



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE
SILENCIADOR DE SONIDO VARIABLE PARA SISTEMAS DE ESCAPE
DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE CUATRO TIEMPOS DE
200cc**

**AUTORES: JÁCOME GÓMEZ, VINICIO SEBASTIÁN
ORTIZ MOYA, NURY GABRIELA**

DIRECTOR: ING. IBARRA JÁCOME, OSWALDO ALEXANDER

SANGOLQUÍ

2018



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, *“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SILENCIADOR DE SONIDO VARIABLE PARA SISTEMAS DE ESCAPE DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE CUATRO TIEMPOS DE 200cc”* realizado por el señor **JÁCOME GÓMEZ, VINICIO SEBASTIÁN** y la señorita **ORTIZ MOYA, NURY GABRIELA**, ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 19 de marzo del 2018

MSc. IBARRA JÁCOME, OSWALDO ALEXANDER

CC: 171953542-7



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

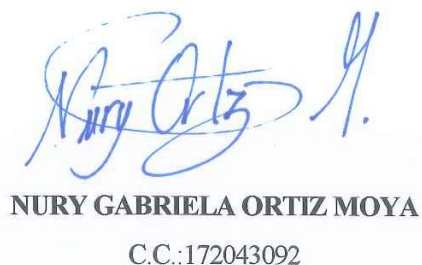
Yo, **JÁCOME GÓMEZ, VINICIO SEBASTIÁN**, con cédula de identidad N° **171233183-2** y Yo, **MOYA ORTIZ, NURY GABRIELA**, con cédula de identidad N° **1720437092**, declaro que éste trabajo de titulación ***“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SILENCIADOR DE SONIDO VARIABLE PARA SISTEMAS DE ESCAPE DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE CUATRO TIEMPOS DE 200cc”*** Es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciado las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 15 de marzo de 2018



VINICIO SEBASTIÁN JÁCOME GÓMEZ
C.C.:171233183-2



NURY GABRIELA ORTIZ MOYA
C.C.:172043092



ESPE


UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **JÁCOME GÓMEZ, VINICIO SEBASTIÁN**, con cédula de identidad N° 171233183-2 y Yo, **MOYA ORTIZ, NURY GABRIELA**, con cédula de identidad N° 172043709-2, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación *“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SILENCIADOR DE SONIDO VARIABLE PARA SISTEMAS DE ESCAPE DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE CUATRO TIEMPOS DE 200cc”*. En el Repositorio institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 15 marzo de 2018



VINICIO SEBASTIÁN JÁCOME GÓMEZ
C.C.:171233183-2



NURY GABRIELA ORTIZ MOYA
C.C.:172043092

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado a mis padres quienes han sido mi apoyo incondicional en todo ámbito de mi vida y gracias a su amor, esfuerzo y dedicación he logrado culminar una de las etapas importantes de la vida, la universidad.

A mi hermano, por brindarme su tiempo y hombro para descansar cuando el mundo parecía estar cuesta arriba. Aunque a veces seamos polos opuestos, sin tu apoyo y presión este logro hubiera sido posible.

A mis amigos y compañeros presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas en este arduo camino.

Nury Gabriela Ortiz Moya

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía y sustento en todo momento de mi vida.

A Nely y Pedro mis ejemplares Padres que con su amor, dedicación y sacrificio supieron formar una persona de bien y ahora un profesional que se enfrenta a la vida con las herramientas para seguir creciendo personal y profesionalmente.

A mi mejor amigo, mi consejero y Hermano Juan Diego, eres una de las personas más importantes en mi vida y le doy gracias a Dios que te haya puesto en mi camino para compartir penas, alegrías y glorias.

A mis tíos Soraida y Juan Carlos que de una u otra forma me han querido y apoyado desde siempre.

A un angelito de cuatro patas que me acompañó en largas noches de estudio desde el primer día, mi amigo fiel Fog.

Le dedico especialmente el presente trabajo a mi tío Nelson por el incalculable cariño y apoyo incondicional, siempre ha estado pendiente de mi formación académica y gran parte de su amorosa labor hoy da frutos en este momento de realización profesional.

A ustedes les dedico todo mi esfuerzo y trabajo, sin ustedes no estaría hoy aquí, de todo corazón Gracias por ser parte de mi vida.

Vinicio Sebastián Jácome Gómez

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Marcelo y Tamara, por siempre estar presentes en todo momento, por su preocupación, paciencia y cariño, supieron levantarme el ánimo cuando más necesitaba, gracias por siempre abrirme las puertas de su hogar, durante todo este tiempo han sido como unos segundos padres para mí.

A mi hermano, Marcelo por estar siempre pendiente de mí, mis estudios y ser mi compañero de alegrías, tristezas y malas noches.

A mi novio, Leonardo, por todo su apoyo, cariño y comprensión durante todo este proceso.

A mis amigos, Carolina, Claudia, David y Anahi, quienes con sus palabras de aliento me ayudaron siempre a superar cada tropiezo y seguir adelante, gracias por brindarme una amistad verdadera.

A mis maestros y a todos a quienes estuvieron a mi lado apoyándome a que este sueño se haga realidad.

Gracias a todos

Nury Gabriela Ortiz Moya

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser la fuerza que cada día me ayuda a ser mejor.

Al Ing. Alexander Ibarra quien con su abnegada labor como docente de cátedra y director de tesis supo guiarnos de manera brillante para la realización del presente trabajo de titulación.

Al Ing. Lenin Abatta codirector de tesis por su participación constante en el diseño y desarrollo del presente trabajo de titulación, su apoyo fue de gran ayuda.

A Sarah Alomoto mi querida amiga y compañera de ideales, por el inmenso apoyo y cariño brindado a lo largo de todo el desarrollo de este trabajo.

Al Señor Byron Alomoto y la señora Katya Tamayo, por su participación desinteresada y apoyo.

Agradezco a Dios por haberme bendecido con una familia amorosa, a mis padres Nely y Pedro, mi hermano Juan Diego y mis tíos Nelson, Soraida y Juan Carlos por formar parte de mi vida, y ser los pilares en los que se apoya mi existencia.

De todo Corazón Gracias

Vinicio Sebastián Jácome Gómez

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
RESUMEN	xx
ABSTRACT	1
 CAPÍTULO I	
GENERALIDADES	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Definición del problema	3
1.3. Justificación e importancia	3
1.4. Objetivos	4

1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos	4
1.5. Alcance.....	5
1.5.1. Alcance mecánico.....	5
1.5.2. Alcance Electrónico	5
1.5.3. Alcance del sistema de control.....	6
1.5.4. Software y hardware	6
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	7
2.1 Motor	7
2.1.1 Motor de combustión Interna Ciclo Otto.	7
2.1.2 Funcionamiento de un motor de combustión interna	9
2.1.3 Ciclos de funcionamiento	10
2.2 Sistemas de Escape	11
2.2.1 Colector de escape.....	12
2.2.2 Tubo de escape	12
2.2.3 Catalizador	12
2.2.4 Silenciadores.....	13
2.2.5 Tipos de silenciadores.....	13

2.3	Trucaje.....	15
2.4	Tipos de preparación en los motores de combustión interna	15
2.4.1	Aumento de Cilindrada.....	15
2.4.2	Aumento de la presión media efectiva	16
2.4.3	Aumento de régimen de giro.....	18
2.5	Tipos de preparación en los sistemas de escape	18
2.5.1	Modificación de los colectores de escape o headers	18
2.5.2	Modificación de silenciadores.....	19
2.5.3	Supresión del silenciador.	19
2.5.4	Agujeros en el silenciador	19
2.6	Sonido.....	20
2.6.1	Frecuencia	20
2.6.2	Rango de frecuencias	20
2.6.3	Sensores de sonido	21
2.7	Niveles de sonido permitidos en la ciudad de Quito.	22
2.8	Norma para la medición de sonido de un tubo de escape.	23
 CAPÍTULO III		
	METODOLOGÍA y DISEÑO.....	24
3.1	Esquema del prototipo de silenciador.....	24

3.2 Definición del concepto.....	25
3.2.1 Identificación de necesidades.....	25
3.2.2 Definición de características técnicas.....	26
3.2.3 Desarrollo de la función de calidad, QFD	27
3.3 Diseño mecánico.....	28
3.3.1 Materiales	29
Fibra de Vidrio	29
Acero inoxidable.....	29
Latón.....	30
Lámina de acero en frío.....	30
3.3.2 Selección del tipo de silenciador.	31
Alternativa 1.- Silenciador tipo lado resonante.....	31
Alternativa 2.- Silenciador tipo absorción.	31
Análisis del silenciador seleccionado	32
3.3.3 Características del Banco de pruebas.	32
3.3.4 Diseño Acústico del silenciador.	34
3.3.5 Cálculos para el diseño del cuerpo del silenciador.	36
3.3.6 Cálculos para el diseño de las cámaras internas del silenciador.....	40
3.3.7 Diseño de mecanismos para la variación de sonido.....	41

3.4	Diseño Electrónico.	41
3.4.1	Selección del motor.	41
3.4.2	Selección del sensor.	43
3.4.3	Selección del sensor de sonido.	43
3.5	Diseño de control.	44
3.5.1	Método clásico de ajuste de Ziegler-Nichols	44
3.5.2	Método basado en la Curva Reacción.	44
3.5.3	Procedimiento experimental	45
3.5.4	Diseño de los controladores P, PI, PID	47
	Parámetros de controlador P	49
	Parámetros de control PI.	50
	Parámetros de control PID.	51
3.5.5	Selección del controlador	53
3.6	Diseño de programación.	54
3.6.1	Diseño de Interfaz para la toma de datos.	54
3.6.2	Diseño de Interfaz para control y funcionamiento de la planta.	54
3.6.3	Diagrama de flujo implementado en la HMI.	57
3.6.4	Diseño electrónico.	58

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS.	62
4.1. Construcción e implementación	62
4.1.1. Construcción e implementación de la parte mecánica.	62
4.1.2. Construcción e implementación de la parte electrónica.	65
4.2. Pruebas y resultados.....	66
4.2.1. Primera Prueba.....	66
4.2.2. Análisis de resultados de la primera prueba.	68
4.2.3. Segunda Prueba y análisis de resultados	72

CAPÍTULO V

ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO	74
5.1. Análisis económico.....	74
5.1.1. Capital de trabajo	75
5.1.2. Materia Prima	75
5.1.3. Materiales indirectos	76
5.1.4. Insumos	77
5.1.5. Gastos Extras	77
5.1.6. Costo total.....	78

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
--	-----------

6.1 Conclusiones.....	79
6.2 Recomendaciones.....	80
REFERENCIAS.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Niveles de presión sonora permitida.</i>	22
Tabla 2 <i>Niveles de presión sonora para vehículos y automotores</i>	22
Tabla 3 <i>Parámetros de Diseño</i>	24
Tabla 4 <i>Necesidades del cliente</i>	26
Tabla 5 <i>Características técnicas</i>	26
Tabla 6 <i>Resultados de la matriz QFD</i>	28
Tabla 7 <i>Selección del Silenciador</i>	32
Tabla 8 <i>Características del motor</i>	32
Tabla 9 <i>Características del dinamómetro</i>	33
Tabla 10 <i>Parámetros del banco de pruebas sin silenciador</i>	34
Tabla 11 <i>Moto a pasos y Servomotor</i>	42
Tabla 12 <i>Características Driver TB6560</i>	42
Tabla 13 <i>Sensores de sonido</i>	43
Tabla 14 <i>Parámetros de rendimiento</i>	47
Tabla 15 <i>Selección de controlador</i>	53
Tabla 16. <i>Elementos Implementados</i>	59
Tabla 17 <i>Brazo de Palanca y Gasolina</i>	66
Tabla 18 <i>Toma de datos sin silenciador.</i>	67
Tabla 19 <i>Toma de datos con silenciador totalmente abierto</i>	67
Tabla 20 <i>Toma de datos silenciador totalmente cerrado</i>	68
Tabla 21 <i>Gráficos de Torque vs velocidad</i>	69

Tabla 22	<i>Gráficas potencia al Freno vs Velocidad</i>	70
Tabla 23	<i>Consumo másico de combustible vs Velocidad</i>	71
Tabla 24	<i>Tabla de distribuidores Nacionales</i>	74
Tabla 25	<i>Materiales Acero inoxidable</i>	76
Tabla 26	<i>Componentes electrónicos</i>	76
Tabla 27	<i>Materiales Indirectos</i>	76
Tabla 28	<i>Insumos</i>	77
Tabla 29	<i>Gastos Extras</i>	78
Tabla 30	<i>Capital de trabajo</i>	78

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Motor de combustión interna	8
<i>Figura 2</i> Conjunto Móvil	9
<i>Figura 3</i> Sistema de Válvulas	10
<i>Figura 4</i> Fases de funcionamiento del motor de cuatro tiempos	11
<i>Figura 5</i> Catalizador	13
<i>Figura 6</i> Silenciador reactivo.....	14
<i>Figura 7</i> Silenciador disipativo.....	14
<i>Figura 8</i> Cilindro del motor	16
<i>Figura 9</i> Rectificado o cepillado.....	17
<i>Figura 10</i> Émbolos para trucaje de motores	17
<i>Figura 11</i> Motor y Junta	18
<i>Figura 12</i> Header modificado para evitar el retorno de gases.	19
<i>Figura 13</i> Representación de una onda con frecuencia de 1Hz	20
<i>Figura 14</i> Referencia de Niveles acústicos.....	21
<i>Figura 15</i> Sonómetro	21
<i>Figura 16</i> Esquema del sistema a diseñar.....	25
<i>Figura 17</i> Casa de la calidad para el silenciador.....	27
<i>Figura 18</i> Rollo de fibra de vidrio	29
<i>Figura 19</i> Corrosión del acero inoxidable	30
<i>Figura 20</i> Silenciador Resonante	31
<i>Figura 21</i> Silenciador de absorción.	32

Figura 22 Puesta a punto de motor	33
Figura 23 Silenciador resonante	35
Figura 24 Curvas para diseño	37
Figura 25 Aleta para control de sonido.....	41
Figura 26 Datos Obtenidos Decibeles vs Tiempo	46
Figura 27 Respuesta de la planta al Escalón.....	47
Figura 28 Respuesta al escalón de la planta con controlador P	50
Figura 29 Respuesta al escalón de la planta con controlado PI.....	51
Figura 30 Respuesta al escalón de la planta con controlador PID.....	52
Figura 31 Gráfico de la toma de datos de la HMI	54
Figura 32 Distribución de los objetos en la HMI (Ponsa & Granollers, 2010)	55
Figura 33 Selector de modo de funcionamiento de HMI	55
Figura 34 HMI modo experimental	56
Figura 35 Indicadores de funcionamiento modo experimental	56
Figura 36 Gráfico de Decibeles en tiempo real	56
Figura 37 Ingreso de valores para funcionamiento de la planta.	57
Figura 38 HMI en modo real.	57
Figura 39 Diagrama de flujo de programación.....	58
Figura 40 Diseño de la placa PCB.....	59
Figura 41 Shiel para Arduino	60
Figura 42 Entradas de Sensores	60
Figura 43 Simulación de la PCB	61
Figura 44 PCB	61

Figura 45 Totas de acero inoxidable de 5 1/4 inch y 2 1/4 inch.....	62
Figura 46 Brida de acero inoxidable.....	63
Figura 47 Brida de soporte para el actuador.	63
Figura 48 Soporte de motor anclado a brida de sujeción.....	63
Figura 49 Motor y sensor de posición KY-040	64
Figura 50 Silenciador acoplado.	64
Figura 51 Entradas de los elementos electrónicos.....	65
Figura 52 Distribución de componentes electrónicos.....	65
Figura 53 Driver TB6560 con motor a pasos	66
Figura 54 Respuesta de la planta con control	72
Figura 55 Simulación de respuesta con control de la planta simulada	72
Figura 56 Impresión 3d de caja de protección de componentes electrónicos.....	77

RESUMEN

El presente trabajo de titulación está enfocado en el diseño y construcción de un prototipo de silenciador de sonido variable para sistemas de escape de motores de combustión interna de cuatro tiempos de 200cc el cual varía el rango de salida en decibeles desde 80 dB hasta 100 dB obteniendo un rango de 20 dB medidos por un sensor profesional el cual está ubicado a un metro y 15 grados de la última salida de gases de escape, el actuador en conjunto con su mecanismo de activación permite la modulación del rango de decibeles en dos pruebas fijas una real y la otra experimental, la parte real consiste en fijar tres rangos para la salida sonora, alto, medio y bajo ingresados mediante un hmi. La parte experimental está implementada con un control todo o nada de banda muerta la cual sigue un set point impuesto por un hmi. Finalmente se realizaron las pruebas correspondientes para verificar el desempeño del silenciador y determinar si la potencia del motor de combustión interna sufre pérdidas en su eficiencia debido al silenciador.

PALABRAS CLAVE:

- **SILENCIADOR**
- **INTERFAZ GRÁFICA (HMI)**
- **MECANISMO MOVIL (ACTUADOR)**

ABSTRACT

The present project is focused on the design and construction of a prototype variable sound muffler for exhaust systems of internal combustion engines of four times of 200cc which varies the output range in decibels from 80 dB to 100 dB obtaining a range 20 dB measured by a professional sensor which is located one meter and 15 degrees from the last exhaust gas outlet, the actuator in conjunction with its activation mechanism allows the modulation of the decibel range in two fixed tests a real and the other experimental, the real part is to set three ranges for the sound output, high, medium and low entered by a hmi. The experimental part is implemented with a control of all or nothing of dead band which follows a set point imposed by a hmi. Finally, the corresponding tests were performed to verify the performance of the silencer and determine if the power of the internal combustion engine suffers losses in its efficiency due to the silencer.

KEYWORDS:

- **MUFFLER**
- **GRAPHIC INTERFACE (HMI)**
- **MOVING MECHANISM (ACTUATOR)**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

Este capítulo relata los antecedentes y problema que se pretende solucionar en el presente trabajo de titulación denominado: “Diseño y construcción de un prototipo de silenciador de sonido variable para sistemas de escape de motores de combustión interna de cuatro tiempos de 200cc”, también se definirán los objetivos y el alcance de la investigación.

1.1. Antecedentes

La función del sistema de escape consiste en recoger y eliminar los gases de combustión descargados por el motor de un vehículo con una reducción máxima del ruido de escape y con un efecto mínimo sobre la potencia de salida y el mantenimiento del motor.

