

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA FÍSICA**

Tesis de grado para optar al título de

Ingenierías física

Diseño e implementación de un dispositivo para la automatización del disparo de un arma de fuego hechiza mediante señales EMG obtenidas con el sensor MYO.

Por

**Manuela Herrera Acevedo**

**Mónica Johana Peláez Morales**



**2018**

## TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO UNO: IDEAS PRELIMINARES.....	5
1.1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.3. JUSTIFICACION .....	6
CAPITULO DOS: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	7
2.1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	7
2.2. OBJETIVOS.....	7
CAPITULO TRES: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	8
3.1. Sensor de señales EMG MYO.....	8
3.2. Equipos de prueba para laboratorios balísticos.....	9
CAPITULO CUATRO: MARCO TEÓRICO .....	11
4.1. MECANICO-ELECTRÓNICO .....	11
4.1.1. MOTORES PASO A PASO .....	11
4.1.2. CELDA DE CARGA .....	16
4.1.3. SENSOR DE SONIDO .....	18
4.1.4. SENSOR DE FINAL DE CARRERA .....	19
4.1.5. ARDUINO .....	20
4.2. PROGRAMACION.....	21
4.2.1. SOFTWARE .....	21
4.2.2. INTERFAZ DE USUARIO.....	22
4.3. ARMAS DE FUEGO.....	23
4.3.1. ARMAS DE FUEGO ARTESANALES O HECHIZAS. ....	26
4.4. SEÑALES ELECTROMIOGRAFICAS CON EL SENSOR MYO .....	28
CAPITULO CINCO: DESARROLLO EXPERIMENTAL .....	30
5.1. DISEÑO MECANICO Y ELECTRÓNICO .....	30
5.2. DISEÑO DE LA INTERFAZ DE USUARIO .....	32
5.3. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO .....	37
5.3.1. DESARROLLO MECANICO .....	38
5.3.2. DESARROLLO ELECTRONICO .....	42
6. RESULTADOS.....	47
7. CONCLUSIONES.....	48
8. RECOMENDACIONES.....	49
9. REFERENCIAS .....	50

## TABLA DE CONTENIDO DE ILUSTRACIONES

<i>Figura 1. Datos de los sensores MYO y BioFlex para un breve fragmento de movimiento libre [6].</i>	9
<i>Figura 2. Especificaciones del disparador STZA 10 Firing rest [8].</i>	10
<i>Figura 3. Equipo Refico-Remote fire control</i>	10
<i>Figura 4. Bobinas Motor paso a paso</i>	12
<i>Figura 5. Bobinas motor bipolar</i>	12
<i>Figura 6. Bobinas motor unipolar</i>	13
<i>Figura 7. Secuencia de las bobinas para paso completo.</i>	13
<i>Figura 8. Secuencia de las bobinas para paso completo básica.</i>	14
<i>Figura 9. Secuencia de las bobinas para medio paso</i>	15
<i>Figura 10. Placa Arduino genuino uno.</i>	21
<i>Figura 11. Partes de arma de fuego tipo pistola.</i>	24
<i>Figura 12. Partes de un arma tipo revolver.</i>	25
<i>Figura 13. Partes de arma tipo semiautomática.</i>	26
<i>Figura 14. Tipo de armas artesanales o hechizas.</i>	27
<i>Figura 15. Comportamiento de los electrodos [19].</i>	28
<i>Figura 16. Visualización de los músculos activos en diferentes poses de la mano [19].</i>	29
<i>Figura 17. Resultado de los acelerómetros y giroscopios al realizar movimientos no predeterminados.</i>	29
<i>Figura 18. Diseño del buje que une el motor y el tornillo sin fin.</i>	31
<i>Figura 19. Sistema de piñones para movimiento horizontal.</i>	31
<i>Figura 20. Grafica del sistema de funcionamiento para el disparador.</i>	32
<i>Figura 21. Ventana de ingreso a la interfaz</i>	33
<i>Figura 22. Ventana de decisión para ingresar usuario.</i>	33
<i>Figura 23. Ventana para el ingreso de un nuevo usuario.</i>	34
<i>Figura 24. Ventana de comando de la interfaz.</i>	35
<i>Figura 25. Ventana de decisión para imprimir el informe.</i>	36
<i>Figura 26 Informe</i>	36
<i>Figura 27a. Motor paso a paso unido al tornillo sin fin por medio del buje.</i>	38
<i>Figura 28. Segundo riel vertical del dispositivo.</i>	39
<i>Figura 29a. Acople de las varillas horizontales y el motor paso a paso.</i>	40
<i>Figura 31. Eje horizontal con el acople del disparador.</i>	40
<i>Figura 32. Sistema de funcionamiento del disparador.</i>	41
<i>Figura 33. Disparador Acoplado al riel horizontal</i>	42
<i>Figura 34. Conexión motor vertical al Arduino.</i>	43
<i>Figura 35. Secuencia de las bobinas para el movimiento del motor.</i>	43
<i>Figura 36a. Celda de carga 5Kg.</i>	44
<i>Figura 37. Driver DRV8825</i>	45
<i>Figura 38. Diseño de la váquela tipo shield.</i>	46

