



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
ELECTRÓNICO DE REDUCCIÓN Y ARMONIZACIÓN  
DE RUIDO A UN SILENCIADOR BASADO EN LOS  
LÍMITES DE RUIDOS PERMISIBLES POR LA  
COMISIÓN NACIONAL DE TRÁNSITO PARA  
VEHÍCULOS LIVIANOS”**

**YANCHALIQÚN TIXELEMA FAUSTO MAURICIO  
QUINTANA PONCE JORGE HERACLEO**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:  
**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2014**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2013-04-24

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

---

**FAUSTO MAURICIOYANCHALIQÚIN TIXELEMA**

---

Titulada:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE  
REDUCCIÓN Y ARMONIZACIÓN DE RUIDO A UN SILENCIADOR BASADO  
EN LOS LÍMITES DE RUIDOS PERMISIBLES POR LA COMISIÓN  
NACIONAL DE TRÁNSITO PARA VEHÍCULOS LIVIANOS”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Marco Santillán Gallegos  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Víctor David Bravo Morocho  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Wilson Javier Villagrán Cáceres  
ASESOR DE TESIS

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

2013-04-24

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**JORGE HERACLEOQUINTANA PONCE**

---

Titulada:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE  
REDUCCIÓN Y ARMONIZACIÓN DE RUIDO A UN SILENCIADOR BASADO  
EN LOS LÍMITES DE RUIDOS PERMISIBLES POR LA COMISIÓN  
NACIONAL DE TRÁNSITO PARA VEHÍCULOS LIVIANOS”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Marco Santillán Gallegos  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Víctor David Bravo Morocho  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Wilson Javier Villagrán Cáceres  
ASESOR DE TESIS

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** FAUSTO MAURICIO YANCHALIQÚIN TIXELEMA

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE REDUCCIÓN Y ARMONIZACIÓN DE RUIDO A UN SILENCIADOR BASADO EN LOS LÍMITES DE RUIDOS PERMISIBLES POR LA COMISIÓN NACIONAL DE TRÁNSITO PARA VEHÍCULOS LIVIANOS”

**Fecha de Examinación:** 2014-01-16

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Santillán Mariño PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Víctor David Bravo Morocho DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Wilson Javier Villagrán Cáceres ASESOR			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Carlos Santillán Mariño  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** JORGE HERACLEO QUINTANA PONCE

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO DE REDUCCIÓN Y ARMONIZACIÓN DE RUIDO A UN SILENCIADOR BASADO EN LOS LÍMITES DE RUIDOS PERMISIBLES POR LA COMISIÓN NACIONAL DE TRÁNSITO PARA VEHÍCULOS LIVIANOS”

**Fecha de Examinación:** 2014-01-16

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Santillán Mariño PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Víctor David Bravo Morocho DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Wilson Javier Villagrán Cáceres ASESOR			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Carlos Santillán Mariño  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Fausto Mauricio YanchaliquínTixelemaJorge Heracleo Quintana Ponce

## **DEDICATORIA**

Éste proyecto está dedicado a mis Padres y hermanos, quienes con su apoyo y comprensión incondicional estuvieron siempre a lo largo de mi vida estudiantil; a ellos que siempre creyeron en mí, me apoyaron en todo momento aun en los más difíciles, siempre estuvieron presente con sus consejos, valores, paciencia, tiempo y más que todo impulsándome a seguir adelante, gracias a ustedes puedo ver hoy alcanzada mi meta.

**Fausto Yanchaliquín Tixelesa**

A mi madre, por el gran amor y la devoción que tiene a su hijo, por el apoyo ilimitado e incondicional que siempre me ha dado, por tener siempre la fortaleza de salir adelante sin importar los obstáculos, por haberme formado como un hombre de bien, y por ser la mujer que me enseñó a vivir. No hay palabras en este mundo para agradecerte, mamá.

A toda mi familia, por sus palabras de aliento y sus buenos deseos y aquellos que contribuyeron en mi formación académica y profesional, a mis profesores que compartieron conmigo sus conocimientos a lo largo de mi educación universitaria, a mis amigos y compañeros de la Politécnica por su apoyo y las buenas y malas experiencias que vivimos juntos.

**Jorge Quintana Ponce**

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Mecánica y en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, a sus autoridades y catedráticos, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser una persona útil a la sociedad.

A todos mis amigos, compañeros y demás personas que de una u otra forma contribuyeron con su apoyo incondicional para la culminación con éxito de una etapa más de mi vida, siempre se quedarán en mis recuerdos.

**Fausto YanchaliquínTixeleva**

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

**Jorge Quintana Ponce**

# CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 <i>Objetivo general.</i> ....	3
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	3
<b>2. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Sistema de escape .....	5
2.2 Componentes del sistema de escape.....	5
2.3.1 <i>Coletores de escape.</i> .....	6
2.3.2 <i>Tubo de escape.</i> .....	7
2.3.3 <i>Silenciadores</i> .....	7
2.3.3.1 <i>Tipos de silenciadores.</i> .....	9
2.3.4 <i>Estructura del silenciador</i> .....	12
2.3.4.1 <i>Elementos de unión.</i> .....	13
2.3.5 <i>Catalizadores.</i> .....	14
2.3.6 <i>Filtro de partículas.</i> .....	15
2.3.7 <i>Sonda lambda.</i> .....	16
2.4 Elementos de sintonización acústica .....	17
2.4.1 <i>Resonador de Helmholtz.</i> .....	17
2.5 Ondas y sonido .....	18
2.5.1 <i>Ondas longitudinales</i> .....	19
2.5.2 <i>Ondas transversales</i> .....	19
2.6 Características generales o elementos de las ondas.....	20
2.6.1 <i>Nodo.</i> .....	20
2.6.2 <i>Elongación.</i> .....	20
2.6.3 <i>Cresta, monte o pico.</i> .....	20
2.6.4 <i>Valle.</i> .....	20
2.6.5 <i>Periodo.</i> .....	21
2.6.6 <i>Amplitud.</i> .....	21
2.6.7 <i>La longitud de onda (<math>\lambda</math>).</i> .....	22
2.6.9 <i>Velocidad de propagación</i> .....	22
2.7 Contaminación sonora.....	23
2.7.1 <i>Efectos de la contaminación sonora</i> .....	23
2.7.1.1 <i>Los efectos auditivos.</i> .....	23
2.7.1.2 <i>Efectos no auditivos</i> .....	23
2.7.2 <i>¿Cómo se mide el nivel del ruido?</i> .....	24
2.7.3 <i>El ruido y su impacto en la flora y fauna</i> .....	24
2.7.4 <i>Contaminación sonora en Riobamba.</i> .....	25
2.8 Materiales utilizados para la construcción de silenciadores .....	29
2.8.1 <i>Lana de vidrio.</i> .....	29
2.8.1.1 <i>Descripción.</i> .....	29
2.8.1.2 <i>Ventajas</i> .....	30
2.8.2 <i>Planchas acero inoxidable</i> .....	31
2.8.2.1 <i>Descripción.</i> .....	31
2.8.2.2 <i>Aplicaciones</i> .....	31
2.8.3 <i>Tubos de acero negro.</i> .....	32
2.8.3.1 <i>Dureza y uniformidad.</i> .....	32

2.8.3.2	<i>Facilidad de instalación y flexibilidad.</i>	32
2.9	Resistencia a la corrosión	33
2.9.1	<i>Corrosión intergranular.</i>	33
2.9.2	<i>Corrosión galvánica.</i>	33
2.9.3	<i>Corrosión por contacto.</i>	34
2.9.4	<i>Picado o corrosión en forma de pinchazos de alfiler.</i>	34
2.9.5	<i>Corrosión por fatiga.</i>	35
2.10	Sensores	35
2.10.1	<i>Sensor de posición del cigüeñal.</i>	36
2.10.1.1	<i>Localización.</i>	36
2.10.1.2	<i>Síntomas de falla</i>	36
2.10.2	<i>Tipos de sensores.</i>	36
2.10.2.1	<i>Sensor magnético.</i>	37
2.10.2.2	<i>Sensor tipo hall.</i>	37
2.10.2.3	<i>Sensor óptico</i>	38
2.11.	El microcontrolador	38
2.11.1	<i>Características del PIC 16F876A</i>	39
2.12	LCD (Pantalla de Cristal Líquida)	39
2.13	Motor reductor de velocidad	40
<b>3.</b>	<b>DISEÑO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO</b>	
3.1	Introducción	42
3.2	Modelación matemática	43
3.2.1	<i>Cálculo de desplazamiento del pistón</i>	44
3.2.2	<i>Cálculo de velocidad del pistón.</i>	46
3.2.3	<i>Cálculo de área y volumen de salida del motor.</i>	47
3.2.4	<i>Cálculo de área de caños de salida de los gases de escape</i>	48
3.2.5	<i>Conductividad térmica de gases en los caños</i>	50
3.2.6	<i>Cálculo de temperatura interna en los caños.</i>	51
3.2.7	<i>Cálculo de densidad del gas</i>	53
3.3	Cálculos matemáticos para el diseño del silenciador	53
3.4	Frecuencia del resonador de Helmholtz	54
3.4.1	<i>Cavidades resonantes acústicas</i>	54
3.4.2	<i>Masa del oscilador</i>	57
3.4.3	<i>Presión en el cuello del resonador</i>	57
3.4.4	<i>Elasticidad del oscilador o fuerza excitadora.</i>	59
3.5	Diseño del silenciador en SolidWorks	61
3.6	Diseño electrónico	64
<b>4.</b>	<b>PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL SILENCIADOR</b>	
4.1	Proceso de señalización	66
4.2	Proceso de corte de plancha de acero	67
4.3	Proceso de barolado	68
4.4	Proceso de prensado	68
4.5	Corte de tubo	70
4.6	Proceso de taladrado	71
4.7	Proceso de unión del cilindro y tapas	72
4.8	Proceso de corte de compartimiento	74
4.9	Proceso de unión compartimiento-tubos	75
4.10	Sellado del silenciador	76
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS DE COSTOS</b>	
5.1	Costos directos	78
5.2	Costos indirectos	79

5.3	Costos totales.....	79
<b>6.</b>	<b>FUNCIONAMIENTO Y PRUEBAS</b>	
6.1	Funcionamiento del silenciador.....	80
6.2	Funcionamiento del motor eléctrico reductor de velocidad.....	81
6.3	Pruebas .....	82
6.3.1	<i>Pruebas de temperatura antes del diseño e implementación .....</i>	82
6.3.2	<i>Pruebas de temperatura después del diseño e implementación .....</i>	83
6.3.3	<i>Pruebas dinamométricas automotriz antes del diseño e implementación .....</i>	84
6.3.4	<i>Pruebas dinamométricas automotriz después del diseño e implementación.....</i>	85
6.3.5	<i>Pruebas de decibelios con el sonómetro antes del diseño e implementación .....</i>	86
6.3.5	<i>Pruebas de decibelios con el sonómetro después del diseño e implementación ....</i>	86
6.4	Guía práctica de observaciones .....	87
6.4.1	<i>Desmontaje de los componentes de escape .....</i>	87
6.4.2	<i>Advertencia.....</i>	89
6.4.3	<i>Precaución.....</i>	89
6.4.4	<i>Instalación .....</i>	89
6.4.4.1	<i>Precaución.....</i>	89
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	90
7.1	Conclusiones.....	90
7.2	Recomendaciones .....	90

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1	Decibeles producidos por diferentes fuentes generadoras ..... 25
2	Ruidos escape y marcha (valores límites)..... 26
3	Normas de regulación sonoras en vehículos – constantes ..... 26
4	Lista de variables ..... 27
5	Especificaciones del motor G10 ..... 28
6	Descripción de acuerdo a norma..... 31
7	Composición química. .... 31
8	Propiedades mecánicas. .... 31
9	Dimensiones de plancha. .... 32
10	Descripción LCD. .... 40
11	Cálculo desplazamiento del pistón desde PMS-PMI ..... 45
12	Cálculo de velocidad de salida de los gases dentro del motor Suzuki Forsa 1 ..... 46
13	Costos directos ..... 78
14	Costos indirectos..... 79
15	Costos totales ..... 79
16	Antes del diseño..... 83
17	Después del diseño..... 84
18	Niveles de intensidad sonora ..... 86
19	Niveles de intensidad sonora ..... 86

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1	Componentes del sistema de escape ..... 6
2	Colectores de escape ..... 6
3	Línea de escape ..... 7
4	Silenciador posterior ..... 8
5	Principios de silenciadores ..... 9
6	Silenciadores por reflexión ..... 10
7	Silenciadores por absorción ..... 11
8	El silenciador de múltiples colmenas ..... 11
9	Silenciador de colmena individual ..... 12
10	Silenciador con catalizador integrado ..... 13
11	Elemento de desacople ..... 14
12	Esquema de funcionamiento del catalizador de tres vías ..... 15
13	Filtro de partículas (FAP) ..... 16
14	Sonda lambda ..... 16
15	Resonador de Helmholtz ..... 17
16	Ondas longitudinales ..... 19
17	Ondas transversales ..... 19
18	Extensión de tren de ondas ..... 20
19	Nodo ..... 20
20	Características generales o elementos de las ondas ..... 21
21	Representación del periodo en la onda ..... 21
22	Representación de la amplitud en la onda ..... 21
23	Ilustrativo una onda transversal ..... 22
24	Lana de vidrio ..... 30
25	Sensor magnético ..... 37
26	Sensor tipo Hall ..... 37
27	Sensor óptico ..... 38
28	Esquema de un microcontrolador ..... 38
29	Esquema de un LCD ..... 39
30	Motor reductor de velocidad ..... 41
31	La carrera del motor Suzuki Forsa ..... 44
32	Desplazamiento del pistón ..... 45
33	Velocidad del pistón ..... 47
34	Diagrama biela-manivela Suzuki Forsa 1 ..... 48
35	Diagrama biela-manivela Suzuki Forsa 1 ..... 49
36	Temperatura ambiente ..... 50
37	Temperatura exterior del caño ..... 51
38	Temperatura interna ..... 51
39	Cálculo de la densidad ..... 53
40	Resonadores de Helmholtz ..... 55
41	Prototipo silenciador 1 ..... 61
42	Prototipo silenciador 2 ..... 62
43	Prototipo silenciador 3 ..... 63
44	Señalización de tubo interior ..... 66
45	Corte de plancha principal ..... 67
46	Tapa externa del silenciador ..... 67
47	Proceso de barolado plancha principal del silenciador ..... 68
48	Prensado de tapas del silenciador ..... 69
49	Prensado de compartimientos del silenciador ..... 69

50	Tapas y compartimientos terminados .....	70
51	Cortando tubo interior del silenciador .....	70
52	Taladrando agujeros del caño interior.....	71
53	Caño de salida terminado de taladrar.....	72
54	Ubicación de tapas en el extremo del cilindro .....	73
55	Cilindro listo para unión .....	74
56	Señalización de compartimientos para luego cortar .....	74
57	Soldando tubos con compartimiento.....	75
58	Tubos y compartimientos unidos.....	76
59	Tubos y compartimientos ubicados en el interior del cilindro.....	76
60	Soldando cilindro principal.....	77
61	Tapas listas para soldar con el cilindro.....	77
62	Silenciador terminado.....	77
63	Diagrama de bloques .....	82
64	Sistema de escape .....	82
65	Sistema de escape .....	83
66	Potencia línea base Suzuki 1989.....	84
67	Potencia línea base Suzuki 1989.....	85
68	Sistema de escape desperfectos .....	87
69	Unión de tubo de escape con el header a través de tornillos.....	88
70	Soporte del tubo de escape.....	88
71	Línea de escape.....	88

## SIMBOLOGÍA

dB	Decibelios.
C	Carrera.
Hz	Unidad de frecuencia hertz.
$x$	Posición del pistón, en mm.
R	Radio de manivela o del cigüeñal (38.5mm).
L	Longitud de biela (120mm).
$\alpha$	Ángulo de giro del cigüeñal, en grados.
$v$	Velocidad del pistón, en m/s
$A_1$	Área del pistón, en $cm^2$ .
$D_1$	Diámetro del pistón, en cm.
$A_2$	Área en el caño header, en $cm^2$ .
$D_1$	Diámetro del header 1 ½" (3.81cm).
V	Volumen total de un cilindro del motor Suzuki Forsa 1, en $cm^3$ .
C	Carrera del pistón (7.7cm).
Q	Cantidad de calor, en cal.
K	Conductividad del material
$T_2$	Temperatura ambiental, en °C.
$T_1$	Temperatura ambiental, en °C.
T	Temperatura ambiental, en °C.
$D_1$	Diámetro interno, en mm.
$D_2$	Diámetro externo, en mm.
$l$	Longitud de caño, en mm.
q	poder calorífico del combustible, en cal/gr.
$p$	Presión.
$\rho_0$	Densidad.
C	Velocidad del sonido.
$\Delta\rho$	Variación de densidad.
$\rho$	Densidad del gas.
S	Área de entrada.
$x$	Longitud del cuello de entrada.
V	Volumen de la cavidad.

## LISTA DE ABREVIACIONES

CKP	Sensor de posición del cigüeñal (Crankshaft Position Sensor).
PMI	Punto Muerto Inferior.
PMS	Punto Muerto Superior.
RH	Resonador de Helmholtz.
MIG	Arco metálico y gas inerte en inglés como Gas Metal.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos.
FAP	Filtro de partícula.
CNT	Comisión Nacional de Tránsito.
LCD	Pantalla de Cristal Líquida.

## **LISTA DE ANEXOS**

- A** Características de instrumentos de medición.
- B** Características de instrumentos de medición.
- C** Características de instrumentos de medición.
- D** Normas de la comisión nacional de tránsito.
- E** Diseño del circuito impreso de control.
- F** Programación en la pic.
- G** Imágenes.

## RESUMEN

El Diseño e Implementación de un Sistema Electrónico de Reducción y Armonización de Ruido a un Silenciador Basado en los Límites de Ruidos Permisibles por la Comisión Nacional de Tránsito para Vehículos Livianos, se ha realizado con fines de reducir el ruido que es provocado por los vehículos contribuyendo al buen vivir de la comunidad.

Se realizó el estudio de diferentes tipos de silenciadores y sus características, mismo que sirvió para desarrollar la modelación y el diseño del prototipo de silenciador electrónico. Se determinaron los materiales y equipos a utilizar para su construcción. De los 3 prototipos de silenciadores diseñados en la fase de experimentación se procedió a realizar pruebas de ruido, temperatura y potencia en el sistema de escape de un vehículo Suzuki Forsa I.

Realizadas las pruebas se seleccionó al prototipo 2, en razón de que cumple con los estándares determinados de control de ruido adaptado a la salida; el prototipo 2 es más liviano, ocupa menos espacio y logra disminuir la temperatura a la salida de los gases en un 5,1 °C que el sistema de escape anterior, así mismo aumentó la potencia en 0,3 kW que ayuda a mejorar el rendimiento del motor y se redujo los decibeles en un 10,4 % con relación al sistema de escape anterior.

Por los beneficios comprobados en este silenciador electrónico se recomienda utilizarlo en vehículos que no excedan los 1200 cm<sup>3</sup>.

## ABSTRACT

The design and implementation of a reduction and harmonization electronic system noise to a muffler based on permissible noise limits by the National Transit Commission for light vehicles, was performed with the purpose of reducing noise caused by vehicles contributing to the good life of the community.

It investigated the study of different types of mufflers and its characteristics, which was used to develop the modeling and design of the electronic prototype muffler; likewise was determined materials and equipment to be used for the respective construction, from the 3 prototypes silencers designed in the experimentation phase, it proceeded to test noise, temperature and power in the exhaust system of a Suzuki Forsa 1 vehicle.

In the performed tests it selected prototype 2, on the grounds that meets certain noise control adapted to the standard output, the prototype 2 is lighter, it takes up less space and allows to reduce the outlet temperature of the gases in  $5,1^{\circ}\text{C}$  than the previous exhaust system, therefore it increased the power of 0,3 kw that helps to improve the engine performance and decibels fell by 10,4% over the previous exhaust system.

By the verified benefits in this electronic silencer is recommended to use in vehicle not exceeding  $1200\text{ cm}^3$ .

