

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

### Silenciador regulable con control inalámbrico

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Mecatrónico**, que presenta el bachiller:

**Diego Martin Arce Cigüeñas**

**ASESOR: Gustavo Kato Ishizawa**

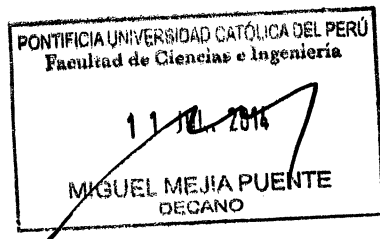
Lima, julio de 2014

## Resumen

Los silenciadores son componentes utilizados para reducir las emisiones sonoras emitidas por los automóviles. Para lograrlo se reduce la efectividad del motor debido al efecto denominado contrapresión. Esto ocurre puesto que para reducir la intensidad de las emisiones sonoras se reduce la velocidad de circulación de los gases de escape provocando que se interrumpa la libre circulación del flujo y se tenga que destinar parte de la potencia del motor en expulsar correctamente gases de combustión. Por esta razón se ha diseñado un sistema que permite modificar los modos de operación del silenciador (denominado en inglés Muffler). Con este sistema mecatrónico se brinda la posibilidad de mantener la reducción de las emisiones sonoras para lugares urbanos respetando las normas legales que permiten un límite máximo de 88 dB para vehículos livianos; pero también se ofrece la posibilidad de modificar el sistema para que la salida de los gases de escape sea libre. Con la expulsión libre del flujo de gases se logra aumentar la eficiencia del motor del automóvil y a la vez disminuir el consumo de gasolina cuando el usuario se encuentre en carreteras o pistas de carreras. También se brindan otros tipos de configuraciones que permiten combinar ambas características buscando un equilibrio entre el sonido y la eficiencia. El sistema es controlado mediante una aplicación instalada en un dispositivo móvil inteligente (Smartphone). Esta aplicación permite realizar la conexión con el silenciador mediante la tecnología inalámbrica Bluetooth. Mediante la aplicación se puede seleccionar uno de los cuatro estados en los que se puede configurar al silenciador. Además se muestra en la pantalla del Smartphone la animación de la configuración interna del sistema, la cual corresponde al estado de funcionamiento que selecciona el usuario. Finalmente el sistema está diseñado para que su instalación sea sencilla, para que sea alimentado desde la batería y para que sea compatible con todo tipo de automóvil.

**TRABAJO DE FIN DE CARRERA PARA OPTAR  
EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

Título : Silenciador regulable con control inalámbrico  
Asesor : Gustavo Kato Ishizawa  
Alumno : Diego Martín Arce Cigüeñas  
Código : 20095062  
Tema N° : 39  
Fecha : 02 de Julio del 2014



**Descripción y Objetivos**

El sistema diseñado es un silenciador regulable de forma inalámbrica para automóvil. La finalidad del diseño de este sistema es proporcionar al usuario la opción de generar un mínimo de emisiones sonoras cuando circule por zonas urbanas, cumpliendo con las regulaciones del estado; o por el contrario permitir el escape libre de los gases de combustión para cuando circule por autopistas logrando incrementar la eficiencia y el rendimiento del automóvil.

El diseño interno del silenciador permite desviar el flujo de gases por medio de compuertas que pueden ser abiertas o cerradas dependiendo de la configuración deseada. En caso se desee mayor eficiencia se permite la salida directa de los gases, y en caso se desee menor sonido se desvía el flujo a través de cámaras silenciadoras que permiten reducir la presión de los gases de combustión, lo cual reduce significativamente el sonido generado por estos. También se pueden elegir dos configuraciones adicionales, las cuales permiten un equilibrio entre eficiencia y bajas emisiones sonoras.

Para el control de las compuertas se utilizan servomotores, los cuales son controlados mediante órdenes enviadas desde un controlador. El controlador a la vez se encarga de recibir e interpretar la información seleccionada por el usuario mediante un módulo de recepción Bluetooth. El sistema es alimentado a través de la batería del automóvil, por lo que se hace uso de reguladores que permiten otorgar el voltaje utilizado por los componentes electrónicos. El control del sistema se realiza por medio de una aplicación instalada en un smartphone, mediante la cual se muestra al usuario los estados que el usuario puede seleccionar y también se muestra el funcionamiento interno del silenciador por medio de una aplicación

*Máximo: 100 páginas*



# Índice

1. Presentación de la problemática	5
2. Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto	
2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico	8
2.2 Concepto del sistema mecatrónico	9
3. Sistema mecatrónico	
3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico	12
3.2 Sensores y actuadores	15
3.3 Planos del sistema mecatrónico	18
3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico	24
3.5 Diagramas de flujo del programa de control	28
4. Presupuesto	31
5. Conclusiones	34
Bibliografía	35

# Capítulo 1

## Presentación de la problemática

Una de las normas establecidas en diferentes países respecto al uso de automóviles es la regulación del sonido generado por la emisión de gases de escape luego del proceso de combustión efectuado en los motores [1]. Por esta razón los automóviles vienen equipados con silenciadores (“Mufflers”) los cuales cumplen la función de reducir las emisiones sonoras generadas por los gases de combustión. Esto se logra utilizando diferentes tecnologías que permiten reducir el sonido.

Los primeros silenciadores, que fueron desarrollados a inicios del siglo XX, básicamente estaban compuestos por un tubo de acero dentro del cual se colocaba un tubo de menor diámetro con varias perforaciones; el tubo interior era recubierto con lana de acero antes del ensamblaje (Figura 1.1). De esta manera el flujo de gases de escape que circula por el tubo interior se desvía por las perforaciones logrando que la energía sonora sea absorbida por la lana de acero y esta se transforme en energía calorífica; la cual a su vez es disipada a través del cuerpo (tubo exterior) del silenciador [2]. Este tipo de configuración fue comúnmente utilizada debido a su simplicidad de fabricación y a su bajo costo. En la actualidad aún se utiliza este tipo de silenciadores con la variación que cuentan con una capa adicional de fibra de vidrio. Esta es colocada entre la lana de acero y el tubo de acero exterior con la finalidad de extender la durabilidad del silenciador.

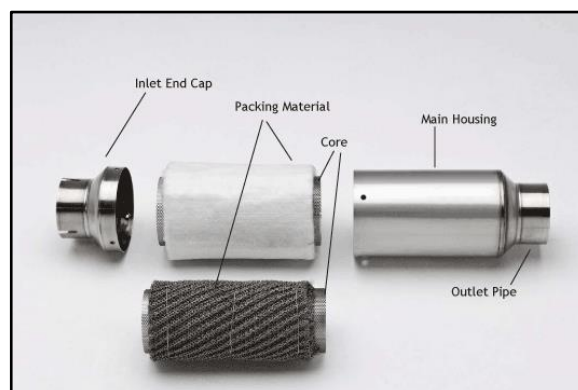


Figura 1.1. Diseño de silenciador básico [3].

En 1983, la tecnología del funcionamiento de los silenciadores cambió completamente. Se empezó a utilizar mecanismos que permitían manipular las ondas sonoras generadas por los gases de escape para que se cancelen entre sí. Esto se logra mediante la interferencia destructiva; este efecto consiste en generar ondas opuestas a las ondas sonoras originales para que al cruzarse entre sí se puedan cancelar produciendo que el sonido disminuya. Este tipo de configuración cuenta con estructuras internas específicamente diseñadas que permiten un especial direccionamiento del flujo de los gases de escape; de esta manera se impactan las ondas sonoras eliminándolas y a la vez se intenta evitar reducir la velocidad de los gases de combustión para que la potencia del motor no se vea muy afectada [4]. Algunas de estas configuraciones interiores de los silenciadores modernos son mostradas en la Figura 1.2.

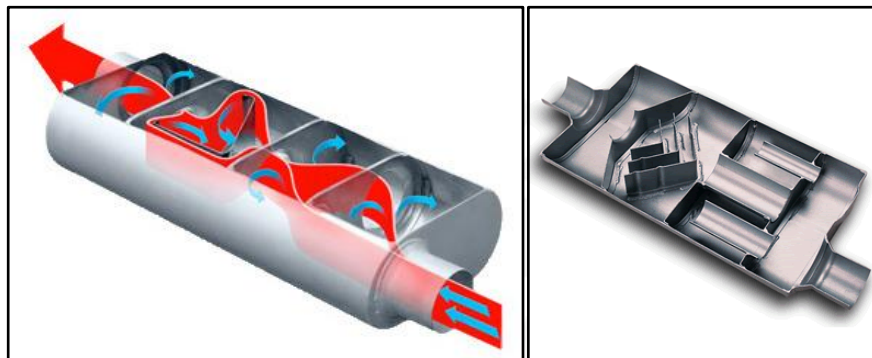


Figura 1.2. Configuraciones interiores de silenciadores [5,6].

También existen otros tipos de silenciadores los cuales mezclan ambas tecnologías dando lugar a configuraciones internas conformadas con tubos perforados que permiten la supresión de las ondas sonoras entre sí con la finalidad de reducir el sonido. En la figura 1.3 se puede apreciar dichas configuraciones.

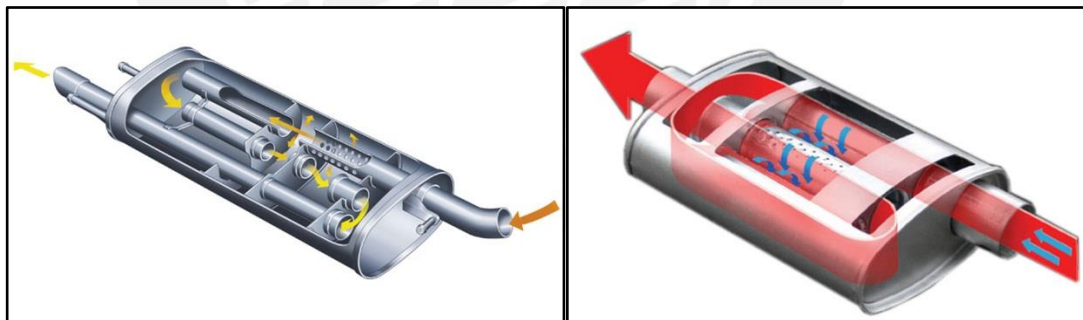


Figura 1.3. Configuraciones interiores de silenciadores modernos [7,8].

Si bien los silenciadores actuales cumplen con su finalidad, estos dispositivos provocan el efecto conocido como contrapresión al motor. Éste efecto consiste en que al intentar reducir el sonido se obstaculiza de salida de los gases de combustión provocando que, cuando el motor trabaja a altas revoluciones por minuto (RPM), el motor gaste parte de su potencia en lograr que se expulsen correctamente los gases de escape [4]. Esto provoca que se pierda innecesariamente parte de la potencia del motor en desplazar el flujo de escape. Ante esta problemática generada por los silenciadores convencionales hay personas que optan por eliminarlos de sus autos dejando una salida directa de los gases de combustión. De esta manera provocan fuertes emisiones sonoras cuando conducen a altas revoluciones como se puede apreciar en los autos de carrera.