Los motores de combustión interna usualmente cuentan con un silenciador de escape para suprimir el impulso acústico generado por el proceso de combustión, generado por los gases de combustión que se mueven por la tubería de escape.

El sistema de escape puede ser una herramienta vital para optimizar el rendimiento del motor, ya que su diseño manipula las ondas de presión que ayudan al llenado y la limpieza del cilindro.

Es importante entender que las velocidades de salida de los gases de escape llevan gran cantidad de energía en forma de presión y temperatura, una de las formas como se aprovecha esta energía es mediante el uso de un dispositivo turbo y el otro será realizando el análisis del tema propuesto en donde se varía el sistema de escape. (Kane, 2016).

1.2. Definición del problema

Para el caso de vehículos de competencia los sistemas de escape de gases deben ser modificados para cumplir altos requerimientos de potencia, actualmente en el Ecuador se pueden encontrar empresas que se dediquen al trucaje con un alto nivel de ingeniería, en donde se utilicen herramientas de cálculo que aporten cambios significativos en la construcción y adaptación de criterios que garanticen que estos vehículos sean fiables durante la competencia, es por esto que el desarrollo del silenciador variable en el tubo de escape sería un gran avance en este ámbito para el país, a más de esto se busca remediar el grave problema que implica el excesivo ruido que produce la salida de gases del motor hacen algunos vehículos.

1.3. Justificación e importancia

La influencia de la tecnología en el desempeño de la vida actual es de gran importancia ya que la sociedad tiene la necesidad de desarrollar dispositivos cada vez más avanzados para dar solución a diferentes fenómenos y problemas ingenieriles a nivel industrial, social y medio ambiental.

Hoy en día con el crecimiento del interés por los vehículos de competencia se genera gran expectativa en las modificaciones que se le pueden realizar a un vehículo para mejorar su desempeño dentro de la competencia, sin embargo, para que dicho vehículo pueda no solo ser usado en circuitos competitivos sino también dentro de ciudades y zonas urbanas deben cumplir con ordenanzas municipales.

Uno de los principales problemas que presentan las zonas urbanas es el ruido, que según (Chávez, 2012) “llega a constituir cada vez más un peligro para la salud”, es por esto que se propone

el diseño y construcción de un silenciador de sonido variable que permitirá controlar y modificar el sonido a la salida del tubo de escape de los motores de combustión interna de cuatro tiempos ciclo Otto.

Con este proyecto se busca también contribuir al Plan Nacional del Buen Vivir mejorando la calidad de vida de la población (Objetivo 3) y generar flujo de conocimiento para su utilización en el proceso de agregar valor a productos nacionales (Objetivo 10). (Secretaría_Nacional_de_Planificación_y_Desarrollo, 2013).

Siendo la autotrónica una de las áreas comprometidas al desarrollo de esta investigación, se pretende la inclusión de los estudiantes al estudio de esta rama.

El proyecto aquí presentado se justifica citando los objetivos estratégicos de la Universidad de las fuerzas Armadas ESPE donde, en su plan estratégico del 2014 al 2017 mencionan que se busca: “Incrementar la producción científica-tecnológica y su calidad”.

1.4. Objetivos

A continuación, se presentan los objetivos: general y específicos del presente proyecto.

1.4.1. Objetivo General

Diseñar y construir un prototipo de silenciador de sonido variable automatizado para tubos de escape de motores de combustión interna.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Diseñar la estructura del silenciador para obtener la variación de las emisiones sonoras de los gases de escape de un motor de cuatro tiempos de 200cc.

- Diseñar e implementar un algoritmo de control que permita modificar las variaciones sonoras medidas en decibeles del tubo de escape.
- Diseñar los circuitos de acondicionamiento que cumplan las condiciones necesarias para el correcto funcionamiento de los mecanismos móviles del silenciador.

1.5. Alcance

1.5.1. Alcance mecánico

En alcance mecánico de silenciador presenta el diseño de la estructura externa con los respectivos componentes de sujeción.

Se construirá la colmena interna del silenciador, los mecanismos de movimiento del bastidor el cual permitirá la variación de sonido del silenciador. Se realizará la elección de los materiales de aislamiento térmico y acústico que protejan la integridad de diversos componentes tanto internos como externos.

Se diseñará la estructura en donde se colocarán los elementos de control.

1.5.2. Alcance Electrónico

Dentro del alcance electrónico tendremos los siguientes aspectos. Se diseñará e implementará una PCB que contenga las etapas de adquisición, control y potencia.

Se diseñará del circuito de potencia, diseño del circuito de control y diseño del circuito de acondicionamiento.

Los elementos que se implementarán en el proyecto serán los siguientes: transductor de sonido, buses de comunicación, motor DC, microcontrolador, circuito de acondicionamiento de señales para el microcontrolador, etapa de potencia.

Se realizará la compra de componentes de acuerdo a las especificaciones del diseño seleccionado.

1.5.3. Alcance del sistema de control

El sistema de control se desarrollará de forma que a la salida del silenciador obtengamos el valor deseado en decibelios. De esta manera se plantea la programación y control del proyecto señalando la posición del bastidor de la colmena del silenciador.

1.5.4. Software y hardware

Para el desarrollo del proyecto se propone el uso de herramientas CAD, siendo estos, elementos de fácil alcance y disposición.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se encuentran algunas definiciones y se explica el funcionamiento de los diferentes elementos del sistema de escape, motores de combustión interna y las modificaciones que se pueden hacer en los mismos.

2.1 Motor

“Un motor es un dispositivo que transforma una forma de energía en otra” (Srinivasan, 2007)
, existen diferentes tipos de motores de acuerdo a la forma de energía que transforman, en este capítulo se habla de los motores de combustión interna ciclo Otto.

2.1.1 Motor de combustión Interna Ciclo Otto.

Un motor de combustión interna basa su funcionamiento, como su nombre lo indica, en el quemado de una mezcla comprimida de aire y combustible dentro de una cámara cerrada o cilindro, con el fin de incrementar la presión y generar con suficiente potencia, el movimiento lineal alternativo del pistón que se puede observar en la Figura 1 Motor de combustión interna. (Sena, 2011)

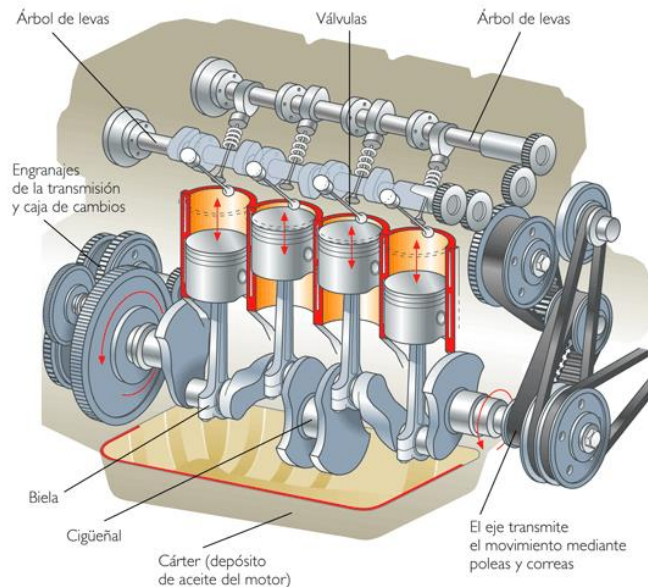


Figura 1 Motor de combustión interna

Fuente: (Ferrer & Checa, 2010)

Mediante el proceso de la combustión desarrollado en el cilindro, la energía química contenida en el combustible es transformada primero en energía calorífica, parte de la cual se transforma en energía cinética (movimiento), la que a su vez se convierte en trabajo útil aplicable a las ruedas propulsoras; la otra parte se disipa en el sistema de refrigeración y el sistema de escape, en el accionamiento de accesorios y en pérdidas por fricción. (Sena, 2011)

En este tipo de motor es preciso preparar la mezcla de aire y combustible convenientemente dosificada, lo cual se realizaba antes en el carburador y en la actualidad con los inyectores en los sistemas con control electrónico. Después de introducir la mezcla en el cilindro, es necesario provocar la combustión en la cámara de del cilindro por medio de una chispa de alta tensión que la proporciona el sistema de encendido. (Sena, 2011)

2.1.2 Funcionamiento de un motor de combustión interna

En un motor, el pistón se encuentra ubicado dentro del cilindro, cuyas paredes le restringen el movimiento lateral, permitiendo solamente un desplazamiento lineal alternativo entre el punto muerto superior (PMS) y el punto muerto inferior (PMI); a dicho desplazamiento se le denomina carrera como se muestra en la Figura 2 (Sena, 2011)

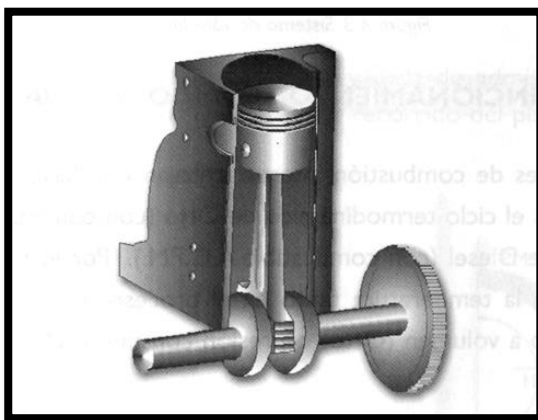


Figura 2 Conjunto Móvil

Fuente: (Srinivasan, 2007)

Tanto el movimiento del pistón como la presión ejercida por la energía liberada en el proceso de combustión son transmitidos por la biela al cigüeñal (Figura 2). Este último es un eje asegurado por los apoyos de bancada al bloque del motor, y con unos descentramientos en cuales se apoyan las bielas, que son los que permiten que el movimiento lineal del pistón transmitido por la biela se transforme en un movimiento circular del cigüeñal.

Este movimiento circular debe estar sincronizado principalmente con el sistema de encendido y con el sistema valvular, compuesto principalmente por el conjunto de válvulas de admisión y de escape, cuya función es la de servir de compuerta para permitir la entrada de mezcla y la salida de gases de escape (Figura 3).

Normalmente las válvulas de escape son aleadas con cromo con pequeñas adiciones de níquel, manganeso y nitrógeno, para incrementar la resistencia a la oxidación debido a las altas temperaturas a las que trabajan y al contacto corrosivo de los gases de escape. (Sena, 2011)

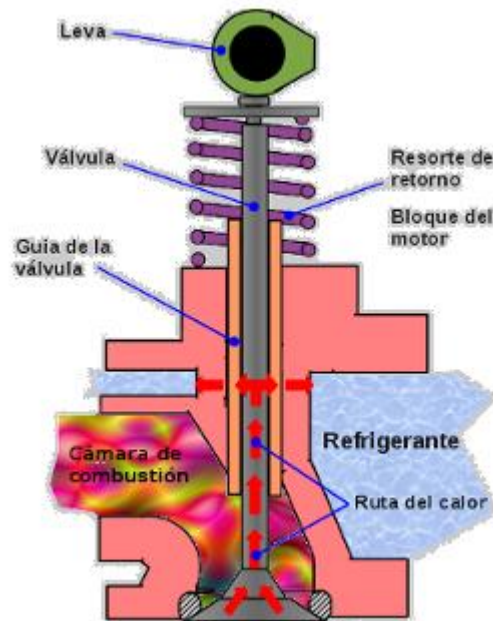


Figura 3 Sistema de Válvulas

Fuente: (Bleck, 2013)

2.1.3 Ciclos de funcionamiento

La mayoría de los motores de combustión interna trabajan con base en un ciclo de cuatro tiempos, cuyo principio es el ciclo termodinámico de Otto (con combustible gasolina o gas) y el ciclo termodinámico de Diésel (con combustible A.C.P.M.). Por lo tanto, su eficiencia está basada en la variación de la temperatura tanto en el proceso de compresión isentrópico¹, como en el calentamiento a volumen (Otto) o presión constante (Diésel). (república, 2015)

El ciclo consiste en dos carreras ascendentes y dos carreras descendentes del pistón. Cada carrera coincide con una fase del ciclo de trabajo (Figura 4), y recibe el nombre de la acción que se realiza en el momento, así:

- Admisión-Compresión
- Combustión-Expansión
- Escape

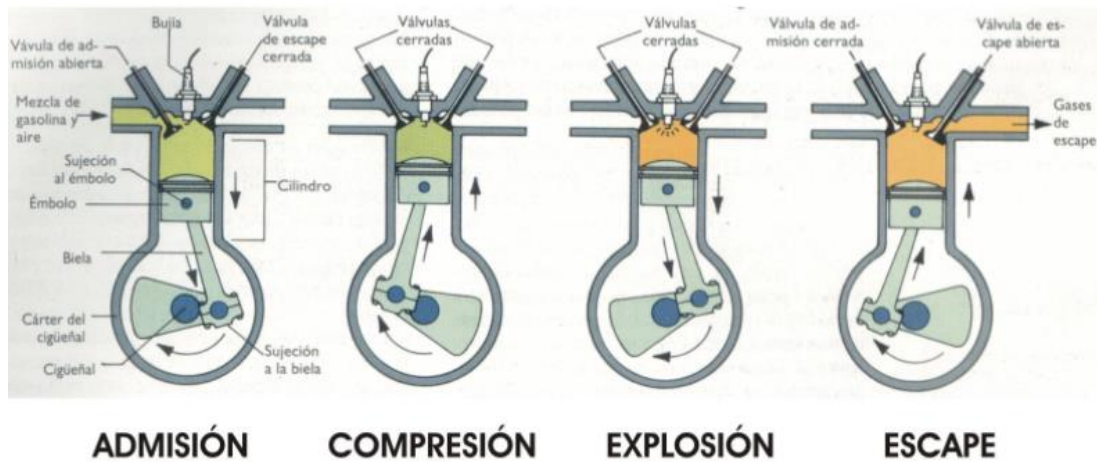


Figura 4 Fases de funcionamiento del motor de cuatro tiempos

Fuente: (Rodríguez, 2015)

2.2 Sistemas de Escape

En cuanto al sistema de escape (Eduardo, José, Tomás, José, & Joaquín, 2009) lo define como “el conjunto de todos los elementos que participan en el proceso de evacuación de gases quemados desde el motor hasta la atmósfera” (p.110)

Estos gases de escape deben ser evacuados de tal manera que se cumplan con tres características principales:

- Canalizar y disminuir la cantidad de gases contaminantes que se obtienen como resultado de la combustión.
- Controlar la temperatura de los gases de salida al ambiente.

- Controlar el nivel sonoro.

Es por esto que el sistema de escape está formado por los siguientes elementos:

- Tubo de escape
- Silenciador
- Colectores de escape
- Catalizador

2.2.1 Colector de escape

El colector es un elemento fabricado con materiales resistentes a altas temperaturas y está unido a la culata para canalizar los gases que salen al tubo de escape. (Rodriguez, 2015)

2.2.2 Tubo de escape

Se denomina tubo de escape a todas las canalizaciones encargadas de unir los diferentes componentes del sistema de escape. (Rodriguez, 2015)

2.2.3 Catalizador

El catalizador está colocado en el sistema de escape para disminuir las emisiones que pueden afectar a la salud y medio ambiente. Están diseñados para catalizar contaminantes peligrosos como: hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógenos y convertirlos en vapor de agua, dióxido de carbono y reducir los niveles de óxidos de nitrógeno (Potonte, 2005) como se puede observar en la Figura 5

Los catalizadores tienen en su interior una estructura en forma de panel en donde se encuentran resina y metales como: platino, paladio o rodio. El catalizador trabaja a una temperatura aproximada de 400°C para que sea posible la reacción química. (Ferrer & Checa, 2010)



Figura 5 Catalizador

Fuente: (Casado, Gracia, Morales, Navarro, & José, 2014)

2.2.4 Silenciadores

Es un modulador de sonido, en su interior cuentan con elementos como: laberintos, tubos agujereados, chapas soldadas, etc.; cuya función es la disminución del ruido que sale al ambiente producto de la combustión del combustible tratando de obstaculizar lo menos posible la salida de gases. (Rodríguez, 2015)

2.2.5 Tipos de silenciadores

Existen numerosas variaciones de diseños a partir de dos principales tipos de silenciadores las cuales son: silenciador reactivo y silenciador disipativo (Potonte, 2005).

El silenciador reactivo o también llamado reflexivo utiliza el fenómeno de interferencia destructiva para reducir el ruido producido por los gases de escape, en otras palabras, un conjunto de tubos ubicados dentro del silenciador como se muestra en la (figura 6) están diseñados para crear ondas reflejadas que interfieren entre sí o se cancelan mutuamente.



Figura 6 Silenciador reactivo

Fuente: (Nice, 2001)

Los gases de escape y las ondas sonoras entran a través del tubo central. Ellos rebotan en la pared trasera del silenciador y se reflejan a través de un agujero en el cuerpo principal del silenciador. Pasan a través de un conjunto de agujeros en otra cámara, donde giran y salen por el último tubo del silenciador. (Potonte, 2005)

Un silenciador disipativo como el que se muestra en la Figura 7, usa propiedades absorbentes de diferentes materiales para reducir la energía del sonido. Las ondas sonoras se convierten en calor en el material absorbente. (Rodríguez, 2015)

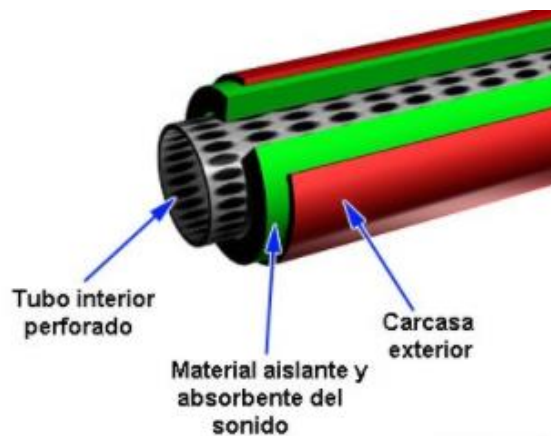


Figura 7 Silenciador disipativo

Fuente: (Solarte & Portilla, 2017)

Un típico silenciador disipativo consiste en una tubería recta perforada que está encerrada en una carcasa de acero más grande, entre el tubo perforado y la carcasa hay una capa de material que absorbe algunos pulsos de presión. (Potonte, 2005)

2.3 Trucaje

El trucaje es considerado como la modificación de diferentes partes del motor o del vehículo con el fin de mejorar su rendimiento o aspecto estético. (Fiallo & Vacacela, 2010)

2.4 Tipos de preparación en los motores de combustión interna

Se denomina preparación de un motor al proceso de realizar una o varias modificaciones al motor de tal manera que se logre una mejor combustión, aumento de prestaciones y potencia en el mismo. (Gillieri, 2013)

Para lograr un mejor rendimiento del motor se aumenta la cantidad de oxígeno en la cámara de combustión.

