

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE IMPACTO  
NORMALIZADA**

**STEFANI LORENA AMAYA  
ALEXANDER RODRÍGUEZ  
ANDRÉS SERRATO HIGUERA  
ANDRÉS VILLAMIL SUESCÚN**

**Trabajo de Grado**

**Asesores**

**Físico. Luis Jorge Herrera Fernández  
Ingeniero. Miguel Ricardo Pérez Pereira**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA  
INGENIERÍA DE SONIDO  
PROYECTO DE GRADO  
BOGOTÁ  
2009**

## CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	6
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.1 ANTECEDENTES	7
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	8
1.3 JUSTIFICACIÓN	8
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	9
1.4.1 Objetivo General	9
1.4.2 Objetivos Específicos	9
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO	9
1.5.1 Alcances	9
1.5.2. Limitaciones	10
2. MARCO DE REFERENCIA	11

2.1 MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL	11
2.1.1 Aislamiento acústico	11
2.1.2 Materiales de construcción	15
2.1.3 Motores y motorreductores	16
2.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO	17
3. METODOLOGÍA	18
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	18
3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB/SUB-LÍNEA DE FACULTAD/CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA	18
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	18
3.4 HIPÓTESIS	18
3.5 VARIABLES	18
3.5.1 Variables Independientes	18
3.5.2 Variables Dependientes	18
4. DESARROLLO INGENIERIL	20
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	59

5.1 MEDICIÓN DEL TIEMPO ENTRE IMPACTOS DE CADA MARTILLO	59
5.2 MEDICIÓN DEL TIEMPO ENTRE EL IMPACTO Y LA ELEVACIÓN DE CADA MARTILLO	62
5.3 MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE IMPACTOS	63
5.4 SISTEMA DE CONTROL REMOTO	64
5.5 COMPARACIÓN ENTRE LA MÁQUINA REALIZADA Y LOS REQUISITOS INTERNACIONALES	65
5.6 RUIDO AÉREO	66
5.7 MEDICIÓN DE AISLAMIENTO	66
5.8 COSTO DE LA MÁQUINA DE IMPACTOS	67
5.9 PÁGINA WEB	68
5.10 MANUAL DE FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA.	68
6. CONCLUSIONES	69
7. RECOMENDACIONES	71
GLOSARIO	72
BIBLIOGRAFÍA	74

## **RESUMEN**

En este documento se presenta el diseño y construcción de una máquina de impactos normalizada para la medición “in situ” del aislamiento acústico de pisos al ruido de impactos, Esta máquina se construyó siguiendo todos los requisitos que se encuentran expuestos en la norma ISO 140-7 anexo A. El objetivo principal de este grupo de investigación fue suplir la falta de este tipo de tecnología en nuestro país, tanto materias primas como recursos humanos son 100% colombianos y el diseño que se implemento logro que el costo final de la máquina de impacto fuera mucho menor que el de el mismo tipo de máquina vendida por empresas europeas. Para la construcción de este producto se implementaron tecnologías que permitieron cumplir con el funcionamiento y precisión de la máquina de impacto, garantizando que las mediciones que se realicen con esta sean exactas y muestren fielmente el estado del aislamiento de los recintos en los que se realice dicha medición.

## INTRODUCCIÓN

En este proyecto se presentará el diseño y construcción de una Máquina de Impactos, la cual sirve como generador de choques, para la medición de aislamiento acústico de pisos al ruido de impacto, normalizada según los requerimientos planteados en la Norma ISO 140 *Medición del aislamiento acústico en edificios y de los elementos de construcción. Parte 7: Medición in situ del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos.*

Este proyecto de investigación busca integrar saberes y conceptos de varios campos de la ingeniería como lo son la acústica, la mecánica y la electrónica, reuniéndolos dentro de un interés común, de crear nuevas tecnologías, haciendo uso de los recursos existentes en nuestro país.

Este proyecto se dividirá en 3 etapas principales que son:

- Diseño de la máquina de impactos, en donde se especificarán los materiales a utilizar para la construcción de la misma y el mecanismo utilizado para su correcto funcionamiento, a fin de cumplir con los lineamientos de la norma ISO 140-7.
- La segunda etapa de este proyecto será la construcción de las diferentes partes que componen la máquina de impactos, y el posterior ensamblaje de estas.
- La tercera y última etapa será en la que se pondrá a prueba el primer prototipo y se someterá a mediciones prácticas en recintos, hasta que la máquina cumpla con todas las especificaciones técnicas requeridas por los organismos internacionales (ISO).

# 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 ANTECEDENTES

Desde hace varias décadas, las mediciones de ruido de impacto se realizaban de forma tal, que el ruido generado era simulado por medio de distintas herramientas, que variaban desde personas simulando pasos, hasta herramientas como martillos que simulaban el impacto sobre determinada superficie o en muchas otras ocasiones ni siquiera se realizaba una medición de ruido de impacto dentro de una edificación, simplemente se cumplían con otro tipo de mediciones que servían para encontrar las soluciones de aislamiento, que para la época parecían ser las más adecuadas.

Con el desarrollo de la acústica entre los años 80 y 90 se fueron estandarizando poco a poco los diferentes conceptos y a medida que se reunía información sobre el tema se fueron dando las pautas para la construcción de una herramienta que permitiera realizar este tipo de mediciones de una forma específica y unificada alrededor del mundo.

Con el comienzo de la década de los 90, la Organización Internacional para la Estandarización ISO, ha venido creando una serie de normas específicas para la medición de aislamiento acústico al ruido de impacto en recintos y en laboratorios, donde se considera de vital importancia utilizar una máquina de impactos que cumpla con determinados requerimientos en su construcción, obteniendo así una mayor precisión en los resultados finales.

En el año de 1980 La organización internacional de normalización (ISO), publicó en 1998 la norma ISO 140-7, la cual indicaba la forma en que debía ser medido el aislamiento de ruido de impactos entre pisos, en el anexo A de esta norma se encontraban los principales parámetros que debía cumplir la principal herramienta utilizada en este tipo de mediciones. De esta manera, la organización estandarizó la máquina de impactos para medir el aislamiento entre pisos contiguos.

Por esta razón, compañías de alto nivel en Europa, Estados Unidos y Latinoamérica, comenzaron el diseño, la construcción y comercialización de máquinas de impactos, cada una con diferentes sistemas mecánicos pero todas cumpliendo con las pautas indicadas en la norma ISO 140-7, las más reconocidas en el mercado este tipo de máquinas, siendo las más utilizadas, la MI005 de Cesva, la ATA 010-M de Absentia, la RI-069 de RETEC Instruments y la 3207 de Brüel y Kjaer.

## **1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo diseñar y construir en Colombia una máquina de impactos que cumpla con los requerimientos de la norma ISO 140-7 y que esta permita realizar mediciones de aislamiento acústico de suelos al ruido de impacto?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Hoy en día uno de los problemas mas graves existentes dentro del campo de la acústica en Colombia, es la falta de herramientas para ofrecer a la comunidad una mejor calidad de vida. Debido a la falta de equipos de medición en el país, no se pueden realizar mediciones acústicas claras y concisas que ofrezcan datos reales y confiables, esto conlleva a que en muchos casos la misma comunidad sea la que se ve afectada por aparentes soluciones que no contribuyen al mejoramiento de la calidad de vida. Por esta razón es necesario y absolutamente válido buscar formas de llegar a fabricar dentro del país, herramientas que sean de un menor costo pero que al mismo tiempo cumplan con los estándares internacionales, para lograr así competir con otros países que tengan una clara ventaja en acústica y control de ruido.

Según la Normativa existente para la medición de aislamiento, se necesita excitar el recinto de manera tal, que se obtenga el nivel de presión en una superficie o piso, lo cual se logra con el uso de una máquina de impactos. Al no tener este tipo de máquinas en nuestro país, las mediciones de ruido de impacto no cumplen con los estándares internacionales y como se ha expresado antes, los datos obtenidos son de poca exactitud y no permiten ofrecer soluciones reales a la sociedad.

Este tipo de máquinas no se fabrican en Colombia, por lo tanto es necesario importarla, lo cual genera costos muy elevados. Muchas empresas en Colombia que se dedican a la acústica y al control de ruido no pueden costear la importación de una de estas máquinas, que generalmente se fabrican en Europa más específicamente en España. Traer desde ese país una herramienta como esta tiene un costo de alrededor de 16 millones de pesos, obviamente para muchas de esas empresas esta inversión no se recuperaría fácilmente.

Es necesario por esta razón aprovechar todos los recursos que nuestro país ofrece, es importante utilizar la mano de obra colombiana, así como el talento de los ingenieros del país que están en capacidad de realizar diseños y construir este tipo de herramientas, para generar mayores campos de desarrollo tecnológico en el país, empleo y mejores condiciones de vida para toda la comunidad.

Por esta razón se fabricará una máquina de impactos normalizada, la cual será producida con recursos nacionales tanto técnicos como humanos, los cuales podrán brindar al país una nueva herramienta dentro del campo de la medición y el control de ruido, la cual será de una excelente calidad y a un menor costo.

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Objetivo General**

Diseñar y construir una Máquina de impactos normalizada, acorde a los requerimientos de la norma ISO 140-7.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Implementar un dispositivo que permita controlar la máquina por medio de un micro-controlador.
- Elaborar un manual de funcionamiento y mantenimiento de la máquina de impactos.
- Diseñar y publicar una página web dedicada al proceso de construcción de la máquina de impactos en Colombia.
- Comprobar el buen funcionamiento de la máquina, aplicando el método de medición de aislamiento presentado en la norma ISO 140-7, con su respectivo informe.

## **1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO**

### **1.5.1 Alcances**

- Con la realización de este proyecto se pretende aplicar las tecnologías internacionales a productos nacionales, para contribuir con el desarrollo económico del país.
- Al construir una Máquina de Impactos en Colombia, se favorecerá a las diferentes empresas, instituciones y personas interesadas en el campo de la acústica, ofreciéndoles una herramienta que facilite su labor.
- Con el uso de la Máquina de impactos, se podrán realizar mediciones de aislamiento acústico de pisos con mayor precisión, contribuyendo al desarrollo del campo de la acústica en Colombia.

### **1.5.2. Limitaciones**

- Debido a que la fabricación de este dispositivo se realizará en las instalaciones de la Universidad de San Buenaventura, se deberán tener en cuenta los horarios y turnos establecidos por la misma.
- Para la construcción de la máquina de impactos se utilizarán diferentes herramientas mecánicas, tales como equipo de soldadura, torno, fresadora industrial, entre otros; los cuales requieren de un conocimiento previo para su adecuado manejo.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

#### 2.1.1 Aislamiento Acústico.

Cuando se trabaja en el aislamiento acústico de un recinto cerrado, se debe tener en cuenta una serie de especificaciones y lineamientos ya establecidos, que sirven como base para lograr unas óptimas condiciones de aislamiento acústico. Para esto se estudiará la teoría existente, escrita por diferentes autores quienes tratan este tema.

Es primordial dejar en claro el concepto de sonido como una vibración; en su libro, Antoni Carrión, especialista en el campo explica: *“Vibración mecánica que se propaga a través de un medio material elástico y denso (habitualmente el aire), y que es capaz de producir una sensación auditiva. De dicha definición se desprende que, a diferencia de la luz, el sonido no se propaga a través del vacío y, además, se asocia con el concepto de estímulo físico.”*<sup>1</sup>

Es necesario referirse al termino ruido de impacto que varios autores como Manuel Recuero definen así: *“el ruido de impacto es un ruido típico que se transmite por la estructura y cuyo nivel y espectro en frecuencias depende del tipo de suelo, como en el caso de pisadas, salto, movimiento de objetos, etc. Otro tipo de ruido de impacto se presenta al golpear las paredes, estos ruidos tienen un espectro importante en bajas frecuencias que se transmiten con facilidad de un local a otro.”*<sup>2</sup>

Hoy en día en la mayoría de edificaciones se presenta el problema de la transmisión de una serie de vibraciones desde un recinto a otro, generando un problema de ruido no deseado dentro de los recintos que poseen un pobre aislamiento, varios autores reconocidos han tratado este problema y en varias publicaciones se ha tratado este asunto, como lo hace Claudio Poo, Ingeniero Acústico del Instituto de Investigaciones y ensayos de materiales - IDIEM , cuando afirma: *“Las estructuras presentan una respuesta acústica mucho mayor cuando los ruidos son generados en forma directa (impactos y vibraciones). Esta respuesta se transmite con facilidad en los sólidos en forma ondulatoria y es re-irradiada como sonido con niveles más que perceptibles al oído humano.”*<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> CARRIÓN, Antoni. Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Ed. UPC. Barcelona, España 1998. p.27

<sup>2</sup> RECUERO, Manuel. Ingeniería Acústica. Universidad politécnico de Madrid. Madrid España. 1990. P. 415.

<sup>3</sup> POO, Claudio. Revista BIT. No 48. Chile 2006. p.48.

Muchos problemas acústicos se producen con los ruidos que llegan desde fuera de nuestro propio espacio, por medio de las paredes, pisos, cielo rasos y techos. Estos ruidos causan molestia y distracciones, además impiden en muchos casos sostener una conversación privada.

Es evidente que los ruidos externos sólo pueden llegar al oído del que escucha por medio de las superficies internas del recinto. Estas superficies son por consiguiente, fuentes secundarias de transmisión de sonido, dentro del recinto receptor. Generalmente son muros sólidos, pisos, cielo rasos y techos.

Los problemas de transmisión externa en materiales acústicos generalmente se limitan a la transmisión efectuada entre dos salones adyacentes. En estos casos se desea saber el nivel de presión del sonido que existirá en el salón receptor debido a un sonido con determinado nivel de presión en el salón transmisor.

El mayor grado de absorción en el salón receptor implicará menor nivel de presión en éste mismo salón y por consiguiente mayor reducción de sonido entre los dos salones, más bajo será el nivel de presión sonora en el salón transmisor y en el salón receptor, mientras más alto sea el grado de absorción del salón transmisor, teniendo en cuenta una fuente de sonido con determinada intensidad de salida colocada en éste salón (transmisor)".

Sin embargo, como la reducción de sonido ha sido definida como la diferencia entre los niveles de presión de sonido en ambos salones, parecerá que la reducción del sonido no es afectada por la absorción del salón receptor. Cuando se requiere reducir en alto grado el nivel del sonido en el salón receptor, lo mejor es suministrar toda la absorción posible tanto en el salón transmisor como en el receptor.

El ruido de impacto procede de una fuente que hace vibrar una parte de la construcción y que, a su vez, dicho ruido se transmite a los locales vecinos, haciendo vibrar el aire de forma indirecta. Este tipo de ruidos (pasos, movimientos de muebles, vibración de maquinaria, etc.), son más difíciles de aislar que los originados en el medio ambiente.

Todo este concepto de ruido de impacto y vibraciones responden a un mismo principio físico, por el cual se genera este tipo de fenómenos, el estudio de la física y el comportamiento de la onda sonora y su influencia en un medio sólido es de vital importancia para lograr un adecuado entendimiento de los problemas que pueden traer la trasmisión de ondas por medio de estructuras en las edificaciones.

