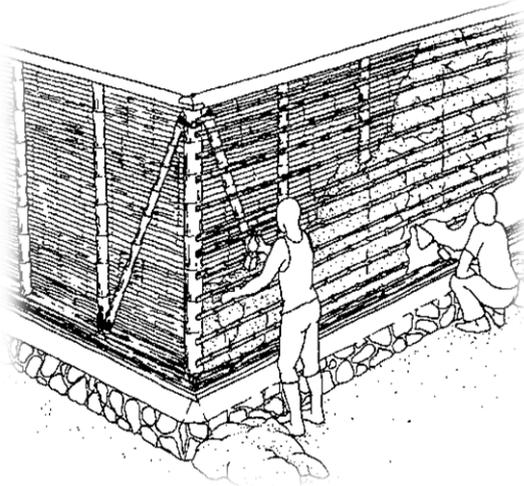
DESCRIPCION DEL RUIDO.	RUIDO QUE EMITE (dB).	DESCRIPCION DEL RUIDO.	RUIDO QUE EMITE (dB).
Sirena de trasatlántico a 15m	140	Subcentral eléctrica	70
Umbral del dolor (Gran motor a reacción a 25m)	130	Grandes oficinas	70
Central eléctrica ruidosa	120	Grandes almacenes	70
Trueno	120	Sala de mecanografía	70
Martillo piló	120	Despachos pequeños	60
Motor de avión a 25m	120	Calle con tráfico	60
Autobús a 3.5 m	110	Ruidos de la calle	60
Sierra circular	100	Ventiladores	50
Claxon de automóvil a 9 m	100	Aspiradoras	50
Estación del metro al paso de un tren	100	Calle	50
Paso de camiones	90	Vivienda de tipo medio sin radio	50
Calle ruidosa	90	Automóvil silencioso	50
Fabricas ruidosas	90	Conversación media	50
Talleres metalúrgicos	90	Intensidad media en grandes almacenes	50
Aparato de radio muy fuerte en habitación	90	Despacho particular	40
Estallido de un neumático a 3.5 m	90	Teatro	40
Cine	80	Conversación	40
Rotativas de imprenta	80	Aula de escuela aislada del tráfico	40
Despachos ruidosos	80	Teatro vacío	30
Vestíbulos de estación	80	Estudio de radiodifusión	30
Restaurantes	80	Residencia en barrio tranquilo	30
Sala de acondicionamiento de un gran hotel	70	Jardín muy tranquilo	30
Gritos.	70	Conversación en voz baja	20
Asamblea general de la ONU	70	Murmullo	10
Calle semiruidosa	70	Reloj	10

**TABLA 1.3. NIVELES ACUSTICOS DE RUIDOS MÁS COMUNES.**

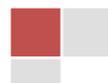
*Elaboración: El autor; Fuente: Cadiergues R, Paya. M, Pérez J.*



## CAPITULO II



## MATERIALES ACUSTICOS PARA MUROS



La importancia de utilizar un muro acústico en una vivienda o espacio arquitectónico cualesquiera es vital a la hora de llegar a alcanzar un confort acústico adecuado, ya que si bien es cierto un muro no es el único elemento por el cual se puede transmitir el ruido, si es el elemento que se verá afectado en mayor parte frente a las ondas acústicas incidentes, de ahí la importancia de un eficiente muro en cuanto al aislamiento acústico.

## 1. MUROS.

“Los muros son elementos de separación vertical que sirven para delimitar unidades de uso diferentes o una unidad de uso de una zona común”<sup>1</sup>; así mismo los muros son elementos que pueden estar conformados por diferentes materiales, esto dependiendo de las características de la edificación y del tipo de división que se le quiera dar a los espacios arquitectónicos.

Para que los muros de una vivienda sean satisfactoriamente útiles, deben cumplir ciertos requerimientos para que su construcción sea justificada; se puede distinguir a estos requerimientos como<sup>2</sup>:

- Evitar la penetración de la humedad.
- Ayudar a sostener los pisos superiores y los techos, así como las cargas superpuestas.
- Proporcionar un aislamiento térmico adecuado.
- Proporcionar un suficiente aislamiento acústico.
- Ofrecer suficiente resistencia al fuego.
- Tener una apariencia agradable y una distribución adecuada de ventanas y puertas.”

28

Es por eso que los materiales que conforman el muro deben ser lo suficientemente durables y capaces de resistir las sales solubles, la contaminación atmosférica y otras condiciones desfavorables.

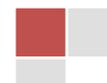
Así mismo para evitar falencias en los muros de tipo climático; es muy recomendable tener en cuenta no solo el material sino también la forma en que se construyen los muros, por ejemplo los muros huecos no permitirán la penetración de la lluvia si se realizan los detalles en forma adecuada y se construyen con solidez.

Para que un muro presente características adecuadas de aislamiento acústico respecto del exterior, lo que se debe hacer es restringir el flujo de la energía sonora a través de muros y pisos; claro está que para poder lograr esto es necesario la aplicación de técnicas para construir los muros sin descuidar el tipo de materiales que se vayan a utilizar, ya que esto va a condicionar de manera directa la capacidad de aislamiento acústico que posea el muro.

En general los muros además de ser elementos divisorios de espacios deben brindar al ambiente una cualidad de habitabilidad, lo que únicamente se puede proporcionar si se tiene muy en cuenta los materiales, las técnicas y los recubrimientos a la hora de construirlos, por supuesto sin descuidar antes los aspectos externos que puedan atacar los mismos.

<sup>1</sup> Documento básico DB-HR protección frente al ruido, Código técnico de la edificación (CTE), (2007)

<sup>2</sup> Ivor H. Seeley, Tecnología de la Construcción, (México: Editorial Gustavo Gili S.A, 1992)



## 2. MATERIALES UTILIZADOS EN MUROS EN LOJA

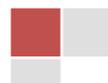
En la ciudad de Loja en la actualidad se encuentran un sinnúmero de materiales y sistemas constructivos para muros, debido a la ubicación geográfica la mayoría de estos sistemas están fundamentados en conseguir divisiones que además de separar espacios brinden confort térmico; por consecuencia es lógico pensar que desde épocas coloniales los sistemas que más se utilizaban eran los que estaban conformados por barro, entiéndase así, el adobe, el bahareque, el tapial, ya que estos sistemas son excelentes conservadores del calor y fueron fáciles de conseguir en esa época.

Pero el crecimiento de la ciudad tanto horizontal como vertical, va obligando a las personas a ir innovando en los sistemas en busca de materiales más livianos y de mayor resistencia a los esfuerzos físicos que puede recibir una edificación, con esto lo que se va logrando es el perfeccionamiento de algunas técnicas existentes y la creación de algunos materiales prefabricados que ayudan a la rápida ejecución en obra.

En la actualidad uno de los materiales más utilizados entre los constructores es el ladrillo macizo, seguramente por sus características físicas y por el precio muy asequible; así mismo es muy común aunque no en gran escala encontrar viviendas de bloque de hormigón y de madera, este último generalmente en las zonas rurales de la ciudad. Debido a la innovación y globalización que el mundo de la construcción atraviesa, es también ya casi común encontrar viviendas de fibrocemento, hormi<sup>2</sup>, y demás materiales prefabricados que aunque no son utilizados en gran escala poco a poco van tomando su lugar entre los muros de las viviendas lojanas. Así mismo no es nada raro aunque ya casi no es común encontrar viviendas con materiales tradicionales de barro, esto es debido a que ya pocas son las personas que saben fabricarlos y pocas también las personas que saben realizar muros de este material; personalmente me parece que este tipo de materiales son muy ricos en aplicaciones pero una de las falencias que más obstruyen a su conservación es la poca resistencia que presentan a la hora de construir edificaciones en altura; aunque siempre se debe considerar este tipo de materiales porque presentan una durabilidad muy notable al transcurso de los años; claro está con el debido mantenimiento.

En base a este análisis realizado se plantea una clasificación de los materiales que se pueden encontrar en la construcción de muros en Loja; a continuación se enunciará y analizará uno por uno con el objetivo de conocer sus cualidades y falencias:

- Materiales tradicionales.
- Materiales comunes.
- Materiales prefabricados.



## 2.1. MATERIALES TRADICIONALES.

### 2.1.1- ADOBE

#### a. ANTECEDENTES Y DEFINICION

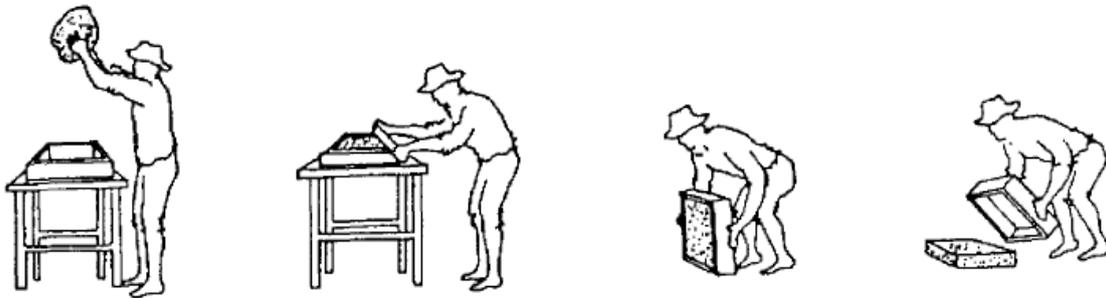
Su origen se remonta al 8000 a.C. La palabra adobe se aplica a uno de los materiales de construcción más antiguos casi como el hombre mismo. Durante la colonia y comienzos de nuestra vida republicana, la construcción con adobe constituyó el principal sistema constructivo de palacios, solares y viviendas populares que todavía funcionan como tales, desafiando a los rigores del tiempo y movimientos sísmicos sin sufrir daños significativos.

El adobe es un “ladrillo de tierra mezclado con paja u otro aditivo y agua, se obtienen con moldes de tipo variado y luego se seca al sol”.<sup>3</sup>

#### b. PROCESO CONSTRUCTIVO

##### • DIMENSIONES DEL ELEMENTO

- “La longitud no debe ser mayor que el doble de su ancho más el espesor de una junta de pega; así entonces tendremos que tiene una longitud de 40 cm; y un ancho de 20 cm.
- La altura esta entre los 10 y 15 cm.
- La relación entre longitud y altura debe ser aproximadamente de 4 a 1 para permitir un traslape horizontal en proporción 2 a 1, lo cual brinda seguridad ante el efecto de corte producido por sismos.”<sup>4</sup>



*Fig.2.1. Detalle de moldeo de Adobe.*

*Fuente: Manual para la construcción de viviendas de adobe.*

##### • CONFORMACION DE MURO

- Las unidades de adobe deberán estar secas antes de su utilización y se dispondrá en hiladas sucesivas considerando traslape.
- La altura máxima de los muros no debe ser mayor que ocho veces su espesor.
- Las uniones entre los adobes se hacen con el mismo barro, con un espesor de 2cm.
- El ancho máximo de puertas y ventanas (vanos) será de 1/3 de la longitud del muro.

<sup>3</sup> Nancy Patricia Tenezaca C., Factibilidad de la construcción con tierra en la ciudad de Loja, (Loja: TESIS, 1995)

<sup>4</sup> Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada, 2005

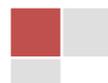




Fig.2.2. Muro de adobe.

Fuente: <http://www.skyscrapercity.com>

### c. CARACTERISTICAS FISICAS

DESCRIPCION.	VALOR.	DESCRIPCION.	VALOR.
Densidad.	1200 a 1700 Kg/m <sup>2</sup> .	Resistencia al hielo.	Baja.
Resistencia a la compresión.	0,5 - 2 MN/m <sup>2</sup> .	Exposición a la intemperie.	Reducida.
Resistencia a la tracción.	Buena.	Desfase diario.	10 a 12 h.
Absorción de agua.	Baja.	Resistencia al fuego.	Buena.

Tabla 2.1. Características físicas del Tapial.

Elaboración: El autor; Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia.

### d. CONDICIONES ACUSTICAS

Al ser el adobe un material de gran masa y de una densidad muy elevada el aislamiento acústico frente al ruido obviamente va a ser de muy buena calidad, y es así que presenta un aislamiento acústico de 62,5 dB<sup>5</sup> a frecuencias superiores a 1000Hz.

#### 2.1.2 TAPIAL

##### a. ANTECEDENTES Y DEFINICION

La tapia es uno de los tantos sistemas tradicionales de construcción con tierra cruda que el hombre inventó desde tiempos ancestrales. Se dice tierra cruda porque ésta no sufre los procesos de cocción por los que pasan otros materiales como, por ejemplo, la arcilla cuando se hacen los ladrillos.

“La tapia es un elemento constructivo formado por una masa de tierra monolítica y que se construye con una especie de encofrado deslizante. De esta manera, se va poniendo dos maderas paralelas entre las que se rellena con tierra bien compactada y apisonada, corriéndolas luego a otra posición para seguir con el muro.”<sup>6</sup>

<sup>5</sup> AIS, Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada, 2005

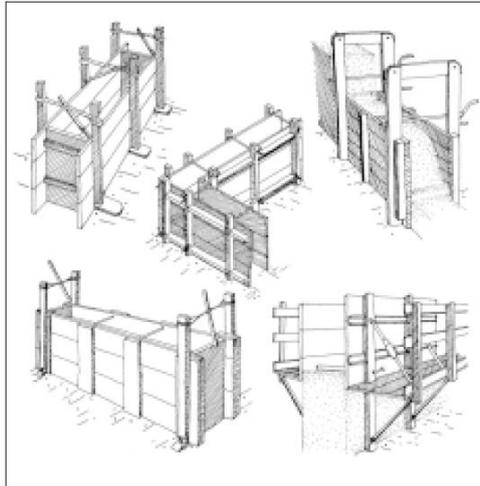
<sup>6</sup> Viñuales G., Manual de construcción en Tapia, Fundación Tierra viva;1995



### b. PROCESO CONSTRUCTIVO

- **DIMENSIONES**

- El apisonado generalmente se ejecuta por tongadas de un espesor no mayor de los 15cm. Los espesores de los tapiales oscilan entre los 40 y 80cm.



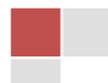
*Fig.2.3. Encofrado para Tapial*  
Fuente: [http:// www.construccion-civil.com](http://www.construccion-civil.com)

- **FABRICACION**

- Se emplean tierras arenosas graduadas con arcillas que actúa de conglomerado del 15 al 20% amasadas con agua.
- El contenido de agua no debe ser excesivo ya que en caso contrario la evaporización ofrecería un material poroso, permeables al agua.
- El contenido de agua para amasado no deberá superar el 12% en peso de la arcilla empleada.
- El contenido de tierra o arcillas en tapia varia, pero se ha considerado algunos valores generales:
  - .1. Arcilla 15 %,
  - .2. Limo 15 %
  - .3. Arena 65 %, y
  - .4. Agregados orgánicos 5 %
- Dosificación:
  - .1. 1 parte de agua
  - .2. 3 partes de tierra
  - .3. 1/5 partes de fibra orgánica

- **MURO**

- Se recomienda que las tierras se coloquen en pequeños montones durante el otoño, para que durante el invierno sean atacadas por el agua, los hielos y el sol, haciendo que la misma vaya esponjando y perdiendo materia orgánica, conviniendo a la buena técnica de la tapiería que pase un año entero ante de la fabricación del tapial.



- Antes de proceder a la ejecución de los tapiales se habra preparado previamente la cimentación y zócalos.



Fig. 2.4 Colocación de Tapial.  
Fuente: Galería de Fundación Tierra Viva.

- Por encima de la cota del terreno hasta donde llega la cimentación se proyecta el sobre cimiento en material rígido y resistente. El sobre cimiento tiene como propósito proteger el muro de tierra en tapia de la humedad, de la acción del agua superficial y de goteo.
- Amasada la tierra se vierte sobre un molde de madera.
- Apisonado de las tierras.
- Un buen apisonado es fundamental para la calidad y duración del tapial y para ello el sonido del pision tiene que ser claro y debe percibirse desde bastante distancia.
- El apisonado generalmente se ejecuta por tongadas de un espesor no mayor de los 15cm. Los espesores de los tapiales oscilan entre los 60 y 80cm.

### c. CARACTERISTICAS FISICAS

DESCRIPCION.	VALOR.	DESCRIPCION.	VALOR.
Densidad.	1800 Kg/m <sup>2</sup> .	Resistencia al hielo.	Baja.
Resistencia a la compresión.	15 Kg/cm <sup>2</sup> .	Exposición a la intemperie.	Reducida.
Resistencia a la tracción.	2 y 4 Kg/cm <sup>2</sup> .	Desfase diario.	10 a 12 h.
Absorción de agua.	Baja.	Resistencia al fuego.	Mala.

Tabla 2.2. Características físicas del Tapial. Elaboración: El autor; Fuente: Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia.

### d. CONDICIONES ACUSTICAS

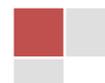
Entre las características físicas del cajón de tapial cabe destacar una baja dilatación térmica, 0,012 mm/m a C, así como su buen comportamiento como aislante acústico, debido a sus grandes espesores, con una reducción de **56 dB** en un muro de 40 cm., para una frecuencia de 500 Hz.<sup>7</sup>

#### 2.1.3 BAHAREQUE

##### a. ANTECEDENTES Y DEFINICION

Sistema y técnica de construcción de viviendas hechas fundamentalmente con palos entretejidos de cañas y barro, utilizado desde tempranas edades en la construcción de vivienda en pueblos considerados como primitivos. La técnica del bahareque, que en algunos países de Latinoamérica se denomina quincha (en inglés wattle and daub) consiste en

<sup>7</sup> AIS, Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada, 2005



elementos verticales y horizontales formando una malla doble que crea un espacio interior, posteriormente relleno con barro. Existen también sistemas con una sola malla.<sup>8</sup>

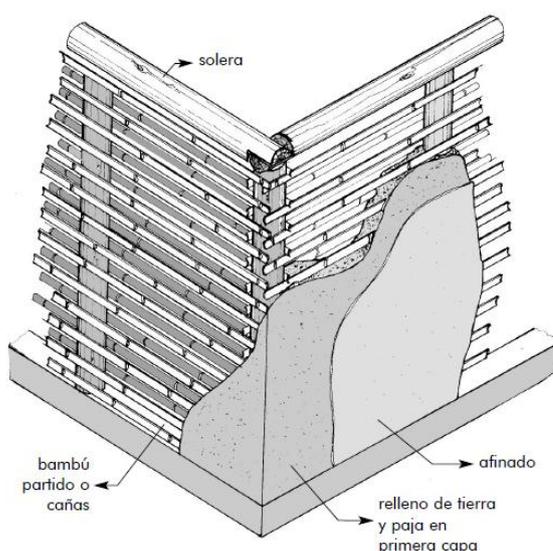
### b. PROCESO CONSTRUCTIVO

#### • DIMENSIONES

- Al ser el bahareque un muro compuesto por algunos materiales, no es posible dar con exactitud el espesor que puede llegar a tener un muro de bahareque que incluso puede llegar a tener espesores de 5 a 20 cm, dependiendo de su conformación y constitución.<sup>9</sup>

#### • FABRICACION

- Los elementos verticales usualmente están compuestos por troncos de árboles, los horizontales de caña de bambú, caña brava, carrizo o ramas.



**Fig. 2.5 Paredes de Bahareque.**  
Fuente: (Carazas W. & Rivero A. 2002).

- Este sistema tiene la ventaja de ser dúctil o sea flexible lo que lo hace resistente a los impactos de los sismos, la desventaja de este sistema es que en la práctica frecuentemente aparecen grietas y fisuras, debido a que el espesor de la capa de revoque sobre los elementos de madera no tiene un espesor suficientemente.

- Por las grietas y fisuras penetra el agua de la lluvia provocando expansión y desprendimiento del revoque de barro, por ello, esta técnica se recomienda solo si la ejecución es perfecta.

34

- El sistema requiere control y mantenimiento, si aparecen grietas en la superficie deben ser selladas inmediatamente.<sup>10</sup>

#### • MURO

- La construcción de una casa de bahareque requiere de la cimentación, la estructura de madera, la estructura de entepiso, la estructura de cubierta, cubierta, el relleno, el enlucido y los acabados de pisos y paredes.
- La cimentación por lo general está resuelta con piedra de río en dimensiones grandes, o piedra molón, formando muros bajos con argamasa de barro. Sobre esta cimentación se coloca las soleras, prácticamente sin sujeción alguna, formando el cuadro de la construcción y siguiendo todo el recorrido las paredes.

<sup>8</sup> Fundación Tierra Viva, Fuente: <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/pdf/spa/doc14388/doc14388-c.pdf>

<sup>9</sup> Nancy Patricia Tenezaca C., Factibilidad de la construcción con tierra en la ciudad de Loja, (Loja: TESIS, 1995)

<sup>10</sup> Wilfredo Carazas & Alba Ribero, Bahareque, Guía de construcción Párasísmica, (Parc Fallavier: Ediciones CRAterre, 2002)



- Sobre la solera inferior, que ya es parte de la estructura de las paredes se continúa con el resto de la armadura.
- El entramado está compuesto por tres clases de estructuras entretejidas y un enrejado para el barro:
  1. La estructura primaria o básica.
  2. La estructura secundaria.
  3. Baharequeado.
  4. El tejido de tiras o enchacleado.

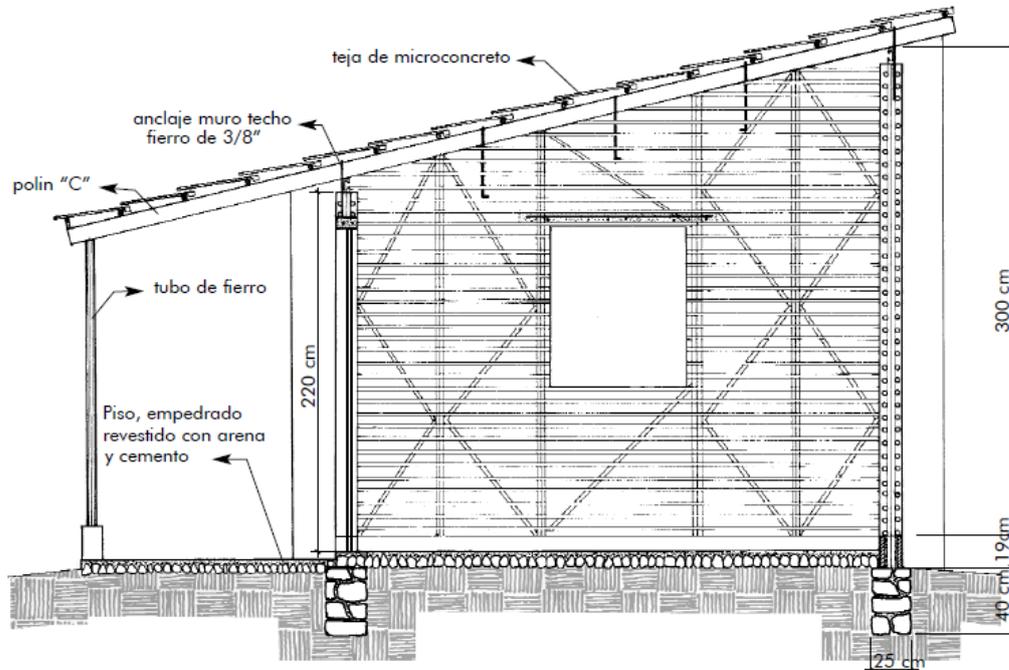


Fig. 2.6 Pared de Bahareque.  
Fuente: (Carazas W. & Rivero A. 2002).

**d. CARACTERISTICAS FISICAS**

DESCRIPCION.	VALOR.	DESCRIPCION.	VALOR.
Densidad.	1700 Kg/m2.	Estabilidad dimensional.	Buena.
Disipación de energía.	83%	Exposición a la intemperie.	Reducida.

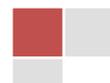
Tabla 2.3. Características Físicas del bahareque. Elaboración: El autor; Fuente: Brochero D. (2006)

Al ser el bahareque un material compuesto por varios materiales, no se ha encontrado demasiadas características físicas del material en sí, ya que estas características físicas son el conjunto de todos sus componentes.