El aumento de la cantidad de aire para el proceso de combustión se lo va a realizar mediante tres procesos.

- Aumento de cilindrada
- Aumento de presión media efectiva
- Aumento de régimen de giro

2.4.1 Aumento de Cilindrada

Este procedimiento consiste en aumentar el diámetro del cilindro (Figura 8), de tal manera que aumente así la potencia que el motor proporciona. (Tunning, 2002)

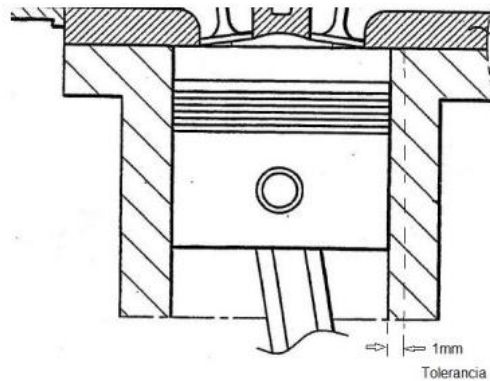


Figura 8 Cilindro del motor
Fuente: (MecánicaVirtualORG, 2012)

Hay que tener en cuenta que solamente se puede maquinar hasta la tolerancia permitida por el fabricante.

2.4.2 Aumento de la presión media efectiva

La presión media efectiva del motor es “el valor promedio de las presiones que se establecen en el interior de la cámara de combustión mientras esta se está produciendo” (Fiallo & Vacacela, 2010)

El aumento de la presión efectiva se puede realizar por cuatro procedimientos que son:

- Cepillado de la culata (Figura 9). - este procedimiento consiste en quitar material de la culata que esté en contacto con el motor, lo que hace que exista una mayor presión en el motor ya que disminuye el volumen que ocupa la mezcla aire-gasolina en la cámara de combustión. (Fiallo & Vacacela, 2010)

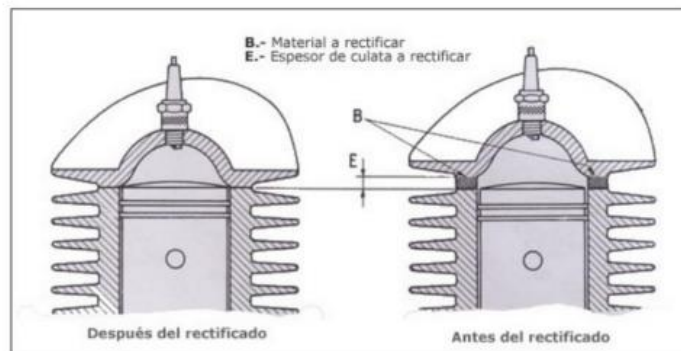


Figura 9 Rectificadado o cepilladado

Fuente: (MecánicaVirtualORG, 2012)

- Cepilladado del bloque de cilindros. - este procedimimiento consiste en retirar material de bloque del motor que está en contacto con la culata. (Fiallo & Vacacela, 2010)
- Colocar émbolos (Figura 10). - este procedimimiento es colocar émbolos con una medida más grande a la original del motor, lo que aumenta la compresión en el mismo. En este procedimimiento también se suele hacer que el émbolo recorra más milímetros de los que acostumbra. (Fiallo & Vacacela, 2010)

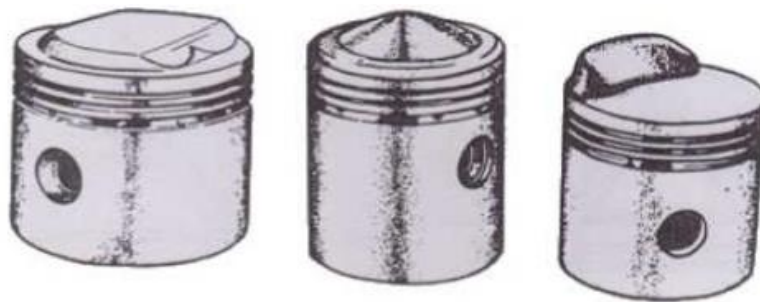


Figura 10 Émbolos para trucaje de motores

Fuente: (MecánicaVirtualORG, 2012)

- Sustituir junta (Figura 11) - la junta es “el empaque encargado de sellar por completo la unión existente entre el bloque del motor y la culata evitando cualquier fuga de la cámara de combustión” por lo que al cambiar de junta aumenta o disminuye el espacio en la cámara de combustión. (Fiallo & Vacacela, 2010)



Figura 11 Motor y Junta
Fuente: (Gillieri, 2013)

Generalmente la junta viene de 1.4 a 1.5 milímetros.

2.4.3 Aumento de régimen de giro

Este procedimiento consiste en disminuir el peso de tal manera que el motor de un mayor número de revoluciones por minuto, entonces el cigüeñal, émbolo, volante y bielas deben ser más ligeros con el objetivo de eliminar un parte de la inercia. (Fiallo & Vacacela, 2010)

2.5 Tipos de preparación en los sistemas de escape

Consiste en modificaciones realizadas a diferentes elementos de la línea de escapa como tuberías, etc. ya que la salida de los gases de escape influye en el rendimiento del motor. (Nice, 2001)

2.5.1 Modificación de los colectores de escape o headers

Estos se encuentran después de la culata y son los primeros en tener contacto con los gases de escape y son modificados para incrementar la expulsión de los gases de manera más óptima. (Tunning, 2002)

La modificación más común de los colectores es:

- Retirar los colectores existentes y colocarles colectores más ligeros.
- Colocar un colector en cada cilindro, el mismo que después se une para tener un solo tubo de escape como se muestra en la figura 12



Figura 12 Header modificado para evitar el retorno de gases.
Fuente: (Kojima, 2002)

2.5.2 Modificación de silenciadores.

Para que el auto tenga mejor sonido y rendimiento se pueden realizar modificaciones en los silenciadores entre los más comunes se tiene:

2.5.3 Supresión del silenciador.

Consiste en instalar una Y en el tubo de escape de tal manera que los gases, producto de la combustión, no tengan que pasar por el silenciador de manera que los gases se expulsan más rápidamente.

2.5.4 Agujeros en el silenciador

En muchos casos se realizan agujeros en el silenciador para que la vía de escape de los gases sea más rápida.

2.6 Sonido

Es la sensación producto de la estimulación del sistema auditivo por vibraciones que se transmiten por el aire u otro medio. (Carrión A. , 2006)

Normalmente se mide el sonido con instrumentos que miden la presión sonora o fuerza que ejercen las partículas de aire por unidad de superficie, esta se mide en decibelios. (Martínez & Diaz, 2009)

2.6.1 Frecuencia

De acuerdo a (Carrión A. , 2006) la frecuencia de sonido es: “El número de oscilaciones por segundo de la presión sonora y se mide en hertzios (Hz)”. En la **Figura 13** se observa una onda de 1 Hz.

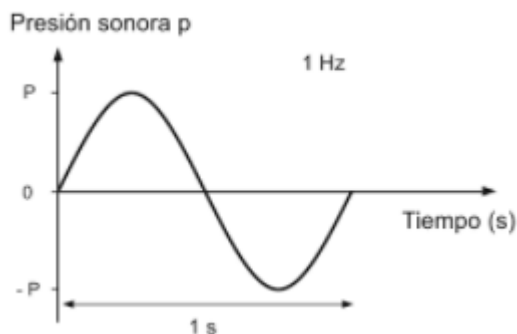


Figura 13 Representación de una onda con frecuencia de 1Hz
Fuente: (Carrión A. , 2006)

2.6.2 Rango de frecuencias

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el oído humano puede tolerar 55 decibeles sin ningún daño a su salud. A continuación, se muestra en la (figura 14) los niveles acústicos aproximados a los que una persona en la ciudad está expuesta.

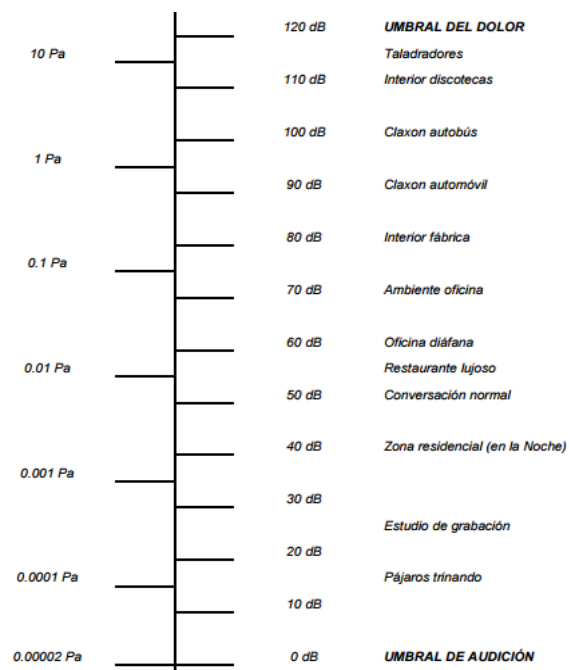


Figura 14 Referencia de Niveles acústicos
Fuente: (Calderos, 2007)

2.6.3 Sensores de sonido

Un sensor es un aparato que mide algún fenómeno físico del entorno y lo traduce en señales eléctricas. (Alfonso, Cazoria, Colomina, Escolano, & Lozano, 2003)

Los sensores de sonido convierten las ondas de presión de aire en señales analógicas, algunos de los sensores más comúnmente utilizados son los sonómetros que es un instrumento que mide la presión acústica en decibeles (Carrión A. , 1998) y se observa en la **Figura 15**



Figura 15 Sonómetro
Fuente: (Mantein_Chile, 2017)

2.7 Niveles de sonido permitidos en la ciudad de Quito.

De acuerdo al Decreto N° 3.516 el ruido permitido en diferentes lugares viene dado como se muestra en la Tabla 1

Tabla 1

Niveles de presión sonora permitida.

TIPO DE ZONA SEGÚN USO DE SUELO	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EQUIVALENTE NPS eq [dB(A)]	
	DE 06H00 A 20H00	DE 20H00 A 06H00
Zona hospitalaria y educativa	45	35
Zona Residencial	50	40
Zona Comercial	60	50
Zona Industrial	70	65

Fuente: (Presidencia_de_la_República, 2003)

Sin embargo, el límite permitido para vehículos y automotores viene dado como por los valores en la Tabla 2

Tabla 2

Niveles de presión sonora para vehículos y automotores

CATEGORÍA DE VEHÍCULO	DESCRIPCIÓN	NPS MAXIMO (dBA)
Motocicletas:	De hasta 200 centímetros cúbicos.	80
	Entre 200 y 500 c. c.	85
	Mayores a 500 c. c.	86
Vehículos:	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor.	80
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, y peso no mayor a 3,5 toneladas.	81
	Transporte de personas, nueve asientos, incluido el conductor, peso mayor a 3,5 toneladas, y potencia de motor mayor a 200 HP.	85

Fuente: (Presidencia_de_la_República, 2003)

2.8 Norma para la medición de sonido de un tubo de escape.

De acuerdo a la norma “*límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles, y para vibraciones*” (Presidencia_de_la_República, 2003) la medición de los ruidos en ambiente exterior se efectuará utilizando un sonómetro el mismo que ubicará su micrófono a 0.5m del tubo de escape y a una altura no inferior de 0.2 m del tubo de escape con un ángulo de 45 grados con el plano vertical que contiene la salida de los gases de escape.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA, Y DISEÑO

En este capítulo se muestra la metodología y parámetros utilizados para el diseño del silenciador de sonido variable. Se utiliza el proceso genérico de desarrollo de productos planteado por Ulrich y Eppinger en su libro de diseño y desarrollo de productos, el mismo que consta de seis etapas de las cuales utilizaremos cuatro que son: desarrollo de concepto, diseño en el nivel sistema, diseño de detalle, pruebas y refinamiento (Ulrich & Eppinger, 2012).

3.1 Esquema del prototipo de silenciador

Para empezar con el diseño primero se establecen diferentes parámetros importantes para el diseño que se muestran en la Tabla 3

Tabla 3
Parámetros de Diseño

Parámetros de diseño	
Rango de decibeles	20 dB
Tamaño máximo	0,5 m
Distancia mínima para colocar el silenciador	1,5 m

Teniendo en cuenta los parámetros antes mencionados se tiene el esquema de Figura 16

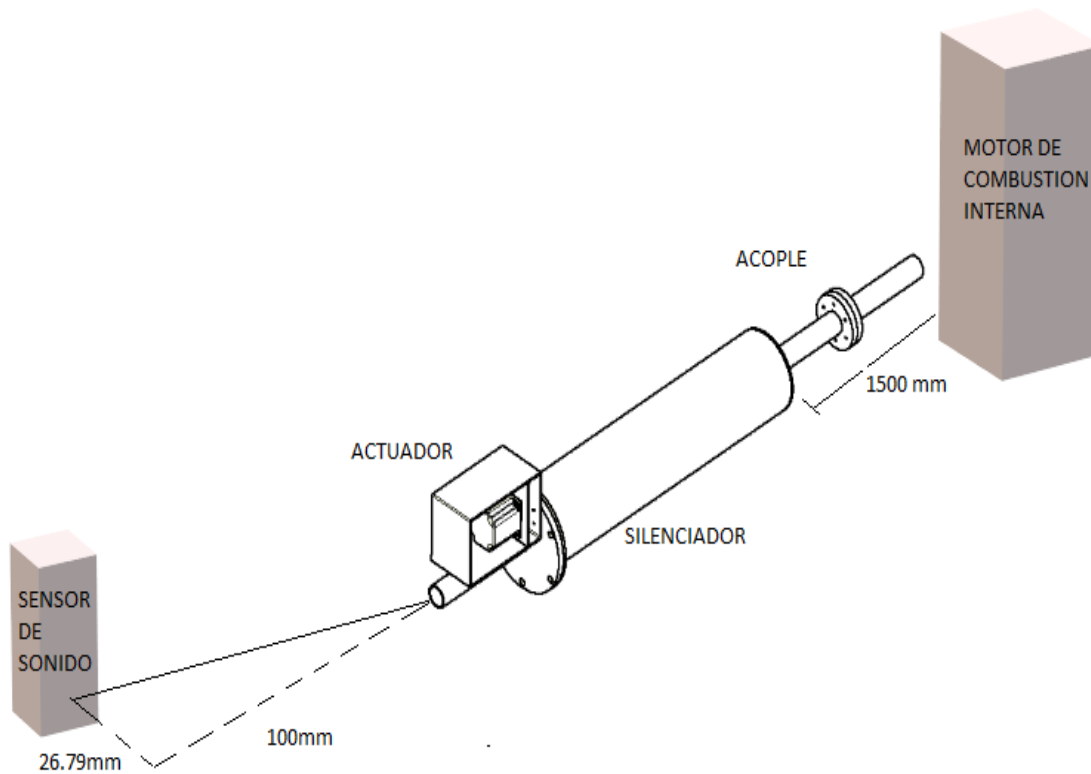


Figura 16 Esquema del sistema a diseñar

3.2 Definición del concepto

Para la definición del concepto, Ulrich (Ulrich & Eppinger, 2012) establece que se debe definir las necesidades del cliente de tal manera que se tenga una descripción de la función, forma y características del producto.

3.2.1 Identificación de necesidades

Las necesidades del cliente se definen como lo que el producto debe hacer. En la Tabla 4, se establece una lista de necesidades que debe tener el prototipo de silenciador.

Tabla 4:*Necesidades del cliente*

No.	Requerimientos
1	Debe silenciar
2	Debe ser fácil de usar
3	Debe permitir la selección del sonido
4	Debe soportar altas temperaturas
5	Debe ser automático
6	Debe ser estético

3.2.2 Definición de características técnicas

Las características técnicas son el producto de la traducción de las necesidades del cliente a lenguaje técnico, de tal manera que describan de forma clara y precisa las características y funciones que el prototipo debe tener. (Ulrich & Eppinger, 2012)

La Tabla 5 muestra las características técnicas necesarias para lograr satisfacer las necesidades del usuario.

Tabla 5:*Características técnicas*

No.	Características Técnicas
1	Diseño mecánico (permita la variación de 20dB)
2	HMI que cumpla con normas GEDIS
3	Programar tres rangos de sonido
4	Material resistente a altas temperaturas
5	Sistema controlado
6	Terminados estéticos

3.2.3 Desarrollo de la función de calidad, QFD

La función de calidad o QDF (Quality Function Deployment) o casa de la calidad será utilizada para determinar la relación entre las necesidades del cliente y las características técnicas. (Riba Romeva, 2002)

La QDF permite establecer la importancia de cada aspecto técnico para la solución del problema o requerimiento del cliente en forma eficaz optimizando tiempos y costos. (Summers, 2016)

La matriz QFD realizada para el proyecto se muestra en la Figura 17.

Casa de Calidad

Cómo's		<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>++</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>+</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>+</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>++</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>-</td> </tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> </table>												++							+							+							++							-							
								++																																									
						+																																											
						+																																											
						++																																											
						-																																											
Qué's	Importancia	↑ Diseño Mecánico	↑ HMI con norma GEDIS	↑ Programa con tres rangos de sonido	↑ Materiales resistentes a altas temperaturas	↑ Terminados Estéticos	x Sistema controlado																																										
Debe silenciar	15	9		9	9	3	9																																										
Debe ser fácil de Usar	20	9	9	9			3																																										
Debe permitir la variación del sonido	12	9	9	9			9																																										
Debe soportar altas temperaturas	30	3		1	9	3																																											
Debe ser automático	10	9	3	9			9																																										
Debe ser estético	3	3			9	9																																											
Dificultad (0- 10)		9	3	8	5	2	9																																										
Valor en columna		9	9	9	9	9	9																																										
Importancia		680	353,3	603,3	480	180	436,7																																										
% Peso		24,9%	12,9%	22,1%	17,6%	6,6%	16,0%																																										

Figura 17 Casa de la calidad para el silenciador

Una vez realizada la casa de la calidad a continuación en la Tabla 6 se muestran los resultados de mayor a menor siendo la característica de mayor importancia el diseño mecánico del silenciador con un 24.9%.