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos automotrices son cada vez tendientes a mejorar la calidad de vida de las personas, a la conservación del medio ambiente y la disminución de la contaminación. Es por eso que uno de los factores importantes es el ruido producido por los vehículos, siendo éste otro tipo de contaminación por lo que nace la innovación de los sistemas de escape de los motores de combustión interna tanto a diesel como a gasolina, para disminuir el ruido a la salida del tubo de escape; para esto se cuenta con la electrónica y la ingeniería para resolver estos problemas utilizando los silenciadores variables que cumplen una función específica en el vehículo de disminuir los niveles de ruido emanados por el motor producto de la combustión. El sistema de control de ruido no es instalado en todos los vehículos, tan sólo en los de marca exclusiva; por lo que es necesario propender a la utilización de todos los vehículos, proponiendo a través de este estudio diseñar e implementar un silenciador variable electrónico para toda clase de vehículos.

### 1.1 Antecedentes

El ruido generado por vehículos es uno de los agentes físicos contaminantes más fáciles de producir y más difíciles de controlar. Es por ésta razón, que a menudo surgen diversas inquietudes de cómo controlar y manipular el ruido generado por el mismo y así disminuir, de alguna manera, cierto porcentaje de contaminación acústica. Además, gran parte del ruido urbano es producto de los vehículos de combustión interna.

Existen dispositivos para la reducción del ruido emitido por los escapes de los automóviles; orientándose a modelos estructurales estáticos sin tener la capacidad de modificar el sonido expulsado por el mismo. El diseño de un sistema completo de silenciadores generalmente, es una tarea muy compleja, cada elemento es seleccionado considerando su funcionamiento particular, su costo y sus efectos, debido a la interacción sobre el funcionamiento y la confiabilidad del sistema completo.

Actualmente el interés de la sociedad en la contaminación ambiental y concretamente en la contaminación acústica, hace necesario la mejora de los elementos utilizados para su control. En el caso de los vehículos que utilizan motores de combustión interna alternativos, el sistema de escape es uno de los principales elementos generadores de ruido.

Durante mucho tiempo, el único requisito impuesto a estos sistemas ha sido que fueran capaces de mantener los niveles de ruido emitido por debajo de ciertos límites. Más recientemente, se ha comenzado a tener en cuenta, por parte de los fabricantes, no solamente estos niveles límite, sino también el concepto de calidad sonora, esto es, la valoración más subjetiva que hace un usuario.

Así como en el Ecuador, la Agencia Nacional Tránsito (ANT) fija los límites de velocidades para los automotores, la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que la medida de 70 dB es el límite superior tolerable del ruido, aunque en otros países desarrollados el límite es mucho menor.

## **1.2 Justificación**

**Justificación técnica.** El ruido se puede definir como un sonido molesto que puede producir efectos fisiológicos y psicológicos no deseados en una persona o grupo. Desde el punto de vista físico, representa una suma de sonidos caóticos, irregulares y arrítmicos o no periódicos. En la percepción del ruido interviene un alto grado de susceptibilidad, e influyen las circunstancias personales del oyente; también contribuye a la percepción de ruido su duración en el tiempo, la intensidad o volumen, el tipo de espacio en que se emite y las características físicas del oído humano.

**Justificación ecología.** El ruido se ha revelado como uno de las principales causas de degradación medioambiental en áreas urbanizadas. Es un agente perturbador del sosiego público que no solo acarrea problemas sociales, sino efectos negativos sobre la salud y el comportamiento de los individuos que la padecen. El ruido en la actualidad se ha extendido en el tiempo (circulación nocturna, fines de semana, vacaciones) y en el espacio (zona rurales y zonas residenciales de las grandes ciudades). Las causas de éste aumento se deben al incremento de la población, la mecanización de la mayor parte de

actividades, y el incremento de los niveles de tráfico aéreo y terrestre. De hecho, el aumento espectacular de los medios de transporte y su utilización ha originado un incremento muy importante de los ruidos ambientales. Como consecuencia de éstos niveles cada vez más preocupantes y de la también creciente conciencia ciudadana sobre las molestias que causa, el ruido se considera como uno de los factores más importantes de la disminución de la calidad de vida y el bienestar de los ciudadanos.

Siendo así, nuestra preocupación por mejorar esta situación, nos hemos propuesto diseñar un dispositivo electrónico con el cual lograr manipular un sonido claro y agradable. Siempre y cuando se cumpla con las normas de ruido emitidas por la Comisión Nacional de Tránsito.

**Justificación social.** Desde el punto de vista profesional el tema se justifica en cuanto a la construcción de este novedoso dispositivo electrónico, traería resultado económico positivo a futuro, debido al incremento del parque automotor. Es necesario que el ingeniero automotriz de la ESPOCH ponga en práctica todos sus conocimientos técnicos y científicos y medio ambientales; para el mejoramiento de la calidad de vida de las personas y elevar el nivel tecnológico del país a favor del medio ambiente; mediante el diseño e implementación de un sistema electrónico de reducción y armonización de ruido a un silenciador basado en los límites de ruidos permisibles por la Comisión Nacional de Tránsito para vehículos livianos.

### **1.3      Objetivos**

**1.3.1    Objetivo general.** Diseñar e implementar un sistema electrónico de reducción y armonización de ruido a un silenciador basado en los límites de ruidos permisibles por la Comisión Nacional de Tránsito para vehículos livianos.

**1.3.2    Objetivos específicos:**

Analizar los principios básicos del funcionamiento del sistema de escape.

Identificar los diferentes tipos de silenciadores y sus características.

Realizar el análisis y cálculo de todas las variables presentes en el dispositivo silenciador para el diseño del sistema electrónico de control de ruido.

Diseñar y construir el silenciador electrónico.

Realizar pruebas y análisis del funcionamiento del silenciador electrónico.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Sistema de escape

Es el conjunto de elementos encargados de desalojar los gases ya quemados desde el interior del motor hacia el exterior. Los gases deben salir al exterior <<limpios>> (con las partículas contaminantes que permite la legislación) oponiendo el menor obstáculo y produciendo el menor ruido posible en el desalojo.(ÁGUEDA, y otros, 2010)

Luego de aplicación del proceso efectuado se determina que todos los motores incorporan un sistema de control de emisiones contaminantes y, opcionalmente, otro para la sobre alimentación del motor.

#### 2.2 Componentes del sistema de escape

Un sistema de escape típico; como se muestra en la Figura 1; está formado por el conjunto de elementos que participan en la evacuación de gases quemados desde el motor hasta la atmósfera(ÁGUEDA, y otros, 2010).

Todos los elementos situados en contacto con la salida de gases (tornillos, arandelas, abrazaderas, etc.) están diseñados para soportar altas temperaturas y no sufrir grandes dilataciones.

Para ello, el sistema dispone de los siguientes elementos:

- Colectores de escape.
- Tubo de escape.
- Silenciadores.
- Catalizadores.
- Filtros antipartículas.
- Sonda lambda.

Figura 1. Componentes del sistema de escape



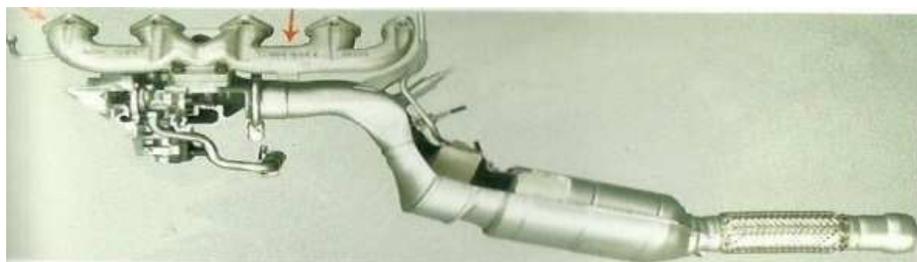
Fuente:ÁGUEDA,Elementos amovibles, pág. 314

En los motores sobrealimentados por turbocompresor, se aprovecha la salida de los gases de escape para dar movimiento a la turbina, que genera la presión suficiente en la admisión para la sobrealimentación.

**2.3.1** *Colectores de escape.* Son canalizaciones que unen el motor con el tubo de escape Figura 2, están fabricados con materiales resistentes a altas temperaturas y diseñados sin curvas agresivas para facilitar la evacuación de los gases (ÁGUEDA, y otros, 2010).

La sujeción de los colectores con el motor se realiza a través de tornillos, y la unión con el tubo de escape a través de tornillos o abrazaderas. En los motores turboalimentados, el turbocompresor se sitúa a la salida de los colectores.

Figura 2. Colectores de escape



Fuente:ÁGUEDA,Elementos amovibles,pág.315

Se demostró que el diseño es fundamental para permitir una rápida y óptima salida de los gases sin que se genere turbulencia y así ganar potencia.

**2.3.2 Tubo de escape.** El tubo de escape es la canalización que une los distintos elementos del sistema, hasta la evacuación final de gases a la atmósfera (ÁGUEDA, y otros, 2010).

Para construir las conducciones de escape se emplea tubería de acero, en aquellos casos en que el combustible tiene un gran contenido de azufre, lo que puede provocar la corrosión del acero por los gases de escape. Las conducciones de ladrillo o barro cocido no son aptas para transportar los gases de escape, pues son materiales relativamente débiles incapaces de soportar las dilataciones térmicas, las vibraciones y las presiones que ocasionalmente pueden producirse a causa de fallos de encendido.

Para reducir la contrapresión, se tomó en cuenta los tubos de escape deben ser los más cortos y rectos posible y todos los codos deben hacerse de gran radio. Se preferirán los tubos doblados a los acoplamientos y cada motor deberá tener su propia conducción de escape a la atmósfera.

Además los conductos de escape se calientan mucho durante el funcionamiento y se dilatan considerablemente. La tubería de acero se dilata aproximadamente 1/1000 de su longitud por cada 75°C de elevación de temperatura.

Figura 3. Línea de escape



Fuente: ÁGUEDA, Elementos amovibles, pág. 315

**2.3.3 Silenciadores.** Son cajas de resonancia intercaladas entre los colectores de escape y el exterior, su función consiste en disminuir el ruido que provoca las explosiones del combustible, a la salida de escape (Figura 4). Están diseñados para que frenen lo menos posible la salida de los gases. Los vehículos pueden llevar instalados

más de un silenciador. En algunos casos forma parte del propio tubo de escape, y en otros se pueden desmontar de una forma independiente (ÁGUEDA, y otros, 2010).

Los silenciadores desmontables suelen ir unidos al tubo de escape a través de abrazaderas. El diámetro del tubo es menor al del silenciador y se introduce en él. La abrazadera situada en el punto de unión asegura el cierre de los dos elementos. Van fijados al chasis a través de soportes de goma para que las vibraciones no repercutan sobre el habitáculo.

Figura 4. Silenciador posterior



Fuente: ÁGUEDA, Elementos amovibles, pág. 315

Se determinó que el silenciador existen varias cámaras donde los gases se expanden y pierden presión eliminando la mayor parte del ruido procedente del motor.

El ruido del motor se produce cuando se abre la válvula de escape y el gas se precipita hacia el colector, el gas golpea contra la masa de gas de menor presión alojada en el colector y genera una onda que se propaga a través del tubo de escape, en el interior de la cámara hay un juego de tubos diseñados para reflejar las ondas y para intervenirlas.

Los gases y las ondas de sonido provenientes del motor entran por uno de los tubos y rebotan contra el fondo de la cámara, estos son reflejados y pasan a través de un orificio a la cámara principal del silenciador, luego pasan a través de otros orificios a una tercera cámara llamada cámara de resonancia.

La cámara de resonancia está conectada a la tercera cámara mediante un orificio tiene una cantidad de aire y una longitud específica calculada para producir una onda capaz de anular una determinada frecuencia de sonido.

Finalmente los gases salen por el segundo tubo al exterior del silenciador.

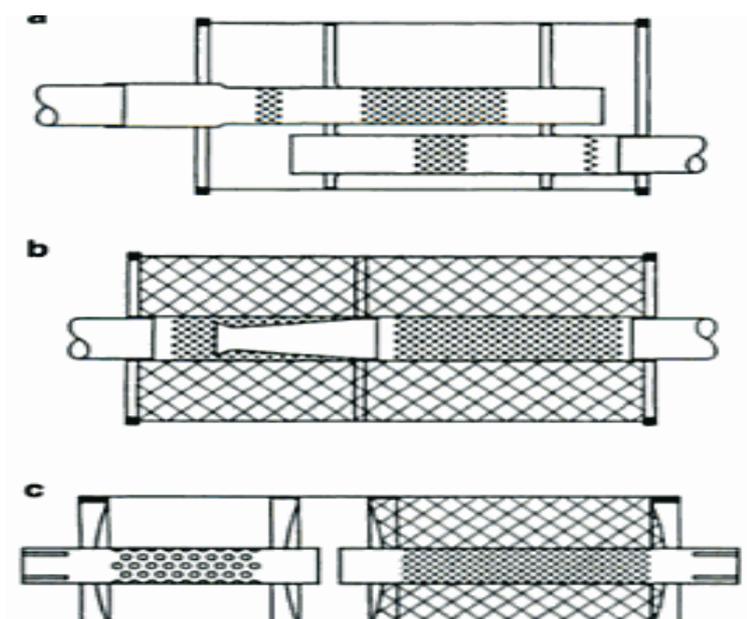
**2.3.3.1 Tipos de silenciadores.** Los silenciadores deben reducir la pulsación de la presión de los gases de escape e intentar hacerla lo más inaudible posible, para ello existen esencialmente cuatro principales físicos (BAZURTO, y otros, 2003).

- Reflexión.
- Absorción.
- De colmenas múltiples.
- De colmena individual.

Se investigó cuatro principios, que sirven para diferenciar los distintos tipos de silenciadores, aunque la mayoría trabajan cambiando reflexión y absorción (ver Figura 5).

Como los silenciadores junto con los tubos de la instalación de gases de escape forman un sistema sujeto a oscilaciones con resonancia, la posición de los silenciadores es muy importante para la calidad de la amortiguación, el objetivo es ajustar las instalaciones lo más bajas posibles para que sus frecuencias no activen alguna resonancias de la carrocería. Para evitar el ruido producido por elementos sólidos y como aislamiento térmico respecto al piso del vehículo, los silenciadores son frecuentemente de pared doble y llevan un recubrimiento aislante.

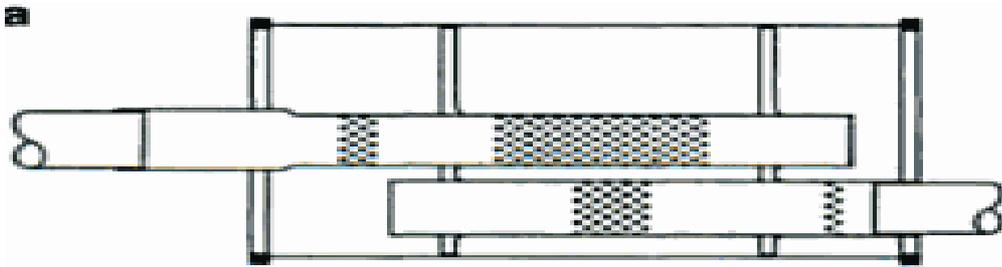
Figura 5. Principios de silenciadores



Fuente: CHRYSLER Manual de la técnica del automóvil, pág. 547

**Silenciadores por reflexión.** Los silenciadores por reflexión están formados por cámaras largas que están unidas entre sí mediante tubo. Las diferentes secciones entre los tubos y las cámaras y las desviaciones de los gases de escape y los resonadores constituidos por los tubos de unión con las cámaras consiguen una amortiguación efectiva, especialmente para frecuentes graves cuantas más cámaras de este tipo haya, más eficientemente será la amortiguación del silenciador. Los silenciadores de reflexión provocan una contrapresión de los gases de escape elevado, por tanto, es normal que su uso implique una mayor pérdida de potencia Figura 6 (BAZURTO, y otros, 2003).

Figura 6. Silenciadores por reflexión



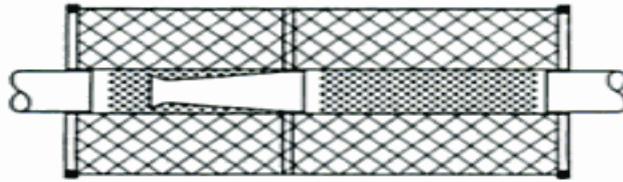
Fuente: CHRYSLER Manual de la técnica del automóvil, pág. 547

**Silenciadores por absorción.** Los silenciadores por absorción están formados por una cámara por la que pasa un tubo perforado. La cámara está rellena de material absorbente, el sonido entra a través de tubo perforado en el material absorbente y se transforma en calor por medio de la fricción (BAZURTO, y otros, 2003).

Al material absorbente está compuesto normalmente de lana mineral de fibras largas o fibras de vidrio con una densidad de 100 a 150 g/l. la amortiguación depende de la densidad del relleno, el grado de absorción y el ruido del material, la longitud y el grosor de la capa de la cámara. La amortiguación tiene mucha amplitud de banda aunque comienza primero con frecuencias agudas.

La forma de la perforación y la guía del tubo a través de la lana aseguran que el material no sea expulsado mediante la pulsación de los gases de escape. En algunos casos la lana mineral se protege mediante una capa de acero inoxidable alrededor del tubo perforado (ver Figura 7).

Figura 7. Silenciadores por absorción



Fuente:CHRYSLER Manual de la técnica del automóvil,pág. 547

***El silenciador de múltiples colmenas.*** Ayuda a disminuir considerablemente el ruido del pase de los gases al salir del motor, el cual es creado por el abrir y cerrar de las válvulas de escape. Al momento que las válvulas de escape se abren, éstas realizan una descarga de gases quemados de alta presión hacia la tubería intermedia del escape, es esta sección se expande los gases con menos presión. Sin embargo, esta acción crea como consecuencia ondas de sonido que viajan junto a los gases salientes y se desplazan muchísimo más rápido que estos gases emanados (estamos hablando de aproximadamente 2,240kph / 1.400mph), es justo allí cuando el silenciador hace su papel de minimizar los ruidos producidos por éste fenómeno. A pesar que el silenciador de múltiples colmenas que ayuda a reducir el ruido, éste a su vez restringe la salida más rápida de los gases hacia el exterior limitando considerablemente las prestaciones del vehículo(BAZURTO, y otros, 2003).

Figura 8. El silenciador de múltiples colmenas



Fuente:Autores

***Silenciador de colmena individual.*** Compuesto por celdas metálicas en forma tubular y con agujeros a lo largo de su colmena Figura 9, el cual está diseñado para reducir la presión de los gases acumulados en la parte posterior del sistema de escape, permitiendo liberar los gases más rápidamente, produciendo como consecuencia más ruido exterior. Debido a que el silenciador de colmena individual no está en capacidad de reducir el ruido ocasionado por los gases del mismo motor, algunos sistemas de escape poseen resonadores. Los resonadores actúan como pequeños silenciadores y son generalmente utilizados al final del escape como tal. Este tipo de escape es el utilizado a nivel mundial por las personas que modifican sus vehículos tipo "Tuning" debido a los beneficios que éstos otorgan o son fabricados de forma universal para todas las aplicaciones vehiculares existentes (BAZURTO, y otros, 2003).

Figura 9. Silenciador de colmena individual



Fuente: Autores

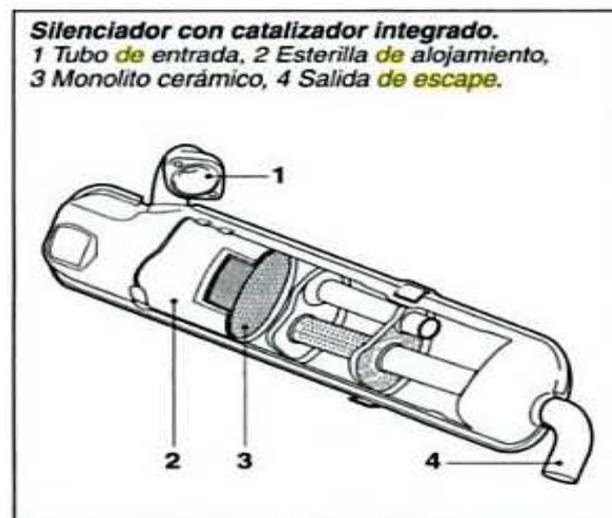
**2.3.4 Estructura del silenciador.** Según la disponibilidad de espacio debajo del vehículo se fabrican los silenciadores como “cazoletas bobinadas” o con semicarcasas (BAZURTO, y otros, 2003).

En el silenciador bobinado, para la fabricación del envoltente se utiliza una o varias platinas que se conforman alrededor de un mandril redondo y se unen entre sí mediante un engrampado longitudinal o por soldadura laser. A continuación se introduce el inserto completamente montado y soldado está formado por tubos interiores, arco de desviación y paneles intermedios, después se unen los paneles exteriores mediante engrampados o soldadura laser con el envoltente.

