



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

### DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CAMARA DE INSONORIZACIÓN PARA COMPRESORES UTILIZADOS EN CENTROS ODONTOLÓGICOS

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO

**VIDAL RIOFRIO ARLEY DAVID**  
arley.vidal@epn.edu.ec

**DIRECTOR: ING. GRANJA RAMÍREZ MARIO GERMAN M.Sc.**  
mario.granja@epn.edu.ec

**CODIRECTOR: ING. MONAR MONAR WILLAN LEOPOLDO M.Sc.**  
willan.monar@epn.edu.ec

Quito, agosto 2020

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Arley David Vidal Riofrio**, bajo mi supervisión.



---

ING. GRANJA RAMÍREZ MARIO GERMAN, M. Sc  
**DIRECTOR DE PROYECTO**



---

ING. MONAR MONAR WILLAN LEOPOLDO, M. Sc  
**CODIRECTOR DE PROYECTO**

## DECLARACIÓN

Yo, **Arley David Vidal Riofrio**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



---

Arley David Vidal Riofrio

## DEDICATORIA

Este trabajo de titulación dedico a Dios y a la Virgen del Cisne ya que con su santa bendición me iluminaron y me guiaron para llegar a culminar mis estudios que emprendí.

A mis padres Roselver Vidal y María Riofrio quienes me han apoyado en todo momento con sus consejos, sus valores y la motivación constante durante toda mi vida.

A mis hermanos Aleida, Darly, Alexander, Francisco y mis sobrinos Gabriel, Carlitos que son la alegría de mí ser, que de una u otra forma estuvieron ahí conmigo apoyándome cuando más lo necesitaba.

A mi novia Marcela Herrera por brindarme su amor, comprensión y apoyo incondicional cuando más lo necesitaba.

Y finalmente a mi tío Stalin Vidal quien con su apoyo incondicional y consejos me ayudó a que empiece y termine la carrera que inicie.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a Dios, por permitirme cumplir una meta más en mi vida ya que me bendijeron con vida y salud para poder lógralo.

A mis tutores Ing. Mario Granja y Ing. Willan Monar quienes siendo en primer lugar mis docentes y después mis tutores, lograron motivarme para la realización de este proyecto, que con su paciencia y amplios conocimientos me permitieron culminar este trabajo.

Al Ing. Geovanny Moreno quien con su apoyo y consejos me ayudo en los momento más difíciles de mi carrera.

A mis padres, hermanos y sobrinos quienes siempre estuvieron impulsándome a que termine mis estudios.

A mi novia Marcela, a sus padres María y Felipe quienes siempre estuvieron apoyándome cuando los necesitaba.

A mi tío Stalin Vidal quien siempre me apoyo en toda mi carrera.

A mi primo Dr. Luis Felipe Vidal quien cuando me enfermaba siempre estaba apoyándome para que supere cualquier adversidad.

Finalmente quedo agradecido a la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional quien me acogió para mi formación profesional.

# ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                                      | 1  |
| Objetivo general .....   | 2  |
| Objetivos específicos .....                                    | 2  |
| <b>1. MARCO TEÓRICO</b> .....                                  | 3  |
| <b>1.1 Compresores</b> .....                                   | 3  |
| 1.1.1 Definición.....  | 3  |
| 1.1.2 Tipos de compresores .....                               | 3  |
| 1.1.3 Clasificación de los compresores.....                    | 4  |
| 1.1.4 Compresores de simple acción.....                        | 4  |
| 1.1.5 Características de los compresores de simple acción..... | 5  |
| 1.1.6 Compresores de doble acción .....                        | 5  |
| 1.1.7 Características de los compresores de doble acción ..... | 6  |
| 1.1.8 Tipos de compresores de desplazamiento positivo.....     | 6  |
| 1.1.9 Compresores reciprocantes del tipo de pistón .....       | 7  |
| 1.1.10 Construcción.....                                       | 7  |
| 1.1.11 Principio de funcionamiento.....                        | 8  |
| <b>1.2 Niveles de presión sonora</b> .....                     | 9  |
| 1.2.1 Definición.....  | 9  |
| 1.2.2 Velocidad de propagación del sonido .....                | 9  |
| 1.2.3 Frecuencia.....  | 10 |
| 1.2.4 Longitud de onda.....                                    | 10 |
| 1.2.5 Periodo.....   | 10 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 1.2.6  | Presión sonora .....   | 11 |
| 1.3    | Nivel permisible de ruido.....   | 12 |
| 1.3.1  | Presión sonora .....   | 13 |
| 1.3.2  | Nivel de presión sonora.....   | 13 |
| 1.3.3  | Nivel sonoro con ponderación A .....   | 13 |
| 1.3.4  | Nivel permisible de ruido .....  | 15 |
| 1.3.5  | Ordenanza Metropolitana N° 0123.....   | 17 |
| 1.4    | Mapas de ruido.....  | 18 |
| 1.4.1  | Norma ISO 1996-2 Acústica-Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental.....  | 18 |
| 1.4.2  | Resolución N° 0002-DMA-2008.....   | 19 |
| 1.4.3  | Real Decreto 1367/2007, 19 de octubre “desarrollo de la Ley 37/2003 del Ruido, en lo Referente a Zonificación Acústica, Objetivo de Calidad y Emisiones Acústicas” ..... | 20 |
| 1.5    | Materiales absorbentes de ruido.....   | 20 |
| 1.5.1  | Materiales aislantes .....   | 20 |
| 2.     | METODOLOGÍA.....   | 22 |
| 2.1.   | Mapa de ruido del compresor sin cámara insonora.....   | 22 |
| 2.1.1. | Mapa de ruido con el compresor en el centro del consultorio .....  | 22 |
| 2.1.2. | Mapa de ruido con el compresor ubicado en la esquina del consultorio.  | 24 |
| 2.2.   | Cálculo del tiempo de exposición y atenuación de ruido .....   | 25 |
| 2.3.   | Selección del material aislante .....  | 28 |
| 2.3.1. | Materiales multicapa.....  | 29 |
| 2.3.2. | Fibra de vidrio.....   | 29 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 2.3.3. | Espuma de poliuretano.....                            | 29 |
| 2.4.   | Compresor sin aislamiento .....                       | 31 |
| 2.5.   | Dimensionamiento de la cámara insonora.....           | 32 |
| 2.5.1. | Estructura principal.....                             | 33 |
| 2.5.2. | Tapa frontal .....                                    | 40 |
| 2.5.3. | Tapa posterior .....                                  | 40 |
| 2.5.4. | Tapa superior .....                                   | 41 |
| 2.5.5. | Lateral izquierdo .....                               | 42 |
| 2.5.6. | Lateral derecho.....                                  | 42 |
| 2.5.7. | Ensamble completo .....                               | 43 |
| 2.6.   | Sistema de ventilación.....                           | 45 |
| 2.6.1. | Ventiladores Axiales .....                            | 46 |
| 2.7.   | Diseño del sistema de control.....                    | 47 |
| 2.8.   | Mapa de ruido del compresor con cámara insonora ..... | 49 |
| 2.9.   | Análisis de costos.....                               | 51 |
| 2.9.1. | Costos directos.....                                  | 52 |
| 2.9.2. | Costos indirectos .....                               | 53 |
| 3.     | RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                          | 55 |
| 3.1.   | Resultados .....                                      | 55 |
| 3.2.   | Discusión.....  | 56 |
| 4.     | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....                  | 58 |
|        | Referencias Bibliográficas .....                      | 59 |
|        | Anexos .....  | 60 |



|   |    |
|---|----|
| Mapa de ruido del compresor en el centro sin cámara insonora.....   | 60 |
| Mapa de ruido del compresor en la esquina sin cámara insonora ..... | 61 |
| Mapa de ruido del compresor en el centro con cámara insonora.....   | 62 |
| Mapa de ruido del compresor en la esquina con cámara insonora ..... | 63 |
| Planos de la cámara insonora .....                                  | 64 |
| Catalogo del ventilador.....  | 65 |
| Catálogo de la esponja acústica.....                                | 66 |
| Características de la plancha de tol.....                           | 67 |
| Características del tubo cuadrado. ....                             | 68 |

## Índice de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. 1 Tipos de compresores de aire.....  | 3  |
| Figura 1. 2 Compresor de simple acción, 1. Admisión, 2. Descarga, 3. Válvula de placa.<br>.....  | 5  |
| Figura 1. 3 Compresor de simple acción, 1. Admisión, 2. Descarga, 3. Válvula de placa,<br>4. Bloque del cilindro, 5. Pistón.....   | 6  |
| Figura 1. 4 Tres tipos de compresores recíprocos: a) Vertical, b) Horizontal, c) Radial.<br>1 y 2 Bloque del cilindro, 3. Conjunto de la biela, 4. Tubo de descarga. ....  | 7  |
| Figura 1. 5 Partes de un compresor recíproco: 1. Válvula de salida del agua, 2.<br>Válvula de salida de aire, 3. Válvula de seguridad, 4. Manómetro, 5. Interruptor<br>accionado por la presión, 6. Tanque de aire, 7. Base del motor eléctrico, 8. Protección,<br>9. Filtro ..... | 8  |
| Figura 1. 6 Características de una onda sinusoidal.....  | 11 |
| Figura 1. 7 Nivel de presión sonora. ....  | 12 |
| Figura 1. 8 Curva de ponderación A, B y C.....   | 14 |
| Figura 1. 9 Diferentes tipos de materiales para aislamiento de ruido. ....   | 21 |
| <br>   |    |
| Figura 2. 1 Esquema para medición de ruido alrededor del compresor.....  | 23 |
| Figura 2. 2 Medidor de ruido TENMA.....  | 23 |
| Figura 2. 3 Esquema para medición de ruido alrededor del compresor, esquinero. ....  | 25 |
| Figura 2. 4 Lana de roca o fibra de vidrio.....  | 29 |
| Figura 2. 5 Espuma de poliuretano .....  | 30 |
| Figura 2. 6 Dimensiones de la plancha de espuma de poliuretano .....   | 31 |
| Figura 2. 7 Poliuretano de 20 kg/m <sup>3</sup> .....  | 31 |
| Figura 2. 8 Estructura principal .....   | 33 |
| Figura 2. 9 Simulación del comportamiento de la estructura .....   | 34 |
| Figura 2. 10 Momento para la viga 1.....   | 35 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 2. 11 Esfuerzo máximo viga 1 .....                            | 36 |
| Figura 2. 12 Momento para la viga 2.....                             | 36 |
| Figura 2. 13 Esfuerzo máximo viga 2.....                             | 37 |
| Figura 2. 14 Momento para la viga 3.....                             | 37 |
| Figura 2. 15 Esfuerzo máximo viga 3.....                             | 38 |
| Figura 2. 16 Momento para la viga 4.....                             | 38 |
| Figura 2. 17 Esfuerzo máximo viga 4.....                             | 39 |
| Figura 2. 18 Análisis de esfuerzo máximo en toda la estructura ..... | 39 |
| Figura 2. 19 Tapa frontal.....                                       | 40 |
| Figura 2. 20 Tapa posterior.....                                     | 41 |
| Figura 2. 21 Tapa superior.....                                      | 41 |
| Figura 2. 22 Lateral izquierdo .....                                 | 42 |
| Figura 2. 23 Lateral derecho .....                                   | 43 |
| Figura 2. 24 Ensamble completo .....                                 | 44 |
| Figura 2. 25 Ensamble completo vista interior .....                  | 45 |
| Figura 2. 26 Ventilador axial .....                                  | 46 |
| Figura 2. 27 Ventilador axial seleccionado.....                      | 47 |
| Figura 2. 28 Sistema de control .....                                | 48 |

## Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. 1 Velocidad del sonido de ciertos materiales.....                           | 10 |
| Tabla 1. 2 Niveles Sonoros y Respuesta Humana. ....                                  | 14 |
| Tabla 1. 3 Niveles Máximos permitidos de Exposición.....                             | 15 |
| Tabla 1. 4 Niveles Máximos permitidos de Exposición a ruido en áreas urbanizadas. 16 |    |

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. 5 Niveles Máximos permitidos de Exposición a ruido en el interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, centros educativos o culturales ..... | 17 |
| Tabla 1. 6 Niveles Máximos permitidos de ruido para fuentes fijas. ....   | 17 |
| Tabla 2. 1 Medición alrededor del compresor .....   | 24 |
| Tabla 2. 2 Medición alrededor del compresor .....   | 25 |
| Tabla 2. 3 Valores del tiempo máximo de exposición.....   | 26 |
| Tabla 2. 4 Datos obtenidos de ruido con el compresor en el centro .....   | 27 |
| Tabla 2. 5 Datos obtenidos de ruido con el compresor en el extremo .....  | 28 |
| Tabla 2. 6 Valores de ruido con la cámara insonora (centro) .....   | 49 |
| Tabla 2. 7 Valores de ruido con la cámara insonora (extremo) .....  | 49 |
| Tabla 2. 8 Valores promedio con la cámara insonora (centro) .....   | 50 |
| Tabla 2. 9 Valores promedio con la cámara insonora (extremo) .....  | 51 |
| Tabla 2. 10 Costos referentes a materia prima, elementos normalizados .....   | 52 |
| Tabla 2. 11 Costo referente al maquinado .....  | 52 |
| Tabla 2. 12 Costo total de los gastos directos.....   | 53 |
| Tabla 2. 13 Costos referentes a los materiales adicionales.....   | 53 |
| Tabla 2. 14 Costo de ingeniería .....   | 53 |
| Tabla 2. 15 Gastos varios o de imprevistos .....  | 54 |
| Tabla 2. 16 Costos indirectos.....  | 54 |
| Tabla 2. 17 Costo total de la cámara de insonorización .....  | 54 |
| Tabla 3. 1 Valores medidos con el compresor en el centro del establecimiento.....   | 55 |
| Tabla 3. 2 Valores medidos con el compresor en una esquina del establecimiento ....   | 55 |

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo dar solución a un problema muy común en las clínicas odontológicas que es el ruido generado por los compresores, el cual oscila entre los 95 dB y 85 dB, lo cual hace que el tiempo de exposición sea bajo y tanto pacientes como odontólogos sufren daños auditivos, el presente proyecto muestra el diseño de una cámara insonorizada para solucionar este problema.

El diseño consiste en fabricar una cámara recubierta de un material capaz de reducir el nivel de presión sonora para aumentar el tiempo de exposición de los odontólogos y hacer su trabajo más placentero, para lo cual se toma como referencia un compresor de 3 hp que es el más común en las clínicas odontológicas, se tienen las medidas aproximadas para diseñar la cámara y realizar los cálculos respectivos de la estructura, obteniendo los factores de seguridad que soporte todo el peso de las partes de la cámara móvil, es necesario colocar ventiladores de extracción del aire caliente dentro de la cámara para evitar que el compresor tenga altas temperaturas de trabajo, estos ventiladores se prenderán automáticamente cuando el compresor inicie su trabajo, y para concluir es necesario seleccionar el aislante adecuado y poder reducir el nivel de presión, para ello se hacen pruebas antes y después de colocar la cámara de aislamiento, con lo cual se observa que la reducción de ruido es aproximadamente del 20% con lo cual el tiempo de exposición aumenta con referencia al inicial.

**Palabras clave:** Ruido, compresores, aislante acústico, cámara insonora.

## ABSTRACT

This titration project aims to solve a very common problem in dental clinics that is the noise generated by compressors, which ranges from 95 dB to 85 dB, which makes the exposure time low and both patients and dentists suffer hearing damage, this project shows the design of a soundproof box to solve this problem.

The design consists of manufacturing a box coated with a material capable of reducing the sound pressure level to increase the exposure time of dentists and making their work more pleasant, for which a 3 hp compressor is taken as reference that is the most common in dental clinics, you have the approximate measures to design the box and perform the respective calculations of the structure , obtaining the safety factors that support all the weight of the parts of the mobile box, it is necessary to place hot air extraction fans inside the box to prevent the compressor from having high working temperatures, these fans will automatically turn on when the compressor starts its work, and to conclude it is necessary to select the appropriate insulator and be able to reduce the pressure level, these fans will automatically turn on when the compressor starts its work, and to conclude it is necessary to select the appropriate insulator and be able to reduce the pressure level , for this purpose, tests are done before and after the insulation box is placed, which shows that the noise reduction is approximately 20% so that the exposure time increases with reference to the initial.

**Keywords:** Noise, compressors, acoustic insulator, soundproof box.

# **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE CAMARA DE INSONORIZACIÓN PARA COMPRESORES UTILIZADOS EN CENTROS ODONTOLÓGICOS.**

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, Ecuador no tiene estudios de ruido generado por los compresores y especialmente en las clínicas odontológicas, por lo cual este proyecto tiene como objetivo diseñar y fabricación de un prototipo de insonorización para compresores utilizados en centros odontológicos, para lograr este objetivo es fundamental realizar un análisis del ruido que generan los compresores bajo diferentes situaciones, en este estudio se toma en consideración la colocación del compresor, uno en el centro de consultorio y otro localizado en una esquina del mismo.

Los datos que se obtienen son muy significantes y coherentes, cuando más se aleja del foco la atenuación del ruido es mayor, eso se observa en los datos de ruido con el compresor en el centro del consultorio, pero cuando se hace la toma de datos con el compresor en la esquina del consultorio se observa que los valores aumentan, esto es debido al rebote de las ondas en las paredes.

Este estudio es importante a que revela el tiempo de exposición de los odontólogos con los diferentes niveles de presión sonora, los valores que se tienen son entre 85 dB y 95 dB lo cual hace que el tiempo de exposición sea muy bajo, y este fenómeno causa molestias en el trabajo y problemas de estrés y ansiedad.

Las clínicas tomas ciertas medidas de prevención tales como confinar el ruido con cámaras de madera realizadas empíricamente o recubriendo a los compresores con material casero como cubetas de huevos, por lo cual es necesario un estudio y una solución a este problema.

Con la implementación de una cámara insonora, recubierta de un material acústico y térmico, se garantiza que los centros odontológicos presenten una mejor ergonomía acústica tanto para los odontólogos como para los pacientes que asisten a sus citas,

además de hacer que el equipo, en este caso el compresor, trabaje de una manera adecuada, es decir, a una temperatura relativamente baja gracias a los ventiladores incorporados, y que las esponjas no sean inflamables, ya que presentan una resistencia al calor de hasta 110 °C sin perder sus propiedades física y térmicas.