**e. CONDICIONES ACUSTICAS.**

El bahareque al ser un material que posee una composición muy variada posee también una densidad bastante aprovechable lo que desemboca en un aislamiento acústico muy eficiente con un valor de 50 dB<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Wilfredo Carazas & Alba Ribero, Bahareque, Guía de construcción Párasísmica, (Parc Fallavier: Ediciones CRAterre, 2002)



## 2.2. MATERIALES COMUNES

### 2.2.1 LADRILLO MACIZO/HUECO

#### a. ANTECEDENTES Y DEFINICION

El ladrillo es una pieza en forma de prisma rectangular hecho de arcilla cocida en unas instalaciones especiales llamadas "bòbiles" u hornos. El ladrillo tradicional era macizo y servía para hacer todo tipo de paredes. Actualmente hay muchos tipos de ladrillos; el totxo es un ladrillo macizo, más grueso de lo habitual. Se distinguen tres tipos de ladrillos: los ladrillos macizos, los ladrillos calados y los ladrillos agujereados.<sup>12</sup>

#### b. PROCESO CONSTRUCTIVO

##### • DIMENSIONES DEL ELEMENTO

- Existen diferentes formatos de ladrillo, por lo general son de un tamaño que permita manejarlo con una mano. En particular, destacan el formato métrico, en el que las dimensiones son 24 x 11,5 x 5,25 / 7 / 3,5 cm (cada dimensión es dos veces la inmediatamente menor, más 1 cm de junta) y el formato catalán de dimensiones 29 x 14 x 5,2 / 7,5 / 6 cm, y los más normalizados que miden 25 x 12 x 5 cm. Actualmente también se utilizan por su gran demanda, dado su reducido coste en obra, medidas de 50 x 24 x 5 cm.<sup>13</sup>

##### • MAMPOSTERIA

- Para la construcción de un muro de ladrillo es importante recordar que al ser este un material muy versátil es decir que se acopla a diferentes tipos de estructura, la aplicación del mismo generalmente es igual para todas.
- Para que no absorban el agua del mortero que se empleara en el asiento de los ladrillos, estos se remojaran pero sin que goteen.



**Fig. 2.7.** Elaboración de mampuesto de ladrillo.  
Fuente: Tipdeck.com

- Se extiende un tendel de mortero sobre la superficie que va a servir de lecho a la hilada, de mayor espesor que el que se desee dar a la junta horizontal.

- Se coge una pieza generalmente con la mano izquierda y se la coloca en la posición que le corresponde en la hilada, restregándola fuertemente contra el mortero y golpeándola ligeramente con el mango de la paleta que se ha de tener en la mano derecha.

- Si el mortero tiene algún guijarro, hay que separarlo con la punta de la paleta para que pueda asentarse bien el ladrillo.

<sup>12</sup> Esteban Villasante Sánchez, Mampostería y Construcción, (México: Editorial TRILLAS SA, 1995)

<sup>13</sup> <http://es.wikipedia.org>



- La formación de una hilada se empieza colocando primeramente las piezas que deben formar los paramentos, guiándose por el cordel tendido de región a región que sirven de maestras.
- Las piezas de cada hilada se desplazaran de la inferior por lo menos un cuarto de su longitud para que las uniones verticales no coincidan.
- Generalmente para la realización del mortero para las juntas se recomienda una proporción 1:3; un porción de cemento para tres de arena fina.

### c. CARACTERISTICAS FISICAS

DESCRIPCION.	DENSIDAD (Kg/M2).	CALOR ESPECIFICO (J/Kg.K)	Factor de resistencia (Adimensionales ).	Resistencia térmica (m2K/w)	Resistencia a la flexión (Kg/cm2).	Resistencia a la compresión (Kg/cm2).
Ladrillo macizo de 11,5 y 13 cm de espesor.	2170	1000	10	0,123	40	200
Ladrillo macizo de 24 y 28 cm de espesor.	2140	1000	10	0,17	40	300
Ladrillo hueco simple de 4 y 6 cm de espesor.	1000	1000	10	0,09	30	70
Ladrillo hueco doble de 6 y 9 cm de espesor.	930	1000	10	0,16	30	50
Ladrillo hueco triple de 10 y 11 cm de espesor.	920	1000	10	0,23	30	40
Ladrillo hueco de gran formato sencillo de 4 y 6 cm de espesor.	670	1000	10	0,18	20	70
Ladrillo hueco de gran formato doble de 6 y 9 cm de espesor.	630	1000	10	0,33	20	50
Ladrillo hueco de gran formato triple de 10 y 11 cm de espesor.	620	1000	10	0,48	20	40

TABLA 2.4. Características de los ladrillos para mampuesto.  
Elaboración: El autor .Fuente: ISAZA G.

### d. CONDICIONES ACUSTICAS

El aislamiento acústico que pueda presentar un muro de ladrillo macizo y un muro de ladrillo hueco va a ser diferente esto debido a su densidad y a la cantidad de masa que posea cada uno de los dos muros, así entonces se tendría que un muro de ladrillo hueco presenta un aislamiento de 38 dB<sup>14</sup> a una frecuencia de 250 Hz; así mismo un ladrillo macizo presenta un aislamiento acústico de 48dB<sup>15</sup> a una frecuencia de 500 Hz.

<sup>14</sup> Esteban Villasante Sánchez, Mampostería y Construcción, (México: Editorial TRILLAS SA, 1995)

<sup>15</sup> R. Cadiergues, Aislamiento y Protección de las construcciones. (Barcelona: Editorial GGSA, 1987)



## 2.2.2 BLOQUE DE HORMIGON

### a. ANTECEDENTES Y DEFINICION

Pieza prefabricada a base de cemento, agua y áridos finos o gruesos, en algunos casos incluso con aditivos, con dimensiones exteriores no superiores a 60 cm, con una relación alto-ancho inferior a 6, y alto largo inferior a 1, sin armadura alguna.

Poseen como una ventaja de que no requieren de equipo pesado para su colocación o ensamblaje, como las piezas se fabrican en tamaños estándares resulta relativamente sencillo la construcción con ellas. Los bloques de hormigón pueden utilizarse en sistemas de cimientos, divisiones y en paredes de carga.

### b. PROCESO CONSTRUCTIVO

- **DIMENSIONES DEL ELEMENTO**

TIPO DE BLOQUE	LARGO	ALTURA	ESPEJOR
P-6 (12.5 U/m <sup>2</sup> ) Bloque de hormigón pesado utilizado en paredes exteriores e interiores de cerramientos.	39 cm	19 cm	6.5 cm
P-9 (12.5 U/m <sup>2</sup> ) Bloque de hormigón pesado para paredes exteriores e interiores y para sistema de mampostería armada.	39 cm	19 cm	19 cm
P 14 -A (12.5 U/m <sup>2</sup> ) Bloque de hormigón pesado para paredes de alta resistencia, usos industriales y sistema de mampostería armada.	39 cm	19 cm	14 cm
P19-A (12.5 U/m <sup>2</sup> ) Bloque de hormigón pesado, para paredes de alta resistencia, usos estructurales, galpones, muros y sistema de mampostería armada.	39 cm	19 cm	19 cm
P-25 (12.5 U/m <sup>2</sup> ) Bloque de hormigón pesado, para paredes de 25 cm de alta resistencia, usos estructurales y galpones.	39 cm	19 cm	25 cm

38

TABLA 2.5. Descripción y dimensiones del bloque de hormigón. Elaboración: El autor .Fuente: Bloques Rocafuerte Pesados, Disensa Ecuador.

- **MAMPOSTERIA**

- Como las piezas están en tamaños estándares, resulta sencillo su colocación en mampuestos; precisamente por su tamaño y por ser las construcciones en mampostería ensambladuras de pequeños módulos, su resistencia a fuerzas laterales es reducida por lo que requiere de refuerzos especiales llamados estribos, que van colocados a la columna o estructura que se utilice.<sup>16</sup>
- La colocación de los bloques va a estar fundamentada por los morteros que se utilicen, para ello las dosificaciones juega un papel importante en el mampuesto; a continuación

<sup>16</sup> Francisco Lidón, Aislamiento acústico de elementos constructivos, (Valencia : 2002)



una tabla explicativa del tipo de dosificación que se debería utilizar para conseguir un mortero ideal

TIPO DE APLICACIÓN	CEMENTO POR VOLUMEN	CAL POR VOLUMEN	ARENA POR VOLUMEN
Exterior o Interior	1	1/3	2 3/4
Interior	1	1 1/4	6
Mampostería Hidráulica, es decir conseguir un fraguado en un terreno húmedo o saturado de agua.	1	-	3

TABLA 2.7. Tipo de dosificación para mortero ideal. Fuente: Lerov Merlyn SA. Dosificar y preparar mortero y hormin. (2002)

- La cal se utiliza principalmente para retardar la evaporación del agua, mejorando el fraguado y manejabilidad de la pasta del mortero.



Fig. 2.8. Mampuesto de bloque de Hormin.  
Fuente: <http://aljavera.blogspot.com>

### c. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

TIPO DE BLOQUE	PESO (Kg)	Resistencia (Mpa)	Densidad (Kg/m3)	Unidades por m2.
P-6	6.5	3	1700 - 2200	12.5
P-9	10	4	1700 - 2200	12.5
P-14A	14.2	5	1700 - 2200	12.5
P-19A	18.2	7	1700 - 2200	12.5
P-25	22	8	1700 - 2200	12.5

TABLA 2.8. Características físicas del bloque de hormin. Elaboración: El autor. Fuente: Bloques Rocafuerte Pesados, Disensa Ecuador.

### d. CONDICIONES ACÚSTICAS

Un sistema de bloques de hormin de 19 cm de espesor presenta un aislamiento acústico de 47 dB, a una frecuencia de 500 Hz. Mientras que si se utiliza un sistema de muros dobles de bloques de hormin de 19cm con cámara de aire se obtendrá un aislamiento acústico de 57 dB.<sup>17</sup>

<sup>17</sup> Disensa Ecuador, Bloques Rocafuerte Pesados, 2010



### 2.2.3 HORMIGON

#### a ANTECEDENTES Y DEFINICION

El concreto es la mezcla de cemento en polvo, agua, y agregados minerales. Aunque existen en la actualidad agregados especiales que si se mezclan cuidadosamente pueden mejorar las propiedades del concreto. La mezcla se vierte en un molde se compacta y se deja hasta que se endurece. Una de las características principales del hormigón es:

- Resistencia a la compresión.
- Resistencia escasa a la tracción.
- Resistencia a cortante cuando se combina con acero.

Aunque estas características generalmente varían en ciertas ocasiones dependiendo del tipo de hormigón que se construya, los más conocidos son:

- Hormigón Ciclópeo.
- Hormigón armado.
- Hormigón simple.
- Hormigón vibrado.

#### b. PROCESO CONSTRUCTIVO

- **DIMENSIONES**

Los muros de Hormigón pueden tener diferentes dimensiones, ya que esto va a depender específicamente de su aplicación y el objetivo de su construcción, así que no se puede hacer un valor recomendable de sus dimensiones.

- **MURO**

➤ Tener la relación requerida agua – cemento; esto quiere decir la relación por peso entre el



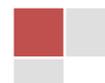
agua y el cemento, y constituye un factor esencial en la producción del concreto. Por lo común 0.45 es la relación mínima agua – cemento que se puede utilizar para asegurar que tenga la suficiente trabajabilidad.<sup>18</sup>

- Debe de estar bien mezclado.
- No se debe disgregar durante el transporte y el colado.
- Requiere que esté totalmente compactado ya que los huecos causan una disminución a la resistencia.
- Debe estar bien curado, en otras palabras ser mantenido en condiciones húmedas todo el tiempo especificado ya

Fig. 2.9. Elaboración de muro de Hormigón.

Fuente: <http://www.merle.es/13-Muros-hormigon.html>

<sup>18</sup> Bailey, Curso Básico de Construcción, Volumen I, (1995)



que un secado prematuro es causa de deterioro.

- Se disponen los moldes o encofrados de madera o de planchas de palastro de tal forma que puedan desmontarse a medida que vayan adquiriendo consistencia el hormigón que se haya vertido en ellos.
- Se limpia y humedece la superficie sobre la que se vaya a extender el hormigón.
- Se vierte la masa de hormigón en los moldes o encofrados por capas horizontales de 15 a 20cm de altura, procurando que las partes que contengan las piedras más pequeñas vayan inmediatamente a la pared del molde o encofrado.
- Se apisona cada capa con un mazo-pisón de 12 a 15 Kg de peso hasta que el mortero fluya a la superficie.
- Generalmente para muros exteriores es recomendable la utilización de un impermeabilizante en el hormigón.

### c. CARACTERISTICAS FISICAS

DESCRIPCION.	VALOR.	DESCRIPCION.	VALOR.
Densidad Hº Ligeró.	1200 a 200 Kg/m3.	Tracción.	Baja.
Densidad Hº Pesado.	2000 a 2800 Kg/m3.	Retracción Hº en Masa.	0,35 mm por metro.
Densidad Hº Normal.	2000 Kg/m3 en adelante.	Retracción Hº armado.	0,25 mm por metro.
Compresión.	50 N/mm2.	Resistencia al fuego.	Buena.

Tabla 2.9. Características físicas del hormigón.

Elaboración: El autor. Fuente: Datos obtenidos de AENOR, Ensayos de hormigón y sus componentes.

### d. CONDICIONES ACUSTICAS

El valor de aislamiento acústico que puede presentar un muro de hormigón va a depender específicamente del grosor del muro, por lo que no se puede dar un dato único del valor del aislamiento ya que los espesores de los muros van a variar dependiendo de las necesidades que se quieran cubrir al construir un muro de hormigón.

## 2.2.4 VIDRIO

### a. ANTECEDENTES Y DEFINICION

Cada vez somos más conscientes de que la palabra vidrio, es un término genérico ya que en realidad existe un gran número de variedades y tipos que obligan a tener conocimientos para su uso en tres aspectos fundamentales: selección del material, diseño y detalles constructivos. Los arquitectos utilizan al vidrio como material que proporciona muchas posibilidades de expresión plástica, y de soluciones funcionales ya sea respecto a la iluminación natural o aspectos de percepción y comunicación visual, es un material durable, universal, relativamente de bajo costo y de bajo mantenimiento. Se conservan los valores de espacios amplios corrigiendo los problemas acústicos. El vidrio es un material duro, frágil y transparente. A pesar de comportarse como sólido, es un líquido sobre enfriado, amorfo sin estructura cristalina.<sup>19</sup>

<sup>19</sup> Félix Álvarez Martínez, El vidrio en la construcción, (Barcelona: Ediciones CEAC SA, 1968)



## b. PROCESO CONSTRUCTIVO

### • DIMENSIONES

A nivel comercial el vidrio es un material que puede ser cortado y comercializado a cualquier medida considerando un límite normal, pero las dimensiones más comunes son de 180 x 260 y 206 x 360, con espesores los más comunes que están entre 3, 4,5, 6 y 8mm<sup>20</sup>, obviamente que estas medidas pueden variar bajo pedidos especiales en las fábricas que los comercializan.

### • MURO

- Este es un sistema que generalmente se lo utiliza para divisiones interiores en oficinas y edificios, mientras que en muros exteriores es muy común la aplicación del vidrio ya sea en ventanas o puertas para cubrir los vanos.
- Antes de realizar la fabricación de los elementos, se debe verificar cuidadosamente las dimensiones en obra y en especial aquéllas que están referidas a los niveles de base de viga y cielo raso terminados.
- La estructura metálica deberá estar anclada en el piso mediante tirafondos con las dimensiones adecuadas para brindar el soporte requerido.
- La disposición del aluminio se dividirá en 3 partes:
  - **Puntales**, perfiles de aluminio que deberán estar anclados en el piso y cielo raso o viga y que servirán para soportar la mampara. Necesariamente deberán colocarse 1 puntal a cada extremo de la mampara y 1 puntal intermedio en luces mayores a 1,8 m.
  - **Transversos**, perfiles que se dispondrán de forma horizontal y se conectaran a los puntales, estos servirán de marco al vidrio templado.
  - **Verticales**, perfiles dispuestos en forma paralela a los puntales y servirán para dividir el espacio del vidrio templado en sentido vertical.<sup>21</sup>
- Para lograr una perfecta unión entre el vidrio y el perfil de aluminio se deberá colocar un ensamble con cerramiento de goma, asimismo deberá contar con los accesorios necesarios de ajuste.

## c. CARACTERISTICAS FISICAS

DESCRIPCION.	VALOR.	DESCRIPCION.	VALOR.
Densidad.	2500 Kg/m <sup>3</sup> .	Módulo de elasticidad.	4500 a 10000 Kg/mm <sup>2</sup> .
Dureza superficial.	200%	Coef. De dilatación.	2,10 a 6
Tracción.	4 a 10 Kg/mm <sup>2</sup> .	Cond. Térmica.	0,0025 cal/cm <sup>2</sup> .
Compresión.	60 a 120 Kg/mm <sup>2</sup> .	Calor específico.	0,25

Tabla 2.10. Características físicas del vidrio.

Elaboración: El autor. Fuente: Martínez Alvares Félix. El vidrio en la construcción.

<sup>20</sup> Ariño Duglass SA, Manual del Vidrio.

<sup>21</sup> Félix Álvarez Martínez, El vidrio en la construcción, (Barcelona: Ediciones CEAC SA, 1968)



## d. CONDICIONES ACUSTICAS

Espesor en mm.	Peso en Kg/m <sup>2</sup> .	Absorción Acústica para frecuencias normales. Decibeles.
2.2	5.5	33.8
3.0	7.5	35.4
4	10	37.4
5	12.5	38
7	17.3	40
8	20	41.2

Tabla 2.11. Aislamiento acústico de vidrios planos.

Elaboración: El autor. Fuente: Martínez Alvares Félix. El vidrio en la construcción.

Frecuencias en ciclos por segundo.	Reducción en decibeles.
90	38
180	34
360	34
720	37
1440	40
2880	31

Tabla 2.12. Aislamiento acústico de vidrios aislante "termolux". Elaboración: El autor.

Fuente: Martínez Alvares Félix. El vidrio en la construcción.

## 2.3. MATERIALES PREFABRICADOS

## 2.3.1 HORMI2

## a. ANTECEDENTES Y DEFINICION

Hormi2 es la nueva generación del hormigón armado. Esta patente italiana es líder en la innovación tecnológica en la construcción y se ha difundido desde hace casi 30 años en los 5 continentes con más de 42 plantas de producción alrededor del mundo, en más de 35 países, en especial en países relacionados al alto riesgo sísmico tales como Italia, México, Chile y Ecuador.

La modularidad del sistema Hormi2 favorece una absoluta flexibilidad proyectual y un elevado poder de integración con otros sistemas constructivos. La simplicidad de montaje, la extrema ligereza y maniobrabilidad del panel permiten la realización de cualquier tipología de construcción aún en condiciones operativas dificultosas o de condiciones climáticas adversas.<sup>22</sup> Es un sistema integral de paneles modulares, cuya función estructural es garantizada por dos mallas de acero formando una estructura espacial que encierra en su interior una placa de poliestireno (EPS).<sup>23</sup>

<sup>22</sup> Casa Pronta SA, Manual Técnico de Construcción, Sistema Constructivo M2, (Rev. 01, 2011)

<sup>23</sup> Juan M Maldonado R, Factibilidad de uso del sistema M2 aplicado en viviendas de Loja, (Loja: TESIS, 2010)



## b. PROCESO CONSTRUCTIVO

### • DIMENSIONES DEL PANEL

- Las dimensiones de un panel prefabricado de HORMI2 son estándar, tiene 1,20 m X 2,40 y el muro terminado tiene espesores desde 6 cm hasta 35 cm.<sup>24</sup>, dependiendo del grosor del revoque y del tipo de panel que se aplique.

### • MURO

- Para esta actividad se pueden ir colocando los paneles en forma secuencial para formar los vanos de paredes, y en la ubicación de puertas y ventanas, se deben marcar las dimensiones de las mismas, y con la utilización de una cizalla o amoladora, cortar la malla y retirar el pedazo de panel.



Fig. 2.10 Unión de losa con panel a través de chicotes. Conjunto habitacional "Las Ramblas". Fuente: El Autor.

- El panel debe estar ubicado dentro de los chicotes de anclaje que previamente se fundieron en cualquier tipo de cimentación que se emplee, generalmente la más apropiada es la losa de cimentación.

- Además se debe realizar amarres o uniones de panel a panel con alambre galvanizado de una longitud de 7 a 10 cm.

- En función del cálculo estructural, y del proceso constructivo se deben colocar mallas de refuerzo, de acuerdo a las necesidades; mallas de refuerzo:

- Estas son colocadas en marcos de puertas y ventanas a 45°.
- Para reponer la continuidad de la malla electro soldada que compone el panel en sitios donde se haya cortado la misma (cajetines eléctricos, sifones, desagües, etc.) se utiliza la malla plana reforzada

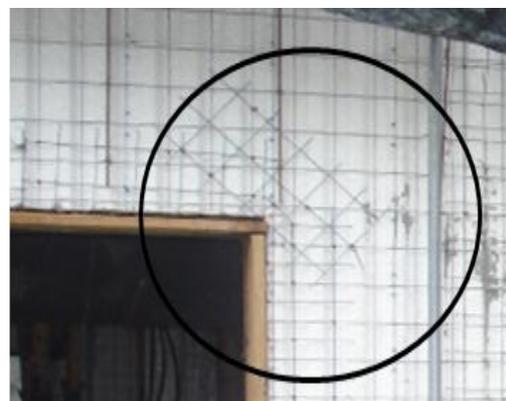


Fig. 2.11. Aplicación de malla de refuerzo plana. Conjunto habitacional "Las Ramblas". Fuente: El Autor.

- Mallas angulares: Estas son colocadas como refuerzos de esquinas interiores y exteriores de paredes, en unión losa de entrepiso-pared que llegan a la losa, en unión de losa de cubierta-pared.
- Mallas tipo "U ": Estas son colocadas como refuerzo en filos de puertas, ventanas, y en mochetas de pared, en filos de losas, cubiertas.

<sup>24</sup> Casa Pronta SA, Manual Técnico de Construcción, Sistema Constructivo M2, (Rev. 01, 2011)



- Los apuntalamientos de la pared se colocan en la cara opuesta a la que recibirá el micro hormigón lanzado.
- Una vez ensambladas las estructuras, se procede a colocar las instalaciones: eléctricas, hidrosanitarias, para finalmente ser revocadas con hormigón.

MATERIAL	VOLUMEN	PESO
CEMENTO	1 PARIHUELA.	50 Kg.
ARENA.	3.5 - 4 PARIHUELAS.	280 Kg.
AGUA.	25 Lts.	25 Kg.
ADITIVO PLASTIFICANTE / ACELERANTE.	0.3 Lts.	0.31 Kg.

Tabla 2.13. Dosificación indicada para revocado de Hormigón que recubrirá el Hormi2.  
Elaboración: El autor. Fuente: Página oficial de Hormi2.

### c. CARACTERISTICAS FISICAS

DESCRIPCION.	VALOR.	DESCRIPCION.	VALOR.
Densidad.	15 a 25 Kg/m <sup>3</sup> .	Resistencia a la flexión.	≥ 100 Kg/cm <sup>2</sup> .
Absorción de agua.	0,028 Kg/,2.	Tamaño máximo del revoque.	8 mm.
Conductividad térmica.	0,037 W/m °C.	Resistencia al vapor.	0,5
Tensión de compresión.	≥ 50 Kg/cm <sup>2</sup> .	Resistencia al fuego.	baja.

Tabla 2.14. Características físicas del Poliestireno expandido.  
Fuente: Manual técnico de la construcción M2.

### d. CONDICIONES ACUSTICAS

A continuación se consigna los resultados de los ensayos de aislamiento acústico realizados en la Escuela Politécnica Nacional sobre paneles de las siguientes características.<sup>25</sup>

- Panel simple de 4cm de espesor de poliestireno expandido de densidad 13 Kg/m<sup>3</sup>, revocado con mortero de cemento en ambas caras hasta espesor final de 9cm.
- Panel simple de 8cm de espesor de poliestireno expandido de densidad 13Kg/m<sup>3</sup>, revocado con mortero de cemento en ambas caras hasta un espesor final de 13cm.

Hay que resaltar que los ensayos establecidos han sido evaluados de acuerdo a los métodos establecidos en DIN 4109, ISO717 e RAM 4043.

La aplicación del método descrito arroja los siguientes datos.

- Panel HORMI-2 de 4cm de espesor presenta un aislamiento EPS de 38dB.
- Panel HORMI-2 de 8cm de espesor presenta un aislamiento EPS de 45 dB.

<sup>25</sup> <http://www.hormiz.com>



### 2.3.2 FIBRAS DE DENSIDAD MEDIA (MDF)

#### a. ANTECEDENTES Y DEFINICION

Los Tableros MDF son tableros de fibras de densidad media. Está compuesto por capas exteriores de mayor densidad y una capa interior de menor densidad y máxima uniformidad, lo que lo hace fácil de trabajar y permite excelentes terminaciones, es un tablero aglomerado elaborado con fibras de madera de pino radiata que previamente se han desfibrado y eliminado la lignina que poseían; aglutinadas con resinas sintéticas mediante fuerte presión y calor, en seco, hasta alcanzar una densidad media.<sup>26</sup>

#### b. PROCESO CONSTRUCTIVO

##### • DIMENSIONES DEL PANEL

Se los encuentra en el mercado en medidas estándares, lo único que variará será el grosor o espesor de las planchas, es así que las medidas de cada tablero son de 1,22m X 2,44m.