Si bien la opción de eliminar el silenciador del auto es una solución al efecto de contrapresión, se incumpliría con las normas requeridas por el estado ya que en las zonas urbanas solo es permitido un máximo de 88 dB<sup>1</sup> de emisiones sonoras [9]. A razón de esto sería conveniente el utilizar un dispositivo que permita regular la circulación de los gases de escape de acuerdo al uso que el usuario desee dar al automóvil. Por ejemplo, en caso un usuario transite por una zona urbana deseará generar la menor cantidad de emisiones sonoras; y, en caso opuesto, si el usuario se encuentra manejando en un carretera a altas revoluciones o incluso en una pista de carreras con su automóvil deseará que el vehículo pueda rendir el máximo de su potencia. Por esta razón, sería necesario que la salida de los gases de escape sea libre sin ningún tipo de restricción generada por un silenciador en caso el usuario lo requiera.

En la actualidad existen silenciadores que pueden ser regulados manualmente para un momento deseado con simplemente abrir o cerrar una compuerta. Además aplicando el mismo concepto, se han diseñado silenciadores que con el uso de un control remoto se cierra o se abre una compuerta. Estos sistemas cierran la compuerta aumentando la distancia de recorrido de los gases de escape para reducir el sonido y cuando se abre la compuerta permiten una salida libre de esos gases. Si bien es una solución ante la problemática, al momento de extender el recorrido del flujo de gases de combustión se reduce la eficiencia del motor y no es un sistema muy efectivo.

---

<sup>1</sup> Anexo 1: Límites de emisiones sonoras en el Perú

## Capítulo 2

### Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto

#### 2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico

Requerimientos mecánicos:

- La estructura estará ubicada bajo el chasis del automóvil, por lo que se debe evitar el ingreso de agua y de polvo a los circuitos electrónicos. También debe estar hecho de un material que sea resistente a la corrosión.
- Las medidas externas de la estructura debe adecuarse a las dimensiones generales utilizadas en los silenciadores que son comercializados en la actualidad.
- La estructura debe proporcionar modos de operación que permitan un escape libre de gases de escape y otros que permitan la máxima supresión de emisiones sonoras.

Requerimientos eléctricos-electrónicos:

- El sistema debe ser controlado de manera inalámbrica por el usuario.
- El sistema debe poder ser alimentado desde la fuente de energía del automóvil (batería) para evitar el uso de una batería adicional para el sistema.
- Los componentes electrónicos utilizados deben cumplir con las condiciones de alta temperatura (100 °C) [10] en la zona del silenciador.



## 2.2 Concepto de la solución

Con la finalidad de desarrollar un sistema que solucione la problemática mencionada se diseñó un silenciador regulable de forma inalámbrica por medio de una interfaz que permitirá al usuario manejar y verificar el funcionamiento del sistema. La figura 2.2.1 muestra el diseño de la solución propuesta.

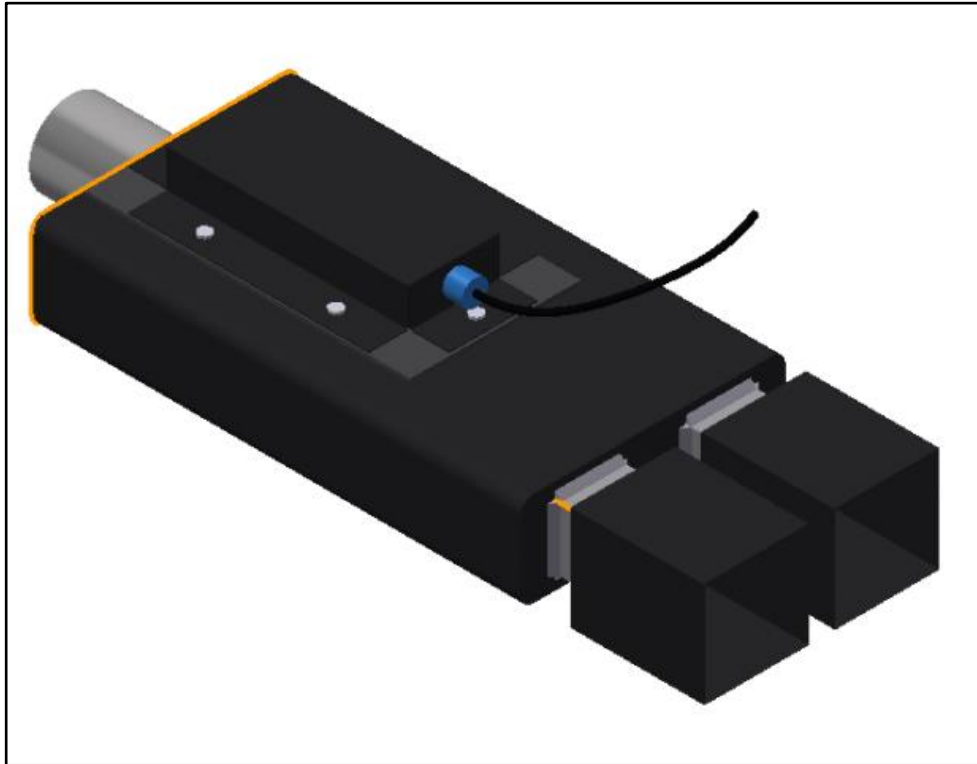


Figura 2.2.1. Concepto de solución propuesto: Silenciador regulable.

El sistema está diseñado para que sea compatible con todo tipo de automóvil. Por esta razón cuenta con dimensiones genéricas que permite reemplazar los silenciadores de fábrica de una manera sencilla con el uso de componentes que pueden obtenerse en tiendas de accesorios automovilísticos<sup>2</sup>.

El diseño cuenta en la zona frontal con un tubo de entrada circular de 2.5 pulgadas de diámetro<sup>3</sup>. Se propone la opción de poder instalar el silenciador de tres maneras<sup>4</sup>. La opción más efectiva y recomendada es soldar directamente el tubo frontal con el sistema de tubos de escape que cuenta el automóvil. En caso el sistema de escape tenga diferentes dimensiones al tubo frontal del silenciador se ofrece un accesorio que permite la correcta instalación del componente. Como segunda opción de instalación se ofrece un accesorio (brida) que puede ser soldado al inicio del tubo frontal para que la brida sea atornillada al sistema de escape del automóvil (solo en caso el sistema de escape del automóvil cuente con este tipo de conexión). La tercera opción es el uso de un accesorio que se coloca entre el tubo del sistema de escape y el tubo frontal del silenciador para que sea atornillado y mantenga ambos tubos unidos entre sí. La segunda y tercera opción no son muy efectivas debido a que al no ser uniones soldadas existe liberación de los gases de escape, lo cual reducirá la efectividad del silenciador.

<sup>2</sup> Anexo 2: Dimensiones generales de silenciadores comerciales

<sup>3</sup> Anexo 3: Dimensiones de tuberías de los sistemas de escape

<sup>4</sup> Anexo 4: Tipos de instalación y accesorios

Interiormente el sistema cuenta con cuatro compuertas que pueden ser reguladas (abiertas o cerradas) de manera inalámbrica desde el programa de usuario, el cuál es instalado en un Smartphone. Este programa permite seleccionar entre cuatro diferentes modos de funcionamiento<sup>5</sup>. Los modos de funcionamiento cambian la configuración del sistema interno del silenciador variando la emisión de sonido y circulación de gases generado por el automóvil. Los diferentes modos de operación fueron probados usando una maqueta que simulaba el sistema. Se reprodujo el sonido que emite un automóvil para poder probar la efectividad del sistema y cuantificar la reducción de decibeles para cada modo de operación<sup>6</sup>.

Internamente el sistema cuenta con 4 secciones las cuales son indicadas en la Figura 2.2.2. Estas permiten reducir el sonido emitido por el automóvil haciendo que las compuertas desvíen la circulación de los gases de combustión a través de las secciones silenciadoras. Las secciones al inicio del sistema son denominadas “silenciadores principales” mientras que las secciones ubicadas el final son los “silenciadores auxiliares”. Estas funcionan usando el mismo principio de funcionamiento de un supresor de arma de fuego<sup>7</sup>, el cual consiste básicamente en frenar la velocidad de los gases de detonación al disparar un arma por medio de cámaras de explosión en su interior [11]. Para lograr esto en el sistema se diseñaron las secciones silenciadoras con láminas internas de acero las cuales cuentan con agujeros en el medio ubicadas cada cierta distancia entre sí formado diferentes recamaras dentro de cada sección. De esta manera el flujo de gases de escape, al circular por estas recamaras, se va expandiendo; logrando que los gases de escape reduzcan su velocidad y en consecuencia se reduzca significativamente las emisiones sonoras.

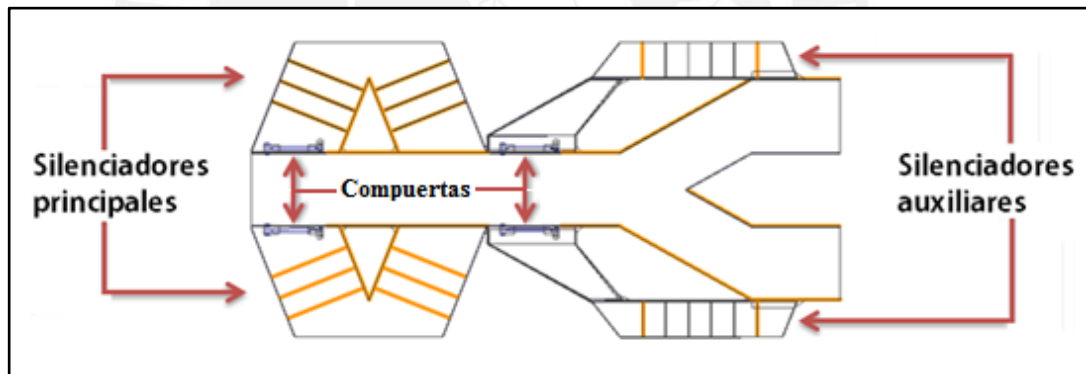


Figura 2.2.2. Configuración interna del sistema.

En el diseño del sistema se tuvo en consideración que el silenciador debe ser resistente a golpes que pueda recibir ya que el estará ubicado en la parte baja del automóvil. Por esta razón se utilizaron dos diferentes espesores de acero inoxidable en la fabricación del silenciador; además el acero inoxidable se utiliza para evita la corrosión. Para el sistema interno se utiliza acero inoxidable de 0.5 mm de espesor. La cubierta externa del silenciador que protegerá todo el sistema interno y los componentes electrónicos es fabricada con acero inoxidable de 1 mm de espesor.

Todos los componentes utilizados para la fabricación son cortados con un maquinas hidráulicas de acuerdo a los planos. Las piezas cortadas luego son dobladas según los planos de diseño y finalmente unidas con soldadura por arco para tener uniones perfectas. La unión por soldadura hace que el sistema interno no genere ningún tipo de fuga de los gases de escape y además no permite el

<sup>5</sup> Anexo 5: Modos de funcionamiento del sistema

<sup>6</sup> Anexo 6: Pruebas de funcionamiento del concepto

<sup>7</sup> Anexo 7: Funcionamiento de un supresor de arma de fuego

ingreso de polvo ni agua a los componentes electrónicos. Para la conexión de los cables que alimentarán los componentes electrónicos se hace uso de un conector IP67 que evita el ingreso de agua<sup>8</sup>. La cubierta de los componentes electrónicos es atornillada a la cubierta externa para que pueda retirarse sin complicaciones en caso se deba hacer alguna reparación los componentes electrónicos o la tarjeta de control. Ésta cubierta cuenta con una lámina de goma que es colocada entre la cubierta de los componentes electrónicos y la cubierta externa del silenciador para evitar el ingreso de polvo y agua.