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por habernos acompañado y guiado a lo largo de nuestra carrera, por ser nuestra fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarnos una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo de felicidad.

A nuestros padres por su incondicional apoyo y paciencia durante todos estos años, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

A nuestros hermanos por su cariño, apoyo incondicional, durante todo este proceso. A toda nuestras familias porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de nosotras una mejor persona y de una u otra forma nos acompañan en todos nuestros sueños y metas.

Al Msc. Sebastián Martínez García, ingeniero Diego Salazar, ingeniero Daniel Parra Ospina por su apoyo y dedicación a este proyecto, de igual forma al grupo de investigación DICOPED por abrimos las puertas de su laboratorio.

A nuestros amigos por hacer de este proceso una experiencia única y gratificante. Esperamos que podamos seguir compartiendo momentos a lo largo de este corto camino llamado vida.

# **CAPITULO UNO: IDEAS PRELIMINARES**

## **1.1. INTRODUCCIÓN**

En la actualidad la fabricación de armas ilegales se ha convertido en un fenómeno delincencial que ha afectado a la sociedad colombiana en los últimos años, esto se debe a que en el país no se lleva un control o registro de los talleres de armas artesanales o hechizas que se encuentran ubicados generalmente en barrios populares, dando como resultado una amplia gama y cantidad de estas armas circulando en las calles de las diferentes ciudades. Uno de los principales riesgos que presentan estas armas está asociado a los materiales y técnicas con que son fabricadas, las cuales en su mayoría no son resistentes a la combustión interna generada para impulsar el proyectil. Esto las hace altamente peligrosas para las entidades judiciales que se encargan del estudio e investigación de los diferentes eventos delincuenciales que se presentan. Para el caso puntual los peritos, que son los encargados de realizar la prueba de aptitud, corren un riesgo amplio de sufrir un accidente dado que dichas armas se pueden desintegrar o estallar en sus manos al dispararla. Sin embargo en el mercado existe una serie de dispositivos que permite realizar pruebas en armas de fuego de manera segura como los prototipos de la compañía Prototypa que comercializa equipos para la protección de personal en el laboratorio de balística, pero estos no son prototipos totalmente prácticos para evaluar una amplia gama de armas de fuego y en ocasiones resulta costoso para las entidades balísticas acceder a estos equipos. A raíz del problema anteriormente planteado y a el riesgo eminente que corre el personal del laboratorio de balística, en el presente trabajo se propone el diseño y fabricación de un dispositivo que permita realizar pruebas de aptitud en armas hechizas incautadas por la fiscalía general de la nación seccional Pereira, proporcionando además una interfaz de usuario, fácil de usar, que otorgue un informe detallado del tipo de arma que se evalúa y la fuerza requerida para accionar el disparo. Adicionalmente se implementará un sensor de señales EMG que permitirá generar la orden de disparo de manera inalámbrica, brindando de esta manera comodidad y seguridad para el perito.