Si la disponibilidad del espacio en el vehículo es escasa, con frecuencia no es posible colocar un silenciador bobinado. En estos casos se utiliza un silenciador de carcasa (con semicarcasas embutidas) que pueden adoptar prácticamente cualquier forma que se desee. El volumen total del silenciador de una instalación de gases de escape para turismo corresponde a la cilindrada del motor multiplicado por un factor comprendido entre ocho y doce.

**2.3.4.1 Elementos de unión.** Los tubos unen los catalizadores y los silenciadores. Figura 10. En casos de motores y vehículos muy pequeños existen también soluciones en las que el catalizador y el silenciador están integrados en una carcasa (CHRYSLEY, y otros, 2005).

Figura 10. Silenciador con catalizador integrado



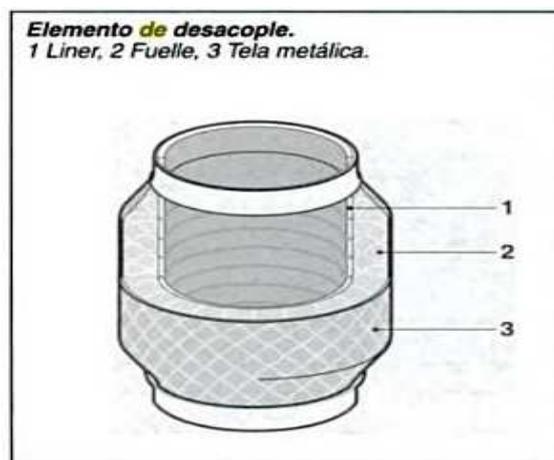
Fuente:CHRYSLEY Manual de la técnica del automóvil, pág. 548

Los tubos, el catalizador y los silenciadores se unen con conexiones y pestañas dentro de la instalación global de los gases de escape. Algunas instalaciones primarias están totalmente soldadas para un montaje rápido, toda la instalación de gases de escape está unida a los bajos de vehículo mediante elementos de suspensión elásticos, los puntos de fijación se deben seleccionar con sumo cuidado porque se pueden transmitir oscilaciones a la carrocería influyendo el ruido interior del habitáculo o creando problemas de rigidez o estabilidad.

En algunas ocasiones se utilizan incluso amortiguadores de vibraciones. Éstos oscilan en caso de frecuencia crítica justo en sentido contrario a la instalación de gases de escape y suprimen la energía de oscilación de la instalación(ver Figura 11).

El ruido inicial de la instalación de gases de escape y la emisión de ondas acústica de los silenciadores también puede provocar resonancias de la carrocería, según la magnitud de las vibraciones del motor, la instalación de los gases de escape también puede ir desacoplada del bloque motor a través de un elemento de desacople para no provocar sobrecargas excesivas a la instalación de los gases de escape.

Figura 11. Elemento de desacople



Fuente: CHRYSLER Manual de la técnica del automóvil, pág. 548

**2.3.5 Catalizadores.** Los catalizadores están intercalados en el tubo de escape, son de acero inoxidable, el cual está constituido por una colmena cerámica impregnada con sustancias activas se encuentra muy cerca de los colectores para que puedan alcanzar la temperatura ideal de funcionamiento(Figura 12). Su función consiste en transformar, en la medida de lo posible, los gases contaminantes que no se han quemado totalmente durante la combustión y reducir así el nivel de contaminación (ÁGUEDA, y otros, 2010).

Existen dos tipos de catalizadores:

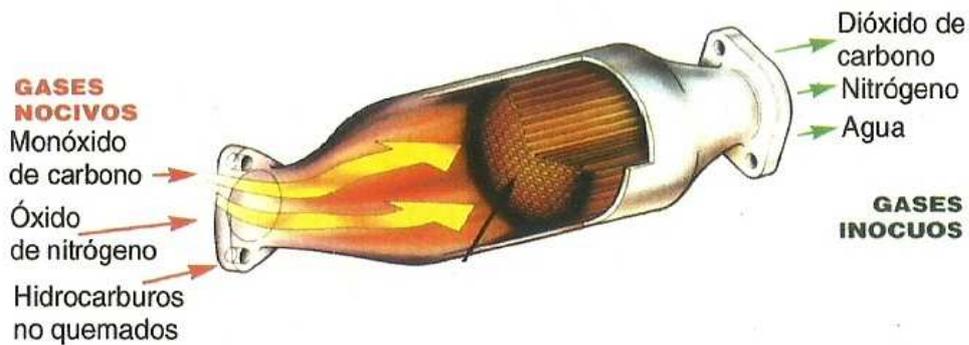
- Catalizadores de tres vías (motores de gasolina).
- Catalizadores de oxidación (motores diesel).

La quema de combustible fósiles como gas, petróleo y carbón mineral produce, además de productos primarios como dióxido de carbono y agua, gases contaminantes perjudiciales para la salud de la población.

Estos gases son:

- Monóxido de carbono – CO.
- Hidrocarburos – HC.
- Óxidos de Nitrógeno – Nox.
- Dióxido de Azufre – SO.

Figura 12. Esquema de funcionamiento del catalizador de tres vías



Fuente: ÁGUEDA, Elementos amovibles, pág. 316

En motores diesel existe además material sólido contaminante, llamado genéricamente Material Particulado- MP. Las emisiones producidas por los automotores son consideradas la principal causa de contaminación en las ciudades y, por producirse al nivel de las personas, afectan seriamente la salud de éstas. El consumo mundial de combustible usado en automotores prácticamente se ha triplicado desde 1960, debido al rápido crecimiento del parque automotor. Es de vital importancia encontrar formas para reducir estas contaminaciones.

**2.3.6 Filtro de partículas.** Solo en motores diésel. Está intercalado en la línea de escape de los motores diésel. Su función es la de reducir eficazmente las emisiones de partículas de hollín. En algunas ocasiones están situados en el mismo soporte que el catalizador (Figura 13 (ÁGUEDA, y otros, 2010)).

En la figura se observó cómo en el mismo soporte se encuentra el filtro de partículas y el catalizador aunque ambos son elementos distintos.

Figura 13. Filtro de partículas (FAP)



Fuente:ÁGUEDA,Elementos amovibles, pág. 316

**2.3.7 Sonda lambda.** Informa a la memoria interna del vehículo sobre el estado de los gases de escape (bien o mal quemados) para que modifique, si fuese necesario, la proporción de la mezcla y conseguir una mejor explosión. Está situada en contacto con los gases de escape, antes y después del catalizador aunque las sondas lambda posterior solo existen motores que cumplen las últimas normativas en materia de contaminaciónFigura14 (ÁGUEDA, y otros, 2010).

Figura 14. Sonda lambda



FuenteÁGUEDA,Elementos amoviblespág. 317

## 2.4 Elementos de sintonización acústica

Para la eliminación de frecuencias especialmente molestas en la zona de entrada de una instalación como silenciador existen diferentes elementos:

**2.4.1 Resonador de Helmholtz.** El resonador de Helmholtz está formado por un tubo colocado en el lateral del tubo de escape y un depósito a él conectado, el gas en el depósito actúa como un muelle y el gas en el tubo como una masa, Figura 15 este sistema de muelle y masa producen con su frecuencia de resonancia una amortiguación muy alta pero de banda estrecha, la frecuencia de resonancia depende del tamaño de depósito y de la longitud y de la sección transversal del tubo (CHRYSLEY, y otros, 2005).

$$f = c \cdot \sqrt{A/(L \cdot V)} / 2\pi \quad (1)$$

Dónde:

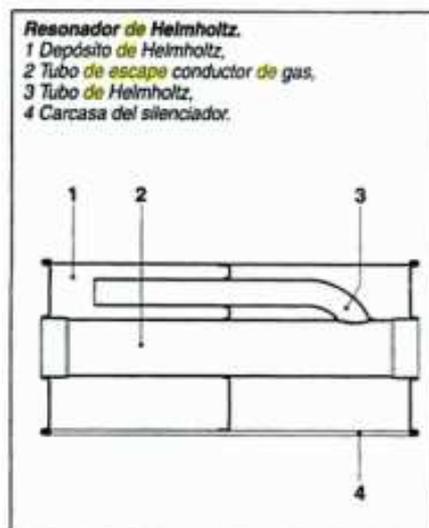
C = La magnitud C es la velocidad del sonido

A = Sección transversal

L = Longitud

V = Tamaño de depósito

Figura 15. Resonador de Helmholtz



Fuente: CHRYSLEY Manual de la técnica del automóvil pág. 549

## 2.5 Ondasy sonido

Las ondas sonoras son ondas mecánicas longitudinales. Se pueden propagar en los sólidos, líquidos y en gases. Las partículas materiales que transmiten esas ondas oscilan en la dirección de la propagación de la onda misma. Hay un gran margen de frecuencia entre las cuales se pueden generar ondas mecánicas longitudinales. Las ondas sonoras se reducen a los límites de frecuencia que pueden estimular el oído humano y dar en el cerebro la sensación acústica. Estos límites de frecuencia se extienden de aproximadamente 20 ciclos/seg a cerca de 20000 ciclos/s y se llaman límites de la audición. Una onda mecánica longitudinal cuya frecuencia sea inferior a los límites audibles se llama ondas infra sónica, y una cuya frecuencia sea superior a los límites de audición se llama onda ultrasónica. (Profesor en Línea.cl, 2010)

Las ondas infrasónica de interés son producidas ordinariamente por grandes centros emisores, por ejemplo, las ondas de los temblores. Las elevadas frecuencias que se requieren para las ondas ultrasónicas pueden ser producidas por las vibraciones elásticas de un cristal de cuarzo inducidas por resonancia al aplicar un campo eléctrico alterno (efecto piezoeléctrico). Es posible producir frecuencias ultrasónicas hasta de  $6 \times 10^8$  ciclos/seg, de esta manera; la longitud de onda correspondiente en el aire es aproximadamente de  $5 \times 10^{-5}$  cm, igual que la longitud de onda de la luz visible.

Las ondas audibles son producidas por cuerdas en vibración (por ejemplo el violín, las cuerdas vocales humanas), por columnas de aire en vibración (por ejemplo el órgano, el clarinete), y por placas y membranas en vibración (por ejemplo el tambor, el magnavoz, el xilófono).

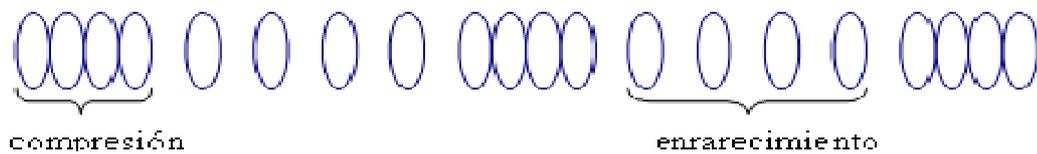
Esos elementos en vibración alternativamente comprimen el aire en movimientos hacia adelante y enrarecen el aire con movimiento hacia atrás. El aire transmite esas perturbaciones a zonas alejadas del centro emisor en forma de ondas. Al entrar al oído, esas ondas producen la sensación de sonido.

Las ondas que son aproximadamente periódicas o que consisten en pequeños números de componentes aproximadamente periódicas dan lugar a una sensación agradable, como por ejemplo los sonidos musicales. Los sonidos que corresponden a formas de

ondas muy irregulares se perciben como ruido. El ruido se puede representar como una superposición de ondas periódicas, pero el número de componentes es muy grande.

**2.5.1 Ondas longitudinales.** Es cuando la vibración de la onda es paralela a la dirección de propagación de la propia onda. Estas ondas se deben a las sucesivas compresiones y enrarecimientos del medio, de este tipo son las ondas sonoras. Un resorte que se comprime y estira también da lugar a una onda longitudinal, Figura 16 (Profesor en Línea.cl, 2010).

Figura 16. Ondas longitudinales

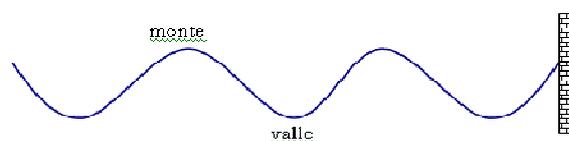


Fuente:<http://www.profesorenlinea.cl/fisica/SonidoOndas.htm>

El sonido se transmite en el aire mediante ondas longitudinales. Otro ejemplo de onda longitudinal es aquella que se produce cuando se deja caer una piedra en un estanque de agua, se origina una perturbación que se propaga en círculos concéntricos que, al cabo del tiempo, se extienden a todas las partes del estanque.

**2.5.2 Ondas transversales.** Donde la vibración es perpendicular a la dirección de la onda. Las ondas transversales se caracterizan por tener montes y valles. Por ejemplo, las ondas que se forman sobre la superficie del agua al arrojar una piedra o como en el caso de una onda que se propaga a lo largo de una cuerda tensa a la que se le sacude por uno de sus extremos, Figura 17 (Profesor en Línea.cl, 2010).

Figura 17. Ondas transversales

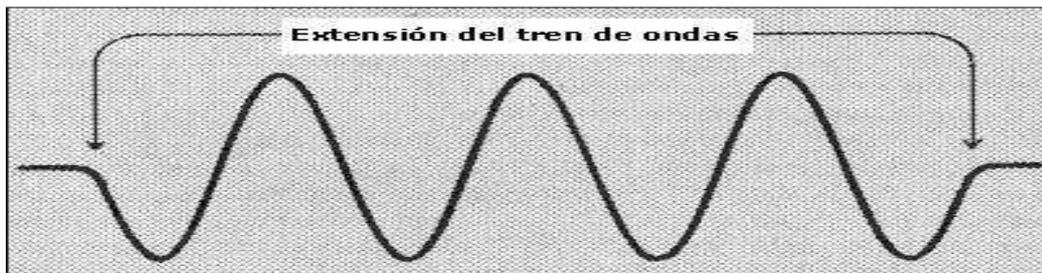


Fuente:<http://www.profesorenlinea.cl/fisica/SonidoOndas.htm>

## 2.6 Características generales o elementos de las ondas

Todas las ondas al moverse lo hacen una tras otra como si fuera un tren de donde se coloca un vagón tras otro, Figura 18(Profesor en Línea.cl, 2010).

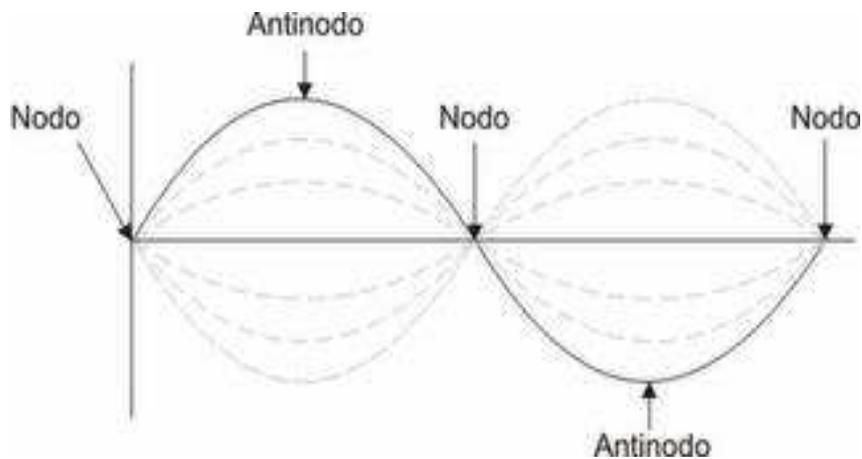
Figura 18. Extensión de tren de ondas



Fuente:<http://www.profesorenlinea.cl/fisica/SonidoOndas.htm>

2.6.1 *Nodo*. Es el punto donde la onda cruza la línea de equilibrio (ver Figura 19).

Figura 19. Nodo



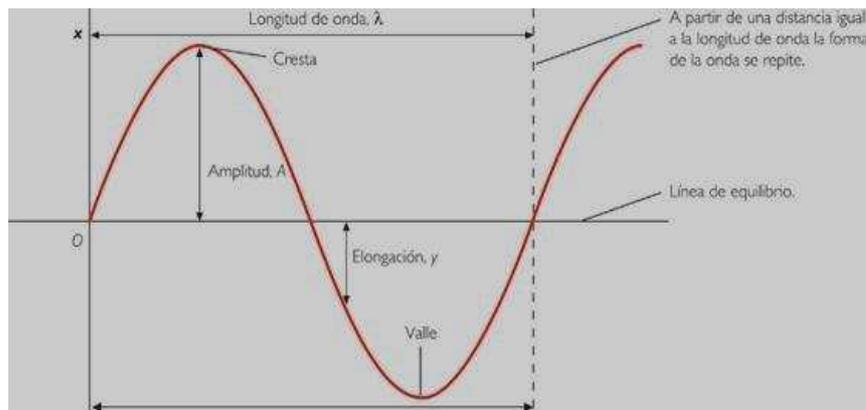
Fuente:<http://www.profesorenlinea.cl/fisica/SonidoOndas.htm>.

2.6.2 *Elongación*. Es la distancia entre cualquier punto de onda y su posición de equilibrio.

2.6.3 *Cresta, monte o pico*. Es el punto más alto de una onda.

2.6.4 *Valle*. Es el punto más bajo de una onda( verFigura 20).

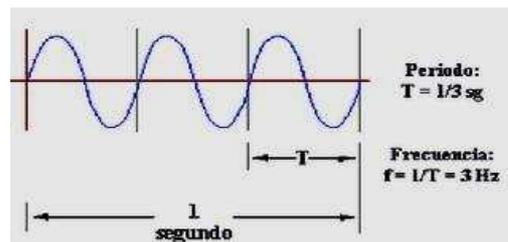
Figura 20. Características generales o elementos de las ondas



Fuente: <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/SonidoOndas.htm>

**2.6.5 Periodo.** Tiempo que tarda en efectuarse una onda o vibración completa, se mide en segundos o s/ciclo se representa con una T mayúscula( verFigura 21).

Figura 21. Representación del periodo en la onda

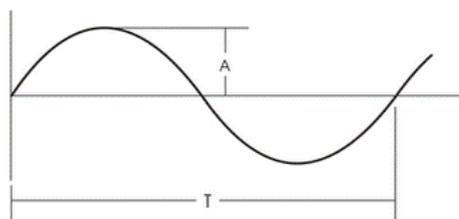


Fuente:<http://www.profesorenlinea.cl/fisica/SonidoOndas.htm>

Se Nota que el periodo (T) es igual al recíproco de la frecuencia (f) y viceversa.

**2.6.6 Amplitud.**Es la máxima separación de la onda o vibración desde su punto de equilibrio (ver Figura 22).

Figura 22.Representación de la amplitud en la onda

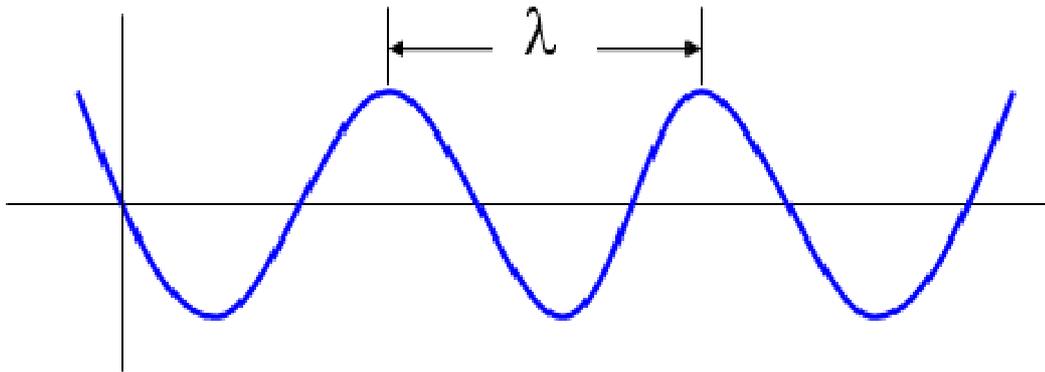


Fuente: <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/SonidoOndas.htm>

**2.6.7** *La longitud de onda ( $\lambda$ ).* Es la distancia entre dos máximos o compresiones consecutivos de la onda. En las ondas transversales la longitud de onda corresponde a la distancia entre dos montes o valles, y en las ondas longitudinales a la distancia entre dos compresiones contiguas. También podemos decir que es la distancia que ocupa una onda completa, se indica con la letra griega lambda ( $\lambda$ ) y se mide en metros. A la parte superior de la onda se le llama cresta y a la inferior se le llama valle (Profesor en Línea.cl, 2010).