La parte posterior del silenciador cuenta con dos tubos de salida para brindar una mejor expulsión de los gases de compresión. Además estos tubos son de dimensiones mayores al sistema interno del silenciador con la finalidad de otorgar una mejor apariencia estética al sistema.

Para la comercialización del silenciador se ofrecerá un acabado externo pulido para que tenga un aspecto más llamativo; o si el usuario lo desea podrá ser recubierto con pintura mate para que el sistema tenga una apariencia deportiva. Adicionalmente se ofrece la opción de incrementar la durabilidad del silenciador agregando una capa interna de fibra de vidrio. Esta capa extra brinda una mayor resistencia a impactos que pueda sufrir el sistema.

---

<sup>8</sup> Anexo 8: Características de conector IP 67

## Capítulo 3

### Sistema mecatrónico

#### 3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico

En la Figura 3.1.1 se muestra el diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico propuesto. El diagrama está conformado por dos módulos principales: la aplicación en el Smartphone y el circuito de control en el silenciador. El diagrama de funcionamiento inicia en la aplicación instalada en el Smartphone.

En primer lugar se inicia en la interfaz de usuario, mediante la cual se mostrará los estados a los que puede ser configurado el sistema. La interfaz está compuesta por la animación del modo de funcionamiento y los símbolos que permiten seleccionar cada uno de los modos como se indica en la Figura 3.1.1. Se podrán seleccionar cuatro estados, los cuales que otorgan diferentes características del sistema<sup>9</sup>. Una vez que un estado fue seleccionado se procede a enviar la información a través del módulo Bluetooth del Smartphone hacia el modulo Bluetooth ubicado en el silenciador. El módulo receptor deberá enviar una señal confirmando la recepción de la información. Una vez que la confirmación sea recibida se procede a mostrar la animación correspondiente al estado seleccionado a través de la interfaz del usuario hasta el momento en que el usuario seleccione algún otro estado.

Los estados diseñados son: Estado libre, estado silenciado 1, estado silenciado 2 y estado silenciado máximo. Un resumen de las características de cada uno de estos estados se muestra en la Tabla 3.1.1. Los valores de variación de sonido que se indican en la tabla fueron medidos con el uso de una maqueta de cartón fabricada a escala real, la cual se construyó para poder estimar la variación real que pueda lograrse con cada uno de los estados de funcionamiento. En esta se puede apreciar que para el “estado libre” casi no hay reducción de sonido mientras que para el “estado silenciado máximo” se logra reducir significativamente las emisiones sonoras.

---

<sup>9</sup> Anexo 5: Modos de funcionamiento del sistema

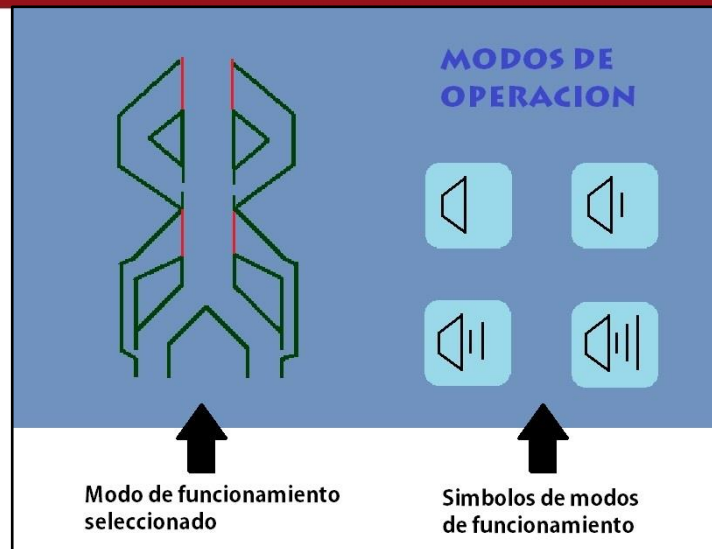


Figura 3.1.1. Componentes de la interfaz de usuario.

Tabla 3.1.1. Características de los modos de operación del silenciador.

Modo de operación	Símbolo	$\Delta$ sonido
		-6 dB
		-10 dB
		-14 dB
		-23 dB

Con respecto al circuito de control en el silenciador, este módulo inicia con la recepción de un estado de funcionamiento enviado desde el Smartphone y confirma si la recepción fue correcta. Una vez recibida la información del estado seleccionado, ésta ingresa al módulo de control, el cual será encargado de identificar el estado que el usuario ha elegido. Dependiendo del estado elegido, el módulo de control enviará 4 señales PWM correspondientes a cada uno de los 4 servomotores que serán encargados de mover las compuertas, ubicadas en el sistema interno del silenciador, de acuerdo al estado que el usuario ha deseado que se configure. Esto se vuelve a repetir cada vez que el módulo Bluetooth reciba un nuevo estado de funcionamiento.

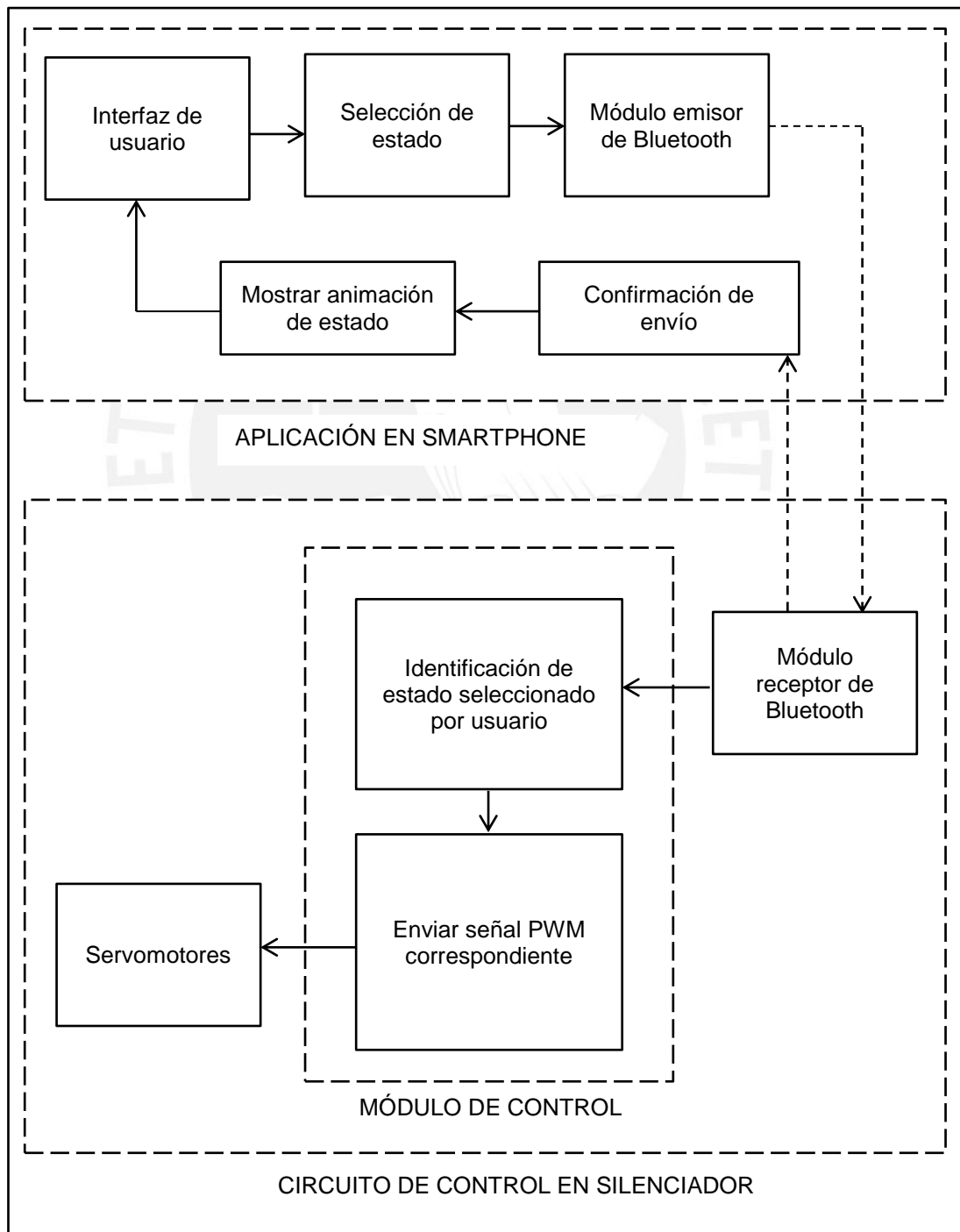


Figura 3.1.2. Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico.

## 3.2 Sensores y actuadores

### Sensores

#### **Smartphone:**

Con la finalidad que el usuario pueda controlar inalámbricamente el sistema mecatrónico se ha planeado hacer uso de un Smartphone. Éste dispositivo permite la instalación de un aplicación que controlará el funcionamiento del silenciador. Además los dispositivos Smartphone cuentan con conexión Bluetooth por lo que podrá comunicarse con el silenciador diseñado y en su mayoría poseen pantallas táctiles por lo que el usuario simplemente deberá seleccionar los símbolos mostrados en la interfaz para que pueda cambiar los estados que ofrece el sistema.

### Actuadores

#### **Servomotor:**

Los actuadores utilizados para manipular las compuertas son micro servomotores de la marca Tower Pro, modelo Sg 90<sup>10</sup> (Figura 3.2.1). Cumplirá la función de desplazar las compuertas que desviarán el flujo de gases de escape por las diferentes cámaras diseñadas dependiendo del estado de funcionamiento deseado por el usuario. Es alimentado con 5v. Consume una corriente de 20 mA en funcionamiento continuo.



Figura 3.2.1. Servomotor Tower Pro Sg90 [12].

La Figura 3.2.2 muestra el mecanismo utilizado para controlar las compuertas con los servomotores. Por medio de una barra de acero de 2 mm de diámetro se transmite el movimiento generado por el servomotor. Esta barra se encuentra unida a otras dos barras perpendiculares al movimiento las cuales se encuentran unidas mediante bloques de goma. De esta manera se logra rotar la compuerta hasta 360 grados.