##### • MURO

➤ En sistemas constructivos donde las estructuras están compuestas de perfiles de madera la mejor manera de reforzarlas es mediante placas estructurales o diafragmas de rigidización.

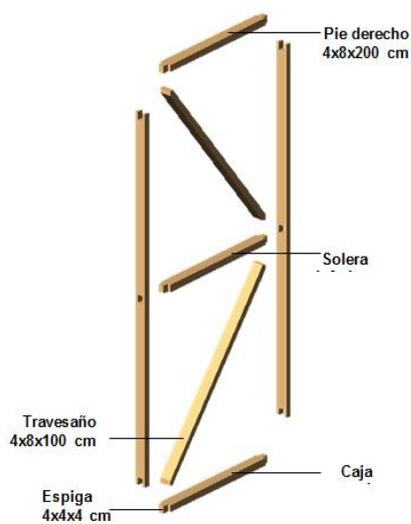


Fig. 2.12 Bastidor de madera  
Fuente: Manual de recomendaciones prácticas MASISA.

➤ Una vez trazado una línea en el lugar por donde va a pasar el panel divisorio realizado con MDF; se procede a construir un bastidor, que será la estructura que sostendrá los paneles, estos bastidores se los puede realizar en el piso y luego entornillarlos.

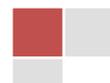
➤ Una vez construido el bastidor (Ver fig. 2.12) se procede a colocar las planchas de mdf, es recomendable la modulación del diseño para evitar el desperdicio de material y tiempo.

➤ Las placas se deben colocar con la dimensión mayor en forma vertical, paralela a la dirección de las montantes, y no debe haber uniones en coincidencia con los vértices de los vanos, sino que se deben cortar en forma de "C".

➤ Cuando se estén perforando o anclando las planchas de mdf es recomendable tomar en cuenta lo siguiente:

- Tipo, medida y separación de los tornillos de fijación del diafragma a la estructura.
- Relación Altura / Largo de la pared.
- Características resistentes de los perfiles que conforman el panel.
- Tipo, ubicación y cantidad de conectores y anclajes.

<sup>26</sup> <http://www.masisa.com>



## c. CARACTERISTICAS FISICAS

MDF (espesores)	DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> ).	Flexión (Kg/cm <sup>2</sup> ).	Tracción (Kg/cm <sup>2</sup> ).	Hinchamiento. % 2 Hrs.	Módulo de elasticidad Kg/m.	Humedad %.
3	800	500	14	35	45000	de 5 a 11.
4	780	500	13	25	45000	de 5 a 11.
5,5	780	450	12	20	30000	de 5 a 11.
9	770	350	8	14	25000	de 5 a 11.
12	760	350	8	12	25000	de 5 a 11.
15	760	350	7,5	10	25000	de 5 a 11.
18	755	350	7,5	8	24000	de 5 a 11.
20	755	300	7,5	8	22000	de 5 a 11.
25	740	250	7,5	7	19000	de 5 a 11.
30	730	250	7,5	6	19000	de 5 a 11.

Tabla 2.15. Características Físicas del MDF.

Fuente: Manual de recomendaciones prácticas para la mueblería y la construcción. MASISA.

## d. CONDICIONES ACUSTICAS

Los tableros aglomerados poseen valores de aislación de entre 15 y 22 dB según el espesor, 6 ó 40 mm respectivamente. Estos valores se obtienen para la frecuencia más desfavorable (banda de 125 Hz). Como interpretación de estos valores se puede decir que se obtiene un ambiente tranquilo (40 dB), contiguo a un ambiente muy ruidoso (60-70 dB) o a uno insoportable (72 dB) según el espesor del tablero que se utilice.<sup>27</sup>

## 2.3.3 ETERBOARD O FIBROCEMENTO

## a. ANTECEDENTES Y DEFINICION

Es un tablero de fibrocemento fabricado con alta tecnología a base de cemento portland, fibras naturales y aditivos, presenta un color gris claro con una cara de textura lisa y la otra cara de textura rugosa, procedimiento constructivo ágil, limpio, resistente y económico que utiliza una estructura o bastidor a manera de esqueleto metálico o de madera, que se arma con tornillos o clavos.

## b. PROCESO CONSTRUCTIVO

• DIMENSIONES DEL PANEL

Los paneles de Eterboard o fibrocemento viene en dos dimensiones estándar la primera de 2,50m X 1,20m y también de 3,00m X 1,20 m, y vienen en espesores de 6, 8, 10 ,12, 15, 18, 20, y 25 mm; esto para comercializar.<sup>28</sup>

<sup>27</sup> MASISA, Manual de recomendaciones prácticas para la mueblería y la construcción, (2010)<sup>28</sup> <http://www.plakas.info/index>.

- **MURO**

- Procedimiento constructivo ágil, limpio, resistente y económico que utiliza una estructura o bastidor a manera de esqueleto metálico o de madera, que se arma con tornillos o clavos.
- Para perforar la placa se debe usar brocas para metal y el diámetro de la perforación deberá ser de 1mm mayor que el diámetro del tornillo o calvo a colocarse.
- Se reviste posteriormente con placas planas de fibrocemento que se atornillan o clavan en una o sus dos caras o paramentos, dejando un espacio interior útil para la colocación de instalaciones y aislamientos.
- Seguidamente se tratan sus juntas de construcción y puntos de fijación con cintas y masillas, obteniendo unas superficies lisas y apropiadas para recibir diferentes tipos de acabados.

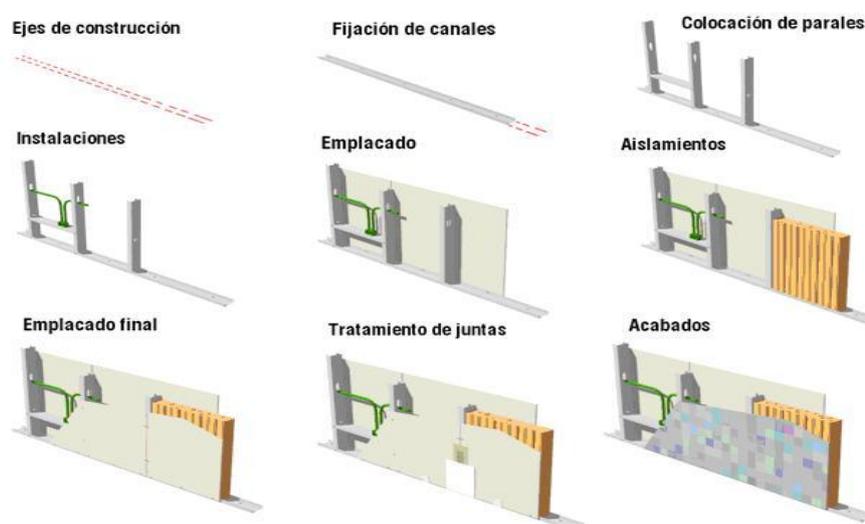


Fig. 2.13 Procedimiento de colocación del Eterboard.

Fuente: ETERBOARD – MANUAL TECNICO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO EN SECO. 1º EDICION.

### c. CARACTERISTICAS FISICAS

DESCRIPCION.	VALOR.	DESCRIPCION.	VALOR.
Densidad.	1250 Kg/m3.	Resistencia a la tracción al clavo.	64,7 Kg.
Contenido de humedad.	2,72%	Conductividad térmica.	0,263 W/°C
Absorción de agua.	35%	Resistencia al fuego.	Normal.

Tabla 2.16. Características Físicas del Eterboard.

Fuente: ETERBOARD – MANUAL TECNICO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO EN SECO. 1º EDICION.

### d. CONDICIONES ACUSTICAS

A continuación una tabla explicativa en la que se explica la capacidad de aislamiento acústico del Eterboard con o sin aislante de lana de vidrio (LV); en mamposterías compuestas por placas de Eterboard de 8 y 10mm de espesor.<sup>29</sup>

<sup>29</sup> ETERBOARD, Manual técnico del sistema constructivo en seco, (1º Edición, 2009)



CARA 1 (mm)	AISLANTE 3 1/2"(LV)	CARA 2 (mm)	AISLAMIENTO (db)
8	NO	8	27 - 18
10	NO	10	32 - 20
8	SI	8	36 - 22
10	SI	10	42 - 24

Tabla 2.17: Capacidad de aislamiento acústico.

Fuente: ETERBOARD – MANUAL TECNICO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO EN SECO. 1º EDICION.

### 2.3.4 GYPSUM

#### a. ANTECEDENTES Y DEFINICION

Comúnmente conocido en nuestro medio como "Gypsum" o "Drywall", por su origen norteamericano que significa "yeso" o "pared seca", ya que los materiales que lo componen no requieren mezclas húmedas.

Es un sistema multifuncional no convencional de paneles ligeros, modulados con ejes de fácil estructuración e instalación que está siendo muy utilizado en nuestro medio especialmente para ambientes interiores como muros divisorios, cielorrasos, etc.<sup>30</sup>

#### b. PROCESO CONSTRUCTIVO

- **DIMENSIONES DEL PANEL**

Se fabrican estándar y placas especiales, en dimensiones de 1.22 m de ancho x 2.44 m de largo, los bordes longitudinales de placas, presentan una depresión para recibir luego la masilla y la cinta en su tratamiento de junta.

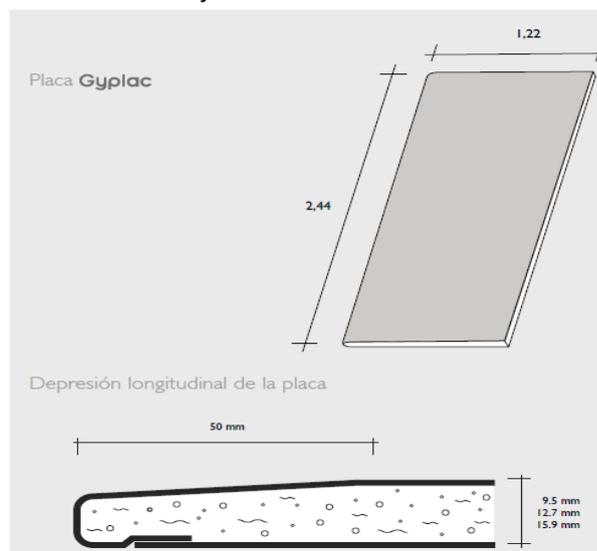
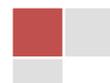


Fig. 2.14. Placa estándar de Gypsum.

Fuente: GYPLAC. Sistema de construcción liviano en seco. Tomo 1.

<sup>30</sup> Ricardo Bautista Cepeda, Gypsum, Información General



• **MURO**

- La construcción de paredes con Gypsum comprende las siguientes etapas básicas.
  - Trazo y fijación de los parantes principales del bastidor que sostendrá las placas de Gypsum.
  - Terminación de la construcción de los bastidores.
  - Colocación de las placas de Gypsum, incluido instalaciones o aislantes que se desee aplicar en la cámara formada.
  - Junteo; colocación de cintas y empastes finales en las juntas de las placas.
- Los principales materiales que componen el sistema son:
  - Placas de yeso “Gypsum”.
  - Estructura de madera o también perfilaría de acero galvanizado.
  - Sujeción con tornillería auto-perforante y clavo de acero.
  - Cinta de malla o de papel para cubrir juntas.
  - Empaste para resanar juntas y alisar la panelería.
  - Además las placas de Gypsum conforman un perfecto recubrimiento para mamposterías ya realizadas de cualquier material, esto con el objetivo de dar aislación acústica y térmica.

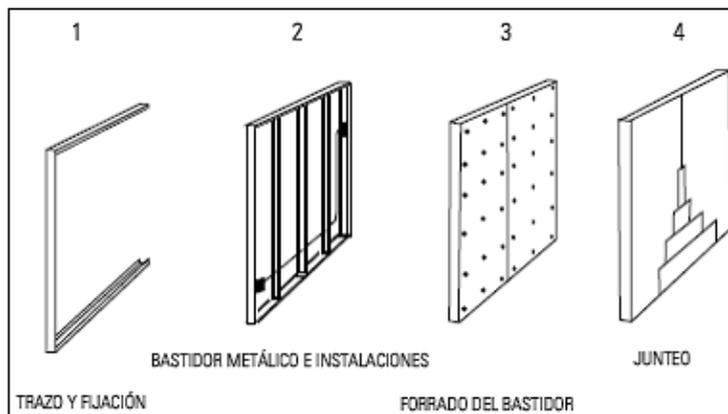
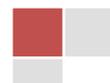


Fig. 2.15. Pasos generales para la construcción de paredes divisorias de Gypsum.  
 Fuente: Instructivo para la construcción de paredes y cielorrasos con Gypsum (TECNI-GYPSUM)

c. CARACTERISTICAS FISICAS

GYPSUM. (espesores)	DENSIDAD (Kg/m3).	Flexión Longitudinal (N).	Flexión Transversal (N).	Resistencia Térmica (m2h°C/W)	Longitud estándar.	Ancho.
6,5mm	1100	280	100	0,036	2,6	1,20
9,5mm	1100	400	160	0,053	2,5/2,6/2,7/2,8/3,0	1,20
12,5	1100	550	210	0,069	2,0/2,4/2,5/2,6/2,7/2,8/ 3,0	1,20
15	1100	650	255	0,083	2,5/2,6/2,7/2,8/3,0	1,20
19	1100	817	319	0,106	2,5/2,6/3,0	1,20

Tabla 2.18. Características físicas del Gypsum.  
 Fuente: Sistemas constructivos con placa de yeso laminado.



#### d. CONDICIONES ACUSTICAS

La aislación propiamente dicha, es función de los elementos separadores, es aquí donde los paneles muestran un su nivel acústico, teniendo en cuenta su reducido peso. La incorporación de aislantes como lana de vidrio o láminas de plomo, permite obtener las variantes de reducción acústica que se desean.

TIPOLOGIA.	EXIGENCIA ACUSTICA.	ESPESOR DE PANEL UTILIZADO.	RESISTENCIA ACUSTICA.	AISLANTE UTILIZADO.
Pared Divisoria interna.	37 dB.	12.5 mm	38 dB.	NO
		15 mm.	41 dB.	NO
Pared Divisoria con espacios de usos comunes.	44 dB.	12.5 mm	44 dB.	Fibra de vidrio de 2"X14 Kg/m3.
		15 mm.	44 dB.	NO.
Muro Divisorio entre apartamentos.	48 dB.	12.5 mm. X2	51 dB.	Fibra de vidrio de 2"X14 Kg/m3.

Tabla 2.19. Características acústicas del Gypsum. Fuente: GYPLAC, Sistema de construcción liviano en seco. Tomo 1.

### 3. MATERIALES AISLANTES

Material aislante se considera a aquel material que se opone al paso o a la continuidad de cualquier fenómeno físico, en este caso nos referimos a material aislante acústico que viene a ser cualquier material que impida el paso normal de las ondas acústicas incidentes, ya sea a través de paredes, techos o estructuras.

#### 3.1. MATERIALES FIBROSOS

##### 3.1.1 FIBRAS MINERALES

###### a. FIBRA DE VIDRIO

Material fibroso obtenido a partir de Vidrio mediante fundición, centrifugación y otros tratamientos, que se utiliza como aislante acústico y térmico. Por el gran número de celdillas que tienen aire, la colchoneta fibra de vidrio goza de excelentes propiedades acústicas. Se puede decir que la fibra de vidrio es uno de los productos más eficientes en absorción de sonido acústico. Con coeficientes de absorción acústica entre 0.85 y 0.95 es ideal para instalar como tratamiento acústico entre las paredes divisorias de los sistemas constructivos livianos.<sup>31</sup> En el mercado se lo encuentra generalmente en rollos de 18.3 m de longitud por 1.2 m de ancho.

<sup>31</sup> R.M.E. Diamant, Aislamiento térmico y acústico de edificios. (Madrid: Editorial Blume, 1967)



DESCRIPCION.	DENSIDAD.	COEFICIENTE DE ABSORCION.
Fibra de vidrio de espesor de 1.27 cm.	0,01201 Kg/dm <sup>3</sup> .	0,85
Fibra de vidrio de espesor de 1.9 cm.	0.01393 Kg/dm <sup>3</sup> .	0,85
Fibra de vidrio de espesor de 2.54 cm.	0.01602 Kg/dm <sup>3</sup> .	0,85

Tabla 2.20. Principales características de la fibra de vidrio. Fuente: Diamant E.

### b. LANA DE ROCA

La lana de roca al igual que todas las fibras minerales tiene una ventaja sobre los demás materiales aislantes y es que son imputrescibles y químicamente neutras. Generalmente son incombustibles; son las únicas que pueden ser utilizadas en todos los campos relativos al aislamiento tanto acústico como térmico, ya sea para los ruidos aéreos o de impacto.

DESCRIPCION.	DENSIDAD.	COEFICIENTE DE ABSORCION.
Panel de lana de Roca de 50 mm.	0.138 Kg/dm <sup>3</sup> .	0.55

Tabla 2.21. Datos importantes de la lana de Roca. Fuente: Rougeron C.

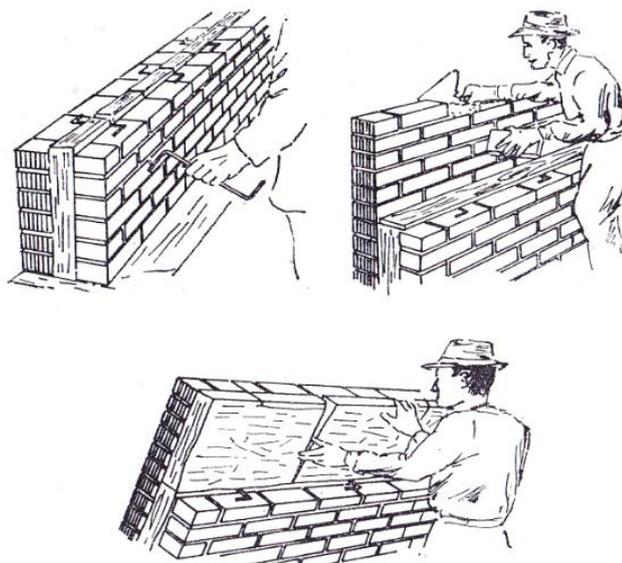


Fig. 2.16. Método de incorporación de planchas de lana mineral durante la construcción de paredes de ladrillo con cámara de aire.

Fuente: Diamant E.

## 3.1.2 FIBRAS VEGETALES

### a. FIBRA DE MADERA

Este material se presenta en formas de placas cuyas medidas estándar son de 1.175 X 1000 mm y de 1000 X 1000mm y un grosor único de 40 mm, comercialmente conocida con el nombre de placa landa, se halla constituido esencialmente por un enlace de fibras de madera, químicamente impregnadas y adheridas con cemento bajo presión controlada. Como resultado del proceso de fabricación se forman numerosas celdillas que retiene el aire y adquieren una muy notable cualidad de aislamiento acústico.



DESCRIPCION.	DENSIDAD.	COEFICIENTE DE ABSORCION.
Placa de 4 cm.	0.618 Kg/dm <sup>3</sup> .	0.68

Tabla 2.22. Datos de la fibra de madera (Landa). Fuente: Payá M.

### b. FIBROGLASS

Son tableros de fibras de madera aglomerados con cemento, a veces se los denomina hormigón de fibra de madera. Por su aspecto corriente esencialmente, son empleados para el aislamiento de los muros y suelos de hormigón, la colocación se la efectúa con la técnica del encofrado perdido.<sup>32</sup>

DESCRIPCION.	DENSIDAD.	COEFICIENTE DE ABSORCION.
Espesores de los tableros; 1.5, 2.5, 3.5, 5, 7.5 y 10 cm.	De 300 a 600 Kg/m <sup>3</sup> .	0.55

Tabla 2.23. Datos de la fibragglos. Fuente: Rougeron C.

## 3.2. AISLANTES CON ESTRUCTURA CELULAR

### 3.2.1 AISLANTES MINERALES Y VEGETALES

#### a. YESO

De amplia difusión, los tableros prefabricados de yeso reúnen las condiciones técnicas y decorativas para su aplicabilidad; están básicamente formados por yeso de escayona, lana mineral y papel metalizado, materiales incombustibles capaces de evitar la propagación de un posible incendio.

Una de las características acústicas más importantes de estos paneles es la anulación de resonancia debido a su elevado grado de absorción del sonido, lo que resulta interesante en locales de trabajo como fábricas, talleres, oficinas.

DESCRIPCION.	DENSIDAD.	COEFICIENTE DE ABSORCION.
Espesores de 9,5 y 12,7 mm.	De 236 a 256 kg/m <sup>3</sup> .	0,70

Tabla 2.24. Datos del Yeso. Fuente: Diamant E.

#### b. CORCHO

Los aglomerados del corcho se emplean para el aislamiento del calor, frío y sonido. Su campo de aplicación es muy vasto adaptándose a la construcción de viviendas. En el comercio se encuentran bajo diferentes formas y dimensiones: en placas, ladrillo, aserrín, lana, losetas, etc. Según Paya M. (1978); para obtener un aislamiento adecuado en las paredes se debe utilizar los prefabricados de corcho de un espesor desde 25 a 33mm.

<sup>32</sup> Claude Rougeron, Aislamiento acústico y térmico en la construcción. (Barcelona: Editores técnicos asociados SA, 1977)



DESCRIPCION.	DENSIDAD.	COEFICIENTE DE ABSORCION.
Para el aislamiento de paredes se utiliza de 25 a 33 mm.	0.096 a 0.160 Kg/dm3	0,77

Tabla 2.25. Datos del Corcho. Fuente: Payá M.

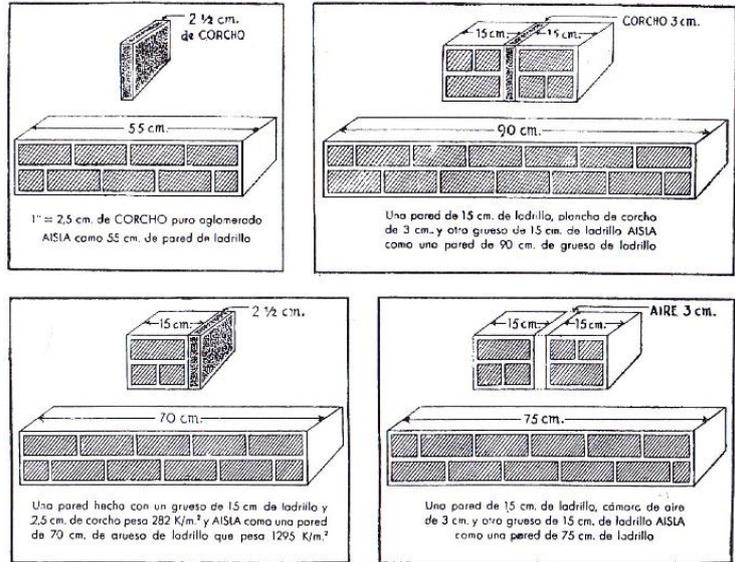


Fig. 2.17. Soluciones comparativas de aislamiento en base al corcho. Fuente: Payá M.

c. VIDRIO CELULAR

Es un vidrio que contiene gran cantidad de celdillas microscópicas repletas de gas, las cuales se obtiene inyectando a presión mediante procedimientos especiales. Las placas de vidrio son muy ligeras inalterables, rígidas y no higroscópicas.

Generalmente aparecen en el mercado en dimensiones de 30 X 30 cm, y de 70 X 70 cm; con un espesor de 1,50 cm; y pesa aproximadamente 5 Kg/m<sup>2</sup>. Posee además un coeficiente de atenuación sonora de 45 dB.<sup>33</sup>

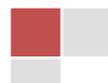
DESCRIPCION.	DENSIDAD.	COEFICIENTE DE ABSORCION.
Placas de 30 X 30 cm; y de 70 X 70 cm.	145 Kg/m3.	0,12

Tabla 2.26. Datos del Vidrio Celular. Fuente: Payá M.



Fig. 2.18. Aislamiento de una pared de fachada con vidrio celular decorativo. Fuente: Payá M.