Con la implementación de la cámara insonora se logra reducir hasta un 20 % del ruido de compresor, y se garantiza que su temperatura no se eleve para evitar daños, con esta reducción de ruido se garantiza que el tiempo de exposición aumenta mucho y se puede trabajar sin afectaciones en la salud por mucho más tiempo.

## **Objetivo general**

Diseñar y construir un prototipo de cámara de insonorización para compresores utilizados en centros odontológicos.

## **Objetivos específicos**

- Establecer las especificaciones técnicas de la cámara de insonorización para compresores.
- Realizar los cálculos necesarios de reducción de ruido considerando las características específicas de diferentes materiales absorbentes de ruido.
- Seleccionar el material más adecuado para el diseño de la cámara insonora tomando en cuenta factores como costo, facilidad de adquisición, nivel de atenuación sonora, etc.
- Dimensionar y analizar la capacidad de absorción de la cámara de aislamiento acústico, tomando en cuenta factores de vibración, temperatura y ventilación.
- Realizar la medición de temperatura y ruido de la cámara.



# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Compresores

### 1.1.1 Definición

Los compresores son máquinas utilizadas para elevar la presión de ciertos fluidos como gases, vapores o mezcla de gases. Entre los compresores más utilizados están los de aire, los cuales suministran aire a elevadas presiones y son empleados en el transporte, limpieza, herramientas neumáticas, etc. Otro tipo, son los compresores de refrigeración, éstos comprimen el gas del vaporizador de los sistemas de refrigeración; cabe señalar que existen otras aplicaciones de los compresores que abarcan procesos químicos, conducción de gases, turbina de gas y construcción.

### 1.1.2 Tipos de compresores

Existen dos tipos de compresores, los de desplazamiento positivo que incrementan la presión de aire al reducir el volumen del mismo encerrándolo en una cámara y los compresores dinámicos o turbocompresores donde la presión se origina por efectos dinámicos. Figura 1. 1.

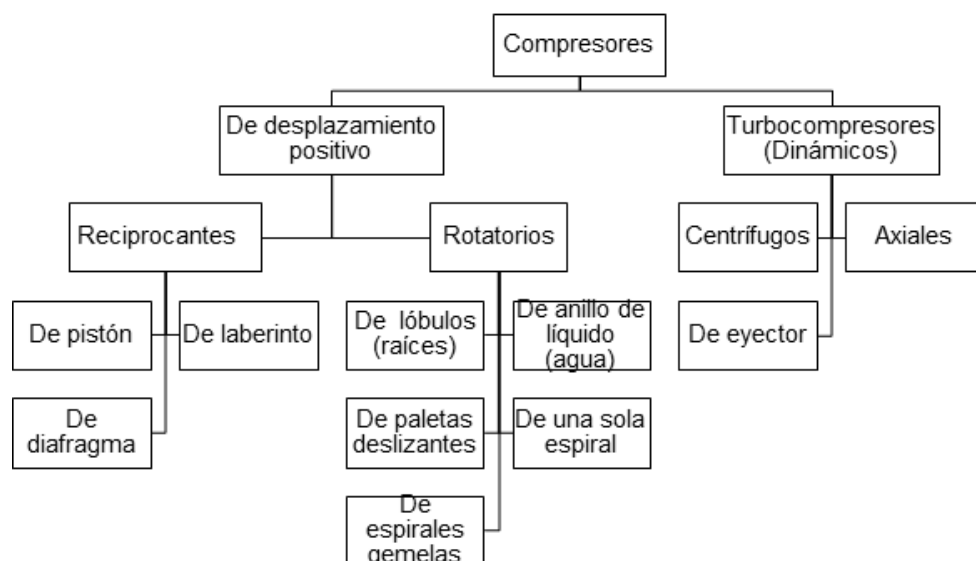


Figura 1. 1 Tipos de compresores de aire.

(Fuente: S.R Majumdar, Sistemas Neumáticos. Principios y Mantenimientos, McGraw-Hill, 2014)

### **1.1.3 Clasificación de los compresores**

Los compresores se pueden clasificar de acuerdo a la geometría y su forma de operación:

- De simple o doble acción, dependiendo del número de etapas.
- Por disposición de los cilindros respecto al cigüeñal pueden ser verticales, horizontales, en línea, etc.
- Por el motor primario o la forma de impulsar al motor, ya sea por diésel, por turbina de gas, motor eléctrico, etc.
- Por la condición de aire comprimido, lubricación con aceite o sin aceite.
- De acuerdo a su fácil transportación pueden ser compresor portátil, compresor estacionario o compresor montado en patines.
- De acuerdo a la forma de enfriamiento ya sea por medio de aire, agua, inyección de líquidos, etc.

### **1.1.4 Compresores de simple acción**

En este tipo de compresores el cambio de presión se lleva a cabo en uno de los lados del pistón, con una distancia de compresión por etapas para cada vuelta del cigüeñal.

En la Figura 1. 2 se muestra un esquema de este tipo de compresor.

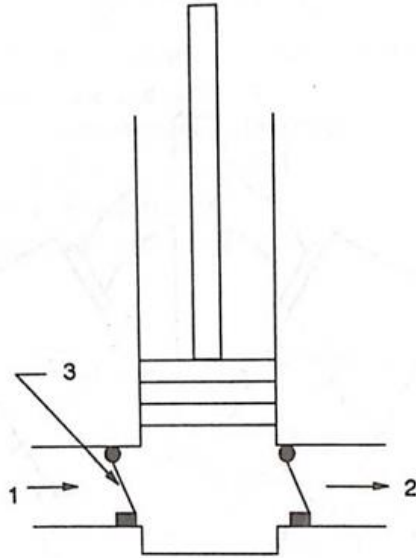


Figura 1. 2 Compresor de simple acción, 1. Admisión, 2. Descarga, 3. Válvula de placa.  
(Fuente: S.R Majumdar, Sistemas Neumáticos, Principios y Mantenimientos, McGraw-HILL, 2014)

### 1.1.5 Características de los compresores de simple acción

- Utilizados para pequeñas capacidades.
- Compactos y de bajo costo.
- Facilidad de instalación.
- Comúnmente son enfriados con movimiento de aire.
- Resultan adecuados cuando la demanda de aire comprimido no es frecuente o cuando el compresor se debe instalar en el sitio de trabajo. (Majumdar, 2014)

### 1.1.6 Compresores de doble acción

La compresión, en este tipo de compresores, se realiza sobre las dos caras del pistón, lo cual genera dos carreras de compresión por cada rotación de la manivela y del cigüeñal. De acuerdo a este tipo de conformación, cada cilindro puede ser utilizado como un compresor de etapas múltiples, si el aire comprimido de uno de los lados alimenta al otro lado del pistón. En la Figura 1. 3 se muestra un esquema de este tipo de compresor.

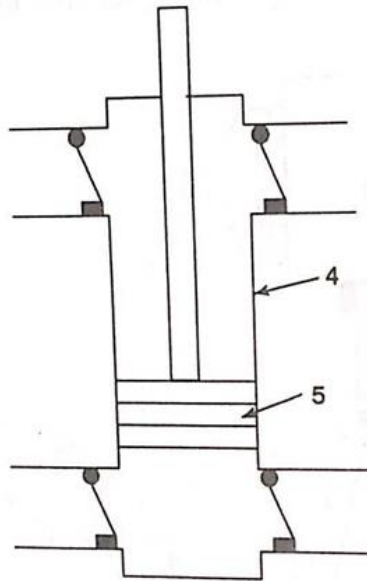


Figura 1. 3 Compresor de simple acción, 1. Admisión, 2. Descarga, 3. Válvula de placa, 4. Bloque del cilindro, 5. Pistón.  
(Fuente: S.R Majumdar, Sistemas Neumáticos, Principios y Mantenimientos, McGraw-HILL, 2014)

### 1.1.7 Características de los compresores de doble acción

- Para tener una misma velocidad y volumen del cilindro, el aire de entrada es el doble de la correspondiente a un compresor de simple acción.
- Tienen una gran capacidad.
- Usados para trabajo continuo y pesado.
- Los cilindros son enfriados por agua.
- La velocidad del pistón es más alta por lo que reduce el tamaño del compresor.
- Temperatura más baja de descarga (para el compresor de una etapa 240 °C y para el de dos etapas es de 140°C). (Majumdar, 2014)

### 1.1.8 Tipos de compresores de desplazamiento positivo

En este tipo de compresores se requiere no tener espacio libre o tener un espacio realmente pequeño para poder elevar la presión, adicional es necesario un método de

lubricación. En este tipo de compresores se incluyen máquinas reciprocantes de pistón y diafragma, además, de las rotatorias del tipo de paletas, engrane, espirales y de lóbulos.

### 1.1.9 Compresores reciprocantes del tipo de pistón

La característica principal de este tipo de compresor es la elevada relación de compresión, ya que puede ser de 10 por etapa; existen compresores de dos etapas para relaciones mayores de compresión de ocho. La aplicación de etapas múltiples produce presiones de descarga de 300kg/cm<sup>2</sup>. En la Figura 1. 4 se observa los tipos de compresores reciprocantes. (Majumdar, 2014)

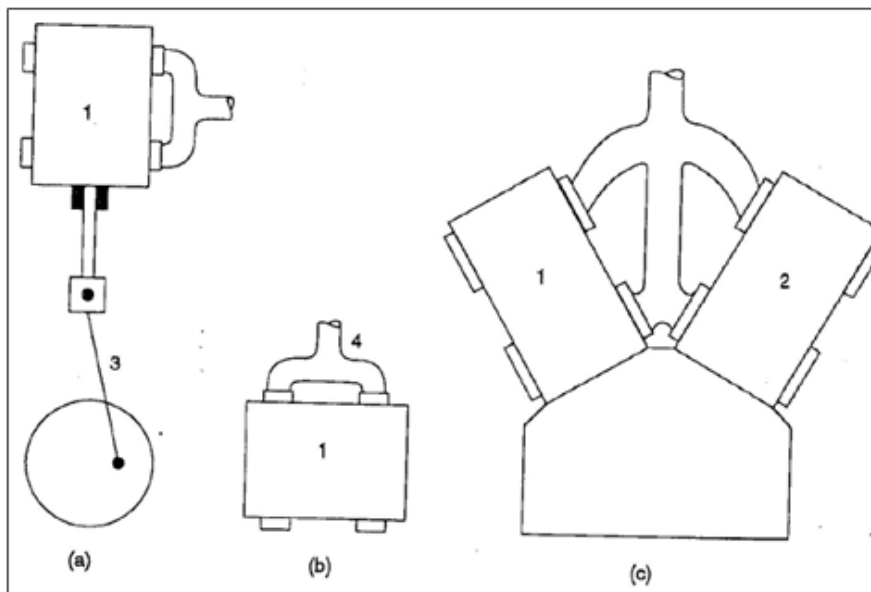


Figura 1. 4 Tres tipos de compresores reciprocantes: a) Vertical, b) Horizontal, c) Radial. 1 y 2 Bloque del cilindro, 3. Conjunto de la biela, 4. Tubo de descarga.  
(Fuente: S.R Majumdar, Sistemas Neumáticos, Principios y Mantenimientos, McGraw-HILL, 2014)

### 1.1.10 Construcción

La construcción de este tipo de compresores es similar a la de un motor de combustión interna. El cuerpo puede ser de aluminio o hierro fundido con un tanque de aceite, una

base, el pistón con sus anillos, válvulas, bielas, manivelas, cigüeñal, cojinetes, etc., como se muestra en Figura 1. 5. (Majumdar, 2014).

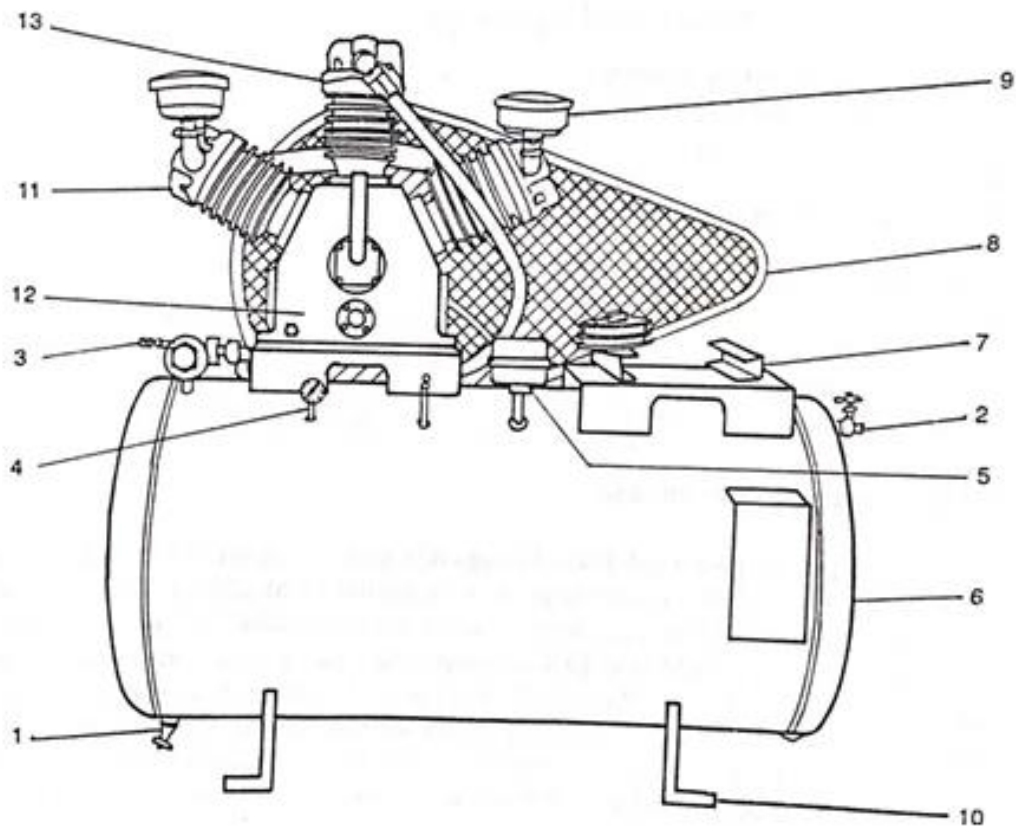


Figura 1. 5 Partes de un compresor recíprocante: 1. Válvula de salida del agua, 2. Válvula de salida de aire, 3. Válvula de seguridad, 4. Manómetro, 5. Interruptor accionado por la presión, 6. Tanque de aire, 7. Base del motor eléctrico, 8. Protección, 9. Filtro (Fuente: S.R Majumdar, Sistemas Neumáticos, Principios y Mantenimientos, McGraw-HILL, 2014)

Es importante tomar en cuenta que los elementos más pequeños también son partes relevantes de estos equipos como son los tapones, el medidor de nivel de aceite, etc.; al igual que los elementos del sistema eléctrico.

### 1.1.11 Principio de funcionamiento

Al activar el motor eléctrico, gira y el pistón del cilindro de baja presión o de la primera etapa empieza a succionar aire de la atmosfera por medio del filtro y de la válvula de admisión; a la rotación siguiente de la manivela, se invierte el movimiento del pistón lo cual provoca que el aire se comprima dentro. Este aire ya comprimido permite que la válvula de salida se abra para que así se escape a través del enfriador hasta llegar al

cilindro de alta presión o de la segunda etapa, pues así se fuerza la apertura de la válvula de admisión de éste debido a que el aire llega a comprimirse aún más. Los anillos que están alrededor del pistón hacen al sistema hermético. Como todo sistema neumático se necesita tener una buena lubricación para así tener una mayor duración de los sistemas

El aire que se comprime dentro del sistema genera calor, por ello, es necesario disiparlo ya sea por medio de enfriamiento con circulación de aire con ayuda de aletas ubicadas sobre la superficie externa del cilindro y con ayuda de un ventilador, el cual genera aire que circula a través de estas superficies extendidas.

## **1.2 Niveles de presión sonora**

### **1.2.1 Definición**

El sonido es considerado como la propagación de ondas, las cuales se originan por medio de la vibración de un cuerpo y son transmitidos a través de elementos sólidos, líquidos o gaseosos; en otras palabras, se trata de transportar energía sin transportar materia. La diferencia con las ondas electromagnéticas de la luz o de la radiación es que ésta no se propaga en el vacío.

### **1.2.2 Velocidad de propagación del sonido**

Para que la onda sonora llegue a propagarse se requiere de un medio y de ciertas características del mismo va a depender la velocidad de propagación, tales como humedad, temperatura, densidad y elasticidad. Es importante mencionar que la velocidad del sonido por medio de aire es de aproximadamente 340 m/s, es decir, que la cercanía de las partículas de este medio, las cuales transportan la onda al chocar unas con otras, facilitan la propagación. (Jaramillo, 2007)

Si se tiene un medio más denso y menos elástico que el aire, la propagación será más alta, esto se muestra en la Tabla 1. 1.

Tabla 1. 1 Velocidad del sonido de ciertos materiales

| Estado  | Medio                | Velocidad(m/s) |
|---------|----------------------|----------------|
| Gaseoso | Aire (a 20°C)        | 340            |
|         | Hidrógeno (a 0°C)    | 1286           |
|         | Oxígeno (a 0°C)      | 317            |
|         | Helio (a 0°C)        | 972            |
| Líquido | Agua (a 25°C)        | 1493           |
|         | Agua de mar (a 25°C) | 1533           |
| Sólido  | Aluminio             | 5100           |
|         | Cobre                | 3560           |
|         | Hierro               | 5130           |
|         | Plomo                | 1322           |
|         | Caucho               | 54             |

(Fuente: <http://lavelocidaddelsonido9.blogspot.com/>)

Dependiendo del sentido de la oscilación y el de propagación, van a existir ondas longitudinales, transversales, de torsión entre otras. Cabe indicar que en el aire el sonido se propaga en forma de ondas longitudinales, es decir, el sentido de oscilación coincide con el de la propagación de la onda. (Maggiolo, 2003).

### 1.2.3 Frecuencia

Es el número de oscilaciones que se repiten en un segundo.