Se Tomó como ejemplo ilustrativo una onda transversal(ver Figura 23).

Figura 23. Ilustrativo una onda transversal



Fuente: <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/SonidoOndas.htm>

**2.6.8** *Frecuencia.* Es el número de ondas producidas por segundo. La frecuencia se indica con la letra minúscula. Se mide en ciclos/ segundo o Hertz (Hz). Coincide con el número de oscilaciones por segundo que realiza un punto al ser alcanzado por las ondas(Profesor en Línea.cl, 2010).

Las dos magnitudes anteriores, longitud y frecuencia, se relacionan entre sí para calcular la velocidad de propagación de una onda.

**2.6.9** *Velocidad de propagación.* Es la relación que existe entre un espacio recorrido igual a una longitud de onda y el tiempo empleado en recorrerlo (Profesor en Línea.cl, 2010).

## 2.7 Contaminación sonora

Se llama contaminación sonora(o contaminación auditiva) al exceso de sonido que altera las condiciones normales del ambiente en una determinada zona(BAUTISTA, y otros, 2013).

El término contaminación sonora hace referencia al ruido, provocado por las actividades humanas (tráfico, industrias, locales de ocio, aviones, etc.) que producen efectos negativos sobre la salud auditiva, física y mental de las personas.

**2.7.1 Efectos de la contaminación sonora.**El ruido se considera contaminación acústica cuando implica molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza. En cuanto a los efectos adversos sobre la salud se suelen clasificar en efectos auditivos y efectos no auditivos(Mambiente, 2012).

**2.7.1.1 Los efectos auditivos.**De la contaminación sonora se manifiestan en molestias o daños por acumulación:

- Trastornos físicos (elevación pasajera de agudeza auditiva).
- Trauma acústico (envejecimiento prematuro del oído).
- Pérdida de la capacidad auditiva.

**2.7.1.2 Efectos no auditivos.**De la contaminación sonora, además de afectar al oído puede provocar efectos psicológicos negativos y otros efectos fisiopatológicos (BAUTISTA, y otros, 2013).

### ***Efectos psicopatológicos***

A más de 60 dB

- Dilatación de las pupilas y parpadeo acelerado.
- Agitación respiratoria y taquicardias.
- Aumento de la presión arterial y dolor de cabeza.
- Menor irrigación sanguínea y mayor actividad muscular.

A más de 85 dB

- Disminución de la secreción gástrica, gastritis o colitis.
- Aumento del colesterol y de los triglicéridos.
- Pueden llegar a causar hasta un infarto.
- Aumenta la glucosa en sangre.

### ***Efectos psicológicos***

- Insomnio y dificultad para conciliar el sueño.
- Fatiga.
- Estrés.
- Depresión y ansiedad.
- Irritabilidad y agresividad.
- Aislamiento social.
- Falta de deseo sexual.

**2.7.2** *¿Cómo se mide el nivel del ruido?* El ruido es posible medirlo a través de un instrumento llamado decibelímetro o sonómetro (BAUTISTA, y otros, 2013).

El decibel (dB) es la unidad de medida utilizada para conocer el nivel de presión sonora. El umbral de audición se encuentra en el 0 dB y el umbral de dolor en los 120 dB. La Organización Mundial de la Salud considera los 70 dB como el límite superior deseable.

El oído necesita algo más de 16 horas de reposo para compensar 2 horas de exposición a 110 dB discoteca ruidosa (ver Tabla 1).

A partir de los 140 (dB) el oído humano comienza a sentir dolor y dañar a las células sensibles al sonido del oído interno provocando pérdidas de audición.

### **2.7.3** *El ruido y su impacto en la flora y fauna*

- Estudios indican que las aves y otros animales cambian su comportamiento como respuesta al ruido producido por el hombre, como el proveniente del tráfico y otras máquinas (BAUTISTA, y otros, 2013).

- Esto provoca que los animales se alejen de las zonas pobladas con mayor ruido y que los árboles y más plantas eviten crecer en estos lugares.
- Mientras más ruido exista en la ciudad menos germinación habrá.

**2.7.4 Contaminación sonora en Riobamba.** La legislación ambiental especifica niveles máximos de ruido permisibles según el uso del suelo, en rangos entre 35 y 70 decibeles, pero en sitios de tráfico intenso, como en las avenidas Daniel León Borja y Unidad Nacional, pleno centro de Riobamba, el nivel bordea los 100 decibeles.

El uso excesivo del pito, sistemas de escape sin silenciador en los carros y la reproducción de música a volumen alto son ejemplos de contaminación sonora, a pesar de con una multa equivalente al 5% de un salario básico unificado del trabajador y la reducción de 1,5 puntos de la licencia pero es ignorada por agentes de la Comisión de Tránsito del Ecuador.

Tabla 1. Decibeles producidos por diferentes fuentes generadoras

Nivel de sonido en dB	
Sensación dolorosa	130 dB (A)
Motor de avión (a 5 metros)	120 dB (A)
Tren rápido (a 5 metros)	110 dB (A)
Motor sin silenciador	100 dB (A)
Martillo neumático (a 5 metros)	90 dB (A)
Timbre de llamada (a 1 metro)	80 dB (A)
Lugar de mucho tráfico (a 1 metro)	70 dB (A)
Aspiradora de polvo	60 dB (A)
Conversación normal	50 dB (A)
Habitación silenciosa	40 dB (A)
Susurro de hojas	30 dB (A)
Dormitorio silencioso	20 dB (A)
Tic-tac del reloj de bolsillo	10 dB (A)
Umbral acústico (0 decibelios)	0 dB (A)

Fuente: <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/SonidoOndas.htm>

Tabla 2. Ruidos escape y marcha (valores límites)

Turismo y furgonetas	80 dB hasta 84dB
Camiones, ómnibus, tractores	85 dB hasta 89 dB
Motocicletas	84 dB
Motocicletas pequeñas	73dB hasta 79 dB
Bicicletas con motor auxiliar	70 dB hasta 73 dB

Fuente: <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/SonidoOndas.htm>

Tabla 3. Normas de regulación sonoras en vehículos – constantes

Ø	Diámetro placa orificio	0.039 [m]
C	Coeficiente de descarga	0.62
C <sub>1</sub>	Constante de transformación referida al fluido del manómetro	9.81 [(N/m <sup>2</sup> )]
Ra	Coeficiente residual de gases	287 [Nm/kg <sup>o</sup> k]
Po	Presión atmosférica	73687.3 [Pa]
Dg	Densidad de la gasolina	0.7416 [gr/cm <sup>3</sup> ]
Da	Densidad del aire	0.88 [Kg/m <sup>3</sup> ]
Q <sub>n</sub>	Poder calorífico del combustible	68733 <sup>9</sup> [J/gr]
D	Diámetro del pistón	0.074 [m]
S	Carrera del pistón	0.077 [m]
K <sub>1</sub>	Constante del dinamómetro para motores de 4 tiempos	4
	Altura sobre el nivel del mar	
I	Numero de cilindros	3
L	Brazo de palanca	M
Vp	Volumen de prueba	cm <sup>3</sup>
Ta	Temperatura ambiente	24 [°C]

Fuente: Samaniego G-C, investigadores

Tabla 4. Lista de variables

N	Revoluciones por minuto	rpm
T	Tiempo consumo volumen de prueba	s
Tq	Torque	N-m
Ho	Altura del manómetro	mmH <sub>2</sub> O
F	Fuerza	N
Pf	Potencia al freno	kW - Hp
Pmef	Presión media efectiva al freno	kN / m <sup>2</sup>
Ta	Temperatura ambiente	°K
Ma	Consumo másico de aire	Kg / h
Vc	Volumen de combustible	cm <sup>3</sup> / s
Mc	Consumo másico de combustible	Kg / h
A/c	Relación aire combustible	-----
Cec	Consumo específico de combustible	Kg / (kW-h)
Ht	Rendimiento térmico	%
Hv	Rendimiento volumétrico	%
Vd	Consumo volumétrico de aire teórico	m <sup>3</sup> / s

Fuente: Samaniego G-C, investigadores

Tabla 5. Especificaciones del motor G10

Tipo	SOHC 3 cilindros en línea/ cuatro tiempos/
Material	Aluminio bloque/cabezote/admisión
Peso	60.1 Kg (134.5 lb) / completamente armado
Cilindrada	993 cc (61 in.cu)
Diámetro x carrera 3.03 (in)	74 x 77 (mm) / 2.91 x 3.03 (in)
Relación de compresión	9.5:1
Potencia	48 Hp @ 5100 rpm
Torque	57 lb-ft @ 3200 rpm
Radio del cigüeñal	38.5 mm
Longitud de biela	120mm
Capacidad de combustible	8.3 galones
Tipo de combustible	Gasolina extra 82 Octanos
Sistema de escape	Simple
Sistema de encendido	Electrónico
Bujías	NGK BPR6ES
Orden de encendido	
Sistema de refrigeración	Circulación forzada de agua por bomba
Capacidad refrigerante	4.1 litros
Sistema de lubricación	Bomba de rotor
Capacidad de lubricante	3.5 litros
Lubricante	10W40
Presión de aceite	42-54 psi @ 3000 rpm
Alternador	55 A
Batería	400 cca
Campo de revoluciones	800 – 5700 rpm

Fuente:HAYNES, Automotive Repair Manual Chevrolet Sprint & Geo Metro

## **2.8 Materiales utilizados para la construcción de silenciadores**

Los materiales empleados en la construcción pueden ser clasificados en diferentes maneras, es prudente la búsqueda de catálogos para mejor especificación pues la mayor parte de estos contienen la información básica sobre el material utilizado, como se puede detallar a continuación.

**2.8.1 Lana de vidrio.** Es un producto que se fabrica fundiendo arenas con alto contenido de sílice más carbonato de calcio, bórax y magnesio a altas temperaturas. El resultado final de este proceso de fundición es un producto fibroso de óptimas propiedades de acondicionamiento acústico y aislamiento térmico, Figura 24 (Poli Norte S.A.com, 2008).

El material de relleno empleado en el sistema de control de ruido de ciertos silenciadores es la Fibra de vidrio de 24 micrones, la fibra de vidrio provee mayor absorción acústica, resistencia a la temperatura y a la corrosión para asegurar un período extendido de excepcional performance en aplicaciones de silenciadores.

Sin embargo como los fabricantes de los silenciadores con relleno convencionales están descubriendo, que es importante no solo el tipo de material absorbente empleado en el silenciador, sino el material que permanece en el silenciador, no continua se desintegran después de un tiempo y son expulsadas por el escape.

**2.8.1.1 Descripción.** La lana de vidrio contribuye al confort de los ambientes debido a su capacidad de absorción acústica, esto significa que evita por un lado la ocurrencia de ecos en ambientes cerrados favoreciendo la claridad en la comunicación y disminuyendo los inconvenientes provocados por reflejo de sonido, y otro, la penetración de ruidos molestos provenientes desde el exterior (**Poli Norte S.A.com, 2008**).

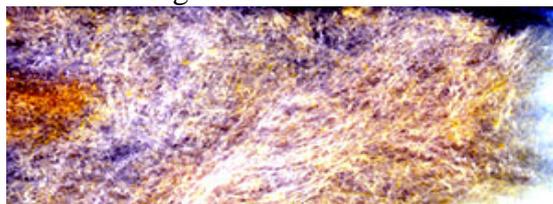
El mecanismo a través del cual se logra este desempeño acústico es mediante el sistema Masa/Resorte/Masa que se verifica cada vez que se instala un material de alta elasticidad entre dos elementos rígidos, como es el caso del silenciador del vehículo.

El material interior, en este caso la lana de vidrio y debido a su elasticidad próxima a la del aire, permite absorber sonidos de fuentes exteriores al actuar como resorte y por ende amortiguando el reflejo o paso de las ondas sonoras incidentes.

#### 2.8.1.2 *Ventajas*

- **Baja conductividad térmica:** Su excelente conductividad térmica, por ser más baja que la de cualquier otro material aislante de su tipo, garantiza un ahorro en combustible (Poli Norte S.A.com, 2008).
- **Incombustible:** Es sumamente significativa en procesos de baja temperatura en lugares cerrados donde el uso de plásticos espumosos combustibles es limitado.
- **Fácil de instalar, manejar, transportar y almacenar.** Esto nos permite tener bajos costos de montaje, así como menor tiempo en la instalación (aproximadamente una tercera parte del tiempo utilizado en la colchoneta de lana mineral)
- **Dimensionalmente Estable:** La fibra de vidrio no se contrae ni se expande al estar expuesta a bajas o altas temperaturas, con lo que cual, elimina la fuga o entrada de calor por huecos.
- **Resistente:** Significa que tiene propiedad de recuperar su forma cuando cesa la causa o presión que lo deforma. Esto evita que queden huecos sin aislamiento.
- **Inorgánico:** No produce hongos o bacterias además de darle el carácter de material incombustible.
- **No favorece la corrosión:** No genera o favorece la corrosión sobre acero al carbón, acero inoxidable o sobre aleación tanto en reposo como a presión.
- **No absorbe humedad:** Debido a su baja higroscopicidad no absorbe humedad, por lo que el aumento de peso es depreciable debido a su exposición a una atmósfera húmeda.
- **Versátil:** El producto viene en diferentes presentaciones, lo que nos permite seleccionar el más idóneo para cada aplicación.

Figura 24. Lana de vidrio



Fuente:[http://es.wikipedia.org/wiki/Lana\\_de\\_vidrio](http://es.wikipedia.org/wiki/Lana_de_vidrio)

## 2.8.2 Planchas acero inoxidable. Especificaciones generales.

Norma: AISI 304

Tabla 6. Descripción de acuerdo a norma.

JIS	SUS 304
ASTM	304
DIN	4301

Fuente: Dipac. Productos de acero

**2.8.2.1 Descripción.** Acero inoxidable aleado al cromo y níquel, muy resistente a la corrosión intergranular y a los ataques químicos del medio ambiente. Posee una buena resistencia a la corrosión del agua, ácidos y soluciones alcalinas si se emplea con superficie pulida a espejo. Se la puede encontrar con acabado ASTM 2B Y 1C (DIPAC, 1978).

### 2.8.2.2 Aplicaciones

- Industrias alimenticias tales como lechera, cerveceras, azucareras.
- Fábricas de jabones, cera y grasas comestibles.
- Utensilios domésticos y de hotelería.
- Cubiertos.
- Industria del cuero.
- Industria farmacéuticas y de la técnica dental.
- Para elementos que exigen una resistencia a la temperatura de hasta 600 °C.

Tabla 7. Composición química.

C Max	Si Max	Mn	P Max	S Max	Ni	Cr	Mo	Otros
0,08	1	2	0,04	0,03	8 - 10,5	18 - 20	XX	XX

Fuente: Dipac. Productos de acero

Tabla 8. Propiedades mecánicas.

RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO DE FLUENCIA		Elongación % Min	PRUEBA DE DUREZA (MÁX)	
kg/mm <sup>2</sup>	Psi	kg/mm <sup>2</sup>	Psi		ROCKWELL	VICKERS
49	69500	18	25500	40	90	200

Fuente: Dipac. Productos de acero

Tabla 9. Dimensiones de plancha.

ESPESORES	desde 0.40 - 15 mm
DIMENSIONES	1220 x 2440 mm (estándar)
	1220 x otros largos (especial)

Fuente: Dipac. Productos de acero

2.8.3 *Tubos de acero negro.* El término "acero negro" se utiliza para hacer referencia a la tubería de acero que tiene una capa de óxido negro en la superficie. Esta capa de óxido negro se forma cuando el tubo es forjado y típicamente sellado con un aceite protector para evitar la corrosión (Euroval del Centro.com, 1984).

Debido a esta capa de óxido y a la cubierta protectora, las tuberías de acero negro requieren poco mantenimiento y son usadas en una gran variedad de aplicaciones, incluyendo los servicios de agua, vapor, aire y gas.

Por lo regular los tubos de acero negro se cortan y enroscan en el exterior.

2.8.3.1 *Dureza y uniformidad.* Las tuberías de acero negro tienen una alta resistencia a la tensión, lo que las vuelve adecuadas para diversas y exigentes aplicaciones. La dureza de los tubos de acero negro evita la formación de grietas y permite una alta capacidad de carga. Una propiedad muy importante de estos tubos es su uniformidad (Euroval del Centro.com, 1984).

La resistencia a la tensión del acero negro es uniforme a lo largo del tubo, lo que asegura diámetros consistentes y predecibles.

2.8.3.2 *Facilidad de instalación y flexibilidad.* En comparación con las estructuras reticulares atornilladas, la instalación de tuberías de acero negro puede ser más rápida y sencilla (Euroval del Centro.com, 1984).

La construcción con extremos a rosca, con rebordes o soldadura permite a los diseñadores hacer ajustes según se requiera. Además de su fortaleza, los tubos de este material pueden fabricarse en exteriores y se puede trabajar con ellos en cualquier longitud. La disponibilidad de múltiples componentes y accesorios de acero negro reducen los costos y puede acelerar la fabricación de estructuras.

Dependiendo de su aplicación y diámetro, estas tuberías pueden enroscarse o soldarse.

## **2.9 Resistencia a la corrosión**

Son cinco los riesgos que amenazan el éxito del uso de los aceros inoxidable. Estos son la corrosión intergranular, la corrosión por efecto galvánico, la corrosión por contacto, la corrosión en forma de picado o de pinchazos de alfiler, y la corrosión por fatiga.

Muchos fracasos pueden ser evitados dándose cuenta sencillamente de los riesgos involucrados y adoptando las medidas apropiadas para eliminarlos (BAZURTO, y otros, 2003).

**2.9.1 Corrosión intergranular.** Un tratamiento térmico inadecuado del acero inoxidable puede producir una red de carburos en los aceros con más del 0,03 por ciento de carbono, o sin adición de titanio o de columbio.

El metal que contenga tal red es susceptible de corrosión intergranular que podrá ser causa de fracaso en condiciones muy corrosivas y reducir la duración útil en muchos servicios relativamente ligeros (BAZURTO, y otros, 2003).

Los procedimientos normales de soldadura introducen en el metal la susceptibilidad a la precipitación de los carburos. Que el acero sea susceptible de corrosión intergranular no significa necesariamente que será atacado por ella.

**2.9.2 Corrosión galvánica.** La corrosión galvánica ejerce una acción localizada que puede sobrevenir cuando una junta de unión entre dos metales disimilares está sumergida en una solución que puede obrar como electrolito.

En un medio corrosivo, los dos metales diferentes forman unos electrodos cortocircuitados y constituyen una celda electroquímica. De ello resulta la disolución

del electrodo anódico, mientras que el cátodo permanece inalterable (BAZURTO, y otros, 2003).

**2.9.3** *Corrosión por contacto.* El tercer riesgo es la corrosión por contacto. Una diminuta partícula de acero al carbono, una escama de óxido, cobre u otra sustancia extraña cualquiera incrustada en el acero inoxidable puede ser suficiente para destruir la pasividad en el punto de contacto. El ataque empieza al formarse una celda galvánica con la partícula de material extraño como ánodo. Mientras dura la acción electroquímica que disuelve lo contaminado, iones de hidrógeno se liberan haciendo que el acero inoxidable se vuelva activo en el punto de contacto. La acción de picado puede proseguir después de haber sido eliminada la partícula extraña por haberse constituido una celda activa-pasiva entre la diminuta superficie anódica atacada y la extensa área catódica circunvecina. Cuando las secciones inoxidables entran en servicio deberán estar limpias de escamas de óxido, de aceite, de pequeñas partículas metálicas procedentes de las herramientas, troqueles e hileras, así como de todo material extraño.

La corrosión por contacto puede iniciarse al cabo de mucho tiempo de estar la pieza en servicio si los métodos de limpieza empleados no son meticulosos. Óxido y suciedad en los conductos de vapor, herramientas impregnadas con acero al carbono, e inclusive aparatos de transporte sucios, pueden acarrear sustancias creadoras de corrosión por contacto hasta los recipientes de acero inoxidable durante un período de limpieza. Unas superficies limpias y lisas, así como la ausencia de arañazos y grietas reduce el riesgo de que se produzca corrosión por contacto (BAZURTO, y otros, 2003).