Tabla 6:
Resultados de la matriz QFD

Hitos	Características técnicas	Porcentaje de ponderación
1	Diseño mecánico	24.9
2	Programar tres rangos de sondo	22.1
3	Materiales resistentes a altas temperaturas	17.6
4	Sistema Controlado	16
5	HMI que cumpla norma GEDIS	12.9
6	Terminados estéticos	6.6

El diseño mecánico es la característica más crítica por lo que se comenzará analizando este tema a continuación.

3.3 Diseño mecánico.

Para la realización diseño mecánico se van a tomar en cuenta los siguientes aspectos y características importantes:

- Variación del sonido y bridas para sujeción al tubo de escape.
- Tamaño y peso.
- Materiales resistentes a altas temperatura.
- Costos.

3.3.1 Materiales

A continuación, se enlistarán algunos de los materiales utilizados en los silenciadores de los cuales se utilizarán algunos para la construcción del silenciador.

Fibra de Vidrio

La fibra de vidrio se fabrica fundiendo arenas con alto contenido de sílice a altas temperaturas. (Prado, 2012)

La ventaja que tiene este material es que no es inflamable, resiste altas temperaturas por lo que generalmente se lo utiliza como aislante térmico y acústico, tiene diferentes presentaciones siendo una de las más comunes el rollo que se observa en la Figura 18.



Figura 18 Rollo de fibra de vidrio

Fuente: (Mariano, 2011)

Acero inoxidable

Se considera un acero inoxidable austenítico ya que es resistente a la corrosión y tiene buenas propiedades a altas temperaturas. (Sandvik, 2012)

A continuación, en la Figura 19 se muestran los tipos de corrosión y la resistencia del acero inoxidable.

SUBSTANCIA	Temperatura		Condición	Tipo	
	oC	OF		304	316
Acetato de etilo	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
Acetileno	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
Acetona	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
Acido acético	Solución al 10%	21	70	Agitado	Muy resistente
	Vapor al 30%	-	-	Caliente	Mediano
	Vapor al 100%	-	-	Caliente	No resistente
Acido benzoico	21	70	-	Muy resistente	Muy resistente
Acido carbónico seco	-	-	-	Muy resistente	Muy resistente
Acido fosfórico	10%	-	-	Agitado	Muy resistente
	10%	-	-	Ebullición	Muy resistente
	25%	-	-	Ebullición	Resistente
	40%	-	-	Ebullición	Poco resistente
Acido hidrociorhídrico	21	70	-	No resistente	No resistente
Acido láctico	5%	21	70	-	Muy resistente
	10%	21	70	-	Muy resistente
	Concentrado	-	-	Ebullición	Mediano
Acido muriático	21	70	-	No resistente	No resistente
Acido nítrico	5%	21	70	-	Muy resistente
	5%	-	-	Ebullición	Muy resistente
	65%	-	-	Ebullición	Resistente
	Concentrado	-	-	Ebullición	Resistente
	Concentrado	-	-	Vaporización	Poco resistente

Figura 19 Corrosión del acero inoxidable

Fuente: (López & Bazurto, 2003)

Latón

El latón es una aleación de cobre y zinc, contiene hasta un 40% de zinc y se lo realiza en crisoles o en un horno reverbero. EL contenido de zinc influye en las características mecánicas. Puede presentarse agrietamiento por corrosión medio ambiental en los latones que tienen 15% de zinc, esto se puede evitar realizando un recocido. Generalmente se le agrega plomo hasta un 4% para hacer el material más mecanizable. (DeGarmo, Black, & Kohser, 2002)

Lámina de acero en frío

El acero laminado en frío cuenta con características como alta resistencia a la tensión, buen comportamiento a la compresión y alta eficiencia en su relación peso-resistencia (Ortiz, y otros, 2012), es por esto que es muy utilizado en aplicaciones como: maquinaria, tubería, partes expuestas y no expuestas en la industria automotriz, envases, etc. (NacionaldeAceroS.A, 2015)

3.3.2 Selección del tipo de silenciador.

Para la selección del tipo de silenciador que se va a modificar se tomaron en cuenta dos alternativas: silenciador tipo resonante y silenciador de absorción.

Alternativa 1.- Silenciador tipo lado resonante.

Estos silenciadores funcionan de manera adecuada para frecuencias mayores de 1KHz ya que tratan de absorber el ruido de un rango de frecuencias específicas, normalmente son de bajo y costos (Martínez & Diaz, 2009) se lo puede observar en la Figura 20.

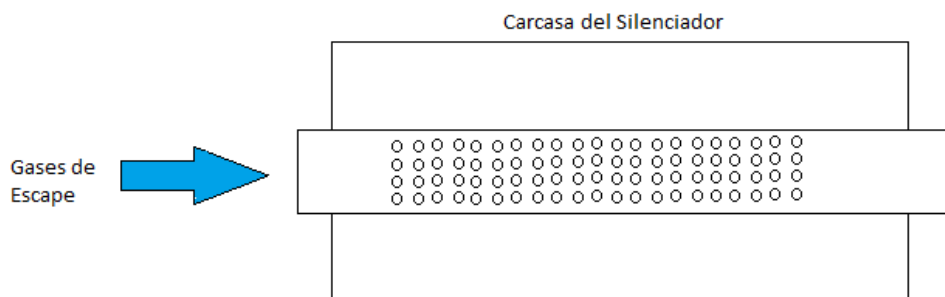


Figura 20 Silenciador Resonante

Alternativa 2.- Silenciador tipo absorción.

El silenciador tiene una alta atenuación de frecuencias mayores a 2Khz. de absorción cuenta con un recubrimiento aislante de ruido que absorbe las frecuencias de resonancia de la caja del silenciador. A continuación, en la Figura 21 se puede observar un esquema del silenciador, normalmente el relleno es de fibra de vidrio ya que es un aislante de sonido.

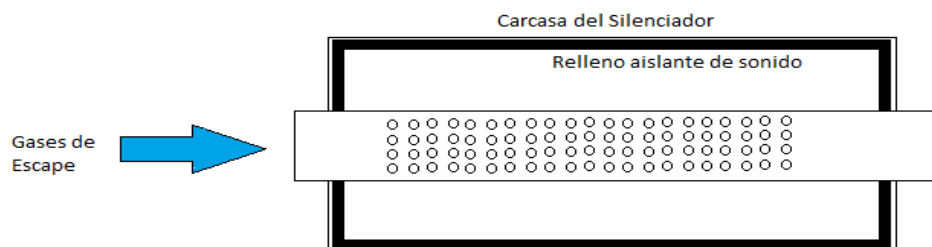


Figura 21 Silenciador de absorción.

Análisis del silenciador seleccionado

Se seleccionó el silenciador de tipo resonante de lado ya que es de menor peso y costo, además sus características físicas permiten un fácil acople del eje de movimiento para la variación del sonido como se puede observar en la Tabla 7

Tabla 7

Selección del Silenciador

Ponderación	20%	20%	20%	20%	20%	100%
Tipo de silenciador/ Parámetro	Frecuencia de Trabajo	Peso	Tamaño	Durabilidad	Costo	Total
Silenciador de lado resonante	100	80	90	95	100	93
Silenciador de absorción	80	50	85	85	50	70

3.3.3 Características del Banco de pruebas.

La primera parte de la toma de datos es la descripción de las características del motor a utilizar que se encuentra en la tabla Tabla 8

Tabla 8

Características del motor

Marca	Villiers F. 15
Motor	4 tiempos
Carrera	44mm
Diámetro	65mm

A continuación, se muestra las características del dinamómetro en la Tabla 9

Tabla 9*Características del dinamómetro*

Dinamómetro	
Brazo de Palanca	265 mm
Excitación máxima	15 A
Indicador electrónico	TE-28PLINT

Para la toma de datos se realiza la puesta a punto del motor la cual consiste en una limpieza total del motor, carburador y cambio de filtro, aceite y bujía como se muestra en la Figura 22

**Figura 22** Puesta a punto de motor

Una vez puesto a punto el motor se realizó la toma de datos que se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10*Parámetros del banco de pruebas sin silenciador*

Carga	Fuerza	Gasolina	Tiempo	RPM	Medidas
-	[N]	[cc]	[s]		rpm
0	10,7	25	76		4500
2	11,8	25	81,3		3500
2	13,5	25	89,6		3000
3	11,7	25	90,5		3000
2	14,9	25	107,8		2500
3	17,5	25	111,2		2500
2	15,3	25	138,6		2000
3	17,11	25	140,5		2000
4	16,7	25	137,5		2000
3	16,1	25	214,8		1500
4	16,4	25	200,9		1500

3.3.4 Diseño Acústico del silenciador.

Para empezar el diseño del silenciador primero se va a analizar la transmisión del ruido como un sonido no agradable para el receptor que se propaga por el medio ambiente.

La velocidad de propagación del sonido está definida por la ecuación:

$$a_0 = \sqrt{\gamma RT_o} = \sqrt{\frac{\gamma P_0}{\rho_0}} \quad \text{Ecuación 1 (Blair, 1996)}$$

Donde:

a_0 corresponde a la velocidad de propagación

γ es una constante y tiene un valor de 1.4 para aire y 1.375 para los gases de escape cuando se encuentran a una temperatura de 25 grados centígrados.

$R = 290.5 \frac{J}{kg K}$ y $R = 287 \frac{J}{kg K}$ para aire y gases de escape respectivamente (Blair, 1996).

Una vez tomada en cuenta la velocidad de transmisión se procede a dimensionar el silenciador de tipo resonante base.

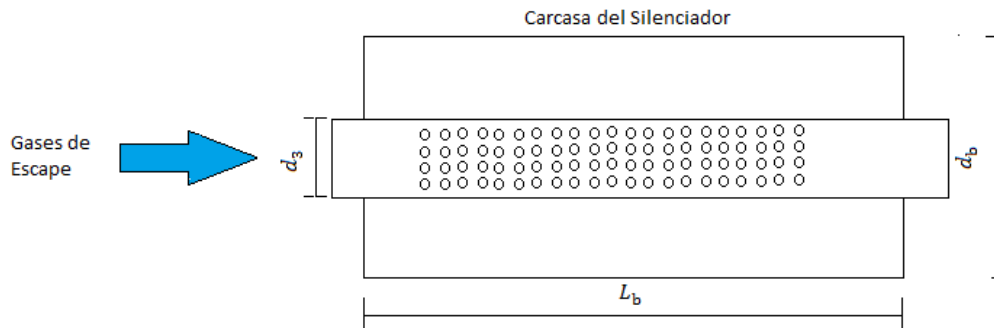


Figura 23 Silenciador resonante

En la Figura 23 se observa que las dimensiones que se necesitan para el silenciador tipo resonante son:

d_3 que corresponde al diámetro de la tubería de escape,

L_b que corresponde a la longitud del silenciador,

d_b que corresponde al diámetro del silenciador.

Entonces, el volumen de cavidad resonante (V_b) viene dado por:

$$V_b = A_b \times L_b - \frac{\pi \times L_b \times (d_3 + 2 X_t)^2}{4} \quad \text{Ecuación 2 (Blair, 1996)}$$

en dónde;

X_t corresponde al espesor de la pared del silenciador.

A_b Corresponde al área del silenciador

La frecuencia natural resonante (f_{sr}) de los sistemas de lado resonante viene dada por:

$$f_{sr} = \frac{a_0}{2\pi} \times \sqrt{\frac{K_h}{V_b}} \quad \text{Ecuación 3 (Blair, 1996)}$$

Donde K_h es la conductividad de los agujeros y está dada por:

$$K_h = \frac{N_h \times A_h}{X_t + 0.8 A_h} \quad \text{Ecuación 4 (Blair, 1996)}$$

Para la atenuación o pérdida de transmisión de sonido se tiene la ecuación:

$$\beta_{tr} = 10 \log (1 + Z^2) \quad \text{Ecuación 5 (Blair, 1996)}$$

3.3.5 Cálculos para el diseño del cuerpo del silenciador.

Para dimensionar el cuerpo del silenciador, que está conformado por la cámara de resonancia más grande, se calcula primero la velocidad de resonancia de los gases aplicando la Ecuación 1

$$a_0 = \sqrt{1.4 * 287 \frac{J}{Kg * K} * (402 + 273.15)K}$$

$$a_0 = 520.84 \frac{m}{s} = 20505.9 \frac{in}{s}$$

El silenciador resonante trabaja a frecuencias mayores a 1000Hz, es por esto que se selecciona una frecuencia de trabajo de 2000Hz.

Se halla la relación entre $\frac{K_h}{V_b}$ que representa la conductividad del número de agujeros y el volumen del cuerpo principal del silenciador. utilizando la ecuación 3

$$f_{sr} = \frac{a_0}{2\pi} \times \sqrt{\frac{K_h}{V_b}} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$2768 \text{ Hz} = \frac{20505.9 \frac{\text{in}}{\text{s}}}{2\pi} * \sqrt{\frac{K_h}{V_b}}$$

$$0.6128 \frac{\text{Hz}}{\frac{\text{in}}{\text{s}}} = \sqrt{\frac{K_h}{V_b}}$$

$$\frac{K_h}{V_b} = 0.3755$$

Con esta relación se procede a seleccionar una atenuación de 22db que de acuerdo con la

Figura 24

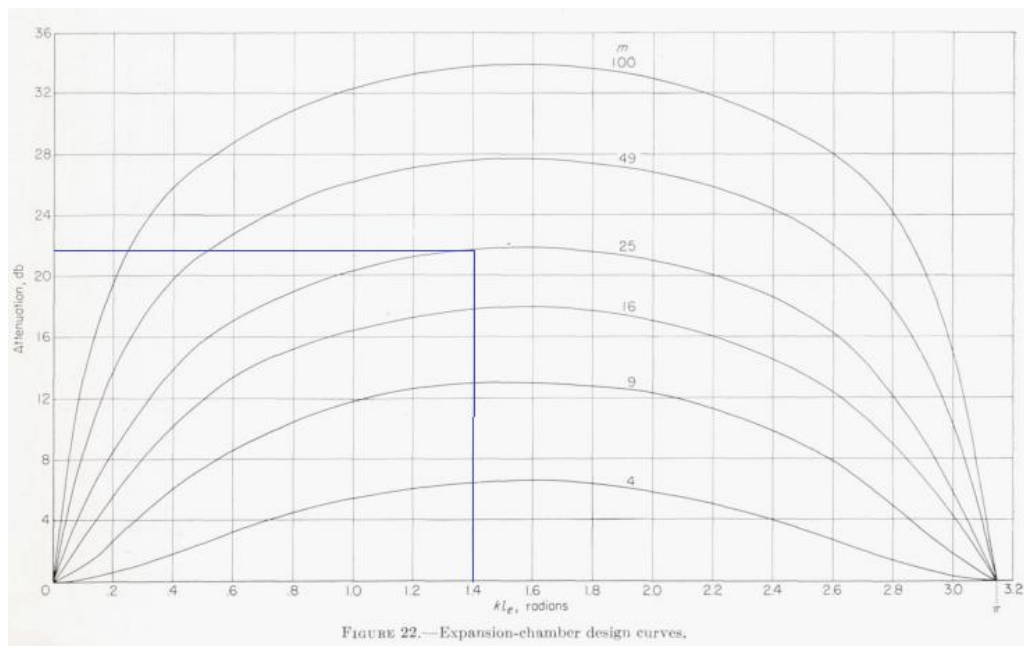


Figura 24 Curvas para diseño

Al seleccionar 22 dB se tiene un $kL_e = 1.4$ y una $m = 25$. Se escogen estos valores para tener una contrapresión pequeña.

$$kle = \frac{2\pi * L_b * f}{a_0}$$

Ecuación 6 (Blair, 1996)

en dónde;

kle es una constante;

L_b que corresponde a la longitud del silenciador,

a_0 corresponde a la velocidad de propagación

f corresponde a la frecuencia de trabajo del silenciador

Despejando L_b :

$$L_b = \frac{kle * a_0}{2\pi * f}$$

$$L_b = 18.24 \text{ in}$$

El diámetro del tubo de escape $d_3 = 1\frac{1}{4} \text{ in}$, por lo que el diámetro de la cámara viene dado

por:

$$d_b = d_3 \sqrt[2]{m} \quad \text{Ecuación 7 (Blair, 1996)}$$

$$d_b = 5\frac{1}{4} \text{ in}$$

En donde:

d_3 que corresponde al diámetro de la tubería de escape

d_b que corresponde al diámetro del silenciador.

Se establece un $X_t = 2\text{mm} = 0.078\text{ in}$

Una vez obtenidos estos valores de acuerdo se obtiene que:

$$\frac{\sqrt{a_0 * V_b}}{2 * A_b} = 32 \text{ Ecuación 8 (Blair, 1996)}$$

Una vez obtenidos estos valores la frecuencia del silenciador f_c viene dado por:

$$f_c = \frac{f_r}{\sqrt{1 + \frac{\sqrt{a_0 * V_b} * K l e}{2 * A_b}}} \quad \text{Ecuación 9 (Blair, 1996)}$$

$$f_c = 18577.18 \text{ Hz}$$

Con esta frecuencia se calcula:

$$\sqrt{\frac{a_0}{V_b}} = \frac{2\pi * f_c}{a_0} \quad \text{Ecuación 10 (Blair, 1996)}$$

Donde:

a_0 corresponde a la velocidad de propagación

f_c es la frecuencia del silenciador

$$\sqrt{\frac{a_0}{V_b}} = 5.69 \frac{s}{ft} = 68.28 \frac{s}{in}$$

$$\sqrt{a * V_b} = 1.25 * A_b * \frac{\sqrt{a_0 * V_b}}{2 * A_b}$$

$$\sqrt{a_0 * V_b} = 0.341 \frac{ft^2}{s^2} = 49.10 \frac{in^2}{s^2}$$

Al multiplicar las ecuaciones anteriores se tiene el valor de a_0 y V_b

$$a_0 = 1.94 \frac{ft}{s} = 23.29 \frac{in}{s}$$

$$V_b = 0.055 ft^3 = 95.04 in^3$$

El largo de tubería l_t que se debe antes del tubo de escape viene dado por:

$$l_t = \frac{a_0}{2*f} \quad \text{Ecuación 11 (Blair, 1996)}$$

Donde:

a_0 corresponde a la velocidad de propagación

f corresponde a la frecuencia de trabajo del silenciador

$$l_t = 61.51 in$$

3.3.6 Cálculos para el diseño de las cámaras internas del silenciador.

$$l_i = 8 * d_3 \quad \text{Ecuación 12 (Tunning, 2002)}$$

En donde:

d_3 que corresponde al diámetro de la tubería de escape

$$l_i = 25.36 cm$$

3.3.7 Diseño de mecanismos para la variación de sonido.

Una vez realizado el cálculo del silenciador que va a disminuir un máximo aproximado de 20 a 22 dB se diseña una aleta que tenga las características que se muestran en la Figura 25 de tal manera que se obligue a los gases a entrar en las cámaras de resonancia.