### **1.3. JUSTIFICACION**

Las armas de fuego artesanales o hechizas son fabricadas sin tener en cuenta la resistencia de los materiales, por esta razón siempre existe el riesgo de que explote en las manos de quien la dispara y el peligro aumenta si usa munición de calibre medio o grande. [1]

En vista de que en la actualidad la fiscalía general de la nación seccional Pereira no dispone de un equipo seguro para analizar este tipo de armas de fuego se propone desarrollar un dispositivo Inalámbrico, que contará con una interfaz que permite el control del mismo con el fin de dar una solución óptima y segura al personal al realizar dichas pruebas. Por otro lado este dispositivo podría ser beneficioso para otras unidades, puesto que este se acoplará a las necesidades específicas propuestas por el personal investigativo de la fiscalía ayudando al desarrollo de los reportes que se requieren para soportar los casos de investigación. Adicionalmente este proyecto pretende optimizar el procedimiento reduciendo costos y el margen de error, brindándole al perito un protocolo modernizado, seguro y fácil de realizar.

# CAPITULO DOS: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

## 2.1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

De las 1.604 armas incautadas este año, el 87% son originales y 13% "hechizas", [2]por otro lado la policía metropolitana de Pereira informa que durante el año 2016 y 2017 en las armas incautadas se encontraron 36 pistolas originales, 34 pistolas hechizas o artesanales, 78 revólveres originales y dos revólveres hechizos [3].Cada arma de fuego incautada requiere una prueba de aptitud para la cual existe un equipo en el laboratorio de balística de la fiscalía general de la nación seccional Pereira que permite evaluar armas de fuego originales de cualquier tipo, pero el laboratorio no cuenta con un equipo que proporcione la seguridad necesaria al personal que realice las pruebas en armas hechizas que aunque en ocasiones están fabricadas con piezas originales también se utilizan piezas rudimentarias, lo cual genera poca seguridad al personal en el momento de disparar debido a que el aspecto interno del cañón suele ser áspero o irregular lo que aumenta la posibilidad de explosión o ruptura[4].

Dada la situación descrita se plantea la siguiente pregunta de investigación.

*¿Cómo se podría implementar un dispositivo que permita automatizar el disparo de un arma de fuego hechiza con el fin de realizar las pruebas de aptitud de manera segura y optima?*

## 2.2. OBJETIVOS

**OBJETIVO GENERAL:** Diseñar e implementar un equipo que conste de interfaz de usuario que permita ejecutar automáticamente el disparo de un arma de fuego hechiza, mediante un dispositivo que permita medir la fuerza requerida para ejecutar el disparo.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- Diseñar un dispositivo que permita realizar un disparo controlando el movimiento periférico del mismo en escala de milímetros.

- Construcción del montaje mecánico y electrónico requerido para el buen funcionamiento del prototipo.
- Diseñar e implementar una interfaz de usuario, que permita controlar el dispositivo previamente diseñado y que permita medir la fuerza requerida para ejecutar el disparo de un arma de fuego.
- Generar un informe detallado donde se visualice las características del procedimiento realizado donde se involucre el tipo de arma evaluada, la cantidad de disparos realizados y los parámetros evaluados para cada disparo.
- Acoplar el sensor MYO con la interfaz de usuario para generar la orden de disparo de manera inalámbrica.

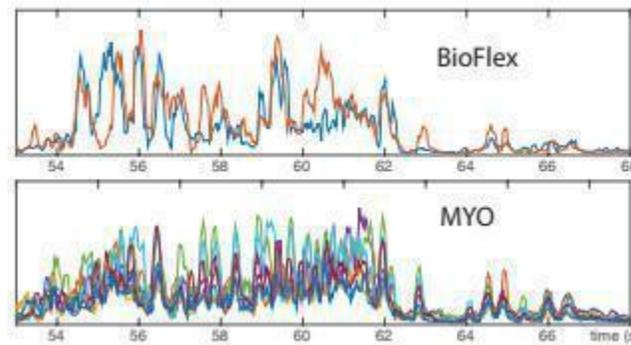
## **CAPITULO TRES: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1. Sensor de señales EMG MYO.**