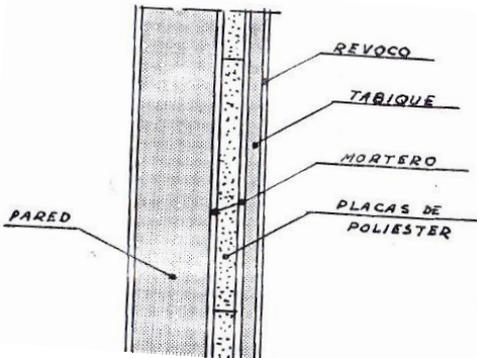
<sup>33</sup> Miguel Payá, Aislamiento térmico y acústico, (Barcelona: Ediciones CEAC, 1978)



### 3.2.2.- ESPUMAS PLASTICAS AISLANTES

#### a. ESPUMA DE POLIESTIRENO

El poliestireno es un plástico que se obtiene por un proceso denominado polimerización, que consiste en la unión de muchas moléculas pequeñas para lograr moléculas muy grandes. La sustancia obtenida es un polímero y los compuestos sencillos de los que se obtienen se llaman monómeros.



Para usar el poliestireno como aislante acústico debe recurrirse a sistemas masa+muelle+masa. Para esto existen planchas de poliestireno plastificado adheridas a placas de yeso laminado (o cartón-yeso). Los paneles de poliestireno pueden suministrarse en cualquier medida hasta un máximo de 200 x 100 x 50 cm, con una densidad aproximada que va desde los 10 a 35 Kg/m<sup>3</sup>.

Fig. 2.19. Aislamiento de una pared por medio de la espuma de poliéster.  
Fuente: Payá M.

DESCRIPCION.	DENSIDAD.	COEFICIENTE DE ABSORCION.
Planchas con un máximo de 200 X 100 X 50 cm.	10 a 35 Kg/m <sup>3</sup> .	0,55

Tabla 2.27. Datos de Espuma de poliestireno. Fuente: Diamant E.

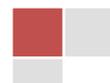
#### b. ESPUMA DE POLIURETANO

La espuma de poliuretano es un excelente aislante acústico. Consigue una gran efectividad en la absorción de ruidos e insonorización de la vivienda. Según un estudio del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, dependiente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Ciencia e Investigación (CSIC), sus propiedades acústicas se deben fundamentalmente a su capacidad de sellado, que proporciona muy buenos resultados en el aislamiento frente al ruido aéreo.

En cuanto a sus propiedades como aislante acústico, la espuma más adecuada es la de baja densidad y celda abierta, ya que está específicamente diseñada para este tipo de trabajos: "Puede doblar el valor del coeficiente de reducción de transmisión de ruidos de las espumas de celda cerrada, llegando a 0,65", precisa. Las espumas de celda cerrada son óptimas para el aislamiento térmico, por lo que se puede recurrir a una combinación de ambos tipos para conseguir mejores resultados en aislamiento térmico y acústico.

DESCRIPCION.	DENSIDAD.	COEFICIENTE DE ABSORCION.
Dimensiones variables.	25 a 150 Kg/m <sup>3</sup> .	0,65

Tabla 2.28. Datos de Espuma de poliuretano. Fuente: Rougeron C.



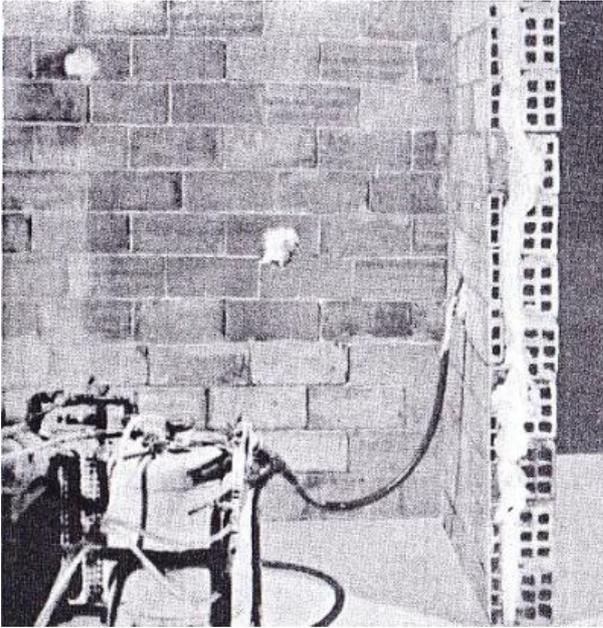
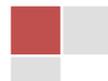


Fig. 2.20 Aplicación de espuma plástica aislante en paredes.  
Fuente: Payá M.

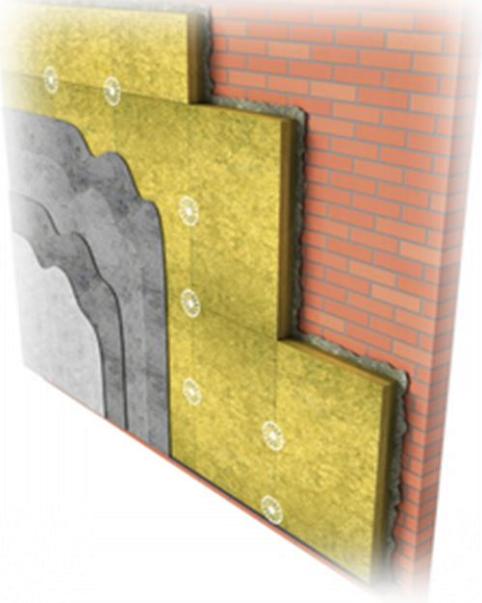
### 3.3. COEFICIENTES DE ABSORCION DE MATERIALES AISLANTES

MATERIAL	FRECUENCIAS (Hz)				
	125	250	500	1000	2000
Algodón, tela	0,04	0,23	0,4	0,57	0,53
Cartones de huevos	0,02	0,05	0,2	0,66	0,53
Caucho, alfombra	0,04	0,04	0,07	0,11	0,03
Corcho en general	0,12	0,27	0,72	0,79	0,76
Corcho, gránulos unidos con aglomerante	0,12	0,27	0,72	0,9	0,75
Enlucido rugoso	0,025	0,026	0,06	0,085	0,043
Espuma de poliuretano	0,17	0,36	0,71	0,9	0,95
Espuma recubierta de plástico	0,79	>1	>1	>1	>1
Fibra de amianto	0,22	0,55	0,65	0,75	0,8
Fibra de madera comprimida	0,04	0,24	0,54	0,88	0,53
Fibra de madera mineralizada	0,11	0,19	0,4	0,79	0,55
Fibra vegetal, estera	0,08	0,17	0,22	0,25	0,31
Fibra de vidrio	0,43	0,98	0,91	0,92	0,88
Fibra de vidrio a fieltada	0,41	0,6	0,99	0,99	0,84
Lana mineral	0,42	0,66	0,73	0,74	0,76
Madera ordinaria	0,16	0,13	0,1	0,06	0,05
Láminas de vidrio de 3 a 5 mm	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02
Yeso, enlucido liso	0,02	0,03	0,04	0,06	0,06
Lana de roca	0,17	0,45	0,93	>1	>1
Lana de roca revestida de una hoja de aluminio	0,22	0,53	>1	>1	0,73

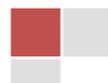
Tabla 2.29. Datos de coeficientes de Absorción. Fuente: LLinares.



## CAPITULO III



## SISTEMAS DE CONFORMACION DE MUROS PARA AISLAMIENTO ACUSTICO



Los sistemas de aislamiento acústico se utilizan en la conformación de muros con el objetivo de aprovechar al máximo sus características de aislamiento. El aislamiento al ruido puede conseguirse de distintas maneras dependiendo del mecanismo que opera y del tipo de elemento constructivo que se aplique. A continuación se analizan algunos de los sistemas existentes, entre ellos los más conocidos que son los sistemas de muros mixtos, muros simples y muros dobles o múltiples, a los que se hizo alusión en el capítulo I.

## 1. SISTEMA DE AISLAMIENTO DE MUROS MIXTOS

Se entiende por muros mixtos a aquellos que están conformados por vanos y llenos; los sistemas que se apliquen a este tipo de muros van a estar centrados específicamente en el tratamiento que se le dé a las ventanas y a las puertas.

### 1.1 SISTEMA DE AISLAMIENTO PARA MUROS MIXTOS EN VENTANAS

#### 1.1.1 SISTEMA DE DOBLE CRISTAL SELLADO HERMETICAMENTE

Este tipo de sistema se compone por dos cristales gemelos que se montan conjuntamente por los bordes para producir un espacio de aire entre ellos. La separación se llena con aire absolutamente seco y en algunos casos con otros gases.

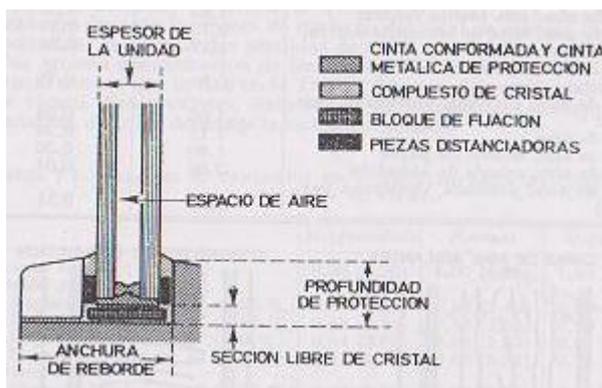


Fig.3.1. Doble cristal sellado herméticamente.  
Fuente: Diamant E, 1976

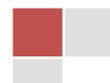
Es importante que la estructura esté libre de grietas y agujeros que reducen enormemente el aislamiento acústico. Generalmente es recomendable hacer un montaje para cada cristal por separado para evitar que por motivos de vibración una estructura afecte a la siguiente.

La separación de espacio de aire en una ventana de doble cristal es importante cuando se considera el aislamiento acústico. “Por ejemplo una ventana de doble cristal con un espacio de aire de 20 cm entre los cristales tiene un aislamiento acústico de 40 dB; cuando está construida con cristales de 6mm de grueso, empleando el mismo cristal pero haciendo que el espacio entre los cristales sea de 5 cm la absorción del sonido disminuye a 33 dB; el mismo resultado se obtiene si se aplica una ventana de cristal simple de 12 mm, es decir con este sistema se obtiene un aislamiento de 33dB también; lo que nos da a entender que en aislamiento acústico una cámara de aire de menos de 5cm no funciona.”<sup>1</sup>

#### 1.1.2 SISTEMA DE TRIPLE CRISTAL

Generalmente este tipo de sistema es una combinación del doble cristal con el cristal simple, es decir se aplica una ventana de cristal simple y una ventana hermética de cristal doble. “Para

<sup>1</sup> R.M.E.Diamant, Aislamiento térmico y acústico de edificios. (Madrid: Editorial Blume, 1967), 169



obtener un aislamiento acústico adecuado la ventana sencilla se puede situar a 20cm o más de la ventana de doble cristal sellada herméticamente y con colocación de material absorbente en los bordes para así garantizar un mayor aislamiento, llegando a obtener un aislamiento acústico de hasta 45 dB o más para los sonidos comprendidos entre los 100 y 3200 Hz.”<sup>2</sup>

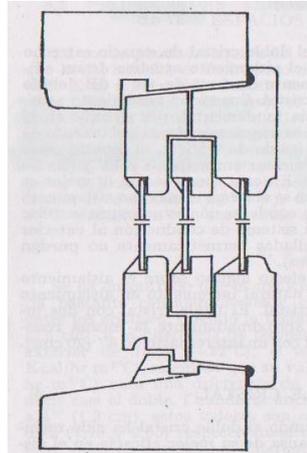


Fig.3.2. Sistema escandinavo de cristal triple ensamblado.  
Fuente: Cadiergues R.

## 1.2 SISTEMA DE AISLAMIENTO PARA MUROS MIXTOS EN PUERTAS

El aislamiento que se le dé a las puertas en un muro mixto es de gran importancia para obtener un aislamiento global del conjunto; una de las condiciones primordiales que hay que procurar es que no pase el aire por las rendijas entre la pared y la puerta.

“Aunque la impermeabilidad del aire sea necesaria para obtener un buen aislamiento sonoro, no hay que deducir de ello que una puerta normal que cierre perfectamente sea siempre suficiente. Muchas veces es necesario el aislamiento del tablero, pues una puerta normal aunque no deje pasar el aire, solo da un aislamiento que no pasa de los 30 dB, siendo del orden de 15 a 20 si no es perfectamente estanca”.<sup>3</sup>

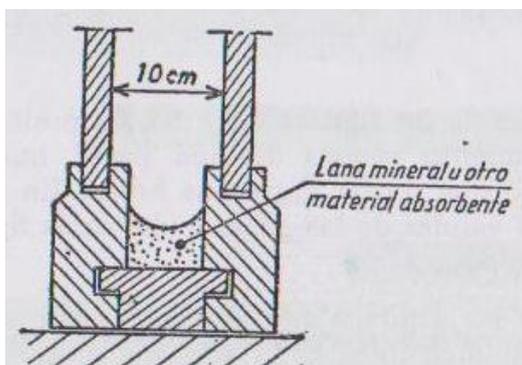


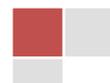
Fig.3.3. Acondicionamiento acústico en una puerta hueca.  
Fuente: Cadiergues R.

Dos procedimientos pueden usarse para mejorar el aislamiento:

1. La puerta con tablero doble formada por dos tableros separados por una cámara de aire de al menos 6 a 10 cm; y colocando un material absorbente en la unión de los dos tableros. Claro está que es más eficaz separar los dos tableros, o sea prácticamente realizar una doble puerta. (Fig.3.3)

<sup>2</sup> R.M.E. Diamant, Aislamiento térmico y acústico de edificios. (Madrid: Editorial Blume, 1967), 178.

<sup>3</sup> R. Cadiergues, Aislamiento y Protección de las construcciones. (Barcelona: Editorial GGSA, 1987), 76.



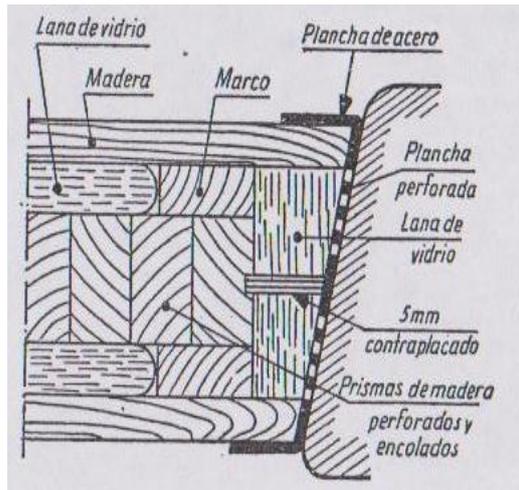


Fig.3.4. Puerta de excelente aislamiento acústico.  
Fuente: Cadiergues R.

2. También para mejorar las puertas desde el punto de vista de aislamiento sonoro consiste en aumentar su peso; "Puede ser interesante por ejemplo rellenar los espacios huecos de la puerta con arena muy seca"<sup>4</sup> Esto necesita una carpintería de mayores escuadrías y en este caso se podría recomendar acudir a la carpintería de acero ya que de por si es bastante pesada; e incluso en lugar de arena se puede hacer rellenos de hormigón; claro está que tomando las debidas precauciones en la carpintería que se vaya a utilizar. (Fig. 3.4)

### 1.3 CALCULO DEL AISLAMIENTO ACUSTICO DE MUROS MIXTOS

Cuando el elemento separador entre dos espacios es mixto, por incluir diferentes vanos y llenos, es preciso determinar el aislamiento global (aG) mediante la correspondiente ecuación.

$$aG = 10 \text{ Log} + \frac{Sc+Sv}{\frac{Sc}{10^{\frac{ac}{10}}} + \frac{Sv}{10^{\frac{av}{10}}}} \quad [1]$$

Por ejemplo si tenemos la fachada de un local con ventana de áreas  $Sc=9$  y  $Sv=3$  m<sup>2</sup> y de aislamiento acústico de  $ac=45.4$  y  $av=26.5$ dB; correspondiente respectivamente a las partes ciegas compuestas por bloque de hormigón de 12 cm; y de ventanas de vidrio de 8mm.

El aislamiento acústico global de la fachada seria  $aG=32.36$  dB. Comprobando con la ecuación antes mencionada tendremos:

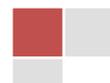
$$aG = 10 \text{ Log} + \frac{9 \text{ m}^2 + 3 \text{ m}^2}{\frac{9 \text{ m}^2}{10^{\frac{45.4}{10}}} + \frac{3 \text{ m}^2}{10^{\frac{26.5}{10}}}}$$

**aG = 32.36 dB.**

## 2. SISTEMA DE AISLAMIENTO DE MUROS SIMPLES

Se entiende por muros simples a aquellos que están compuestos por una sola hoja o también a aquellos cuya conformación está fundamentada en muros independientes. Los valores de aislamiento acústico proporcionados por muros simples es función exclusiva de la masa. Generalmente para la obtención del aislamiento que presenta un muro se aplica simplemente

<sup>4</sup> Mathias Meisser, Acústica de los edificios, (Barcelona: Editores Técnicos Asociados SA, 1973)



la ecuación de la ley de masas o la gráfica de la ley de masas; sin embargo existen algunos autores que presentan ciertas variantes en la ecuación dependiendo de la aplicabilidad que se le quiera dar; a continuación algunos sistemas de conformación de muros simples y ecuaciones que sirven para el cálculo de aislamiento acústico.

### 2.1 SISTEMA DE AISLAMIENTO SEGÚN CODIGO TECNICO DE LA EDIFICACION (C.T.E)

Para este Código se puede hacer una clasificación de los muros simples en; muros ligeros y muros pesados. Siendo los muros ligeros aquellos cuyo peso no sobrepasa los 150 Kg/m<sup>2</sup>; mientras que los muros pesados son aquellos cuyo peso es mayor a los 150 Kg/m<sup>2</sup>. Partiendo de esta clasificación plantea dos ecuaciones que sirven para el cálculo del aislamiento acústico que presenta cada tipo de muro simple, en función de la masa por unidad de superficie m expresada en Kg/m<sup>2</sup>.<sup>5</sup>

Cuando  $m < 150 \text{ Kg/m}^2 = A = 16.6 \text{ Log} m + 2 \text{ (dB)}$ . [2]

Cuando  $m > 150 \text{ Kg/m}^2 = A = 36.5 \text{ Log} m - 41.5 \text{ (dB)}$ . [3]

Por ejemplo si se quiere calcular el aislamiento que presenta un tabique de bloque de 9cm de espesor que posee una densidad de 1000 Kg/m<sup>3</sup>, un revestimiento de yeso de 2cm de espesor cuya densidad es de 800 Kg/m<sup>2</sup>, lo que se haría es primeramente calcular la masa para verificar que tipo de formula se debe de utilizar.

ECUACION: Masa = densidad X espesor		
Datos	Aplicación de Formula	Resultado
Densidad Muro: 1000 Kg/m <sup>3</sup> .	$m = (1000 \times 0.09) + (800 \times 0.02)$	106 Kg/m <sup>2</sup> .
Densidad Yeso: 800 Kg/m <sup>3</sup> .		
Espesor muro : 0.09 m.		
Espesor de Yeso : 0.02 m.		

60

Como hemos obtenido un valor menor a 150 Kg/m<sup>2</sup>; esto quiere decir que según la clasificación de CTE; este muro pertenece a los muros ligeros por lo que se le aplicara la formula correspondiente.

ECUACION: $A = 16.6 \text{ Log} m + 2 \text{ (dB)}$		
Datos	Aplicación de Formula	Resultado
Masa 106 Kg/m <sup>2</sup> .	$A = 16,6 (\text{Log } 106) + 2$	35,6 dB.

En conclusión este sistema de muro simple nos da un aislamiento acústico de **35.6 dB**.

Así mismo para el caso de un muro que posee un espesor de 20cm, una densidad de 1000 Kg/m<sup>2</sup>; con un revestimiento de 2cm de espesor y de densidad de 2000 Kg/m<sup>2</sup>, lo que se tendría que empezar encontrando es la masa del elemento para poder saber qué tipo de formula se debe plantear.

<sup>5</sup> Manuel Martín Monroy, Manual del Ruido, (Las Palmas: Ediciones Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria, 2003-2006), 24.



ECUACION: Masa = densidad X espesor		
Datos	Aplicación de Formula	Resultado
Densidad Muro: 1000 Kg/m <sup>3</sup> .	$m = (1000 \times 0.20) + (2000 \times 0.02)$	240 Kg/m <sup>2</sup> .
Densidad Revestido: 2000 Kg/m <sup>3</sup> .		
Espesor muro : 0.20 m.		
Espesor de Yeso : 0.02 m.		

Como hemos obtenido un valor mayor a 150 Kg/m<sup>2</sup>; esto quiere decir que según la clasificación de CTE; este muro pertenece a los muros pesados por lo que se le aplicará la fórmula correspondiente.

ECUACION: $A = 36.5 \text{ Log } m - 41.5 \text{ (dB)}$		
Datos	Aplicación de Formula	Resultado
Masa 240 Kg/m <sup>2</sup> .	$A = 36.5 (\text{Log } 240) - 41.5$	45.4 dB.

En conclusión este sistema de muros simples nos da un aislamiento acústico de **45.4 dB**.

## 2.2 SISTEMA DE AISLAMIENTO DE MUROS SIMPLES SEGÚN ISOVER

El Manual de Aislamiento de la Edificación de ISOVER; nos da a conocer una fórmula desarrollada en base a la ley de masas, en la que además de la masa entra en consideración la frecuencia a la cual se va a exponer el muro. Dicha fórmula es la siguiente:

$$A = 20 \text{ Log } (m \times f) - 42 \text{ (dB)}. \quad [4]$$

Por ejemplo si se desea calcular el aislamiento acústico que nos brinda un muro que posee una masa de 250Kg/m<sup>2</sup> que va a ser expuesto a una frecuencia de 500 Hz; solo bastaría con la aplicación de la fórmula para conocer el aislamiento que posee este muro; así tendríamos:

ECUACION: $A = 20 \text{ Log } (m \times f) - 42 \text{ (dB)}$		
Datos	Aplicación de Formula	Resultado
Masa 250 Kg/m <sup>2</sup> .	$A = 20 \text{ Log } (250 \times 500) - 42$	58 dB.
Frecuencia : 500 Hz.		

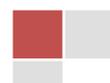
El resultado final de este ejemplo nos da que este sistema de muros simples nos da un aislamiento acústico de **58.0 dB**.

## 2.3 SISTEMA DE AISLAMIENTO DE MUROS SIMPLES SEGÚN BERGUER

El valor de aislamiento de una pared para los ruidos aéreos obedece a una ley llamada ley de masa o de Berguer<sup>6</sup> que nos permite calcular la transmisión del sonido en dB a cualquier frecuencia; dada la misma que indica que el aislamiento acústico es mayor cuanto mayor sea su masa superficial, es decir más pesada, y también tiene una importancia fundamental la frecuencia, ya que en mayor frecuencia el aislamiento va a aumentar. La ecuación de la ley de masas para el cálculo del aislamiento acústico de un muro simple es la siguiente:

$$A = 18 \text{ Log } m + ((12 \text{ Log } F) - 25) \quad [5]$$

<sup>6</sup> R.M.E. Diamant, Aislamiento térmico y acústico de edificios. (Madrid: Editorial Blume, 1967)



Por ejemplo para el caso de una pared de ladrillo hueco sencillo que tiene una masa de 100 Kg/m<sup>2</sup>, para las frecuencias de 500,1000 y 2000 Hz; lo que se tendría que hacer únicamente es utilizar la ecuación de la ley de masas antes ya mencionada. Así tendríamos:

ECUACION: $A = 18 \log m + ((12 \log F) - 25) \text{ (dB)}$ .		
Datos	Aplicación de Formula	Resultado
Masa: 100 Kg/m <sup>2</sup> Frecuencia: 500 Hz	$A = 18 \log 100 + ((12 \log 500) - 25) \text{ (dB)}$ .	44 dB
Masa: 100 Kg/m <sup>2</sup> Frecuencia: 1000 Hz		
Masa: 100 Kg/m <sup>2</sup> Frecuencia: 2000 Hz	$A = 18 \log 100 + ((12 \log 2000) - 25) \text{ (dB)}$ .	50 dB

El resultado final de este ejemplo nos da que este sistema de muro simple nos da un aislamiento acústico de **43.38 dB**. Con un aumento de aproximadamente **3 db** al duplicar la frecuencia.