### 1.2.4 Longitud de onda

Es la longitud de un ciclo completo de la onda.

### 1.2.5 Periodo

Duración en segundos de un ciclo completo de la onda Figura 1. 6.



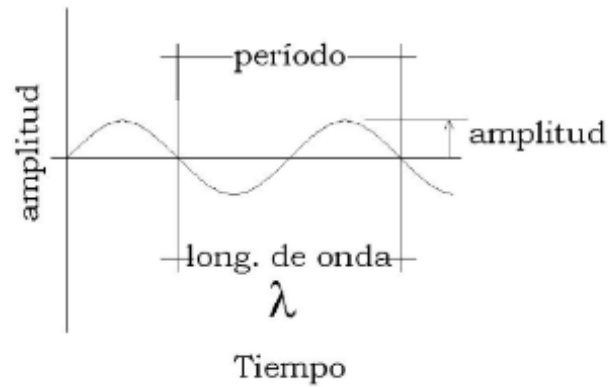


Figura 1. 6 Características de una onda sinusoidal.  
 (Fuente: Jaramillo, Acústica: La ciencia del sonido, 2007)

### 1.2.6 Presión sonora

El oído humano es capaz de recibir presiones sonoras que varían de  $2 \times 10^{-5}$  a 200 Pa, de modo que, el rango de presión sonora grande obliga a utilizar una escala logarítmica que viene dada por la siguiente ecuación:

$$NPS = 10 \log \frac{p^2}{p_{ref}^2} = 20 \log \frac{p}{p_{ref}} (dB) \quad (\text{Fernández, 2013})$$

Donde:

- NPS es Nivel de Presión Sonora.
- P: Presión sonora que se desea cuantificar (Pa).
- Pref: Presión de referencia (Pa). Se suele tomar como referencia un valor de  $2 \times 10^{-5}$  Pa correspondiente al umbral de audición humano a 1000 Hz.

El nivel de presión sonora se suele expresar en decibelios (dB) varia de 0dB a 120dB, esto se indica en la Figura 1. 7.



Figura 1. 7 Nivel de presión sonora.  
(Fuente: <http://www.ingenieroambiental.com/4004/Sonido%20-%20Manual%20Tecnico%20Aislamiento%20Acustico.pdf>)

### 1.3 Nivel permisible de ruido

De acuerdo a la legislación española por la Ley 37/2003 del 17 de noviembre, define al ruido como el sonido exterior no deseado o nocivo generado por las actividades humanas, incluido también los sonidos generados por el transporte, maquinaria y actividades industriales.

Por tanto, el ruido es un caso particular del sonido, es una emisión de onda generada por un fenómeno vibratorio que es detectado por el oído humano y que le provoca una sensación de molestia.

### 1.3.1 Presión sonora

La presión sonora es la diferencia entre la presión instantánea debido al sonido y a la presión atmosférica; los valores de la presión sonora son más bajos y cambian de manera muy rápida alternándose entre valores positivos y negativos a razón de entre 20 y 20000 veces por segundo en comparación con los de la presión atmosférica que son valores altos y cambian muy lentamente. Su unidad de medida es el pascal.

La magnitud que se genera por este efecto se denomina frecuencia y es expresada en ciclos por segundo o en Hertz (Hz).

### 1.3.2 Nivel de presión sonora

Debido a que la relación entre la presión sonora del sonido más intenso y la del sonido más débil sea de un millón aproximadamente, se ha visto la necesidad de utilizar una escala logarítmica que describa este efecto, que viene dada por la siguiente ecuación:

$$L_p = 20 \log(P \times P_{ref}) \text{ (Miyara, 2019)}$$

Donde:

- $P_{ref}$ : es la presión de referencia a la presión audible que puede tener un valor de 20mPa.
- $P$ : es la presión sonora.
- $L_p$ : es el nivel de presión sonora.

La unidad utilizada para expresar este tipo de nivel de presión sonora es el decibel (dB); los valores van a estar comprendidos entre 0 dB y 120 dB, si los valores son superiores a 120 dB pueden causar daños auditivos inmediatos e irreversibles.

### 1.3.3 Nivel sonoro con ponderación A

El oído se comporta de manera diferente con respecto a la dependencia de la frecuencia para diferentes niveles físicos de sonido, por esta razón Fletcher y Munson en 1993

deciden diseñar tres redes de ponderación de frecuencia correspondientes a niveles de 40 dB, 70 dB y 100 dB llamadas A, B, C respectivamente.

La red de ponderación A también conocida como red de compensación A se utilizaría para niveles de bajo sonido, la B para niveles medios y la C para niveles altos, como se muestra en la Figura 1. 8.

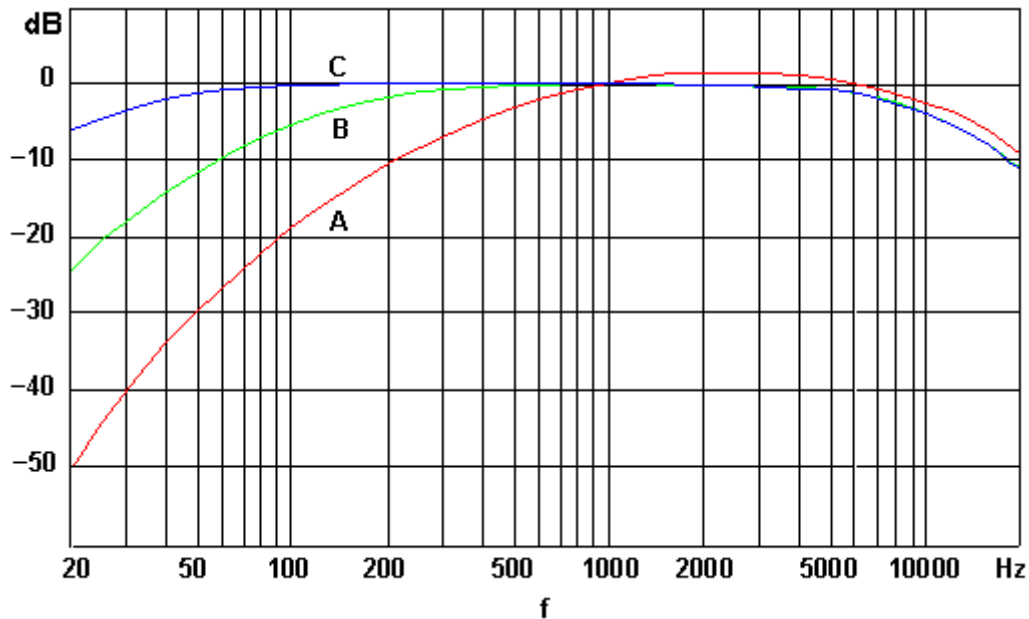


Figura 1. 8 Curva de ponderación A, B y C.  
(Fuente: <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/comite/niveles.htm>)

Es importante indicar que a pesar de que la escala de decibeles A fue originalmente para medir sonidos de bajo nivel, ha sido la más usada para demostrar daño auditivo, resultado de la exposición a ruido de altos niveles. En la Tabla 1. 2 se muestra algunas comparaciones de sonidos comunes y su clasificación de acuerdo como empieza a dañar la audición conforme hay incremento de 10 dB a partir de 70 dB.

Tabla 1. 2 Niveles Sonoros y Respuesta Humana.

| Niveles sonoros y respuesta Humana                       |                              |                               |
|--|------------------------------|-------------------------------|
| Sonidos característicos                                  | Nivel de presión sonora [dB] | Efecto                        |
| Zona de lanzamiento de cohetes (sin protección auditiva) | 180                          | Pérdida auditiva irreversible |

|  |     |                                      |
|--|-----|--------------------------------------|
| Operación en pista de jets<br>Sirena antiaérea                       | 140 | Dolorosamente fuerte                 |
| Trueno   | 130 |                                      |
| Despegue de jets (60 m)<br>Bocina de auto (1 m)                      | 120 | Máximo esfuerzo vocal                |
| Martillo neumático<br>Concierto de Rock                              | 110 | Extremadamente fuerte                |
| Camión recolector<br>Petardos  | 100 | Muy fuerte                           |
| Camión pesado (15 m)<br>Tránsito urbano                              | 90  | Muy molesto<br>Daño auditivo de 8hrs |
| Reloj Despertador (0,5 m)<br>Secador de cabello                      | 80  | Molesto                              |
| Restaurante ruidoso<br>Tránsito por autopista<br>Oficina de negocios | 70  | Difícil uso de teléfono              |
| Aire acondicionado<br>Conversación normal                            | 60  | Intrusivo                            |
| Tránsito de vehículos<br>livianos<br>(30 m)                          | 50  | Silencio                             |
| Líving<br>Dormitorio<br>Oficina tranquila                            | 40  |                                      |
| Biblioteca<br>Susurro a 5 m  | 30  | Muy silencioso                       |
| Estudio de radiodifusión   | 20  |                                      |
|  | 10  | Apenas audible                       |
|  | 0   | Umbral auditivo                      |

(Fuente: <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/comite/niveles.htm>)

### 1.3.4 Nivel permisible de ruido

OSHA es un organismo de Estados Unidos que tiene la tarea de crear normas generales para el cuidado de los trabajadores. Respecto al ruido cuenta con una norma estándar denominada “Exposición de Ruido Ocupacional” (Laboral (OSHA), 2019). En la Tabla 1. 3 se expone los niveles máximos permitidos de exposición según OSHA.

Tabla 1. 3 Niveles Máximos permitidos de Exposición.

| Duración por Día, Horas | Nivel de Ruido dB(A) Respuesta Lenta |
|-------------------------|--------------------------------------|
| 8                       | 90                                   |
| 6                       | 92                                   |
| 4                       | 95                                   |
| 3                       | 97                                   |
| 2                       | 100                                  |
| 1 ½                     | 102                                  |
| 1                       | 105                                  |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| $\frac{1}{2}$         | 110 |
| $\frac{1}{4}$ o menos | 115 |

(Fuente: <https://www.cejn.com/es-es/guias-asesoramiento/standards--legislations/safety-standards/osha-1910.95b1/>)

La Ley de España estudiada de acuerdo a las necesidades requeridas en este proyecto, por lo cual, en el artículo 11 inciso 1 indica que se emplearán índices acústicos homogéneos correspondientes a las 24 horas del día, al periodo vespertino y al periodo nocturno. (Consolidada, 2006). Los horarios de comienzo y fin de los distintos periodos de evaluación son: periodo día de 07h00 a 19h00, periodo tarde de 19h00 a 23h00 y periodo noche de 23h00 a 07h00.

En la Tabla 1. 4 se indican los niveles de ruidos permisibles a áreas urbanas existentes.

Tabla 1. 4 Niveles Máximos permitidos de Exposición a ruido en áreas urbanizadas.

| Tipo de área acústica   | Índice de ruido(dB) |                |                |
|---|---------------------|----------------|----------------|
|   | Día                 | Tarde          | Noche          |
| Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica. | 60                  | 60             | 50             |
| Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.   | 65                  | 65             | 55             |
| Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto al de uso recreativo y de espectáculos  | 70                  | 70             | 65             |
| Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos   | 73                  | 73             | 63             |
| Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.  | 75                  | 75             | 65             |
| Sectores dl territorio afectados a sistemas generales de infraestructura de transporte, u otros equipos públicos que los reclamen.                          | Sin determinar      | Sin determinar | Sin determinar |

(Fuente:

<http://www.madrid.org/bdccc/normativa/PDF/Ruidos%20y%20vibraciones/Normas%20Tratadas/ESRd13672007.pdf>)

(Elaboración: Propia)

En la Tabla 1. 5 se indican los niveles de ruido máximos permisibles aplicables al espacio interior de edificaciones destinadas a viviendas, usos residenciales, , educativos o culturales.

Tabla 1. 5 Niveles Máximos permitidos de Exposición a ruido en el interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, centros educativos o culturales

| Uso del edificio           | Tipo de recinto   | Índices de ruido(dB) |       |       |
|----------------------------|-------------------|----------------------|-------|-------|
|                            |                   | Día                  | Tarde | Noche |
| Vivienda o uso residencial | Estancias         | 45                   | 45    | 35    |
|                            | Dormitorios       | 40                   | 40    | 30    |
| Hospitalario               | Zonas de estancia | 45                   | 45    | 35    |
|                            | Dormitorios       | 40                   | 40    | 30    |
| Educativo o cultural       | Aulas             | 40                   | 40    | 40    |
|                            | Salas de lectura  | 35                   | 35    | 35    |

(Fuente:

<http://www.madrid.org/bdccm/normativa/PDF/Ruidos%20y%20vibraciones/Normas%20Tratadas/ESRd13672007.pdf>)

(Elaboración: Propia)

### 1.3.5 Ordenanza Metropolitana N° 0123

La ordenanza metropolitana de quito N°0123 establece en el artículo 10 el nivel máximo de ruido permisible en fuentes fijas, el cual no podrán transgredir ni exceder los valores que se fijan en la Tabla 1. 6.

Tabla 1. 6 Niveles Máximos permitidos de ruido para fuentes fijas.

| Tipo de Zona Según el Uso del Suelo | Nivel de presión Sonora Equivalente NPS eq [dB(A)] |                 |
|-------------------------------------|--|-----------------|
|                                     | De 6h00 a 20h00                                    | De 20h00 a 6h00 |
| Zona equipamientos y Protección (1) | 45   | 40              |
| Zona Residencial                    | 50   | 35              |
| Zona Residencial Múltiple (2)       | 55   | 45              |
| Zona Industrial 1                   | 60   | 50              |
| Zona Industrial 2 (3)               | 65   | 55              |
| Zona Industrial 3 y 4 (4)           | 70   | 60              |

(Fuente:

[http://www7.quito.gob.ec/mdmq\\_ordenanzas/Ordenanzas/ORDENANZAS%20A%C3%91OS%20ANTERIORES/ORDM-123%20-%20RUIDO%20-%20MEDIO%20AMBIENTE.pdf](http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Ordenanzas/ORDENANZAS%20A%C3%91OS%20ANTERIORES/ORDM-123%20-%20RUIDO%20-%20MEDIO%20AMBIENTE.pdf))

(Elaboración: Propia)

Nota:

1. Equipamientos de Servicio Social.
2. Incluye comercial y de servicio, uso agrícola residencial y equipamientos de servicio público.
3. Incluye uso de aprovechamiento de recursos renovables.

4. Incluye el aprovechamiento de recursos no renovables. (123, 2019)

## 1.4 Mapas de ruido

Dicho mapa de ruido se enfoca en tres normas que tratan de medición de ruido

- Norma ISO 1996-2 Acústica-Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental.
- Resolución N° 0002-DMA-2008.
- Real Decreto 1367/2007, 19 de octubre “Desarrollo de la Ley 37/2003 del Ruido, en lo Referente a Zonificación Acústica, Objetivo de Calidad y Emisiones Acústicas”.

### 1.4.1 Norma ISO 1996-2 Acústica-Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental.

En la norma ISO 1996-2, apartado 8.3.2, se trata del procedimiento de medición de ruido en interiores, el cual indica que se debe usar al menos tres posiciones discretas de la ubicación del micrófono distribuidas de manera uniforme en una habitación.

Si se presume de ruidos con frecuencia baja es necesario colocar un micrófono no giratorio en una esquina; además, dicha norma recomienda colocar al micrófono a una distancia de 0,5 m de las paredes, el techo o el piso, y a 1 m de los elementos importantes de transmisión de sonido, como son por ejemplo ventanas o aberturas de entrada de aire. Es importante tener en cuenta que la distancia entre el micrófono y la fuente de sonido debe ser al menos de 0,7 m.

Al hablar del plano de desplazamiento, éste debe estar inclinado para así cubrir un área mayor pero no debe estar dentro de los 10° del plano de ninguna superficie del área.



#### **1.4.2 Resolución N° 0002-DMA-2008**

La Dirección Metropolitana Ambiental (DMA) en la norma para el control de ruido causado por fuentes fijas y móviles en el artículo 8, establece los siguientes requisitos para la elaboración del mapa de ruido:

- Cada equipo usado para la medición de ruido deberá contar con los debidos certificados de calibración, para así mostrar respuestas convenientes antes de ponerlos en marcha.
- En el caso de que el OAE (Organismo de Acreditación Ecuatoriano) no certifique parámetros de ruido, se establecerán requisitos mínimos para medición de ruido por parte de la DMA.
- El instrumento usado para la medición de ruido es un decibelímetro normalizado, el cual contará con selectores de ponderación A y respuesta lenta, además, deben cumplir con los requerimientos para los tipos 0, 1 y 2.

Al terminar con las mediciones necesarias se debe contar con un informe final el cual va a contener la identificación de la fuente, la ubicación de la misma (croquis de localización), características de operación, fecha y hora en la que se tomó la medida, así también como la ubicación de cada punto de medición, instrumento utilizado para tomar la medida, nivel de emisión de ruido, si se realizaron correcciones o no, nombre del personal responsable, entre otros.

En el caso de medición de ruido para fuentes fijas, las medidas deben ser tomadas en el exterior del límite físico, si existe una pared perimetral a éste las medidas deben tomarse tanto en el exterior como en el interior conservando cierta distancia (3m) con el fin de evitar reflejos de ondas. Es necesario tomar en cuenta que el sonómetro no debe ser expuesto a vibraciones mecánicas.

### **1.4.3 Real Decreto 1367/2007, 19 de octubre “desarrollo de la Ley 37/2003 del Ruido, en lo Referente a Zonificación Acústica, Objetivo de Calidad y Emisiones Acústicas”**

En el Anexo IV literal 3.4 se establece el procedimiento para medir ruido, donde se establece que las mediciones pueden ser tomadas de manera continua o pueden ser tomadas en intervalos. Además, si se determinan periodos de niveles sonoros promedios se debe contar con muestras suficientes para tener un estimado del valor a largo plazo y en el caso de realizar la medición en el interior de una edificación, tanto puertas y ventanas deben permanecer cerradas.

Es importante tener en cuenta el punto de evaluación ya que debe ser ubicado al menos a 1 m de las paredes, entre 1,2m y 1,5m del piso, y a 1,5m de las ventanas; de no ser posible dichas medidas las posiciones se tomarán en el centro del lugar.