Gracias a las nuevas tecnologías que han sido desarrolladas los últimos años, como teléfonos inteligentes y tabletas electrónicas que permiten adaptar de manera adyacente a diferentes tipos de sensores como lo es el brazalete MYO de los laboratorios Thalmic que mide la señal electromiográfica del antebrazo en bruto. Su funcionamiento se basa en de ocho sensores ubicados circularmente alrededor de los músculos del antebrazo. Estudios han informado que la precisión de este sensor para el reconocimiento de las señales EMG oscila entre el 88-99% dependiendo de las características del EMG, el método de clasificación y el número de gestos [5]. Por otro lado, se encuentran documento en los cuales utilizan el sensor para desarrollar aplicaciones musicales las cuales están dirigidas en su mayoría a controlar los efectos o las transiciones musicales en software. Kristian Nymoen, Mari Romarheim Haugen y Alexander Refsum Jensenius desarrollan una aplicación en la que se utiliza el dispositivo principalmente para activar y controlar procesos musicales en curso, su objetivo principal fue desarrollar un instrumento para jugar. [6] En este estudio se probó el nivel de ruido del sensor MYO comparándolo con otro sensor de señales EMG, el BioFlex, mientras un sujeto que se encontraba en reposo, registrando los niveles de ruido en dB, se encontró que para el MYO los niveles de ruido fueron de -12,9 para BioFlex y de -11,9 para el MYO.

Adicionalmente se realizó una evaluación cualitativa en la cual ambos sistemas se encontraban unidos al mismo tiempo, es decir que tanto el MYO como el BioFlex estaban conectados al sujeto mientras

este realizaba un movimiento libre. En la figura 1 se muestran las gráficas descritas por las señales de cada sensor durante la fracción de movimiento libre.



*Figura 1. Datos de los sensores MYO y BioFlex para un breve fragmento de movimiento libre [6].*

Se encontró que los datos obtenidos con el MYO muestran información más detallada que los obtenidos con BioFlex.

Por otro lado, la característica más convincente del MYO es el seguimiento del movimiento y la actividad muscular [5], ya que esto puede ayudar a resolver el problema de que los sensores inerciales estén siempre "encendidos", es decir, cómo extraer acciones significativas del flujo continuo de datos de movimiento. La detección muscular y la clasificación de estas acciones de control discreta, permiten acciones de selección, mientras que la detección de movimiento permite una excitación y modificación continua, en conjunto, estas acciones hacen posible crear conceptualmente mejores relaciones de acción y sonido.

### **3.2. Equipos de prueba para laboratorios balísticos.**

Actualmente en la industria se pueden encontrar empresas que diseñan dispositivos para probar el estado de algunos componentes de las armas de fuego, como los probadores de presión y velocidad dentro de los barriles como los equipos fabricados por **Bill Wiseman y Co, Inc** [7].

Dentro de los productos que ofrece esta compañía se encuentran equipos para probar municiones cargadas con diferentes configuraciones de balas y polvos, esto con el fin de fabricar la bala con la carga más precisa.

La empresa PROTOTYPA [8], también ofrece productos y servicios para el desarrollo y producción de Equipos balísticos, dentro de los cuales se encuentran algunos equipos de prueba en cartuchos para caza

deportiva, armas deportivas o militares. Adicionalmente se encuentran equipos para medir variables como presión en la cámara, tiempo de acción, velocidad y precisión de los cartuchos. Dentro de la gama de equipos que ofrece PROTOTYPA desarrolló el disparador STZA 10 Firing rest.

En la imagen 2 se muestran las especificaciones del disparador STZA 10 Firing rest. Desarrollado por la empresa PROTOTYPA.

TECHNICAL SPECIFICATION	
height	490 mm
length	1185 mm
width	350 mm
total mass	54 kg
maximal caliber	7,62x54R

*Figura 2. Especificaciones del disparador STZA 10 Firing rest [8].*

### **REFICO- REMOTE FIRE CONTROL**

Este equipo permite disparar amas de fuego solo presionando en botón que se muestra en la figuras 3.