Por eso se hace necesario buscar soluciones para disminuir el impacto que tiene este problema en la salud humana y la calidad de vida, pero para encontrar verdaderas soluciones es necesario primero que todo entender bien el problema y determinar exactamente qué lo está produciendo y de qué forma lo hace, por esta

razón varios autores comienzan estudiando el porqué se producen este tipo de molestias y cuáles pueden ser sus consecuencias, como lo hace Manuel Rejano en su libro al decir *“pequeñas fuerzas pueden excitar, hacer entrar en resonancia a elementos estructurales y provocar unas vibraciones importantes, tal sería el fenómeno que se podría producir al atravesar por un puente un desfile militar, al transmitirse el impacto a la estructura este entraría en resonancia pudiendo ocasionar daños irreparables.”*<sup>4</sup>

El aislamiento del ruido de impacto debe ser previsto desde el momento de la concepción del edificio. Por ello, es muy importante establecer las disposiciones necesarias entre los locales silenciosos y los locales ruidosos. El sonido que penetra por vía estructural (vía sólida), normalmente generado por vibraciones e impactos, producto de pasos, portazos, golpes, cañerías, motores, etc.

En el cálculo del aislamiento de pisos y cielorrasos, es fundamental tener en cuenta el ruido de impacto. Un ejemplo común del mismo, es el de una persona caminando, es decir ruido de pasos; este ruido actúa directamente sobre la estructura. La norma ISO 140-7 especifica métodos de campo para la medida del aislamiento acústico a ruido de impacto de partimientos horizontales, usando una máquina de impactos estándar. El método es aplicable tanto para suelos desnudos como cubiertos.

Gracias a las mediciones realizadas con el paso de los años y específicamente con los resultados obtenidos por mediciones, en las que se utilizan herramientas como la máquina de impactos normalizada, se ha logrado disminuir los efectos de ruidos y vibraciones transmitidos por la estructura de determinado recinto, por medio de la generación de soluciones que permiten conseguir buenos resultados como lo afirman varios autores, entre los cuales tenemos a Klaus Hornig cuando afirma: *“La estructura flotante es la técnica más utilizada para aislar vibraciones y ruidos de baja frecuencia de los estudios de grabación e incluso en otras muchas construcciones. La idea es la de suspender el piso utilizando materiales elásticos (como goma o corcho) entre éste y el suelo estructural, incrementando de esta manera la aislación a vibraciones”*<sup>5</sup>.

Estas estructuras flotantes se tratan de pisos apoyados sobre la estructura del edificio y separados por un soporte amortiguarte. Para que el aislamiento sea efectivo, no deben existir puentes provocados por conexiones mecánicas rígidas entre el piso flotante y el estructural.

El aislamiento proporcionado por el piso flotante, disminuye sensiblemente en las inmediaciones de la frecuencia de resonancia, por lo que es importante que ésta

---

<sup>4</sup> REJANO DE LA ROSA, Manuel. Ruido industrial y urbano. Ed. Paraninfo. Madrid España. 2000. P. 4.

<sup>5</sup> HORNIG, Klaus. Diseño de un estudio de grabación con sala de control LEDE. Universidad Austral de Chile. Valdivia Chile, 2001. p.17.

no supere los 20 Hz; existen cielorrasos de dos tipos: adheridos a la estructura, es decir fijos a ella y suspendidos de la estructura o sea independiente o colgada de la misma. Estos cielorrasos, en general, reducen el SPL en el recinto, pero no lo protegen de transmisiones laterales.

Dentro de las nuevas construcciones, se está implantando el uso de materiales acústicos para formar cielos rasos suspendidos, dejando el espacio necesario para colocar en el plénium tuberías. El plénium generalmente se extiende sobre varias áreas y generalmente las divisiones sólo llegan hasta la altura de la superficie del cielo raso acústico suspendido, o pueden extenderse ligeramente por encima de éste, pero sin llegar al techo estructural que queda encima. En ambos casos, el cielo raso acústico a ambos lados de la partición y el plénium común, sirven de vía de transmisión de sonido, que es paralelo a la transmisión que se hace directamente por la división, si el cielo raso acústico es muy ligero o poroso, o contiene muchos escapes, la transmisión por medio del plénium será mayor que la efectuada por medio de la división, lo cual no es satisfactorio.

La Acoustical Materials Association ha efectuado amplios estudios al respecto, e indica las fórmulas que se deben utilizar para obviar el problema. Los resultados indican que la reducción de sonido en decibeles debida a la transmisión por la vía del cielo raso - plénium, se puede comparar con la equivalente pérdida de transmisión de la pared que divide dos salones. Por ejemplo, si ésta reducción de sonido es de 30 dB, a determinada frecuencia, indica que la reducción de sonido es también de 30 dB, y que al no existir la vía de plénium, la reducción causada por la partición con pérdida de transmisión de 30 dB también sería alrededor de 30 dB.

A nivel mundial la preocupación debido al ruido y más específicamente al ruido de impacto, viene creciendo con el paso del tiempo y cada vez más, los países en su normativa incluyen los criterios específicos para que el ruido no sea un factor más de contaminación auditiva, para ello se utiliza el instrumental adecuado y el personal capacitado para realizar estas labores, como lo afirma el autor al decir: *“las diferentes normativas comunitarias, estatales, autonómicas y municipales, establecen los correspondientes procedimientos a tener presente a la hora de efectuar las mediciones de ruidos y vibraciones, no obstante en la práctica hay que adoptar una serie de precauciones para evitar errores en las medidas.”*<sup>6</sup>

Como se ha dicho anteriormente, se ha venido investigando el comportamiento del ruido transmitido por vía estructural, de forma que se pueda encontrar una solución en cada caso específico, para adelantar esta tarea es necesario unificar conceptos y realizar dentro de la comunidad científica un solo método de medición de este tipo de ruido, la máquina de impactos normalizada es la respuesta a este afán de unificación. Brüel & Kjaer, una de las empresas dedicadas al campo del ruido y

---

<sup>6</sup> REJANO DE LA ROSA, Manuel. Ruido industrial y urbano. Ed. Paraninfo. Madrid España. 2000. P.28.

que construyeron una máquina de este tipo, deja en claro la necesidad del uso de la máquina de impactos dentro del campo de las mediciones y el control de ruido cuando afirman que: *“la dificultad para evaluar la eficacia del aislamiento acústico en los edificios, ha sido la de hacer comparaciones directas de los resultados y el impacto de los sonidos para generar impactos en un ambiente natural, la recomendación ISO, define métodos adecuados de medición, de modo que los datos obtenidos por los trabajadores, puedan compararse directamente.”*<sup>7</sup>

### **2.1.2 Materiales para construcción.**

Según lo expuesto anteriormente, queda en claro la importancia del uso de la máquina de impactos como herramienta para el análisis del ruido de impacto entre pisos, la organización internacional de estandarización también lo confirma en la norma ISO 140-7 mencionada anteriormente, en el anexo A de la misma se encuentran los requerimientos que debe tener dicha herramienta, pero es libertad del constructor elegir que materiales utilizara para su construcción, con excepción de la superficie de los 5 martillos que impactan el piso, la cual debe ser de acero endurecido.

Existen muchos materiales de diferentes calibres que pueden ser utilizados, por ejemplo el Hierro es un material maleable que se usa para formar productos siderúrgicos, fácil de encontrar en el mercado en diferentes calibres (espesor del elemento dado en pulgadas) o por tiraje (largo del elemento) según las necesidades que se tengan, cuando se encuentra el hierro en aleación con el carbono y si este último no supera el 2.1% del peso, se considerara entonces como acero.

El acero tiene una mayor resistencia que otros materiales y su alta ductilidad permite redistribuir concentraciones de esfuerzos, en el mercado se encuentran en diferentes presentaciones de este material, ya sean cilíndricos, tuberías, laminas, ángulos, tiras, etc. Aparte de este material también se puede construir la estructura de la maquina en Aluminio, este material es un metal no ferro magnético y por su baja densidad, ductibilidad y alta resistencia a la corrosión es una excelente alternativa, se encuentra en diferentes presentaciones al igual que los anteriores materiales pero es mucho más costoso.

Entre otros materiales que se utilizan según la norma ISO 140-7, están los soportes anti vibratorios, dentro del contexto de ruido industrial y de maquinaria, se está logrando que cada día nuevas tecnologías en sistemas anti vibratorios, se proliferen y sean usados en la mayoría de empresas e instalaciones, que cuentan con máquinas que generan ruido y que transmiten el mismo por medio de la estructura del recinto; el control de estas vibraciones es tratado en varios libros como se puede apreciar a continuación *“El control de vibraciones tiene por objeto*

---

<sup>7</sup> BRUEL & KJAER. Manual Máquina de impactos. Naerum. Dinamarca. 1996. P. 25.

*reducir y evitar la transmisión de vibraciones a la estructura. Fundamentalmente consiste en la instalación de soportes anti vibratorios entre la máquina y la estructura.”<sup>8</sup>*

### **2.1.3 Motores y motorreductores.**

Todo sistema mecánico necesita una maquina que haga una fuerza que lo impulse, los motores son ideales para esto ya que transforman cualquier tipo de energía (eléctrica, de combustibles fósiles), en energía mecánica capaz de realizar un trabajo.

Existen varios tipos de motores entre los más comunes están los motores térmicos; cuando el trabajo se obtiene a partir de energía térmica, motores de combustión interna; los cuales se produce una combustión del fluido motor, transformando su energía química en energía térmica, a partir de la cual se obtiene energía mecánica, motores de combustión externa; son motores térmicos en los cuales se produce una combustión en un fluido distinto al fluido motor. El fluido motor alcanza un estado térmico de mayor energía mediante la transmisión de energía a través de una pared; motores eléctricos: cuando el trabajo se obtiene a partir de una corriente eléctrica, es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas.

Existen casos en los que es necesario acoplar maquinas cuya función es variar las r.p.m. de entrada, que por lo general son mayores de 1200, entregando a la salida un menor número de r.p.m., sin sacrificar de manera notoria la potencia. Esto se logra por medio de los reductores y motorreductores de velocidad. Los reductores son diseñados a base de engranajes, mecanismos circulares y dentados con geometrías especiales de acuerdo con su tamaño y la función en cada motor.

Los Motorreductores se suministran normalmente acoplando al mecanismo reductor un Motor eléctrico normalizado, cerrado y refrigerado por un auto ventilador. Además, este motor suele incluir como protección, un Guarda-Motor que limita su intensidad y un relé térmico de sobrecarga, que asimismo se corresponde a la llamada clase de Protección. Los Reductores ó Motorreductores son apropiados para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad en una forma segura y eficiente.

Al emplear reductores o motorreductores se obtiene una serie de beneficios como: Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida, una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor, mayor seguridad en la transmisión, reduciendo los costos en el mantenimiento, menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.

---

<sup>8</sup> ibíd. P. 46.

Se puede afirmar que con la ayuda de este tipo de herramientas y materiales, combinadas con tecnología actual y el uso de las normas jurídicas establecidas por cada país, se logra obtener un adecuado uso de las estructuras de los diferentes recintos, permitiendo ofrecer soluciones a la comunidad, mejorando su calidad de vida siempre y cuando se cumplan las más simples normas.

## **2.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO**

Para el desarrollo de este proyecto, se utilizará la norma ISO 140: Medición del aislamiento acústico en edificios y en los elementos de construcción. Parte 7: Medición "in Situ" del aislamiento acústico de pisos al ruido de impactos. Esta fue publicada en el año 1998.

En esta norma internacional, especifica métodos de ensayo "in situ" para la medición de las propiedades de aislamiento a ruido de impactos de pisos de edificios, mediante el uso de una máquina de impactos normalizada. El método es aplicable tanto a pisos desnudos como a pisos con recubrimientos. En su anexo A indica todas las características y requerimientos que una máquina de impactos debe cumplir para realizar una medición estandarizada y de reconocimiento internacional.

Los resultados obtenidos se pueden utilizar para comprobar las propiedades de aislamiento al ruido de impactos de diferentes materiales, y para comparar el aislamiento acústico a ruido de impactos aparente de pisos con respecto a unos requisitos especificados.

Varios países entre ellos Colombia, han desarrollado su propia norma, basándose en la ISO 140-7. El ICONTEC tiene una traducción de esta norma contenida en la NTC 5619, La asociación Española de normalización cuenta con la UNE-EN ISO 140-7 expedida el año de 1999, el instituto argentino de normalización y certificación (IRAM) cuenta con la 4063-7 del año 2002, el Instituto Alemán de Normalización DIN (Deutsches Institut für Normung) tiene a su vez la DIN EN ISO 140-7, Ausgabe: del año 1998.

Además de la norma ISO 140-7, se usaran normas como la ISO 712 que se usara para obtener índices globales de aislamiento y la ISO 3382, la cual se usara para medir tiempos de reverberación.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN**

El enfoque empleado en esta investigación es empírico-analítico, este método conlleva toda una serie de procedimientos prácticos que permiten obtener datos fácticos. Representa un nivel en el proceso de investigación cuyo contenido procede fundamentalmente de la experiencia, en esta investigación se realizarán pruebas a partir de teorías ya establecidas para llevar a término la construcción de la máquina de impactos y será por medio de experimentos que se llegará a concluir cual es el proceso idóneo para su fabricación.

#### **3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN DE USB / SUB-LÍNEA DE FACULTAD / CAMPO TEMÁTICO DEL PROGRAMA**

La línea de investigación de la Universidad es Tecnologías actuales y sociedad, porque este proyecto cumple con los requerimientos, en cuanto a conocimientos técnicos y científicos que la sociedad en general requiere para el campo de la acústica, para así ayudar a la solución de problemas que faciliten los procesos de mejoramiento de la calidad de vida de las personas que pertenecen a ella.

La sub-línea de la facultad es instrumentación y control de procesos, ya que se busca diseñar y construir una herramienta que contribuya con la implementación de recursos existentes en el país, para el desarrollo de nuevas herramientas, en beneficio de la sociedad.

El campo temático del programa es la acústica, puesto que en este proyecto se van a manejar conceptos de esta área que servirán para el desarrollo del trabajo investigativo, específicamente se tratará el tema de aislamiento, ya que dicha máquina de impactos es la herramienta principal, para realizar mediciones de ruido de impactos entre pisos contiguos.

#### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

La población interesada en este trabajo son todas aquellas empresas y personas naturales que en Colombia, se dedican a realizar mediciones acústicas para estudios de ruido de impacto; ya que ninguna de ellas, cuenta con la máquina de impacto, pese a la gran necesidad de tenerla, para poder efectuar mediciones a ruido de impacto, según lo recomienda la Normativa Internacional, esto debido a los costos que implica importar una máquina de impacto, de los diferentes países en los que las fabrican.

Así mismo la comunidad de la Universidad de San Buenaventura se verá beneficiada con la implementación de la máquina de impactos en el entorno académico, ya que servirá como una herramienta útil, para impartir y recibir conocimiento.

### **3.4 HIPÓTESIS**

En Colombia es posible diseñar y construir una máquina de impactos acorde con los requerimientos expuestos en la norma ISO 140-7, la cual permitirá realizar mediciones de aislamiento acústico de pisos al ruido de impacto.

### **3.5 VARIABLES**

#### **3.5.1 Variables Independientes**

- Los materiales a utilizar en la construcción de la máquina para que esta cumpla con los requerimientos de la norma ISO 140-7.
- Las herramientas, equipo e instrumental a utilizar, para la construcción de la máquina de impactos.
- El sistema que permita el funcionamiento de la máquina de impactos.

#### **3.5.2 Variables Dependientes**

- Las especificaciones técnicas que debe cumplir la máquina según la norma ISO 140-7.