**2.9.4** *Picado o corrosión en forma de pinchazos de alfiler.* Las soluciones que contengan cloruros podrían atacar por una acción de picado, y en las picaduras se podrán desarrollar celdas galvánicas. Los daños debidos a este picado son también llamados pinchazos de alfiler causados por la corrosión. Los cloruros ácidos, tales como el cloruro férrico y el cloruro sódico son particularmente peligrosos, pero cualquier cloruro en concentración apreciable puede ser la causa posible de perturbaciones. Generalmente los fracasos del acero inoxidable en un medio supuestamente a salvo de

la corrosión son atribuibles a la presencia del ion cloruro en mayor concentración que la previsible(BAZURTO, y otros, 2003).

El molibdeno contenido en los tipos 316 y 317 aumenta la resistencia al picado. Estas aleaciones quedan sometidas a los desperfectos debidos a la corrosión por fatiga; así pues, los recipientes deberán quedar tan exentos de tensiones como sea posible. Grietas, fisuras y bolsas de estancamiento deberán ser eliminadas ya que son las superficies limpias y en buen estado las que mejor resisten al picado, cualquiera que sea la calidad del acero inoxidable.

**2.9.5 Corrosión por fatiga.**La corrosión por fatiga es otro de los riesgos que han de ser eliminados. Casi todos los metales y aleaciones, incluso el acero austenítico inoxidable, pueden fallar al agrietarse o quebrarse debido a la corrosión por fatiga en condiciones que impliquen esfuerzos aplicados o tensiones residuales combinadas con agentes ligeramente corrosivos. Las soluciones de cloruro son de lo más perjudicial al provocar el agrietamiento de los aceros inoxidables austeníticos (BAZURTO, y otros, 2003).

El mecanismo causante de la corrosión por fatiga todavía no ha sido determinado. Es principalmente transgranular y puede ir acompañado de ataques de picado. Son muy susceptibles las piezas que han estado sometidas a un fuerte trabajo en frío, pero el acero recocido puede también agrietarse cuando se le somete a condiciones difíciles.

## **2.10 Sensores**

Los sensores son los dispositivos encargados de monitorear las condiciones de operación del vehículo, y de enviar su información a la computadora para que ésta ordene a los actuadores a operar sobre ciertos parámetros, de acuerdo a las condiciones cambiantes de funcionamiento del motor(CISNEROS, 2012).

Así se puede decirse que los sensores convierten las condiciones de funcionamiento de motor (temperatura, presión absoluta el múltiple, movimientos mecánicos etc.) en un voltaje eléctrico que es enviado a la computadora para ser procesado y comparado con datos de referencia grabados en sus memorias. Y los actuadores son los dispositivos que

realizan los cambios en la operación del vehículo, para adecuar su operación a diferentes condiciones específicas.

Un sensor es un elemento transductor. A su vez, un transductor es un dispositivo que puede convertir una forma de energía en otra; específicamente, los sensores del automóvil son dispositivos que captan la posición rotaciones, caudal, aceleración, temperatura, oxígeno y otras magnitudes fundamentales en el vehículo y convierten esos fenómenos en señales eléctricas. Y en este sentido son los “órganos sensoriales”.

**2.10.1** *Sensor de posición del cigüeñal.* Es un dispositivo diseñado para mandar una señal de frecuencia en relación con las revoluciones del volante para que la computadora pueda saber la posición de rotación del cigüeñal y así poder identificar la posición de cada pistón en el cilindro (CISNEROS, 2012).

**2.10.1.1** *Localización.* Este sensor se encuentra ubicado a un costado de la polea del cigüeñal o volante cremallera.

Posee tres conexiones:

- Una alimentación de voltaje (de 5 a 12 generalmente).
- Una a tierra o masa.
- Una salida de la señal a la computadora.

**2.10.1.2** *Síntomas de falla*

- Se enciende la luz checkengine.
- El motor no arranca.
- El carro se jalonea.
- Puede apagarse el motor espontáneamente.

**2.10.2** *Tipos de sensores*

- Sensor magnético.
- Sensor tipo Hall.
- Sensor óptico.

**2.10.2.1 Sensor magnético.** Este tipo de sensor consta de un imán permanente que induce un campo magnético a través del cual se le aplica una corriente de 5V, este campo magnético y esta corriente son interrumpidas cada vez que un diente volante del cigüeñal pasa cerca del imán del sensor, entonces la señal de 5V es interrumpida varias veces, lo que genera una señal de frecuencia que va de los 0V a los 5V, y esta señal de frecuencia la interpreta la computadora como las revoluciones del volante (ver Figura 25), (CISNEROS, 2012).

Figura 25. Sensor magnético



Fuente: [www.enauto.cl](http://www.enauto.cl)

**2.10.2.2 Sensor tipo Hall.** El sensor consta de un transistor que permite el paso de corriente cada vez que se le es inducido un campo magnético, este campo magnético es provocado por un imán permanente que se encuentra en el volante, entonces cada vez que el volante gira y el imán pasa por el sensor este cierra un circuito y deja pasar corriente generando una señal de frecuencia que va de los 0V a los 5V (ver Figura 29) (CISNEROS, 2012).

Figura 26. Sensor tipo Hall



Fuente: [54sistemaselectrico.blogspot.com](http://54sistemaselectrico.blogspot.com)

**2.10.2.3 Sensor óptico.** Éste sensor consta de un led y un ledfotoresistible, y el volante debe tener unas aperturas u orificios por donde pasa la luz infrarroja del led al otro ledfotoresistible, lo que hace que el ledfotoresistible cierre un circuito, pero cuando el volante gira y pasa la sombra por encima del ledfotoresistible, éste ya no recibe la luz infrarroja del led y por lo tanto se apaga y abre el circuito generando así una señal de frecuencia (ver Figura 27) (CISNEROS, 2012).

Figura 27. Sensor óptico

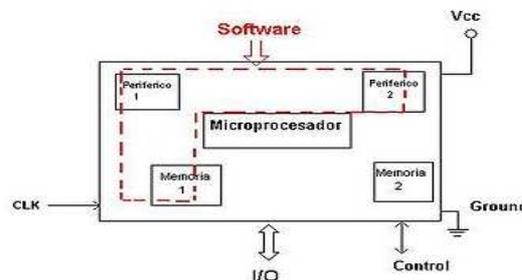


Fuente: [tomastpdelawalsh.blogspot.com](http://tomastpdelawalsh.blogspot.com)

## 2.11. El microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida (ver Figura 28) (AUGARTEN, 2012).

Figura 28. Esquema de un microcontrolador



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>

Algunos microcontroladores pueden utilizar palabras de cuatro bits y funcionan a velocidad de reloj con frecuencias tan bajas como 4 kHz, con un consumo de baja potencia: mW o microvatios (AUGARTEN, 2012).

El microcontrolador no contiene datos en la memoria ROM. Para que pueda controlar algún proceso es necesario generar o crear y luego grabar en la EEPROM o equivalente del microcontrolador algún programa, el cual puede ser escrito en lenguaje ensamblador u otro lenguaje para microcontroladores; sin embargo, para que el programa pueda ser grabado en la memoria del microcontrolador, debe ser codificado en sistema numérico hexadecimal(AUGARTEN, 2012).

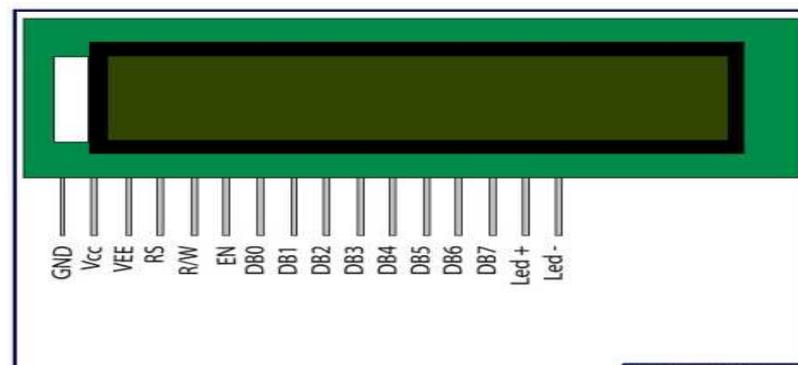
### 2.11.1 Características del PIC 16F876A

- Memoria ROM: 8Kb
- Memoria RAM: 368 x 8 bytes
- Pines I/O:22
- Frecuencia: 20 MHz con cristal externo
- Permite programación ICSP

### 2.12 LCD (Pantalla de Cristal Líquida)

Es un módulo de visualización electrónica y encontrar una amplia gama de aplicaciones. Una pantalla LCD de 16x2 es un módulo muy básico y es muy utilizado en diversos dispositivos y circuitos. Estos módulos son preferibles a los siete segmentos y otros multisegmento LED s. Las razones son: los LCD son económicas, fáciles de programar, no tienen limitación de mostrar especial y hasta personajes personalizados (a diferencia de siete segmentos), animaciones, etc.,Figura. 29(Engineers Garage.com, 2012).

Figura 29. Esquema de un LCD



Fuente:<http://www.engineersgarage.com/electronic-components/16x2-lcd-module-datasheet>

Tabla 10.Descripción LCD

Pin No	Función	Nombre
1	Tierra (0 V)	Suelo
2	Tensión de alimentación; 5V (4.7V - 5.3V)	V <sub>cc</sub>
3	El ajuste de contraste, a través de una resistencia variable	V <sub>EE</sub>
4	Selecciona el registro de comando cuando se baja, y los datos de registro cuando la alta	Registrar / Seleccione
5	Menor a escribir en el registro; Mayor a leer desde el registro	Lectura / escritura
6	Envía datos a los pines de datos cuando se le da un impulso mayor a menor	Permitir
7	Pines de datos de 8 bits	DB0
8		DB1
9		DB2
10		DB3
11		DB4
12		DB5
13		DB6
14		DB7
15	Backlight V <sub>cc</sub> (5 V)	Led +
16	Planta Backlight (0 V)	Led-

Fuente:<http://movimientomecatronica.blogspot.com/2013/11/lcddescripcion-y-nombre-de-los-pins.html>

### 2.13 Motor reductor de velocidad

Toda máquina cuyo movimiento sea generado por un motor (ya sea eléctrico, de explosión u otro) necesita que la velocidad de dicho motor se adapte a la velocidad necesaria para el buen funcionamiento de la máquina. Además de ésta adaptación de velocidad, se deben contemplar otros factores como la potencia mecánica a transmitir, la potencia térmica, rendimientos mecánicos, estáticos y dinámicos(Race Ready Performance.com, 2012).



## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO

#### 3.1 Introducción

Hoy en día autoridades, organizaciones y gobierno de turno se han preocupado por el tema de la contaminación sonora generada por las grandes fábricas y más que todo por el gran aumento del parque automotor, se dice que hoy en día todos pueden adquirir fácilmente un vehículo de combustión interna.

Se ha dicho por organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), que se corre el riesgo de una disminución importante en la capacidad auditiva; así como la posibilidad de trastornos psicológicos (paranoia, perversión) y fisiológico por la excesiva exposición a la contaminación sonora. Por esto la OMS mediante informe manifiesta que el límite aceptable es máximo 70 dB.

Los talleres destinados a fabricar silenciadores caseros donde algunos de ellos construyen sin basarse en ningunas normas técnicas, pero como la demanda de vehículos en muchas. Esto hace que haiga más vehículos dispuesto a generar ruido y a ocasionar molestas enfermedades. Según el incremento del parque automotor de la ciudad de Riobamba el mercado es amplio para emprender el desarrollo del proyecto.

Los fabricantes de automotores, proveedores de escapes y silenciadores debido a estos aspectos y consecuencias ya mencionadas, hoy en día están diseñando y construyendo nuevos diseños utilizando nueva tecnología y materiales.

Observando estas consecuencias se ha decidido emprender el proyecto para construir un modelo de silenciador que genere decibeles que estén dentro de las normas permisibles para el oído humano y que sea agradable.

Para desarrollar el proyecto se estudió el origen del ruido generado en el motor del vehículo Suzuki Forsa 1, así saber cómo mejorar el problema acústico, para esto se realizó cálculos matemáticos para obtener datos e información como punto de partida para empezar a diseñar el prototipo.

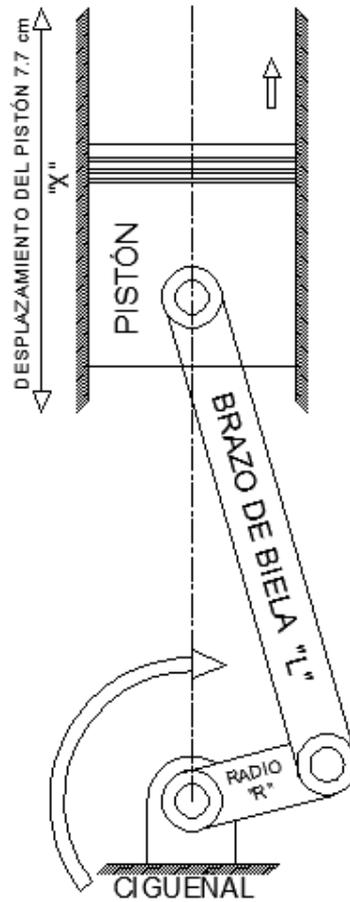
Para confirmar los resultados del estado del vehículo antes de empezar a diseñar se realizó una serie de exámenes, como prueba de potencia en el dinamómetro, ayuda brindada por el Ministerio del Ambiente y CORPAIRE, en dichas pruebas se obtuvo los siguientes datos como se muestra en la Figura 64. Luego se realizó la prueba de decibelios con el sonómetro automotriz, dicha prueba se realizó gracias a la colaboración del departamento SERCOMEC, se consiguió los siguientes datos que están detallado en la Tabla 16, con estos datos se empezó a modelar para obtener medidas y dimensionar las cámaras de Helmholtz. No obstante sucedió el problema de espacio reducido para su instalación, esto hizo que se tomé un nuevo estudio para evitar este problema, así que se buscó sobredimensionar caños para reducir la velocidad de salida de los gases del motor, así el diseño se ajustaría al espacio de la carrocería y con esto no solo reducimos la velocidad de salida de los gases sino también la temperatura de entrada y salida.

### **3.2 Modelación matemática**

En un principio se necesitó conocer el comportamiento de los gases de salida del motor, era necesario calcular la velocidad de salida de los gases desde el motor hasta el silenciador.

Para obtener esta información se recurrió a la aplicación de fórmulas de mecanismo biela -manivela, con los siguientes datos obtenidos de la Tabla 1 especificaciones del motor donde nos dan las medidas del radio del cigüeñal el cual es 38.5 mm, la longitud de biela es 120 mm y la carrera del motor Suzuki Forsa es de 77 mm.

Figura 31. La carrera del motor Suzuki Forsa  
**MOTOR SUZUKI FORSA 1**



Fuente: Autores

**3.2.1** *Cálculo de desplazamiento del pistón.* Con éstos datos y aplicando la siguiente fórmula se calculó la posición del pistón según el ángulo de giro del cigüeñal del motor.

$$x = (R + L) - \left[ R \cos \alpha + L \sqrt{1 - \left( \frac{R \sin \alpha}{L} \right)^2} \right] \quad (2)$$

Dónde:

x=Posición del pistón, en mm.

R= Radio de manivela o del cigüeñal, en mm.

L= Longitud de biela, en mm.

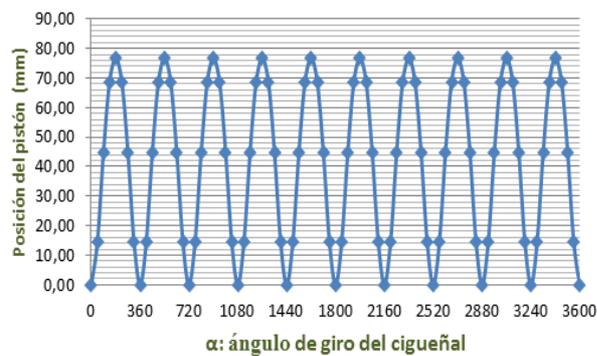
$\alpha$ = Ángulo de giro del cigüeñal, en grados.

Tabla 11. Cálculo desplazamiento del pistón desde PMS-PMI

Datos Técnicos			
L: Longitud de biela		120 mm	
R: Radio de cigüeñal		38,5 mm	
C: Carrera del pistón		77mm	
$\alpha$ : Ángulo girado por el cigüeñal desde P.M.S		X: Posición del pistón entre P.M.S - P.M.I	
$\alpha$ : grados	R: (mm)	L: (mm)	x= (mm)
0	38,5	120	0,00
45	38,5	120	14,41
90	38,5	120	44,84
135	38,5	120	68,85
180	38,5	120	77,00
225	38,5	120	68,85
270	38,5	120	44,84
315	38,5	120	14,41
360	38,5	120	0,00
405	38,5	120	14,41
450	38,5	120	44,84
495	38,5	120	68,85
540	38,5	120	77,00
585	38,5	120	68,85
630	38,5	120	44,84
675	38,5	120	14,41
720	38,5	120	0,00

Fuente: Autores

Figura 32.Desplazamiento del pistón



Fuente: Autores

**3.2.2 Cálculo de velocidad del pistón.** Con los datos de posición del pistón y más las rpm del motor se realizó el cálculo de la velocidad de salida de los gases generado internamente y evacuado por el pistón. Para esto se utilizó la siguiente fórmula que se puede apreciar a continuación.

$$v = \omega R \left( \sin \alpha + \frac{R \sin 2\alpha}{2L} \right) \quad (3)$$

Dónde:

v= Velocidad del pistón, en m/s.

$\omega$ = Velocidad angular, en rpm.

R=Radio de manivela o del cigüeñal, en mm.

L= Longitud de biela, en mm.

$\alpha$ = Ángulo de giro del cigüeñal, en grados.

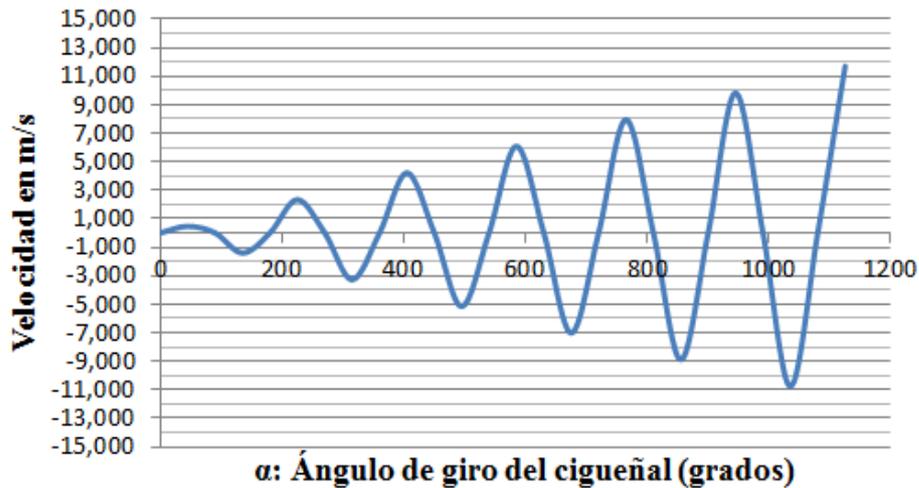
Tabla 12. Cálculo de velocidad de salida de los gases dentro del motor Suzuki Forsa 1

Datos técnicos					
L: Longitud de biela		120 mm	$\alpha$ : Ángulo girado por el cigüeñal desde el P.M.S		
R: Radio de cigüeñal		38,5 mm			
C: Carrera del pistón		77 mm	V: velocidad del Pistón en (m/s) o (km/h)		
W: RPM del motor		0 al infinito			
A	R: (mm)	L: (mm)	w (RPM)	V(m/s)	V(Km/h)
0	38,5	120	0	0,000	0,000
45	38,5	120	100	0,468	1,684
90	38,5	120	200	0,000	0,000
135	38,5	120	300	-1,404	-5,053
180	38,5	120	400	0,000	0,000
225	38,5	120	500	2,339	8,421
810	38,5	120	1800	0,000	0,000
945	38,5	120	2100	9,825	35,369
990	38,5	120	2200	0,000	0,000
1035	38,5	120	2300	-10,760	-38,738
1080	38,5	120	2400	0,000	0,000
1125	38,5	120	2500	11,696	42,106

Fuente: Autores

En esta Figura 33 se pudo determinar el comportamiento del pistón respecto al ángulo de giro del cigüeñal, se nota claramente que a medida que aceleramos el motor la velocidad se incrementa de una forma senoidal.