<sup>10</sup> Anexo 9: Especificaciones técnicas del Tower Pro SG 90

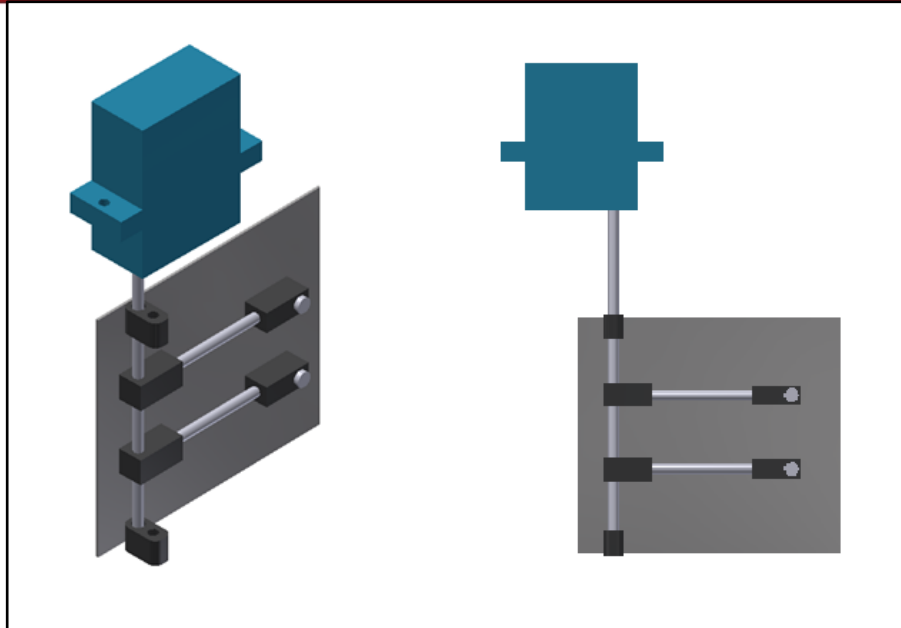


Figura 3.2.2. Mecanismo utilizado para el control de las compuertas

La Figura 3.2.3 muestra la ubicación de los 4 servomotores utilizados en el sistema mecatrónico. Estos están ubicados en la parte superior de la cubierta externa y van unidos a los ejes que sobresalen de la cubierta como se puede observar en la figura. En esta figura se puede apreciar la ubicación final de estos componentes y también se puede observar la ubicación de la tarjeta de control que será usada.

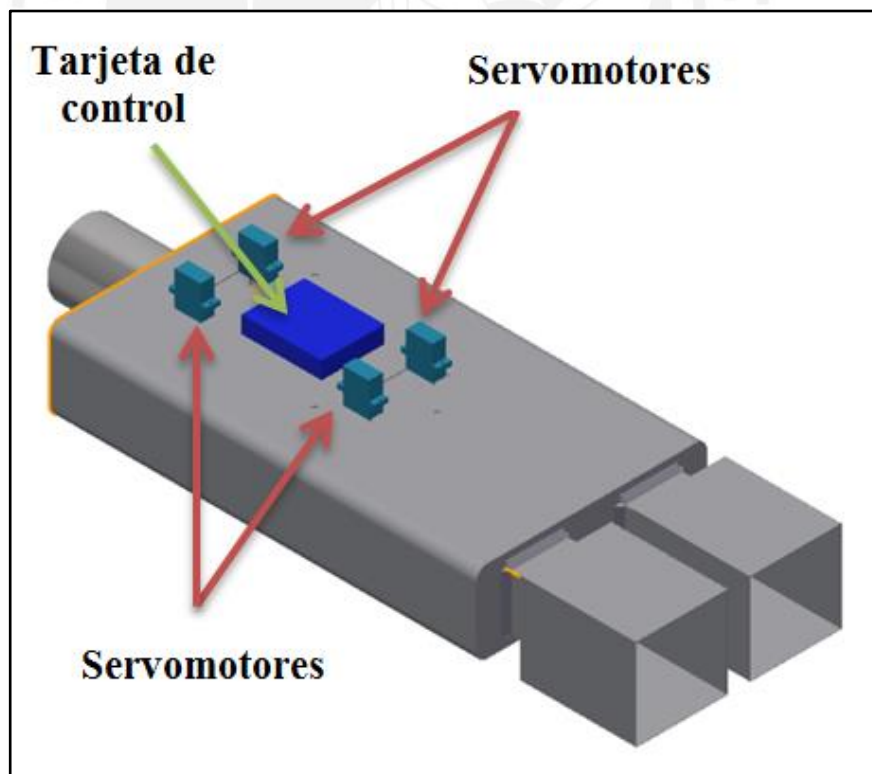


Figura 3.2.3. Ubicación de los servomotores y tarjeta de control.



Todos los componentes antes mencionados son protegidos por una cubierta de acero la cual va atornillada a la cubierta externa del silenciador y queda en la posición que se muestra en la Figura 3.2.4. Además entre la cubierta externa y la cubierta de los componentes se coloca un accesorio de goma que llamaremos “Seguro de Componentes” el cual cumple la función de evitar que ingrese agua o polvo a los componentes electrónicos.

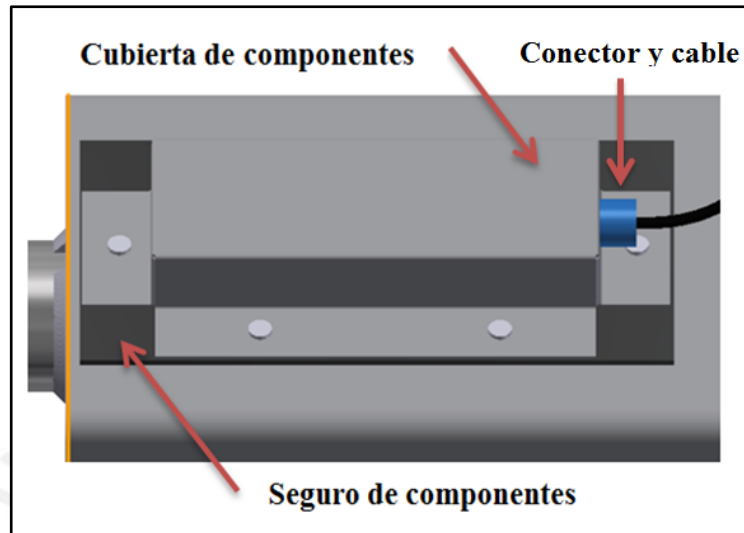


Figura 3.2.4. Ubicación de la cubierta de componentes.

### 3.3 Planos del sistema mecatrónico

Para el sistema mecatrónico se tienen tres tipos de planos:

*Planos de chapa:* Incluyen todos los planos con las dimensiones de las piezas que se cortarán de las planchas de acero inoxidable para ser soldadas posteriormente.

*Planos de accesorios:* Incluyen todos los planos de los accesorios adicionales que deben ser fabricados y se usarán para el ensamblaje del sistema.

*Planos de ensamblajes:* Incluyen todos los planos de los subensamblajes y el plano del ensamblaje final del sistema.

#### **Planos de chapa**

Todos los planos de chapa se presentan en el Anexo 11<sup>11</sup>. Las piezas mostradas en este anexo son las siguientes:

- Compuerta
- Cubierta de componentes
- Cubierta principal
- Cuerpo auxiliar pieza 1
- Cuerpo auxiliar pieza 2
- Cuerpo auxiliar principal
- Cuerpo pieza
- Cuerpo principal
- Cuerpo silenciador principal
- Cuerpo silenciador principal pieza
- Salida
- Silenciadores
- Silenciadores auxiliar
- Tapa ingreso
- Tapa salida

#### **Planos de accesorios**

Todos los planos de accesorios se presentan en el Anexo 12<sup>12</sup>. Estos componentes son fabricados de goma, para lo cual es necesario cortarlos y perforarlos según las dimensiones indicadas. Las piezas mostradas en este anexo son las siguientes:

- Unión de goma 1
- Unión de goma 2
- Unión de goma 3
- Seguro de componentes

#### **Planos de ensamblajes**

El primer subensamblaje es denominado “Compuerta ensamblada”; este se muestra en la Figura 3.3.1. Este plano indica cómo debe ensamblarse el mecanismo de las compuertas que serán manipuladas por los servomotores. Para

---

<sup>11</sup> Anexo 10: Planos de chapa

<sup>12</sup> Anexo 11: Planos de accesorios

este ensamblaje se hace uso de ejes de acero de 2 mm de diámetro con dimensiones indicadas en el plano. Se utilizan remaches para asegurar el correcto ensamblaje de los componentes.

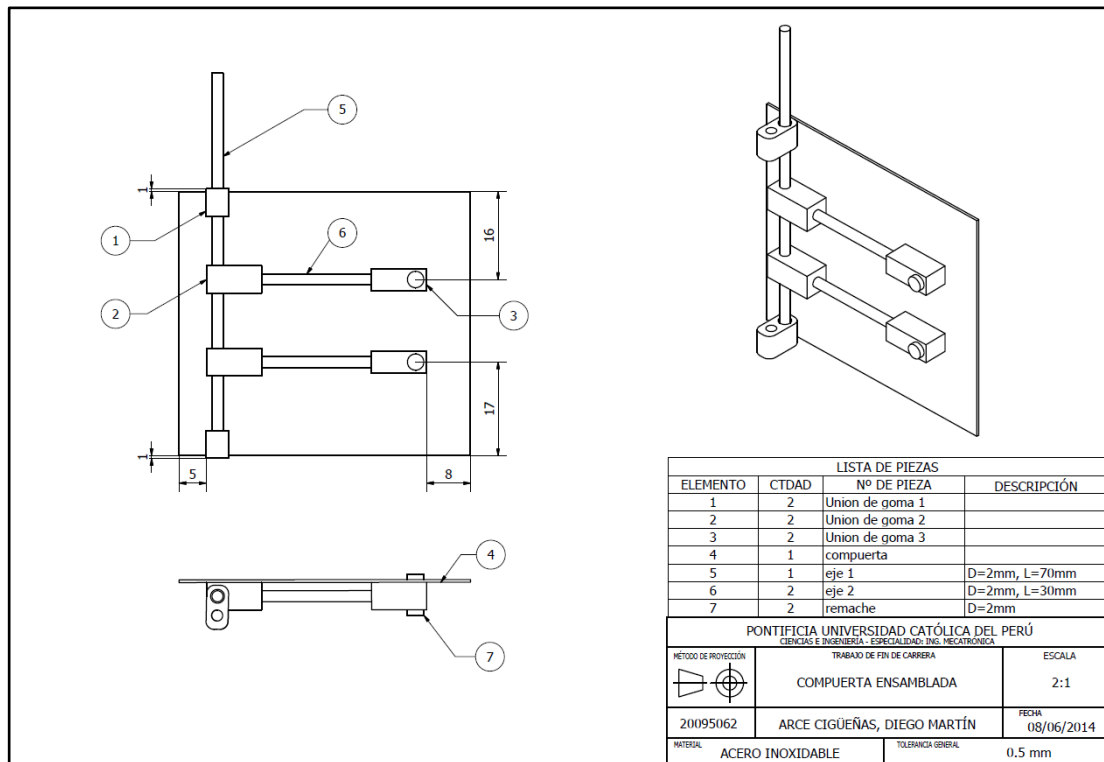


Figura 3.3.1. Plano de ensamblaje *Compuerta ensamblada*.

Los siguientes subensamblajes son los correspondientes a “Silenciador principal” y “Silenciador auxiliar”. Estos planos indican la manera de cómo se deben colocar cada una de las piezas, previamente cortadas, y como deben ser soldadas para que de esta manera se puedan tener los silenciadores ensamblados. Estos componentes serán usados para reducir el sonido generado por del flujo de los gases de escape. La Figura 3.3.2 muestra el plano de ensamblaje del silenciador principal; la Figura 3.3.3 muestra el plano de ensamblaje del silenciador auxiliar.