#### 4. DESARROLLO INGENIERIL

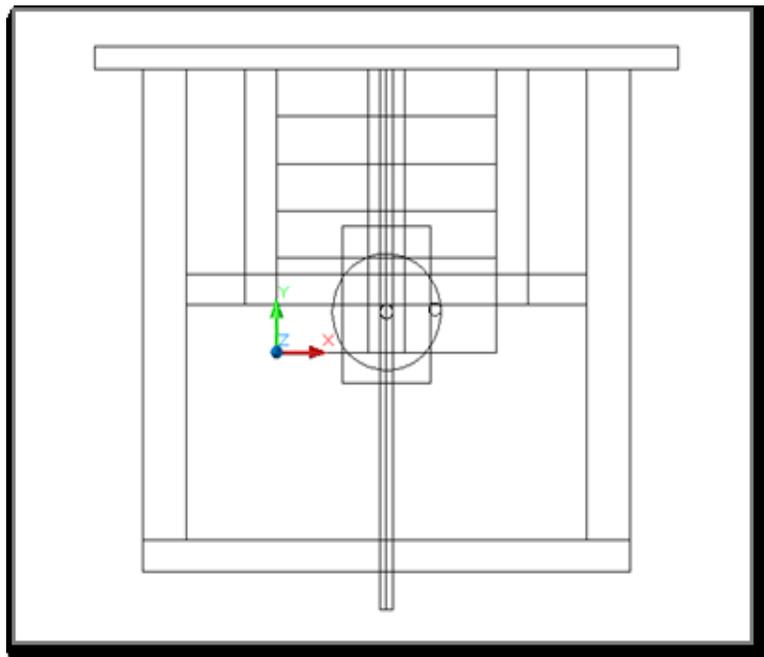
El objetivo de este proyecto es diseñar y construir una máquina de impactos para la medición de aislamiento acústico a ruido de impacto, en los edificios y de los elementos de construcción, según la norma (ISO 140-7:1998).

Este proyecto consta de tres etapas, que son:

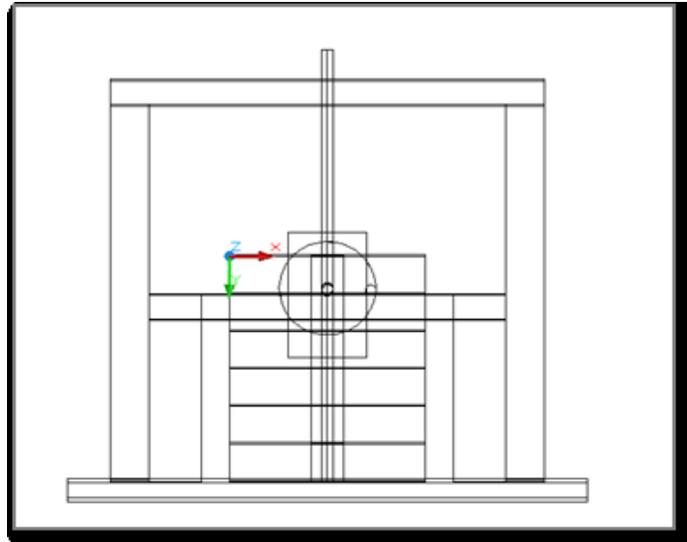
- Diseño
- Construcción
- Prueba

En la etapa de diseño, se realizaron los planos en AutoCad, para un prototipo en madera MDF, basado en el mecanismo para un martillo, cumpliendo con lo establecido por la norma ISO 140-7, la cual establece que el peso para cada martillo, es de 500g, y debe tener una caída libre desde una altura de 40mm.

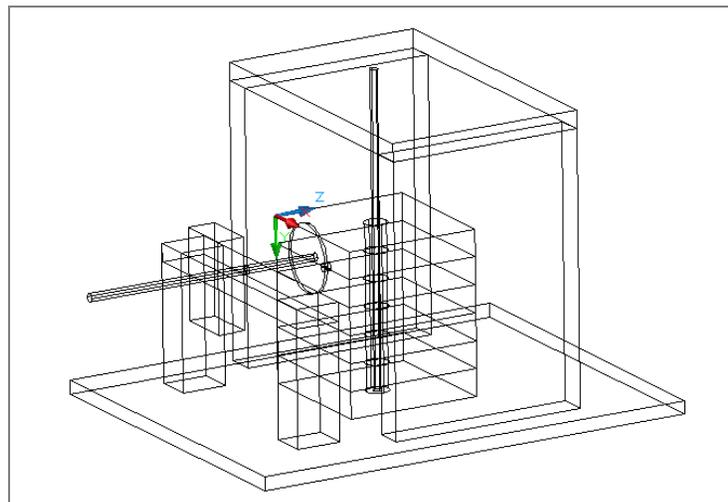
Plano 1. Vista superior Prototipo en madera



## Plano 2. Vista Frontal Prototipo en madera



## Plano 3. Vista 3D Prototipo en madera

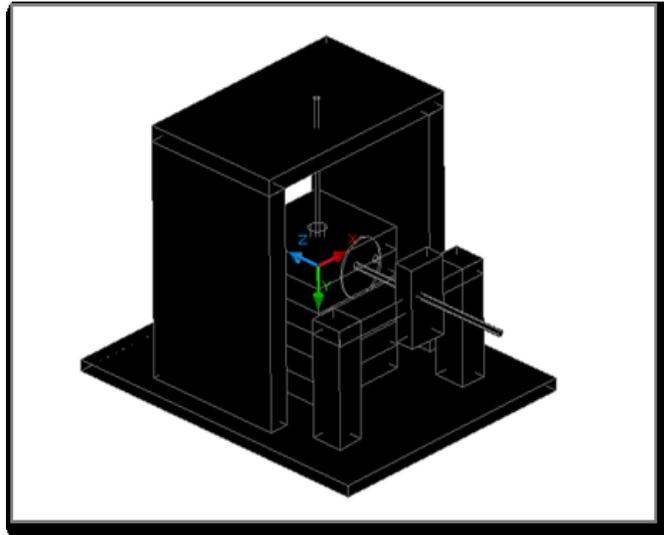


Este prototipo funciona por medio de un eje principal que tiene un círculo en madera con diámetro de 4 cm, el cual tiene una guía que eleva el martillo de madera a la altura de 4mm, requerida por la Norma 140-7<sup>9</sup>, posteriormente el martillo cae en una base de madera unida al resto de la estructura; el martillo

<sup>9</sup> ISO 140-7, Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 7: Medición In Situ del Aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos. 1998. Anexo A.

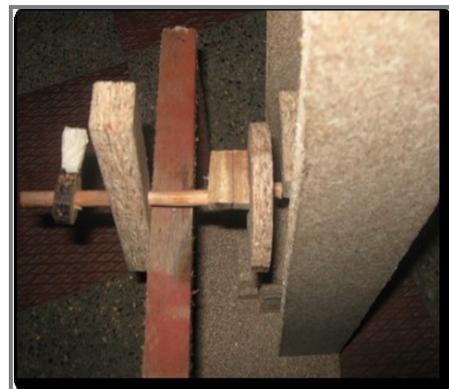
posee una guía en alambre dulce, la cual permite que este caiga, sin balancearse sobre sí mismo. El diseño se realizó únicamente para un martillo (*Imagen 1*), puesto que es el mismo mecanismo usado en los cinco martillos, ajustando el orden y tiempo de caída de cada martillo, modificando el ángulo del círculo en madera que hace girar el mecanismo.

Figura 1. Vista 3D Prototipo en Madera



Después de realizados los planos, se procedió a la construcción del primer prototipo en madera MDF, tal como se observa en las Fotos 1 y 2.

Fotos 1 y 2. Prototipo en madera



Para comprobar la fuerza de impacto y la velocidad de este prototipo, se realizaron los siguientes cálculos:

**Fuerza:**

$$F = m \cdot a \quad (\text{Ecuación A})$$

Donde:

*m*=masa  
*a*=aceleración

*m*=500g  
*a*=9,8m/s<sup>2</sup>

Entonces,

$F = 500g \cdot 9,8m/s^2$   
**F=5N**

**Velocidad:**

$$V_f^2 = V_i^2 - 2g(y_f - y_i) \quad (\text{Ecuación B})$$

Donde:

*V<sub>f</sub>*= Velocidad Final  
*V<sub>i</sub>*= Velocidad Inicial  
*Y<sub>f</sub>*= Posición final  
*Y<sub>i</sub>*=Posición Inicial  
*g*=aceleración de la gravedad

*F*=5 N  
*V<sub>i</sub>*=0  
*Y<sub>f</sub>*=0,04m  
*Y<sub>i</sub>*=0  
*g*=9,8m/s<sup>2</sup>

Entonces,

$V_f^2 = 2 \cdot (-9,8 \cdot (-0,04))$   
 $V_f^2 = 0,78$   
**V<sub>f</sub> = 0,88 m/s**

**% de Error:**

$$\frac{V_t - V_e}{V_t} \times 100$$

Donde:

$V_e$  = Valor teórico  
 $V_e$  = Valor experimental

$V_e = 0,8854$

$V_t = 0,886$

Entonces

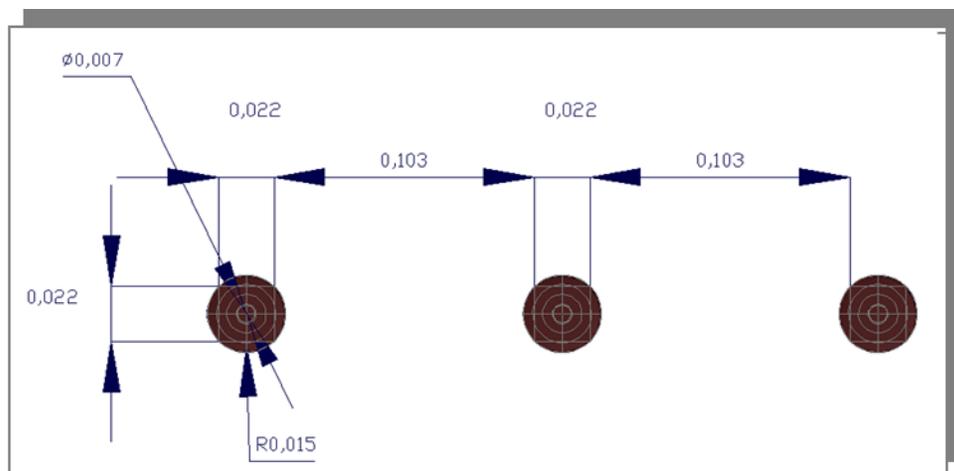
$$\% \text{ de error} = \frac{0,886 - 0,8854}{0,886} \times 100$$

$$\% \text{ de error} = 0,00068$$

Una vez comprobado el funcionamiento del mecanismo, se procedió a hacer los planos en AutoCad de cada una de las piezas necesarias para la construcción del prototipo final de la máquina.

En el plano 3, se observa la base de cada uno de los martillos, la cual tiene un diámetro de 30 mm, según lo establece la Norma Internacional ISO 140-7.<sup>10</sup>

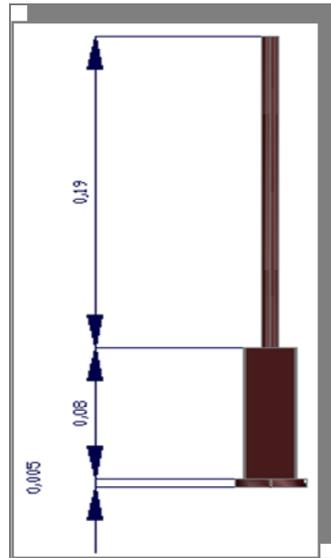
**Plano 3. Vista en Planta – Martillos**



<sup>10</sup> ISO 140-7, Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 7: Medición In Situ del Aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos. 2008. Anexo A.

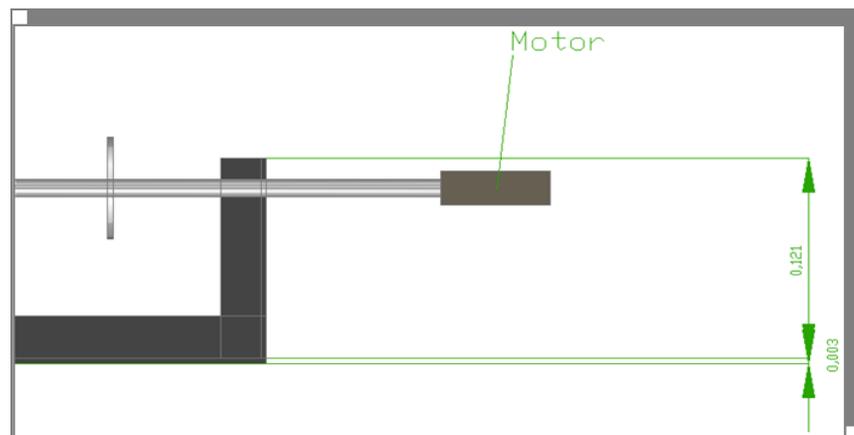
A continuación en el Plano 4, se presenta la vista lateral de uno de los martillos:

#### Plano 4. Vista lateral – Martillos



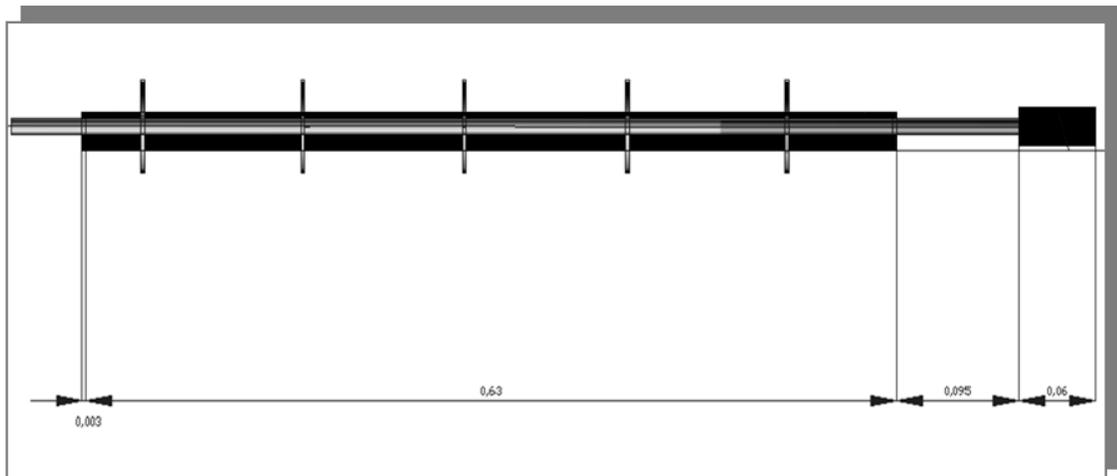
El eje principal de la máquina, está sostenido por dos soportes de 0,121 m, los cuales permiten que el eje gire sobre sí mismo sin que se balancee, esta altura fue escogida para que el eje y los círculos tuvieran la misma altura que tienen cada uno de los martillos (*Plano 5*).

#### Plano 5. Vista lateral - Eje Central



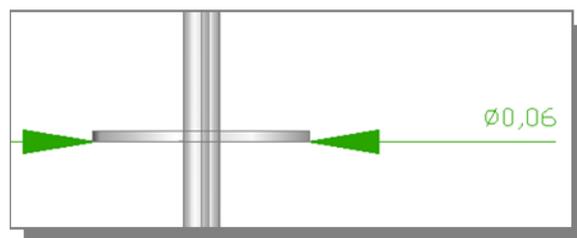
El eje principal tiene un largo de 0,63 m, donde vienen cada uno de los círculos distribuidos según la posición de los mismos, el eje finaliza en un soporte que lo une al motor, el cual es el encargado de darle movimiento, este soporte tiene un largo de 0,095 m y el soporte destinado para ubicar el motor, tiene un largo de 0,06 m (*Plano 6*).