**2.4 SISTEMA DE AISLAMIENTO DE MUROS SIMPLES SEGÚN LLINARES**

La ley de masas teórica está fundamentada en la ley de masas, esta ley posee unos parámetros que se mantienen en cualquier cálculo de aislamiento acústico para cualquier masa y para cualquier frecuencia; así por ejemplo tendríamos:

- “Para un cerramiento rígido y un ángulo de incidencia dado, su aislamiento aumenta 6dB cada vez que se duplica la masa.
- El aislamiento crece a razón de 6dB cada vez que se duplica su frecuencia.”<sup>7</sup>

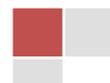
Estos parámetros son los que delinear la ley de masa teórica, esta ley posee una ecuación que sirve para el cálculo del aislamiento acústico en muros simples, dicha ecuación es:

$$A = (20 \log (m \times F)) - 52 \quad [6]$$

Por ejemplo para calcular el aislamiento acústico que posee una pared de ladrillo hueco sencillo que tiene una masa de 100 Kg/m<sup>2</sup>, para las frecuencias de 500,1000 y 2000 Hz; lo único que tendríamos que hacer es aplicar la ecuación [6]. Así tendríamos:

ECUACION: $A = (20 \log (m \times F)) - 52$		
Datos	Aplicación de Formula	Resultado
Masa: 100 Kg/m <sup>2</sup> Frecuencia: 500 Hz	$A = (20 \log (100 \times 500)) - 52$	42 dB
Masa: 100 Kg/m <sup>2</sup> Frecuencia: 1000 Hz		
Masa: 100 Kg/m <sup>2</sup> Frecuencia: 2000 Hz	$A = (20 \log (100 \times 2000)) - 52$	54 dB

<sup>7</sup> J.Llinares, Acústica Arquitectónica y Urbanística, (México DF: Editorial LIMUSA, 2008



Como nos podemos dar cuenta fácilmente, los resultados obtenidos comprueban las teorías antes expuestas, que al duplicar la frecuencia existe un aumento de 6dB por cada banda de octava.

**2.5 COMPARACION DE ECUACIONES [2], [3] ,[4], [5], [6]**

Una vez que se han analizado las ecuaciones de los sistemas planteados, a continuación se hace una comparación para determinar cuál es la más adecuada, para lo cual se utilizaran los mismos datos en todas las ecuaciones.

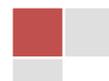
Para el caso de calcular el aislamiento acústico de un muro que posee una masa de 120 Kg/m2, expuesta a frecuencias de 500 y 1000 Hz; los resultados obtenidos serán:

DATOS	APLICACIÓN DE ECUACION	RESULTADO
<b>ECUACION: = <math>A = 16.6 \text{ Log} m + 2 \text{ (dB)}</math> [2][3]</b>		
Masa: 120 Kg/m2	$A = 16.6 \text{ Log} 120 + 2 \text{ (dB)}$	<b>37 dB</b>
<b>ECUACION: = <math>A = 20 \text{ Log} (m \times f) - 42 \text{ (dB)}</math> [4]</b>		
Masa: 120 Kg/m2	$A = 20 \text{ Log} (120 \times 500) - 42 \text{ (dB)}$	<b>53 dB</b>
Frecuencia: 500 Hz		
Masa: 120 Kg/m2	$A = 20 \text{ Log} (120 \times 1000) - 42 \text{ (dB)}$	<b>59 dB</b>
Frecuencia: 1000 Hz		
<b>ECUACION: = <math>A = 18 \text{ Log} m + ((12 \text{ Log} F) - 25) \text{ (dB)}</math> [5]</b>		
Masa: 120 Kg/m2	$A = 18 \text{ Log} 120 + ((12 \text{ Log} 500) - 25)$	<b>44 dB</b>
Frecuencia: 500 Hz		
Masa: 120 Kg/m2	$A = 18 \text{ Log} 120 + ((12 \text{ Log} 1000) - 25)$	<b>48 dB</b>
Frecuencia: 1000 Hz		
<b>ECUACION: = <math>A = (20 \text{ Log} (m \times F)) - 52 \text{ (dB)}</math> [6]</b>		
Masa: 120 Kg/m2	$A = (20 \text{ Log} (120 \times 500)) - 52$	<b>43 dB</b>
Frecuencia: 500 Hz		
Masa: 120 Kg/m2	$A = (20 \text{ Log} (120 \times 1000)) - 52$	<b>49 dB</b>
Frecuencia: 1000 Hz		

Los resultados obtenidos demuestran una diferencia un marcada entre las ecuaciones [2] [4] y las ecuaciones [5] [6]; en primer lugar la ecuación [2] al igual que todas son únicamente para obtener un aislamiento aproximado del sistema, tomando en cuenta que el aislamiento más preciso se lo obtendría en laboratorio, pero esta ecuación a diferencia de las otras tres, únicamente analiza el factor masa, por lo que es una ecuación muy inexacta en relación a las demás; así mismo la ecuación [4]; es muy parecida a la ecuación [6]; de hecho esta ecuación también se la toma en cuenta en el análisis realizado por Llinares J, pero para casos prácticos en los que no se puede analizar el ángulo de incidencia esta ecuación no es aplicable; ahora bien las ecuaciones [5] [6]; nos dan un resultado muy parecido entre sí pero con la diferencia que el aumento cada vez que se duplica la frecuencia es diferente, para la ecuación [5] existe un aumento de aproximadamente 4dB por banda de octava<sup>8</sup>; mientras que para la ecuación [6] existe un aumento de 6 dB por banda de octava<sup>9, 10, 11</sup>; que es el valor que utilizan varios

<sup>8</sup> Mathias Meisser, Acústica de los edificios, (Barcelona: Editores Técnicos Asociados SA, 1973)

<sup>9</sup> J.Llinares, Acústica Arquitectónica y Urbanística, (México DF: Editorial LIMUSA, 2008)



autores según la investigación realizada, por lo tanto la ecuación [6] será la que se utilice para encontrar el aislamiento acústico que presente una pared simple.

Aplicando la fórmula [6] y considerando los materiales más utilizados en la ciudad de Loja para la conformación de muros simples se ha llegado a establecer la siguiente tabla en la que se demostraran los valores de aislamiento acústico de cada muro según su masa.

MURO	MASA			Frecuencia (Hz)	Aislamiento (dB)
	Espesor(m) X Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )		MASA (Kg/m <sup>2</sup> )		
ADOBE	0,2	1500	300	250	45
				500	51
				1000	57
TAPIAL	0,4	1800	720	250	53
				500	59
				1000	65
BAHAREQUE	0,2	1700	340	250	46
				500	52
				1000	58
LADRILLO MACIZO	0,15	1800	270	250	44
				500	50
				1000	56
LADRILLO HUECO	0,12	1000	120	250	37
				500	43
				1000	49
BLOQUE DE PARED DE Hº	0,14	1700	238	250	43
				500	49
				1000	55
MURO DE HORMIGON LIGERO	0,12	2300	276	250	44
				500	50
				1000	56
PANEL DE VIDRIO	0,004	2500	10	250	15
				500	21
PANEL DE VIDRIO	0,006	2500	15	250	19
				500	25
PANEL DE VIDRIO	0,008	2500	20	250	21
				500	27
PANEL DE HORMI2	Poliestireno: 0,1	25	2,5	250	25
	Revoque de mortero: 0,02	1300	26	500	31
				1000	37

<sup>10</sup> R. Josse, La Acústica en la construcción, (Barcelona: Editorial Gustavo Gili SA, 1975)

<sup>11</sup> Luis Jesús Arizmendi, Tratado Fundamental de la Acústica en la construcción (Pamplona: Ediciones Universidad de Navarra SA, 1980)



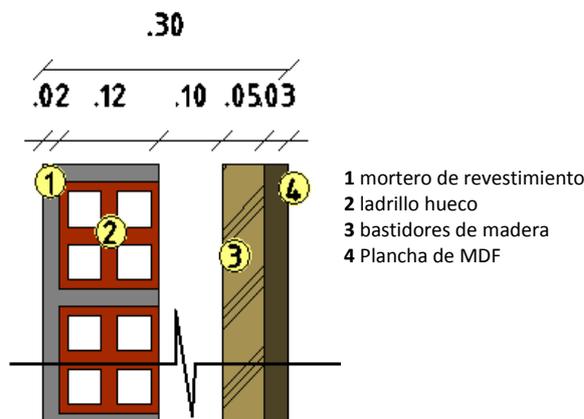
PANEL DE MDF	0,03 (X2)	800	24	250	23
				500	29
				1000	35
PANEL DE FIBROCEMENTO	0,001 (X2)	1250	12,5	250	17
				500	23
				1000	29
PANEL DE GYPSUM	0,0095 (X2)	1100	10,45	250	16
				500	22
				1000	28

### 3. SISTEMA DE AISLAMIENTO DE MUROS DOBLES

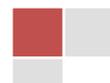
El sistema de aislamiento acústico a través de muros dobles consiste en colocar paredes paralelamente distanciadas entres sí formando una cámara de aire que bien puede estar vacía o rellena con material absorbente, de esta forma cada pared trabaja independientemente, este sistema es el más eficiente a la hora de aislar acústicamente un espacio ya que a través de el garantizamos el aislamiento exigido sin que la masa crezca desproporcionadamente.

En estos sistemas existen varias formas de calcular el aislamiento acústico, diversos autores utilizan ecuaciones y modelos matemáticos para encontrar el sistema más adecuado para una función determinada; a continuación se muestran algunas ecuaciones para resolver este tipo de sistemas de aislamiento utilizando los mismos datos en todas las ecuaciones.

Para construir un sistema de paredes dobles o múltiples con el objetivo de aislar un espacio que se ve afectado por el paso de vehículos que emiten un ruido más o menos considerable de 500 Hz, se propone la aplicación de un muro doble compuesto por un muro de ladrillo hueco y un muro a base de MDF. Este tipo de muro bien podría estar con material de relleno de corcho o bien con cámara de aire al vacío; a continuación la solución que algunos autores nos dan a este tipo de sistema de aislamiento, empezando con la explicación del sistema de manera gráfica:



- DATOS**  
 m1 ladrillo: 120 Kg/m<sup>2</sup>  
 m2 MDF: 24 Kg/m<sup>2</sup>  
 Am1: 43 dB  
 Am2: 29 dB  
 d: 0,1 m  
 c (velocidad del sonido): 343 m/s  
 w: pulsación= 2 (π)(500Hz): 3141  
 Densidad del aire (ρ): 1,18 Kg/m<sup>3</sup>  
 Densidad del corcho (ρ): 3,5 Kg/m<sup>3</sup>  
 α coeficiente de absorción del corcho : 0,72



### 3.1 CALCULO DEL SISTEMA SEGÚN ISOVER

ISOVER Saint Gobain es una empresa destinada al aislamiento tanto térmico como acústico; dentro de sus experiencias de desarrollo de materiales y software de aislamiento; desarrollan ecuaciones que sirven para el cálculo de los sistemas de aislamiento, a continuación se aplicara las ecuaciones en el ejemplo planteado para conocer el aislamiento que puede alcanzar este sistema según esta empresa.

Primeramente se empieza por conocer la distancia sugerida a la cual deben estar colocados los muros; dicha distancia se la encuentra con la siguiente ecuación:

$$d \geq 105 \left( \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) \quad [7-1]$$

$$d \geq 105 \left( \frac{1}{120} + \frac{1}{24} \right)$$

$$d \geq 5,25cm$$

El resultado nos indica que este sistema va a funcionar de manera adecuada a una distancia mínima de 5,25cm; por lo que está comprobado que la distancia seleccionada del sistema en cuestión es la correcta ya que se maneja una distancia de separación de 10cm.

Ahora bien uno de los factores que influye mucho en el funcionamiento adecuado del sistema es la frecuencia de resonancia, que no es más que el factor de resistencia para el cual el sistema va a entrar en resonancia por influencia de las ondas acústicas del foco de incidencia del sonido, esta frecuencia se calcula utilizando la siguiente ecuación:

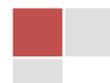
$$fr = \frac{615}{\sqrt{d}} \sqrt{\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}} \quad [7-2]$$

$$fr = \frac{615}{\sqrt{0,1}} \sqrt{\frac{1}{120} + \frac{1}{24}}$$

$$fr = 43,48Hz$$

Lo que significa que a frecuencias inferiores a esta el sistema va a resonar, lo que producirá un debilitamiento del aislamiento.

Así mismo la cavidad que se va a formar en el medio de los dos paneles también sufre una resonancia debido a las ondas estacionarias que en esta cavidad se van a formar, para conocer y prever este fenómeno se debe encontrar la frecuencia de resonancia de la cavidad, la misma que viene determinada por la siguiente ecuación:



$$fc = \frac{c}{2d} \quad [7-3]$$

$$fc = \frac{343}{2(0,10)}$$

$$fc = 1715 \text{ Hz}$$

Este valor encontrado indica que el sistema va a funcionar de manera adecuada hasta que el foco de incidencia se encuentre a esta frecuencia, de ahí en adelante se aconseja la utilización de un material de relleno, obteniendo con esto una mejora de aislamiento comprendida entre 6 a 8 dB<sup>12</sup>.

Una vez encontrado el rango de frecuencia para el cual este sistema de paredes dobles va a funcionar se procede a aplicar la siguiente ecuación para conocer cuál sería el aislamiento teórico que presenta, esto por medio de la siguiente ecuación:

$$A = 20 \log \frac{m1.m2.d}{2.Q^2.c^3} \cdot w^3 \quad [8]$$

Así entonces aplicando la ecuación [8] se tendrá:

$$A = 20 \log \frac{(120)(24)(0,1)}{2 \cdot (1,18)^2 \cdot (343)^3} \cdot 3141^3$$

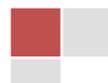
$$A = 79,11 \text{ dB}$$

Este valor obtenido será el aislamiento acústico que presenta este sistema si se considera el rango de frecuencias determinado por las frecuencias de resonancia y la frecuencia de la cavidad; si se necesita hacer el cálculo para las frecuencias superiores a la frecuencia de la cavidad lo que se debe hacer es colocar un material de relleno, para este caso este autor no cita ninguna ecuación, simplemente se aplica la observación que dice que existirá un aumento de aislamiento comprendido entre 6 a 8 dB.

### 3.2 CALCULO DEL SISTEMA SEGÚN HERVAS C, CARBAJO J, GALAN S, RAMIS J.

En una investigación presentada en el 6º Congreso Ibérico de Acústica, se presenta un artículo relacionado con el aislamiento acústico de muros dobles en el cual se explican las diferencias y coincidencias encontradas en el cálculo del aislamiento acústico de forma teórica y a través de laboratorio acústico; partiendo de este estudio se han extraído las ecuaciones que se utilizaron para el cálculo del aislamiento acústico de forma teórica, a continuación el resultado obtenido aplicándolo a nuestro ejemplo.

<sup>12</sup> Catálogo de elementos constructivos ISOVER (según CTE), Isover Saint-Gobain, 2002



En primera instancia se reconoce que para saber el aislamiento de un sistema de estas características, lo primordial es conocer las frecuencias de resonancia y frecuencias de cavidad para las cuales este sistema va a funcionar así entonces se tendrá:

- Para un rango de frecuencias comprendidas entre la frecuencia inicial ( $f_i$ ) y la frecuencia de resonancia ( $f_r$ ).

$$f_i = \frac{\rho \cdot c}{\pi(m_1 + m_2)} \quad [9]$$

$$f_i = \frac{(1,18)(343)}{\pi(120 + 24)} = 0,89 \text{ Hz}$$

$$f_r = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{d} \left( \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \quad [9-1]$$

$$f_r = \frac{343}{2\pi} \sqrt{\frac{1,18}{0,1} \left( \frac{1}{120} + \frac{1}{24} \right)} = 41,93 \text{ Hz}$$

Cuando se desea conocer el aislamiento acústico que presenta este sistema para este rango de frecuencia se aplica la siguiente ecuación:

$$A = 10 \text{Log}(m_1 + m_2) + 20 \text{Log}(f) - 47,3 \quad [10]$$

$$A = 10 \text{Log}(120 + 24) + 20 \text{Log}(500) - 47,3$$

$$A = 21,58 + 53,97 - 47,3$$

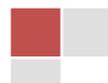
$$A = 28,25 \text{ dB}$$

El valor del sistema para el rango de frecuencias antes ya expuesto es muy bajo, lo que es muy comprensible si tomamos en cuenta que a frecuencias más bajas el aislamiento a su vez también es muy bajo.

- Para un rango de frecuencias comprendidas entre la frecuencia de resonancia ( $f_r$ ) y la frecuencia final o límite ( $f_f$ ).

El valor de la frecuencia de resonancia ya lo conseguimos aplicando la ecuación [9-2]; así entonces para conocer el rango de frecuencias para el cual se refiere este punto; se procede a aplicar la siguiente ecuación para conocer la frecuencia final del sistema:

$$f_f = \frac{c}{2\pi d} \quad [11]$$



$$f_r = \frac{343}{2\pi(0,10)} = 545 \text{ Hz}$$

Una vez obtenido este valor, ya se conoce el rango de acción para el cual este sistema va a funcionar de manera muy eficaz. Ahora bien para conocer el aislamiento que puede tener este sistema a este rango de frecuencias se aplica la siguiente ecuación:

$$A = Am_1 + Am_2 + 20\text{Log}\left(\frac{4\pi f d}{c}\right) \quad [12]$$

$$A = 43 + 29 + 20\text{Log}4\pi f d - 20\text{Log}c$$

$$A = 43 + 29 + 20\text{Log}4\pi(500)(0,1) - 20\text{Log}(343)$$

$$A = 76,30 \text{ dB}$$

Este valor de aislamiento se calcula en caso de tener un sistema conformado por una cámara de aire al vacío; ahora bien si se desea calcular el aislamiento de este mismo sistema pero en este caso si se colocaría un material de relleno en la cámara de aire, lo que se haría es aplicar la siguiente ecuación:

$$A = Am_1 + Am_2 + 10\text{Log}\left(\frac{4}{1+\frac{\alpha}{2}}\right) \quad [13]$$

Ahora bien, si se considera que se tiene un material de relleno a base de corcho cuyo coeficiente de absorción es de 0,72 ( $\alpha$ ); lo único que se haría es aplicar la ecuación [13]; así entonces se tendría:

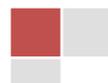
$$A = 43 + 29 + 10\text{Log}\left(\frac{4}{1 + \frac{0,72}{2}}\right)$$

$$A = 80,24$$

El resultado demuestra una mejora del aislamiento de 4dB en relación al sistema calculado únicamente con cámara de aire al vacío.

### 3.3 CALCULO DEL SISTEMA SEGÚN LLINARES

Para Linares al igual que los demás autores lo primero que se debe hacer es encontrar la frecuencia de resonancia del sistema, para poder conocer el rango de frecuencias al cual el sistema será más útil; en este caso el autor se refiere a dos ecuaciones para calcular la frecuencia de resonancia dependiendo de que si el muro tiene o no material de relleno en su interior.



$$f_o = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{d} \left( \frac{m_1+m_2}{m_1.m_2} \right)} \quad [14]$$

$$f_o = \frac{343}{2\pi} \sqrt{\frac{3,5}{0,1} \left( \frac{120+24}{120.24} \right)}$$

$$f_o = 71,43 \text{ Hz}$$

Para el caso que se presente un material de relleno en su interior el valor de la frecuencia de resonancia es considerable y lógico si tomamos en cuenta que para que este sistema entre en vibración necesita de mayor fuerza en su frecuencia.

$$f_o = 60 \sqrt{\frac{1}{d} \left( \frac{m_1+m_2}{m_1.m_2} \right)} \quad [14-1]$$

$$f_o = 60 \sqrt{\frac{1}{0,1} \left( \frac{120+24}{(120)(24)} \right)}$$

$$f_o = 42,42 \text{ Hz}$$

Este valor obtenido es en el caso que se necesite saber la frecuencia de resonancia del sistema si no posee un material de relleno en su interior.

70

Ahora bien, una vez calculado las frecuencias de resonancia del sistema se procede a calcular el aislamiento del sistema tomando en cuenta el rango de frecuencias para el que este sistema funciona.

- Para frecuencias mayores a la frecuencia de resonancia ( $f_o$ ).

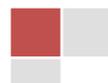
$$a = 20 \text{Log} \frac{m_1.m_2.d}{2\rho^2 c^3} w^3 \quad [15]$$

$$a = 20 \text{Log} m_1.m_2.d - 20 \text{Log} 2\rho^2 c^3 + 20 \text{Log} w^3$$

$$a = 20 \text{Log} (120)(24)(0,1) - 20 \text{Log} (2)(1,18^2)(343^3) + 20 \text{Log} (3141^3)$$

$$a = 79,11 \text{ dB}$$

Este valor es el obtenido del aislamiento acústico teórico si tomáramos en cuenta que el sistema posee una cámara de aire al vacío. Mientras que si se desea conocer el aislamiento acústico de un muro que tiene un material de relleno en su interior a base de corcho, lo único que resta hacer es aplicar la misma ecuación [15] pero cambiando la densidad del medio por el



cual el sonido intentara pasar, en este caso el corcho que posee una densidad de 3,5Kg/m<sup>3</sup>; así entonces tendríamos:

$$a = 20\text{Log } m_1 \cdot m_2 \cdot d - 20\text{Log } 2\rho^2 c^3 + 20\text{Log } w^3$$

$$a = 20\text{Log } (120)(24)(0,1) - 20\text{Log } (2)(3,5^2)(343^3) + 20\text{Log } (3141^3)$$

$$a = 89,99 \text{ dB}$$

Valor obtenido de un sistema de aislamiento acústico de muros dobles con material de corcho en el interior del mismo.

### 3.4 CALCULO DEL SISTEMA SEGÚN PÉREZ DE SILES MARÍN

Un documento desarrollado en la Universidad de Córdoba demuestra un procedimiento para el cálculo del aislamiento acústico de sistemas de aislamiento de paredes dobles o múltiples, en dicho documento se analizan distintas ecuaciones para llegar a conseguir un aislamiento teórico, a continuación se aplicaran estas ecuaciones en el problema al inicio planteado para conocer el aislamiento que puede presentar este sistema.

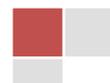
A la hora de analizar un aislamiento de paredes múltiples o dobles, el aspecto fundamental a tener en cuenta es evitar al máximo la repercusión de las distintas capas entre sí. Una pared doble con dos hojas rígidas indeformables unidas entre sí por el aire de la cámara forma un dispositivo elástico masa-muelle-masa que se puede comparar con un tambor. Este sistema es capaz de vibrar con una frecuencia propia que es su frecuencia de resonancia, que es función de ambas masas y del espesor de la cámara de aire  $d$  expresado en metros, para encontrar la frecuencia de resonancia del sistema lo único que se hace es aplicar la siguiente ecuación:

$$f_r = 60 \sqrt{\frac{1}{d} \left( \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} \quad [16]$$

$$f_r = 60 \sqrt{\frac{1}{0,1} \left( \frac{1}{120} + \frac{1}{24} \right)}$$

$$f_r = 42,42 \text{ Hz}$$

Para esta frecuencia, la transmisión del sonido a través del paramento puede ser incluso mayor que si las dos paredes estuviesen rígidamente unidas. Por lo tanto, debe cuidarse la elección de las masas y de su separación con el objetivo de provocar que la frecuencia de resonancia del conjunto sea lo suficientemente baja; normalmente por debajo de los 100Hz, y tan baja como sea posible. Para lo cual; se debe plantear sistemas que presenten un valor de masa considerable y una distancia entre ellas muy favorable; para encontrar un valor de distancia recomendable partir de la cual se va a separar los muros es muy útil aplicar la siguiente ecuación:



$$d \geq 105 \left( \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) \quad [16-1]$$

$$d \geq 105 \left( \frac{1}{120} + \frac{1}{24} \right) = 5cm$$

El valor que se obtenga va a venir dado en cm; y será un valor de referencia a partir del cual se va a colocar la distancia de separación entre muros.

Una vez encontrada la frecuencia de resonancia del sistema lo que se prosigue a encontrar es la frecuencia de resonancia de la cavidad  $fr_1$ , o sea la frecuencia hasta la cual el sistema aislaría como tal; esto conlleva a encontrar el rango de frecuencias a las cuales este sistema aislaría, tendríamos que aplicar la siguiente ecuación:

$$fr_1 = \frac{343}{2d} \quad [16-2]$$

$$fr_1 = \frac{343}{2(0,1)} = 1715 Hz$$

Utilizando el valor de la distancia en metros; así entonces tendríamos el rango para el cual el sistema funcionaría como tal; así:



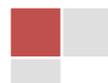
La sistemática de cálculo a seguir para el aislamiento de paredes dobles o múltiples en base a las frecuencias del sistema es el siguiente:

- Para frecuencias inferiores a **fr**, dada anteriormente, las dos hojas se comportan como un único elemento de masa  $M = M_1 + M_2$ ; es decir el aislamiento vendrá dado de acuerdo al cálculo de la ley de masas con la ecuación [6].