Figura 33. Velocidad del pistón



Fuente: Autores

**3.2.3 Cálculo de área y volumen de salida del motor.** Las medidas de carrera y diámetro del cilindro fueron tomado de la Tabla 12 de especificaciones del motor. Dónde especifica claramente que la carrera del motor es de 7.7 cm y el diámetro del cilindro es de 7.4 cm. Con estos datos y aplicando la siguiente fórmula de área en un cilindro se obtuvo la siguiente respuesta.

$$A_1 = \frac{\pi(D_1)^2}{4} \quad (4)$$

Dónde:

$A_1$  = Área del pistón, en  $\text{cm}^2$ .

$D_1$  = Diámetro del pistón, en cm.

$$A_1 = \frac{\pi(7.4 \text{ cm}^2)}{4}$$

$$A_1 = 43 \text{ cm}^2$$

### 3.2.4 Cálculo de área de caños de salida de los gases de escape

$$A_2 = \frac{\pi(D_2)^2}{4} \quad (5)$$

Dónde:

$A_2$  = Área en el cañoheader, en  $\text{cm}^2$ .

$D_1$  = Diámetro del header 1 1/2", en cm.

$$A_2 = \frac{\pi(3.81 \text{ cm}^2)}{4}$$

$$A_2 = 11.4 \text{ cm}^2$$

De esta manera calculamos el volumen de un cilindro motor.

$$V = \frac{\pi C(D_1)^2}{4} \quad (6)$$

Dónde:

$V$  = Volumen total de un cilindro del motor Suzuki Forsa 1, en  $\text{cm}^3$ .

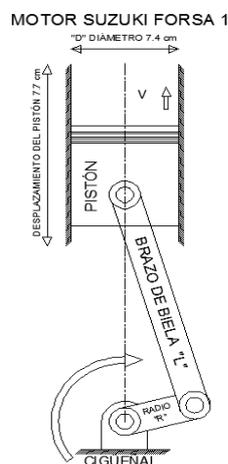
$C$  = Carrera del pistón, en cm.

$D_1$  = Diámetro del cilindro, en cm.

$$V = \frac{(\pi)(7.7 \text{ cm})(7.4 \text{ cm})^2}{4}$$

$$V = 331.16 \text{ cm}^3$$

Figura 34. Diagrama biela-manivela Suzuki Forsa 1



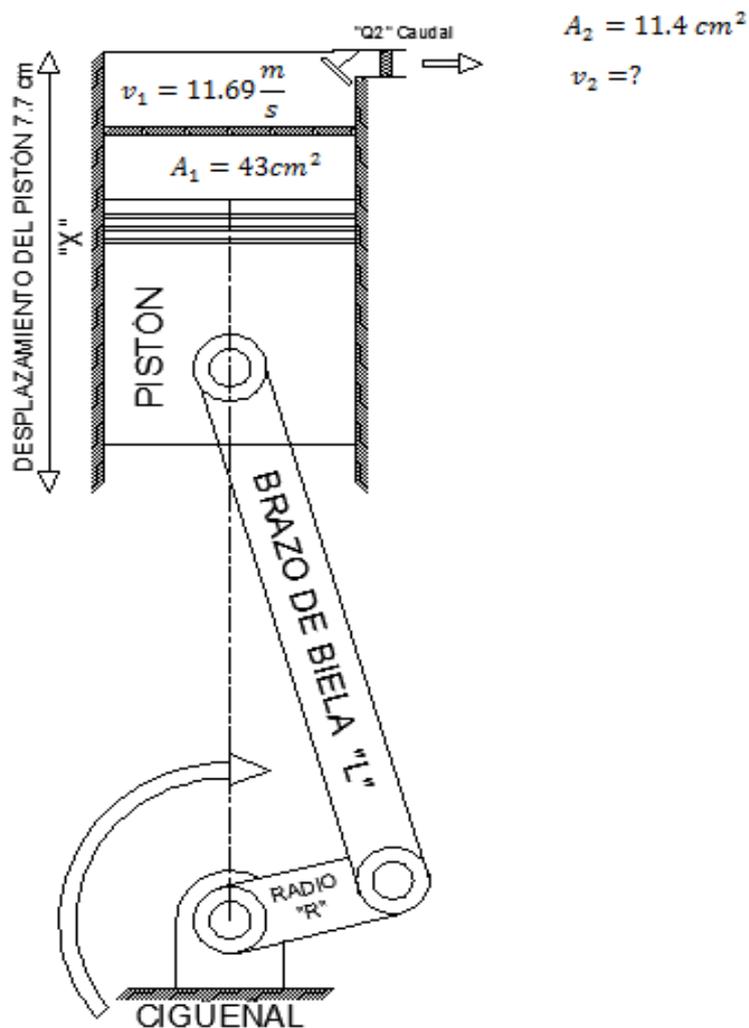
Fuente: Autores

Una vez que se conoció la velocidad y el volumen de salida de los gases generados internamente en el motor. Para trabajar en el proyecto se tomó como referencia la velocidad promedio el cual es tomado a 2500 rpm que según la Tabla 12 nos da una velocidad de 11.697 m/s (42.106 km/h).

Con la velocidad promedio se buscó seleccionar que diámetro de caños nos favorece para mantener una velocidad baja para así evitar elevadas presiones y temperatura en el desplazamiento de los gases carburantes. Así favorecer la rápida evacuación y ganar potencia.

Figura 35. Diagrama biela-manivela Suzuki Forsa 1

### MOTOR SUZUKI FORSA 1



Fuente: Autores

**3.2.5 Conductividad térmica de gases en los caños.** Se evacuó el gas de combustión interna del motor Suzuki Forsa 1 mediante caños de diámetro interno  $D_1 = 50.8\text{mm}$  y diámetro externo  $D_2 = 54.8\text{mm}$ ; su temperatura externa al caño es de  $T = 66.7^\circ\text{C}$  como se observa en la Figura 37 y su temperatura ambiental es de  $T_2 = 24.8^\circ\text{C}$  medido con el termómetro digital como se observa en la Figura 36. La conductividad térmica del acero es  $k = 0.15$ , la emisividad de la superficie del tubo es  $E = 0.0006 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2}$  y el calor latente del combustible en  $q = 11530 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$ .

$$Q = \frac{2\pi Kl(T_1 - T)}{\log_e \frac{D_2}{D_1}} \quad (7)$$

Dónde:

Q= Cantidad de calor, en cal.

K= Conductividad del material.

$T_2$ = Temperatura ambiental, en  $^\circ\text{C}$ .

$T_1$ = Temperatura ambiental, en  $^\circ\text{C}$ .

T= Temperatura ambiental, en  $^\circ\text{C}$ .

$D_1$ = Diámetro interno, en mm.

$D_2$ = Diámetro externo, en mm.

l= Longitud de caño, en mm.

Figura 36. Temperatura ambiente



Fuente: Autores

Figura 37. Temperatura exterior del caño



Fuente: Autores

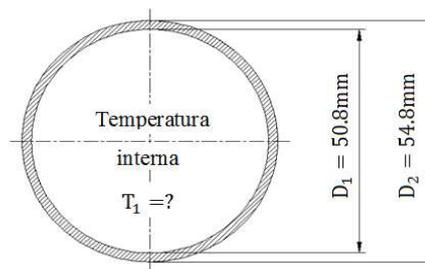
Figura 38. Temperatura interna

Temperatura ambiente

$$T_2 = 24.8^\circ\text{C}$$

Temperatura exterior del caño

$$T = 66.7^\circ\text{C}$$



Fuente: Autores

### 3.2.6 Cálculo de temperatura interna en los caños.

$$Q = \frac{2\pi(0.15)l(T_1 - 66.7)}{\log_e \frac{54.8}{50.8}}$$

Calor producido a través del tubo se pierde por radiación en la superficie exterior es:

$$Q_1 = (8\pi)(E)(l)(T - T_2) \quad (8)$$

$$Q_1 = 0.0006(8\pi)(l)(T - T_2)$$

$$Q = Q_1$$

Igualando la fórmula (5) y (6) se obtendrá la temperatura interna en los caños, así se aprecia la diferencia de temperatura según la cédula del material, y temperatura ambiental.

$$\frac{2\pi(0.15)l(T_1 - 66.7)}{\log_e \frac{54.8}{50.8}} = 0.0006(2\pi)(4l)(66.7 - 24.8)$$

$$\frac{(0.15)(T_1 - 66.7)}{\log_e(1.07874)} = 0.0006(4)(41.9)$$

$$T_1 - 60 = \frac{0.10056(0.07579384)}{0.15}$$

$$T_1 = 66.7508^\circ\text{C}$$

La cantidad de calor conducido según la ecuación (5) es:

$$Q = \frac{2\pi(0.15)(100)(66.7508^\circ\text{C} - 66.7^\circ\text{C})3600}{\log_e \frac{54.8}{50.8}}$$

$$Q = 227406.79\text{Cal}$$

La masa del gas se condensa como consecuencia de esta pérdida de calor, entonces será:

$$m = \frac{Q}{q} \quad (9)$$

Dónde:

Q= Cantidad de calor, en cal.

m= Masa de gas comburente que circula en 100 cm de caño, en g.

q= Calor latente del gas comburente, en cal/g

Desarrollo:

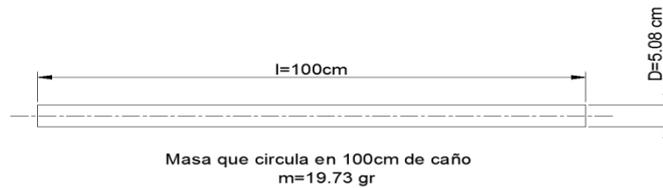
$$m = \frac{227406.79\text{cal}}{11530 \frac{\text{cal}}{\text{g}}}$$

Masa que circula en 100cm de caño

$$m = 19.72\text{g}$$

### 3.2.7 Cálculo de densidad del gas

Figura 39. Cálculo de la densidad



Fuente:Autores

Fórmula para calcular la densidad conociendo su masa y su volumen en un caño.

$$\rho = \frac{4m}{\pi D^2 l} \quad (10)$$

Dónde:

$\rho$ = Densidad del gas comburente,  $\text{g}/\text{cm}^3$

m= Masa de gas comburente que circula en 100 cm de caño, en g.

D= Diámetro interno del caño, en cm.

l= Longitud de caño, en cm.

Desarrollo:

$$\rho = \frac{4(19.72\text{g})}{\pi(5.08\text{cm})^2 100\text{cm}}$$
$$\rho = 9.73 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

### 3.3 Cálculos matemáticos para el diseño del silenciador

Con los siguientes datos y aplicando la fórmula (9) se calculará el perímetro de la carcasa del silenciador.

$$L = 7 \text{ cm}$$

$$a = 5 \text{ cm}$$

$$b = 10 \text{ cm}$$

$$D = 2" = 5.08 \text{ cm}$$

$$x = 7 \text{ cm}$$

Perímetro de la plancha ASTM A36:

$$P = \pi \left[ 3(a + b) - \sqrt{(3a + b)(a + 3b)} \right] \quad (11)$$

Dónde:

P= Perímetro del silenciador, en cm.

a= Semieje menor, en cm.

b= Semieje mayor, en cm.

$$P = \pi \left[ 3(5\text{cm} + 10\text{cm}) - \sqrt{(3(5\text{cm}) + 10\text{cm})(5\text{cm} + 3(10\text{cm}))} \right]$$

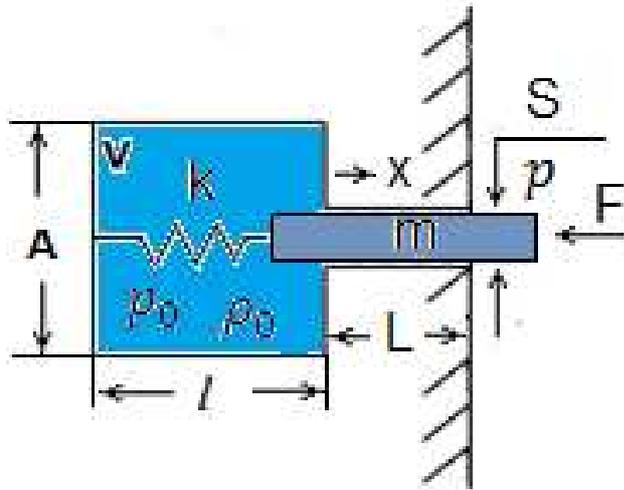
$$P = 48.44\text{cm}$$

### 3.4 Frecuencia del resonador de Helmholtz

Por cada grado centígrado que sube la temperatura, la velocidad del sonido aumenta en 0,6m/s.

**3.4.1 Cavidades resonantes acústicas.** Un resonador tipo Helmholtz está diseñado para absorber medias y bajas frecuencias, inferiores a 500 Hz, cuando el frente de onda incidente choca contra el resonador, desplaza las partículas que se encuentran dentro de su cavidad, produciendo fricción en los límites de su volumen, transformando la energía acústica en energía calórica. El sistema funciona como un sistema masa resorte donde la masa está representada por las partículas que se encuentran en el cuello del resonador, y en donde el resorte está representada por las partículas de aire dentro de la cavidad.

Figura 40. Resonadores de Helmholtz



Fuente:Autores

Se realizó el cálculo de los valores del sistema mecánico interno del resonador de Helmholtz.

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \quad (12)$$

Dónde:

S= Área de caño usado internamente del silenciador, en  $\text{cm}^2$ .

D= Diámetro interno de caño de 2", en cm.

Desarrollo:

$$S = \frac{\pi(5.08\text{cm})^2}{4}$$

$$S = 20.268\text{cm}^2$$

Área de la cámara de resonancia:

$$A_1 = \pi ab \quad (13)$$

Dónde:

$A_1$ = Área de la cámara de resonancia.

a= Semieje menor, en cm.

b= Semieje mayor, en cm.

$$A_1 = \pi(5\text{cm})(10\text{cm})$$

$$A_1 = 157.08\text{cm}^2$$

Volumen de la cámara de resonancia:

$$V = xA_1 \quad (14)$$

Dónde:

V= Volumen de la cámara de resonancia, en  $\text{cm}^3$ .

x= Longitud de caño de entrada al resonador de Helmholtz, en cm.

$A_1$ = Área de la cámara de resonancia Helmholtz, en  $\text{cm}^2$ .

Desarrollo:

$$\begin{aligned} V &= (7\text{cm})(157.08\text{cm}^2) \\ V &= 1099.55\text{cm}^3 \\ \omega &= 100C \sqrt{\frac{S}{LV}} \quad (15) \end{aligned}$$

Dónde:

$\omega$ = Frecuencia angular, en Rad/s.

$$S = 20.268\text{cm}^2$$

$$V = 1099.55\text{cm}^3$$

$$L = 7\text{cm}$$

$$C = 343 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 34300 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \text{ Á } 20^\circ\text{C}.$$

Desarrollo:

$$\begin{aligned} \omega &= 100(343\text{m/s}) \sqrt{\frac{20.268\text{cm}^2}{(7\text{cm})(1099.55\text{cm}^3)}} \\ \omega &= 34300 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \sqrt{\frac{0.002633285}{\text{cm}^2}} \\ \omega &= \left(\frac{34300\text{cm}}{\text{s}}\right) \left(\frac{0.051315543}{\text{cm}}\right) \\ \omega &= 1760.123 \frac{\text{Rad}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Frecuencia interna del resonador de Helmholtz.

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (16)$$

Dónde:

f= Frecuencia angular, en Hz.

$\omega$ = Frecuencia angular, en rad/s.

Desarrollo:

$$f = \frac{1760.123 \frac{\text{Rad}}{\text{s}}}{2\pi \text{Rad}} * \text{Rev}$$
$$f = 280.13 \frac{\text{Rev}}{\text{s}}$$
$$f = 280.13 \text{Hz}$$

**3.4.2** *Masa del oscilador.* El fluido en el cuello tiene una masa efectiva total.

$$m = S\rho_0 L \quad (17)$$

Dónde:

$\rho_0$ =Densidad del gas, en g/cm<sup>3</sup>.

S= Área del cuello de entrada, en cm<sup>2</sup>.

L= Desplazamiento longitudinal del fluido gaseoso

Desarrollo:

$$m = (20.268 \text{cm}^2) \left( 0.00973 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) (7 \text{cm})$$
$$m = 0.035327 \text{g}$$

**3.4.3** *Presión en el cuello del resonador.* Para determinar la elasticidad del oscilador, suponemos que la masa del cuello se desplaza hacia fuera una distancia  $x$ . El volumen de la cavidad cambia en  $\Delta V = -Sx$ , dando lugar a una variación en la densidad de  $\frac{\Delta \rho}{\rho} = -\frac{\Delta V}{V} = \frac{Sx}{V}$ . El incremento de la presión en la aproximación acústica es:

$$p = \frac{S\rho_0 C^2 x}{V} \quad (18)$$

Dónde:

p= Presión en el cuello del resonador, en Pa.

$\rho_0$ = Densidad del gas, en g/cm<sup>3</sup>.

V = 1099.55cm<sup>3</sup>.

S= Área del cuello de entrada, en cm<sup>2</sup>.

x= Longitud de caño de entrada al resonador de Helmholtz, en cm.

C = Velocidad del sonido  $343 \frac{m}{s} = 34300 \frac{cm}{s}$ .

Desarrollo:

$$p = \frac{(20.268cm^2) \left(0.000249 \frac{gr}{cm^3}\right) \left(34300 \frac{cm}{s}\right)^2 (7cm)}{1099.55cm^3}$$

$$p = 37799.1 \frac{din}{cm^2}$$

$$p = 3779.91 Pa$$

La fuerza que se requiere para obtener este desplazamientos:

$$F = pS = \frac{\rho_0 C^2 S^2}{V} x \quad (19)$$

Dónde:

p= Presión en el cuello del resonador, en Pa.

S=Área del cuello de entrada, en cm<sup>2</sup>.

$$F = \left(37799.1 \frac{din}{cm^2}\right) (20.268cm^2)$$

$$F = 7.66N$$

Constante elástica.

$$k = \rho_0 C^2 \frac{S^2}{V} \quad (20)$$

Dónde:

k= Constante elástica, en din/cm.

$\rho_0$ =Densidad del gas, en g/cm<sup>3</sup>.

$V = 1099.55\text{cm}^3$ .

$S$ = Área del cuello de entrada, en cm<sup>2</sup>.

$$C = 343 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 34300 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$k = \left(0.000249 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right) \left(34300 \frac{\text{cm}}{\text{s}}\right)^2 \frac{(20.268\text{cm}^2)^2}{1099.55\text{cm}^3}$$

$$k = 109.44 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

**3.4.4** *Elasticidad del oscilador o fuerza excitadora.* La fuerza excitadora instantánea que produce una onda sonora de amplitudaque incide sobre el resonador es.

$$F_{\text{excitadora}} = aSe^{i\omega t} = \cos \omega t - i \sin \omega t \quad (21)$$

Dónde:

$a$ = Amplitud.

$S$ = Área de entrada, en cm<sup>2</sup>.

$e^{i\omega t}$ = Dependencia del tiempo.

La ecuación diferencial para el desplazamiento  $x$  del fluido en el interior del cuello del resonador es:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + R_r \frac{dx}{dt} + kx = F_{\text{Excitadora}} = aSe^{i\omega t} \quad (22)$$

Dónde:

$m$ =Masa, en g.

$x$ = Desplazamiento, en cm.

$t$ = Tiempo, s.

$R_r$ = Resistencia de radiación del (RH).

$k$ = Constante elástica o módulo de compresibilidad.

$a$ = Amplitud.

$S$ = Área de entrada.

$e^{i\omega t}$  = Dependencia del tiempo.

Puesto que la ecuación es idéntica a la de un oscilador forzado, su solución puede obtenerse por analogía. En particular la impedancia mecánica del RH es:

$$Z_m = \frac{F_{\text{Exitadora}}}{u} = \frac{aSe^{i\omega t}}{dx/dt} = R_r + i\left(\omega m - \frac{k}{\omega}\right) = R_r + ix_m \quad (23)$$

Dónde:

$Z_m$  = Impedancia mecánica.

$a$  = Amplitud.

$S$  = Área de entrada.

$e^{i\omega t}$  = Dependencia del tiempo.

$\omega$  = Frecuencia de resonancia.

$m$  = Masa.

$R_r$  = Resistencia de radiación del (RH).

$i$  = Número complejo

$x_m$  = Reactancia mecánica.