Plano 6. Vista en Planta - Eje Central



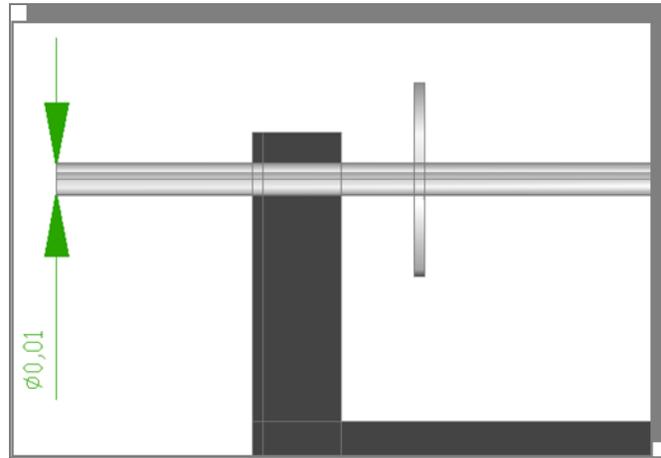
Cada círculo tiene un diámetro de 0,06 m y está unido al eje por medio de tornillos prisioneros, esto hace que al momento de girar el eje, los círculos también giren, y así, gracias a la guía que estos poseen, elevan el martillo de la forma deseada (*Plano 7*).

Plano 7. Diámetro del círculo de las guías



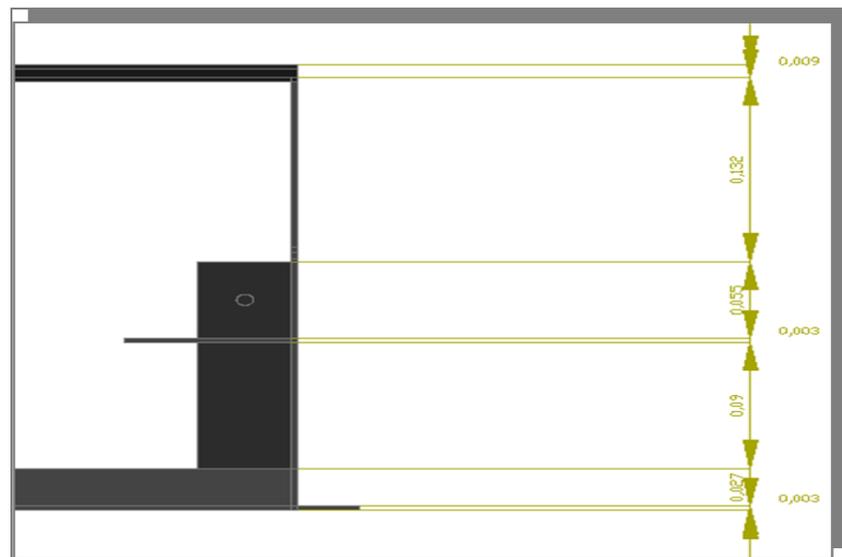
El diámetro del eje es de 0,01 m y está unido a los dos soportes laterales por medio de rodamientos que permiten que el eje gire sin tener rozamiento apreciable contra los soportes y permitir así, su libre funcionamiento (*Plano 8*).

Plano 8. Diámetro del eje central



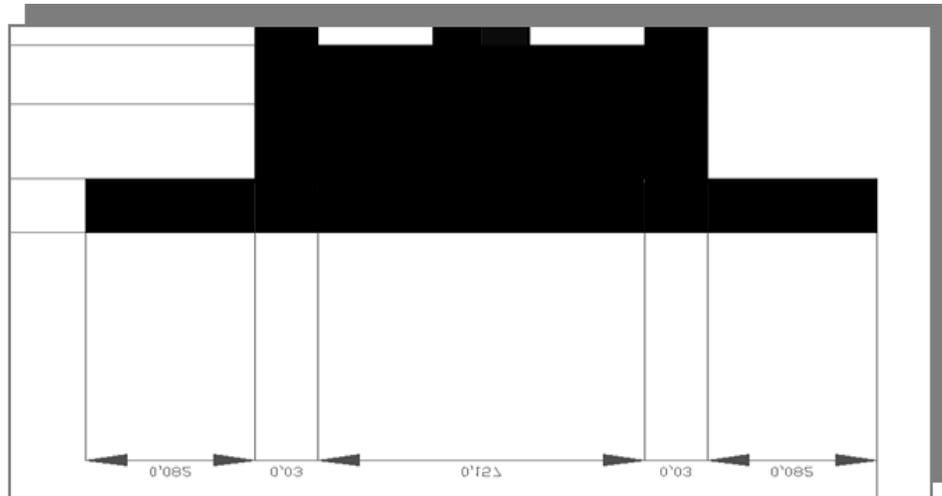
Las 2 placas laterales tienen una altura total de 0,99 m, en su interior tienen dos refuerzos angulares laterales, que sirven de base para la máquina y tienen una altura de 0,027 m; a los lados se encuentran unas placas laterales que sirven de soporte para la placa que sostiene el motor, las cuales tienen una altura de 0,145 m, sobre las placas laterales se colocó un refuerzo angular con altura de 0,009 m (*Plano 9*).

Plano 9. Altura total de la máquina



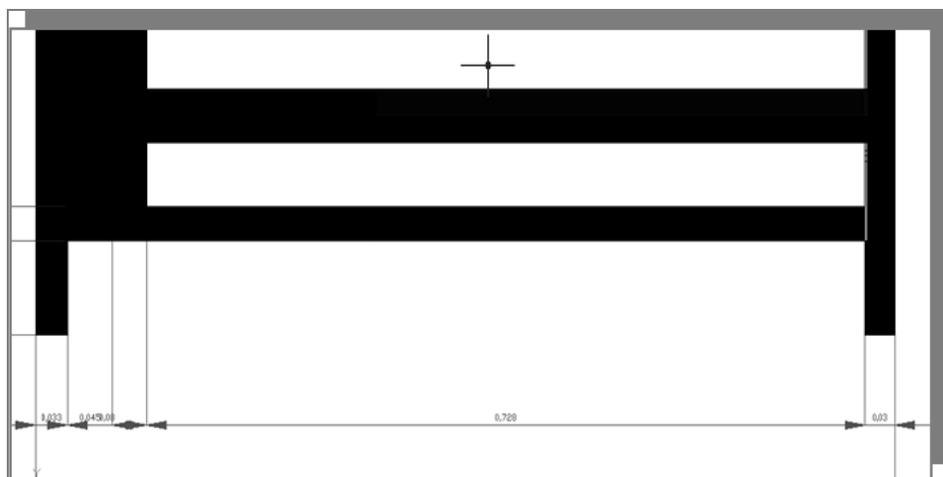
La base principal de la máquina consta de dos refuerzos angulares de 0,357m, los cuales van soldados a los soportes de la máquina, sirviendo de base principal a la misma (*Plano 10*).

Plano 10. Ancho total de la máquina



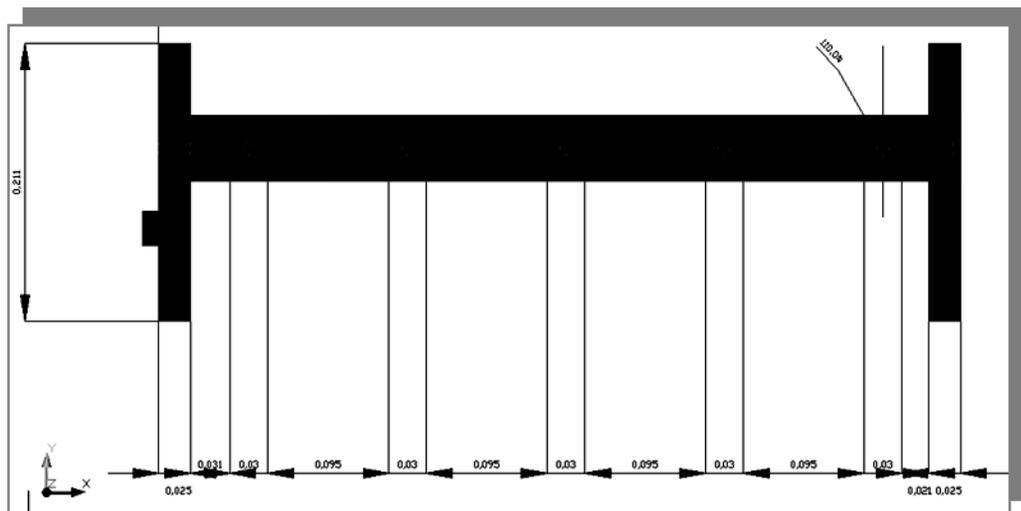
Los ángulos que unen los soportes laterales tienen un largo de 0,836m y están unidos a estos, por medio de soldadura, el refuerzo angular central que une los soportes tiene la misma longitud que estos (*Plano 11*).

Plano 11. Largo total de la máquina



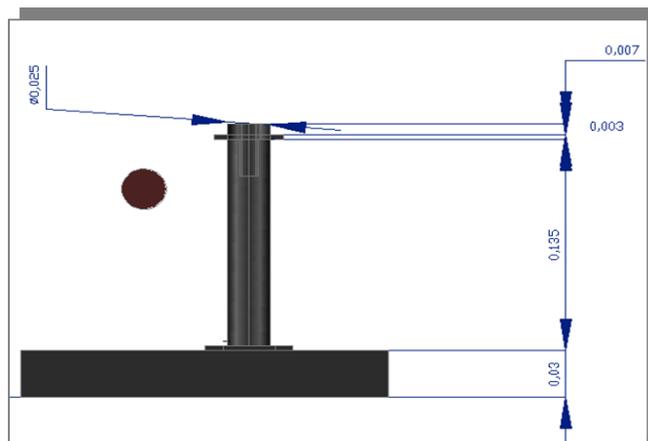
En la parte superior de la placa que sirve de guía para los martillos, se encuentran los soportes hechos en material plástico (EMPACK), para que estos atraviesen la placa sin que haya un rozamiento apreciable, estos soportes están separados entre sí por una distancia de 0,095m desde los bordes de cada uno, a su vez estos tienen cada uno un orificio de 0,011m, por donde pasan los martillos (*Plano 12*).

Plano 12. Vista en planta de la máquina



La base central que sostiene la placa guía para los martillos, tiene forma cilíndrica de diámetro 0,025 m y una altura de 0,135 m, la cual está soldada debidamente a la base inferior de la máquina, que tiene una altura de 0,03 m (*Plano 13*).

Plano 13. Vista lateral base central



Una vez realizados los planos, se inició la etapa de construcción. En primer lugar se elaboraron los martillos, para lo cual se utilizó una barra cuadrada en hierro macizo, y para las guías una varilla de hierro de ½ pulgada de diámetro.

El procedimiento de fabricación de estos, fue el siguiente:

- Se procedió a cortar la barra cuadrada de hierro macizo, en 5 pedazos de 8cm, para hacer la base de los martillos (*Foto 2*).

Foto 2. Corte de base para martillos



- Se cortó la varilla para hacer las guías de los martillos, mediante el uso de una segueta (*Foto 3*).

Foto 3. Corte de guías para martillos



- Después de cortar las piezas necesarias, se pulieron utilizando para esto herramientas adecuadas, tales como pulidora y lima metálica. (*Fotos 5-6*)

Fotos 5 y 6. Proceso para pulir los martillos y las guías



- Listas las piezas (*Fotos 7 y 8*), se pesaron y se volvieron a pulir, hasta que se obtuvieron los 500 gramos establecidos en la norma ISO 140-7<sup>11</sup>.

Foto 7. Piezas para martillos



Foto 8. Peso de martillos



<sup>11</sup> ISO 140-7, Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 7: Medición In Situ del Aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos. 1998. Anexo A.

- Posterior a la verificación del peso, se soldaron las bases de los martillos a las guías, y se procedió a pulir la soldadura (*Fotos 9 y 10*).

Foto 9. Soldadura de las guías a las bases

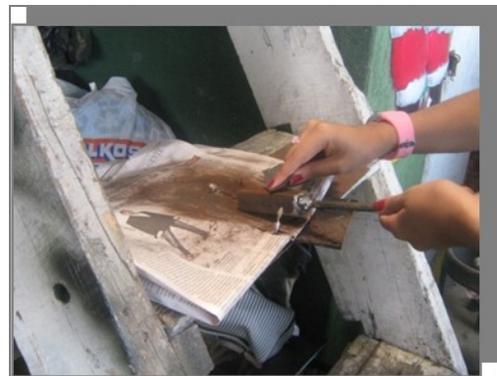


Foto 10. Martillos soldados



- Finalmente, se lijaron y limpiaron los martillos.

Fotos 11 y 12. Proceso para lijar los martillos



Una vez contruidos los martillos, se procedió a la realización de la base de la máquina de impactos, diseñada por refuerzos angulares fijados con soldadura eléctrica, formando un rectángulo de 0,62 x 0,22 m. (Foto 13) Posteriormente, se le hicieron los agujeros para sujetar los cuatro soportes aislantes de vibraciones, los cuales están fabricados en Neopreno (Foto 14).

Foto 13. Base de la máquina



Fotos 14 y 15. Soportes anti vibratorios en Neopreno



A continuación se elaboraron las guías inferior y superior para los martillos, en una lámina de acero calibre 12; esta primera con las cinco perforaciones cuadradas, a través de los cuales pasarán las bases de los martillos (Foto 16), y la superior con agujeros redondos de  $\frac{1}{4}$ " de pulgada, para que pasen las guías de los martillos (Foto 17); las cuales fueron pasadas por la fresadora semi-industrial, para rectificarlas (Foto 18 y 19).

Foto 16. Guía inferior para martillos



Foto 17. Guía superior para martillos



Fotos 18 y 19. Rectificación de guías



La distancia entre martillos se calculó, según lo que nos dice la norma ISO 140-7<sup>12</sup>, que estos deben ir situados en línea, con una distancia entre ejes de martillos vecinos de  $(0,1 \pm 0,03)$  m.

Ya listas las guías, se cortaron y pulieron dos trozos de la barra de acero usada para la base de los martillos (*Fotos 20 y 21*), los cuales se adaptaron a la base de la máquina (*Fotos 22 y 23*), de modo tal que se cumplieran las condiciones de la norma ISO 140-7<sup>13</sup>, la establece que los martillos deben tener una caída libre, a una altura de 40mm, que la dirección de caída del martillo, debe ser perpendicular a la superficie de ensayo, con un margen de  $\pm 0.5^\circ$ , y que la velocidad del impacto deberá ser  $(0,886 \pm 0,022)$  m/s, con límites de tolerancia para la velocidad de máximo 0,033 m/s, siempre que se mantenga la masa del martillo dentro de los límites reducidos de  $(500 \pm 6)$  g.

<sup>12</sup> ISO 140-7, Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 7: Medición In Situ del Aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos. 1998. Anexo A.

<sup>13</sup> *Ibíd.* P. 11.

Fotos 20 y 21. Proceso para pulir las barras de acero

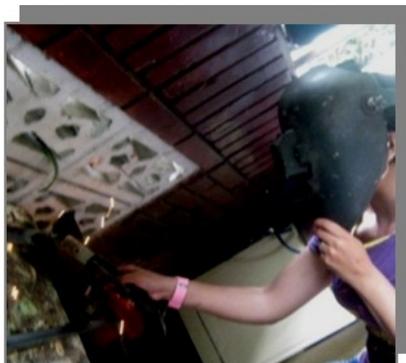


Después de esto, se ubicaron las guías superior e inferior (Fotos 16 y 17), y luego se soldaron (Fotos 24 y 25).