*Figura 3. Equipo Refico-Remote fire control*

# CAPITULO CUATRO: MARCO TEÓRICO

## 4.1. MECANICO-ELECTRÓNICO

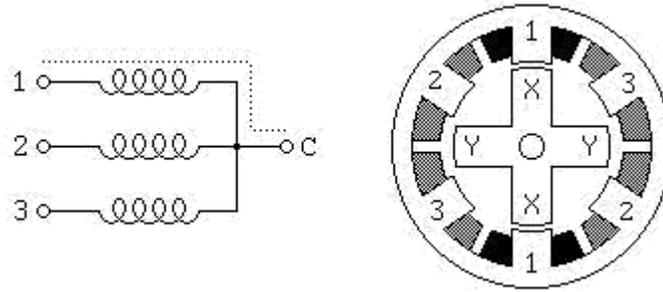
### 4.1.1. MOTORES PASO A PASO

#### PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

El principio de funcionamiento de los motores paso a paso es más sencillo que cualquier otro tipo de motor eléctrico.

Los motores eléctricos, en general, basan su funcionamiento en las fuerzas ejercidas por un campo electromagnético y creadas al hacer circular una corriente eléctrica a través de una o varias bobinas. Si dicha bobina, generalmente circular y denominada **estator**, se mantiene en una posición mecánica fija y en su interior, bajo la influencia del campo electromagnético, se coloca otra bobina, llamada **rotor**, recorrida por una corriente y capaz de girar sobre su eje. Al excitar el estator, se crean los polos N-S, provocando la variación del campo magnético formado. La respuesta del rotor será seguir el movimiento de dicho campo (tenderá a buscar la posición de equilibrio magnético), es decir, orientará sus polos NORTE-SUR hacia los polos SUR-NORTE del estator, respectivamente. Cuando el rotor alcanza esta posición de equilibrio, el estator cambia la orientación de sus polos y se tratará de buscar la nueva posición de equilibrio. Manteniendo dicha situación de manera continuada, se conseguirá un movimiento giratorio y continuo del rotor, produciéndose de este modo el giro del eje del motor, y a la vez la transformación de una energía eléctrica en otra mecánica en forma de movimiento circular.

Los motores paso a paso se presentan en dos variedades, de **imán permanente** y de **reluctancia variable**. Si el estator del motor tiene tres bobinas, conectadas típicamente como en la siguiente figura, con un terminal común, C, a todas las bobinas, será probablemente un **motor P-P de reluctancia variable**. El conductor común se conecta habitualmente al borne positivo y las bobinas son alimentadas siguiendo una secuencia consecutiva [10].



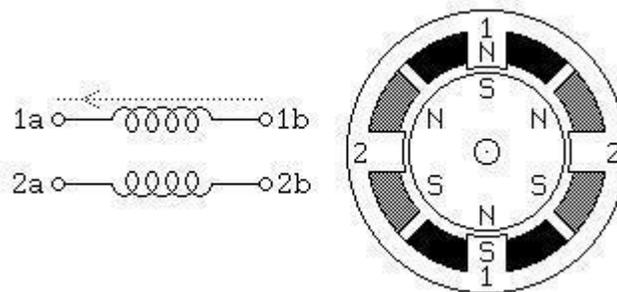
**Figura 4. Bobinas Motor paso a paso**

Los **motores P-P de imán permanente** son los más usados en robótica. Básicamente, están constituidos por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes, y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator. Así, las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) debe ser externamente manejada por un controlador.

Al número de grados que gira el rotor, cuando se efectúa un cambio de polaridad en las bobinas del estator, se le denomina "ángulo de paso".

Existen dos tipos de motores paso a paso de imán permanente: **Bipolar y Unipolar**.

**Bipolar:** Estos tienen generalmente cuatro cables de salida. La corriente que circula por los bobinados cambia de sentido en función de la tensión que se aplica, por lo que un mismo bobinado puede tener en uno de sus extremos distinta polaridad (bipolar) ver figura 5. Tienen las bobinas compuestas por dos arrollamientos cada una.



**Figura 5. Bobinas motor bipolar [25]**

**Unipolar:** Se llaman así porque la corriente que circula por los diferentes bobinados siempre circula en el mismo sentido. Tienen las bobinas con un arrollamiento único. Ver figura 6.