## **1.5 Materiales absorbentes de ruido**

### **1.5.1 Materiales aislantes**

Los materiales aislantes acústicos que se muestran en Figura 1. 9 Diferentes tipos de materiales para aislamiento de ruido., Los materiales aislantes acústicos hay que darles especial importancia a los límites de la estancia: es decir, las puertas y ventanas. Son generalmente los principales puntos por los que entran más ruidos desde el exterior. Por ello, aunque se tenga unas paredes, suelos y techos perfectamente aislados; si no acertamos en el aislamiento de puertas y ventanas, habremos perdido gran eficacia

Figura 1. 9.

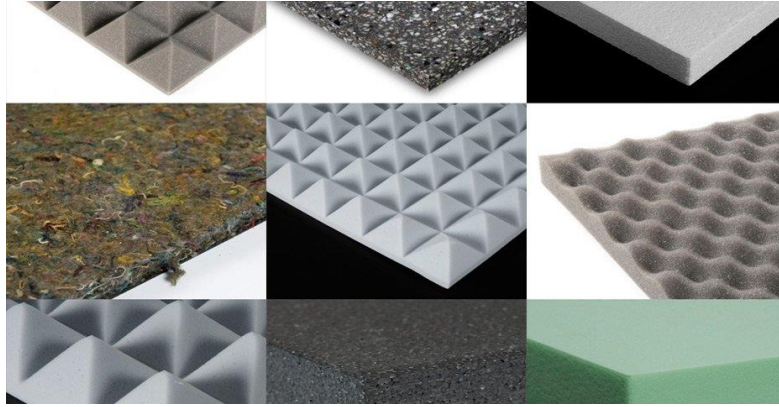


Figura 1. 9 Diferentes tipos de materiales para aislamiento de ruido.  
(Fuente: <https://climalit.es/blog/tipos-de-materiales-aislantes-acusticos/vbvb>)

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1. Mapa de ruido del compresor sin cámara insonora**

El mapa de ruido es una herramienta muy útil para identificar los puntos críticos y focos del ruido, con esto se puede hacer un diseño más acorde a la realidad del funcionamiento del equipo, para lo cual se han tomado dos criterios, uno cuando el compresor está en el centro de un cuarto y el otro cuando el compresor está localizado en una esquina del consultorio odontológico y con estos datos se consideran los puntos críticos.

#### **2.1.1. Mapa de ruido con el compresor en el centro del consultorio**

El mapa de ruido del compresor sin la cámara insonora es de suma importancia para poder analizar cuáles son los puntos y lugares críticos donde se produce y como se dispersa el ruido, para lo cual se hace una serie de mediciones alrededor del compresor, tomando en cuenta la localización del compresor, para esto se considera que el compresor está en el centro y se toman medidas a su alrededor tomando como separación entre cada medida de 1 metro, como se indica en la Figura 2. 1.

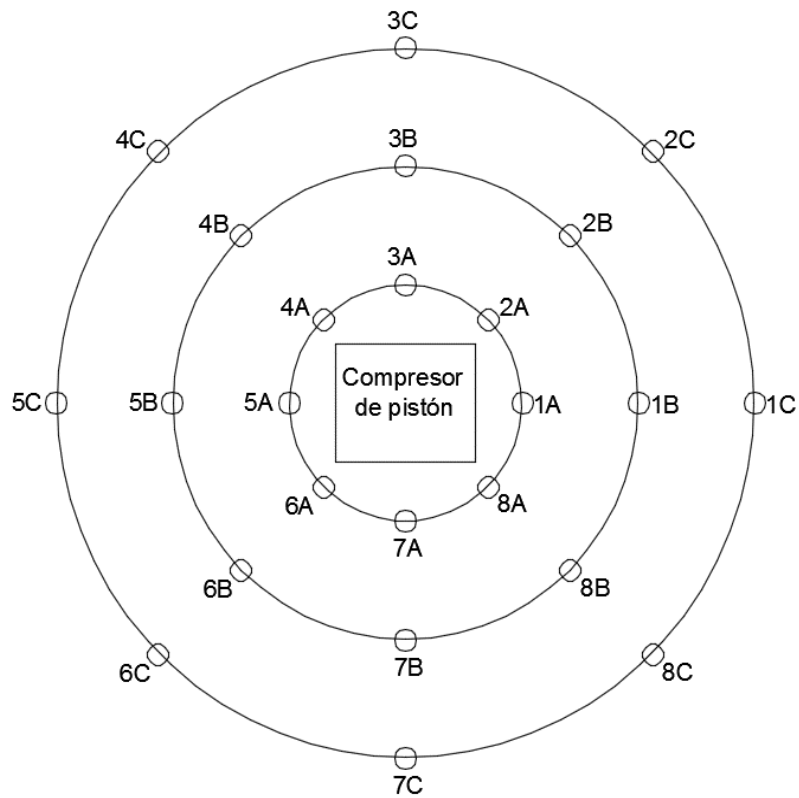


Figura 2. 1 Esquema para medición de ruido alrededor del compresor.

Para la toma de valores se utiliza un medidor de nivel de ruido, Modelo 72-935 TENMA, el cual registra ruidos con el rango de frecuencia de 31.5 Hz a 8 kHz, y el rango de medida es de 40 a 130 db, tienen un micrófono de condensador de 1/2 pulgada y una pantalla LCD como se muestra en la Figura 2. 2.



Figura 2. 2 Medidor de ruido TENMA

Los valores que se obtienen una vez hecha la medición son los que se muestran en la Tabla 2. 1 en la cual se observa como la atenuación de ruido se da dependiendo de cuanto se aleja la medición del foco de ruido,

Tabla 2. 1 Medición alrededor del compresor

| Puntos    | Distancia [m] | Valor [dB] | Puntos    | Distancia [m] | Valor [dB] |
|-----------|---------------|------------|-----------|---------------|------------|
| <b>1A</b> | 1             | 90,4       | <b>5B</b> | 2             | 83,5       |
| <b>2A</b> | 1             | 89,5       | <b>6B</b> | 2             | 83,9       |
| <b>3A</b> | 1             | 89,2       | <b>7B</b> | 2             | 82,6       |
| <b>4A</b> | 1             | 89,1       | <b>8B</b> | 2             | 85,1       |
| <b>5A</b> | 1             | 94,8       | <b>1C</b> | 3             | 74,5       |
| <b>6A</b> | 1             | 92,7       | <b>2C</b> | 3             | 74,6       |
| <b>7A</b> | 1             | 90,2       | <b>3C</b> | 3             | 74,3       |
| <b>8A</b> | 1             | 94,3       | <b>4C</b> | 3             | 84,2       |
| <b>1B</b> | 2             | 83,8       | <b>5C</b> | 3             | 74,4       |
| <b>2B</b> | 2             | 83,1       | <b>6C</b> | 3             | 72,8       |
| <b>3B</b> | 2             | 83,7       | <b>7C</b> | 3             | 84,7       |
| <b>4B</b> | 2             | 84,5       | <b>8C</b> | 3             | 86,9       |

(Fuente: Propia)

### **2.1.2. Mapa de ruido con el compresor ubicado en la esquina del consultorio**

Por lo general el compresor en el consultorio odontológico se ubica en una esquina debido al espacio limitado que se tiene, por lo cual para tener una mejor idea del ruido que se produce en el consultorio es necesario hacer pruebas de la localización exacta en la que se ubica la máquina generadora de ruido, en la Figura 2. 3 Esquema para medición de ruido alrededor del compresor, esquinero. se muestra la disposición para la toma de valores.

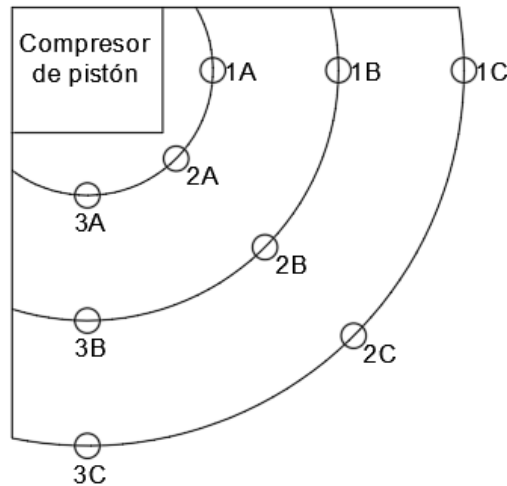


Figura 2. 3 Esquema para medición de ruido alrededor del compresor, esquinero.

En la Tabla 2. 2 se muestran los valores de medición de ruido del compresor ubicado en una esquina el consultorio médico, con lo cual se observa que de igual manera al alejarse del foco de ruido el nivel de ruido se reduce.

Tabla 2. 2 Medición alrededor del compresor

| Puntos | Distancia [m] | Valor [dB] |
|--------|---------------|------------|
| 1A     | 1             | 94,5       |
| 2A     | 1             | 97,9       |
| 3A     | 1             | 94,1       |
| 1B     | 2             | 87,0       |
| 2B     | 2             | 90,0       |
| 3B     | 2             | 96,0       |
| 1C     | 3             | 89,3       |
| 2C     | 3             | 92,4       |
| 3C     | 3             | 99,8       |

(Fuente: Propia)

## 2.2. Cálculo del tiempo de exposición y atenuación de ruido

El cálculo del tiempo de exposición es fundamental para tener una idea de la cantidad de ruido que soporta o puede estar expuesta una persona, este valor no debe superar los establecidos en el marco teórico, para esto se utiliza la ecuación

$$dosis = \frac{(tiempo\ exposición)}{(tiempo\ permitido)} \times 2^{[(NPS\ exposición - NPS\ permitido)/3]}$$

Ecuación 2. 1 Ecuación del tiempo de exposición

Si se considera que el tiempo permitido es de 8 horas y el NPS permitido 85 dB se obtiene la ecuación:

$$1 = \frac{(tiempo\ exposición)}{8} \times 2^{[(NPS\ exposición - 85)/3]}$$

Ecuación 2. 2 Ecuación del tiempo de exposición con dosis 1

Con la ecuación 2. 2 analizando para cada una de los niveles de presión sonora se obtienen los siguientes valores que se muestran en la Tabla 2. 3

Tabla 2. 3 Valores del tiempo máximo de exposición

| NPS (dBA) | Tiempo máximo (horas) |
|-----------|-----------------------|
| 85        | 8                     |
| 86        | 6,349                 |
| 87        | 5,036                 |
| 88        | 4                     |
| 89        | 3,175                 |
| 90        | 2,519                 |
| 91        | 2                     |
| 92        | 1,587                 |
| 93        | 1,259                 |
| 94        | 1                     |
| 95        | 0,793                 |
| 96        | 0,629                 |
| 97        | 0,5                   |
| 98        | 0,396                 |
| 99        | 0,315                 |
| 100       | 0,25                  |
| 101       | 0,198                 |
| 102       | 0,157                 |
| 103       | 0,125                 |
| 104       | 0,099                 |
| 105       | 0,078                 |

(Fuente: Propia)



Los valores que se presentan en la Tabla 2. 4 son los valores promedios de las mediciones realizadas, en el cual se puede comprobar que si el compresor se encuentra en el centro del consultorio odontológico se podría trabajar 8 horas sin problema sin la protección de la cámara insonora.

Tabla 2. 4 Datos obtenidos de ruido con el compresor en el centro

| Puntos   | Distancia [m] | Valor [dB] |
|----------|---------------|------------|
| 1A       | 1             | 90,4       |
| 2A       | 1             | 89,5       |
| 3A       | 1             | 89,2       |
| 4A       | 1             | 89,1       |
| 5A       | 1             | 94,8       |
| 6A       | 1             | 92,7       |
| 7A       | 1             | 90,2       |
| 8A       | 1             | 94,3       |
| Promedio |               | 91,3       |
| 1B       | 2             | 83,8       |
| 2B       | 2             | 83,1       |
| 3B       | 2             | 83,7       |
| 4B       | 2             | 84,5       |
| 5B       | 2             | 83,5       |
| 6B       | 2             | 83,9       |
| 7B       | 2             | 82,6       |
| 8B       | 2             | 85,1       |
| Promedio |               | 83,8       |
| 1C       | 3             | 74,5       |
| 2C       | 3             | 74,6       |
| 3C       | 3             | 74,3       |
| 4C       | 3             | 84,2       |
| 5C       | 3             | 74,4       |
| 6C       | 3             | 72,8       |
| 7C       | 3             | 84,7       |
| 8C       | 3             | 86,9       |
| Promedio |               | 78,3       |

(Fuente: Propia)

Como se pueden observar en los datos cuando el compresor está en una esquina del centro odontológico el nivel de ruido es más alto que cuando está en el centro, y por lo general de esta manera están localizados los equipos, es decir, el compresor en un esquina y el resto de equipos odontológicos distribuidos en el espacio, por cual el nivel

de presión sonora es muy alto, si se hace referencia a la Tabla 2. 5 se observa que el tiempo máximo para 95 dB es de 0,79 horas.

Tabla 2. 5 Datos obtenidos de ruido con el compresor en el extremo

| Puntos   | Distancia [m] | Valor [dB] |
|----------|---------------|------------|
| 1A       | 1             | 94,5       |
| 2A       | 1             | 97,9       |
| 3A       | 1             | 94,1       |
| Promedio |               | 95,5       |
| 1B       | 2             | 87,0       |
| 2B       | 2             | 90,0       |
| 3B       | 2             | 96,0       |
| Promedio |               | 91,0       |
| 1C       | 3             | 89,3       |
| 2C       | 3             | 92,4       |
| 3C       | 3             | 99,8       |
| Promedio |               | 93,8       |

### 2.3. Selección del material aislante

Una vez que se sabe que efectivamente el nivel de ruido es alto cuando se está trabajando en un consultorio odontológico, es necesario garantizar que la cámara de ruido reduzca este nivel para tener un ambiente de confort, para lo cual es necesario hacer una selección del material aislante que mejor cumpla los requerimientos.

Existen diferentes tipos de materiales que pueden ser utilizados para reducir el ruido, pero no todos cumplen con las características necesarias, para que el compresor funcione correctamente es necesario garantizar que tenga ventilación interna lo cual implica que durante el funcionamiento la máquina tiende a elevar su temperatura, por lo tanto es necesario que el material aislante sea resistente y trabaje a altas temperaturas sin perder sus propiedades ni deformarse, debe ser un material que no se expanda ni contraiga con el cambio de temperatura.

En el mercado local existen varias alternativas de materiales utilizados para aislar ruido.

### **2.3.1. Materiales multicapa**

El mejor material es el plomo, con más de 11.000 kg por m<sup>3</sup>. Para aislamiento acústico se usa en planchas o combinado en láminas, donde se presenta como una lámina entre otras dos de material absorbente de diferentes grosores.

### **2.3.2. Fibra de vidrio**

Las lanas minerales no son inflamables, pero para su colocación hay que tener cuidado con los ojos, la piel y el sistema respiratorio. La lana de roca gracias a su disposición multidireccional de fibras es también utilizada como aislante acústico. Además, es incombustible, por lo que no emite gases tóxicos en caso de incendio  
Figura 2. 4.



Figura 2. 4 Lana de roca o fibra de vidrio

### **2.3.3. Espuma de poliuretano**

Según un estudio del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, dependiente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Ciencia e Investigación (CSIC), sus propiedades acústicas se deben fundamentalmente a su capacidad de sellado, que proporciona muy buenos resultados en el aislamiento frente

al ruido aéreo, ya no solamente en viviendas en núcleos urbanos, sino también en discotecas, cafeterías, fábricas, y otros lugares donde se alcanzan altos niveles de ruido  
Figura 2. 5.

En cuanto a sus propiedades como aislante acústico, la espuma más adecuada es la de baja densidad y celda abierta, ya que está específicamente diseñada para este tipo de trabajos. Las espumas de celda cerrada son óptimas para el aislamiento térmico, por lo que se puede recurrir a una combinación de ambos tipos para conseguir mejores resultados en aislamiento térmico y acústico.

Incluso en temperaturas extremas (entre  $-50^{\circ}\text{C}$  y  $110^{\circ}\text{C}$ ) mantiene sus propiedades técnicas.

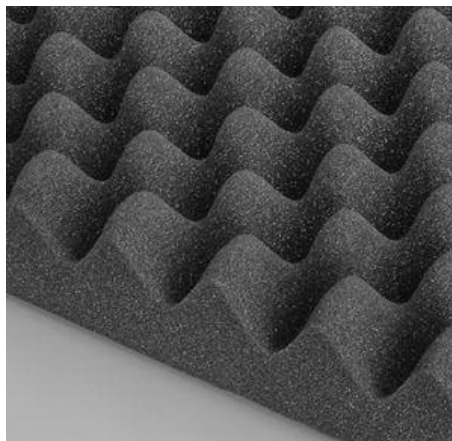


Figura 2. 5 Espuma de poliuretano

Con los diferentes materiales que se presentan la mejor opción y la que cumple con las propiedades del diseño es la espuma de poliuretano, con lo cual se hace el recubrimiento de la cámara insonora para reducir el ruido generado por el compresor, y así garantizar la ergonomía de los centros odontológicos, Figura 2. 6.

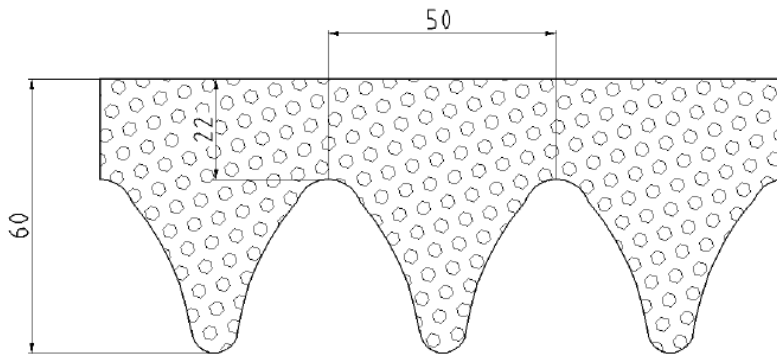


Figura 2. 6 Dimensiones de la plancha de espuma de poliuretano

La plancha utilizada será de un material de poliuretano de 20 kg/m<sup>3</sup> con las dimensiones de 50x50x5, la esponja acústica a utilizar será como se muestra en la Figura 2. 7.