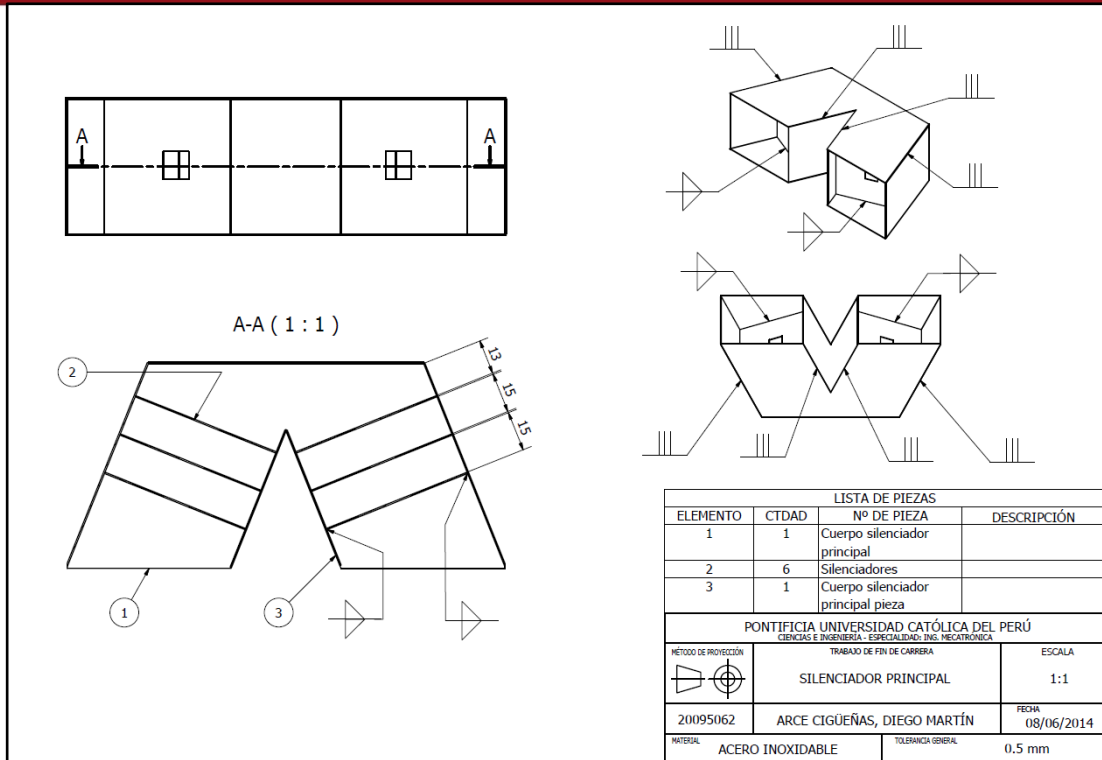


Figura 3.3.2. Plano de ensamble *Silenciador principal*.

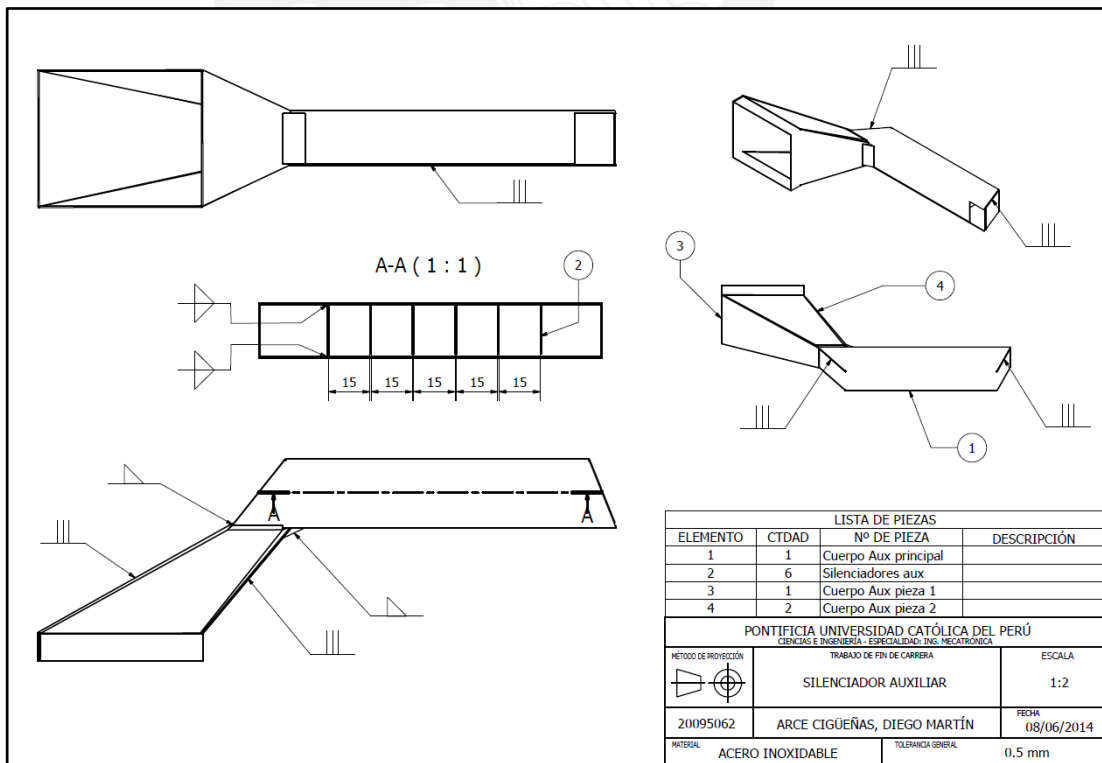


Figura 3.3.3. Plano de ensamble *Silenciador auxiliar*.

Otros subensamblajes presentes en esta sección son los correspondientes a dos componentes que requieren ser soldados antes del ensamblaje final. La Figura 3.3.4 muestra como debe ser soldado el componente denominado “Salida completa”. Este componente será usado como accesorio adicional para brindar una apariencia más deportiva al sistema. La Figura 3.3.5 muestra donde debe aplicarse la soldadura y las perforaciones necesarias para el componente “Cubierta de componentes completa”. Este componente será usado para la protección de los componentes electrónicos en el ensamblaje final del sistema.

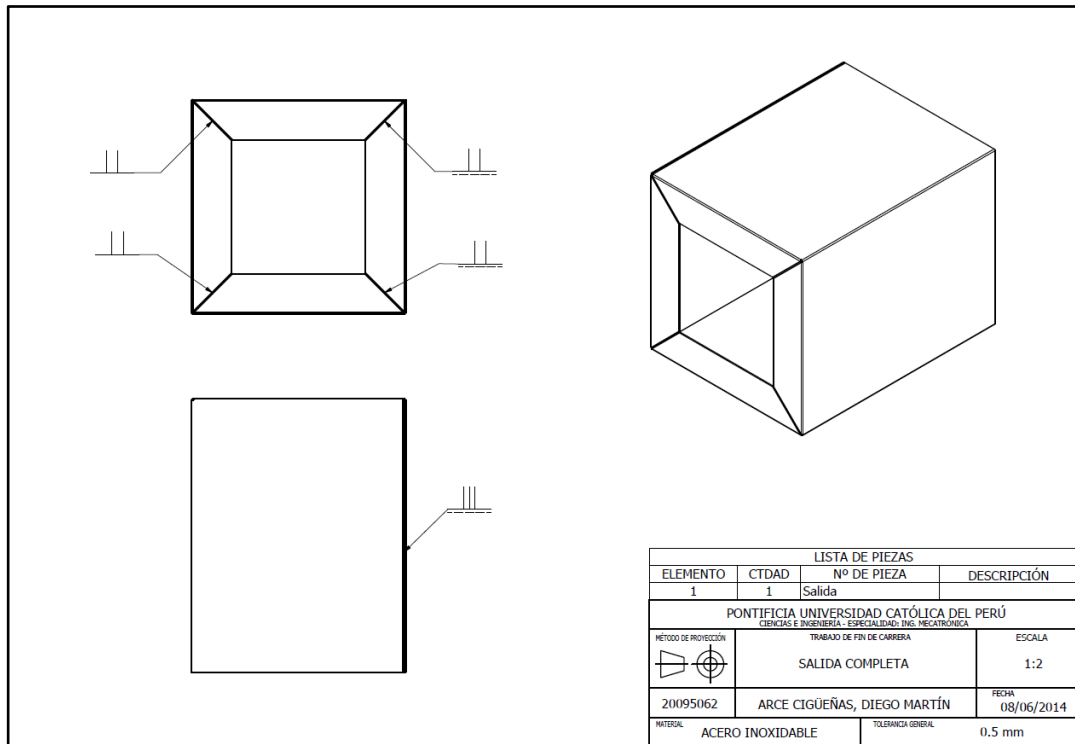


Figura 3.3.4. Plano de ensamblaje *Salida completa*.

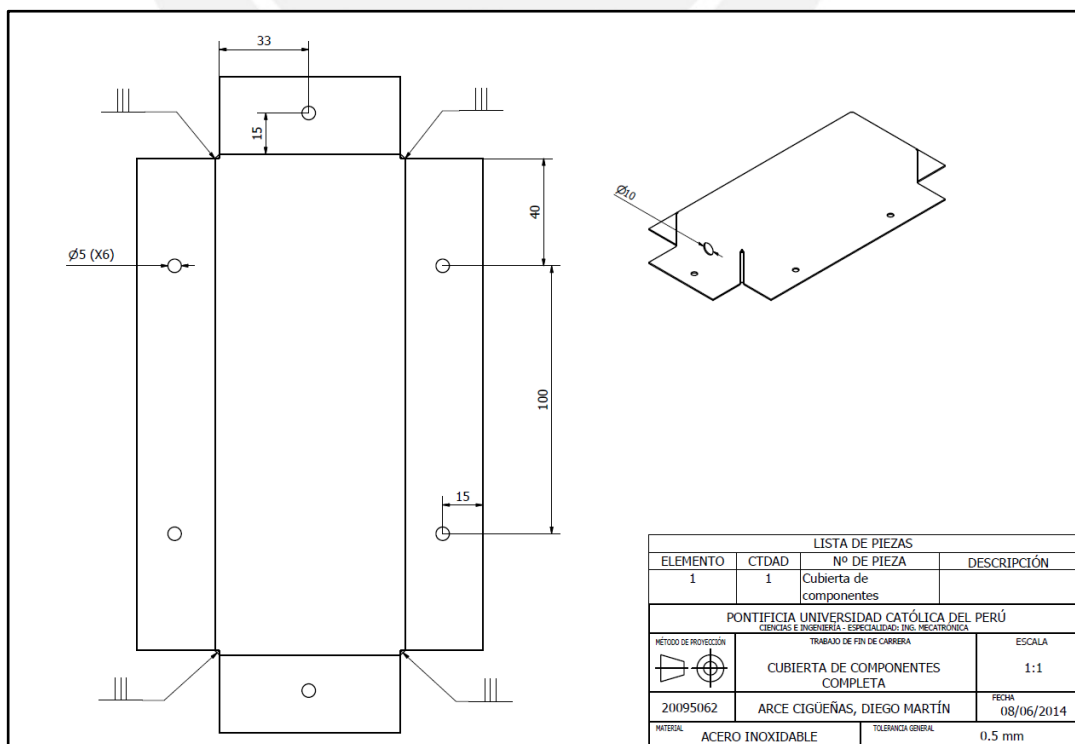


Figura 3.3.5. Plano de ensamblaje *Cubierta de componentes completa*.

El último subensamblaje de esta sección es denominado “Cuerpo completo” y se muestra en la Figura 3.3.6. Esta pieza corresponde al ensamble del mecanismo interno del sistema. En el plano se indica dónde deben ubicarse las compuertas así como también los dos silenciadores principales y los dos silenciadores auxiliares.