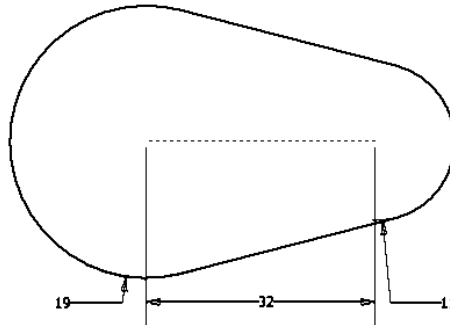


Figura 25 Aleta para control de sonido



3.4 Diseño Electrónico.

Para el diseño electrónico se utilizará Arduino con diferentes sensores que serán seleccionados a continuación.

3.4.1 Selección del motor.

Para mover el mecanismo se tomaron en cuenta dos motores: motor a pasos o servo motor que tienen las características que se presentan en la Tabla 11.


Tabla 11*Moto a pasos y Servomotor*

Imagen	Motor a Pasos	Servomotor
		
Nombre Comercial	Bipolar Nema 17	DY-S0213MG 13 KG
Torque	2,8 N.cm	13 Kg.cm
Amperaje	3 amperios	1,5 amperios
Voltaje	12 V	4,8 V - 7,2 V
Disponibilidad	Inmediata	Uno a dos meses
Costo	15	25,5

Fuente: (Electronics, 2015)

Ya que en esta aplicación no es necesaria mucha velocidad ni torque, se va a utilizar el motor a pasos Nema 17 porque este cuenta con un eje mucho más largo lo que permitirá que el sistema de engranajes pueda anclarse sin necesidad de la construcción de otra estructura.

Tabla 12*Características Driver TB6560*

Driver	
	
Corriente pico de operación	4 amperios
Corriente de operación constante	3 amperios
Voltaje de motor	12 - 24 V
Voltaje de activación	5 V
Costo	20

Fuente: (Electronics, 2015)

El motor a pasos Nema 17 funciona con una corriente de 3 Amperios por lo cual se selecciona el driver TB6560 que tiene las características técnicas que se muestran en la Tabla 12




3.4.2 Selección del sensor.

En el silenciador se tienen dos variables importantes a medir, el sonido en dB que tiene el mismo, así como también la posición en de variación de la aleta reguladora del paso de gases de escape hacia el silenciador.

3.4.3 Selección del sensor de sonido.

Para la selección del sensor de sonido se tomaron en cuenta tres sensores disponibles en el mercado con las características que se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13
Sensores de sonido

Sensor de sonido	KY-038	LM324	JTS1357
Imagen			
Tipo de sensor	Analógico y digital	Analógico	Analógico
V de salida	0 - 5 V	0-5	0- 1,3V
Voltaje de entrada	0 - 6 V	0-24 V	6V
Costo	5	4,5	95
Temperatura	15 - 100 °C	15- 60 °C	8-125 °C

Fuente: (Fairchild, 2012)

El sensor a utilizar para conocer el sonido del silenciador va a ser el JTS1357 ya que este soporta temperaturas más altas y tiene una resolución de 0.1 dB, lo que permite que este sea colocado de acuerdo a la norma “límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles, y para vibraciones” (Presidencia_de_la_República, 2003).

3.5 Diseño de control

El diseño del control se lo realiza una vez la planta no sufra modificaciones mecánicas adicionales de esta manera garantizamos un correcto modelamiento matemático, para el modelamiento matemático de la planta se utilizó el método de Ziegler Nichols el cual consiste en aplicar un paso fijo al actuador de la planta en lazo abierto, con un sensor los datos son adquiridos con un tiempo de muestreo uniforme y hacer el modelado de la planta con los datos obtenidos. (Ibarra, Apuntes de Clase, 2016)

3.5.1 Método clásico de ajuste de Ziegler-Nichols

El método se resume en ensayar al sistema en lazo abierto con un escalón unitario, se calculan algunos parámetros, como la máxima pendiente de la curva y el retardo, y con ellos establecemos las ganancias del controlador PID. (Ogata, 2010)

3.5.2 Método basado en la Curva Reacción

Muchos fenómenos físicos pueden describirse satisfactoriamente por el modelo matemático:

$$G_0(s) = \frac{K \cdot e^{-Ls}}{Ts+1} \quad \text{Ecuación 13 (Ogata, 2010)}$$

Donde

K es el valor final

T constante de tiempo al 63.2% del valor final

L tiempo de retardo

Este modelo puede ser obtenido mediante un experimento, con la planta a lazo abierto, llevar a la planta a un punto de operación normal. Se dice que la salida de la planta se estabiliza en $y(t) = y_0$ para una entrada constante $u(t) = u_0$. En el instante inicial t_0 , aplicar un cambio en la entrada escalón, desde u_0 a u_1 (esto debería ser en un rango de 10 al 20% de rango completo). Registrar la salida hasta que se estabilice en el nuevo punto de operación. (Ogata, 2010)

3.5.3 Procedimiento experimental

Para el procedimiento experimental se utilizó un sonómetro JTS1657 como sensor del sistema para la parte experimental que se ubicará a una distancia de un metro desde la salida del silenciado con un ángulo de 15 grados para la de medición de sonido de acuerdo a la norma “*límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles, y para vibraciones*” (Presidencia_de_la_República, 2003)

La adquisición de datos es fundamental para realizar el modelamiento de forma experimental y más aún en sistemas con alta velocidades de respuesta ante un cambio en la entrada, para realizar la adquisición de datos se usó la tarjeta NI USB – 6009.

La tarjeta NI – USB – 6009 tiene 8 entradas análogas (AI), 2 salidas analógicas (AO) a 150Hz, 13 entradas y salidas digitales (DIO), conexión USB 2.0 y 48 kS/s. (Instruments, 2017)

Los datos obtenidos para la tabla que se muestra en el Anexo 1 son la salida del sensor de sonido en mili voltios y el tiempo en que se registró cada dato, con ellos podemos graficar la respuesta escalón de la planta como se muestra en la Figura 26

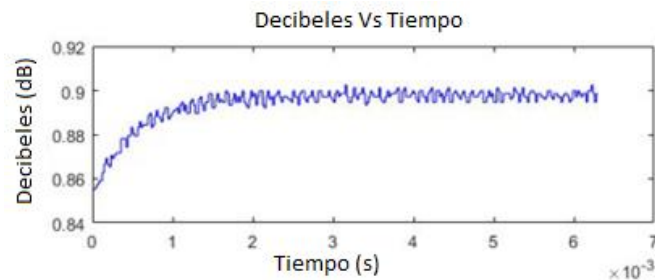


Figura 26 Datos Obtenidos Decibelios vs Tiempo

La Figura 26 muestra la variación en decibelios a lo largo del tiempo mientras el actuador modifica su posición angular desde 85 dB que corresponden al 20% de la salida en dB hasta 89 dB.

Con los datos obtenidos y mediante software computacional se calculó la función de transferencia que representa el comportamiento del sistema en tiempo real, así la función de transferencia de primer orden es:

$$\mathbf{G_{planta}(s) = \frac{-0.04474 s + 1065}{3.004e^{-6} s^2 + 1.072 s + 2.381e^4} \text{ Ecuación 14}}$$

La respuesta de la planta a un step se la puede observar en la Figura 27

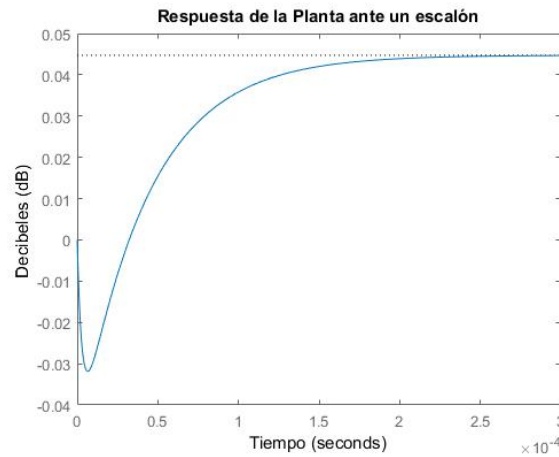


Figura 27 Resposta de la planta al Escalón

Esta respuesta en escalón muestra que la planta no cuenta con sobre picos y tiene un tiempo de estabilización de 2 segundos.

3.5.4 Diseño de los controladores P, PI, PID

La acción de control se diseñó para tres de controladores modernos y un controlador clásico, el control proporcional (P) seguido del control proporcional e integral (PI), control proporcional integral derivativo (PID) y por último un controlador clásico todo o nada de banda muerta.

Para determinar los valores de la ganancia K_p , de T_i y de T_d basado en las respuestas se imponen los siguientes parámetros expuestos en la Tabla 14

Tabla 14

Parámetros de rendimiento

Parámetro	Valor
M_p	5%
T_{ss}	Menor que 3s
E_{ss}	2dB

Una vez que se tienen estos valores se va calcular la K crítica de acuerdo al segundo método de Ziegler Nichols. (Ogata, 2010), para esto se trata a la planta con retroalimentación y se obtienen periodo y la frecuencia natural.

$$1 + \frac{\frac{K(-0.04474s + 1065)}{3.004e^{-6}s^2 + 1.072s + 2.3814e^{-4}}}{3.004e^{-6}s^2 + 1.072s + 2.3814e^{-4}}$$

$$\frac{K(-0.04474s + 1065)}{(3.004e^{-6}s^2 + 1.072s + 2.3814e^{-4}) + K(-0.04474s + 1065)}$$

Tomando solamente el denominador

$$3.004e^{-6}s^2 + (1.072s - 0.04474 K)s + 2.3814e^{-4} + 1065K =$$

s^2	$3.004e^{-6}$	$2.3814e^{-4} + 1065K$
s^1	$1.072s - 0.04474 K$	0
s^0	$2.3814e^{-4} + 1065K$	

Entonces

$$2.3814e^{-4} + 1065K > 0$$

$$K > -2.2361e^{-7}$$

$$1.072s - 0.04474 K > 0$$

$$K < 23.96$$

$$K_{cr} = 23.96$$

Reemplazo K_{cr}

$$3.004e^{-6}s^2 + (1.072s - 0.04474 K)s + 2.3814e^{-4} + 1065K = 0$$

$$3.004e^{-6}s^2 + 2.55e^4 = 0$$

$$s = jw$$

$$3.004e^{-6}(jw)^2 + 2.55e^4 = 0$$

$$3.004e^{-6}w^2 + 2.55e^4 = 0$$

$$w = 0.0922$$

$$P_{cr} = T = \frac{2\pi}{w} = \frac{2\pi}{0.0922} = 68.14$$

Parámetros de controlador P

Para el control proporcional $G_c(s)$ se tiene que:

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + G_c(s) * s \right) \quad \text{Ecuación 15 (Ogata, 2010)}$$

En donde:

K_p es la constante proporcional

T_i tiempo de integración

T_d tiempo derivativo

$$G_c(s) = K_p = 0.5K_{cr}$$

$$Kp = 11.98$$

Una vez implementado este controlador proporcional se obtiene la respuesta escalón de la planta que se muestra en Figura 28

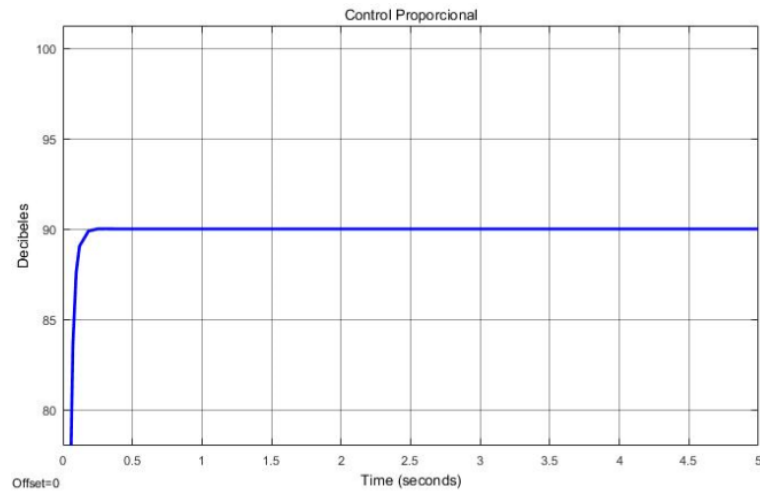


Figura 28 Respuesta al escalón de la planta con controlador P

Al aplicar este controlador se observa que no hay sobre pico y que se estabiliza en 0.5 segundos por lo que no es necesario realizar una sintonización de la planta.

Parámetros de control PI

En donde para el control proporcional integral es:

$$Gc(s) = Kp(1 + \frac{1}{Ti*s} + Td * s) \quad \text{Ecuación 16 (Ogata, 2010)}$$

En donde:

Kp es la constante proporcional

T_i tiempo de integración

T_d tiempo derivativo

$$Kp = 0.45 * Kcr = 10.78$$

$$Ti = \frac{1}{1.2} * Pcr = 56.78$$

$$Td = 0$$

$$Ki = \frac{Kp}{Ti} = 0.1898$$

Al implementar el control PI a la planta se obtiene la respuesta al escalón de la Figura 29 en donde se observa que existe un sobre pico de 0.05% de y un tiempo de estabilización de 2 segundos por lo que no es necesario realizar sintonización.

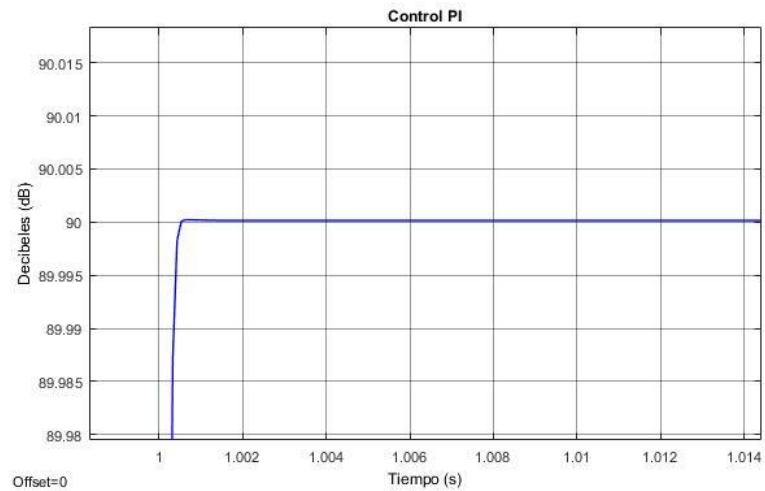


Figura 29 Respuesta al escalón de la planta con controlado PI

Parámetros de control PID

Para el control PID se deben calcular Kp , Ki y Kd .

$$Gc(s) = Kp(1 + \frac{1}{Ti*s} + Td * s) \quad \text{Ecuación 17 (Ogata, 2010)}$$

En donde:

Kp es la constante proporcional

T_i tiempo de integración

T_d tiempo derivativo

$$K_p = 0.6 * K_{cr} = 14.37$$

$$T_i = 0.5 * P_{cr} = 34.07$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = 0.4217$$

$$T_d = 0.125 * P_{cr} = 8.5175$$

$$K_d = K_p * T_d = 122.39$$

Al implementar este controlador a la planta se tiene un tiempo de estabilización de 1s por lo que no es necesario realizar su sintonización que se ve en la Figura 30

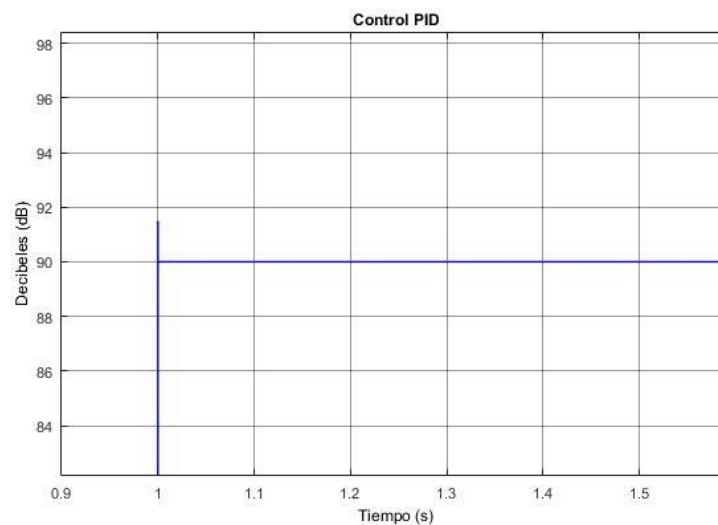


Figura 30 Respuesta al escalón de la planta con controlador PID

3.5.5 Selección del controlador

En la selección del controlador se debe tener en cuenta la variable controlada que no es más que el actuador que permite realizar la acción de control, en el Capítulo 3 literal 3.3.1.1 Selección de motor se escogió un motor a pasos el cual nos brinda gran exactitud de posición y adaptabilidad mecánica.

Se pretende hacer la selección del controlador entre control Clásico (Todo o Nada) y controladores robustos sea Proporcionales, Integrales, Proporcional Integral, Proporcional Integral Derivativo.

Más del 70% de controles implementados en industria se satisfacen con un control Clásico (Todo o nada). (Ibarra, Apuntes de Clase, 2016).

Tabla 15

Selección de controlador

	Control Clásico	Control Moderno
Característica	Este tipo de control puede implementarse en sistemas en los cuales la oscilación propia del controlador no afecta al elemento de control final	Tienen grandes ventajas de control ante un control clásico por tener mejor tiempo de respuesta y ser más robustos. Ocupan más recursos de control
Implementación	Aplicable a sistemas de poca exactitud	Recomendado para sistemas de alta exactitud
Actuador	Apto para el control en un motor a pasos	No apto para un motor a pasos por la operatividad propia de dicho motor

Fuente: (Ogata, 2010) (Ibarra, Subsistema Sensorial, 2016)

En la Tabla 15 hizo una comparación y se determinó se seleccionó un control Clásico de banda muerta (Todo o nada) porque se puede implementar en el actuador seleccionado en el Capítulo 3 que hace referencia a un motor a pasos Nema 17.