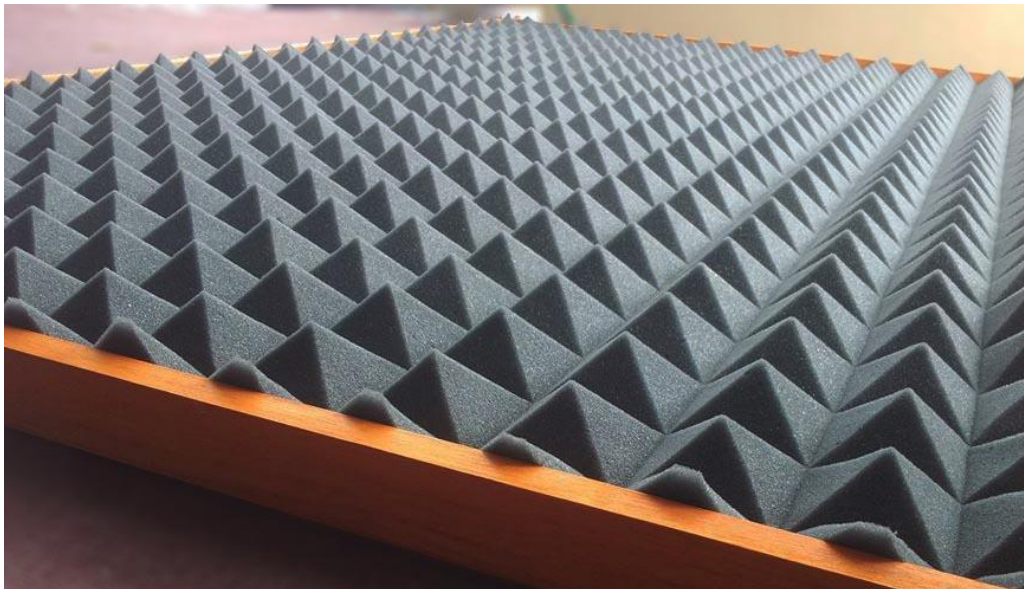


Figura 2. 7 Poliuretano de 20 kg/m<sup>3</sup>

Su capacidad de absorción acústica se detalla a continuación:

- 100 htz 10%
- 250 htz 20%
- 500 htz 50%
- 10k htz 100%

Esta capacidad de absorción acústica es aproximada.

## 2.4. Compresor sin aislamiento

El compresor sin la cámara de aislamiento se muestra en la figura... el compresor consta de un motor eléctrico, el cabezal, la mesa donde va montado todo el sistema, y como en todos casos el presostato está instalado junto a la mesa, de la cual sale los cables para el control, es decir, para el encendido y apagado del motor eléctrico, además se observa el lugar en el que puede ser anclada la cámara insonora.

## **2.5. Dimensionamiento de la cámara insonora**

Para el dimensionamiento de la cámara insonora es necesario entender que los compresores no tiene una estructura única ni tampoco el mismo tamaño, por lo cual el dimensionamiento es único dependiendo a que compresor se lo va a insonorizar, se debe tener en cuenta el tamaño de la base, la altura del cabezal, el tipo de ventilación, y si el sistema de control original se encuentra en el interior se recomienda ponerlo a la vista, es decir, el presostato, cámara de arranque y el manómetro.

La estructura está constituida de tubo cuadrado y las caras de planchas de tol dobladas para aumentar su rigidez, además de uso de bisagras para la apertura y cerrado de las tapas.

Es importante tener en cuenta la ecuación para calcular el factor de seguridad el cual relaciona el esfuerzo permisible con el esfuerzo de diseño, este valor debe ser mayor a 1 para garantizar que el material no sufra daños durante su vida de trabajo.

$$n = \frac{\textit{Resistencia del material}}{\textit{Esfuerzo de diseño}}$$

Ecuación 2. 3 Ecuación para el factor de seguridad

Para el acero que se va a utilizar la resistencia del material es de 250 MPa, con este dato se puede calcular los factores de seguridad con las que las vigas estarán trabajando y un factor de seguridad general de la estructura.

### 2.5.1. Estructura principal

La estructura principal básicamente está formada por una estructura de tubo de acero negro de 25 mm por 2 mm de espesor, esto debido a que las cargas que presenta sobre la estructura no son considerables, la función principal es sostener y confinar la esponja acústica.

La estructura principal es como se muestra en la Figura 2. 8 y se puede observar esta estructura va sujeta a la mesa principal del compresor, la sujeción debe ser asegurada ya sea de manera soldada o empernada para evitar vibraciones.

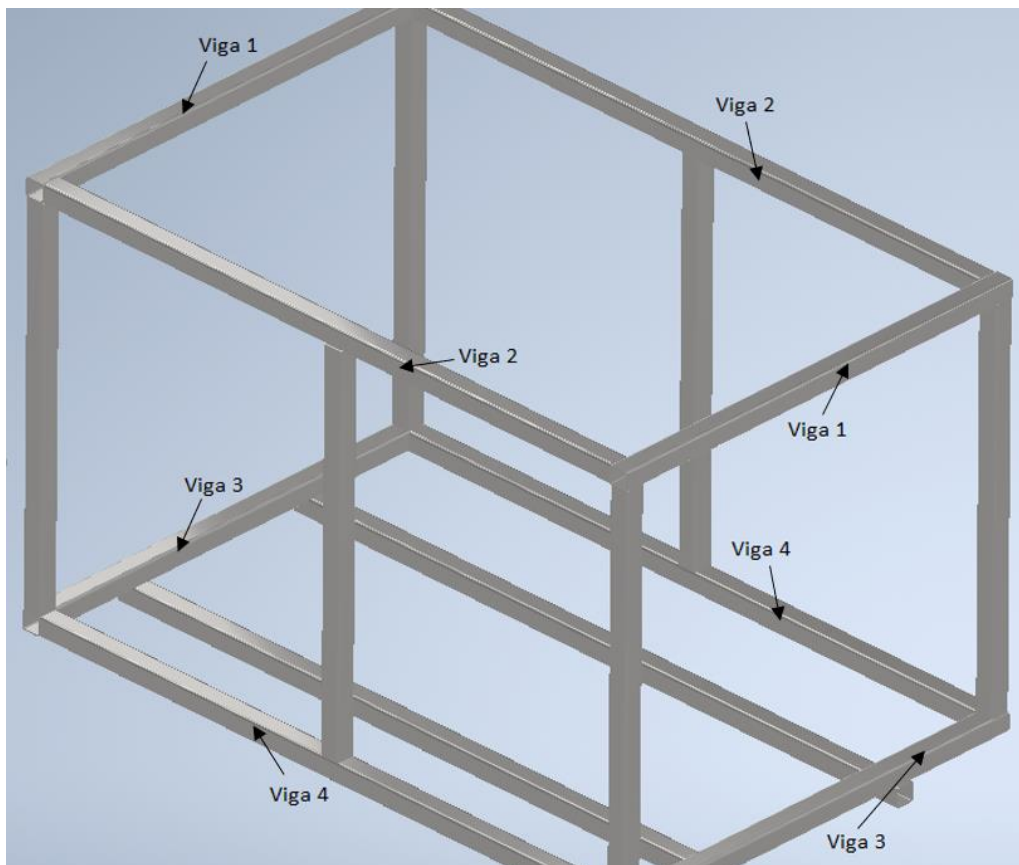


Figura 2. 8 Estructura principal

En la Figura 2. 9 se observa como es el comportamiento de estructura una vez que está sometida a las cargas, para este caso se considera una carga distribuida de 2 N/mm, en cada uno de las vigas, esto es aproximadamente 200 kg de carga que para el caso

de la simulación es suficiente, esta carga representaría que coloquen objetos sobre la cámara insonora, o incluso que una persona camine sobre la estructura, estos casos son poco frecuentes.

El desplazamiento máximo es de 1,399 mm lo cual no es un valor considerable para el análisis, hay que observar que el análisis que se hace es solo de la estructura, una vez armada con las tapas y demás componente la estructura toma mayor estabilidad y este desplazamiento se reduce, por lo cual el diseño con el tubo de 25 mm por 2 mm de espesor cumple con las características deseadas.

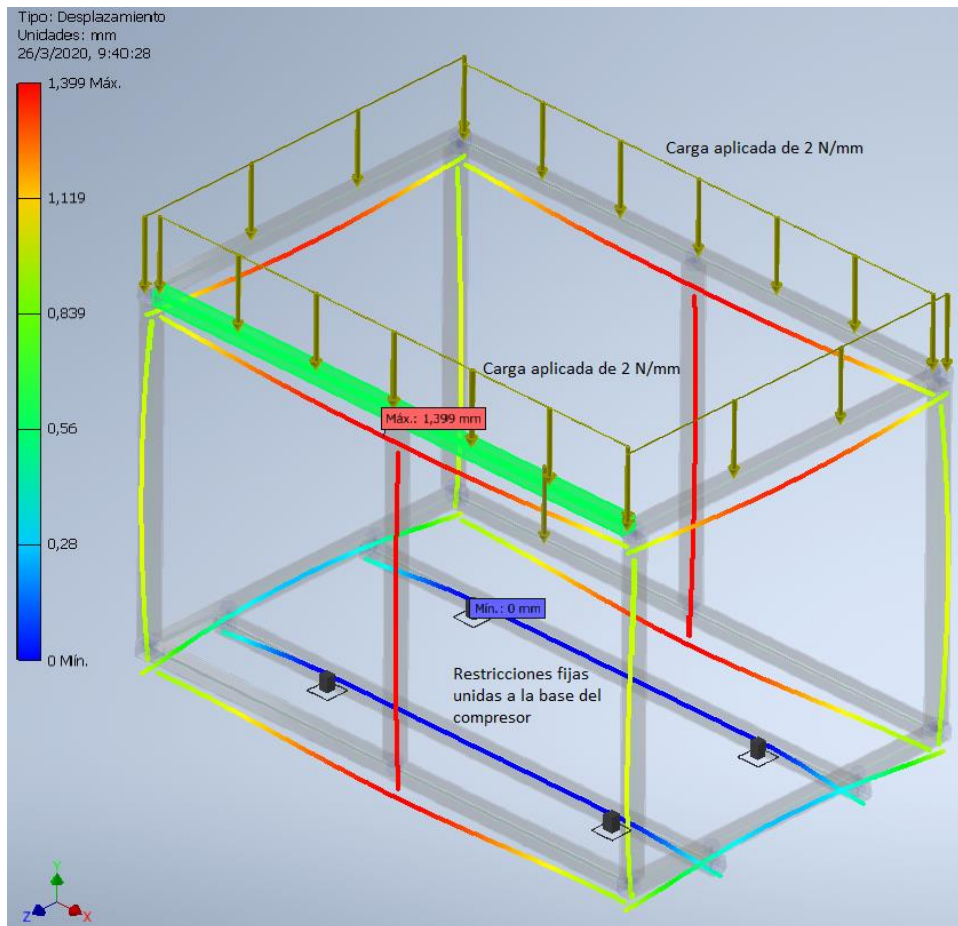


Figura 2. 9 Simulación del comportamiento de la estructura



Para el análisis más puntual de la estructura se separa cada una de las vigas con la numeración que se muestra en la Figura 2. 8 teniendo así 4 vigas diferentes para analizar, con la ayuda del Inventor 2020 se obtienen los diagramas de momento y el esfuerzo máximo para poder obtener el factor de seguridad con el que están trabajando.

Para la viga 1 como se observa en la Figura 2. 10 el momento máximo es de  $M_x=51088,068$  Nmm y este se presenta en el centro de la viga, lo cual hace que el esfuerzo máximo también se encuentre en este punto.

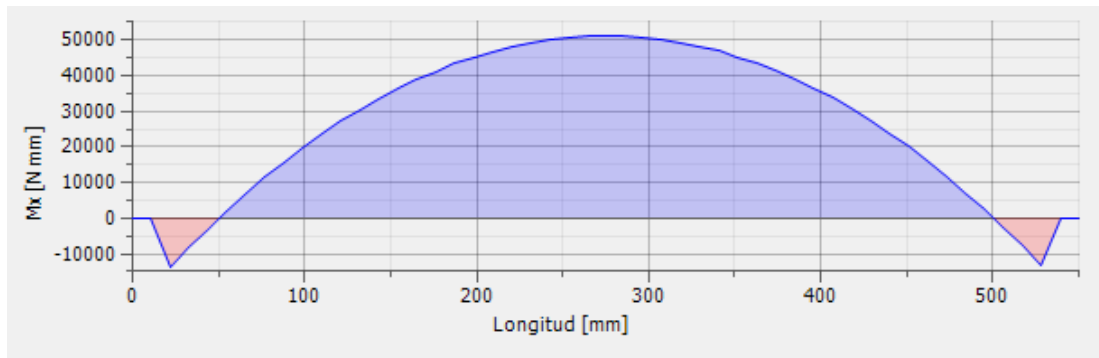


Figura 2. 10 Momento para la viga 1

Para la viga 1 el esfuerzo máximo como se observa en la Figura 2. 11 es  $S_{max}=44,432$  MPa, con este esfuerzo se puede calcular el factor de seguridad aplicando la ecuación 2.3 para la viga 1 el factor de seguridad es de 5,626, con lo cual se garantiza que la viga trabaja sin problemas para las condiciones deseadas.

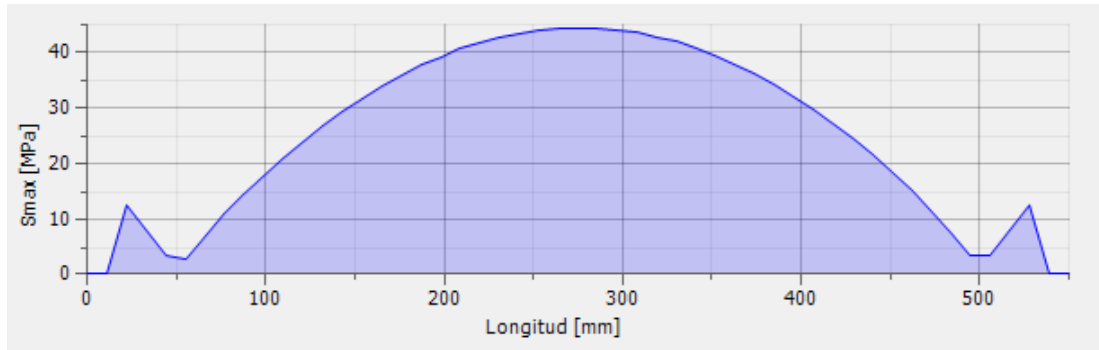


Figura 2. 11 Esfuerzo máximo viga 1

Para la viga 2 como se observa en la Figura 2. 12 el momento máximo es de  $M_x = -33904,29$  Nmm y este se presenta en dos puntos diferentes, esto se debe a que la estructura presenta un soporte en el centro lo cual divide la carga, y el esfuerzo máximo también se encuentra en estos puntos.

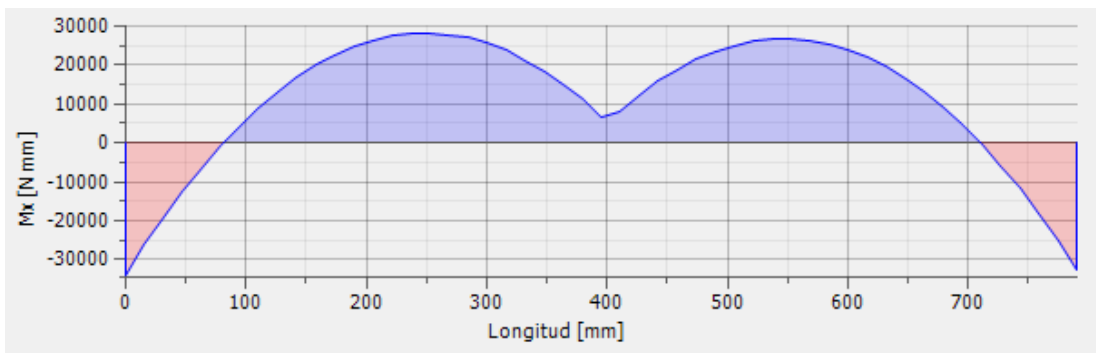


Figura 2. 12 Momento para la viga 2

Para la viga 2 el esfuerzo máximo como se observa en la Figura 2. 13 es  $S_{max} = 29,15$  MPa, con este esfuerzo se puede calcular el factor de seguridad aplicando la ecuación 2.3, para la viga 2 el factor de seguridad es de 8,57, con lo cual se garantiza que la viga trabaja sin problemas para las condiciones deseadas.

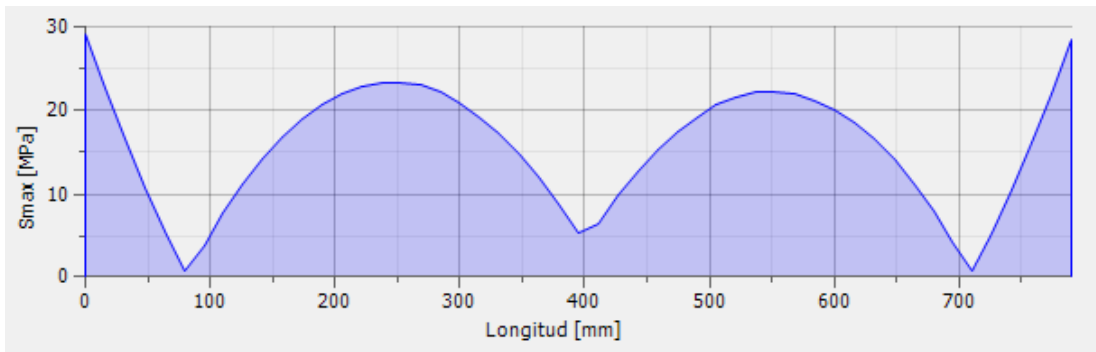


Figura 2. 13 Esfuerzo máximo viga 2

Para la viga 3 el diagrama de momentos es como se muestra en la Figura 2. 14 en el cual se observa que el momento máximo es de  $M_x = -105441,175$  Nmm, y tiene la forma característica de las dos puntas ya que ahí están localizadas las restricciones de los apoyos fijos.