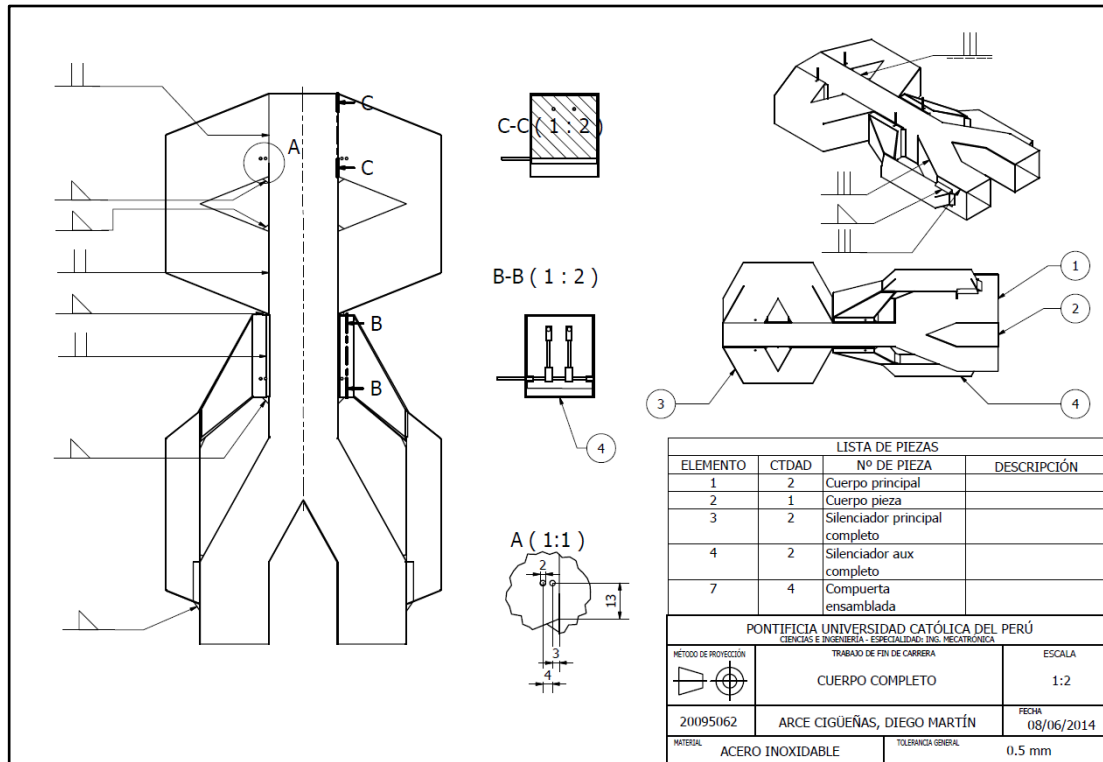


Figura 3.3.6. Plano de ensamble *Cuerpo completo*.

Finalmente en la Figura 3.3.7 se muestra el plano de ensamble principal denominado “Muffler”. Este plano presenta la ubicación y ensamble de todos los componentes previamente subensamblados. Se indica como debe ser ensamblada la cubierta que protegerá el cuerpo interno. También se indica la ubicación de los componentes electrónicos y la tarjeta de control que se usarán en el sistema. Es importante mencionar que la cubierta de los componentes electrónicos debe ser correctamente atornillada colocando el seguro de los componentes entre la unión como se muestra en el plano.

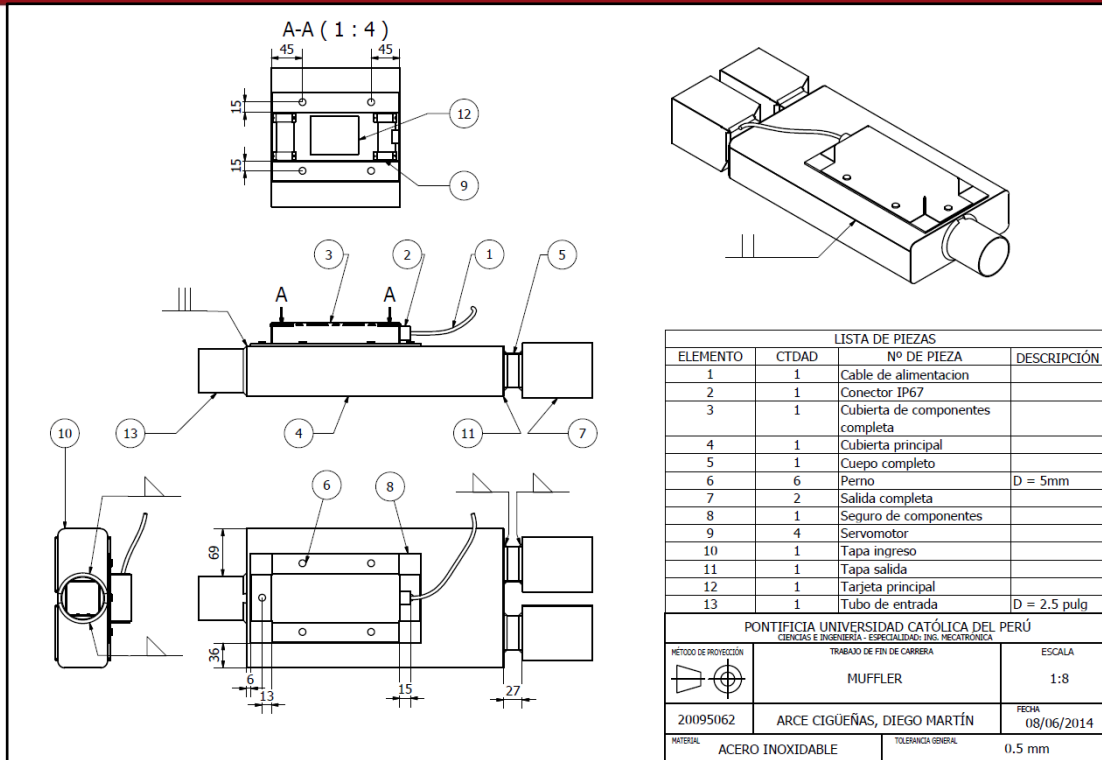


Figura 3.3.7. Plano de ensamble *Muffler*.

Todos los planos de los ensamblajes se encuentran en el Anexo 13<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> Anexo 12: Planos de ensamble

### 3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico

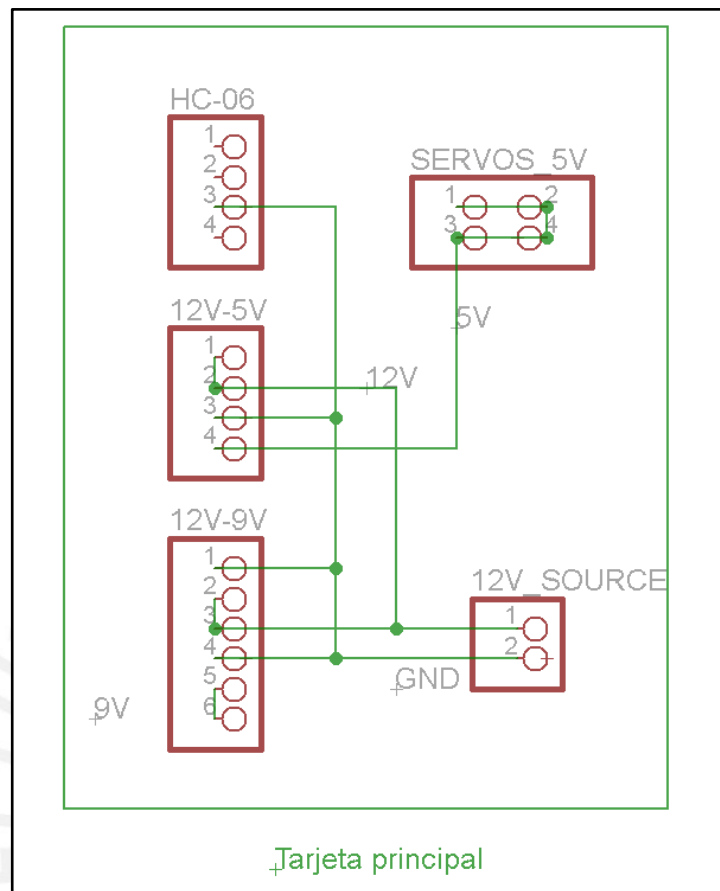


Figura 3.4.1. Esquemático de la tarjeta principal del sistema.

El esquemático mostrado en la Figura 3.4.1 corresponde a la Tarjeta Principal. Este esquemático solo posee conectores soldados a la tarjeta. La finalidad de estos conectores es para colocar fácilmente las tarjetas de los circuitos integrados que se usarán para el sistema de control. Los circuitos integrados que se conectarán a la tarjeta principal serán los siguientes:

- Módulo Bluetooth para Arduino HC-06<sup>14</sup>: Es un circuito utilizado para transmitir y recibir datos por conexión Bluetooth hacia otro aparato que con el mismo tipo de conexión. La tarjeta tiene 4 pines (Figura 3.4.2). Los dos primeros son Rx y Tx respectivamente; estos pines son para la transmisión de datos a la tarjeta de control. El siguiente pin es GND y el último pin es de alimentación de 3V. Esta tarjeta estará alimentada desde el pin de 3V proporcionado por la tarjeta de control.

<sup>14</sup> Anexo 13: Especificaciones técnicas del módulo Bluetooth HC 06



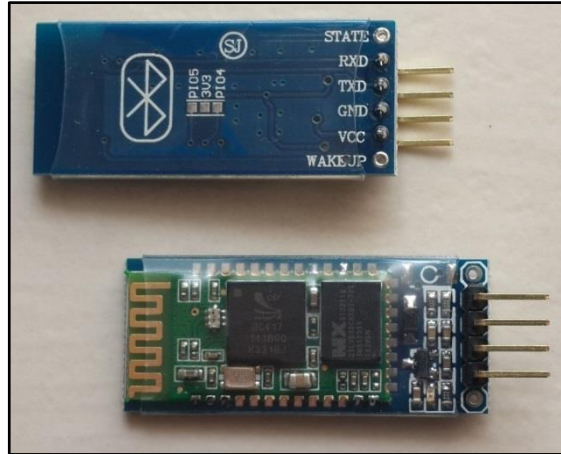


Figura 3.4.2. Módulo Bluetooth para Arduino HC-06 [13].

- Step-Down Voltage Regulator Pololu 9V, 600mA D24V6F9<sup>15</sup>: Es un circuito integrado que permite la reducción del voltaje de entrada (12 V) a un voltaje de 9V que será usado para alimentar la tarjeta de control. Además el circuito protegerá la tarjeta de control de posibles variaciones de voltaje producidos por la batería del automóvil. Esta tarjeta tiene 4 pines (Figura 3.4.3). El primero es SHDN, que estará conectado al voltaje de entrada para que siempre funcione la tarjeta. Los siguientes pines son VIN, GND y VOUT.