La reactancia mecánica del oscilador en función de la frecuencia de resonancia es:

$$X_m = m\omega_0 \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) = \frac{k}{\omega_0} \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \quad (24)$$

Dónde:

$x_m$  = Reactancia mecánica del oscilador.

$m$  = Masa

$\omega_0$  = Frecuencia inicial de resonancia.

$\omega$  = Frecuencia final de resonancia.

$k$  = Constante elástica o módulo de comprensibilidad.

La impedancia acústica del resonador  $Z_a$  está relacionada con su impedancia mecánica a través de la relación:

$$Z_a = \frac{p}{u} = \left( \frac{f_{\text{exitadora}}}{u} \right) \left( \frac{1}{S^2} \right) = \left( \frac{1}{S^2} \right) Z_m \quad (25)$$

Ésto es:

$$Z_a = \frac{Z_m}{S^2}$$

Dónde:

$Z_a$  = Impedancia acústica del resonador.

$Z_m$  = Impedancia mecánica.

$S^2$  = Área de entrada elevada al cuadrado.

### 3.5 Diseño del Silenciador en SolidWorks

Con toda ésta información y el uso del software denominado SolidWorks, en élse diseñaron tres posibles prototipos como se puede apreciar en las Figuras 41, 42, y 43.

Figura 41. Prototipo silenciador 1



Fuente: Autores

El prototipo “silenciador 1” su dimensiones externas es de 30 cm de longitud, 20 cm de ancho y 10 cm de alto. El cual internamente está formada por tres cámaras distribuidas de las siguientes manera como se muestra en la Figura 41.

Cámara de entrada.

En esta cámara se encuentran dos tubos de 2” perforado con fin de liberar presión en dónde los gases se dispersan por los orificios perforados creando colisiones de ondas por dónde amortigua las ondas de alta frecuencia.

Cámara intermedia.

En ésta cámara se reduce la velocidad de los gases, y es dónde los gases de entrada se unen formando una nueva colisión y distribuyendo una parte de la energía sonora. Con dirección a la tercera cámara de resonador de Helmholtz.

Cámara de salida

En esta cámara es la más importante de todas ya que está diseñado para absorber frecuencias medias y bajas, cuando las ondas inciden contra el resonador, desplazando las partículas que se encuentra dentro de su cavidad y transformando la energía acústica en energía calorífica y mediante la fibra de vidrio, se absorbe parte de esta energía calorífica.

Figura 42. Prototipo silenciador 2



Fuente: Autores

El prototipo “silenciador 2” su dimensiones externas es de 30 cm de longitud, 20 cm de ancho y 10 cm de alto. El cual internamente está formada por cuatro cámaras distribuidas de las siguientes manera como se muestra en la Figura 42.

Cámara de entrada.

En esta cámara se encuentran dos tubos de 2” por donde ingresa los gases carburantes, dónde la presión disminuye y la energía sonora se distribuye en dos salidas hacia la segunda cámara.

Segunda cámara.

En esta cámara posee dos caños dimensionado de acuerdo al diseño, dónde el uno es de entrada al resonador de Helmholtz y el otro es de libre evacuación hacia la tercera cámara y en éste compartimiento se reduce parte de la energía sonora.

Tercera cámara.

En esta cámara se reduce la velocidad de los gases, y es donde los gases entran formando una nueva colisión y distribuyendo en dos parte, una con dirección a la cámara de resonador de Helmholtz y la otra parte al caño de salida.

Cámara de salida

En esta cámara es importante ya que está diseñado para absorber frecuencias medias y bajas, cuando las ondas inciden contra el resonador, desplazando las partículas que se encuentra dentro de su cavidad y transformando la energía acústica en energía calorífica y mediante la fibra de vidrio se absorbe parte de esta energía calorífica de los gases de salida.

Figura 43. Prototipo silenciador 3



Fuente: Autores

El prototipo “silenciador 3” su dimensiones externas es de 30 cm de longitud, 20 cm de ancho y 10 cm de alto. El cual internamente está formada por cuatro cámaras distribuidas de las siguientes manera como se muestra en la Figura 43.

Cámara de entrada.

Ésta cámara se encuentran dos tubos de 2" por dónde ingresa los gases carburantes, la presión disminuye y energía sonora se distribuye en tres salidas hacia la segunda cámara.

Segunda cámara.

En ésta cámara posee tres caños de entrada dimensionados de acuerdo al diseño, dónde dos de ellos corresponden a entrada del resonador de Helmholtz respectivamente y el otro es de libre evacuación hacia la tercera cámara y en éste compartimiento se reduce parte de la energía sonora.

Tercera cámara.

En ésta cámara los gases ingresan por una sola entrada donde la velocidad con la que ingresa se reduce y su presión disminuye para posteriormente evacuar por tres caños dónde dos de ellos son de salida y el otro ingresa al tercer resonador que está en la cuarta cámara.

Cámara de salida

En ésta cámara es importante ya que está diseñado para absorber frecuencias medias y bajas, cuando las ondas inciden contra el resonador, desplazando las partículas que se encuentra dentro de su cavidad y transformando la energía acústica en energía calorífica y mediante la fibra de vidrio se absorbe parte de esta energía calorífica de los gases de salida. Este prototipo tiene dos salidas de gases para su rápida evacuación.

### **3.6 Diseño electrónico**

Éste dispositivos necesitaba de un sistema electrónico que controlara el paso del caudal de gases a través del silenciador para esto se tomó en cuenta variables de entrada y de salida. Pero para que esto funcione se requería que la variable de entrada sea las rpm del motor. Sin embargo el vehículo no contaba con el sensor CKP el cual emana la señal cuadrada; así que fue necesario solucionar éste problemas mediante la adaptación del sensor CKP y patea del cigüeñal del Corsa Wind 1.4 cc. A éste sensor se le realizó las

pruebas en el osciloscopio para comprobar que la señal sea cuadrada para facilitar la toma de esta señal de entrada.

Luego se realizó la simulación del módulo electrónico el cual en función de las rpm del motor y el ángulo de apertura necesaria para éste motor eléctrico, dónde la señal de salida necesaria es que por cada 100 rpm, el ángulo de apertura del motor eléctrico sea de  $5^\circ$ .

## CAPÍTULO IV

### 4. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DEL SILENCIADOR

Para proceder a la elaboración de los silenciadores debemos seguir los siguientes pasos.

#### 4.1 Proceso de señalización

En este proceso es muy importante poseer un plano con todas las medidas de las diferentes piezas a construir:

- a) Para realizar el trazadoes necesario una tiza que se pueda visualizar sobre las diferentes láminas y que no se borren con facilidad.  
Los instrumentos de medición que se utilizó para elaborar éstos prototipos fueron necesarios un flexómetro, un compás y un calibrador.
- b) Se necesitó construir unos moldes para las tapas del silenciador, que pueden ser de cartón los cuales facilita realizar un trazado con mayor rapidez (ver Figura 45).
- c) El número de tapas de cada silenciador y el tamaño de la estructura exterior, dependerá del número de cámaras que posea el modelo del silenciador.
- d) Para procedera la señalización de la estructura exterior del silenciador se debe tomar muy en cuenta que forma tendrá el silenciador,esta puede ser cilíndrica u ovalada.

Figura 44. Señalización de tubo interior



Fuente: Autores

## 4.2 Proceso de corte de plancha de acero

Éste proceso se debe realizar con mucho cuidado, en caso de no tenerlos podría lesionar gravemente.

- a) Para poder realizar los cortes se utilizó una cizalla hidráulica, prensa, tijera para cortar metal, sacabocado hidráulico.
- b) Para cortar la estructura externa se realizó con la cizalla hidráulica con la cual obtendremos cortes rectos y precisos como se muestra en la Figura 45.
- c) Con la ayuda de las tijeras para cortar metal, se cortó las piezas que tenga curvaturas en las esquinas especialmente en lo que son las tapas.
- d) El sacabocado hidráulico se utilizó para cortar los agujeros que tienen las tapas en su parte interna en donde no es posible cortar con la cizalla ni con las tijeras (ver Figura 46).

Figura 45. Corte de plancha principal



Fuente: Autores

Figura 46. Tapa externa del silenciador



Fuente: Autores

### 4.3 Proceso de barolado

A este proceso se lo llama también como doblado porque aquí es cuando a la lámina se le da la forma del silenciador ya sea ovalada u cilíndrica.

- a) Para realizar éste proceso se necesitó una dobladora que puede ser mecánica o hidráulica, como se muestra en la Figura 47.
- b) Se ingresó la lámina cortada que será la estructura externa del silenciador entre los tubos de la dobladora.
- c) Se procedió a girar el mando de la dobladora con movimientos de derecha a izquierda hasta obtener la forma requerida.
- d) Se debe tener mucho cuidado que la lámina éste bien sujeta para que el trabajo sea lo más exitoso posible.

Figura 47. Proceso de barolado plancha principal del silenciador



Fuente: Autores

### 4.4 Proceso de prensado

Para realizar éste proceso se necesitó una matriz, que dará la forma adecuada de sus respectivos lados a las tapas de los silenciadores, un gato hidráulico, y una estructura metálica que nos ayude a realizar el trabajo.

- a) Se introdujo las tapas del silenciador a la matriz (ver Figura 48).

- b) Con la ayuda del gato hidráulico y la estructura metálica y ejerciendo una fuerte presión a la tapa de silenciador sobre la matriz la cual le dará su respectiva forma (ver Figura 49).
- c) Son pasos sumamente sencillos pero se debe tener cuidado en que el gato hidráulico y la matriz estén bien ubicados, porque en caso contrario podría lastimar y de esta manera obtener un buen trabajo (ver Figura 50).

Figura 48. Prensado de tapas del silenciador



Fuente: Autores

Figura 49. Prensado de compartimientos del silenciador



Fuente: Autores

Figura 50. Tapas y compartimientos terminados



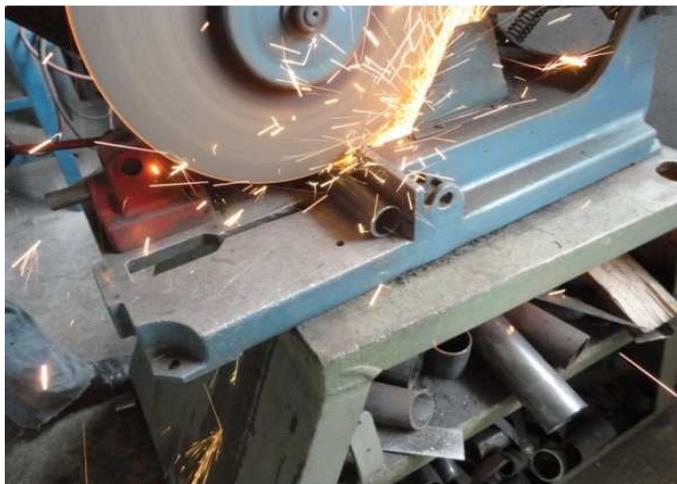
Fuente: Autores

#### 4.5 Corte de tubo

Para realizar éste procedimiento se utilizó un cortador eléctrico de tubos y una prensa que nos ayudará a sostener los tubos en el momento del corte (ver Figura 51).

- a) Se debe tomar las dimensiones de los tubos dependiendo del tipo de silenciador que se desee construir.
- b) Ubicar los tubos en una prensa la cual nos brindará una mayor fijación.
- c) Ubicar el cortador del tubo fijándolos al mismo y realizar hasta el corte del tubo.
- d) Es preferible no cortar con sierra manual porque no obtendremos un corte simétrico.

Figura 51. Cortando tubo interior del silenciador



Fuente: Autores

#### 4.6 Proceso de taladrado

Aquí se realiza varios agujeros en los tubos de las diferentes cámaras de los silenciadores y de acuerdo a la longitud y diámetro de los tubos dependerá el diámetro y el número de los agujeros.

Para tener una mejor distribución de los agujeros se recomienda utilizar un taladro industrial que tenga una prensa sobre una bancada (ver Figura 52).

- a) El taladro solo tendrá un movimiento que será de ascenso y descenso, el que se moverán son los tubos con ayuda de la prensa que está sobre una bancada nos proporcionará una mayor fijación y movimientos longitudinales y laterales y, con la cual obtendremos una distribución correcta de los agujeros.
- b) Con los tubos ya cortados los ubicaremos sobre la prensa y lo fijamos (ver Figura 52).
- c) Con la ayuda del taladro industrial y mediante la broca 3/16" se realizó el proceso de taladrado de los agujeros y obtener un excelente trabajo (ver Figura 53).

Figura 52. Taladrando agujeros del caño interior



Fuente: Autores

Figura 53. Caño de salida terminado de taladrar



Fuente: Autores

#### 4.7 Proceso de unión del cilindro y tapas

En éste proceso se realizó mediante la suelda MIG para unir las tapas de las cámaras del silenciador de la siguiente manera:

- a) Se ubicó las dos tapas en los extremos del cilindro con la finalidad de obtener la forma adecuada del cilindro (ver Figura 54).
- b) Se debe colocar las tapas de cilindros con los lados hacia la parte externa y procedemos a unir las dos partes del silenciador.
- c) Ya realizado esto procedemos a unir mediante unos puntos de suelda en los extremos para fijar la forma del silenciador.
- d) El tipo de suelda utilizado es la soldadura MIG que es el proceso para soldar que funde los metales a unir, a través del calor producido por un arco eléctrico, entre un electrodo continuo de metal de aporte y la pieza de trabajo, los cuales están protegidos por una atmósfera inerte suministrada externamente.
- e) Los componentes del proceso MIG son:
  - Máquina para soldar de voltaje constante.
  - Alimentador de alambre sólido.
  - Pistola.
  - Gases y Mezclas para soldar STARGAS.
  - Alambre sólido como soldadura.

- f) Se escoge éste proceso porque en el campo de las láminas delgadas (2-3 mm.) con una preparación de costura uniforme y correcta, se pueden alcanzar con técnica TANDEM, velocidades de hasta 6m/min. En el caso de láminas gruesas, se consiguen rendimientos de fusión de 24 kg/h. y velocidades de 80 cm/min. para una cota "a" de 8 mm. en una pasada con, al mismo tiempo, una zona térmicamente afectada muy favorable. También en aluminio según la pieza se puede duplicar la velocidad de soldadura.
- g) Se trabajó con CO<sub>2</sub> con una presión 750 PSI.
- h) El amperaje se coloca en la posición 6 de la perilla que es para espesores de 1/20" a 1/16" y 2mm.
- i) La velocidad del alambre se regula a 4.5 m/min.
- j) Después de realizar los puntos de suelda procedemos a retirar una de las tapas del cilindro (ver Figura 55).
- k) Finalmente la tapa del silenciador que está en el cilindro la debemos soldar detenidamente para que este herméticamente sellada.

Figura 54.Ubicación de tapas en el extremo del cilindro



Fuente: Autores

Figura 55. Cilindro listo para unión



Fuente: Autores

#### 4.8 Proceso de corte de compartimiento

Con las dimensiones del cilindro se procedió:

- Se realizó mediciones internas del cilindro (ver Figura 56.)
- Luego se realizó un corte de una placa con características similares a la de las tapas, el número de éstas dependerá del número de cámaras y diseño del silenciador (ver Figura 57).
- Estas placas deben llevar agujeros similares a la de los tubos del silenciador.
- Todo éste proceso se debe realizar con mucho cuidado para que las mediciones y cortes sean lo más exactos posible, para que cuando se introducir las tapas de los compartimientos ingresen con facilidad.

Figura 56. Señalización de compartimientos para luego cortar



Fuente: Autores

#### 4.9 Proceso de unión compartimiento-tubos

Para realizar éste proceso utilizamos la soldadura MIG de la siguiente manera:

- a) Se unen los tubos a las divisiones de los compartimiento, todo esto se realiza en el exterior del silenciador para obtener una mayor facilidad del proceso de unión entre placa y tubos (ver Figura 57).
- b) Los tubos se sueldan al compartimiento con la disposición de menor número de agujeros hacia la parte externa del cilindro (ver Figura 58).
- c) La regulación de la soldadura es la misma que para la unión de las tapas y el cilindro.
- d) La regulación del amperaje es la posición número 6, la velocidad del alambre es de 4,5 o 5 m/min, el gas utilizado es CO<sub>2</sub>.
- e) Después de éste armador procedemos a introducirlo en el interior del (ver Figura 59).
- f) Finalmente cuando esté ubicado en su posición correcta se procedió a fijarlo por medio de puntos de suelda realizada con la soldadura MIG (ver Figura 59).

Figura 57. Soldando tubos con compartimiento



Fuente: Autores

Figura 58. Tubos y compartimientos unidos



Fuente: Autores

Figura 59. Tubos y compartimientos ubicados en el interior del cilindro



Fuente: Autores

#### 4.10 Sellado del silenciador

Éste es último paso que se realiza en el proceso de elaboración de un silenciador, se realiza con ayuda de la suelda MIG.

- La regulación del amperaje es la posición número 6, la velocidad del alambre es de 5 m/min, el gas utilizado es CO<sub>2</sub>.
- Se debe colocar el cilindro en una prensa y que éste se encuentre en una posición con los dos puntos de suelda que se realizó anteriormente hacia arriba para obtener una mayor facilidad de la suelda (ver Figura 60).
- Luego se debe soldar toda la junta del cilindro, los bornes de las tapas para que se obtenga una buena hermeticidad en el silenciador (ver Figura 61).
- Finalmente se obtendrá un producto con una buena calidad (ver Figura 62).

Figura 60. Soldando cilindro principal



Fuente: Autores

Figura 61. Tapas listas para soldar con el cilindro



Fuente: Autores

Figura 62. Silenciador terminado



Fuente: Autores

## CAPÍTULO V

### 5. ANÁLISIS DE COSTOS

Los costos directos e indirectos que influyeron en el proceso de construcción del silenciador electrónico, en éste capítulo se detallan los costos de construcción total para poder construir el dispositivo mecánico y electrónico. Para querer brindar nuestro servicio hacia los diferentes usuarios que requieran este dispositivo como se detalla a continuación.

#### 5.1 Costos directos

Tabla 13. Costos directos

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	COSTO UNIT.(USD)	COSTO (USD)
1	Tubos de acero negro de 1 ½”	20	20
1	Tubos de acero negro de 2”	25	25
1	Tubos de acero negro 2 ½”	32	32
1	Plancha de acero galvanizado	40	40
1	Preparación del material y suelda	80	80
1	Polea del cigüeñal del Corsa Wind	80	80
1	Sensor CKP	32	32
1	Pernos de 1 ½”	5	5
1	Motor de reductor de velocidad	600	600
1	Cableado 10 m.	5	5
2	Condensadores electrolítico de 22pF	0.25	0.50
5	Condensadores electrolítico de 100µF	0.25	1.25
1	Condensadores electrolítico de 10µF	0.25	0.25
5	Condensadores electrolítico de 100nF	0.25	1.25
1	Condensadores cristal x1	1	1

19	Resistencia de (220,1000, 10000Ω)	0.05	0.95
2	Semitransistores 2N3904	0.50	1
2	Fototransistores OPTOCOUPLER-NPN	1	2
4	Rectificador de SCHOTTKY	1	4
1	Micro controlador 16F628A	15	15
1	MOT. TBLOCK-12	4	4
1	Diodo led RED	0.10	0.10
1	LCD 16X2	12.50	12.50
1	Pulsadores abierto	0.15	0.15
1	Ensamblaje del sistema electrónico	250	250
1	Cables solidos de timbre 5m	0.25	1.25
TOTAL			1212,85

Fuente: Autores

## 5.2 Costos indirectos

Tabla 14. Costos indirectos

Cantidad	Descripción	Costo
	Compra de libros	55
	Documentación e investigación	376
	Transporte	200
	Otros	150
TOTAL		781

Fuente: Autores

## 5.3 Costos totales

Tabla 15. Costos totales

Descripción	Costo
Costos directos	1212,85
Costos indirectos	781
Total de construcción	1993.85

Fuente: Autores

## CAPÍTULO VI

### 6. FUNCIONAMIENTO Y PRUEBAS

#### 6.1 Funcionamiento del silenciador

El silenciador mitiga el ruido de los motores al igual que todos los sonidos, el sonido de un motor viaja por el aire en forma de ondas sonoras.

El silenciador puede parecer pequeño, pero hace que esas ondas sonoras recorran distancias antes de salir, lo cierto es que el silenciador es un laberinto que debilita las ondas sonoras, cuando más viajan éstas ondas más energía pierden y son menos ruidosas, el motor imita un ruido atronador pero cuando sale del silenciador no imita más que un sonido agradable.