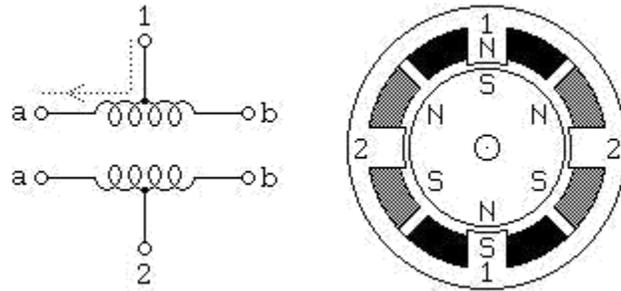


Figura 6. Bobinas motor unipolar [25]

**Secuencias para manejar motores paso a paso Unipolares.**

Existen tres secuencias posibles para este tipo de motores, que se detallan a continuación. Todas las secuencias comienzan nuevamente por el paso 1 una vez alcanzado el paso final (4 u 8). Para invertir el sentido de giro, simplemente se deben ejecutar las secuencias en modo inverso [25].

**Secuencia de paso completo doble (normal):** Consiste en tener activar dos bobinas al mismo tiempo, ambas consecutivas, de modo que el eje del motor se oriente hacia el punto medio de ambas bobinas. Con ésta el motor avanza un paso cada vez y, debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto par de paso y de retención.

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	ON	OFF	OFF	
2	OFF	ON	ON	OFF	
3	OFF	OFF	ON	ON	
4	ON	OFF	OFF	ON	

Figura 7. Secuencia de las bobinas para paso completo [25]

**Secuencia de paso completo básica (wave drive):** Consiste en activar cada una de las bobinas de forma independiente, lo que provoca que el eje del motor se oriente hacia la bobina activa. En

algunos motores esto brinda un funcionamiento más suave. La contrapartida es que al estar solo una bobina activada el par de paso y de retención es menor.

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	OFF	ON	OFF	OFF	
3	OFF	OFF	ON	OFF	
4	OFF	OFF	OFF	ON	

**Figura 8. Secuencia de las bobinas para paso completo básica [25]**

**Secuencia de medio paso:** Si se combinan las secuencias anteriores, el resultado que se obtiene es un paso más corto (de hecho, es la mitad del paso generado en las anteriores) y se sitúa el motor en todas las posiciones de las mismas. Para ello se activan primero 2 bobinas y luego sólo 1, y así sucesivamente. Como vemos en la tabla, la secuencia completa consta de 8 movimientos en lugar de 4.

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	ON	ON	OFF	OFF	
3	OFF	ON	OFF	OFF	
4	OFF	ON	ON	OFF	
5	OFF	OFF	ON	OFF	
6	OFF	OFF	ON	ON	
7	OFF	OFF	OFF	ON	
8	ON	OFF	OFF	ON	

*Figura 9. Secuencia de las bobinas para medio paso [25]*

### **CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.**

La principal característica de los motores paso a paso es que son ideales para la construcción de mecanismos que requieren movimientos muy pequeños, es decir que se pueden mover un paso por cada pulso que se les aplica, este paso puede variar desde  $90^\circ$  hasta movimientos de solo  $1.8^\circ$ , es decir que se requieren 4 pasos para dar un giro completo de  $360^\circ$  en el caso de ( $90^\circ$ ) y 200 pasos para el caso de ( $1.8^\circ$ ).

Lo más importante de un motor es saber de qué tipo es, la potencia, el número de pasos, el par de fuerza, la tensión de alimentación y poco más si son motores sencillos.

Por otro lado Cabe destacar que debido a que los motores paso a paso son dispositivos mecánicos, y como tal deben vencer ciertas inercias, el tiempo de duración y la frecuencia de los pulsos aplicados es un punto muy importante a tener en cuenta. En tal sentido, el motor debe alcanzar el paso antes de que la próxima secuencia de pulsos comience. Si la frecuencia de pulsos es muy elevada, el motor puede reaccionar en alguna de las siguientes formas:

- o Puede que no realice ningún movimiento en absoluto.
  