Fotos 22 y 23. Ubicación de guías



Fotos 24 y 25. Soldadura de guías



Posteriormente a esto, se cortaron y pulieron láminas de calibre N° 11 (*Foto 26*), para hacer las placas laterales de la máquina, de dimensiones de (0,20 x 0,28) m, las cuales se soldaron a la máquina (*Fotos 27 y 28*).

Foto 26. Proceso para pulir láminas para tapas laterales



Fotos 27 y 28. Soldadura de tapas laterales



Una vez colocadas las tapas laterales, se soldó a estas, un refuerzo angular en la parte superior, para facilitar la manipulación y el transporte de la máquina (*Fotos 29-32*).

Fotos 29 y 30. Soldadura de ángulo para manipulación de la máquina



Fotos 31 y 32. Ángulo para manipulación de la máquina



Después de tener el prototipo final, se procedió a realizar los acabados permanentes, pintando la máquina de color negro, para evitar el óxido (Fotos 33 y 34).

Fotos 33 y 34. Máquina pintada



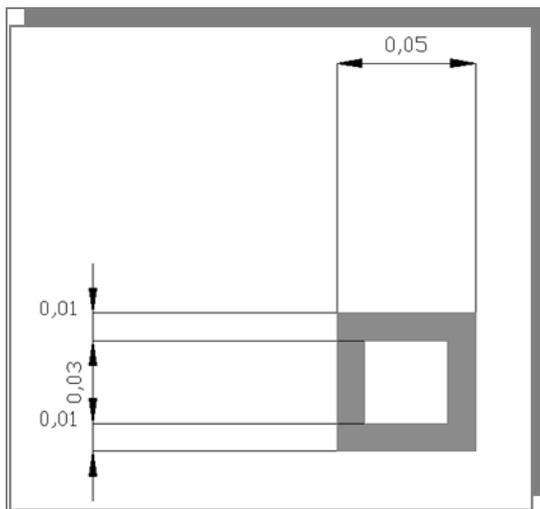
Luego se realizaron las perforaciones en la guía de los martillos, para ubicar las pestañas a través de las cuales, el sistema los levantará. (Fotos 35 y 36).

Fotos 35 y 36. Perforaciones a martillos

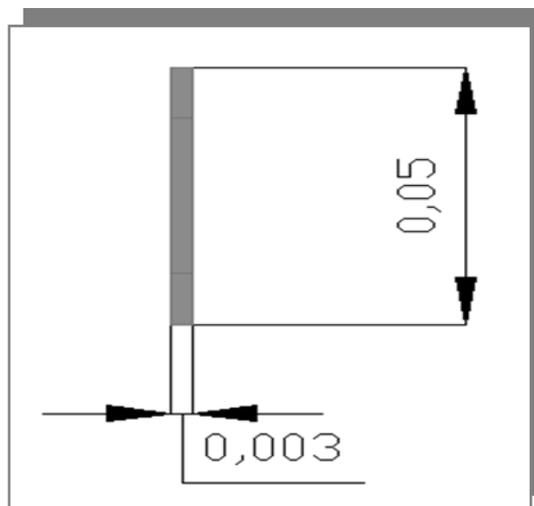


Al accionar manualmente los martillos se notó que había un problema de rozamiento, produciéndose así mucho ruido, debido a esto se diseñaron empaques para el paso de la base principal del martillo a través de la placa guía (Planos 14 y 15).

Plano 14. Vista en Planta – Empaques para guías en Empack blanco



### Plano 15. Vista lateral – Guías en Empack blanco



Luego, se procedió a construir 5 cuadrantes en material Empack, por medio de la fresadora semi-industrial que tienen los laboratorios de la universidad de San Buenaventura (*Fotos 37-39*). Terminados estos, se instalaron en la placa guía, asegurados con tornillos brístol para evitar su movimiento, esto permitió que al momento de caer el martillo, este tuviera no tuviera rozamiento contra la placa guía, sino con el Empack, disminuyendo considerablemente el ruido por rozamiento, y permitiendo la caída libre del martillo.

### Fotos 37 y 38. Fabricación de cuadrantes en Empack

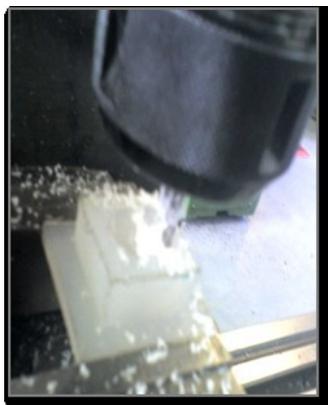
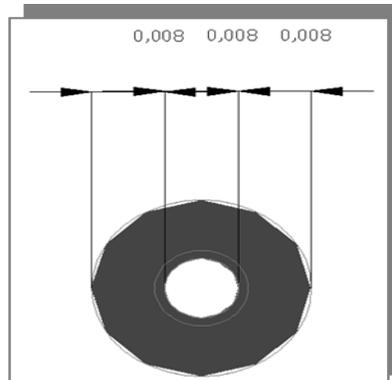


Foto 39. Fabricación de cuadrantes en Empack

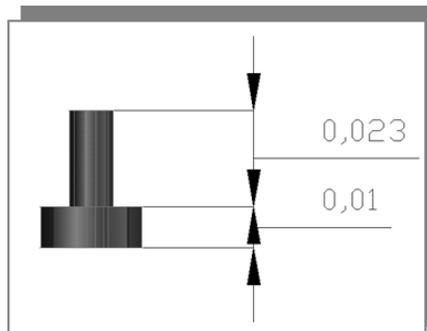


Así como se construyeron empaques para la placa base, también se hizo necesario el diseño de empaques para la guía superior, ya que se producía rozamiento entre ésta y la varilla del martillo (*Planos 16 y 17*).

Plano 16. Vista en planta – Guías en empack negro



Plano 17. Vista lateral – Guías en Empack negro



Utilizando el material Empack, se construyeron los 5 empaques, con la ayuda del torno ubicado en los laboratorios de la Universidad San Buenaventura; estos empaques fueron instalados a presión en la guía superior, cada uno tenía una perforación de 0,008m de diámetro (*Fotos 40-41*), por medio de la cual la varilla del martillo sube y baja sin rozamiento apreciable permitiendo así la caída libre de cada martillo.

Fotos 40 y 41. Construcción de empaques en Empack



A cada uno de los martillos se les construyó una base cilíndrica en acero endurecido de 0,005m de altura con un diámetro de 0,30m, ya que la norma ISO 140-7<sup>14</sup>, pide que la superficie de impactos cumpla estas características; para instalarlos a los martillos, se procedió a perforar cada uno con una broca de 1/4", al igual que a cada una de las bases construidas. Se utilizó un tornillo brístol de 1/4", para unir las bases a cada martillo y asegurar que quedaran fijos al sistema.

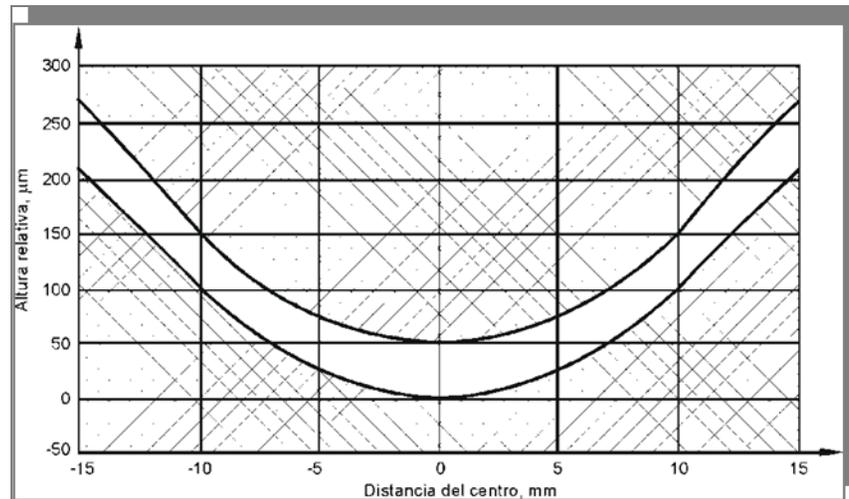
Según la norma ISO 140-7, es necesario realizar una curvatura a la parte del martillo que impacta el suelo, con las siguientes características:

- La parte del martillo que golpea el piso deberá ser cilíndrica con un diámetro de  $(30 \pm 0,2)$  mm. La superficie de impacto deberá ser de acero endurecido y esférica con un radio de curvatura de  $(500 \pm 100)$  mm (*Gráfica 1*).

---

<sup>14</sup> ISO 140-7, Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 7: Medición In Situ del Aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos. 1998. Anexo A.

Gráfica 1. Curvatura de superficie de impacto de los martillos



Con el uso de herramientas tales como, limas metálicas y esmeriles se procedió cuidadosamente a darle la curvatura a las bases de acero endurecido que están fijadas a los martillos, por medio de metros y otros instrumentos de medición se logró darle el radio especificado por la norma, pero no ha sido medido con elementos más precisos como lo es un esferómetro, ya que no ha sido posible la adquisición o préstamo de uno.

Finalmente se procedió a pesar cada martillo y a realizarle a cada uno varias correcciones para que su masa total fuera de  $(500 \pm 20)$  gramos, para que cumplan con la norma ISO 140-7. En el siguiente link puede verse claramente el momento en que fueron pesados los martillos.



[Video 1. Procedimiento para pesar de los martillos](#)

Después de esto, se procedió a diseñar el mecanismo de movimiento de los cinco martillos. Es necesario que cada martillo se eleve del suelo en un rango de tiempo determinado por la norma ISO 140-7<sup>15</sup>, donde establece que estos deben impactar el suelo y volver a elevarse antes que el siguiente martillo lo haga y así sucesivamente hasta que los cinco martillos impacten el suelo, por tanto se procedió a diseñar un sistema que no solo cumpliera con estos requisitos, sino que a su vez fuera de fácil construcción e implementación al sistema de los 5 martillos ya construidos.

Se decidió entonces, aplicar el sistema probado anteriormente en el prototipo de madera (*Página 12*), para lo cual se construyó una base metálica utilizando dos ángulos de acero, se construyó un eje para esta base en acero plata, ya que este material tiene la suficiente dureza, para evitar su deformación con el paso del tiempo y uso continuo de la máquina.

Luego se tomó una barra de aluminio de 0,06m y se cortó utilizando el torno de los laboratorios de la Universidad San Buenaventura (*Foto 43*), el corte se decidió de manera que cada círculo tuviera diámetro de 0,06 m y grosor de  $1,5 \times 10^{-3}$ m, luego, se les realizó una perforación de  $\frac{1}{4}$ " en la parte frontal, a una distancia de 0,045m, en la cual les fueron colocados a cada círculo dos tornillos brístol de  $\frac{1}{4}$ ", colocados a 90 grados, los cuales sirven de guía para la elevación de los martillos.

Foto 43. Martillo terminado



Una vez completados los cinco círculos se procedió a su colocación en el sistema, para ajustarse a las necesidades del usuario de la máquina, se decidió que estos círculos tuvieran la posibilidad de ser colocados y removidos, si fuera el caso,

---

<sup>15</sup> ISO 140-7, Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 7: Medición In Situ del Aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos. 1998. Anexo A.

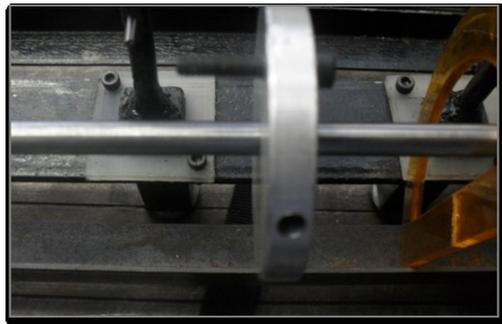
realizar algún cambio a la posición de estos, para conseguirlo, se utilizó el siguiente sistema:

A cada círculo se le realizaron dos orificios laterales de  $\frac{1}{4}$  de pulgada utilizando una fresadora semi-industrial, estos orificios atravesaron en su totalidad el círculo hasta el centro, donde se encuentra el orificio para el paso de la guía de acero plata, este orificio fue perfeccionado con la herramienta macho para realizar los surcos que sirven de guía para los tornillos, una vez completado el proceso para los cinco círculos estos fueron ubicados dentro del eje, en la posición exacta para elevar la guía que cada martillo tiene, esto para asegurar que cada martillo se eleve según la norma ISO 140-7<sup>16</sup>.

Luego, se procedió a colocar cada círculo de manera tal que las guías de cada uno estuvieran separadas cada 72 grados del eje horizontal, esto dividiendo los 360 grados que tiene la circunferencia, para los 5 martillos, asegurando así, que cada círculo eleve en diferente periodo de tiempo su respectivo martillo y que al completarse la secuencia esta inicie nuevamente.

Finalmente, para fijar la posición de los círculos se utilizaron tornillos prisioneros, los cuales fueron introducidos en los orificios laterales (dos por cada círculo) y se apretaron, con el uso de llaves brístol, de manera tal, que estos ejercieran presión contra el eje, asegurando así que los círculos quedaran completamente fijos a al sistema (*Foto 37*).

Foto 37 Círculo de aluminio fijado al eje principal



Para asegurar el libre funcionamiento del eje, es decir que este rotara sin tener problemas de fricción contra el soporte que lo mantiene unido a la máquina de impactos, se decidió realizar un sistema de rodamiento en el mismo, de la siguiente manera:

---

<sup>16</sup> ISO 140-7, Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 7: Medición In Situ del Aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos. 1998. Anexo A

Se construyó una chumacera (dispositivo de aluminio que cubre un elemento), a la cual, en su interior se le colocó un rodamiento con un centro de 0,01 m de diámetro, espacio exacto para que pasara el eje principal, esta chumacera fue soldada al soporte de la máquina que sostiene el eje. Este sistema se aplicó a ambos soportes y se perforó una de las placas laterales para permitir el paso del eje libremente, estos rodamientos garantizaron un poco de fricción entre el soporte y el eje, lo cual permite que el motor no realice mayor fuerza de la que se debe para girar el eje que da movimiento a los círculos, los cuales elevan los martillos.

Una vez realizado esto, se procedió a diseñar el sistema de autopropulsión para poner en funcionamiento la máquina, es necesario que cada martillo impacte el suelo en un tiempo de  $(100 \pm 20)$  milisegundos entre cada uno, según Norma ISO 140-7<sup>17</sup>, por esta razón se decidió que el motor a utilizar debería tener la fuerza exacta para girar el eje en un periodo de 500 milisegundos, que es el tiempo necesario para que todo el sistema, es decir los 5 martillos impacten el suelo y vuelvan a iniciar la secuencia.

Fue necesario conseguir un motor que tuviera una velocidad de alrededor de 30 rpm, para que así el sistema funcionara de manera adecuada, se procedió entonces a instalarlo en la máquina, dando la posibilidad de desmontar el mismo, en caso de que exista la necesidad de reemplazarlo, por esta razón se diseñó el siguiente sistema:

Se construyó un dispositivo para unir el motor al eje del sistema, para ello se utilizó una varilla de acero con longitud de 0,3 m, la cual se perforó con una broca de 0,01 m de diámetro, para permitir el paso del eje; a esta varilla se le realizaron por medio del torno, dos perforaciones de  $\frac{1}{4}$ " , en donde se colocaron dos tornillos brístol del mismo espesor, de manera tal, que un tornillo fijara el eje a la varilla de acero y el otro fijara el eje del motor a la varilla, asegurando por completo el sistema (*Foto 38*).