3.6 Diseño de programación.

Para la programación se diseñarán dos interfaces: una para la toma de datos de la planta en lazo abierto y otra para la aplicación del silenciador. La interfaz diseñada para el usuario contará con dos modos de funcionamiento: una real y una experimental, mientras que la interfaz de toma de datos solamente graficará los datos obtenidos de la daq y los exportará a una hoja de cálculo.

3.6.1 Diseño de Interfaz para la toma de datos.

Para la toma de datos se diseña y programa una interfaz que se comunica con la daq NI6009 para la obtención de datos en tiempo real del sensor, además esta interfaz permite la gráfica de los datos obtenidos y su exportación a una hoja de cálculo de los datos obtenidos. Esta interfaz se la puede observar en la Figura 31

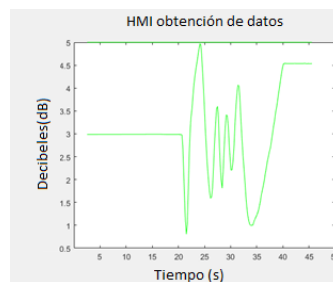


Figura 31 Gráfico de la toma de datos de la HMI

3.6.2 Diseño de Interfaz para control y funcionamiento de la planta.

Para el control se realizó una interfaz con el fin de que se pueda seleccionar un set point entre 80 y 101 dB que es la variación máxima de dB a altas revoluciones de la planta.

En esta interfaz se utilizará la Norma GEDIS, la misma que establece algunos parámetros para la creación de la interfaz.

El primer parámetro a considerar es la distribución de los objetos de la HMI que se encuentra explicado en la Figura 32

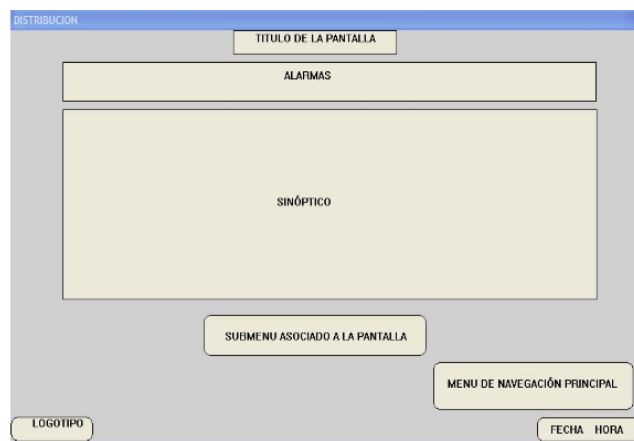


Figura 32 Distribución de los objetos en la HMI (Ponsa & Granollers, 2010)

Otros aspectos importantes que se recalcan en la norma es el uso de solamente 3 tamaños de letra, y fuente MSSherif. (Ponsa & Granollers, 2010)

Para la implementación de la HMI se tienen dos modos de funcionamiento: uno experimental y uno real. Estos modos de trabajo serán seleccionados por el usuario con un selector ubicado en la parte inferior izquierda que se muestra en la Figura 33

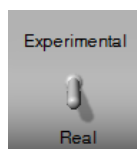


Figura 33 Selector de modo de funcionamiento de HMI

Si se selecciona el modo de funcionamiento experimental se tiene la interfaz que se muestra en la Figura 34



Figura 34 HMI modo experimental

En este modo de operación se presentan cinco indicadores en la parte superior que se muestran en la Figura 35. Los dos primeros son utilizados para informar al usuario si está trabajando en modo real o experimental, los otros tres permiten al usuario saber si el nivel de sonido ya llegó a la posición deseada o no.

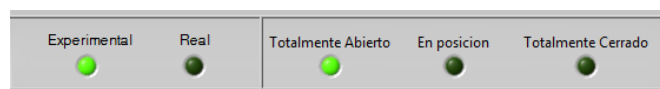


Figura 35 Indicadores de funcionamiento modo experimental

En la parte inferior se muestra Figura 36 que contiene la gráfica que mostrará los decibeles en tiempo real.

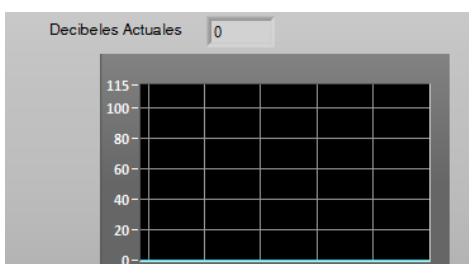


Figura 36 Gráfico de Decibeles en tiempo real

Además de esto se activa en el panel de control la introducción de Revoluciones y decibeles deseados de tal manera que se pueda establecer el set point de la planta. Figura 37

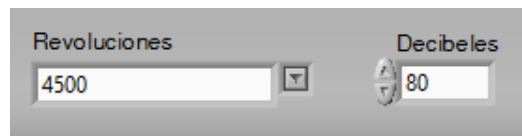


Figura 37 Ingreso de valores para funcionamiento de la planta.

De estar activado el modo de funcionamiento real en el panel de indicadores se activan, alto medio o bajo dependiendo de la selección del usuario como se muestra en la Figura 38



Figura 38 HMI en modo real.

En este modo de funcionamiento se tiene una lista de selección para que el usuario pueda tener tres diferentes niveles de sonido: alto, medio, bajo.

3.6.3 Diagrama de flujo implementado en la HMI.

En el diagrama de flujo que se presenta en la Figura 39 muestra el modo de funcionamiento de la interfaz y la acción que realiza el actuador en los diferentes modos de funcionamiento de acuerdo a la selección del usuario.

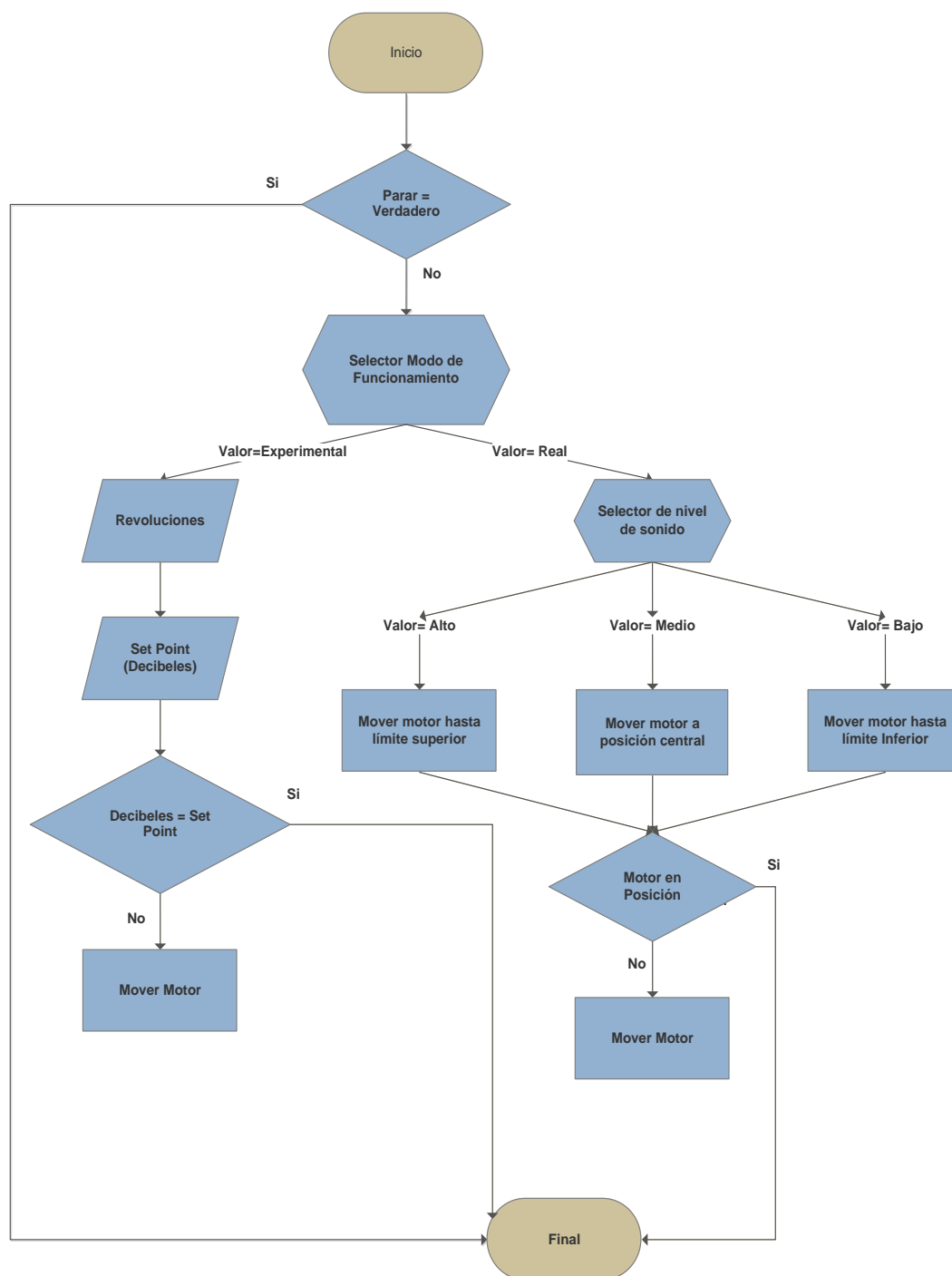


Figura 39 Diagrama de flujo de programación

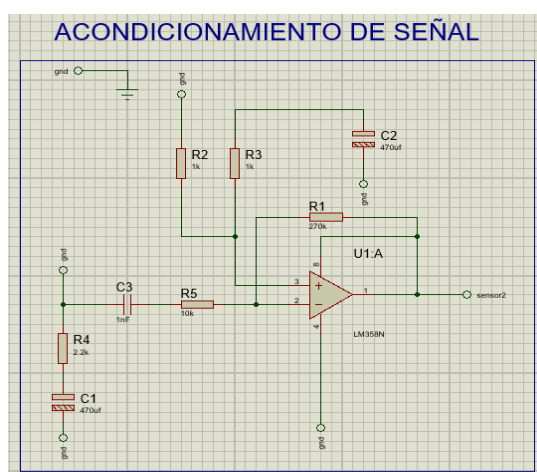
3.6.4 Diseño electrónico.

En este apartado se diseña un circuito electrónico para conectar todos los componentes electrónicos seleccionados en el capítulo 3 los cuales se muestran en la Tabla 16:

Tabla 16.*Elementos Implementados*

Función	Nombre del componente
1. Controlador	1. Arduino UNO R3
2. Driver de actuador	2. TB6560
3. Sensor de Sonido	3. JTS1357
4. Fin de Carrera	4. Potenciómetro de Precisión
5. Accionamiento del Actuador	5. Motor paso a paso NEMA 17
6. PCB	6. Tarjeta electrónica tipo Shield para Arduino UNO

Para la integración de todos los componentes al controlador fue necesario diseñar un circuito electrónico que nos permita interconectar el driver del motor, el motor paso a paso y sensores, para este propósito se diseñó una placa PCB (tarjeta electrónica) tipo Shield la cual encaja en los todos los terminales del Arduino Uno, en la Figura 40 se detalla el esquema de circuito para el acondicionamiento de la señal

**Figura 40** Diseño de la placa PCB

El acondicionamiento de la señal se la realiza con el amplificador operacional LM385 y su circuito básico especificado en el Anexo 2 del datasheet, el LM385 sus aplicaciones en Audio frecuencias por su ganancia de fase de 100dB. (Electronics, 2015)

La señal acondicionada ingresa al controlador por la entrada analógica número 5 del Arduino como se muestra en la Figura 41 la cual corresponde a la misma entrada en la PCB tipo Shield, también se incorporó puertos tipo hembra los cuales nos permitirán hacer las conexiones como si se tratase de un Arduino Uno normal con la ventaja que el circuito estará ubicado en el centro de la PCB.

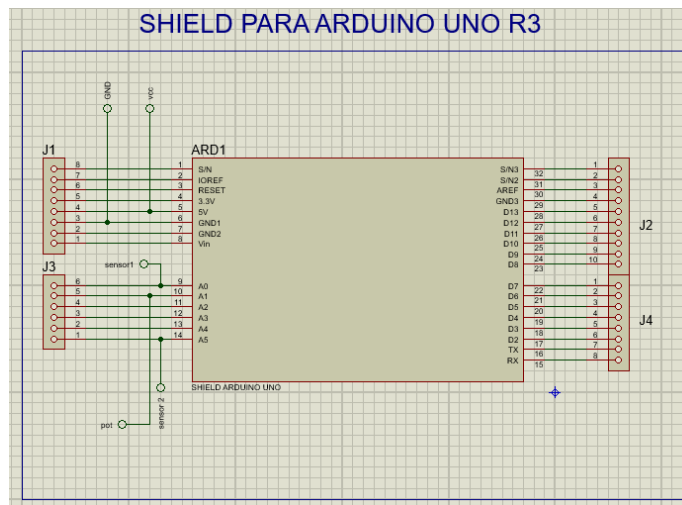


Figura 41 Shield para Arduino

Para la comunicación con el sensor se agregaron entradas tanto para el sensor JTS1357, fin de carrera y se aumentaron salidas de voltaje y tierra del controlador como se muestra en Figura 42

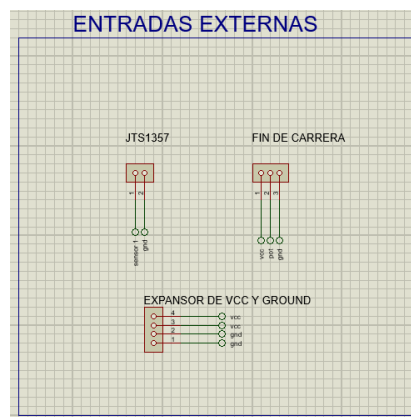


Figura 42 Entradas de Sensores

En la Figura 43 se muestra el diseño final de la PCB tipo Shield en el software computacional.



Figura 43 Simulación de la PCB

En la Figura 44 se muestra la PCB tipo shield terminada y conectada a un arduino uno.



Figura 44 PCB

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS.

4.1. Construcción e implementación

En este capítulo se muestra la construcción e implementación del silenciador de sonido variable, así como también los resultados obtenidos del funcionamiento del control implementados.

4.1.1. Construcción e implementación de la parte mecánica.

Para la construcción de la estructura del silenciador se utilizó el laboratorio de máquinas y herramientas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y se alquiló un torno en el taller “Maestro Wiwi”.

La primera parte que se construyó es la cámara interior la misma que fue realizada con dos tubos de acero inoxidable, uno de 1 ¼ inch y otro de 4 ¼ inch de acuerdo al diseño.

Una vez realizados y lijados los tubos para construir el cuerpo del silenciador, se proceden a realizar las bridas, a partir de tres tortas de acero inoxidable las mismas que se muestran en Figura 45



Figura 45 Totas de acero inoxidable de 5 ¼ inch y 2 ¼ inch

La función de las bridas es permitir la instalación y acople del silenciador en el tubo de escape. Una vez maquinadas las tortas se obtienen las bridas que aparecen en la Figura 46



Figura 46 Breda de acero inoxidable

El silenciador cuenta también con una tapa en forma de brida como se observa en la Figura 47, la misma que permite el acople del actuador (motor) al sistema de tal manera que el sonido que entra a la cámara varíe de acuerdo al movimiento de la aleta.



Figura 47 Breda de soporte para el actuador.

Una vez construida la tapa se procede a dar forma al soporte del actuador el mismo que irá anclado a la brida como se muestra en la Figura 48



Figura 48 Soporte de motor anclado a brida de sujeción.

Ya teniendo el soporte del motor se procede a anclarla estructura de sujeción para el sensor de posición, quedando el mismo como se aprecia en la Figura 49



Figura 49 Motor y sensor de posición KY-040

Para el acople de las cámaras internas se cortan y doblan placas, las mismas que irán soldadas al interior del cuerpo del silenciador.

El resultado final del ensamble y suelda total de todas las partes se muestra a continuación en la Figura 50



Figura 50 Silenciador acoplado.

A continuación, se realizan pruebas de sonido en donde se comprueba el funcionamiento del silenciador (planta) y se obtiene la variación de sonido en altas revoluciones que es de 100.9 dB hasta 80.4 dB en 4500 rpm.

4.1.2. Construcción e implementación de la parte electrónica.

Para adecuar los componentes electrónicos a un entorno aislado se realizó el diseño e impresión de una caja con las medidas necesarias para que se montada en el soporte del motor paso a paso como se muestra en la Figura 51



Figura 51 Entradas de los elementos electrónicos

La alimentación del sistema se encuentra en la parte superior derecha como se muestra en la Figura 51, en la Figura 52 se muestra la distribución de los componentes electrónicos.



Figura 52 Distribución de componentes electrónicos

El driver TB6560 se utiliza para el control del motor paso a paso en interacción con el Arduino el cual envía una señal digital al pin CW+ del driver para establecer el sentido de giro del motor, otra señal digital al pin CLK+ la cual establece la velocidad de operación controlada por pulsos y los pines CW- y CLK- serán conectados a tierra del Arduino para cerrar el circuito. Las bobinas principales del motor paso a paso se conectan a B-, B+, A-, A+ del driver y se alimenta con 24 voltios, en la Figura 53 se muestra la conexión de los componentes. (Rocha, 2014).

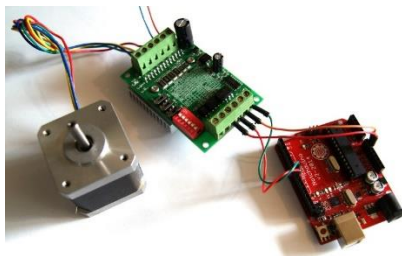


Figura 53 Driver TB6560 con motor a pasos
Fuente: (Rocha, 2014)

4.2. Pruebas y resultados

Para evaluar el funcionamiento y desempeño del silenciador de sonido variable se realizaron dos pruebas. La primera prueba evalúa el rendimiento del motor en dos posiciones, en donde se tiene menos y más sonido para realizar un análisis comparativo de los valores obtenidos sin silenciador y con silenciador. La segunda prueba evalúa el comportamiento experimental y real del silenciador en donde se varia la posición del actuador para obtener un número de decibeles.

4.2.1. Primera Prueba

La finalidad de la primera prueba es establecer cómo afecta la colocación del silenciador en los parámetros de potencia, consumo másico de gasolina y torque en el motor.