Los componentes principales son:

- Motor eléctrico reductor de velocidad.
- Tubería delantera.
- Tuberías interiores.
- Tres cámaras de expansión.
- El resonador de Helmholtz.
- Tubería posterior.

Cuando las ondas sonoras entran en el silenciador se ven obligadas a revotar a lo largo de distancias por el laberinto de tuberías y cámaras por lo que van perdiendo energía por el camino, pero el resonador sirve para destruir un determinado tipo de ondas sonoras, las ondas más ruidosas con las que las otras cámaras no pueden.

Las cámaras tienen tamaño diferente porque las ondas sonoras tienen tamaño diferente, el ruido del motor en la forma de diferentes tamaños de ondas sonoras entra por el silenciador por la tubería frontal algunas de esas ondas entran a la primera cámara de expansión las ondas sonoras empiezan a revotar en las paredes hacia adelante y

hacia atrás pero hace falta mucha energía para moverse incluso por el aire, mientras las ondas se mueven tienen que empujar el aire y eso produce fricción.

Cuando más se mueven las ondas sonoras hacia adelante y hacia atrás más energía pierde con la fricción, menos energía menos ruido, pero la primera cámara solo silencia las ondas sonoras de un tamaño determinado, las otras siguen avanzando hasta que entran en la segunda cámara de expansión, viajar desde la tubería interna supone que la onda sonora tiene que mover una gran cantidad de aire, eso es como traspasar una pared invisible hecho de aire, algunas de las ondas sonoras no consiguen entrar y revotan hacia atrás, aquellas que consiguen entrar en la segunda cámara pierden energía revotando en las paredes una y otra vez perdiendo incluso más energía con la fricción.

Sin embargo un tipo de onda la más ruidosa entra en el resonador de Helmholtz desde la segunda cámara, una vez más la onda sonora tiene que mover un gran volumen de aire así que obliga al aire entrar al resonador, la presión aumenta en el resonador entonces empuja el aire hacia atrás una y otra vez y eso genera una onda sonora inversa con la misma frecuencia que la onda que intenta entrar, colisionan y se destruyen mutuamente.

El ruido del motor restante viaja a la tercera cámara de expansión donde pierde más energía con la fricción antes de dirigirse finalmente a la tubería posterior para salir del laberinto silenciada.

El silenciador cuando las ondas sonoras entran no tienen posibilidades de salir esto se debe a que el silenciador es un laberinto del que no se puede salir sin perder energía, energía sonora eso significa que el sonido atronador que emite el motor de un vehículo sale del silenciador tan suave como un corta césped.

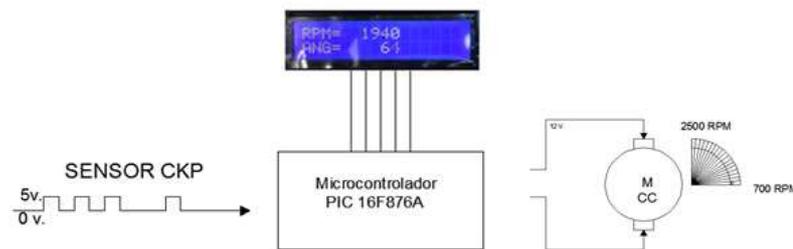
## **6.2 Funcionamiento del motor eléctrico reductor de velocidad**

El sensor de posición del cigüeñal (CKP) es el dispositivo encargado de monitorear las condiciones de operación del vehículo, y de enviar su información a un microprocesador para que éste ordene a un actuador a operar sobre ciertos parámetros, de acuerdo a las condiciones cambiantes de funcionamiento del motor.

Éste sensor es un elemento transistorizado que permite el paso de corriente cada vez que se le es inducido un campo magnético, éste campo magnético capta la posición de

rotación del cigüeñal está diseñado para mandar una señal de frecuencia en relación con la rpm para que el microcontrolador ejecute las órdenes grabadas en su memoria, sin embargo, para que el programa pueda ser grabado en la memoria del microcontrolador, debe ser codificado en sistema numérico hexadecimal que es finalmente el sistema que hace trabajar al microcontrolador cuando éste es alimentado con el voltaje adecuado 5V y asociado, el microcontrolador es aquel que da la orden para que trabaje el motor eléctrico reductor de velocidad el cual está programado con los parámetros de revolución del cigüeñal y se puede visualizar mediante un LCD de 16X2 significa que puede mostrar 16 caracteres por línea y hay 2 de estas líneas. En esta pantalla se muestra las rpm y el ángulo de apertura del motor eléctrico reductor de velocidad(ver Figura 63).

Figura 63. Diagrama de bloques



Fuente: Autores

## 6.3 Pruebas

### 6.3.1 Pruebas de temperatura antes del diseño e implementación del sistema electrónico

Figura 64. Sistema de escape



Fuente: Autores

Tabla 16. Antes del diseño

TEMPERATURA DEL AMBIENTE		24,8			
RPM	TEMPERATURA ° C				TEMPERATURA DEL MOTOR ° C
	A	B	C	D	
740	169,3	67,6	42,9	36	82,1
	200,3	66,4	42,8	35	78,9
	200,5	66,4	43,8	36,1	80,8
	200,6	65,5	43,5	36,1	71,4
740	192,7	66,5	43,3	35,8	78,3
1500	190,9	80,6	45,7	36,4	76,6
	198,4	81,8	46,5	37,6	80,1
	199,2	80,5	46,4	37,8	79,6
	211	78,4	45,4	42,8	83,6
1500	199,875	80,325	46	38,65	79,975
2500	235	112,9	51,9	44,9	82,6
	236	103,4	52,7	40,4	82,4
	237	109,7	46,4	41,3	78,5
	234,5	109,4	50,6	43,3	77,9
2500	235,625	108,85	50,4	42,475	80,35

Fuente: Autores

**6.3.2** Pruebas de temperatura después del diseño e implementación del sistema electrónico

Figura 65. Sistema de escape



Fuente: Autores

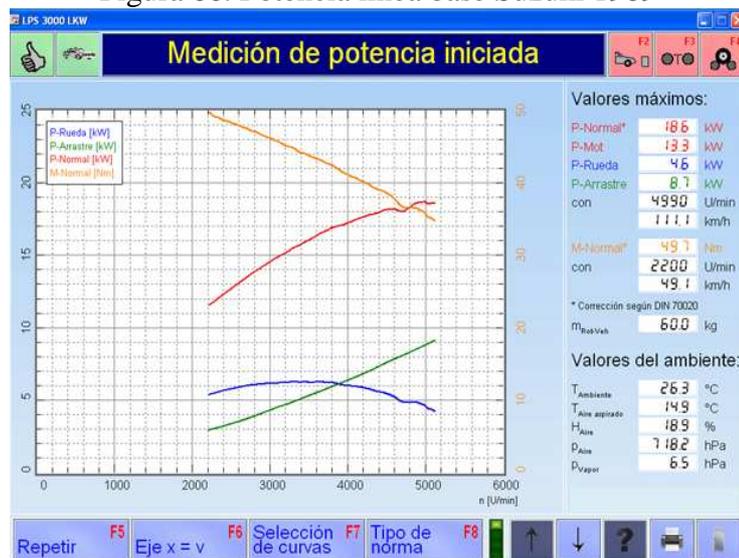
Tabla 17. Después del diseño

TEMPERATURA DEL AMBIENTE					24,8
RPM	TEMPERATURA ° C				TEMPERATURA DEL MOTOR ° C
	A	B	C	D	
740	164,3	63,6	37,9	31	82,1
	155,3	59,4	37,8	30	78,9
	155,5	59,4	38,8	31,1	80,8
	155,6	58,5	38,5	31,1	71,4
740	157,7	60,2	38,3	30,8	78,3
1500	185,9	75,6	40,7	31,4	76,6
	193,4	76,8	41,5	32,6	80,1
	194,2	75,5	41,4	32,8	79,6
	206	73,4	40,4	35,8	83,6
1500	194,875	75,325	41	33,15	79,975
2500	230	107,9	46,9	39,9	82,6
	231	98,4	47,7	35,4	82,4
	232	104,7	41,4	36,3	78,5
	229,5	104,4	45,6	38,3	77,9
2500	230,625	103,85	45,4	37,475	80,35

Fuente: Autores

**6.3.3 Pruebas dinámicas automotriz antes del diseño e implementación del sistema electrónico**(ver Figura 66)

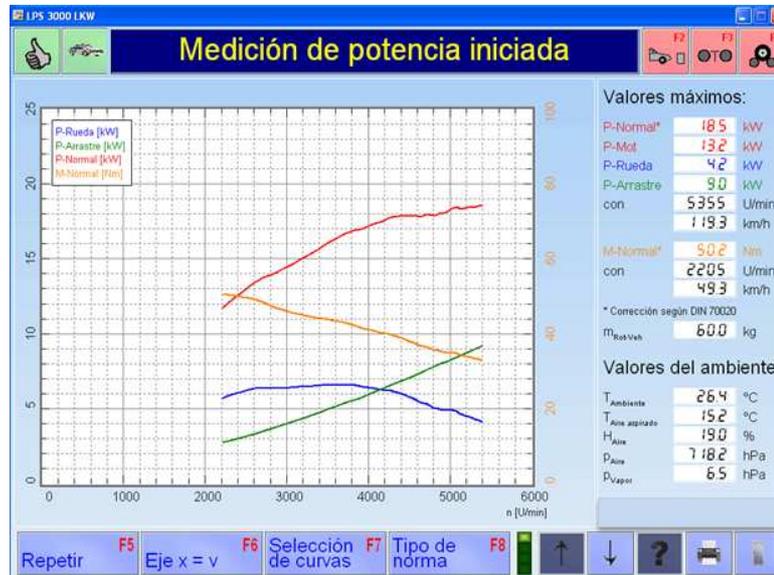
Figura 66. Potencia línea base Suzuki 1989



Fuente: CORPAIRE

**6.3.4 Pruebas dinámicas automotriz después del diseño e implementación del sistema electrónico(ver Figura 67)**

Figura 67. Potencia línea base Suzuki 1989



Fuente: CORPAIRE

Las gráficas representa las pruebas realizadas, con el dinamómetro de rodillo antes, y después del dispositivo de silenciador electrónico para obtener las curvas de potencia normal, potencia del motor, potencia de la rueda y potencia de arrastre para un motor de combustión interna, así como para monitorear el comportamiento de los parámetros que se describen su funcionamiento.

Para la realización del ensayo se colocaron las ruedas motrices del vehículo sobre los rodillos. Seguidamente se fijaron los sistemas que garantizan que el vehículo permanezca inmóvil durante el ensayo. Se arranca el motor y se comenzó la prueba, la cual se desarrolla en una marcha determinada, por lo general 3ra. o 4ta. Se parte desde un número bajo de rpm y se acelera a fondo hasta el número de máximo de rpm deseado, allí se libera el acelerador y el motor retorna paulatinamente al régimen de inicio. El rodillo, de alta inercia y volumen, recibe la potencia de las ruedas motrices, y un sistema de captura de datos y un software especializado muestran en la Figura 66 y 67, en forma de gráficos.

Lo cual se demostró que existe una diferencia de potencia 0,3 kW mejorando así el rendimiento del motor ya instalado el dispositivo de silenciador electrónico.

**6.3.5 Pruebas de decibelios con el sonómetro antes del diseño e implementación del sistema electrónico**

Tabla 18. Niveles de intensidad sonora

RPM	DECIBELIOS	RPM	DECIBELIOS
750	70,7	2500	83
750	72,3	2500	84,6
750	72,9	2500	87
750	73,1	2500	85,3
750	72,8	2500	87,1
	72,36		85,4

Fuente: SERCOMEC

**6.3.5 Pruebas de decibelios con el sonómetro después del diseño e implementación del sistema electrónico**

Tabla 19. Niveles de intensidad sonora

RPM	DECIBELIOS	RPM	DECIBELIOS
750	71	2500	77,5
750	71,1	2500	77,6
750	72,6	2500	76,2
750	69,8	2500	76
750	69,3	2500	75,2
	70,76		76,5

Fuente: Autores

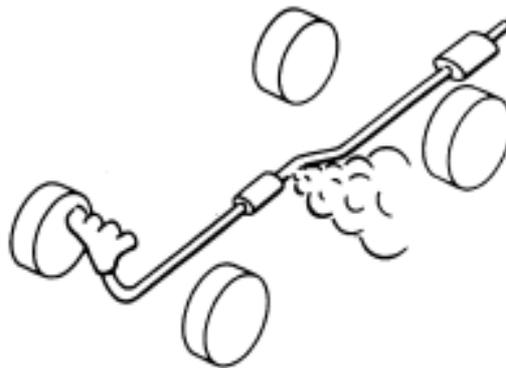
## 6.4 Guía práctica de observaciones

La gran mayoría de los usuarios no se preocupan de verificar el estado de su sistema de escape, tan solo cuando se rompe, ya sea por exceso de ruido o por pérdida de alguna parte del mismo. Los silenciadores que componen el sistema de escape deben cumplir las Homologaciones Europeas certificadas conformidad con la Directiva 70/157 y sus modificaciones posteriores.

Verificación del sistema de escape consta de dos importantes puntos.

- Punto básico de verificación.
- Comprobar el estado de los soportes de goma de sujeción.
- Comprobar el estado de las uniones entre componentes.
- Comprobar el correcto montaje del sistema.
- Proceso básico de sustitución
- Desmontaje de los silenciadores.
- Montaje de los silenciadores.

Figura 68. Sistema de escape desperfectos



Fuente:Autores

**6.4.1** *Desmontaje de los componentes de escape.* Los componentes de escape van unidos a través de tornillos y abrazaderas Figura 69 entre sí por lo que no ofrece ninguna dificultad su desmontaje. Ahora bien, en muchas ocasiones es necesario aplicar productos desoxidantes o calor para desmontar las uniones embutidas (tubo de escape-silenciador), ya que al haber estado expuestas a altas temperaturas y a una elevada

humedad Figura 70, suele resultar un tanto dificultosa. También se puede optar por la utilización de cinces específicos para separarlos.

Figura 69. Unión de tubo de escape con el header a través de tornillos



Fuente: Autores

Figura 70. Soporte del tubo de escape



Fuente: Autores

Figura 71. Línea de escape



Fuente: Autores

#### **6.4.2** *Advertencia*

- Realice el procedimiento con el sistema de escape completamente frío, porque el sistema estará muy caliente después de apagar el motor.
- Tenga cuidado de no cortarse la mano en los bordes del aislador de calor.

**6.4.3** *Precaución.* Use piezas de sistemas de escape genuino o equivalente las cuales están diseñadas especialmente para soportar el calor, resistir la corrosión y conservar su forma.

**6.4.4** *Instalación.* La instalación se realiza en orden inverso al desmontaje.

##### **6.4.4.1** *Precaución*

- Siempre reemplace las juntas del escape con nuevas cuando lo vuelca a montar.
- Si algún aislador de montaje está muy deformado, repárelo o reemplácelo. Si se acumula lodo u otros depósitos en los aisladores de montaje, límpielos e inspecciónelos.
- Al instalar el aislador, evite dejar grandes espacios o interferencias entre el aislador y cada tubo de escape.
- Apriete temporalmente las tuercas del lado del múltiple de escape y los pernos del lado del vehículo. Revise cada pieza para comprobar que no haya interferencia con otros componentes, y luego apriete las tuercas y los pernos a la especificación.
- Apriete los pernos sin causar interferencias con la brida.

Inspección después de la instalación.

- Con el motor en marcha, compruebe las articulaciones del tubo de escape en busca de fugas de gases de escape y ruidos anormales.
- Verifique que los soportes de montaje y los aisladores de montaje estén instalados adecuadamente y libre de tensión excesiva. Una instalación incorrecta puede resultar en ruido, fugas y vibración en exceso.

## **CAPÍTULO VII**

### **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **7.1 Conclusiones**

El presente proyecto se analizó los principios básicos del funcionamiento del sistema de escape, con motivo de mejorar la calidad de vida de los habitantes de la ciudad de Riobamba, controlando el ruido generado por la gran cantidad de vehículos que día a día incrementa en el mercado nacional y en particular el de Riobamba.

Al identificar los diferentes tipos de silenciadores y sus características, se trabajó dentro de los márgenes que determina la Organización Mundial de la Salud con el fin de evitar enfermedades catastróficas para no perder con el tiempo la audición.

Se logró diseñar y construir un silenciador electrónico el cual permite disminuir los decibelios de 87.5 a 65 dB, el cual está dentro de los límites que establece en la comisión nacional de tránsito, Decreto N° 3.516, que publicó la Edición Especial No. 2 del Registro Oficial, con fecha 31 de marzo del 2003.

Al momento de realizar la prueba de decibelios comparamos que dos de los diseños contruidos no cumplieron con nuestro propósito de disminuir el ruido que es controlado por la Organización Mundial de la Salud que considera que el límite máximo de decibelios es de 70 dB.

#### **7.2 Recomendaciones**

Las personas que realicen trabajos en reducir la potencia de sonido deben tener presente las normas de seguridad auditiva que brinda la Comisión Nacional de Tránsito al momento de realizar las pruebas con el sonómetro.

Al momento de la construcción del silenciador se debe tomar en cuenta que la suelda a utilizar es la MIG debido a que el material utilizado puede perforarse con facilidad al utilizar otro tipo de suelda.

Al momento de diseñar el silenciador electrónico utilizar un software de diseño y simulación que nos permite optimizar la etapa del diseño para proceder la construcción del mismo.

## BIBLIOGRAFÍA

**ÁGUEDA, Eduardo, y otros. 2010.***Elementos amovibles.* Madrid : Paraninlo. SA, 2010. ISBN: 978-84-9732-767-1.

**AUGARTEN, Stan. 2012.***El microcontrolador.* New Haven y New York : A Photographic History of the Integrated Circuit, 2012. ISBN 0-89919-195-9.

**BAUTISTA, Andres, CELI, Jorge y FARFÁN, Karem. 2013.***Contaminación sonora.* Guayaquil : Universidad Ecotec, 2013. ISO 9001:2008.

**BAZURTO, Dover y LÓPEZ, Santiago. 2003.***Estudio y diseño para la fabricación de silenciadores en vehículos diesel y gasolina. TESIS.* LATACUNGA : Biblioteca ESPE. Latacunga, 2003.

**CHRYSLER, Daimler y SYSTEMTECHNIK, Dráximaier. 2005.***Manual de la técnica del automóvil.* Germany : Business Unit Diagnostics, 2005. ISBN 3-934584-82-9.

**CISNEROS, Iván. 2012.***Los sensores automotrices en la práctica.* Mexico : Taller Mecanico S.A, 2012.

**DIPAC. 1978.** Productos de acero. CATALOGO. Manta : Dipac, 1978. Vol. I, 46. ISBN 1623:200.

**Engineers Garage.com. 2012.** Pantalla de Cristal Liquida. [En línea] Engineers Garage, 24 de Septiembre de 2012. [Citado el: 5 de Agosto de 2013.] <http://www.engineersgarage.com/electronic-components/16x2-lcd-module-datasheet>.

**Euroval del Centro.com. 1984.** Tubo de acero negro. [En línea] Euroval del Centro, 25 de Enero de 1984. [Citado el: 15 de Julio de 2013.] <http://www.eurovaldelcentro.com.mx/propiedades-acero-negro.htm>. 2289.

**Mambiente. 2012.** Calidad del Aire. <http://www.mambiente.munimadrid.es/>. [En línea] Calidad del Aire, 20 de Marzo de 2012. [Citado el: 23 de Julio de 2013.] <http://www.mambiente.munimadrid.es/opencms/opencms/cal aire/contAcustica/efectos.html>.

**Poli Norte S.A.com. 2008.** Lana de vidrio. [En línea] Poli Norte, 8 de Agosto de 2008. [Citado el: 14 de Julio de 2013.] <http://www.polinorte.com/lana-de-vidrio.html>. 3869/71.

**Profesor en Línea.cl. 2010.** Ondas y sonido. [En línea] Profesor en Línea, 15 de Abril de 2010. [Citado el: 13 de Julio de 2013.] <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/SonidoOndas.htm>. 188.540.

**Race Ready Performance.com. 2012.** Motor reductor de velocidad. CATÁLOGO. [En línea] Copyright, 25 de Enero de 2012. [Citado el: 19 de Agosto de 2013.] <http://store.racereadyperformance.com/#>.