Foto 38. Sistema eje-motor



---

<sup>17</sup> ISO 140-7, Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 7: Medición In Situ del Aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos. 1998. Anexo A

Luego, a la base construida previamente, se le aseguró el motor mediante el uso de bandas elásticas, las cuales pueden ser removidas en el momento en que el usuario así lo desee.

Finalmente se realizó una perforación de  $\frac{1}{4}$  de pulgada a una de las placas laterales, para que en ella fuera instalado el conector hembra, el cual va conectado al dispositivo de control remoto, en el cual se conectará el adaptador LITEON, que se compró para la máquina el cual cumple la función de transformador, según las siguientes especificaciones:

<p><i>Modelo: PB- 1220-01<sup>a</sup>-ROHS</i> <i>Entrada: 100- 127 V <math>\sim</math>0,8 A 60 Hz</i> <i>Salida: 12 V a 1.833 A</i></p>
--

Para poder prender y apagar la máquina a distancia, se había establecido en los objetivos específicos, construir un dispositivo de control remoto, que enviara una señal a un receptor instalado en la máquina, con el uso de un micro controlador, el cual decodificaría la señal y la analizaría y gracias a la programación este accionaría la máquina y la detendría cada vez que el usuario accionara el control remoto.

Este tipo de micro-controladores tienen múltiples características y gran variedad de aplicaciones dentro del campo de la electrónica, este dispositivo combinado con un transmisor inalámbrico se puede conseguir el control de encendido y apagado de la máquina.

Teniendo en cuenta, que existen otros dispositivos, ya construidos, que nos permiten cumplir con lo esperado, se decidió sustituir el uso del micro-controlador, mencionado anteriormente, por un control remoto (*Foto 39*).

Este dispositivo consta de un receptor y un emisor, los cuales, vienen programados, para una distancia de activación del dispositivo de 30 metros con obstáculos y 40 metros sin obstáculos, cumpliendo con el objetivo planteado de apagar y prender la máquina de impactos.

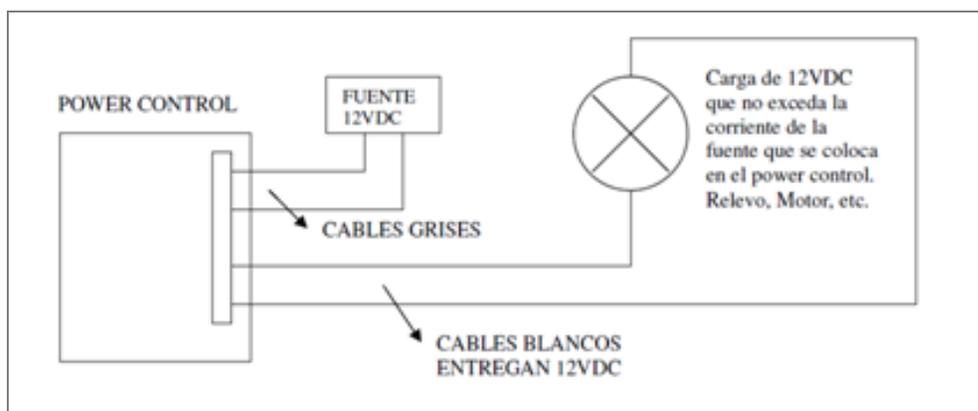


Foto 39. Control Remoto

El control usado para esto, es el Power Control, de 12 VDC y puede manejar cargas hasta de 30 Amperios, la cual es suficiente para el motor al cual se va a conectar, ya que este tiene un consumo máximo de 20 mA. Dicho dispositivo tiene una entrada de 12 VDC a 14 VDC y una salida de 12 VDC cuando se activa el relevo y 0 VDC cuando este se encuentra desactivado.

La corriente del control remoto tiene un consumo normal sin relevo activo de 7mA y un consumo normal con el relevo activo de 98 mA, la corriente de carga máxima en la salida de cada relevo es de 30 A/120V AC/, 14 VDC 15 A / 28 VDC (Diagrama 1).

#### Diagrama 1. Conexión



El dispositivo tiene 5 puertos disponibles, destinados así; una entrada +12VDC, una tierra, un normal abierto, un normal cerrado y un común, la conexión es simple, del adaptador de corriente se envían los 12 VDC a la entrada del sistema y de las salidas normal abierto y común se conecta al motor.

Una vez instalado el motor, el control remoto y su adaptador, se procedió a realizar pruebas de la máquina, para verificar la velocidad de caída de los martillos y el tiempo entre impactos, con la ayuda del Software Adobe Audition 2.0 (tryout versión).

La medición de comprobación se realizó en el laboratorio de acústica de la Universidad de San Buenaventura, se utilizó un micrófono SM 57, la consola digital y un portátil para capturar la señal y poder apreciarla en el software, se puso en funcionamiento la máquina y se procedió a verificar el comportamiento de la misma.

Foto 40. Medición de comprobación de la máquina



Con base en estas mediciones, se realizaron algunos ajustes a la máquina, modificando un poco el ángulo de los círculos que levantan los martillos, logrando así cumplir con el tiempo medio entre impactos, definido por la Norma ISO 140-7 de  $(100 \pm 20)$  ms. A continuación se puede ver esta comprobación siguiendo el siguiente hipervínculo:



[Video 2. Comprobación del tiempo entre impactos](#)

Al asegurar el funcionamiento de la máquina según la norma mencionada se procedió a realizar la medición de ruido de impactos siguiendo todos los lineamientos propuestos en la norma.

Se eligió como lugar para la medición dos salones de la universidad de San Buenaventura del edificio Duns Scotto ubicados uno en el quinto piso el cual sería el recinto emisor (donde se coloca la máquina de impactos) y otro ubicado en el cuarto piso inmediatamente inferior al otro el cual sería el recinto receptor (donde se mide)

Primero que todo se tomaron todas las medidas del salón receptor para realizar los planos del mismo en AutoCad, en el interior de este había 34 sillas en el momento de la medición, las paredes convencionales hechas de hormigón pintado, ventanas y marcos normales y piso en ladrillo enchapado, el recinto emisor tenía el piso cubierto en su totalidad por una alfombra y en él se encontraban 25 sillas, al momento de la medición no se encontraba ninguna persona en su interior.

Foto 41. Recinto receptor



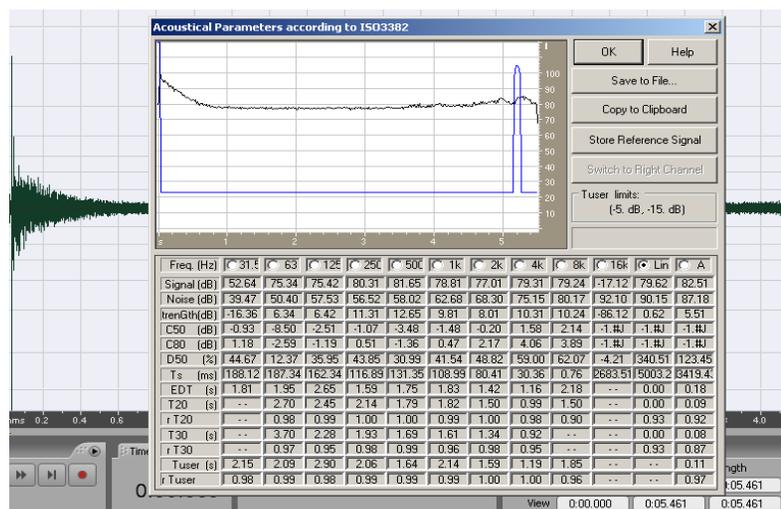
Se procedió a medir el tiempo de reverberación del salón receptor según la norma ISO 3382, los equipos utilizados fueron; como fuente un altavoz JBL EON 15, el micrófono de medición utilizado fue el ECM 8000 y una Consola Behringer EURORACK MX602A la cual recibía la señal del micrófono y la enviaba a un equipo portátil Sony Vaio, referencia VGN-NR210FH.

Foto 42. Equipos de medición



Finalmente se utilizó el plugin aurora para el software Adobe audition 2.0 (tryout versión) para procesar la señal recibida y obtener los datos de tiempo de reverberación para cada posición de fuente y micrófono.

Foto 43. Plugin aurora



Una vez promediados los datos del tiempo de reverberación de cada una de las mediciones se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 1. Tiempo de reverberación del salón receptor

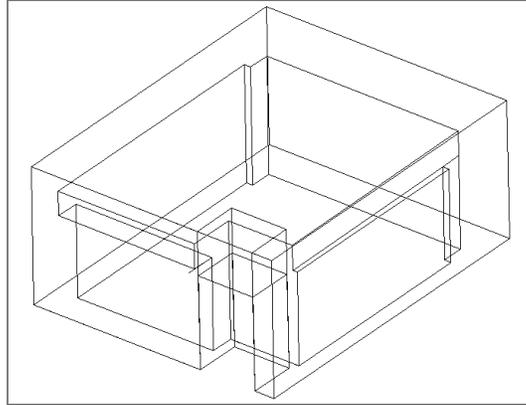
Frecuencia [Hz]	Señal [dB]	Ruido [dB]	S/R [dB]	T20 [s]
100	74,9	56,8	18,1	3,6
125	75,4	62,4	13,0	3,2
160	77,3	62,9	14,4	2,4
200	78,6	64,3	14,3	2,2
250	80,3	62,5	17,8	2,0
315	79,7	60,0	19,7	2,1
400	80,5	60,6	19,9	1,8
500	81,7	60,0	21,6	1,9
630	80,7	54,8	25,9	2,0
800	79,5	50,0	29,5	1,9
1000	78,8	46,1	32,7	1,8
1250	78,3	40,9	37,4	1,6
1600	77,7	39,9	37,8	1,5
2000	77,0	37,0	40,0	1,6
2500	78,2	33,0	45,2	1,3
3150	78,7	30,7	48,0	1,5
4000	79,3	29,3	50,0	1,3
5000	80,2	26,7	53,5	1,4

Una vez obtenido el tiempo de reverberación, se procedió a realizar la medición de aislamiento acústico de pisos al ruido de impacto, para ello siguió el procedimiento expresado en la norma ISO 140-7,

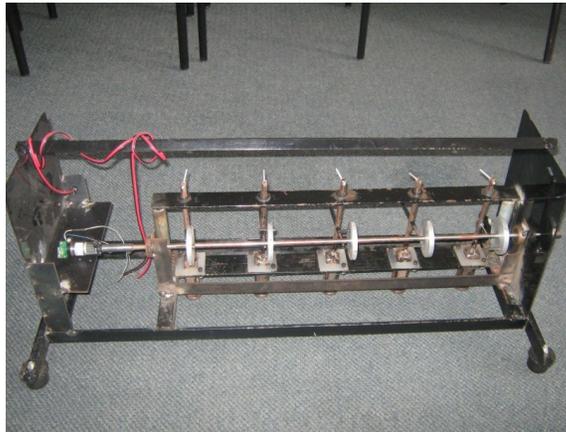
Esta medición se realizó el día 17 de Octubre del año 2009, en las instalaciones de la universidad de San Buenaventura Sede Bogotá. Como recinto receptor se escogió el Salón 417 del edificio Duns Scotto como recinto emisor se escogió el salón 517 del mismo edificio, el cual está ubicado en parte superior del recinto receptor.

El volumen del recinto receptor es  $108,43 \text{ m}^3$  el cual fue calculado por medio de los planos en 3D realizados en el programa AutoCad, este dato era necesario para los cálculos de ruido de impacto que se explican más adelante

Foto 44. Plano del recinto receptor



Se utilizó como fuente la máquina de impactos normalizada AAAS- 001, la cual fue colocada en 4 posiciones diferentes en el recinto emisor tomando en cuenta las recomendaciones de la norma ISO 140-7 en cuanto distancias a las paredes del recinto, la cual indica que la distancia de la máquina de impactos a los bordes del piso deberá ser de al menos 0,5 m. A continuación se puede ver la máquina de impactos en funcionamiento en el recinto emisor siguiendo el siguiente link.



[Video 2. Máquina de impactos en funcionamiento en el recinto receptor](#)

En el recinto receptor por cada posición de fuente se midió en 6 posiciones de micrófono, para este caso fue utilizado el sonómetro integrador el cual era un sonómetro tipo 1 Svan 943, este se colocó a un metro del techo en cada una de las posiciones y manteniendo las posiciones entre sí sugeridas por la misma norma ISO 140-7. El tiempo de integración fue de 10s para todas las bandas de frecuencia.

Foto 45. Sonómetro integrador



Una vez tomadas las mediciones se procedió a obtener los valores de ruido de impacto acorde con la norma ISO 140-7, estos datos obtenidos para cada posición de fuente y de micrófono se expresan como  $L_j$ , los cuales fueron promediados utilizando la siguiente ecuación:

$$L = 10 \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n L_j / 10 \right) \dots \text{dB} \quad (\text{Ecuación 1})$$

En donde los  $L_j$  son los niveles de presión sonora  $L_1$  a  $L_n$  en  $n$  posiciones diferentes del recinto. Los datos obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 2. Lj por tercio de octava

Frecuencia [Hz]	L <sub>j</sub> [dB]
50	51,1
63	60,3
80	56,8
100	60,1
125	65,6
160	66,2
200	67,6
250	65,7
315	63,3
400	63,9
500	63,3
630	58,1
800	53,3
1 000	49,3
1 250	44,2
1 600	43,1
2 000	40,3
2 500	36,2
3 150	34,0
4 000	32,6
5 000	30,0

La norma indica que el rango de frecuencia sea de 100 a 3150 Hz por tercio de octava, si se desea se muestran los datos de 4000 y 5000 Hz, únicamente si es necesario se darán los datos de baja frecuencia para 50 63 y 80 Hz.

Existe una corrección expresada en la norma la cual está relacionada con la absorción del recinto, esta recibe el nombre de nivel de presión de ruido de impactos normalizada  $L'_n$  este es el nivel de presión medido  $L_i$  aumentado mediante un término de corrección dado en decibeles y es obtenido por medio de la siguiente ecuación:

$$L'_n = L_i + 0,1 \lg \frac{A}{A_0} \dots [dB] \quad (\text{Ecuación 2})$$

En donde  $A$  es la absorción del área de absorción equivalente medido en la sala receptora y  $A_0$  es el área de absorción equivalente de referencia que es igual a  $10 \text{ m}^2$ ,

El valor de  $A$  fue hallado utilizando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{0,16V}{T} \quad (\text{Ecuación 3})$$

A cada  $L_i$  medido en la sala se le halló el  $L'_n$  correspondiente utilizando la ecuación número 2, luego con cada  $L'_n$  se obtuvo el promedio por tercio de octava de todas las mediciones realizadas dando como resultado los siguientes datos:

Tabla 3. Ruido de fondo,  $L'_n$  medido y relación señal ruido

Frecuencia [Hz]	Ruido [dB]	$L'_n$ [dB]	S/R
100	53,9	60,6	6,8
125	58,2	66,2	8,0
160	58,7	66,8	8,1
200	60,5	68,2	7,7
250	58,3	66,3	8,0
315	56,6	63,8	7,3
400	56,7	64,5	7,8
500	55,6	63,8	8,2
630	50,6	58,6	8,0
800	46,1	53,8	7,8
1000	42,5	49,9	7,4
1250	36,7	44,7	8,0
1600	35,9	43,7	7,8
2000	32,9	40,8	8,0
2500	28,8	36,8	8,1
3150	26,9	34,6	7,7
4000	26,2	33,1	6,9
5000	23,6	30,5	6,9

Según la norma ISO 140-7 si la diferencia de niveles entre  $L'_n$  y el ruido de fondo es inferior o igual a 6 dB en cualquiera de las bandas de frecuencia, se utiliza la

corrección 1,3 dB correspondiente a una diferencia de 6 dB. Como se puede observar en la tabla 3, el valor de  $L'_n$  no fue necesario corregir ya que este siempre estuvo arriba de los 6 dB mínimos necesarios para realizar esta corrección.