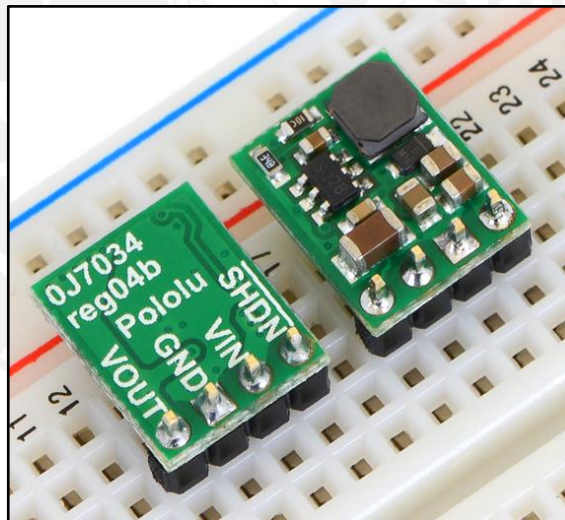


Figura 3.4.3. Step-Down regulator Pololu [14].

- Step-Down Voltage Regulator Pololu 5V, 600mA D24V6F5<sup>16</sup>: Es un circuito integrado que permite la reducción del voltaje de entrada (12 V) a un voltaje de 5V que será usado para alimentar los 4 servomotores que moverán las compuertas del sistema interno. Esta tarjeta tiene 4 pines (Figura 3.4.3). El primero es SHDN, que estará conectado al voltaje de entrada para que siempre funcione la tarjeta. Los siguientes pines son VIN, GND y VOUT.

<sup>15</sup> Anexo 14: Especificaciones técnicas del D24V6F9

<sup>16</sup> Anexo 15: Especificaciones técnicas del D24V6F5

La tarjeta de control que se usará para el sistema será un módulo Arduino Uno R3<sup>17</sup>. El módulo de control se usará para controlar los servomotores por señales PWM para la recepción, transmisión e interpretación de datos. La Figura 3.4.4 muestra la ubicación de los pines de la tarjeta de control.

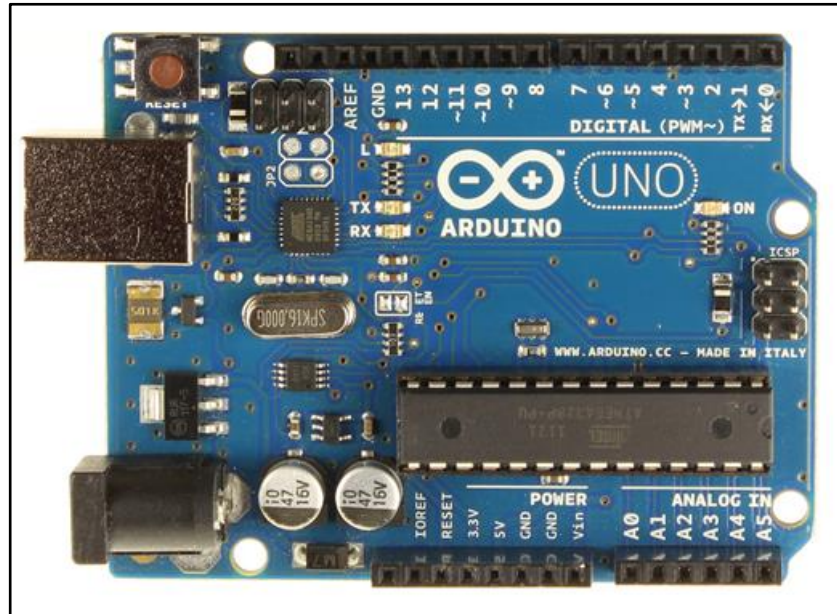


Figura 3.4.4. Módulo Arduino Uno R3 [15].

Finalmente todas las conexiones necesarias para la instalación del sistema se muestran en la Figura 3.4.5. Esta figura corresponde al esquemático completo del sistema.

<sup>17</sup> Anexo 16: Especificaciones técnicas del Arduino Uno R3

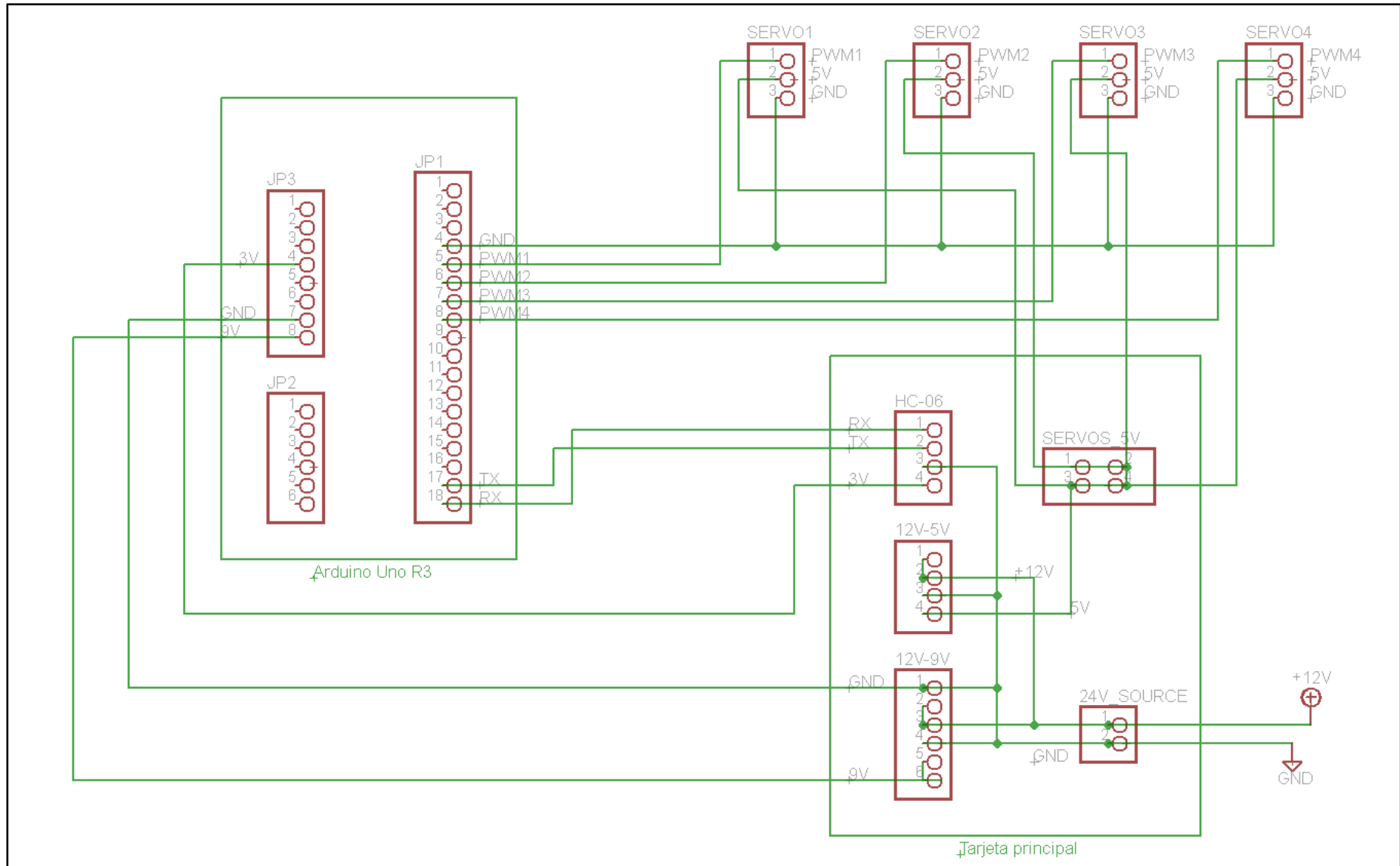


Figura 3.4.5. Esquemático completo del sistema.

### 3.5 Diagrama de flujo del programa de control

Para el sistema propuesto hay dos diagramas de flujo. El primer diagrama es referente a la lógica de control del programa que interactúa con el usuario (Figura 3.5.1). El segundo diagrama es el referente a la lógica de control del circuito utilizado en el silenciador (Figura 3.5.2).

El diagrama de flujo del usuario inicia desde el momento que se abre el programa utilizado para el control del silenciador. Una vez inicializado el programa el primer paso es inicializar la conexión Bluetooth hasta que ésta se realice correctamente. Una vez que la conexión sea correcta se procede a esperar que el usuario seleccione uno de los modos de operación mostrados en la interfaz; una vez que sea elegido el modo de operación deseado se envíe la información por Bluetooth al controlador del silenciador. El siguiente paso se realiza una vez que el controlador informa que se ha recibido correctamente el modo de operación enviado. Al recibir la confirmación se procede a mostrar en la pantalla de interfaz la animación correspondiente al modo de operación seleccionado por el usuario.

El diagrama de flujo del silenciador inicia desde el momento en que el auto es encendido y energiza al controlador. Lo primero que realiza el controlador es inicializar los parámetros necesarios para toda la lógica del programa. Luego se analiza si es que hay algún estado almacenado en la variable global de estados (ubicado en la memoria del controlador). En caso de haber almacenado un valor, este correspondería a la última configuración en la cual estuvo funcionando el silenciador hasta antes de haber apagado el sistema. En caso de no haber ningún valor almacenado es porque el sistema está siendo utilizado por primera vez, por lo que es necesario configurar la variable global de estados con la configuración correspondiente al “estado silencioso”. Una vez que se asegura que haya un estado registrado en la variable global de estados se procede a enviar las señales PWM correspondientes para que los servomotores configuren las compuertas del silenciador. A partir de este momento, el controlador espera que se reciba un nuevo estado por parte del usuario y una vez que esto ocurra confirma la correcta recepción de la información para proceder a almacenar dicho estado en la variable global y volver a regresar al paso de enviar las señales PWM.

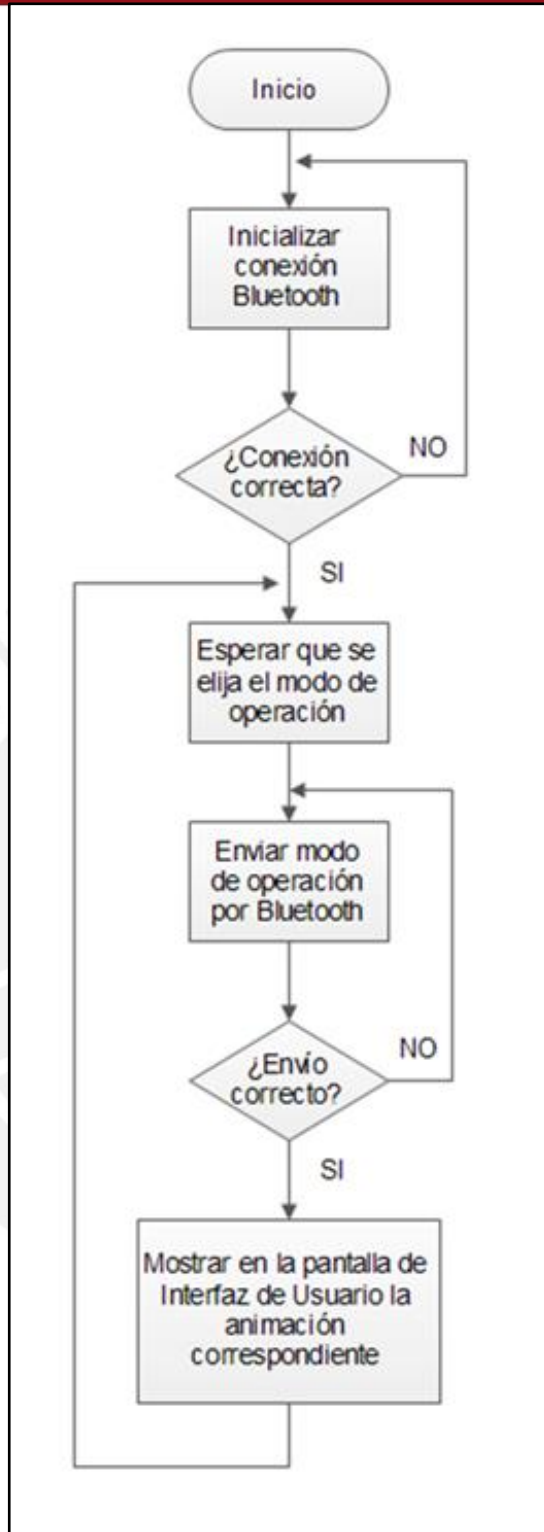


Figura 3.5.1. Diagramas de flujo del programa de control del usuario.