- o Puede comenzar a vibrar, pero sin llegar a girar.
  
- o Puede girar erráticamente.
  
- o Puede llegar a girar en sentido opuesto.

Para obtener un arranque suave y preciso, es recomendable **comenzar con una frecuencia de pulso baja y gradualmente ir aumentándola** hasta la velocidad deseada sin superar la máxima tolerada. El giro en inversa debería también ser realizado previamente bajando la velocidad de giro y luego cambiar el sentido de rotación.

#### **4.1.2. CELDA DE CARGA**

Una celda de carga es un transductor utilizado para convertir una fuerza en una señal eléctrica. Esta conversión empieza a partir de un dispositivo mecánico, es decir, la fuerza que se desea medir, deforma la galga extensiométrica. Y por medio de medidores de deformación (galgas) se obtiene una señal eléctrica con la cual podemos obtener el valor de la fuerza [11].

##### **Propiedades de una celda de carga**

Las celdas de carga poseen algunas propiedades las cuales se muestran a continuación.

**Capacidad:** Se refiere a la carga máxima que puede medir la celda de carga, sin sufrir deformaciones o errores considerables en su medición.

**Arrastre:** Es el cambio que genera la salida del sensor cuando se producen más de 30 minutos de carga o cerca de su capacidad máxima.

**Escala real:** Se utiliza para calificar el error. Es el cambio de salida cuando el sensor está cargado, se expresa como 0.1% FS y la salida sería de 1.0mV/V, la no linealidad máxima sería vista en todo el rango de operación como 0.001mV/V. Es decir si un sensor se está operando con un 10% de su capacidad, la no linealidad (para este ejemplo) seguiría siendo de 0.001mV/V, o el 1% del rango de trabajo que en realidad se está utilizando.

**Histéresis.** Consiste en la tendencia de un material a conservar sus propiedades posteriormente a un estímulo generado. Es decir la capacidad de la celda de identificar cuando está a su 50% de capacidad y posteriormente ponerse a prueba con el mismo elemento y que identifique que de nuevo se encuentra a su 50% de capacidad. Es importante recalcar que esto no es algo muy relevante a considerar si se está operando en el rango recomendable la celda, pero muy importante si se llega a exceder en algún momento su sobre carga máxima.

**Tensión de excitación** Específica la tensión que se puede aplicar a los terminales de alimentación sobre la celda de carga.

**Sobre carga máxima.** La carga máxima que se pueda aplicar sin producir un fallo estructural.

**No linealidad** Idealmente la salida del sensor es perfectamente lineal. E idealmente la calibración con dos puntos describirá exactamente el comportamiento del sensor con cualquier otra carga, sin embargo en la práctica, el sensor no es perfecto, y la no linealidad describe la desviación máxima de la curva lineal. Es por esto que para una calibración alta se requiere la descripción de múltiples puntos.

**Temperatura de funcionamiento.** Los extremos de temperatura ambiente dentro de la cual la celda opera sin cambio adverso. Y no cambia su rendimiento.

**Resolución** La resolución no es una característica de las celdas de carga, más bien se basa en el equipo que se está utilizando para medir la fuerza con la celda de carga. Esta se ve afectada directamente por la ganancia con la que se está manejando la celda. Además del ruido presente el cual evitaría tener lecturas fiables.

**Temperatura compensada** El rango de temperaturas en el que se compensa la celda de carga para mantener la medición y el equilibrio dentro de los límites especificados.

**Efecto de la temperatura sobre Span:** También llamado salida nominal. Este valor es el cambio en la medida debido a un cambio de 1°C de temperatura sobre el ambiente.

### 4.1.3. SENSOR DE SONIDO

El sensor de Sonido OKY038 contiene dos pines de salida una digital y una analógica. D0 es una salida digital que actúa a modo de comparador, si el sonido captado por el micrófono supera un determinado nivel, este se pone el “High”, por otro lado la salida A0 es una salida analógica que nos da un valor entre 0 y 1023 en función del volumen del sonido. Además, el sensor tiene incorporados de dos LED’S uno que indica si hay alimentación en el sensor y el otro indica si D0 está en HIGH.