Para facilidad de cálculo se considerará en todas las pruebas un brazo de palanca y gasolina constante como se muestra en la Tabla 17

Tabla 17

Brazo de Palanca y Gasolina

Parámetros de cálculo	
Brazo de palanca	265 mm
Gasolina	25 cc

Al tomar los datos sin silenciador se tienen los parámetros que se muestran en la Tabla 18

Tabla 18*Toma de datos sin silenciador.*

Carga	Fuerza	Tiempo	RPM	Torque	Potencia al Freno	Consumo másico de combustible	Decibeles
	[N]	[s]	[rpm]	[N.mm]	[W]	[cc/s]	[dB]
0	10,7	76	3567,63	2835,50	1059,35	246,71	112,64
2	11,8	81,3	3503,32	3127,00	1147,20	230,63	111,20
2	13,5	89,6	2988,62	3577,50	1119,64	209,26	106,10
3	11,7	90,5	3015,25	3100,50	979,00	207,18	104,10
2	14,9	107,8	2503,53	3948,50	1035,17	173,93	99,30
3	17,5	111,2	2498,20	4637,50	1213,22	168,62	97,10
2	15,3	138,6	2013,85	4054,50	855,06	135,28	93,90
3	17,11	140,5	2038,72	4534,15	968,02	133,45	93,60
4	16,7	137,5	1994,18	4425,50	924,18	136,36	93,10
3	16,1	214,8	1479,89	4266,50	661,20	87,29	82,60
4	16,4	200,9	1524,64	4346,00	693,88	93,33	82,20

A continuación, se toman los parámetros del motor con el silenciador colocado, en la Tabla 19 se muestra con el silenciador abierto totalmente y en Tabla 20 cuando los gases son obligados a entrar en las cámaras de resonancia.

Tabla 19*Toma de datos con silenciador totalmente abierto*

Carga	Fuerza	Tiempo	RPM	Torque	Potencia al Freno	Consumo másico de combustible	Decibeles
	[N]	[s]	[rpm]	[N.mm]	[W]	[cc/s]	[dB]
0	10	52,9	4620,79	2650	1282,31	354,44	100,6
0	16,4	53,2	3983,46	4346	1812,92	352,44	99,7
3	10,9	59,6	3510,40	2888,5	1061,84	314,60	92,5
3	14,1	71,4	3026,05	3736,5	1184,05	262,61	88,1
3	15,9	80	2538,75	4213,5	1120,19	234,38	80,2
4	16,1	101,8	2071,71	4266,5	925,61	184,18	78,3
3	16,3	105,3	2023,93	4319,5	915,50	178,06	77,9
4	15,9	158,5	1496,40	4213,5	660,27	118,30	75,3

Tabla 20*Toma de datos silenciador totalmente cerrado*

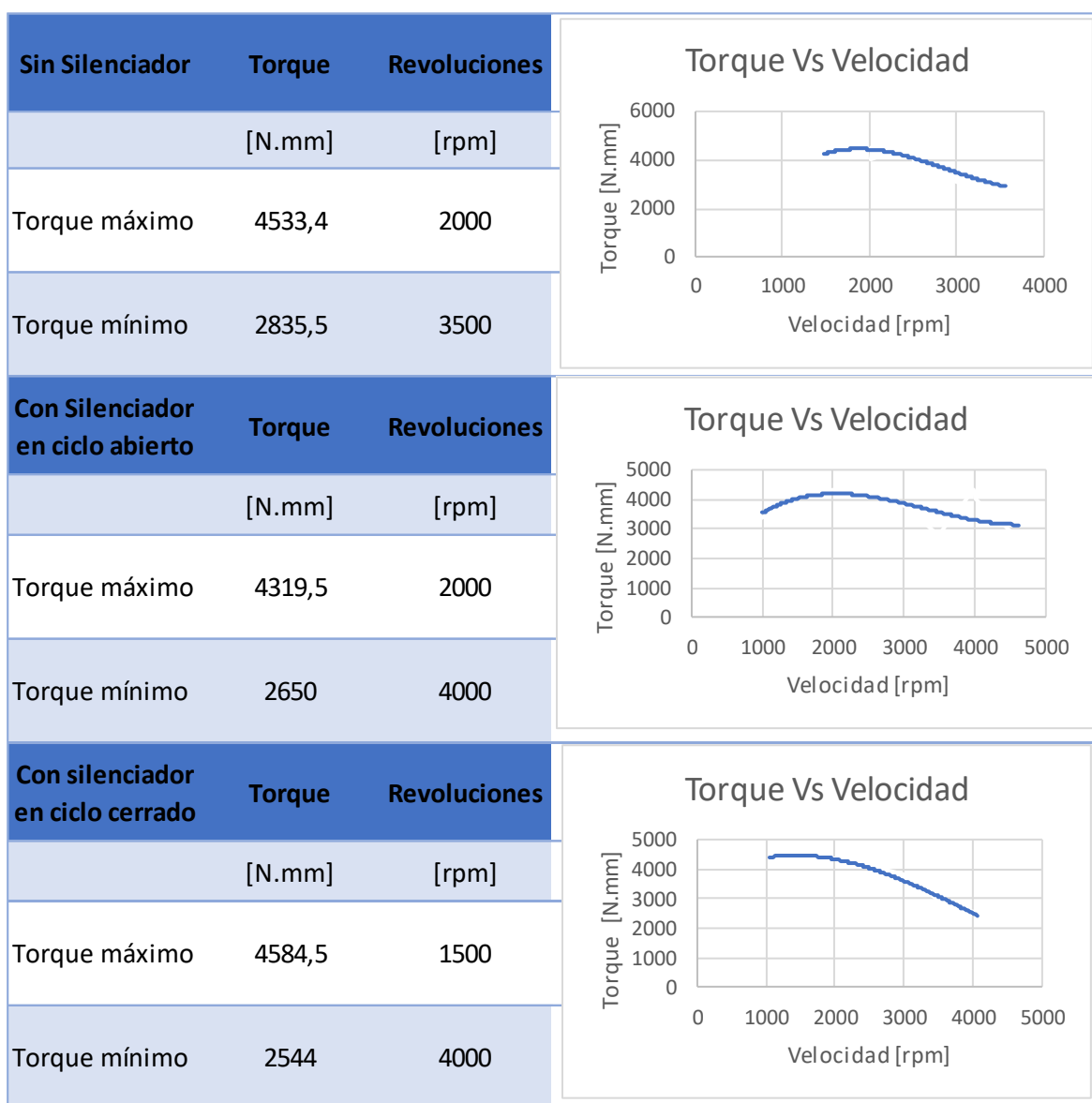
Carga	Fuerza	Tiempo	RPM	Torque	Potencia al Freno	Consumo másico de combustible	Decibeles
	[N]	[s]	[rpm]	[N.mm]	[W]	[cc/s]	[dB]
0	9,6	51,9	4070,52	2544	1084,42	361,27	81,1
2	9,5	54,4	4047,79	2517,5	1067,13	344,67	81,1
3	9,8	55	3945,82	2597	1073,10	340,91	80,5
2	10,6	59,8	3522,74	2809	1036,24	313,55	77,4
3	10,8	58,9	3505,26	2862	1050,56	318,34	76,3
4	11,1	60,7	3523,89	2941,5	1085,48	308,90	77,4
3	14,1	69,6	2990,52	3736,5	1170,15	269,40	74,9
4	14,3	70,5	3005,11	3789,5	1192,54	265,96	75,4
3	15,7	82,1	2468,70	4160,5	1075,58	228,38	73,1
4	15,7	85,5	2501,05	4160,5	1089,68	219,30	71,7
3	16,5	113,2	1927,74	4372,5	882,69	165,64	70,6
4	16,3	109,3	1958,65	4319,5	885,97	171,55	70,5
4	15,5	163,5	1482,57	4107,5	637,71	114,68	68,4
4	17,3	260,3	1041,41	4584,5	499,97	72,03	64,8

De la toma de datos que se obtiene del motor se grafican las curvas de torque vs velocidad, potencia al freno vs velocidad y consumo másico de combustible vs Velocidad y se para el análisis de resultados.

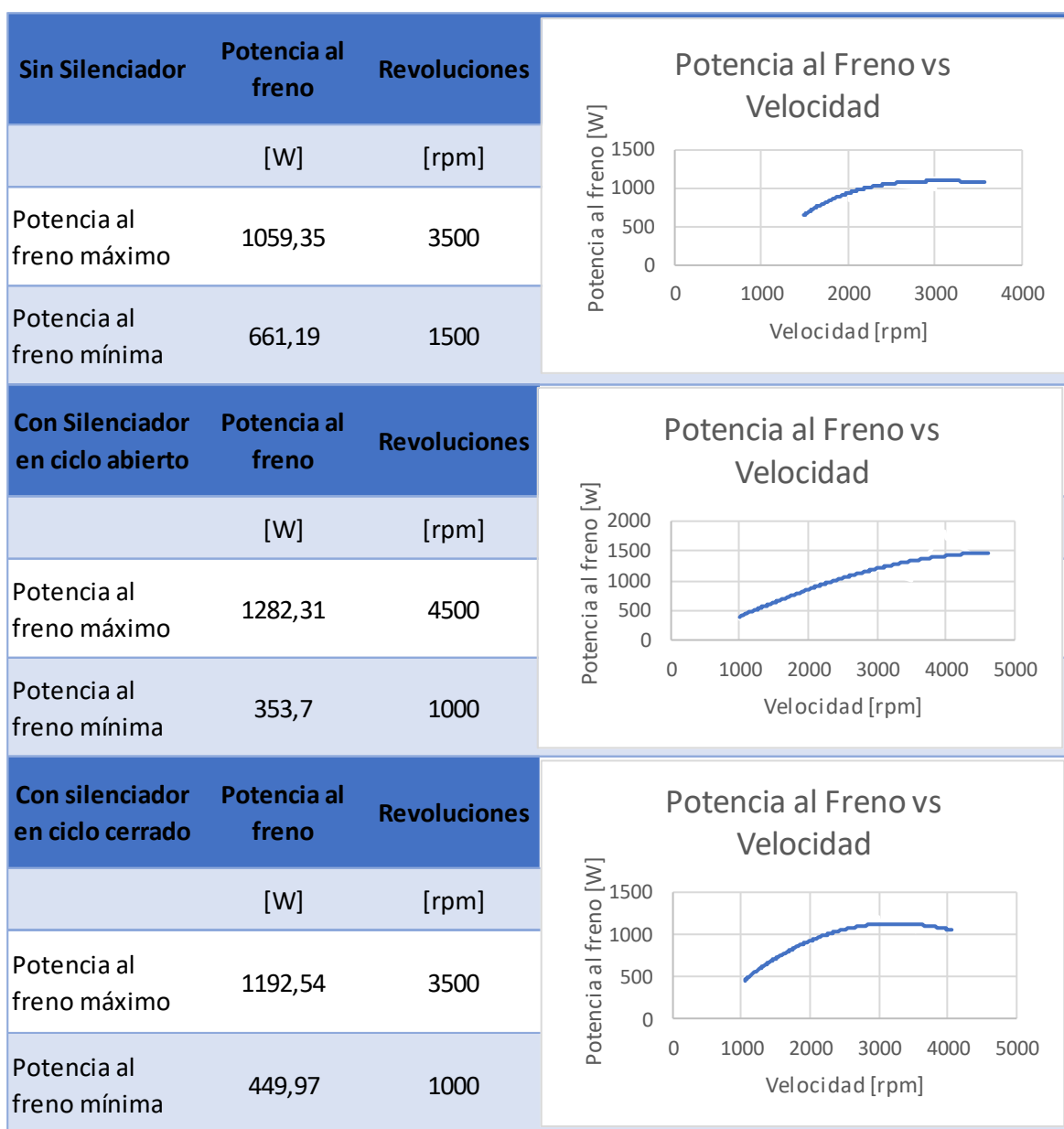
4.2.2. Análisis de resultados de la primera prueba.

Para el análisis de resultados se realiza una tabla comparativa de los valores obtenidos con y sin silenciador. El primer resultado que se va a analizar es la curva torque vs velocidad que se muestra en la Tabla 21

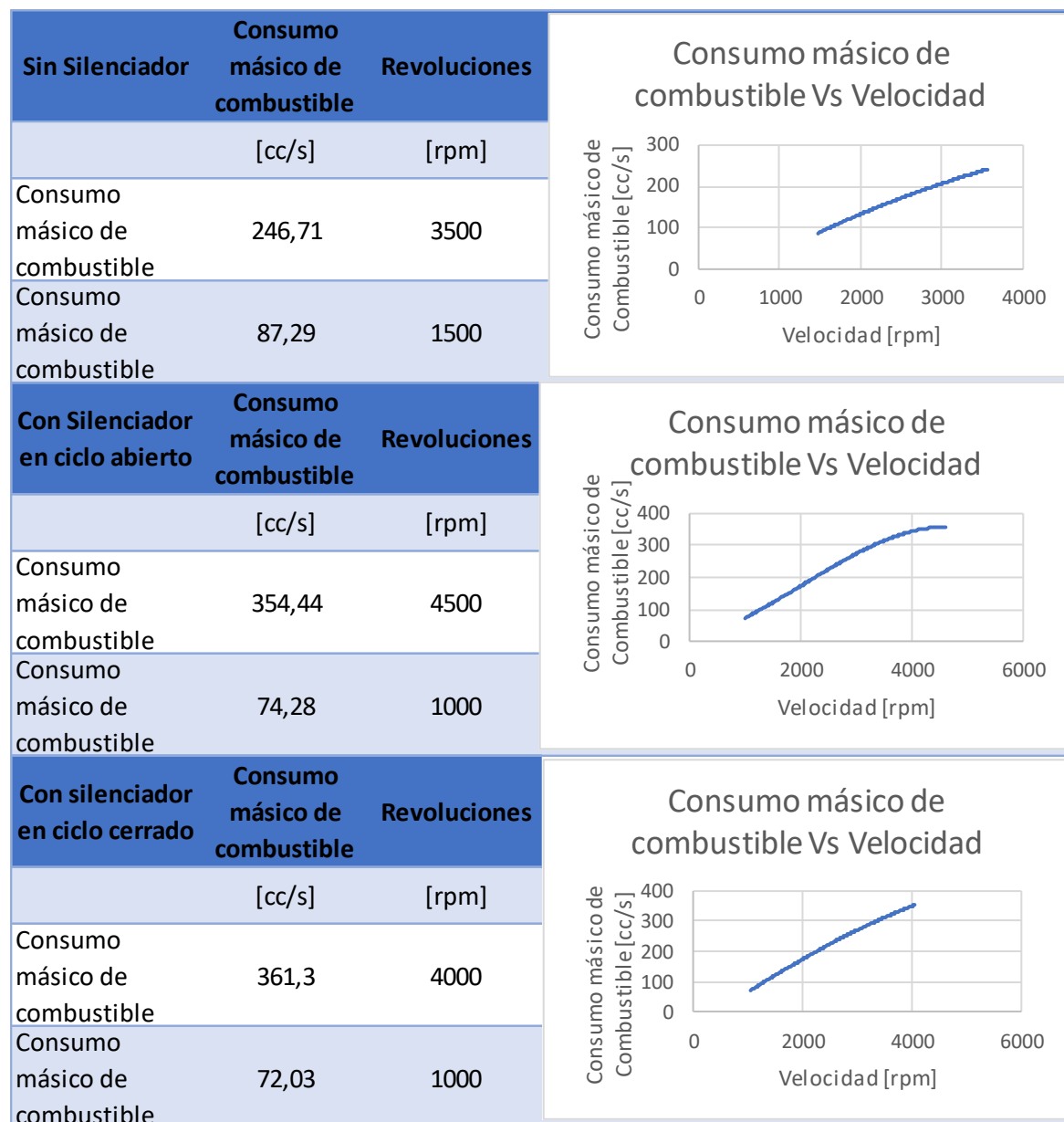
Tabla 21
Gráficos de Torque vs velocidad



De los resultados obtenidos en la Tabla 21 (Torque vs velocidad), se puede concluir que el torque máximo se obtiene con el silenciador en ciclo cerrado y es de un valor de 4584.5 N.mm a una velocidad de 1500 rpm, lo que quiere decir que el motor tiene su mejor rendimiento en su eje principal en este punto de funcionamiento.

Tabla 22*Gráficas potencia al Freno vs Velocidad*

La mayor potencia al freno obtenida es de 1282.31 [W] a 4500 rpm lo que significa que cuando el silenciador está colocado y está en ciclo abierto el motor es capaz de generar la mayor cantidad de trabajo posible como se observa en la Tabla 22

Tabla 23*Consumo másico de combustible vs Velocidad*

El consumo másico de combustible es un parámetro de desempeño de un motor de combustión interna que permite determinar el rango de velocidad en donde el motor está consumiendo más o menos gasolina, en este caso se observa en la Tabla 23 claramente que el motor necesita más combustible cuando el silenciador está colocado por la restricción propia de este

sistema que se encuentra en ciclo cerrado, siendo el valor del consumo másico máximo de 361.3 [Kg/s] a 4000 rpm y el consumo mínimo de combustible es de 261.3 [Kg/s] a 1500 rpm cuando el escape del motor está libre.

4.2.3. Segunda Prueba y análisis de resultados

Para esta prueba se obtuvo la gráfica del control clásico todo o nada como se muestra en la Figura 54 poniendo un set point mediante la interfaz y para su comparación se obtendrá la gráfica simulada en un software computacional como se muestra en la *Figura 55* para realizar el análisis entre las diferentes gráficas.

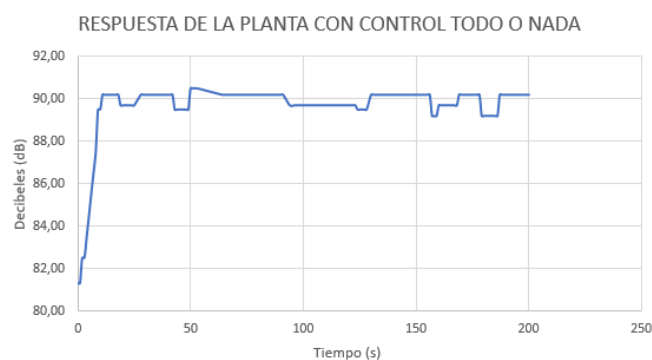


Figura 54 Respuesta de la planta con control



Figura 55 Simulación de respuesta con control de la planta simulada

Se puede observar que en la gráfica real existen perturbaciones indefinidas en la gráfica simulada, esto se debe a que el lugar de experimentación está al aire libre y es propenso a diversas perturbaciones del ambiente las cuales el controlador trata de minimizar, la respuesta es a dichas perturbaciones se evidencia en la gráfica real lo que no pasa en la gráfica simulada la cual es ideal y no existen perturbaciones de ningún tipo.