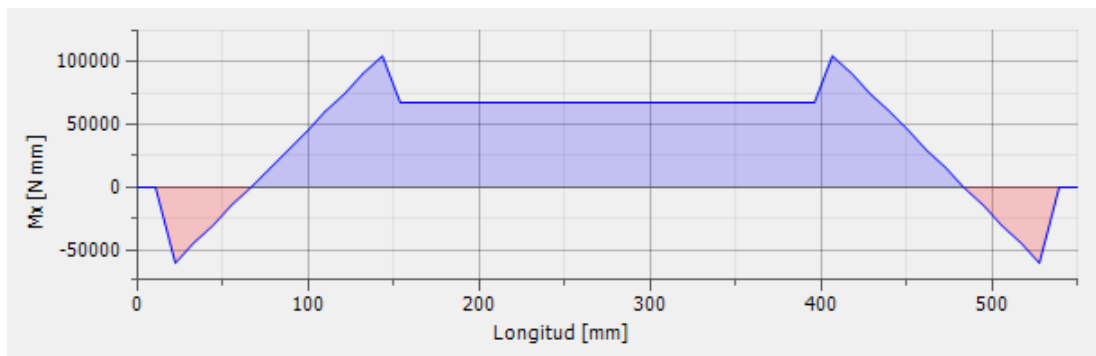


Figura 2. 14 Momento para la viga 3

En la Figura 2. 15 se muestra el esfuerzo máximo  $S_{max} = 121,983$  MPa con este esfuerzo se puede calcular el factor de seguridad aplicando la ecuación..., para la viga 3 el factor de seguridad es de 2,05, con lo cual se garantiza que la viga trabaja sin problemas para las condiciones deseadas.

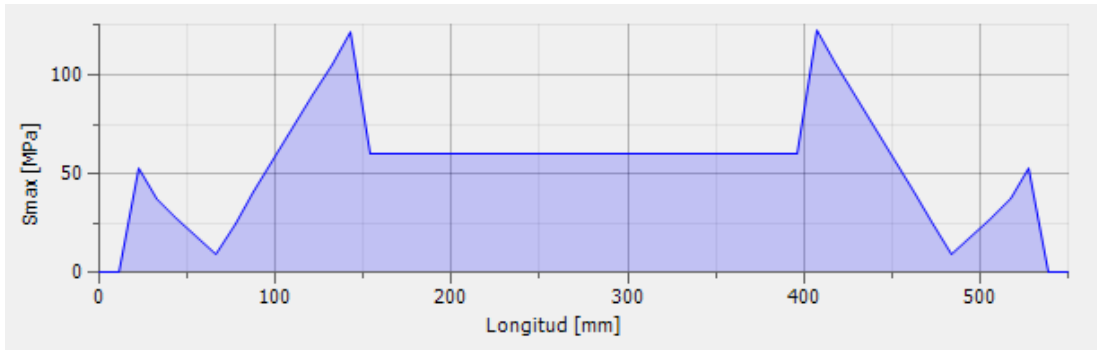


Figura 2. 15 Esfuerzo máximo viga 3

Para la viga 4 como se observa en la Figura 2. 16 el momento máximo es de  $M_x = -61691,355$  Nmm y este se presenta en el centro de la viga, lo cual hace que el esfuerzo máximo también se encuentre en este punto.

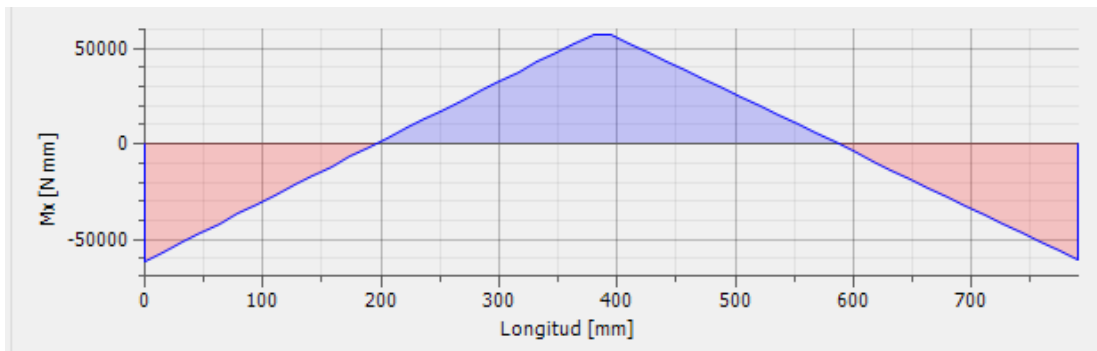


Figura 2. 16 Momento para la viga 4

El esfuerzo máximo como se observa en la Figura 2. 17 es  $S_{max} = 58,762$  MPa, con este esfuerzo se puede calcular el factor de seguridad aplicando la ecuación 2.3 para la viga 4 el factor de seguridad es de 4,25, con lo cual se garantiza que la viga trabaja sin problemas para las condiciones deseadas.

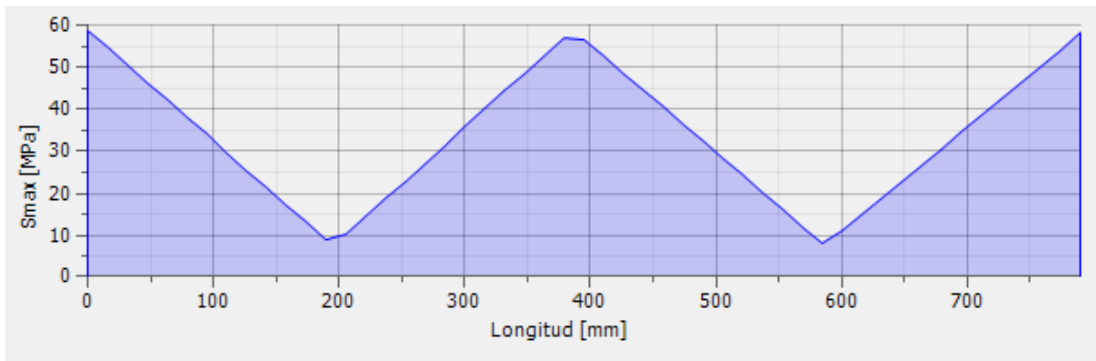


Figura 2. 17 Esfuerzo máximo viga 4

En la Figura 2. 18 se muestra la simulación de carga y el comportamiento de la estructura completa, y el dato que refleja es del esfuerzo máximo y mínimo en toda la estructura con las restricciones respectivas.

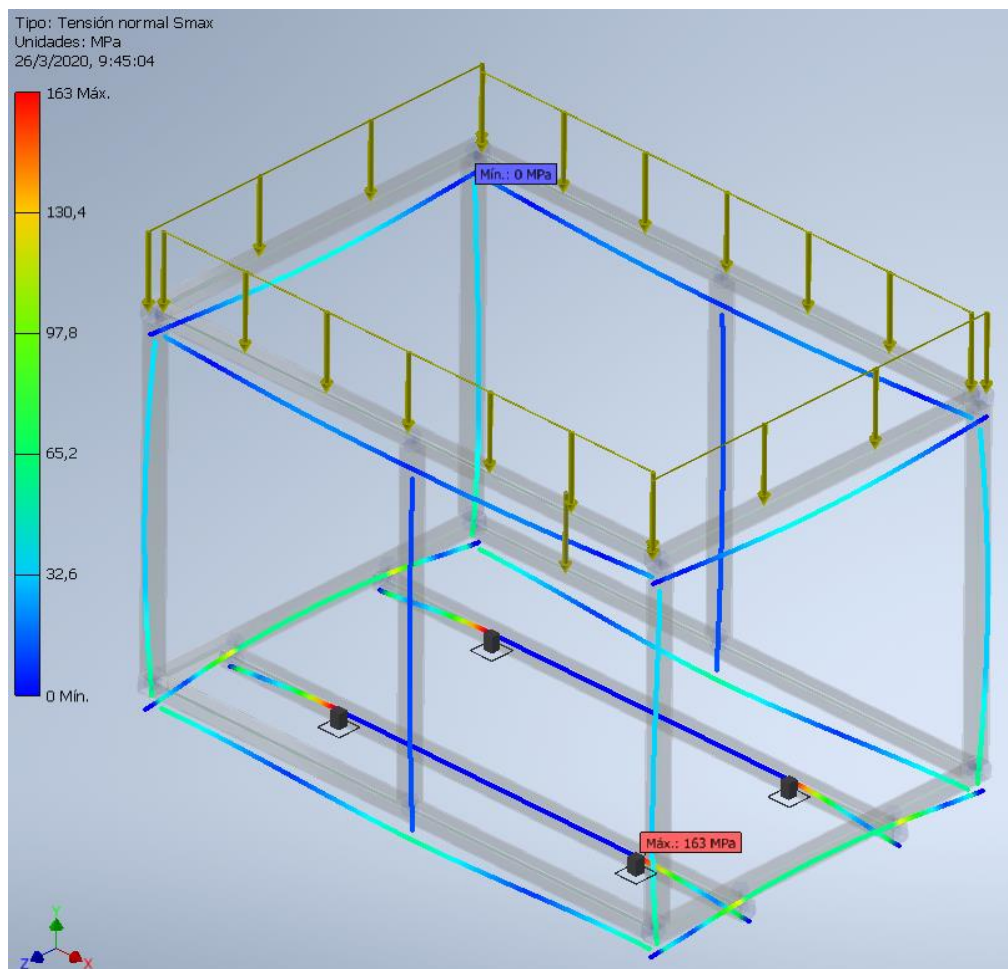


Figura 2. 18 Análisis de esfuerzo máximo en toda la estructura

Con el dato de esfuerzo máximo y con la ecuación del factor de seguridad se tiene que la estructura completa trabaja con 1,5 y este valor muestra que la estructura trabaja dentro de los parámetros establecidos.

### 2.5.2. Tapa frontal

La tapa frontal es la que está localizada justo al frente de los volantes, en donde se tiene movimiento de las poleas, por lo cual es necesario que estas sean móviles para poder realizar el mantenimiento ya sea preventivo o correctivo, Figura 2. 19.

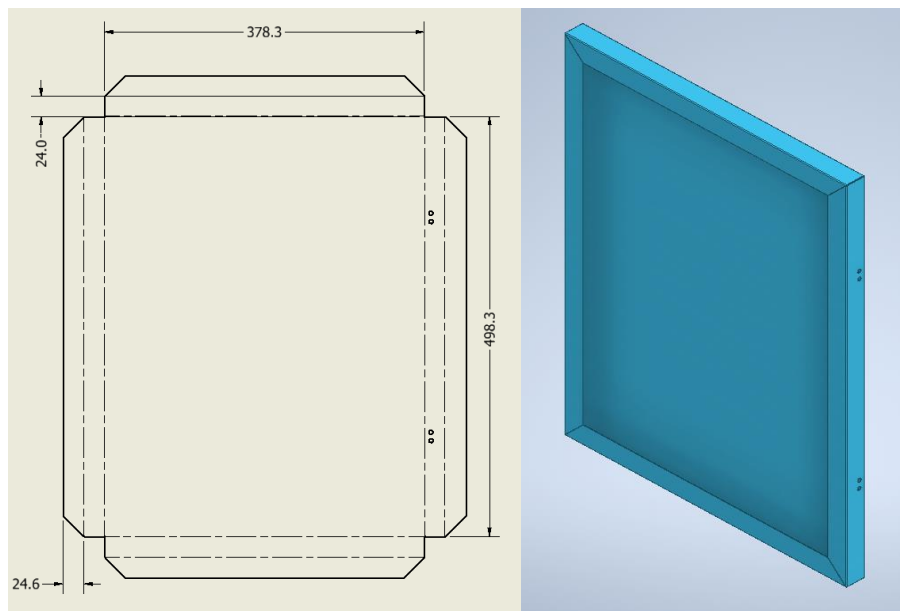


Figura 2. 19 Tapa frontal

### 2.5.3. Tapa posterior

La tapa posterior al igual que la frontal debe ser móvil para poder hacer el mantenimiento, en esta parte se encuentra el drenaje de aceite del equipo, y el ventilador del motor, Figura 2. 20.

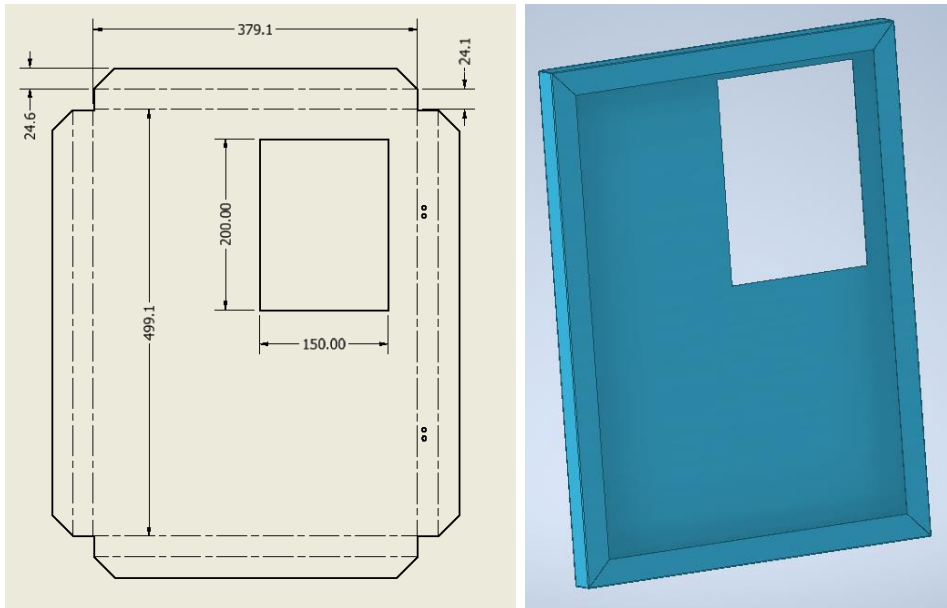


Figura 2. 20 Tapa posterior

#### 2.5.4. Tapa superior

La tapa superior debe ser fija a la estructura para tener rigidez, esto ayudará a que la estructura no presente caras cíclicas debido a la vibración, y también garantizará la sujeción del material aislante, Figura 2. 21.

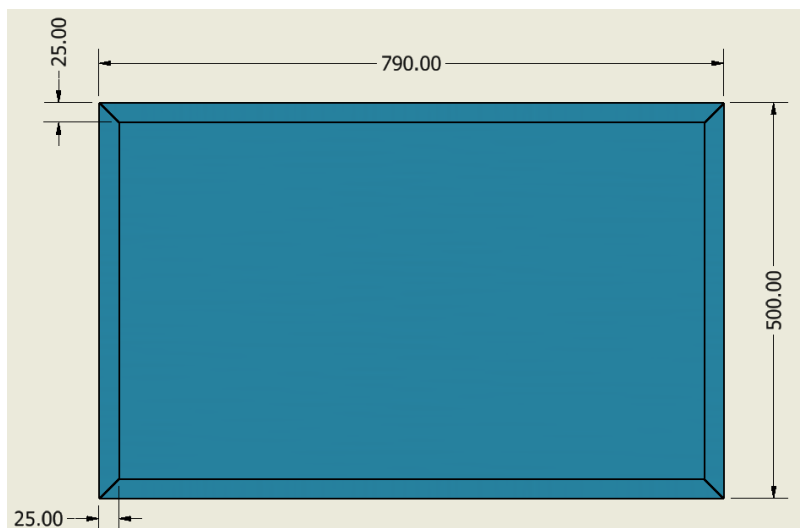


Figura 2. 21 Tapa superior

### 2.5.5. Lateral izquierdo

Los laterales son contruidos de tol negro y doblado para aumentar la rigidez de los mismo, el lateral izquierdo es el ubicado al lado del motor, es decir que en este lado se pueden colocar los ventiladores para la extracción del aire caliente y garantizar el enfriamiento del compresor, Figura 2. 22.

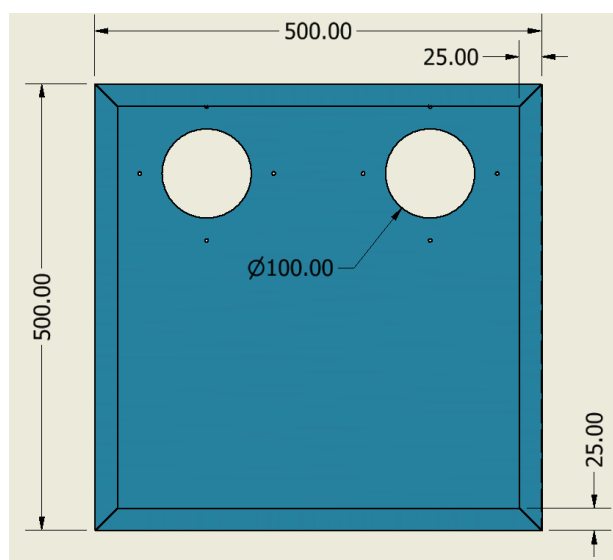


Figura 2. 22 Lateral izquierdo

### 2.5.6. Lateral derecho

El lateral derecho está ubicado en el lado del cabezal, este lateral por encontrarse en esta posición no es óptimo para ubicar los extractores ni el panel de control, por lo cual es solo la plancha doblada y es fijo a la estructura principal, Figura 2. 23.



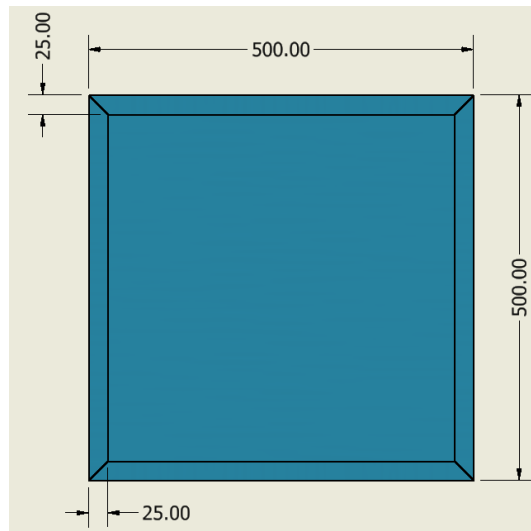


Figura 2. 23 Lateral derecho

### 2.5.7. Ensamble completo

En la Figura 2. 24 se muestra el ensamble completo de la cámara insonora, la localización de la cámara de control y de los ventiladores, además del ensamble de las tapas con la estructura y la disposición de los elementos del compresor dentro de la cámara, la esponja acústica por lo general se dispone en planchas de 50 cm x 50 cm x 5 cm de espesor la cual estaría colocada en la estructura y en las tapas como se muestra en la Figura 2. 24.