- Sistema de aislamiento de muros dobles para frecuencias mayores a  $fr_1$  del sistema

Para este tipo de frecuencias, al estar fuera del rango de actuación del sistema en aislamiento, lo que se hace es aplicar un material absorbente de relleno en el espacio de la cámara de aire; cuando este sistema llega a un valor superior a  $fr_1$  no puede actuar como tal solo con una cámara de aire; sino que es imprescindible de la aplicación de un material de relleno; esto va a colaborar a que la resonancia de la cavidad no perjudique el aislamiento acústico del mismo; es por eso que para el cálculo del aislamiento acústico a este nivel de frecuencia únicamente se va a tomar en cuenta una ecuación que se puede aplicar únicamente con el factor de absorción del material de relleno; dicha expresión es la siguiente:

$$At = Am_1 + Am_2 - 10 \log \left( \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{4} \right) \quad [17]$$



Aplicando esta ecuación con los datos al inicio de este apartado descritos se obtendrá:

$$At = 43 + 29 - 10 \log \left( \frac{1}{0,72} + \frac{1}{4} \right)$$

$$At = 71 \text{ dB}$$

Lo que indica que este será el valor de aislamiento del muro en cuestión si se analiza a frecuencias superiores a la frecuencia de resonancia límite ( $fr_1$ ); este es un valor muy considerable si tomamos en cuenta que estamos hablando de frecuencias superiores a 1715 Hz.

- Sistema de aislamiento de muros dobles para frecuencias comprendidas entre  $fr$  y  $fr_1$

Ahora bien, si lo que se desea es aislar un espacio que se va a ver afectado por frecuencias comprendidas entre la  $fr$  y la  $fr_1$  del sistema; lo que se va a hacer es utilizar la ecuación [23]; tomando en cuenta que el límite que nosotros pongamos en el valor de  $fr_1$ ; puede ser modificado de acuerdo a nuestra conveniencia únicamente con el factor distancia; es decir a distancias menores el valor de  $fr_1$  va a ser mayor, lo que implica que el sistema funcione como tal para mayores rangos de frecuencias y viceversa. La ecuación para el cálculo del aislamiento acústico de sistemas comprendidos entre  $fr$  y  $fr_1$  es:

$$A = Am_1 + Am_2 + (10 \log d + 10 \log \alpha' + 10 \log \left( \frac{h+b}{h \cdot b} \right)) + 3 \quad [18]$$

Para la aplicación de esta ecuación se debe tener muy claro la aplicación del factor  $\alpha'$ ; ya que este factor va a condicionar ciertos parámetros, dependiendo de si el muro presenta material absorbente en su interior o si el muro presenta una cámara de aire al vacío; así entonces se tendría:

**a) PARA SISTEMA QUE PRESENTA UNA CAMARA DE AIRE AL VACIO.**

El factor  $\alpha'$  viene dado por la siguiente expresión:

$$\alpha' = k * \alpha \text{ del aire} \quad [19]$$

**b) PARA SISTEMA QUE PRESENTA RELLENO EN LA CAMARA DE AIRE.**

El factor  $\alpha'$  viene dado por la siguiente expresión:

$$\alpha' = k * \alpha \quad [19-1]$$

Una vez comprendido este valor que va a ser utilizado en la ecuación [24]; se aplicarán los datos al inicio expuestos para conocer el aislamiento que este sistema puede llegar a tener, si se toma en cuenta que se está hablando de un muro de 2,5 por 3m.



$$A = 43 + 29 + (10\text{Log } 0,1 + 10\text{Log } 0,01 + 10 \text{Log } \left(\frac{2,5+3}{(2,5)(3)}\right)) + 3$$

$$A = 44,80$$

Este es un valor de aislamiento teórico del sistema para aislar a frecuencias de 500Hz; existirá un aumento de 12 dB cada vez que se duplique la frecuencia.

Si se desea calcular el aislamiento del sistema si se colocara un material de relleno en el interior lo único que se debe hacer es reemplazar los datos en la ecuación [18]; tomando en cuenta la aplicación del coeficiente de absorción del corcho que es 0,72.

$$A = 43 + 29 + (10\text{Log } 0,1 + 10\text{Log } 0,07 + 10 \text{Log } \left(\frac{2,5+3}{(2,5)(3)}\right)) + 3$$

$$A = 53,37 \text{ dB}$$

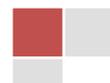
Ocurre lo que es lógico; presenta un mayor valor de aislamiento debido a la presencia de un material poroso aislante en el interior de la cámara de aire, es por eso que es muy recomendable la aplicación de este material, por ejemplo en este caso se obtiene una mejora de 9 dB aproximadamente.

**3.5 COMPARACION DE ECUACIONES [8], [12] ,[13], [15], [18]**

Una vez que se han analizado las ecuaciones de los sistemas planteados, a continuación se hace una comparación para determinar cuál es o cuales son las más adecuadas para el desarrollo de la aplicación de la presente investigación de tesis, esta comparación estará llevada a cabo de acuerdo al ejemplo desarrollado en todas las ecuaciones anteriormente.

- CON CAMARA DE AIRE AL VACIO

DATOS GENERALES		
Masa 1 (m1) = 120 Kg/m2	Velocidad del sonido ( c ) = 343 m/s	
Masa 2 (m2) = 24 Kg/m2	Pulsación (2πf)= w= 3141 Para 500 Hz	
Aislamiento masa 1 (Am1)= 43 dB	densidad del aire (ρ)= 1,18 Kg/m3	
Aislamiento Masa 2 (Am2)= 29 dB	densidad del corcho (ρ)= 3,5 Kg/m3	
d= 0,1 m	coeficiente de absorción del corcho(α)= 0,72	
<b>ECUACION [8] [15]</b> $A = 20\log \frac{m1.m2.d}{2.Q^2.c^3} . w^3$		
FRECUENCIA (Hz)	APLICACIÓN DE LA ECUACION	AISLAMIENTO (dB)
250	$A = 20\log \frac{(120)(24)(0,1)}{2.(1,18)^2.(343)^3} . 3141^3$	61,05
500		79,11
1000		97,17

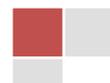


ECUACION [12] $A = Am1 + Am2 + 20Log\left(\frac{4\pi fd}{c}\right)$		
FRECUENCIA (Hz)	APLICACIÓN DE LA ECUACION	AISLAMIENTO (dB)
250	$A = 43 + 29 + 20Log\frac{(4)(\pi)(500)(0,1)}{343}$	71,24
500		77,25
1000		83,28
ECUACION [18] $A = Am1 + Am2 + (10Log d + 10Log \alpha' + 10 Log \left(\frac{h+b}{h.b}\right)) + 3$		
FRECUENCIA (Hz)	APLICACIÓN DE LA ECUACION	AISLAMIENTO (dB)
250	$A = 43 + 29 + (10Log 0,1 + 10Log 0,01 + 10 Log \left(\frac{2,5+3}{(2,5)(3)}\right)) + 3$	32,75
500		44,80
1000		56,84

En la tabla aquí expuesta se demuestran los datos obtenidos del ejercicio planteado, con fines de seleccionar la adecuada ecuación que nos servirá para plantear la propuesta de la presente investigación; en primer instancia se puede evidenciar una similitud en las ecuaciones [10], [19]; en las cuales los resultados son similares pero uno de los factores que no son muy convincentes es la progresión de 18 dB cada vez que se duplica la frecuencia, lo que querría decir que para frecuencias de 2000 Hz se tendría un aislamiento de no menos de 115 dB lo cual es poco fundamentado, así mismo la ecuación [15] en cambio presenta una progresión de 6dB cada vez que se duplica la frecuencia que en cambio es muy poco considerable ya que este valor de aumento estaría bien para paredes simples; mientras que para la ecuación [24] se obtiene valores un poco más confiables en vista que la progresión es de 12 dB cada vez que se duplica la frecuencia; así mismo los valores a frecuencias bajas son muy compatibles con la progresión; es decir que para frecuencias de por ejemplo 2000 Hz se tendría un aislamiento de no menos de 68 dB que es un valor muy considerable si tomamos en cuenta que estamos hablando de un muro conformado por un mampuesto de ladrillo hueco y un muro a base de MDF. La alteración de valores en los resultados es muy lógica, esto en vista que se está trabajando con ecuaciones teóricas que únicamente sirven para dar un valor aproximado y con margen de error de los valores que se obtendría si se analiza dicho muro en un laboratorio acústico.

- CON CAMARA DE AIRE CON MATERIAL DE RELLENO

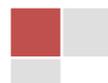
DATOS GENERALES	
Masa 1 (m1) = 120 Kg/m <sup>2</sup>	Velocidad del sonido ( c ) = 343 m/s
Masa 2 (m2) = 24 Kg/m <sup>2</sup>	Pulsación (2πf)= w= 3141 Para 500 Hz
Aislamiento masa 1 (Am1)= 43 dB	densidad del aire (ρ)= 1,18 Kg/m <sup>3</sup>
Aislamiento Masa 2 (Am2)= 29 dB	densidad del corcho (ρ)= 3,5 Kg/m <sup>3</sup>
d= 0,1 m	coeficiente de absorción del corcho(α)= 0,72



ECUACION [13]		
$A = m1 + m2 + 10\text{Log}\left(\frac{4}{1 + \frac{2}{\alpha}}\right)$		
FRECUENCIA (Hz)	APLICACIÓN DE LA ECUACION	AISLAMIENTO (dB)
250	$A = 43 + 29 + 10\text{Log}\left(\frac{4}{1 + \frac{2}{0,72}}\right)$	69,34
500		80,24
1000		91.14
ECUACION [15]		
$a = 20\text{Log} \frac{m1.m2.d}{2\rho^2 c^3} w^3$		
FRECUENCIA (Hz)	APLICACIÓN DE LA ECUACION	AISLAMIENTO (dB)
250	$a = 20\text{Log} \frac{(120)(24)(0,1)}{(2)3,5^2 343^3} 3141^3$	71,93
500		89.99
1000		107.93
ECUACION [18]		
$A = Am1 + Am2 + (10\text{Log} d + 10\text{Log} \alpha' + 10 \text{Log} \left(\frac{h+b}{h.b}\right)) + 3$		
FRECUENCIA (Hz)	APLICACIÓN DE LA ECUACION	AISLAMIENTO (dB)
250	$A = 43 + 29 + (10\text{Log} 0,1 + 10\text{Log} 0,07 + 10 \text{Log} \left(\frac{2,5+3}{(2,5)(3)}\right)) + 3$	41,33
500		53,37
1000		65,41

Al igual que en la tabla anterior se han expuesto los datos de los aislamientos que se pueden obtener del sistema planteado con fines de comparar y evaluar para reconocer cual sería el más óptimo para su aplicación en la propuesta; iniciando en la ecuación [16] existe una progresión de aproximadamente 10 dB cada vez que se duplica la frecuencia, valor que podría ser aceptable si no fueran demasiado elevado su valor de aislamiento, debemos recordar que estamos hablando de un muro doble que no debería presentar valores de aislamiento tan elevados debido a sus componentes, así mismo en la ecuación [19] los valores que tenemos llegan incluso a superar los 100 dB, esto debido a su progresión de 18 dB cada vez que se duplica la frecuencia, por lo que esta ecuación quedaría descartada también para el estudio de esta investigación, mientras que los valores encontrados en la ecuación [24] son muy lógicos y razonables, esto si tomamos en cuenta una progresión en el aislamiento de 12 dB (valor recomendado); y un inicio de un valor de 41 dB, valor muy lógico si tomamos en cuenta que estamos partiendo de una frecuencia baja de 250 Hz; así mismo su máximo valor en este análisis es de 65 dB, que es muy confiable si consideramos el tipo de muro que nos estamos refiriendo.

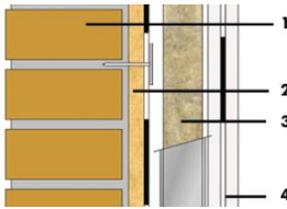
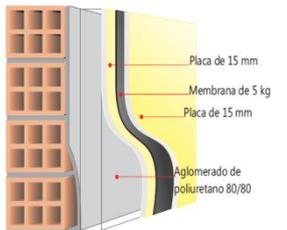
Así entonces vale la aclaración que para la propuesta de la presente investigación se tomará en cuenta y aplicará la ecuación [24] para aislar paredes doble o múltiples, siempre y cuando se entienda que los valores expuestos son valores teóricos y que su verdadero valor únicamente se lo podría calcular bajo normas de laboratorio en los cuales se analizan muchos factores que intervienen en el fenómeno del aislamiento acústico.



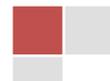
## 3.6 SISTEMAS DE AISLAMIENTO EXISTENTES

En este apartado se dará a conocer de manera muy específica cierto tipo de sistemas aislantes acústicos aplicados por diversas empresas dedicadas al acondicionamiento y aislamiento acústico; empresas como DANOSA, BARNATECNO, CROXON, ISOVER, TECSOUND, etc., cuya ideología es crear materiales y sistemas que presten mayor aislamiento acústico en muros y por lo tanto que brinden un confort acústico al usuario.

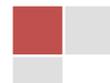
El objetivo de este apartado es dar a conocer ciertas soluciones al problema del ruido, vistos de una manera más técnica, ya que la mayoría de estos sistemas son ensayados previamente en laboratorios, es decir que los valores descritos en la siguiente tabla tiene un cierto grado de precisión mayor a los valores que se obtendría si se aplicara las ecuaciones antes descritas. Esto en vista que en el laboratorio se utilizan y analizan todos los parámetros que afectan al aislamiento; obviamente que no por eso los datos obtenidos mediante ecuaciones matemáticas no son útiles, al contrario estos datos dan una pauta para tener un breve conocimiento del aislamiento que va a presentar dicho muro.

#	NOMBRE DEL SISTEMA	GRAFICO	COMPOSICION	DIMENSIONES		AISLAMIENTO (dB)
				UNITARIA	TOTAL	
1	ACUSTIDAN 16 / 4. (DANOSA).		Pared de ladrillo macizo. Lamina elastomérica de alta densidad. Fibras de algodón. Fibra de lana mineral Rocdan. + Estructura de chapa galvanizada. Placa de yeso (X2).	10 cm. 0.4 cm. 1.6 cm. 4.8 cm. 1.3 cm.	19.4 cm.	125 Hzt = 28.5 dB. 250 Hzt = 28.0 dB. 500 Hzt = 31.0 dB. 1000 Hzt = 44.0 dB. 2000 Hzt = 60.0 dB. 4000 Hzt = 65.0 dB. <b>Valor calculado en laboratorio I.G.A.I (Danosa).</b>
2	TRASDOSADO ACUSTICO TR - 0.2. (BARNATECNO AISLAMIENTO)		Pared de ladrillo cerámico enyesado por ambas caras. Aglomerado de poliuretano de alta densidad. Placa de yeso laminado (X2). Membrana acústica.	15.4 cm. 0.4 cm. 1.5 cm. 0.4 cm.	19.2 cm.	125 Hzt = 51.0 dB. 250 Hzt = 55.0 dB. 500 Hzt = 62.0 dB. 1000 Hzt = 70.0 dB. 2000 Hzt = 76.0 dB. 4000 Hzt = 75.0 dB. <b>Valor calculado en laboratorio acústico. Verificable con ecuación[6]</b>
3	TRASDOSADO ACUSTICO TR - 0.3. (BARNATECNO AISLAMIENTO)		Pared de ladrillo cerámico enyesado por ambas caras. Fibra de lana mineral I. + Estructura de chapa galvanizada. Placa de yeso laminado (X2). Lamina de alta densidad.	15.4 cm. 4.6 cm. 1.3 cm. 0.4 cm.	23 cm.	125 Hzt = 25.0 dB. 250 Hzt = 30.0 dB. 500 Hzt = 32.0 dB. 1000 Hzt = 33.0 dB. <b>Valor calculado en laboratorio acústico. Verificable con formula 3.2 correspondiente al cálculo según ley de masas.</b>

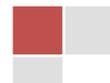
4	CROSOLAM. (CROXON).		Tabique simple de Hormigón.	5 cm.	12 cm.	125 Hzt = 37.4 dB. 250 Hzt = 44.7 dB. 500 Hzt = 56.4 dB. 1000 Hzt = 63.6 dB. 2000 Hzt = 65.5 dB. 4000 Hzt = 68.1 dB.
			Placa de yeso (X4).	1.25 cm.		
			Membrana de caucho (X2) (Crosolam).	1 cm.		
5	CROXONPOL. (CROXON).		Pared de ladrillo macizo.	10 cm.	13.5 cm.	125 Hzt = 37.0 dB. 250 Hzt = 40.0 dB. 500 Hzt = 44.0 dB. 1000 Hzt = 53.0 dB. 2000 Hzt = 67.0 dB. 4000 Hzt = 73.0 dB.  <b>Valor calculado en laboratorio acústico. Verificable con ecuación[5]</b>
			Panel de espuma de poliuretano. CROXON POL.	1 cm.		
			Membrana elastomèrica de caucho. CROXON POL.	1 cm.		
			Panel de yeso.	1.5 cm.		
6	COOPREN ACUSTICO 60 MM. (Guallar, X. & Roca, 2009)		Pared de ladrillo macizo con revestimiento de un lado.	17 cm.	24.8 cm.	125 Hzt = 43.9 dB. 250 Hzt = 53.3 dB. 500 Hzt = 59.6 dB. 1000 Hzt = 66.3 dB. 2000 Hzt = 63.5 dB. 4000 Hzt = 71.5 dB.  <b>Valor calculado en laboratorio acústico según la norma UNE-EN ISO 140-3.</b>
			Panel Coopren acústico negro de 80 Kg/m3.	6 cm.		
			Panel de yeso.	1.8 cm.		
7	COOPREN ACUSTICO 100 MM. (Guallar, X. & Roca, 2009)		Pared de ladrillo macizo con revestimiento de un lado.	17 cm.	28.8 cm.	125 Hzt = 47.4 dB. 250 Hzt = 54.1 dB. 500 Hzt = 60.4 dB. 1000 Hzt = 68.1 dB. 2000 Hzt = 63.3 dB. 4000 Hzt = 71.3 dB.  <b>Valor calculado en laboratorio acústico según la norma UNE-EN ISO 140-3.</b>
			Panel Coopren acústico negro de 80 Kg/m3.	10 cm.		
			Panel de yeso.	1.8 cm.		
8	AISLAMIENTO ACUSTICO AL RUIDO AEREO SEGÚN UNE - EN ISO 140 -3. (Guallar, X. & Roca, 2009)		Ladrillo cerámico perforado.	14 cm.	17 cm.	125 Hzt = 37.6 dB. 250 Hzt = 42.7 dB. 500 Hzt = 48.4 dB. 1000 Hzt = 54.9 dB. 2000 Hzt = 61.4 dB. 4000 Hzt = 65.7 dB.  <b>Valor calculado en laboratorio acústico según la norma UNE-EN ISO 140-3.</b>
			Revestimiento com mortero por ambas caras.	1.5 cm.		



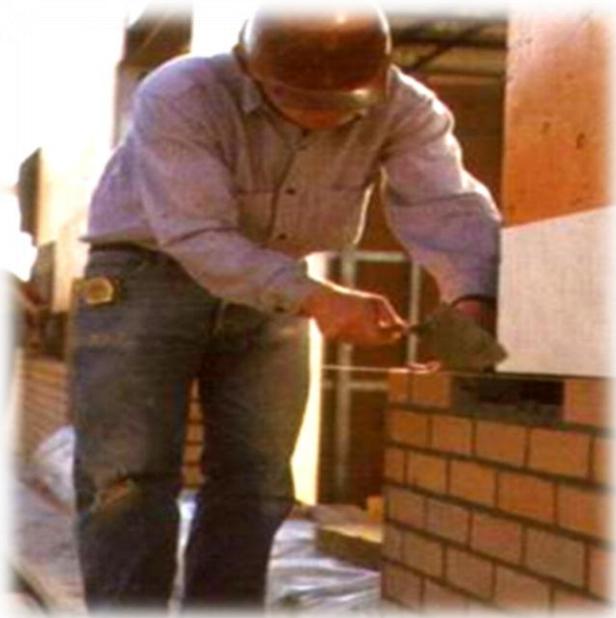
9	P2.2 (ISOVER - SAINT GOBAIN).		Ladrillo cerámico hueco (X2).	11.5 cm.	33 cm.	52 dB.  Valor calculado en laboratorio acústico aplicando Formula [24] del Cap. 3 de la presente tesis.
			Revestimiento com mortero por ambas caras.	1.5 cm.		
			Lana mineral ISOVER. 130 Kg/m2.	4 cm.		
10	TR1. (ISOVER - SAINT GOBAIN).		Mampostería de cualquier material (no se tomara en cuenta para el aislamiento ni espesor).		7.5 cm.	17 dB; este es un valor q únicamente presenta el sistema, se le debe agregar el valor del mampuesto que se aplique.  Valor calculado en laboratorio acústico aplicando Formula [24] del Cap. 3 de la presente tesis.
			Cámara de aire.	1 cm.		
			Lana mineral ISOVER. 130 Kg/m2.	5 cm.		
			Placa de yeso laminado.	1.5 cm.		
11	P3.2 (ISOVER - SAINT GOBAIN).		Ladrillo cerámico hueco.	5 cm.	24.5 cm.	65.9 dB.  Valor calculado en laboratorio acústico aplicando Formula [24] del Cap. 3 de la presente tesis.
			Ladrillo macizo.	11.5 cm.		
			Lana mineral ISOVER. 289Kg/m2.	5 cm.		
			Revestimiento com mortero por ambas caras.	1.5 cm.		
12	P4.2 (ISOVER - SAINT GOBAIN).		Placa de yes laminar (X4).	1.25 cm.	9.8 cm.	52 dB.  Valor calculado en laboratorio acústico aplicando Formula [24] del Cap. 3 de la presente tesis.
			Fibra de lana mineral 44 Kg/m2. - 44 mm. + Estructura de chapa galvanizada.	4.8 cm.		
13	P4.4 (ISOVER - SAINT GOBAIN).		Placa de yes laminar (X4).	1.25 cm.	14.6 cm.	58 dB.  Valor calculado en laboratorio acústico aplicando Formula [24] del Cap. 3 de la presente tesis.
			Fibra de lana mineral 44 Kg/m2. - 44 mm. + Estructura de chapa galvanizada (X2).	4.8 cm.		



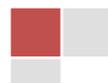
14	P4.8 (ISOVER - SAINT GOBAIN).		Separación entre paneles.	1 cm.	20 cm.	Valor calculado en laboratorio acústico aplicando Formula [24] del Cap. 3 de la presente tesis. 67 dB.
			Placa de yeso laminar (X4).	1.25 cm.		
			Fibra de lana mineral 44 Kg/m2. - 44 mm. + Estructura de chapa galvanizada (X2).	7 cm.		
15	PM-2. (TECSOUND).		Enlucido de yeso (X2).	1.5 cm.	21.5 cm.	125 Hzt = 43.5 dB. 250 Hzt = 40.5 dB. 500 Hzt = 45.0 dB. 1000 Hzt = 49.5 dB. 2000 Hzt = 55.5 dB. 4000 Hzt = 64.0 dB. Valor calculado en laboratorio acústico. Formula [24] del Cap. 3 de la presente tesis.
			Ladrillo hueco (X2).	7 cm.		
			Tecsound 2FT-45.Formato autoabsorbente.	4.5 cm.		
16	TR-1. (TECSOUND).		Enlucido de yeso (X2).	1.5 cm.	28.1 cm.	125 Hzt = 42.0 dB. 250 Hzt = 52.0 dB. 500 Hzt = 56.0 dB. 1000 Hzt = 59.5 dB. 2000 Hzt = 63.0 dB. 4000 Hzt = 61.0 dB. Valor calculado en laboratorio acústico. Formula [24] del Cap. 3 de la presente tesis.
			Ladrillo macizo.	13 cm.		
			Tecsound 2FT-45.Formato autoabsorbente.	4.5 cm.		
			Fibra de vidrio 15 Kg/m2. + Estructura de chapa galvanizada.	5 cm.		
			Placa de yeso laminar. (X2).	1.3 cm.		