Así mismo la norma indica que si el nivel  $L'_n$  está por encima de 6 dB del ruido de fondo pero si esta diferencia es inferior a los 10 dB se calculara la corrección por ruido de fondo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$L = 0 \lg \left( 10^{L_{ab}/10} - 10^{L_b/10} \right) \quad \text{[dB]} \quad (\text{Ecuación 4})$$

En donde;  $L$  es el nivel de señal corregido, en decibeles;  $L_{ab}$  es el nivel combinado de señal y ruido de fondo, en decibeles y  $L_b$  es el nivel de ruido de fondo, en decibeles. De acuerdo a lo anterior el nivel de  $L$ , es el siguiente:

Tabla 4. Valores de L

Frecuencia [Hz]	L [dB]
100	59,6
125	65,5
160	66
200	67,3
250	65,6
315	62,9
400	63,7
500	63,1
630	57,9
800	53,1
1000	49
1250	44
1600	42,9
2000	40,1
2500	36,1
3150	33,8
4000	32,1
5000	29,5

Acorde con lo expresado en la norma ISO 717 existe un índice único  $L'_{nw}$  (nivel de ruido de impacto normalizado y ponderado) el cual permite comparar materiales o valorar la calidad de una edificación, la cual se muestra a continuación;

Tabla 5. Nivel de ruido de impacto normalizado y ponderado

Frecuencia [Hz]	Ref [dB]
100	67
125	67
160	67
200	67
250	67
315	67
400	66
500	65
630	64
800	63
1000	62
1250	59
1600	56
2000	53
2500	50
3150	47

Siguiendo el procedimiento expuesto en la norma se tomo la curva de referencia dada por esta y se fue desplazando en saltos de 1 dB hacia la curva medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables fue lo más grande posible, pero sin que sobrepasara los 32 dB.

En el caso de esta medición fue necesario desplazar la curva 6 dB menos para llegar a una suma de desviaciones desfavorables de 30,11 dB, acorde con la norma ISO 717, el valor de la curva de referencia desplazada en 500 Hz es el valor del índice  $L'_{nw}$ . Para este caso fue de 59 dB.

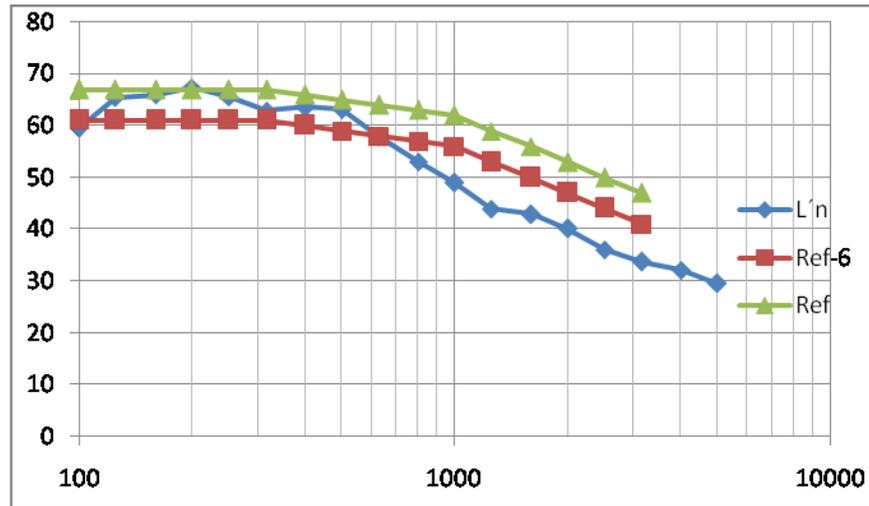
En la página siguiente se encuentra el informe de medición, de acuerdo a los lineamientos dados en la norma ISO 1407-7.

**Niveles de ruido de impactos normalizados según la norma ISO 140-7  
Medidas "in situ" del aislamiento acústico al ruido de impactos de pisos**

Cliente: USB

Fecha del ensayo: 17 octubre 2009

Descripción e identificación de la edificación y disposición de ensayo:  
Recinto receptor Salón 410 del edificio Duns Scotto de la universidad de San Buenaventura Sede Bogotá



Grafica 1. Curva logarítmica de Niveles de L'n medido , de referencia y de referencia - 6 dB

Frecuencia [Hz]	L'n [dB]
100,0	59,6
125,0	65,5
160,0	66,0
200,0	67,3
250,0	65,6
315,0	62,9
400,0	63,7
500,0	63,1
630,0	57,9
800,0	53,1
1000,0	49,0
1250,0	44,0
1600,0	42,9
2000,0	40,1
2500,0	36,1
3150,0	33,8
4000,0	32,1
5000,0	29,5

Valoración según UNE EN ISO 717-2

$$L'_{n,w}(C_1) = (59) \text{ dB};$$

Evaluación basada en resultados de la medida "in situ" obtenida en bandas de tercio de octava mediante un método de ingeniería

Número del informe: 001  
Fecha: 3 noviembre 2009

Nombre del Instituto de ensayo: USB  
Firma:

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 MEDICIÓN DEL TIEMPO ENTRE IMPACTOS DE CADA MARTILLO

El mecanismo de elevación y posterior liberación de los martillos según las mediciones está dentro del marco que permite la norma, el cual es de  $(100 \pm 20)$  milisegundos, se realizó un análisis estadístico del funcionamiento de la máquina utilizando las primeras 10 secuencias de la misma, con base en las mediciones realizadas (ver video número 2). Los resultados se muestran a continuación:

Tabla 6. Promedio tiempo entre impactos martillo número uno

<b>Martillo número 1</b>	
<b>Secuencia</b>	<b>Tiempo entre impactos [ms]</b>
1	106
2	108
3	105
4	110
5	107
6	105
7	105
8	108
9	105
10	110
<b>Promedio</b>	106,9
<b>Desviación estándar</b>	2,02

Tabla 7. Promedio tiempo entre impactos martillo número dos

<b>Martillo número 2</b>	
<b>Secuencia</b>	<b>Tiempo entre impactos [ms]</b>
1	103
2	105
3	107
4	104
5	103
6	106
7	104
8	103
9	108
10	105

<b>Promedio</b>	104,8
<b>Desviación estándar</b>	1,75

Tabla 8. Promedio tiempo entre impactos martillo número tres

<b>Martillo número 3</b>	
<b>Secuencia</b>	<b>Tiempo entre impactos [ms]</b>
1	110
2	109
3	111
4	108
5	107
6	109
7	110
8	111
9	109
10	111

<b>Promedio</b>	109,5
<b>Desviación estándar</b>	1,35

Tabla 9. Promedio tiempo entre impactos martillo número cuatro

<b>Martillo número 4</b>	
<b>Secuencia</b>	<b>Tiempo entre impactos [ms]</b>
1	105
2	109
3	104
4	107
5	102
6	107
7	104
8	103
9	106
10	108

<b>Promedio</b>	105,5
<b>Desviación estándar</b>	2,27

Tabla 10. Promedio tiempo entre impactos martillo número cinco

<b>Martillo número cinco</b>	
<b>Secuencia</b>	<b>Tiempo entre impactos [ms]</b>
1	98
2	102
3	104
4	99
5	97
6	101
7	101
8	97
9	102
10	98
<b>Promedio</b>	99,9
<b>Desviación estándar</b>	2,42

Se observa, que las secuencias no son uniformes, es decir que los primeros 5 impactos no son exactamente iguales a los 5 siguientes y así sucesivamente, pero las secuencias siguientes a la primera, cumplen con los requisitos de la ISO 140-7, probablemente esta falta de uniformidad se debe al comportamiento del motor que no produce la misma fuerza para cada secuencia.

Tabla 11. Resumen tiempo entre impactos martillos y desviación estándar

<b>Martillos</b>	<b>Promedio [ms]</b>	<b>Desviación estándar</b>
1	106,9	2,02
2	104,8	1,75
3	109,5	1,35
4	105,5	2,27
5	99,9	2,42

De la tabla anterior se puede deducir que el tiempo medio entre impactos es de 105,32ms, con una desviación estándar de 3,52ms.

## 5.2 MEDICIÓN DEL TIEMPO ENTRE EL IMPACTO Y LA ELEVACIÓN DE CADA MARTILLO.

El tiempo de caída para cada martillo, se calculó de la siguiente manera:

A partir de la ecuación:

$$y = y_0 + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (\text{Ecuación 5})$$

Sabiendo que la  $y_0$  y  $v_0$  son iguales a cero se deduce que;

$$t = \sqrt{2R/g} \quad (\text{Ecuación 6})$$

*Donde:*  
*T= Tiempo de caída*  
*R= Radio (0.02m)*  
*g= Aceleración de la gravedad (9.8m/s<sup>2</sup>)*

Entonces:

$$T = 0,09s$$

Este Tiempo es el tiempo de caída del martillo, con este tiempo se puede hallar el tiempo que demora el martillo en impactar el piso y ser elevado del mismo del piso, por medio de la siguiente ecuación:

$$t_s = T/4 - t_c \quad (\text{Ecuación 7})$$

*Donde:*  
*T= Período (0.526s)*  
*t<sub>c</sub>= tiempo de caída(0.09s)*

Tabla 12. Frecuencia de cada martillo y tiempo medio entre impacto y elevación de los martillos

Martillos	Período [ms]	Tiempo medio entre impacto y elevación de los martillos [ms]
1	534,5	42,5
2	524	41
3	547,5	46,87
4	527,5	41,87
5	499,5	34,87
<b>Valores promedio</b>	<b>526,6</b>	<b>41,42</b>

### 5.3 MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE IMPACTOS

Anteriormente, se calculó la velocidad de impactos de cada uno de los martillos de forma teórica (*Tabla 12*), ahora con la máquina construida y los datos obtenidos anteriormente, esta velocidad se calcula la velocidad de impacto, por medio de la siguiente fórmula:

$$V_f = -g \cdot t_c \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

$g = \text{aceleración de la gravedad} (9,8 \text{ m/s}^2)$   
 $t_c = \text{tiempo de caída de cada martillo} (0,041\text{s})$

Entonces:

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$t_c = 0,09\text{s}$$

$$V_f = -9,8 (0,09)$$

$$\mathbf{V_f = 0,882 \text{ m/s}}$$

De esta manera el promedio de la velocidad final de los cinco martillos, se encuentra dentro del rango establecido por la norma ISO 140-7, el cual es de  $(0,886 \pm 0,022) \text{ m/s}$ , el % de error se calcula a continuación:

$$\frac{V_t - V_e}{V_t} \times 100 \quad (\text{Ecuación B})$$

Donde:

$V_t$  = Valor teórico

$V_e$  = Valor experimental

$V_e = 0,882$

$V_t = 0,886$

Entonces

$$\% \text{ de error} = \frac{0,886 - 0,882}{0,886} \times 100$$

**% de error = 0,4**

#### 5.4 SISTEMA DE CONTROL REMOTO

Se pudo observar que el mecanismo de control remoto, cumple con su objetivo, el alcance máximo a campo abierto, según el fabricante es de 30m con obstáculos y 40m en línea directa, se realizaron varias pruebas a diferentes distancias y los resultados se ven a continuación:

Tabla 14. Funcionamiento del control remoto en línea abierta y con obstáculos.

Distancia (m)	Activación en línea directa	Activación con obstáculos
5	Si	Si
10	Si	Si
15	Si	Si
20	Si	Si
25	Si	Si
30	Si	Si
35	Si	Si
40	Si	No
45	Si	No
50	No	No

## 5.5 COMPARACIÓN ENTRE LA MÁQUINA REALIZADA Y LOS REQUISITOS INTERNACIONALES

A continuación se presenta una tabla de validación, en la cual se pueden observar los datos físicos de la máquina de impactos construida, contrastados con los requerimientos especificados en el anexo A de la norma ISO 140-7.

Tabla 15. Validación de entre la máquina de impactos AAAS 001, según requerimientos de la norma ISO 140-7

Requisitos de la máquina de impactos	Norma ISO 140-7	Máquina AAAJ	CUMPLE
Velocidad media de impacto(m/s)	0,886 ± 0,022	0,882	SI
Tiempo medio entre impactos (ms)	100 ± 20	105,32	SI
Tiempo medio entre el impacto y la elevación de los martillo (ms)	< 80	41,42	SI
Masa de martillo número 1 (g)	500 ± 12	507,9	SI
Masa de martillo número 2 (g)	500 ± 12	506,8	SI
Masa de martillo número 3 (g)	500 ± 12	508,4	SI
Masa de martillo número 4 (g)	500 ± 12	505,6	SI
Masa de martillo número 5 (g)	500 ± 12	506,1	SI
Distancia entre los ejes de martillos (m)	0,1 ± 0,03	0,1	SI
Mínima distancia entre el centro de los soportes de la máquina (m)	0,1	0,16	SI
Altura de los martillos con respecto al suelo (m)	0,04	0,04	SI
Diámetro parte del martillo que golpea el piso (m)	0,03 ± 0,002	0,03	SI
Radio de curvatura de la superficie de impacto (m)	0,5 ± 0,1	0,5	SI

## 5.6 RUIDO AÉREO

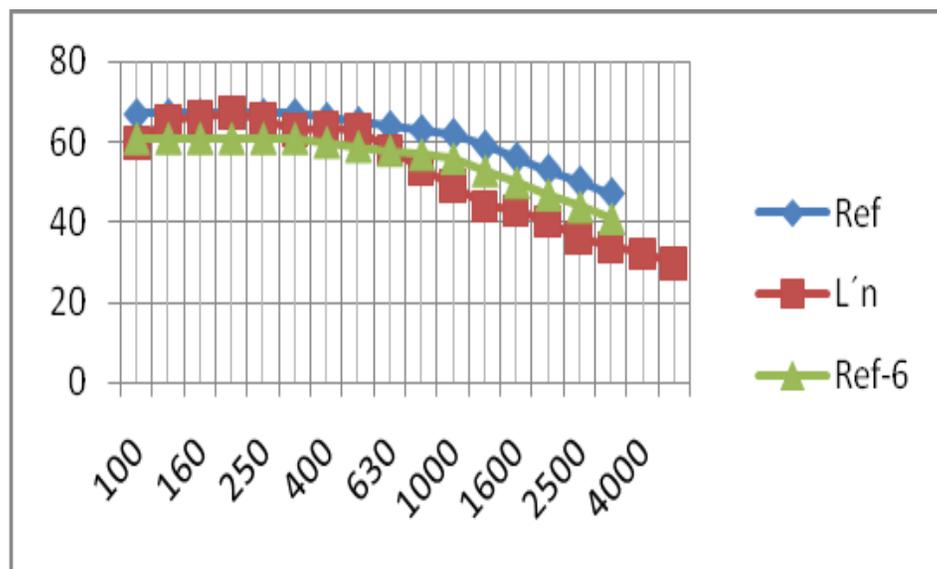
Cuando el sistema está en movimiento, se aprecia que el mayor ruido se produce en el momento en que cada guía de los círculos del eje, elevan las guías ubicadas en cada martillo, se pensó en instalar cubrimientos hecho en goma a cada guía de los martillos para disminuir el ruido, pero al hacer esto, el mecanismo no funcionaba de manera correcta, por eso se decidió dejar las guías sin cubrimiento.