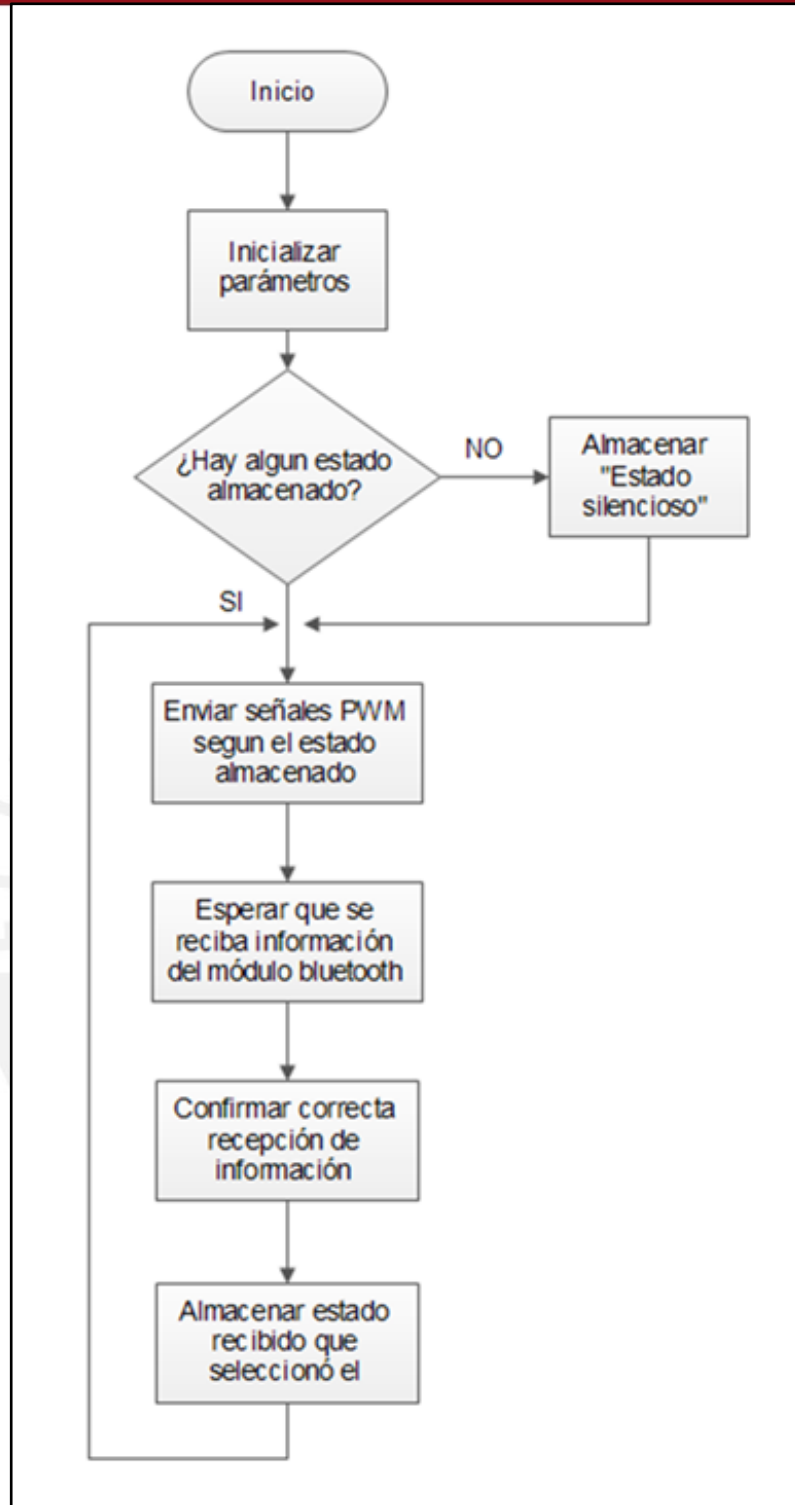


Figura 3.5.2. Diagramas de flujo del programa de control del silenciador.

## Capítulo 4

### Presupuesto

El presupuesto del sistema ha sido dividido en tres secciones: presupuesto electrónico, presupuesto mecánico y presupuesto total.

El costo de todos los componentes electrónicos que serán utilizados en el sistema propuesto se muestran en la Tabla 4.1. Los costos de los materiales y la fabricación de la parte mecánica del silenciador se muestran en la Tabla 4.2. Finalmente en la Tabla 4.3 se muestra el costo total que implicaría la fabricación de uno de los silenciadores diseñados.

Para determinar todos los precios implicados en los presupuestos antes descritos se han hecho uso de las cotizaciones adjuntas en el Anexo 18<sup>18</sup>.

---

<sup>18</sup> Anexo 17: Cotizaciones del sistema

Presupuesto electrónico

Tabla 4.1. Presupuesto del sistema mecatrónico (Parte electrónica).

Ítems	Producto	Cantidad	Precio unitario (dólares)	Precio unitario (soles)	Precio total (soles)
1	Arduino Uno R3	1	US\$ -	S/. 55.00	S/. 55.00
2	Conector IP67	1	US\$ 3.60	S/. 10.00	S/. 10.00
3	Módulo Bluetooth para Arduino HC-06	1	US\$ -	S/. 33.00	S/. 33.00
4	Servomotores SG 90	4	US\$ -	S/. 13.75	S/. 55.00
5	Step-Down voltaje regulador D24V6F5	1	US\$ 5.95	S/. 16.54	S/. 16.54
6	Step-Down voltaje regulador D24V6F9	1	US\$ 5.95	S/. 16.54	S/. 16.54
7	Tarjeta electrónica (fabricada)	1	US\$ -	S/. 10.00	S/. 10.00
				TOTAL	S/. 196.08

Nota: Cambio del dólar a nuevo sol es 2.78.



Presupuesto Mecánico

Tabla 4.2. Presupuesto del sistema mecatrónico (Parte mecánica).

Ítems	Producto	Cantidad	Precio unitario (soles)	Precio total soles
1	Barra de acero de 2 mm x 22 cm	5	S/. 10.00	S/. 10.00
2	Cubo de goma	1	S/. 10.00	S/. 10.00
3	Mano de obra (corte y soldadura)	-	S/. 150.00	S/. 150.00
4	Plancha de acero inoxidable de 0.50mmx1220mmx2440mm 2B	1	S/. 27.80	S/. 27.80
5	Plancha de acero inoxidable de 1.00mmx1220mmx2440mm 2B	1	S/. 26.20	S/. 26.20
6	Remaches y pernos	-	S/. 10.00	S/. 10.00
			TOTAL	S/. 234.00

Presupuesto Total

Tabla 4.3. Presupuesto total del sistema mecatrónico.

Área	Precio total
Electrónica	S/. 196.08
Mecánica	S/. 234.00
TOTAL	S/. 430.08

## Capítulo 5

### Conclusiones

El sistema propuesto resuelve la problemática descrita.

- El sistema está diseñado para cumplir con las normas del estado referentes a la regulación de emisiones sonoras.
- El sistema proporciona cuatro estados de funcionamiento específicamente diseñados para ofrecer mayor eficiencia o menores emisiones sonoras.
- El estado que proporciona una mejora en la efectividad otorga mayor eficiencia en el uso del motor, por ende un menor consumo de gasolina.

# Bibliografía

## Referencias

- [1] Twigg, Martyn V. Progress and future challenges in controlling automotive exhaust gas emissions. *Applied Catalysis B: Environmental* 70 (2007) 2–15.
- [2] Summit Racing. *How Flowmaster Mufflers Work*. Summit Racing. Consulta: Junio de 2014. < <https://www.youtube.com/watch?v=QZicgz5XAiU>>
- [3] Potente, Daniel. General design principles for an automotive muffler. *Proceedings of ACOUSTIC* 2005.
- [4] NICE, Karim – How Stuff Works? *How Mufflers Work*. How Stuff Works? Consulta: Junio de 2014. <<http://auto.howstuffworks.com/muffler5.htm>>
- [5] Auto Accessories Garage. [Imágen] <[http://www.autoaccessoriesgarage.com/img/group/main/22/2296\\_1\\_md.jpg](http://www.autoaccessoriesgarage.com/img/group/main/22/2296_1_md.jpg)>
- [6] Car Tuning Central. [Imágen] <<http://www.cartuningcentral.com/wp-content/uploads/2008/11/muffler.gif>>
- [7] Toyota Royal Motors. [Imágen] <[http://www.toyotaroyal.com/\\_parts/\\_toyotagenuineparts/\\_images/mufflers.jpg](http://www.toyotaroyal.com/_parts/_toyotagenuineparts/_images/mufflers.jpg)>
- [8] Speed Architech. [Imágen] <<http://speedarchitech.com/assets/uploads/media/adhikz-1374553266.jpg>>
- [9] Cámara de industrias y producción. *Norma técnica que establece los límites permisibles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles*. Cámara de industrias y producción. Consulta: Junio de 2014. <<http://www.cip.org.ec/attachments/article/450/ANEXO%205%20RUIDO.pdf>>
- [10] Harrison, Robin T. Catalytic converter exhaust system temperature test. *Equipment development and test report* 5100-17 1997.
- [11] How Stuff Works? *How does a gun silencer work?* How Stuff Works? Consulta: Junio de 2014. <<http://science.howstuffworks.com/question112.htm>>
- [12] Tower Pro. [Imágen] <[http://i01.i.aliimg.com/img/pb/083/144/437/437144083\\_782.jpg](http://i01.i.aliimg.com/img/pb/083/144/437/437144083_782.jpg)>
- [13] Make-a-tronik. [Imágen] <[http://mpe-s1-p.mlstatic.com/modulo-hc-06-bluetooth-arduino-arm-atmel-pic-mejor-precio-15899-MPE20110435897\\_062014-F.jpg](http://mpe-s1-p.mlstatic.com/modulo-hc-06-bluetooth-arduino-arm-atmel-pic-mejor-precio-15899-MPE20110435897_062014-F.jpg)>
- [14] Pololu. *Step-Down Voltage Regulators*. Pololu Robotic & Electronics. Consulta: Junio de 2014. <<http://a.pololu-files.com/picture/0J4271.1200.jpg?5980e69db7522552c6f985a5e904db92>>
- [15] Arduino. *Arduino Uno*. Arduino webpage. Consulta: Junio de 2014. <[http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoUno\\_R3\\_Front.jpg](http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoUno_R3_Front.jpg)>