## CAPITULO IV



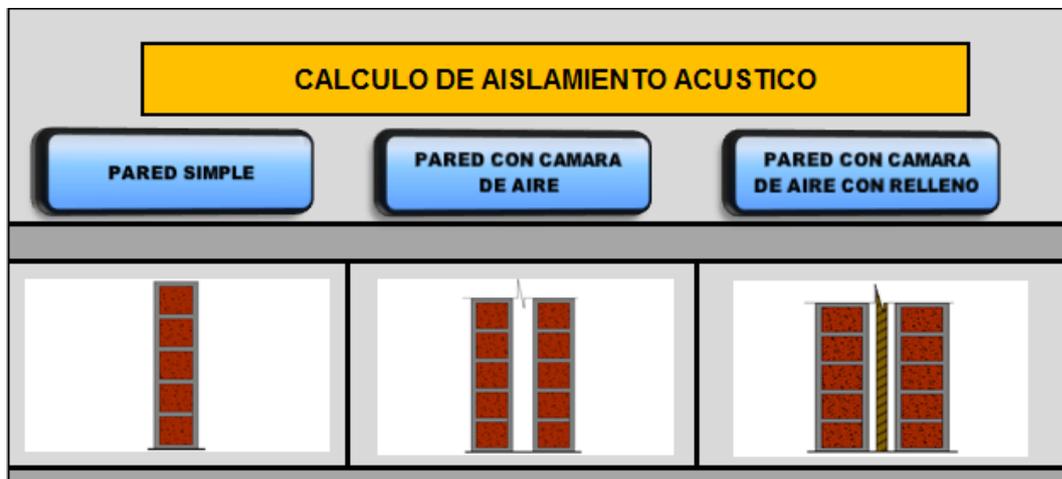
## ALTERNATIVAS PARA CONFORMACION DE MUROS ACUSTICOS



Después de haber analizado los materiales constructivos utilizados en la fabricación de muros en la ciudad de Loja, y luego de haber estudiado principios generales y sistemas de aislamiento acústico, a continuación se procederá a proponer alternativas de muros aislantes en base a los materiales estudiados.

Para el cálculo del aislamiento acústico de los muros a proponer, se ha elaborado una hoja electrónica fundamentada en las ecuaciones y procedimientos expuestos en el capítulo III de la presente investigación, el objetivo de este formato es poder realizar el cálculo del aislamiento de una forma más práctica y eficiente.

La hoja electrónica está dividida en cuatro partes, la primera es un espacio en el cual se selecciona el tipo de muro que se va a utilizar y corresponde al menú de la hoja electrónica, se presentan las tres opciones de análisis que posee: muros de pared simple, muros de pared doble con cámara de aire y muro de pared doble con cámara de aire rellena.



Una vez que se seleccione la opción que se desee utilizar, obtendremos lo siguiente, por ejemplo para paredes simples:

**COMPOSICION DE MURO**

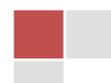
		Espesor (m)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Masa (Kg/m <sup>2</sup> )
Material 1	Ladrillo Macizo	0,15	1800	270
Material 2	Ninguno	0,00	0	0
Revestimiento Interior	Ninguno	0,00	0	0
Revestimiento Exterior	Ninguno	0,00	0	0
<b>TOTAL MASA</b>				<b>270</b>

**AI SLAMI ENTO**

AI SLAMI ENTO (dB)	FRECUENCIAS (Hz)		
	250	500	1000
	44,59	50,61	56,63

**VOLVER A MENU**

- Espacio para seleccionar el material que conformará el muro
- Espacio para seleccionar el material que revestirá el muro
- Total de masa del muro en análisis
- Frecuencias a las cuales se hará el análisis del muro
- Resultado obtenido en decibeles de acuerdo a la frecuencia planteada



Para hacer el análisis de paredes compuestas con cámara de aire a vacío se obtendrá la siguiente hoja electrónica:

PARED CON CAMARA DE AIRE					
PARED SIMPLE		PARED CON CAMARA DE AIRE		PARED CON CAMARA DE AIRE CON RELLENO	
COMPOSICION DE MUROS					
MURO 1			Espesor (m)	Densidad (Kg/m3)	Masa (Kg/m2)
	Material 1	Ninguno	0	0	0
	Material 2	Ninguno	0	0	0
	Revestimiento Interior	Ninguno	0	0	0
	Revestimiento Exterior	Enlucido de hormigon	0,02	1300	26
			TOTAL MASA		26
MURO 2			Espesor (m)	Densidad (Kg/m3)	Masa (Kg/m2)
	Material 1	Ladrillo Hueco	0,12	1000	120
	Material 2	Ninguno	0	0	0
	Revestimiento Interior	Ninguno	0	0	0
	Revestimiento Exterior	Enlucido de Yeso	0,02	1100	22
			TOTAL MASA		142
DIMENSIONES DEL MURO DOBLE					
	Alto del muro h (m)	2,50	Separacion entre muros sugerida (m)		0,05
	Ancho del muro b (m)	3,00	Separacion entre muros seleccionada (m)		0,05
AISLAMIENTO DE MURO 1					
			FRECUENCIAS (Hz)		
	AISLAMIENTO (dB)	250	500	1000	
		24,26	30,28	36,30	
AISLAMIENTO DE MURO 2					
			FRECUENCIAS (Hz)		
	AISLAMIENTO (dB)	250	500	1000	
		39,00	45,93	54,95	
FRECUENCIAS DEL MURO DOBLE					
	Frecuencia de Resonancia (fr)	57,24	Frecuencia de la cavidad (fr1)	3430,00	
AISLAMIENTO DEL MURO DOBLE					
			FRECUENCIAS (Hz)		
	AISLAMIENTO (dB)	250	500	1000	
		28,90	40,34	52,30	
		VOLVER A MENU			

→ Espacio para seleccionar el material del muro 1 y el tipo de revestimiento que llevaría

→ Espacio para seleccionar el material del muro 2 y el tipo de revestimiento que llevaría

→ Aquí se colocara las dimensiones del muro, esto quiere decir, separación entre muros, largo y ancho

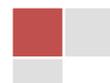
→ Aislamiento acústico únicamente del muro 1 a las frecuencias especificadas

→ Aislamiento acústico únicamente del muro 2 a las frecuencias especificadas

→ Frecuencias del muro compuesto

→ Aislamiento Total que presenta el muro múltiple de acuerdo a las frecuencias

Esta hoja electrónica desde la parte superior empieza mostrando opciones de muros y revestimientos, de acuerdo a una base de datos del estudio de los materiales más comunes en la aplicación de muros en la ciudad de Loja, una vez que se selecciona los muros que van a componer el muro compuesto se ingresan datos de dimensiones de los muros, seguidamente la hoja electrónica nos calcula automáticamente el aislamiento acústico que presenta cada muro por separado de acuerdo a unas frecuencias ya establecidas esto con el fin de poder aplicar la ecuación del cálculo de aislamiento acústico del muro múltiple, y así al final la hoja electrónica arroja los datos del aislamiento total.

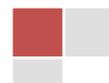


Así mismo si en el menú inicial se selecciona el acceso a paredes múltiples con cámara de aire con relleno, lo que se obtendrá será la siguiente hoja electrónica:

PARED CON CAMARA DE AIRE CON RELLENO					
PARED SIMPLE		PARED CON CAMARA DE AIRE		PARED CON CAMARA DE AIRE CON RELLENO	
COMPOSICION DE MUROS					
MURO 1	Esesor (m)	Densidad (Kg/m3)	Masa (Kg/m2)		
Material 1	Ladrillo Macizo	0,15	1800	270	Espacio para seleccionar el material del muro 1 y el tipo de revestimiento que llevaría
Material 2	Ninguno	0	0	0	
Revestimiento Interior	Ninguno	0	0	0	
Revestimiento Exterior	Enlucido de hormigon	0,02	1300	26	
TOTAL MASA				296	
MURO 2	Esesor (m)	Densidad (Kg/m3)	Masa (Kg/m2)		
Material 1	Ladrillo Hueco	0,12	1000	120	Espacio para seleccionar el material del muro 2 y el tipo de revestimiento que llevaría
Material 2	Ninguno	0	0	0	
Revestimiento Interior	Ninguno	0	0	0	
Revestimiento Exterior	Enlucido de Yeso	0,02	1100	22	
TOTAL MASA				142	
DIMENSIONES DEL MURO DOBLE					
Alto del muro h (m)	2,50	Separacion entre muros sugerida (m)	0,01	Aquí se colocara las dimensiones del muro, esto quiere decir, separación entre muros, largo y ancho	
Ancho del muro b (m)	3,00	Separacion entre muros seleccionada (m)	0,05		
AISLAMIENTO DE MURO 1					
AISLAMIENTO (dB)	FRECUENCIAS (Hz)				
	250	500	1000		
	45,38	51,41	57,43	Aislamiento acústico únicamente del muro 1 a las frecuencias especificadas	
AISLAMIENTO DE MURO 2					
AISLAMIENTO (dB)	FRECUENCIAS (Hz)				
	250	500	1000		
	39,00	45,03	51,05	Aislamiento acústico únicamente del muro 2 a las frecuencias especificadas	
FRECUENCIAS DEL MURO DOBLE					
Frecuencia de Resonancia (fr)	27,35	Frecuencia de la cavidad (fr1)	3430,00	Frecuencias del muro compuesto	
MATERIAL DE RELLENO					
SELECCION MATERIAL	MATERIAL	COEFICIENTE $\alpha$	FACTOR $\alpha^2$	Selección de material de relleno	
	uma de poliuret	0,71	0,0355		
AISLAMIENTO DEL MURO DOBLE					
AISLAMIENTO (dB)	FRECUENCIAS (Hz)				
	250	500	1000		
	58,53	70,58	82,62	Aislamiento Total que presenta el muro múltiple de acuerdo a las frecuencias	
VOLVER A MENU					

Esta hoja electrónica tiene en realidad el mismo funcionamiento de la hoja utilizada para el cálculo del aislamiento acústico de muros múltiples con cámara de aire al vacío, la única diferencia es que en esta hoja existe un apartado específico para seleccionar el material aislante que se va a colocar en el interior de las paredes múltiples.

A continuación se realizarán propuestas de conformación de muros utilizando los materiales de mayor uso en la ciudad de Loja, para la obtención de los valores de aislamiento acústico de cada muro propuesto se ha utilizado la hoja electrónica antes expuesta.



Para las combinaciones de los muros que se van a proponer se ha partido de una clasificación personal de subdivisión de los distintos tipos de muros existentes en la ciudad en base al peso que presenta cada uno de ellos:

CLASIFICACION DE MUROS EXISTENTES EN LOJA DE ACUERDO A SU PESO.			
MUROS LIGEROS		MUROS PESADOS	
DESCRIPCION	PESO (Kg/m <sup>2</sup> )	DESCRIPCION	PESO (Kg/m <sup>2</sup> )
TABIQUE DE GYPSUM	10,45	MURO DE LADRILLO MACIZO DE 15 cm	270
TABIQUE DE FIBROCEMENTO	12,15	MURO DE LADRILLO HUECO DE 12 cm	120
TABIQUE DE Fibra de Densidad Media (MDF)	24	MURO DE BLOQUE DE HORMIGON DE 14 cm	238
TABIQUE DE HORMI2	29	MURO DE HORMIGON DE 12cm	276
		MURO DE ADOBE	300

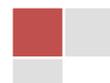
## 1. CONFORMACION DE MUROS MULTIPLES CON CAMARA DE AIRE AL VACIO.

### 1.1 MUROS DOBLES O MULTIPLES CONFORMADOS POR EL MISMO MATERIAL

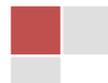
El objetivo de proponer muros dobles conformados por los mismos materiales, es verificar de esta forma cual es el material más idóneo en el caso que se desee realizar una edificación únicamente aplicando un solo tipo de material en los muros, además mediante esta aplicación se puede conocer el verdadero valor aislante de cada material ya que no está combinado con ningún otro.

84

MUROS DOBLES CONFORMADOS POR EL MISMO MATERIAL				
NUM	DESCRIPCION	ESQUEMA	AISLAMIENTO	
			FRECUENCIA (Hz)	AISLAMIENTO (dB)
1	1 Bloque de adobe 2 Mortero de tierra		250	56
			500	68
			1000	80
			2000	92
2	1 Mortero de Hormigón. 2 Ladrillo macizo de 15 cm		250	56,17
			500	68,21
			1000	80,25
			2000	92,29



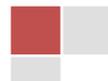
3	1 Mortero de Hormigón. 2 Ladrillo Hueco de 12 cm		250	46,56
			500	58,61
			1000	70,65
			2000	82,69
4	1 Mortero de Hormigón. 2 Bloque de Hormigón de 14 cm		250	52,61
			500	64,65
			1000	76,7
			2000	88,74
5	1 Muro de Hormigón de 12 cm		250	58,11
			500	70,15
			1000	82,19
			2000	94,23
6	1 Vidrio de 4mm de espesor		250	10,42
			500	22,46
			1000	34,5
7	1 Vidrio de 6mm de espesor		250	14,14
			500	26,18
			1000	38,22
8	1 Vidrio de 8mm de espesor		250	17,2
			500	29,24
			1000	41,28



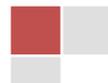
9	1 Mortero de Hormigón. 2 Plancha de Poliestireno de 10cm		250	19,57
			500	31,61
			1000	43,65
			2000	55,69
10	1 Bastidor de Madera 2 Plancha de MDF		250	18,78
			500	30,82
			1000	42,86
			2000	54,9
11	1 Bastidor de Metal 2 Plancha de Fibrocemento		250	12,55
			500	24,59
			1000	36,63
			2000	58,56
12	1 Bastidor de metal 2 Plancha de Gypsum		250	10,36
			500	22,4
			1000	34,44
			2000	46,48

**1.2 MUROS DOBLES DE MUROS PESADOS CON LIGEROS**

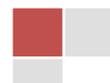
Una gran cantidad de autores entendidos en el tema de acústica y aislamiento de muros; coincide con la teoría de que para obtener un aislamiento más eficiente y de menor volumen en construcción; lo que se debe realizar es la construcción de muros dobles a base un material de alto valor en masa y otro de bajo valor en masa, esto con el objetivo de que el efecto de resonancia no afecte al sistema por igual. Serán de mucha utilidad en el caso que se desee aislar un espacio en el cual ya hayan paredes construidas; así mismo si conformamos muros dobles con paredes ligeras y pesadas tenemos la ventaja que su superficie de ocupación no va a ser muy alto y a cambio obtendremos valores de aislamiento bastante considerables.



CONFORMACION DE MUROS CON MATERIALES PESADOS Y LIGEROS				
NUM.	DESCRIPCION	ESQUEMA	AISLAMIENTO	
			FRECUENCIA (Hz)	AISLAMIENTO (dB)
13	1 Mortero de Hormigón. 2 Ladrillo macizo de 15 cm 3 Bastidor de metal 4 Plancha de Gypsum		250	32.58
			500	44.62
			1000	56.66
			2000	68.70
14	1 Mortero de Hormigón. 2 Ladrillo macizo de 15 cm 3 Bastidor de metal 4 Plancha de Fibrocemento		250	32.97
			500	45.02
			1000	57.06
			2000	69.10
15	1 Mortero de Hormigón. 2 Ladrillo macizo de 15 cm 3 Bastidor de madera 4 Plancha de MDF		250	33.78
			500	45.82
			1000	57.86
			2000	69.91
16	1 Mortero de Hormigón. 2 Ladrillo macizo de 15 cm 3 Plancha de poliestireno de 10 cm		250	35.43
			500	47.47
			1000	59.51
			2000	71.55
17	1 Mortero de Hormigón. 2 Ladrillo Hueco de 12cm 3 Bastidor de metal 4 Plancha de Gypsum		250	27.12
			500	39.16
			1000	51.20
			2000	63.24
18	1 Mortero de Hormigón. 2 Ladrillo Hueco de 12cm 3 Bastidor de metal 4 Plancha de Fibrocemento		250	26.84
			500	38.88
			1000	50.92
			2000	62.96
19	1 Mortero de Hormigón. 2 Ladrillo Hueco de 12cm 3 Bastidor de madera 4 Plancha de MDF		250	30.26
			500	42.30
			1000	54.34
			2000	66.38



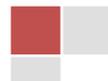
20	1 Mortero de Hormigón. 2 Ladrillo Hueco de 12cm 3 Plancha de poliestireno de 10 cm		250	31.30
			500	43.34
			1000	55.38
			2000	67.42
21	1 Mortero de Hormigón. 2 Bloque de Hormigón de 14cm 3 Bastidor de metal 4 Plancha de Gypsum		250	31.48
			500	43.52
			1000	55.56
			2000	67.60
22	1 Mortero de Hormigón. 2 Bloque de Hormigón de 14cm 3 Bastidor de metal 4 Plancha de Fibrocemento		250	33.04
			500	45.08
			1000	57.12
			2000	69.16
23	1 Mortero de Hormigón. 2 Bloque de Hormigón de 14cm 3 Bastidor de madera 4 Plancha de MDF		250	36.20
			500	48.24
			1000	60.29
			2000	72.33
24	1 Mortero de Hormigón. 2 Bloque de Hormigón de 14cm 3 Plancha de poliestireno de 10cm		250	37.85
			500	49.89
			1000	61.93
			2000	73.97
25	1 Muro de Hormigón de 12cm 2 Bastidor de metal 3 Plancha de Gypsum		250	32.77
			500	44.81
			1000	58.85
			2000	68.89



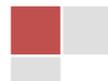
26	1 Muro de Hormigón de 12cm 2 Bastidor de metal 3 Plancha de Fibrocemento		250	34.32
			500	46.36
			1000	58.40
			2000	70.45
27	1 Muro de Hormigón de 12cm 2 Bastidor de madera 3 Plancha de MDF		250	36.89
			500	48.93
			1000	60.97
			2000	73.01
28	1 Mortero de Hormigón 2 Muro de Hormigón de 12cm 3 Plancha de poliestireno de 10cm		250	38.53
			500	50.58
			1000	62.62
			2000	74.66
29	1 Adobe 2 Mortero de hormigón 3 Plancha de poliestireno de 10cm 4 mortero de tierra		250	51
			500	63
			1000	75
			2000	87

**1.3 MUROS DOBLES DE MUROS LIGEROS CON LIGEROS**

A continuación una propuesta de muros conformados por muros ligeros, como es lógico es de esperar que sus resultados en cuanto al aislamiento sea deficiente por dos factores principalmente; primero porque debido a su poca masa el aislamiento que presentaran es muy bajo y poco considerable, y segundo porque debido a su deficiente masa van a tener que separarse mucho para evitar el efecto de resonancia de la cavidad lo que es perjudicial para el aprovechamiento de la superficie en un espacio arquitectónico.



CONFORMACION DE MUROS UNICAMENTE CON MATERIALES LIGEROS				
NUM.	DESCRIPCION	ESQUEMA	AISLAMIENTO	
			FRECUENCIA (Hz)	AISLAMIENTO (dB)
30	1 Bastidor de metal 2 Plancha de Gypsum 3 Plancha de Fibrocemento		250	11.22
			500	23.26
			1000	35.30
31	1 Bastidor de metal 2 Plancha de Gypsum 3 Bastidor de madera 4 Plancha de MDF		250	14.48
			500	26.52
			1000	38.56
32	1 Bastidor de metal 2 Plancha de Gypsum 3 Hormi2		250	16.12
			500	28.16
			1000	40.20
33	1 Bastidor de metal 2 Plancha de Fibrocemento 3 Bastidor de madera 4 Plancha de MDF		250	15.14
			500	27.18
			1000	39.22
34	1 Bastidor de metal 2 Plancha de Fibrocemento 3 Hormi2		250	16.09
			500	28.13
			1000	40.17
			2000	52.21

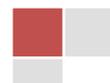


Los resultados obtenidos evidencian como se preveía una deficiente capacidad aislante por motivos antes mencionados, por lo tanto se procurara no tomarlos en cuenta para aislamiento, salvo el caso que en el transcurso de esta propuesta se note una mejora de aislamiento con aplicación de material aislante en el interior de su cámara de aire.

**1.4 MUROS DOBLES DE MUROS PESADOS CON PESADOS**

El objetivo primordial de esta investigación de tesis es llegar a concluir cuales son los materiales más idóneos para el aislamiento acústico, por lo tanto es necesario realizar un análisis y propuesta de cada uno de los materiales antes ya reconocidos, ahora bien la propuesta siguiente consiste en aplicar muros dobles conformados por mampuestos de materiales pesados y de alta densidad cuya aplicación sirva especialmente en lugares y espacios donde se requiera de un alto valor de aislamiento acústico, dicha propuesta se ve respaldada por la teoría de la ley de masas la misma que consiste en aclarar que los materiales más idóneos para el aislamiento son los que posean una densidad muy elevada y por consecuencia una masa de características pesada.

CONFORMACION DE MUROS CON MATERIALES PESADOS				
NUM.	DESCRIPCION	ESQUEMA	AISLAMIENTO	
			FRECUENCIA (Hz)	AISLAMIE NTO (dB)
35	1 Mortero de hormigón 2 Ladrillo Macizo de 15cm 3 Ladrillo hueco de 12 cm		250	47.76
			500	59.80
			1000	71.84
			2000	83.88
36	1 Mortero de hormigón 2 Ladrillo Macizo de 15cm 3 Bloque de Hormigón de 14cm		250	53.70
			500	65.75
			1000	77.79
			2000	89.83
37	1 Mortero de hormigón 2 Ladrillo Macizo de 15cm 3 Muro de hormigón de 12cm		250	54.99
			500	67.03
			1000	79.07
			2000	91.11



38	1 Mortero de hormigón 2 Ladrillo Hueco de 12cm 3 Bloque de Hormigón de 14cm		250	46.66
			500	58.70
			1000	70.74
			2000	82.78
39	1 Mortero de hormigón 2 Ladrillo Hueco de 12cm 3 Bloque de Hormigón de 14cm		250	47.95
			500	59.99
			1000	72.03
			2000	84.07
40	1 Mortero de hormigón 2 Bloque de hormigón de 14cm 3 Muro de hormigón de 12cm		250	53.90
			500	65.94
			1000	77.98
			2000	90.02

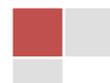
92

Este tipo de sistemas de conformación de muros presentan muy buenas características de aislamiento acústico, así mismo su rango de acción es muy elevado debido a que por su elevado valor de peso es complicado que entre en vibración a frecuencias bajas; esto quiere decir que presentan un aislamiento muy bueno para la mayoría de las frecuencias de incidencia más comunes.

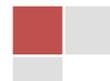
## 2. CONFORMACION DE MUROS MULTIPLES CON CAMARA DE AIRE CON MATERIAL DE RELLENO

### 2.1 MUROS CONFORMADOS POR MATERIALES PESADOS Y LIGEROS

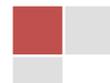
Como ya mencionamos anteriormente y en el transcurso de la presente investigación, es muy recomendable conformar muros de diferentes masas, en especial las combinaciones de muros ligeros y pesados, en la propuesta siguiente se plantean diversas combinaciones antes ya analizadas pero con la característica que su cámara de aire estaba al vacío es decir sin material aislante en su interior, ahora propondré muros dobles con material de relleno en su interior con el objetivo de mejorar y analizar dicha mejora en los muros, cada vez que se aplique un material de relleno en su cámara de aire.