Cabe anotar que los soportes de la máquina disminuyen el paso de vibraciones producidas por la misma, hacia el piso de ensayo. Es natural que la máquina genere ruido aéreo, incluso la norma ISO 140-7 tiene en cuenta este hecho, “Se debe tener cuidado de que el ruido aéreo producido por la máquina de impactos y transmitido a la sala receptora no afecte al nivel de presión de ruido de impactos en la sala receptora.”<sup>18</sup>

## 5.7 MEDICIÓN DE AISLAMIENTO

Según los datos obtenidos en la medición del aislamiento del piso a ruido de impactos, entre los salones 417 y 517 del edificio Duns Scotto de la Universidad de San Buenaventura, está dentro de los estándares indicados en la norma ISO 140-7, esto se puede apreciar al comparar la grafica de la curva de referencia dada por la norma ISO 717 y la curva generada por la máquina de impactos construida.

Grafica 1. Curvas lineal de  $L'_n$  medido, de referencia y de referencia - 6 dB (dB vs Hz)



Se observa, que al igual que en la curva de referencia hay mayor energía en las frecuencias bajas, especialmente en 125 Hz hasta 500 Hz en donde comienza a caer la energía progresivamente. En la curva hay una pequeña caída cerca a la frecuencia de 315 Hz y luego cae gradualmente a partir de la frecuencia de 500 Hz hasta la frecuencia de 1250 Hz, y continuar disminuyendo de ahí en adelante.

<sup>18</sup> ISO 140-7, Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 7: Medición In Situ del Aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos. 1998. Anexo A

## 5.8 COSTO DE LA MÁQUINA DE IMPACTOS

A continuación se presenta un cuadro con los costos generales de la máquina de impactos, en el se ve en detalle el costo de los materiales utilizados, la herramienta y los recursos humanos.

Tabla 16. Costo de materiales, herramientas y recursos humanos.

Concepto	Costo total
Angulo de hierro tira de 1 pulgada x 2m	14000
Angulo de hierro tira de 1/4 pulgada x 2m	10000
4 Bases neopreno	140000
Hierro macizo tira de 2m	22000
Lamina metálica: tira de 1m x 50cm	40000
Varilla de ½ la tira de 2m	9000
Soldadura eléctrica	50000
Tubo de ½ pulgada la tira de 2m	18000
Lamina metálica tira de 4cm x 2m	25000
Varilla acero plata tira de 1m	9000
Cilindro de aluminio tira de 50cm x 3cm de diámetro	30000
3 balineras o rodamientos	8500
Meypack blanco tira de 40cm x10cm	25000
Meypack negro tira de 40cm x10cm	25000
Tornillos guía	10000
Tornillos brístol	15000
Tornillo prisionero	8000
10 Tuercas	5000
4 Brocas	20000
Enroscado macho	5000
Motor	55000
Control remoto	60000
Fuente o transformador, adaptador	18000
Conector hembra para fuente	500
Cables	10000
Alquiler Equipamiento (pulidora, taladro, equipo de soldadura)	500000
Mano de obra	600000
Conocimiento ingenieril (subjetivo)	800000
<b>Subtotal</b>	<b>2532000</b>
Otros, (administrativos, imprevistos, transportes)	405120
<b>Total</b>	<b>2937120</b>

El costo total de la máquina es de \$2937120, este costo no incluye el valor de las maquinas (fresa industrial, torno, esmeril, etc.) de propiedad de la universidad de San Buenaventura, ni el valor del trabajo de quienes ayudaron en ella (tutores, técnicos del hangar, auxiliares).

La empresa Cesva ubicada en la ciudad de Barcelona (España), tiene a la venta la máquina de impactos mi005 que también cumple con los requerimientos de la norma ISO 140-7, esta tiene un costo de \$16000000, aunque este precio incluye el costo del envío desde ese país, esta resulta ser mucho más costosa si es comparada con la construida para este proyecto.

Es necesario anotar que la máquina vendida por Cesva, incluye una protección contra el sobrecalentamiento, un cable para conexión a PC, software y una caja de transporte, accesorios que no trae la máquina construida, ya que estos no son indispensables para el cumplimiento de la norma ISO 140-7.

## **5.9 PAGINA WEB**

La pagina web dedicada a la construcción de la máquina de impactos se encuentra ubicada en el siguiente link [http:// www.solucionesacusticas.co.cc](http://www.solucionesacusticas.co.cc), en ella se encuentra la sección; Máquina de impactos, en la cual se encuentran los planos, los diseños y demás datos obtenidos en la presente investigación.

## **5.10 MANUAL DE FUNCIONAMIENTO Y MANTENIMIENTO DE LA MÁQUINA**

Anexo a este trabajo se encuentran en archivo PDF el manual de la máquina de impactos, este contiene las especificaciones técnicas de la máquina, así como su correcto uso, limpieza y mantenimiento.

## 6. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el proceso de diseño e implementación de la máquina de impactos AAAS 001, se concluye:

- En Colombia es posible construir una máquina de impacto utilizando recursos técnicos y humanos nacionales, que cumpla con los requerimientos del anexo A de la norma ISO 140-7 (ver tabla 15), por lo tanto, no es necesario importar este tipo de instrumentos de otros países sin embargo el sistema mecánico que pone en funcionamiento esta máquina es demasiado complejo y difícil de calibrar, ya que el tiempo entre impacto de los martillos depende de variables como la velocidad, la fuerza del motor y el rozamiento que hay entre las diferentes guías que elevan los martillos, por eso es necesario continuar con el desarrollo de esta herramienta.
- El uso de materias primas y recursos humanos nacionales permite que el costo de fabricación de la máquina de impactos, sea mucho menor que el costo que tienen las máquinas traídas del extranjero. (ver numeral 5.8), para encontrar el material adecuado para su implementación, fue necesario realizar una investigación sobre cuáles son las empresas especializadas en materias primas y sus respectivas características, cabe anotar que aunque existen los recursos humanos para construir maquinaria no hay un énfasis específico en la fabricación de máquinas de impacto y por eso se hace necesario comenzar a capacitar personal en esta área.
- Para diseñar y construir este tipo de herramientas, es necesario aplicar los conocimientos de ingeniería aprendidos en los cursos básicos de formación en física mecánica, matemáticas, etc. Así mismo se debe tener un conocimiento amplio sobre que materiales utilizar y con cuales herramientas pueden ser manipulados los mismos, pero no existen documentos específicos que describan el proceso de construcción, únicamente existe la norma ISO 140 -7 la cual indica los requerimientos que debe cumplir la máquina, por tanto este trabajo investigativo es uno de los primeros documentos especializados en el tema.
- El sistema eléctrico que pone en funcionamiento el eje central de la máquina de impacto es inestable, debido a las características del motor utilizado, es decir que no ejerce la misma velocidad en cada periodo, a pesar de esto el tiempo entre impactos de cada martillo se encuentra dentro de los límites requeridos en la norma ISO 140-7. Es necesario anotar que el

motorreductor necesario para el sistema (30rpm) debe realizar una gran fuerza al elevar las dos guías de cada círculo, por tanto se debe ensayar con varios motores a diferentes voltajes, hasta encontrar el más adecuado para el sistema.

- La máquina de impactos es una herramienta indispensable para la medición “in situ” del aislamiento acústico entre pisos al ruido de impacto, ya que este instrumento contribuyó a realizar una medición sencilla y confiable, la cual permitió hallar un índice único  $L'_{nw}$  (nivel de ruido de impacto normalizado), útil para comparar materiales o valorar la calidad de una edificación. Es de gran importancia que esta herramienta sea aplicada, en el caso de edificaciones, cuando estas estén en construcción y el aislamiento entre pisos sea más fácil de realizar
- Al construir esta herramienta el grupo de investigación asumió los riesgos laborales propios de quien trabaja en el área manipulación de maquinaria industrial, se debe hacer énfasis en el uso adecuado de las herramientas de construcción y el cuidado que se debe tener al manipularlas,
- A lo largo del proceso de diseño y construcción de la máquina de impactos, este grupo de investigación adquirió una gran experiencia a nivel laboral, ya que se obtuvo conocimiento en áreas diferentes a la ingeniería de sonido, al mismo tiempo que se notó la necesidad por parte del mercado (empresas y personas naturales dedicadas a la acústica) de adquirir y utilizar esta herramienta, por tal motivo se decidió iniciar un proyecto laboral que supla esta necesidad.
- Es necesario en nuestro país masificar el uso de la máquina de impactos y darla a conocer a diferentes profesionales en el área de la construcción, (Ingenieros civiles, arquitectos, ingenieros industriales, agentes inmobiliarios etc.) para que por medio de conferencias y seminarios en los cuales explique el uso de esta herramienta se pueda crear conciencia acerca del concepto de control de ruido y aislamiento en viviendas y edificios de nuestro país.

## 7. RECOMENDACIONES

En base al trabajo realizado por el grupo de investigación, se recomienda:

- Determinar por medio de un estudio que materiales diferentes a los usados en este proyecto pueden ser utilizados, para que la estructura de la maquina tenga un menor peso y esta sea más fácil de transportar.
- Analizar y mejorar el mecanismo de elevación e impacto de los martillos implementado en esta máquina de impacto, para que este sea de mayor precisión.
- Hacer un análisis que determine la resistencia de diferentes tipos de cubrimientos (madera, baldosa, mármol. Etc.) al uso continuo de la máquina de impactos.
- Realizar un estudio a largo plazo del funcionamiento de la máquina de impactos y verificar cada cuanto tiempo es necesario realizar la calibración de la misma.
- Reemplazar el motor de 30rpm utilizado en el sistema de elevación e impacto de los martillos, por otros motores con diferentes características y analizar en que cambia el comportamiento del sistema.
- Realizar una búsqueda sobre que normas diferentes a las usadas en este proyecto pueden ser aplicadas para el diseño y construcción de una máquina de impactos.

## GLOSARIO

**Ruido:** Generalmente definido como sonido no deseable.<sup>19</sup>

**Frecuencia:** Se refiere a un fenómeno periódico de ocurrencia cíclica como una onda sonora. Su frecuencia es el número de veces que se repite en un segundo; es decir, ciclos por segundo. La unidad de frecuencia es el Hertz (Hz) que corresponde a 1 ciclo por segundo.<sup>20</sup>

**Ruido de impacto:** Es aquel en el que se presentan variaciones rápidas de un nivel de presión sonora en intervalos de tiempo menores.<sup>21</sup>

**Nivel de presión sonora media en un recinto, L:** Es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el promedio temporal y espacial del cuadrado de la presión sonora de referencia, tomando el promedio espacial sobre todo el recinto con la excepción de aquellas partes donde la radiación directa de la fuente sonora o el campo cercano de los límites del recinto (paredes, etc.) tengan una influencia significativa; se expresa en decibeles.<sup>22</sup>

**Nivel de presión de ruido de impactos, Li:** Es el nivel de presión sonora medio de un tercio de octava en la sala receptora cuando el piso bajo ensayo es excitado por la máquina de impactos normalizada; se expresa en decibeles.<sup>23</sup>

**Nivel de presión de ruido de impactos normalizado, L'n:** Es el nivel de presión de ruido de impactos Li aumentado mediante un término de corrección, dado en decibeles que es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el área de absorción equivalente medido A de la sala receptora y el área de absorción equivalente de referencia A0; Se expresa en decibeles.<sup>24</sup>

**Nivel de presión de ruido de impactos estandarizado, L'n T:** Es el nivel de presión de ruido de impactos Li reducido mediante un término de corrección, dado en decibeles, que es diez veces el logaritmo decimal del cociente entre el tiempo de reverberación medido en el recinto receptor y el tiempo de reverberación de referencia T0'; se expresa en decibeles.<sup>25</sup>

---

<sup>19</sup> [www.e-a-r.info/es](http://www.e-a-r.info/es)

<sup>20</sup> *Ibíd.*

<sup>21</sup> [www.monograffas.com](http://www.monograffas.com)

<sup>22</sup> Norma ISO 140-7

<sup>23</sup> *Ibíd.*

<sup>24</sup> *Ibíd.*

<sup>25</sup> *Ibíd.*

**Reducción del nivel de ruido de impactos,  $\Delta L'$ :** Es la diferencia, en decibeles, entre los niveles medios de presión acústica, en el recinto receptor antes y después de la instalación de, por ejemplo, un recubrimiento del piso.<sup>26</sup>

**Longitud de onda:** Se define como la distancia que recorre un frente de onda en un periodo completo de oscilación. Se mide en unidades de longitud (m).<sup>27</sup>

**Velocidad del Sonido:** Es la velocidad a la que se propagan las ondas sonoras en un medio elástico. Depende de la masa y elasticidad del mismo.<sup>28</sup>

**Aislamiento acústico:** Protección de un recinto contra la penetración de sonidos. Se trata de reducir el ruido, tanto aéreo como estructural que llega al receptor a través del obstáculo. Un buen aislamiento acústico pretende que la energía transmitida sea mínima. Esto implica un aumento de energía disipada y/o reflejada sin que tenga importancia el reparto entre ellas, ni la acústica del local emisor.<sup>29</sup>

**Pérdida por transmisión:** Es la relación entre la energía sonora incidente sobre la pared y la energía sonora transmitida. Se expresa en decibelios y posee un valor distinto para cada frecuencia de excitación del material.<sup>30</sup>

**Vibraciones:** Se dice que un cuerpo vibra cuando realiza un movimiento oscilante respecto a una posición de referencia. El movimiento puede constar, en la práctica, de un componente a una frecuencia singular, como en un diapasón, o de varios de ellos simultáneos con distintas frecuencias.<sup>31</sup>

**Ley de la masa:** Indica que el aislamiento aumenta en aproximadamente en 6 dB por duplicación de masa.<sup>32</sup>

---

<sup>26</sup> Norma ISO 140-7

<sup>27</sup> Manual de aislamiento Compasan

<sup>28</sup> Ibid

<sup>29</sup> [www.ehu.es](http://www.ehu.es)

<sup>30</sup> Ibid

<sup>31</sup> [www.sinfomed.org.ar](http://www.sinfomed.org.ar)

<sup>32</sup> [www.eumus.edu.uyx](http://www.eumus.edu.uyx)

## BIBLIOGRAFÍA

REJANO DE LA ROSA, Manuel. Ruido industrial y urbano. Ed. Paraninfo. Madrid España. 2000.

HORNIG, Klaus. Diseño de un estudio de grabación con sala de control LEDE. Universidad Austral de Chile. Valdivia Chile, 2001.

CARRION, Antoni. Diseño acústico de espacios arquitectónicos. Ed. UPC. Barcelona, España 1998.

RECUERO, Manuel. Ingeniería Acústica. Universidad politécnico de Madrid. Madrid España. 1990.

POO, Claudio. Revista BIT. No 48. Chile 2006.

BRUEL & KJAER. Manual Máquina de impactos. Naerum. Dinamarca. 1996.

BERANEK, Leo I. Acústica, Editorial hispano americana s. a., buenos aires.

NEAFERT, Ernst. Arte de proyectar en arquitectura. Editorial Planeta, Barcelona España. 1997

[www.ehu.es](http://www.ehu.es)

[www.sinfomed.org.ar](http://www.sinfomed.org.ar)

[www.eumus.edu.uyx](http://www.eumus.edu.uyx)

[www.e-a-r.info/es](http://www.e-a-r.info/es)

[www.monografias.com](http://www.monografias.com)

[www.aulasfiberglass.com](http://www.aulasfiberglass.com)