Entre el segundo 50 y 150 de ambas gráficas se nota un parecido en la acción de control que varía por los motivos antes expuestos, pero mantiene la relación entre la experimentación real vs la simulación.

Se puede observar también que la planta con control en funcionamiento real se estabiliza a los 10 segundos, lo que se debe a que la tarjeta de adquisición en funcionamiento real es un Arduino uno que tiene una comunicación de 9600Hz.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

El siguiente capítulo se encuentra enfocado en determinar el presupuesto utilizado para la ejecución y operación de este proyecto, tomando en cuenta los factores internos y externos que intervinieron en la elaboración de la presente tesis, determinando el costo por unidad en función a una inversión inicial en base a los datos recolectados, tiempo estimado de producción, mano de obra proyectada a un costo total de operación.

Para este análisis es importante indicar que este proyecto fue autofinanciado, se utilizó las instalaciones, equipos de seguridad, herramientas y maquinaria disponible en la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, adicional se realizaron gastos extras para maquinar diferentes piezas y era necesario adquirir algunas herramientas que no se encontraban disponibles en el Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Universidad.

5.1. Análisis económico

En la realización del análisis económico se consideró los datos reales presentados a lo largo de la elaboración del silenciador, tomando como referencia los catálogos de distribuidores nacionales que se muestran en la Tabla 24 de cada uno de los elementos del silenciador.

Tabla 24

Tabla de distribuidores Nacionales

Materiales	Distribuidores Nacionales	Dirección
Acero Inoxidable	Acero Center	Av. Mariscal Sucre
Componentes Electrónicos	All.uC	Vicente Aguirre OE2-80
Insumos de Seguridad	Kywi	Sangolquí

Además, en la construcción del silenciador (parte mecánica), se alquiló un torno y su costo está determinado por el tiempo de trabajo utilizado (hora de trabajo), debido a que el torno que se encuentra disponible en el Laboratorio de Máquinas y Herramientas de la Universidad no tiene el tamaño adecuado de mandril para las dimensiones de una de las piezas principales que se encuentran detallados en el anexo 3 encuentran los planos

Cabe recalcar que se utilizó las instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, por lo que el desglose de algunos rubros no se los realiza al detalle.

Mientras que los gastos que se presentan a continuación están clasificados de acuerdo a su función en el proceso:

5.1.1. Capital de trabajo

Son los gastos que incluyen materia prima, insumos, materiales indirectos, entre otros gastos necesarios para el buen desarrollo del silenciador desde su parte mecánica, hasta el control de este.

5.1.2. Materia Prima

El silenciador está compuesto por los materiales en Acero AISI 304, el cual fue seleccionado considerando todas sus propiedades físicas y los componentes electrónicos se los considero en esta categoría debido a que es necesario su adecuación para el correcto funcionamiento del silenciador. En las Tabla 25 y Tabla 26 se muestra los materiales usados

Tabla 25*Materiales Acero inoxidable*

Acero Inoxidable AISI 304			
NOMBRE	Cantidad	Precio /unidad	Precio total
Tubo de 1 1/4"	1	\$1,00	\$30,00
Tubo de 5 1/4"	1	\$1,00	\$60,00
Tocho de 6"	2	\$16,00	\$32,00
Tocho de 4"	1	\$9,00	\$9,00
Tocho de 3"	2	\$9,00	\$18,00
TOTAL			\$149,00

Tabla 26*Componentes electrónicos*

Componentes electrónicos			
NOMBRE	Cantidad	Precio /unidad	Precio total
Arduino UNO R3	1	\$15,00	\$15,00
Driver TB 6560	1	\$19,50	\$19,50
Motor a pasos	1	\$8,00	\$8,00
Sonometro	1	\$95,00	\$95,00
Encoder	1	\$4,50	\$4,50
Fuente de alimentacion	1	\$25,00	\$25,00
Otros	varios	\$20,00	\$20,00
TOTAL			\$187,00

Total, Materia Prima: \$ 336.00

5.1.3. Materiales indirectos

Se presentan los materiales para dar mejor estética al silenciador y solamente es uno que se muestra en la Tabla 27

Tabla 27*Materiales Indirectos*

MATERIALES INDIRECTOS			
Ítem	Cantidad	Precio /unidad	Precio total
Caja de proteccion de componentes electronicos (Figura 56)	1	\$30,00	\$30,00
TOTAL			\$30,00

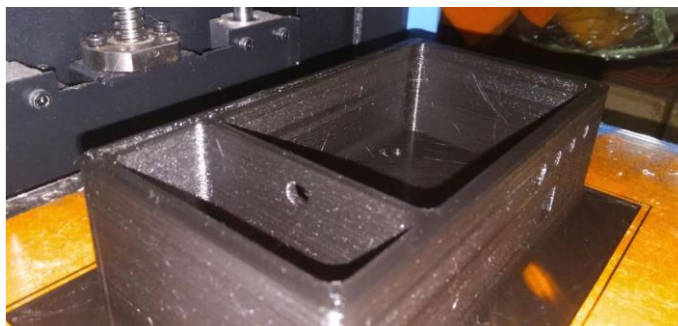


Figura 56 Impresión 3d de caja de protección de componentes electrónicos.

5.1.4. Insumos

Los insumos son todos los servicios básicos y materiales de protección necesarios para la construcción del silenciador y se los presenta en la Tabla 28

Tabla 28

Insumos

INSUMOS			
Servicios			
Ítem	meses	costo/mes	costo total
Agua	6	\$2,00	\$12,00
luz	6	\$2,00	\$12,00
TOTAL			\$24,00
Ítem	cantidad	costo/unidad	costo total
Combustible	10 galones	\$1,30	\$13,00
Insumos de seguridad			
Ítem	cantidad	costo/unidad	costo total
Mascarillas	2	\$1,50	\$3,00
Guantes	2	\$5,00	\$10,00
TOTAL			\$13,00

Una vez sumados todos los insumos se tiene un total de: \$50

5.1.5. Gastos Extras

Son gastos no considerados dentro del presupuesto pero que se tuvieron debido a diferentes factores, en este caso solo se tiene el alquiler del torno que consta en la Tabla 29

Tabla 29
Gastos Extras

GASTOS EXTRAS			
Ítem	Hora	Precio /hora	Precio total
Alquiler de torno	20	\$5,00	\$100,00

5.1.6. Costo total

La inversión realizada para la ejecución de esta tesis fue de \$516, como se ve en la Tabla 30, lo que cubre el valor de todos los componentes que sirven para el buen desarrollo de un prototipo de silenciador de sonido variable para sistemas de escape de motores de combustión interna de 4 tiempos de 200 cc.

Tabla 30
Capital de trabajo

CAPITAL DE TRABAJO	Costo
Materia Prima	\$336,00
Materiales Indirectos	\$30,00
Insumos	\$50,00
Gastos Extras	\$100,00
Total	\$516,00

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se muestran algunas recomendaciones para trabajos futuros y se concluye acerca de los resultados obtenidos.

6.1 Conclusiones.

- La estructura diseñada para el silenciador de tubo de escape de sonido variable para un motor de cuatro tiempos de 200cc construido, es capaz de variar hasta 20 dB a 4500 rpm (altas revoluciones) y hasta 6dB a 2000 rpm (bajas revoluciones).
- Se implementó un algoritmo de control para el funcionamiento experimental el mismo que controla los decibeles de salida de acuerdo a las lecturas del sensor utilizando el método de control clásico todo o nada de banda muerta, estabilizándose a los 10 segundos de ingresado el set point.
- Para el acondicionamiento de la señal del sensor de sonido se utilizó un amplificador operacional LM385 el mismo que permite tener una ganancia de fase de 100dB.
- Se seleccionó como material de construcción acero inoxidable ya que el silenciador se encontrará instalado en el banco de pruebas del laboratorio de motores de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- La diferencia las pruebas realizadas en campo y el modelo matemático de la planta es notable ya que en campo la planta se estabiliza en 10 segundos y el modelo matemático presenta una estabilización en 3milisegundos, esto se debe a que la tarjeta de adquisición de datos y la comunicación con la HMI es de 9600 Hz.
- En los resultados se demostró que la planta se estabiliza en 2 milisegundos en lazo abierto por lo que es necesario tener una tarjeta de adquisición de datos de mínimo 48Ks/s para realizar el modelamiento matemático de la planta.
- Al realizar las pruebas mecánicas se obtuvo que el motor consume un 43% más de combustible solamente colocando el silenciador lo que disminuye la eficiencia del mismo.

- Económicamente se concluye que la realización de un solo silenciador tiene un costo de \$516 dólares, lo que lo hace competitivo en el mercado ya que tiene un control de decibeles y posiciones.

6.2 Recomendaciones.

- El silenciador está realizado con acero inoxidable por lo que se recomienda la realización del mismo en latón para su posterior prueba en un motor de cuatro tiempos de una motocicleta.
- Se recomienda la implementación de pulsadores en lugar de una HMI para la implementación en un automotor ya que el control del mismo puede ocasionar distracciones y por ende accidentes de tránsito.
- Para futuros proyectos se recomienda también realizar el control del motor de 4 tiempos ya que esto haría que los dos sistemas tanto de del silenciado como el del motor se sincronicen y se muevan acorde a los decibeles seleccionados.

REFERENCIAS

- Alfonso, M., Cazorla, M., Colomina, O., Escolano, F., & Lozano, M. (2003). *Inteligencia artificial: modelos, técnicas y áreas de aplicación*. Madrid, España: Thomson. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=_spC6S7UfZgC&pg=PA313&lpg=PA313&dq=definicion+de+sensor&source=bl&ots=sPeqICOxBW&sig=gG36xjsjd_GW6Cno-UssV64kkAQ&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjl15Ham__VAhVF5yYKHTvLDHIQ6AEIazAK#v=onepage&q=definicion%20de%20sensor&f=false
- Blair, G. (1996). *Design and simulation of Two-Stroke Engines*. USA, Warrendake: Society of Automotive Engineers, Inc.
- Bleck, A. (5 de febrero de 2013). *Conocimientos web*. Obtenido de Conocimientos web: <http://www.bolsamania.com/kmph/control-de-valvulas-los-balancines-y-las-valvulas/>
- Carrión, A. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Barcelona, España: Ediciones de la universidad Politécnica de Catalunya.
- Carrión, A. (2006). *Diseño Acústico de espacios aruitectónicos*. Barcelona: UPC. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=YvpoBQAAQBAJ&pg=SA1-PA3&dq=definicion+de+ondas+sonido&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi1u-DlxJHWAhUK2mMKHSCADogQ6AEIPzAF#v=onepage&q=definicion%20de%20ondas%20sonido&f=false>
- Casado, E., Gracia, J., Morales, T., Navarro, J., & José, G. (2014). *Mecánica del Vehículo* (Primera ed.). Asturias, España: Paraninfo. Obtenido de

<https://books.google.com.ec/books?id=rdz7CAAAQBAJ&pg=PA111&dq=catalizador+de+tubo+de+escape&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj4ffm8LjUAhVRfiYKHdXTBtgQ6AEIJjAB#v=onepage&q=catalizador%20de%20tubo%20de%20escape&f=false>

DeGarmo, P., Black, T., & Kohser, R. (2002). *Materiales y procesos de fabricación* (Vol. 1). Barcelona, España, Argentina: Reverté. Obtenido de DEL METAL: <http://www.delmetal.com.ar/productos/laton.html>

Electronics. (2015). *Stm electronics*. Obtenido de Datasheet: <http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=L298n>

Fairchild. (2012). *Fairchild*. Obtenido de Fairchild: <http://tienda.bricogeek.com/sensores-sonido/854-detector-de-sonido.html>

Ferrer, J., & Checa, G. (2010). *Mantenimiento Mecánico preventivo del vehículo*. Editex. Recuperado el 2017, de <https://books.google.com.ec/books?id=SwnFAwAAQBAJ&pg=PA74&dq=catalizador+d+e+tubo+de+escape&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj4ffm8LjUAhVRfiYKHdXTBtgQ6AEINTAE#v=onepage&q=catalizador%20de%20tubo%20de%20escape&f=false>

Fiallo, Á., & Vacacela, R. (2010). Trucaje y adaptación del tren de potencia y sistema de frenos para un vehículo de la fau. *Tesis de grado*. Riobamba, Ecuador.

Gillieri, S. (2013). *Preparación de motores de serie para competición*. Ceac.

Ibarra, A. (2016). Apuntes de Clase. *Apuntes de Clase*. Sangolquí, Ecuador.

Ibarra, A. (2016). *Subsistema Sensorial*. Sangolquí, Pichincha, Ecuador .

Instruments, N. (1 de Septiembre de 2017). *National Instruments*. Obtenido de <http://www.ni.com/pdf/manuals/375296c.pdf>

Kojima, M. (2002). *Engine performance* (2002 ed.). New York: HPBooks. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=8R8xBgKfqdMC&pg=PA20&dq=header+engine&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwic_52K5_TUAhUBdz4KHeNxD3wQ6AEIKDAB#v=onepage&q=header%20engine&f=false

López, S., & Bazurto, D. (Diciembre de 2003). *ESPE*. Obtenido de http://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/materials/workpiece_materials/iso_m_stainless_steel/pages/austenitic-and-super-austenitic-stainless-steel-%E2%80%93m1.0-2.0.aspx

Mantein_Chile. (2017). *Sonómetro*. Obtenido de http://www.maiten.cl/maiten_gac/sonometro_jts1357.html

Mariano. (6 de Diciembre de 2011). *Fibra de Vidrio*. Buenos Aires, Argentina. Obtenido de <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/fibra-de-vidrio.html>

Martínez, M., & Diaz, N. (2009). *Diseño y construcción del sistema de un escape para un paramotor*. Bucaramanga, Colombia.

MecánicaVirtualORG. (2012). *Mecánica Virtual*. Obtenido de *Trucaje de Motores*: <http://www.mecanicavirtual.org/>

NacionaldeAceroS.A. (2015). *Nacional de Acero*. Obtenido de <http://www.nacionaldeacero.com/category/productos/lamina-rolada-en-frio>

Nice, K. (19 de Febrero de 2001). *How stuff works*. Obtenido de <http://auto.howstuffworks.com/muffler3.htm>

Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: Pearson Educación S.A.

Ortiz, J., Hernández, L., Soto, J., Correa, L., Alonso, F., Zermeño, M., . . . Ruiz, J. (2012). *Sociedad Mexicana de ingeniería Estructural*. Obtenido de http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_17/te_06/ar_10.pdf

Ponsa, P., & Granollers, A. (2010). *Universidad Politécnica de Catalunya*. Obtenido de Universidad Politécnica de Catalunya: <https://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/pantalla.pdf>

Potonte, D. (9 de Noviembre de 2005). General Desing Principles for an Automative Muffler. Busselton , Western Australia , Australia.

Prado, L. (2012). Construtek. (Emb, Ed.) *Construcción*. Obtenido de <http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=773&edi=35&xit=lana-de-vidrio-una-real-y-eficiente-alternativa-en-aislacion-termoacustica-y-en-ahorro-de-energia>

Presidencia_de_la_República. (2003). Limites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles y para vibraciones. *Libri VI Anexo 5*. Ecuador: Presidencia de la república.

república, B. d. (20 de mayo de 2015). *Banco de la república*. Obtenido de <http://www.banrepcultural.org/node/92121>

Riba Romeva, C. (2002). *Diseño Concurrente*. Barcelona: Edicions UPC.

Rocha, (21 de Octubre de 2014). *Hrtpro*. Obtenido de <https://hetpro-store.com/Tutoriales/tb6560-controlador-motor-pasos/>

Rodriguez, F. (05 de 2015). *Física, fluidos y termodinámica*. Obtenido de Universidad ecci: <https://fernandola80.wordpress.com/2015/05/25/ciclo-otto/>

Sandvik. (2012). *Sandvik*. Obtenido de Acer Inoxidable Austenpitico: http://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/materials/workpiece_materials/iso_m_stainless_steel/pages/austenitic-and-super-austenitic-stainless-steel-%E2%80%93m1.0-2.0.aspx

Secretaría_Nacional_de_Planificación_y_Desarrollo. (2013). *buenvivir 2013-2017*. Obtenido de http://issuu.com/buenvivir/docs/plan_nacional_para_el_buen_vivir_2013-2017: http://issuu.com/buenvivir/docs/plan_nacional_para_el_buen_vivir_2013-2017

Sena. (2011). Funcionamiento del Motor de Combustión Interna. En Sena, *Gas Natural Comprimido Vehicular Gncv*. Bogotá, Colombia: Sena. Obtenido de <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ciencias/sena/mecanica/gas-preconversion-vehiculos/indice.htm>

Sika Ecuatoriana SA. (01 de Enero de 2007). *Espumas expandibles | Sika Ecuatoriana S.A.*. Obtenido de <http://www.sika.com.ec> Espumas expandibles | Sika Ecuatoriana S.A.:

http://ecu.sika.com/es/solutions_products/productos-sika-construccion/productos-para-sellado/02a008sa07.html

Solarte, K., & Portilla, P. (2017). *Corporacion Universitaria Autónoma de Nariño*. Obtenido de Luis Arteaga: <https://luisarteaga.wikispaces.com/mofle+silenciador>

Srinivasan, S. (2007). *Automotive engines*. New Delhi: Tata McGraw-Hill. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?id=QLY8aLoUj5MC&printsec=frontcover&dq=engine&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj-7Jz_67jUAhUB4yYKHZXwBScQ6AEINDAC#v=onepage&q=engine&f=false

Summers, D. (2016). *Administración de la calidad*. México: Pearson. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=xBgQ9R2io5oC&pg=PA65&dq=funcion+de+calidad&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjU9-SoqZnVAhUFSiYKHDrDB3IQ6AEIOzAF#v=onepage&q=funcion%20de%20calidad&f=false>

Tunning, Z. (2002). *Cálculos Escapes*. *Zona Tunning*, Febrero. Obtenido de <http://www.zonatuning.com/f13/calculos-para-escapes-artesanales-32110/>

Ulrich, K., & Eppinger, S. (2012). *Diseño y desarrollo de productos*. México: Mc Graw Hill.