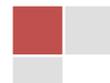
CONFORMACION DE MUROS CON MATERIALES PESADOS Y LIGEROS				
NUM.	DESCRIPCION	ESQUEMA	AISLAMIENTO	
			FRECUENCIA (Hz)	AISLAMIENTO (dB)
41	1 Mortero de Hormigón. 2 Ladrillo macizo de 15 cm 3 Absorbente a base de corcho 4 Bastidor de metal 5 Plancha de Gypsum		250	41.15
			500	53.19
			1000	65.24
			2000	77.28
42	1 Mortero de Hormigón. 2 Ladrillo macizo de 15 cm 3 Espuma de poliuretano 4 Bastidor de metal 5 Plancha de Fibrocemento		250	42.40
			500	54.44
			1000	66.48
			2000	78.53
43	1 Mortero de Hormigón. 2 Ladrillo macizo de 15 cm 3 Absorbente de Fibra de Amianto 4 Bastidor de madera 5 Plancha de MDF		250	44.83
			500	56.87
			1000	68.92
			2000	80.96
44	1 Mortero de Hormigón. 2 Ladrillo macizo de 15 cm 3 Fibra de Vidrio 4 Plancha de poliestireno de 10 cm		250	47.27
			500	59.31
			1000	71.35
			2000	83.39
45	1 Mortero de Hormigón. 2 Ladrillo Hueco de 12cm 3 Lana mineral 4 Bastidor de metal 5 Plancha de Gypsum		250	35.00
			500	47.04
			1000	59.08
			2000	71.12



46	1 Mortero de Hormigón. 2 Ladrillo Hueco de 12cm 3 Lana de Roca 4 Bastidor de metal 5 Plancha de Fibrocemento		250	36.53
			500	48.57
			1000	60.61
			2000	72.65
47	1 Mortero de Hormigón. 2 Ladrillo Hueco de 12cm 3 Fibra de madera comprimida 4 Bastidor de madera 5 Plancha de MDF		250	36.98
			500	49.03
			1000	61.07
			2000	73.11
48	1 Mortero de Hormigón. 2 Ladrillo Hueco de 12cm 3 Corcho 4 Plancha de poliestireno de 10 cm		250	39.80
			500	51.92
			1000	63.96
			2000	76.00
49	1 Mortero de Hormigón. 2 Bloque de Hormigón de 14cm 3 Espuma de poliuretano 4 Bastidor de metal 5 Plancha de Gypsum		250	40.00
			500	52.04
			1000	64.08
			2000	76.12
50	1 Mortero de Hormigón. 2 Bloque de Hormigón de 14cm 3 Lana Mineral 4 Bastidor de metal 5 Plancha de Fibrocemento		250	41.43
			500	53.47
			1000	65.51
			2000	77.55
51	1 Mortero de Hormigón. 2 Bloque de Hormigón de 14cm 3 Lana de Roca 4 Bastidor de madera 5 Plancha de MDF		250	45.29
			500	57.33
			1000	69.36
			2000	81.42



52	1 Mortero de Hormigón. 2 Bloque de Hormigón de 14cm 3 Corcho 4 Plancha de poliestireno de 10cm		250	45.83
			500	57.87
			1000	69.91
			2000	81.95
53	1 Muro de Hormigón de 12cm 2 Bastidor de metal 3 Fibra de amianto 4 Plancha de Gypsum		250	40.96
			500	53.00
			1000	65.05
			2000	77.09
54	1 Muro de Hormigón de 12cm 2 Bastidor de metal 3 Espuma de poliuretano 4 Plancha de Fibrocemento		250	42.66
			500	54.70
			1000	66.74
			2000	78.78
55	1 Muro de Hormigón de 12cm 2 Bastidor de madera 3 Fibra de vidrio 4 Plancha de MDF		250	45.47
			500	57.51
			1000	69.55
			2000	81.59
56	1 Mortero de Hormigón 2 Muro de Hormigón de 12cm 3 Lana de roca 4 Plancha de poliestireno de 10cm		250	48.29
			500	60.33
			1000	72.37
			2000	84.41
57	1 Adobe 2 Mortero de hormigón 3 Poliestireno 10 cm 4 Mortero de tierra 5 Corcho aglomerado		250	59
			500	71
			1000	83
			2000	95

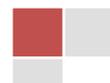


Al ser una de las composiciones más eficientes aquellas que están conformados por un material pesado y otro por un material ligero; en la tabla antes expuesta se ha planteado colocar un material absorbente en el interior; con el objetivo de demostrar al máximo las características de aislamiento que pueden llegar a alcanzar cada uno de estos sistemas propuestos.

**2.2 MUROS CONFORMADOS POR MATERIALES LIGEROS**

En el apartado anterior de la presente investigación referente al aislamiento de los muros dobles conformados por materiales livianos en cuanto, a su peso ya se habló de que su eficiencia en el aislamiento acústico dejaba mucho que desear, es por eso que se ha aplicado un material de relleno en su interior para de esta forma proponer muros con materiales livianos y que sean eficientes en su aislamiento, a continuación unas propuestas de este tipo de muros.

CONFORMACION DE MUROS CON MATERIALES LIGEROS				
NUM.	DESCRIPCION	ESQUEMA	AISLAMIENTO	
			FRECUENCIA (Hz)	AISLAMIENTO (dB)
58	1 Bastidor de metal 2 Plancha de Gypsum 3 Corcho 4 Plancha de Fibrocemento		250	19.79
			500	31.83
			1000	43.88
59	1 Bastidor de metal 2 Plancha de Gypsum 3 Espuma de poliuretano 4 Bastidor de madera 5 Plancha de MDF		250	22.99
			500	35.03
			1000	47.07
60	1 Mortero de Hormigón 2 Bastidor de metal 3 Lana de Roca 4 Plancha de Gypsum 5 Plancha de poliestireno de 10cm		250	25.81
			500	37.85
			1000	49.89
61	1 Bastidor de metal 2 Plancha de fibrocemento 3 Corcho 4 Bastidor de madera 5 Plancha de MDF		250	23.66
			500	35.70
			1000	47.74



62	1 Mortero de hormigón 2 Bastidor de metal 3 Lana mineral 4 Plancha de Fibrocemento 5 Plancha de poliestireno de 10cm		250	24.73
			500	36.77
			1000	48.81
			2000	60.85
63	1 Mortero de hormigón 2 Plancha de poliestireno de 10cm 3 Fibra de amianto 4 Bastidor de madera 5 Plancha de MDF		250	30.14
			500	42.18
			1000	54.22
			2000	66.26

Sin duda alguna que una de las composiciones o sistemas expuestos más débiles en cuanto al aislamiento acústico son los sistemas conformados por materiales livianos en ambas hojas, es así que la tabla expuesta pretende dar a conocer los valores de mejora del aislamiento acústico si a estos sistemas se les aplica una capa de material absorbente en su interior con el fin de amortiguar la sondas sonoras que se emiten al atravesar la primera hoja del muro doble.

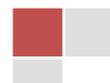
### 3. MATERIALES AISLANTES ACUSTICOS PARA MUROS RECOMENDABLES

Dentro del interés de realizar algunas propuestas de muros dobles conformados por distintos materiales existentes en el medio, estaba el poder deducir de manera matemática y evidente cuales serían las opciones más idóneas y recomendadas de acuerdo a los requerimientos de aislamiento que se puede llegar a tener; así entonces se tendría:

#### 3.1 MUROS DOBLES CON CAMARA DE AIRE

Los muros dobles en los cuales no se coloca ningún tipo de material absorbente en su interior deben ser de masa muy pesada para poder cumplir con una eficiencia en el aislamiento, esto debido a que las ondas acústicas se encierran en el interior de la cámara de aire y provoca resonancia, es así entonces que las siguientes composiciones son las más óptimas para la aplicación en cuanto a muros se refiere; no sin antes mencionar que las demás realizadas son también muy eficientes y que se las puede utilizar de acuerdo a los requerimientos en cualquier momento.

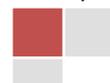
NUM.	DESCRIPCION	ESQUEMA	AISLAMIENTO	
			FRECUENCIA (Hz)	AISLAMIENTO (dB)
2	1 Mortero de Hormigón. 2 Ladrillo macizo de 15 cm		250	56.17
			500	68.21
			1000	80.25
			2000	92.29



4	1 Mortero de Hormigón. 2 Bloque de Hormigón de 14 cm		250	52.61
			500	64.65
			1000	76.70
			2000	88.71
5	1 Muro de Hormigón de 12 cm		250	58.11
			500	70.15
			1000	82.14
			2000	92.23
36	1 Mortero de hormigón 2 Ladrillo Macizo de 15cm 3 Bloque de Hormigón de 14cm		250	53.70
			500	65.75
			1000	77.79
			2000	89.83
37	1 Mortero de hormigón 2 Ladrillo Macizo de 15cm 3 Muro de hormigón de 12cm		250	54.94
			500	67.03
			1000	79.07
			2000	91.11
40	1 Mortero de hormigón 2 Bloque de hormigón de 14cm 3 Muro de hormigón de 12cm		250	53.90
			500	65.94
			1000	77.98
			2000	90.02

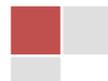
### 3.2 MUROS DOBLES CON MATERIAL DE RELLENO EN SU INTERIOR

El diseño de muros dobles con material de relleno en su cámara de aire es un sistema de aprovechamiento al máximo de las características acústicas que puedan presentar los materiales de construcción, este tipo de muros tienen la ventaja que necesitan menos masa y ocupan menos espacio en cuanto a la superficie del espacio para poder aislar de manera eficaz y eficiente debido a la colocación de material de relleno que aparte de aumentar la masa que



se va a oponer al paso de las ondas también colabora con el amortiguamiento y disipación en forma de calor de las ondas acústicas encerradas en la cámara de aire.

NUM.	DESCRIPCION	ESQUEMA	AISLAMIENTO	
			FRECUENCIA (Hz)	AISLAMIENTO (dB)
43	1 Mortero de Hormigón. 2 Ladrillo macizo de 15 cm 3 Absorbente de Fibra de Amianto 4 Bastidor de madera 5 Plancha de MDF		250	44.83
			500	56.87
			1000	68.92
			2000	80.96
44	1 Mortero de Hormigón. 2 Ladrillo macizo de 15 cm 3 Fibra de Vidrio 4 Plancha de poliestireno de 10 cm		250	47.27
			500	59.31
			1000	71.35
			2000	83.39
51	1 Mortero de Hormigón. 2 Bloque de Hormigón de 14cm 3 Lana de Roca 4 Bastidor de madera 5 Plancha de MDF		250	45.29
			500	57.33
			1000	69.36
			2000	81.42
52	1 Mortero de Hormigón. 2 Bloque de Hormigón de 14cm 3 Corcho 4 Plancha de poliestireno de 10cm		250	45.83
			500	57.87
			1000	69.91
			2000	81.95
55	1 Muro de Hormigón de 12cm 2 Bastidor de madera 3 Fibra de vidrio 4 Plancha de MDF		250	45.57
			500	57.57
			1000	69.55
			2000	81.59

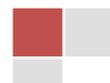


56	1 Mortero de Hormigón 2 Muro de Hormigón de 12cm 3 Lana de roca 4 Plancha de poliestireno de 10cm		250	48.29
			500	60.33
			1000	72.37
			2000	84.41

**3.3 TABLA RESUMEN DE LOS MUROS PROPUESTOS Y RUIDOS QUE PODRIAN SOPORTAR**

A continuación una tabla resumen del aislamiento de muros en este capítulo propuestos en función de los ruidos más comunes y frecuentes que podrían soportar y generar condiciones de habitabilidad y confort acústico.

DESCRIPCION DEL RUIDO.	FRECUENCIA (Hz)	RUIDO QUE EMITE (dB).	NUMERO DEL SISTEMA DE MURO QUE PODRIA SOPORTAR
Paso de camiones.	1000	90	1,4,32,35
Calle ruidosa.	1000	90	1,4,32,35
Fabricas ruidosas.	1000	90	1,4,32,35
Talleres metalúrgicos.	1000	90	1,4,32,35
Aparato de radio muy fuerte en habitación.	1000	90	1,4,32,35
Estallido de un neumático a 3.5 m.	1000	90	1,4,32,35
Cine.	1000	80	2,3,30,31,33,34,38,39,46,47,50,51
Rotativas de imprenta.	1000	80	2,3,30,31,33,34,38,39,46,47,50,51
Despachos ruidosos.	1000	80	2,3,30,31,33,34,38,39,46,47,50,51
Vestíbulos de estación.	1000	80	2,3,30,31,33,34,38,39,46,47,50,51
Restaurantes.	1000	80	2,3,30,31,33,34,38,39,46,47,50,51
Sala de acondicionamiento de un gran hotel.	500	70	15,22,23,25,26,27,36,37,40,41,42,43,44,45,48,49
Gritos.	500	70	15,22,23,25,26,27,36,37,40,41,42,43,44,45,48,49
Asamblea general de la ONU.	500	70	15,22,23,25,26,27,36,37,40,41,42,43,44,45,48,49
Calle semiruidosa.	500	70	15,22,23,25,26,27,36,37,40,41,42,43,44,45,48,49
Subcentral eléctrica.	500	70	15,22,23,25,26,27,36,37,40,41,42,43,44,45,48,49
Grandes oficinas.	500	70	15,22,23,25,26,27,36,37,40,41,42,43,44,45,48,49



Grandes almacenes.	500	70	15,22,23,25,26,27,36,37,40,41,42,43,44,45,48,49
Sala de mecanografía.	500	70	15,22,23,25,26,27,36,37,40,41,42,43,44,45,48,49
Despachos pequeños.	250	60	12,13,14,16,17,18,19,20,21,24,56,57
Calle con tráfico normal.	250	60	12,13,14,16,17,18,19,20,21,24,56,57
Ruidos de la calle.	250	60	12,13,14,16,17,18,19,20,21,24,56,57
Ventiladores.	250	50	8,9,10
Aspiradoras.	250	50	8,9,10
Calle tranquila.	250	50	8,9,10
Vivienda de tipo medio sin radio.	250	50	8,9,10
Automóvil silencioso.	250	50	8,9,10
Conversación media.	250	50	8,9,10
Intensidad media en grandes almacenes.	250	50	8,9,10
Despacho particular.	125	40	7,11,52,53,54,55
Teatro en una zona normal.	125	40	7,11,52,53,54,55
Conversación normal.	125	40	7,11,52,53,54,55
Aula de escuela aislada del tráfico.	125	40	7,11,52,53,54,55
Teatro vacío.	125	30	5,6,28,29
Estudio de radiodifusión.	125	30	5,6,28,29
Residencia en barrio tranquilo.	125	30	5,6,28,29
Jardín muy tranquilo.	125	30	5,6,28,29
Conversación en voz baja.	125	20	TODOS LOS ANTERIORES
Murmullo.	125	10	TODOS LOS ANTERIORES
Reloj.	125	10	TODOS LOS ANTERIORES

### 3.4 FACTIBILIDAD DE USO DE MATERIALES

En el siguiente apartado se hará un análisis de costos de cada material y combinaciones más apropiadas de acuerdo al metro cuadrado del material, esto nos servirá para conocer la factibilidad de cada material y poder tener un estimado de cuanto nos puede costar una obra con o sin muros aislantes.

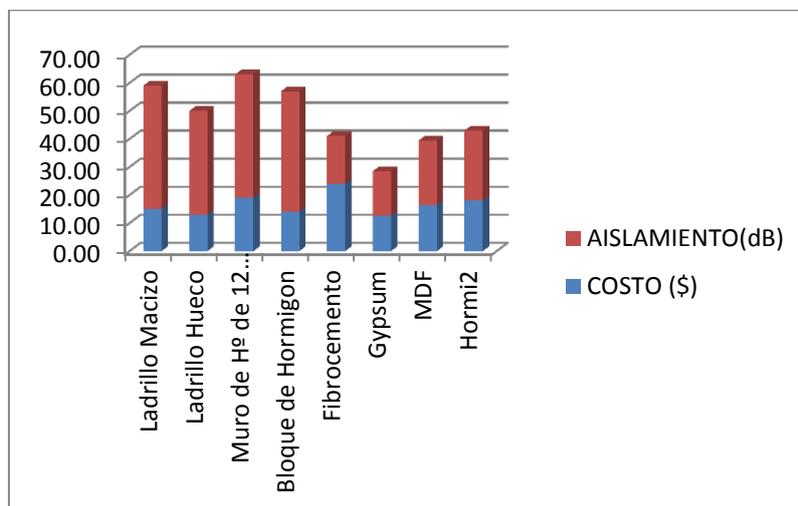
Para iniciar se dará a conocer el costo por metro cuadrado de cada material.

COSTOS POR m2	
Material (m2)	Valor (\$)
Ladrillo Macizo	15
Ladrillo Hueco	13
Muro Hº de 12 cm	19
Bloque de Hº	14



Fibrocemento	24
Gypsum	12,5
MDF	16,47
Hormi2	18

Tabla.4.1. Costo por m2 de cada material  
Elaboración: El autor. Fuente: Revista de la cámara de la construcción 2010



Por medio del presente grafico se explica la relación costo- aislamiento; así nos podremos dar cuenta que no siempre el material más costoso es el más eficiente a la hora de aislar acústicamente un espacio.

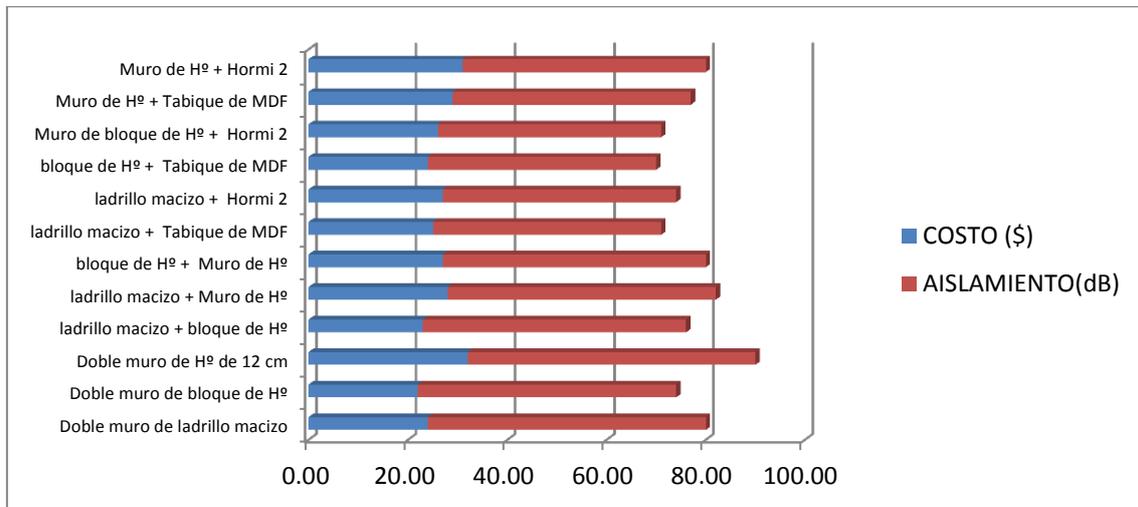
El costo aproximado de los muros más idóneos seleccionados luego de la propuesta de la presente investigación.

COSTO DE MUROS MAS IDONEOS		
NUM.	DESCRIPCION MATERIAL (m2)	Valor (\$)
1	Doble muro de ladrillo macizo	24
3	Doble muro de bloque de Hº	22
4	Doble muro de Hº de 12 cm	32
34	Muro de ladrillo macizo + Muro de bloque de Hº	23
35	Muro de ladrillo macizo + Muro de Hº	28
38	Muro de bloque de Hº + Muro de Hº	27
41	Muro de ladrillo macizo + Tabique de MDF	25
42	Muro de ladrillo macizo + Hormi 2	27
49	Muro de bloque de Hº + Tabique de MDF	24
50	Muro de bloque de Hº + Hormi 2	26
53	Muro de Hº + Tabique de MDF	29
54	Muro de Hº + Hormi 2	31

En el siguiente grafico se explica que a pesar que el costo ha subido un poco en relación a la tabla 4.1 el nivel de aislamiento es sumamente superior quedando demostrado que los muros



dobles son más eficientes a la hora de aislar a pesar que su costo suba un poco; el beneficio es mayor a su costo.



Así mediante estos valores podemos notar que existe un aproximado del 62% de incremento en el costo de un muro doble en relación al costo de un muro simple, tomando en cuenta que si bien es cierto es un gasto un poco mayor al común en nada se compara al confort acústico que va a brindar la edificación y por consecuencia al usuario.

#### 4. VERIFICACION DE HIPOTESIS

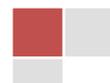
La hipótesis planteada al inicio del proyecto de tesis: **“El uso de muros simples en una obra arquitectónica conlleva a un mayor grado de transmisión de ruido generando bajas condiciones de confort acústico”**; ha sido verificada llegando a comprobar que para aislar un espacio arquitectónico cualquiera que sea es necesario un tratamiento determinado para cada caso, es decir si aplicamos un muro simple compuesto por una sola hoja el aislamiento acústico será más bajo que si aplicamos un muro de dos o más hojas, ya que la diferencia entre un sistema y otro difiere entre el 36 y 40 % de eficiencia para muros dobles dependiendo del material que se utilice.

En la pag. 64 de la presente tesis nos damos cuenta el aislamiento que presenta cada material estudiado de acuerdo a la frecuencia a la que se ve afectada; mientras que si comparamos con los datos obtenidos en las páginas correspondientes al capítulo cuatro referente a los valores de aislamiento acústico de paredes dobles nos daremos cuenta que los valores que se obtienen en el cálculo del aislamiento acústico son mucho más eficientes a la hora de aislar que los valores de los muros simples, comprobando con esto de manera matemática la hipótesis planteada al inicio de la tesis.



## 5. CONCLUSIONES

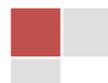
- El aislamiento de un elemento constructivo va a estar fundamentado en función de sus propiedades mecánicas y de la denominada ley de masas; así por ejemplo los valores que se desee obtener en un sistema de aislamiento siempre van a estar enmarcados en la frecuencia del sonido incidente y en la masa que posee el elemento vertical que se desee utilizar para separar los espacios.
- Los valores obtenidos en la aplicación de muros simples son muy apreciables, pero que para llegar a un confort acústico satisfactorio se necesita de valores más elevados como por ejemplo los encontrados en la propuesta de sistemas aislamiento acústico a base paredes dobles.
- No existen materiales aislantes universales como a menudo se lee en publicidad comercial, los valores expuestos en esta investigación sirven para crear en el planificador y constructor un criterio de aislamiento y facilitar la elección del sistema más adecuado de acuerdo al ruido que se desee aislar.
- La utilización de un cerramiento doble es una forma de aumentar el aislamiento acústico utilizando menos masa.
- Los elementos que componen un cerramiento doble deben estar necesariamente separados de tal forma que al entrar uno en vibración, no supusiera la vibración del otro. Esto quiere decir que se debe impedir las uniones entre los muros, con el fin de evitar los denominados puentes acústicos que lo único que hacen es perjudicar el aislamiento del sistema.
- Los materiales prefabricados presentan un muy bajo nivel de aislamiento acústico por si solos, pero son muy útiles si se los combina con materiales constructivos comunes como el ladrillo, bloque o materiales de tierra.
- El aislamiento acústico de un muro va a depender directamente de su masa, densidad y sobre todo del espesor que esté presente en el muro.
- Los muros de tierra son los más eficientes a la hora de aislar acústicamente un espacio, esto debido a su masa y espesor.
- El uso de muros dobles con material de relleno en su cámara de aire es más eficiente que el uso de muros dobles con cámara de aire al vacío.
- En la aplicación de un material de relleno en la cámara de aire de un muro doble siempre es más recomendable usar un material poroso.
- Uno de los materiales que mejor responde por si solo en el aislamiento acústico de muros simples es el hormigón esto debido a su densidad y espesor que se aplique.
- A la hora de hacer un vano en un muro es necesaria la insonorización del elemento que se coloque en este vano ya sea puerta o ventana, para con esto evitar que el ruido se propague por estos elementos.
- Un muro aislara de manera más eficiente cuando se vea afectado por un sonido de mayor frecuencia.
- En la composición de sistemas de aislamiento acústico a base de muros múltiples, se consigue una mayor eficiencia del sistema si se coloca dos hojas de distintos



materiales, de preferencia un elemento de menor masa y el otro elemento de mayor masa.

## 6. RECOMENDACIONES

- Se debe considerar que los materiales porosos como por ejemplo el ladrillo o los bloques de hormigón, reciban un revestimiento por lo menos de 15 mm, ya que si no llevan enlucidos son muy permeables al sonido y tienen un aislamiento muy bajo.
- Es importante cuidar de las fisuras en los muros, así mismo que se evite el empotramiento de elementos importantes en los muros, ya que este tipo de situaciones afectan decisivamente en el aislamiento que pueda presentar el muro.
- Para que el muro doble funcione para un rango de frecuencias mayores, es importante regular la distancia de separación entre los muros, ya que esto va a incidir primordialmente en las ondas estacionarias que se crean en el interior y por ende en el factor de frecuencia de resonancia de la cavidad.
- Como se analizó en la propuesta de sistemas de aislamiento acústico, es mucho más favorable interponer en el interior de la cámara de aire un material fibroso y absorbente, esto con el fin de que las ondas acústicas que traspasen el primer muro sean absorbidas por el material o en su defecto se transformen en forma de calor y se pierdan.



LISTA DE SIMBOLOS EMPLEADOS			
SIMBOLO	SIGNIFICADO	SIMBOLO	SIGNIFICADO
F	Frecuencia	m	Masa
T	Periodo / Tiempo de reverberación	f	Frecuencia
V	Velocidad	m1	Masa 1
$\lambda$	Longitud de onda	m2	Masa 2
LP	Nivel de presión acústica	d	Distancia
Log	Logaritmo decimal	c	Velocidad del sonido
P1	Presión acústica de onda sonora	w	Pulsación ( $2\pi f$ )
P0	Presión acústica de referencia	$\rho$	Densidad
$\alpha$	Coefficiente de absorción	fr	Frecuencia de resonancia
Ia	Energía sonora absorbida	fc	Frecuencia de cavidad
Ii	Energía sonora incidente	Q	Densidad
D	Aislamiento acústico	fi	Frecuencia inicial
L1	Nivel sonoro en local 1	ff	Frecuencia final
L2	Nivel sonoro en local 2	Am1	Aislamiento masa 1
aG	Aislamiento global	Am2	Aislamiento masa 2
Sc	Superficie ciega	a	Aislamiento
Sv	Superficie de ventana	At	Aislamiento total
ac	Aislamiento de parte ciega	k	Distancia de separación entre muros
av	Aislamiento de ventana	h	Altura del muro
A	Aislamiento	b	Ancho del muro