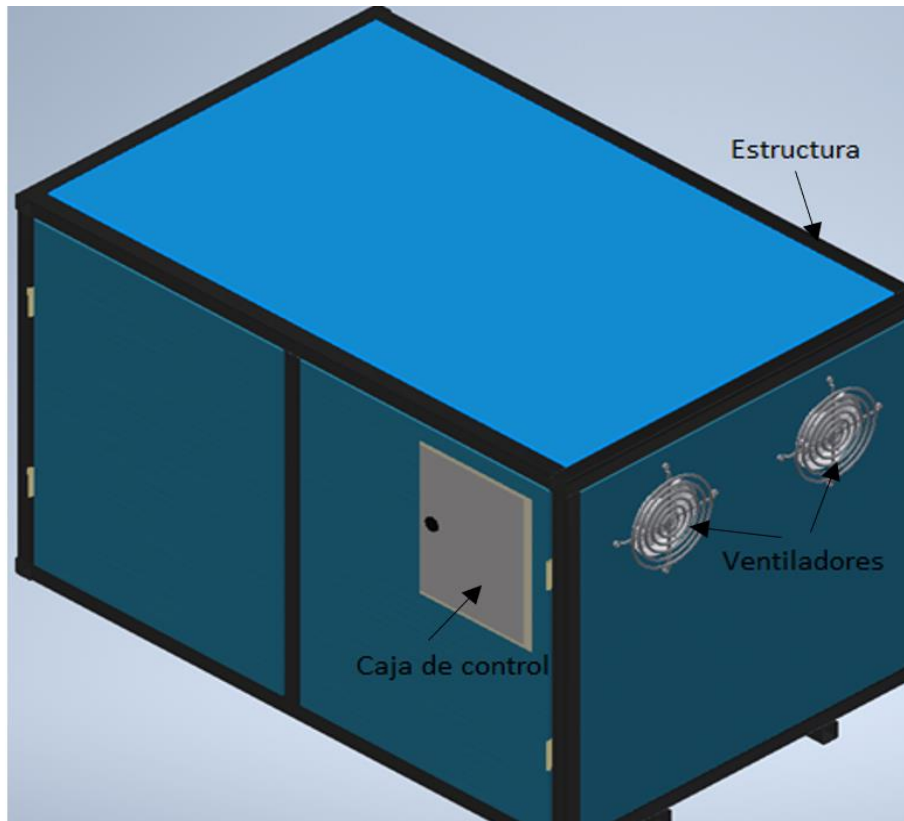


Figura 2. 24 Ensamble completo

La esponja acústica se observa que recubre totalmente las caras de la cámara e incluso bajo el dobléz de cada una de las caras, es decir que en dobléz se tiene introducida parte de la esponja acústica, esto ayuda a que as fugas de ruido sean menores y que se pueda cunmplir con el objetivo que es reducir el ruido y confinarlo dentro de la cámara insonora, Figura 2. 25.

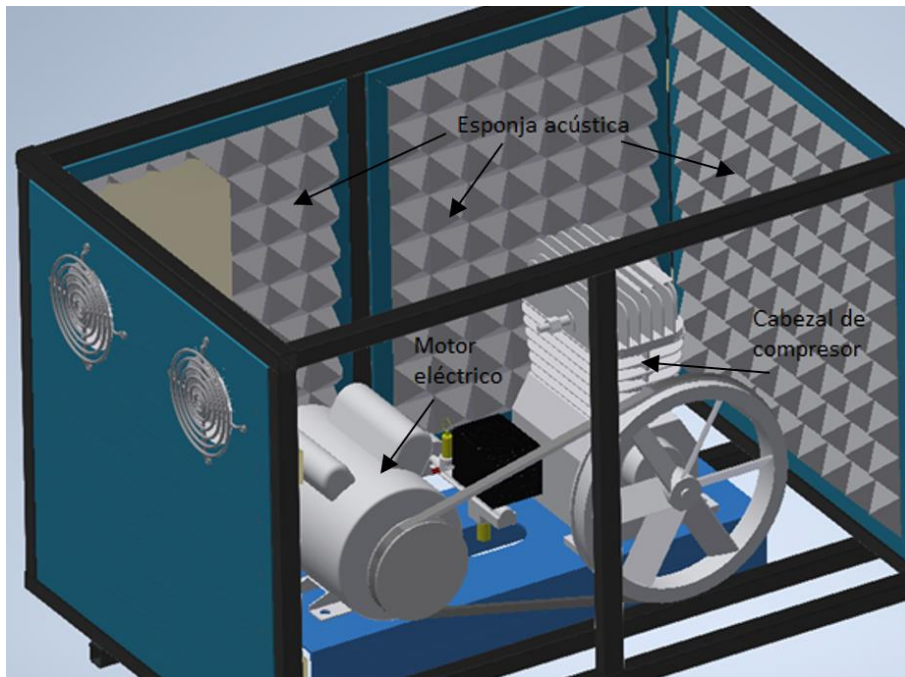


Figura 2. 25 Ensamble completo vista interior

## 2.6. Sistema de ventilación

El sistema de ventilación es fundamental en el funcionamiento del compresor por lo cual se debe garantizar que exista circulación de aire dentro del equipo, esto se logra colocando ventiladores capaces de mover el aire y extraer el aire caliente, este aire caliente se genera debido al funcionamiento específicamente del cabezal en su mayoría y en poco porcentaje del motor eléctrico.

Los ventiladores deben encenderse cuando el compresor arranca, lo óptimo sería que el sistema se encienda cuando el compresor alcance una temperatura elevada, en compresores más grandes y de mayor capacidad esto ocurre al tener una temperatura alrededor de 70 grados centígrados, pero esto implicaría un control más específico y el uso de un sensor de temperatura.

El ventilador es una máquina capaz de mover una determinada masa de aire a la que comunicar una cierta presión que pone un gas en movimiento. Se la conoce como una

turbo-máquina que da energía para generar la presión necesaria con la que mantener un flujo continuo de aire.

No existe una clasificación única de los ventiladores, pero una clasificación muy aceptable es utilizando el criterio de la trayectoria del aire, atendiendo a las dos tipologías más extendidas: los ventiladores axiales y los centrífugos.

### **2.6.1. Ventiladores Axiales**

Los ventiladores axiales son que la dirección del flujo del aire sigue la dirección del eje del ventilador. Son conocidos como helicoidales ya que el flujo a la salida tiene una trayectoria con forma helicoidal. Por lo general son muy eficientes para mover grandes caudales a bajas presiones. Se pueden llegar a clasificar según su envolvente se muestra en Figura 2. 26.



Figura 2. 26 Ventilador axial

EL ventilador axial es el mejor para extraer el aire caliente de la cámara insonora ya que el volumen de aire que debe extraer no es muy grande se puede utilizar uno de 20 cm de diámetro y 282 cfm. Y una de las características de funcionamiento de este ventilador es que es silencioso y de alta eficiencia, es decir que el consumo energético es bajo y esto ayuda para en el sistema de control pueda ser único tanto para el motor del compresor como para el sistema de ventilación se muestra en Figura 2. 27.

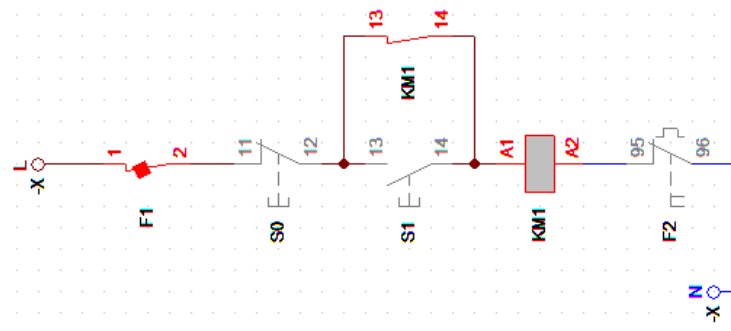


Figura 2. 27 Ventilador axial seleccionado

## 2.7. Diseño del sistema de control

El sistema de control debe manejar directamente el arranque del motor eléctrico, al tratarse de un motor de 3 hp es recomendable el uso de una cámara de arranque, esto es debido al pico de consumo energético en el instante que el motor eléctrico se enciende, el encendido y apagado del compresor depende de la presión interna del tanque, por lo cual, es necesario un presostato que controla la presión de encendido y apagado, es decir que es una especie de switch, adicional a esto y por el uso de los ventiladores en el sistema de control se debe incluir este consumo energético, el diagrama eléctrico se presenta en la Figura 2. 28 en el cual se observan todos los detalles tanto del control del arranque del motor como del encendido de los ventiladores.

**Circuito de control**



**Circuito de potencia**

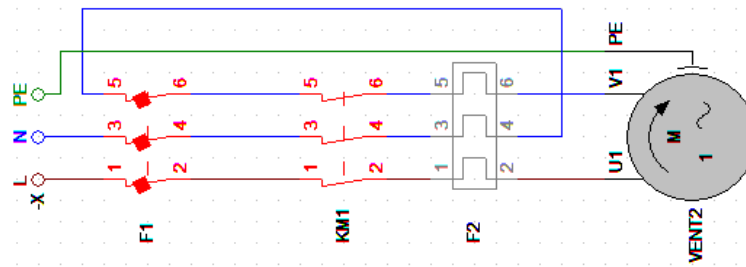
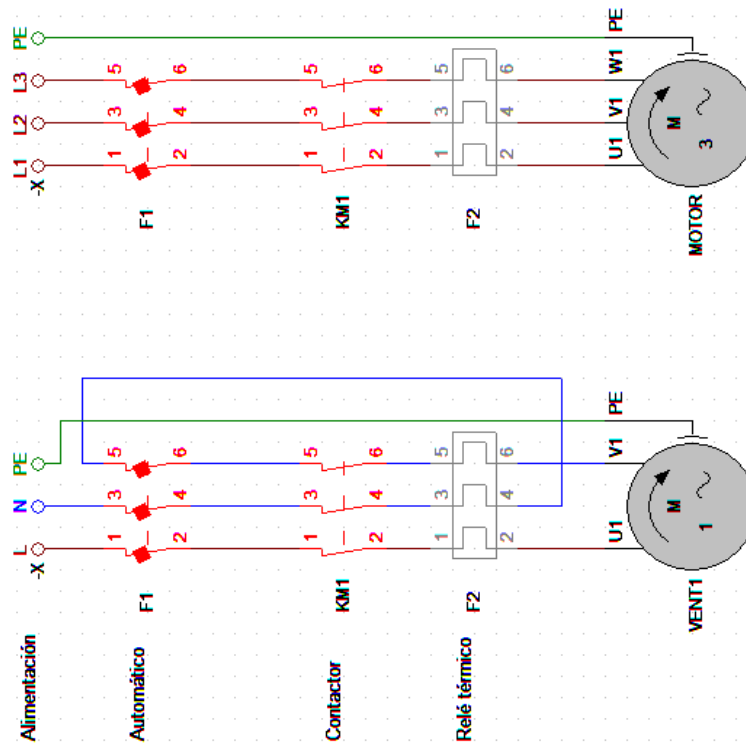


Figura 2. 28 Sistema de control

## 2.8. Mapa de ruido del compresor con cámara insonora

Una vez que se tiene armada la estructura con la esponja de poliuretano, el sistema de control y de ventilación se pueden realizar las pruebas de medición de ruido para verificar el nivel de variación y absorción que se produce cuando la cámara insonora está instalada en el compresor, para lo cual se hace el mismo ejercicio de medición como en la sección 2.1, en la cual se consideran dos escenarios, el primero considerando que el compresor está localizado en el centro y se toman varias mediciones alrededor, y estos valores se muestran en la Tabla 2. 6.

Tabla 2. 6 Valores de ruido con la cámara insonora (centro)

| Puntos    | Distancia [m] | Valor [dB] | Puntos    | Distancia [m] | Valor [dB] |
|-----------|---------------|------------|-----------|---------------|------------|
| <b>1A</b> | 1             | 72,3       | <b>5B</b> | 2             | 66,4       |
| <b>2A</b> | 1             | 72,0       | <b>6B</b> | 2             | 66,5       |
| <b>3A</b> | 1             | 70,8       | <b>7B</b> | 2             | 65,8       |
| <b>4A</b> | 1             | 71,0       | <b>8B</b> | 2             | 67,5       |
| <b>5A</b> | 1             | 75,2       | <b>1C</b> | 3             | 59,0       |
| <b>6A</b> | 1             | 74,1       | <b>2C</b> | 3             | 60,0       |
| <b>7A</b> | 1             | 72,1       | <b>3C</b> | 3             | 61,2       |
| <b>8A</b> | 1             | 74,9       | <b>4C</b> | 3             | 66,7       |
| <b>1B</b> | 2             | 68,0       | <b>5C</b> | 3             | 58,5       |
| <b>2B</b> | 2             | 66,6       | <b>6C</b> | 3             | 58,3       |
| <b>3B</b> | 2             | 68,8       | <b>7C</b> | 3             | 67,5       |
| <b>4B</b> | 2             | 67,0       | <b>8C</b> | 3             | 69,3       |

(Fuente: Propia)

La segunda medición es considerando que el compresor está localizado en una esquina del centro odontológico, y los valores de estas mediciones se presentan en la Tabla 2. 7.

Tabla 2. 7 Valores de ruido con la cámara insonora (extremo)

| Puntos    | Distancia [m] | Valor [dB] |
|-----------|---------------|------------|
| <b>1A</b> | 1             | 74,8       |
| <b>2A</b> | 1             | 77,2       |
| <b>3A</b> | 1             | 75,0       |
| <b>1B</b> | 2             | 70,2       |
| <b>2B</b> | 2             | 71,8       |
| <b>3B</b> | 2             | 76,5       |

|           |   |      |
|-----------|---|------|
| <b>1C</b> | 3 | 71,8 |
| <b>2C</b> | 3 | 74,2 |
| <b>3C</b> | 3 | 80,2 |

(Fuente: Propia)

Los valores que se presentan en la Tabla 2. 8 son los valores promedios de las mediciones realizadas una vez que se instala la cámara insonora, en el cual se puede comprobar que si el compresor se encuentra en el centro del consultorio odontológico se podría trabajar 8 horas sin problema.

Tabla 2. 8 Valores promedio con la cámara insonora (centro)

| Puntos          | Distancia [m] | Valor [dB]  |
|-----------------|---------------|-------------|
| <b>1A</b>       | 1             | 72,3        |
| <b>2A</b>       | 1             | 72,0        |
| <b>3A</b>       | 1             | 70,8        |
| <b>4A</b>       | 1             | 71,0        |
| <b>5A</b>       | 1             | 75,2        |
| <b>6A</b>       | 1             | 74,1        |
| <b>7A</b>       | 1             | 72,1        |
| <b>8A</b>       | 1             | 74,9        |
| <b>Promedio</b> |               | <b>72,8</b> |
| <b>1B</b>       | 2             | 68,0        |
| <b>2B</b>       | 2             | 66,6        |
| <b>3B</b>       | 2             | 68,8        |
| <b>4B</b>       | 2             | 67,0        |
| <b>5B</b>       | 2             | 66,4        |
| <b>6B</b>       | 2             | 66,5        |
| <b>7B</b>       | 2             | 65,8        |
| <b>8B</b>       | 2             | 67,5        |
| <b>Promedio</b> |               | <b>67,1</b> |
| <b>1C</b>       | 3             | 59,0        |
| <b>2C</b>       | 3             | 60,0        |
| <b>3C</b>       | 3             | 61,2        |
| <b>4C</b>       | 3             | 66,7        |
| <b>5C</b>       | 3             | 58,5        |
| <b>6C</b>       | 3             | 58,3        |
| <b>7C</b>       | 3             | 67,5        |
| <b>8C</b>       | 3             | 69,3        |
| <b>Promedio</b> |               | <b>62,6</b> |

(Fuente: Propia)



Los valores que se muestran en la Tabla 2. 9 son las medidas del ruido generado por el compresor cuando está en una esquina del centro odontológico y además se encuentra con la cámara insonora, con la cual los valores promedios no superan los 75 dB por lo tanto se puede trabajar con normalidad más de 8 horas diarias.

Tabla 2. 9 Valores promedio con la cámara insonora (extremo)

| Puntos          | Distancia [m] | Valor [dB]  |
|-----------------|---------------|-------------|
| <b>1A</b>       | 1             | 74,8        |
| <b>2A</b>       | 1             | 77,2        |
| <b>3A</b>       | 1             | 75,0        |
| <b>Promedio</b> |               | <b>75,7</b> |
| <b>1B</b>       | 2             | 70,2        |
| <b>2B</b>       | 2             | 71,8        |
| <b>3B</b>       | 2             | 76,5        |
| <b>Promedio</b> |               | <b>72,8</b> |
| <b>1C</b>       | 3             | 71,8        |
| <b>2C</b>       | 3             | 74,2        |
| <b>3C</b>       | 3             | 80,2        |
| <b>Promedio</b> |               | <b>75,4</b> |

(Fuente: Propia)

## 2.9. Análisis de costos

Para obtener el costo total de la cámara insonora se debe tomar en cuenta los costos directos e indirectos, para este caso se toma un compresor estándar de 3 HP, y sus dimensiones, hay que aclarar que para cada modelo y dependiendo de las características específicas se tiene modelos y diseños diferentes, para el caso de este proyecto se tiene lo siguiente:

Para los costos directos se tiene los referentes a materia prima, elementos normalizados, costos de maquinado, costos de montaje.

Y para los costos indirectos se toma en cuenta los costos referentes a ingeniería, gastos imprevistos y adicionales.

### 2.9.1. Costos directos

Dentro de los costos directos se encuentran los referentes a materia prima, elementos normalizados como se presentan en la Tabla 2. 10.

Tabla 2. 10 Costos referentes a materia prima, elementos normalizados

| Material                        | Cantidad | Unidad | Valor unitario | Valor total  |
|---------------------------------|----------|--------|----------------|--------------|
| Tubo negro cuadrado de 25x25*2  | 2        | UN     | 8,25           | 16,5         |
| Tol negro 1,22x2,44x0,9         | 2        | UN     | 24             | 48           |
| Esponja acústica 50x50x5        | 10       | UN     | 10             | 100          |
| Bisagras de 1 in                | 8        | UN     | 0,5            | 4            |
| Cámara de protección para motor | 1        | UN     | 150            | 150          |
| Seguros para puertas            | 4        | UN     | 0,75           | 3            |
|                                 |          |        | <b>Total</b>   | <b>321,5</b> |

(Fuente: Propia)

El costo referente al maquinado hay que tomar en cuenta el armado de la estructura, dobles de las puertas y sujeción de elementos móviles. Y se muestra en la Tabla 2. 11.

Tabla 2. 11 Costo referente al maquinado

| Máquina o procedimiento     | Costo por hora de trabajo (USD/Hora) | Tiempo (horas) | Costo Total (USD) |
|-----------------------------|--------------------------------------|----------------|-------------------|
| Soldadora eléctrica         | 10                                   | 2              | 20                |
| Cortadora eléctrica de tubo | 6                                    | 2              | 12                |
| Cortadora de tol            | 6                                    | 1              | 6                 |
| Dobladora de tol            | 6                                    | 1              | 6                 |
| Taladro                     | 4                                    | 0,5            | 2                 |
| Amoladora                   | 5                                    | 0,5            | 2,5               |
| Pintura                     | 3,5                                  | 2              | 7                 |
| Mano de obra de ensamble    | 8                                    | 5              | 40                |
|                             |                                      | <b>Total</b>   | <b>95,5</b>       |

(Fuente: Propia)

El costo total de los gastos directos son los que se resumen en la Tabla 2. 12.

Tabla 2. 12 Costo total de los gastos directos

| Costos parciales directos           | Valor (USD) |
|-------------------------------------|-------------|
| Materiales y elementos normalizados | 321,5       |
| Maquinado y mano de obra            | 95,5        |
| <b>Total</b>                        | <b>417</b>  |

(Fuente: Propia)

### 2.9.2. Costos indirectos

Dentro de los costos indirectos entran lo materiales que son consumibles, costos de ingeniería y los gastos varios, estos son tomados en referencia del cálculo total de los anteriores.

Los costos referentes a los materiales adicionales o consumibles se detallan a continuación en la Tabla 2. 13.

Tabla 2. 13 Costos referentes a los materiales adicionales

| Material              | Cantidad | Unidad | Valor unitario | Valor total |
|-----------------------|----------|--------|----------------|-------------|
| Electrodos E6011      | 0,5      | kg     | 4              | 2           |
| Pintura anticorrosiva | 2        | Lt.    | 4,5            | 9           |
| Lijas                 | 2        | un     | 0,25           | 0,5         |
| Disco de corte 14 in  | 1        | un     | 7,5            | 7,5         |
| Tinner                | 2        | Lt.    | 3,5            | 7           |
| Varios                |          |        | 10             | 10          |
|                       |          |        | <b>Total</b>   | <b>36</b>   |

(Fuente: Propia)

El costo de ingeniería es un porcentaje del costo total, se toma en cuenta los costos directos y más los indirectos referentes a materiales consumibles, por lo general este valor varía entre el 20 y 30 %, como se observa en la Tabla 2. 14.

Tabla 2. 14 Costo de ingeniería

| ITEM                       | Costo (USD) |
|----------------------------|-------------|
| Costo total sin ingeniería | 453         |
| <b>Incremento de 20 %</b>  | <b>90,6</b> |

(Fuente: Propia)

Los gastos varios o de imprevistos son referentes a gastos de transporte, impresión de planos, movilización del equipo, etc., Tabla 2. 15.

Tabla 2. 15 Gastos varios o de imprevistos

| Imprevistos              | Costo (USD) |
|--------------------------|-------------|
| Movilización de personal | 20          |
| Transporte de cabina     | 15          |
| Impresión de planos      | 15          |
| Varios                   | 15          |
| <b>Total</b>             | <b>65</b>   |

(Fuente: Propia)

El total de los costos indirectos se muestran en la Tabla 2. 16

Tabla 2. 16 Costos indirectos

| Total de costos indirectos     | Costo (USD)  |
|--------------------------------|--------------|
| Costo de materiales indirectos | 36           |
| Costo de ingeniería            | 90,6         |
| Costo de imprevistos           | 65           |
| <b>Total</b>                   | <b>191,6</b> |

(Fuente: Propia)

El costo total de la cámara de insonorización se detalla en la Tabla 2. 17.

Tabla 2. 17 Costo total de la cámara de insonorización

| Costos directos e indirectos | Costo (USD)  |
|------------------------------|--------------|
| Total de costos directos     | 417          |
| Total de costos indirectos   | 191,6        |
| <b>Total</b>                 | <b>608,6</b> |

(Fuente: Propia)

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados

Los resultados obtenidos del proyecto se presentan de manera resumida en la Tabla 3. 1 y Tabla 3. 2, en la cual se observan los valores obtenidos tanto con el compresor en el centro como con el compresor localizado en una esquina del centro odontológico.

Tabla 3. 1 Valores medidos con el compresor en el centro del establecimiento

| Datos antes de instalar la cabina |               |            | Datos después de instalar la cabina |               |            | Datos calculados |            |
|-----------------------------------|---------------|------------|-------------------------------------|---------------|------------|------------------|------------|
| Puntos                            | Distancia [m] | Valor [dB] | Puntos                              | Distancia [m] | Valor [dB] | Diferencia       | Porcentaje |
| 1A                                | 1             | 90,4       | 1A                                  | 1             | 72,3       | 18,1             | 20,0       |
| 2A                                | 1             | 89,5       | 2A                                  | 1             | 72,0       | 17,5             | 19,6       |
| 3A                                | 1             | 89,2       | 3A                                  | 1             | 70,8       | 18,4             | 20,6       |
| 4A                                | 1             | 89,1       | 4A                                  | 1             | 71,0       | 18,1             | 20,3       |
| 5A                                | 1             | 94,8       | 5A                                  | 1             | 75,2       | 19,6             | 20,7       |
| 6A                                | 1             | 92,7       | 6A                                  | 1             | 74,1       | 18,6             | 20,1       |
| 7A                                | 1             | 90,2       | 7A                                  | 1             | 72,1       | 18,1             | 20,1       |
| 8A                                | 1             | 94,3       | 8A                                  | 1             | 74,9       | 19,4             | 20,5       |
| Promedio                          |               | 91,3       | Promedio                            |               | 72,8       | 18,5             | 20,3       |
| 1B                                | 2             | 83,8       | 1B                                  | 2             | 68,0       | 15,8             | 18,9       |
| 2B                                | 2             | 83,1       | 2B                                  | 2             | 66,6       | 16,5             | 19,8       |
| 3B                                | 2             | 83,7       | 3B                                  | 2             | 68,8       | 14,9             | 17,8       |
| 4B                                | 2             | 84,5       | 4B                                  | 2             | 67,0       | 17,5             | 20,7       |
| 5B                                | 2             | 83,5       | 5B                                  | 2             | 66,4       | 17,1             | 20,5       |
| 6B                                | 2             | 83,9       | 6B                                  | 2             | 66,5       | 17,4             | 20,8       |
| 7B                                | 2             | 82,6       | 7B                                  | 2             | 65,8       | 16,8             | 20,3       |
| 8B                                | 2             | 85,1       | 8B                                  | 2             | 67,5       | 17,6             | 20,7       |
| Promedio                          |               | 83,8       | Promedio                            |               | 67,1       | 16,7             | 19,9       |
| 1C                                | 3             | 74,5       | 1C                                  | 3             | 59,0       | 15,5             | 20,8       |
| 2C                                | 3             | 74,6       | 2C                                  | 3             | 60,0       | 14,6             | 19,5       |
| 3C                                | 3             | 74,3       | 3C                                  | 3             | 61,2       | 13,1             | 17,6       |
| 4C                                | 3             | 84,2       | 4C                                  | 3             | 66,7       | 17,5             | 20,7       |
| 5C                                | 3             | 74,4       | 5C                                  | 3             | 58,5       | 15,9             | 21,3       |
| 6C                                | 3             | 72,8       | 6C                                  | 3             | 58,3       | 14,5             | 19,9       |
| 7C                                | 3             | 84,7       | 7C                                  | 3             | 67,5       | 17,2             | 20,3       |
| 8C                                | 3             | 86,9       | 8C                                  | 3             | 69,3       | 17,6             | 20,3       |
| Promedio                          |               | 78,3       | Promedio                            |               | 62,6       | 15,7             | 20,1       |

(Fuente: Propia)

Tabla 3. 2 Valores medidos con el compresor en una esquina del establecimiento

| Datos antes de instalar la cabina |               |            | Datos después de instalar la cabina |               |            | Datos calculados |            |
|-----------------------------------|---------------|------------|-------------------------------------|---------------|------------|------------------|------------|
| Puntos                            | Distancia [m] | Valor [dB] | Puntos                              | Distancia [m] | Valor [dB] | Diferencia       | Porcentaje |
| 1A                                | 1             | 94,5       | 1A                                  | 1             | 74,8       | 19,7             | 20,8       |
| 2A                                | 1             | 97,9       | 2A                                  | 1             | 77,2       | 20,7             | 21,1       |
| 3A                                | 1             | 94,1       | 3A                                  | 1             | 75,0       | 19,1             | 20,3       |
| Promedio                          |               | 95,5       | Promedio                            |               | 75,7       | 19,8             | 20,8       |
| 1B                                | 2             | 87,0       | 1B                                  | 2             | 70,2       | 16,8             | 19,3       |
| 2B                                | 2             | 90,0       | 2B                                  | 2             | 71,8       | 18,2             | 20,2       |
| 3B                                | 2             | 96,0       | 3B                                  | 2             | 76,5       | 19,5             | 20,3       |
| Promedio                          |               | 91,0       | Promedio                            |               | 72,8       | 18,2             | 20,0       |
| 1C                                | 3             | 89,3       | 1C                                  | 3             | 71,8       | 17,5             | 19,6       |
| 2C                                | 3             | 92,4       | 2C                                  | 3             | 74,2       | 18,2             | 19,7       |
| 3C                                | 3             | 99,8       | 3C                                  | 3             | 80,2       | 19,6             | 19,6       |
| Promedio                          |               | 93,8       | Promedio                            |               | 75,4       | 18,4             | 19,6       |

(Fuente: Propia)

### 3.2. Discusión

Los valores presentados en la sección 3.1 corresponden a los obtenidos de las mediciones del nivel de ruido de un compresor de 3 hp localizado en diferentes puntos del centro odontológico, uno en el centro y otro ubicado en una esquina, estas posiciones favorecen para la obtención de los datos ya que los valores cambian dependiendo de la posición y de los objetos que se encuentran alrededor del equipo.

La “Tabla 3. 1 Valores medidos con el compresor en el centro del establecimiento” muestra tres zonas separadas 1 metro cada una identificadas con las letras A,B y C, y se observa que los valores de ruido, mientras más cerca se encuentren de la fuente, son mayores, estos valores se toman alrededor del compresor en funcionamiento, para la sección A el valor promedio sin la cámara insonora es de 91,3 dB , para B es de 83,8 dB y para C es de 78.3 dB, si se hace referencia a la “exposición Tabla” se puede identificar se encuentra en la zona de 2 a 1,587 horas de tiempo de exposición, lo cual hace que para trabajar 8 horas días, si el compresor se prende frecuentemente, es muy perjudicial para la salud tanto para los odontólogos como para los pacientes.

Para los datos de la Tabla 3. 2 se observan las secciones A, B y C que presentan los diferentes valores promedios, para A se tiene 95,5 dB, para B se tiene 91,0 dB y para C se tiene 93,8 dB, estos valores se encuentran en el rango de 2 horas a 0,793 horas es decir 47 minutos aproximadamente, al igual que los valores de la tabla anterior es perjudicial para el trabajo prolongado de 8 horas y puede causar daños tanto a los odontólogos como a los pacientes.

Las Tabla 3. 1 y Tabla 3. 2 también muestran los valores de ruido del compresor en las mismas localizaciones, pero con la instalación de la cámara insonora. Para lo cual se presentan los valores del compresor en el centro del establecimiento para las secciones A, B y C, para A se tiene un valor de 72,8 dB, para B, un valor de 67,1 dB y para C un valor de 62.6 dB, los cuales están por debajo del rango de 85 dB para 8 horas de exposición, por lo tanto, con el aislamiento realizado se garantiza el trabajo prolongado sin exposición al ruido.

Para las mediciones tomadas con el compresor localizado en la esquina al igual que en el caso anterior se tiene tres secciones, y los respectivos valores de ruido, para A se tiene un valor de 75,7 dB, para B se tiene 72,8 dB y para C se tiene 75,4 dB, y al igual que los datos obtenidos para el compresor en el centro se observa que los valores están por debajo del rango de exposición de 8 horas, por lo tanto no se generarán daños ni perjuicios por el tiempo de exposición.

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los valores obtenidos como punto de arranque son fundamentales y varían entre 91,3 dB y 83,8 dB, con estos valores el tiempo de exposición no puede ser mayor de 1 hora y 30 minutos, si se expone por mayor tiempo se pueden tener daños irreversibles tanto para el odontólogo como para los pacientes que tengan citas prolongadas, además de esto existen casos en que los procedimientos dentales llevan más de 2 horas y media.
- Generalmente los compresores se encuentran localizados en una esquina del centro odontológico y el valor de ruido es de 95,5 dB este valor es mayor debido a los rebotes de las ondas tanto en las paredes como en los equipos de la clínica, este valor de 95,5 dB es muy elevado y es necesario reducir el tiempo de exposición o reducir el nivel de presión sonora.
- Para los valores medidos cuando ya está instalada la cámara insonora se observa que el valor máximo es de 72,8 dB, con este valor se garantiza que el nivel de ruido es bajo y óptimo para poder trabajar por más de 8 horas diarias, garantizando la ergonomía tanto para el odontólogo y para los pacientes.
- Y para los valores obtenidos cuando el compresor está localizado en la esquina se tiene un valor máximo de 75,7 dB el cual sigue siendo bajo y muy cercano al valor obtenido cuando el compresor está en el centro, por lo cual el nivel de ruido es óptimo para trabajar 8 horas diarias sin causar daños.
- Una vez realizadas las simulaciones y los cálculos de la estructura completa y de los elementos mecánicos se puede determinar que los factores de seguridad varían entre 1,5 y 5 aproximadamente en cada una de las vigas, el valor de 1,5 es de la simulación total de la estructura lo cual indica que trabaja de manera correcta y sin poner el riesgo la integridad de la estructura.
- Los valores de temperatura dentro de la cámara insonora varían de 70 °C a 75 °C estos valores son óptimos de trabajo para el compresor, esta temperatura se mantiene gracias a los ventiladores localizados en la cámara insonora, esta temperatura es adecuada para evitar que el aceite dentro del cabezal no pierda sus propiedades mecánicas y trabaje adecuadamente.



## Referencias Bibliográficas

- [1] ISO 1996-2. Acoustics-Description, measurement and assessment of environmental noise. 2ª ed. Switzerland: 2007
- [2] H. A. González. Cálculo del coeficiente de reducción de ruido (NRC), de materiales, utilizando una cámara de insonorización. España: 2008.
- [3] J. Mena Sanchis. Diseño del aislamiento y acondicionamiento acústico de un local en planta baja para actuaciones de grupos rock situado en la población de Oliva (Valencia). 1ra ed. España:2013
- [4] A. A. Gimeno. Modelado y simulación de compresores. 1ra ed. España: 2012
- [5] Valero. Manual técnico acústico. 1ra ed. Colombia: Ediciones Neopor, 2014
- [6] S. García. Organización y gestión integral de mantenimiento. 1ra ed. España: Ediciones Díaz de Santo S.A., 2014
- [7] A. Luszczewski. Redes industriales de tubería, bombas para agua, ventiladores y compresores. 1ra ed. España: Editorial Reverté S.A., 2014
- [8] R. Mott. Mecánica de fluidos. 6ta ed. México: Editorial Pearson., 2006
- [9] C. Macías. El daño causado por el ruido y otras inmisiones. 2da ed. España: Editorial La Ley, 2004
- [10] P. Floría. La prevención del ruido en la empresa. 2da ed. Colombia: Fundación Confemetal, 2007
- [11] S. Gutiérrez. Fundamentos de ciencias básicas aplicadas a la odontología. 4ta ed. Colombia: Editorial Académica, 2004
- [12] J. McCormac. Diseño de estructuras de acero. 5ta ed. México: Editorial Alfaomega, 2016
- [13] S. Vinnakota. Estructuras de acero: comportamiento y LRSD. 2da ed. España: McGraw-Hill, 2006.

## **Anexos**

**Mapa de ruido del compresor en el centro sin cámara insonora**

**Mapa de ruido del compresor en la esquina sin cámara insonora**

**Mapa de ruido del compresor en el centro con cámara insonora**

**Mapa de ruido del compresor en la esquina con cámara insonora**

## **Planos de la cámara insonora**

## **Catalogo del ventilador**

## **Catálogo de la esponja acústica**



## **Características de la plancha de tol**

**Características del tubo cuadrado.**



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ORDEN DE EMPASTADO**

De acuerdo a lo estipulado en el artículo 27 del Instructivo para la Implementación de la Unidad de Titulación en las Carreras y Programas vigentes de la Escuela Politécnica Nacional, aprobado por Consejo de Docencia en sesión extraordinaria del 29 de abril de 2015 y una vez verificado el cumplimiento del formato de presentación establecido, se autoriza la impresión y encuadernación final del Trabajo de Titulación presentado por el señor/ita:

**ARLEY DAVID VIDAL RIOFRIO**

Fecha de autorización: Quito, D.M., 21 de marzo de 2022



Firmado electrónicamente por:  
**WILLAN  
LEOPOLDO MONAR  
MONAR**

**ING. WILLAN MONAR, M.Sc.  
Decano**

Mildred PM