El ajuste de sensibilidad del micrófono se hace mediante un potenciómetro incorporado al sensor [27].

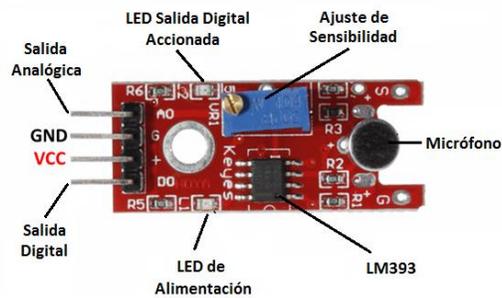


Figura 10 Sensor de Sonido [27]

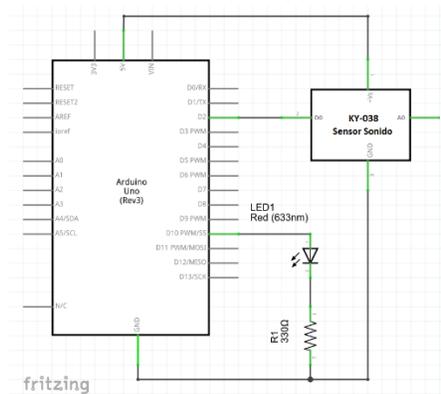


Figura 10b montaje Sensor de Sonido con Arduino[27]

#### **4.1.4. SENSOR DE FINAL DE CARRERA**

Los sensores de final de carrera son dispositivos electromecánicos que constan de un accionador vinculado mecánicamente a un conjunto de contactos, cuando un objeto entra en con el accionador, entonces el dispositivo opera los contactos para cerrar o abrir una conexión eléctrica [12]. Estos dispositivos son situados al final del recorrido de un elemento móvil, como una cinta transportadora, con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado del circuito.

Adicionalmente, este tipo de interruptores son precisos y compactos, resisten a los ambientes hostiles que exigen las aplicaciones industriales.

Internamente se tienen interruptores normalmente abiertos (NA) o normalmente cerrados (NC) o conmutadores, dependiendo.

Los finales de carrera están fabricados en diferentes materiales tales como metal, plástico o fibra de vidrio.

#### **FUNCIONAMIENTO:**

Tienen dos tipos de funcionamiento, modo positivo y modo negativo. En el modo positivo el sensor se activa cuando el elemento a controlar tiene una tarea que hace que el eje se eleve y se conecte con el objeto móvil con el contacto NC (normalmente cerrado), cuando el resorte de presión se rompe, el sensor queda desconectado.[13]

El modo negativo es la inversa del modo anteriormente descrito, cuando el objeto controlado tiene una saliente que empuje el eje hacia abajo, forzando el resorte de copa y haciendo que se cierre el circuito.

#### **VENTAJAS E INCONVENIENTES:**

Dentro de las ventajas encontramos la facilidad en la instalación, cuentan con un sistema robusto insensible a estados transitorios, trabaja a altas tensiones debido a la inexistencia de imanes es inmune a la electricidad estática.

#### **4.1.5. ARDUINO**

Es una plataforma de hardware libre, basada en una placa microcontrolada y un entorno de desarrollo que permite facilitar el uso de la electrónica. Por otro lado el Arduino proporciona un software con un entorno de desarrollo IDE que implementa el lenguaje de programación de Arduino que se caracteriza por su sencillez y facilidad de uso. [14]

Arduino facilita el desarrollo de elementos autónomos, simplemente conectándolo a dispositivos para que interactúe tanto con el hardware como con el software. Este permite realizar diversas aplicaciones en el área de ingeniería, en el ámbito de la automatización de procesos entre otros.

#### **CARACTERÍSTICAS**

- Microcontrolador ATmega328
- Voltaje de operación: 5V.
- Voltaje de entrada (recomendado) 7-12V.
- Pines Entrada/Salida digitales: 14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
- Pines de entrada analógica:6
- Corriente DC por pin de E/S;40mA.
- Corriente DC para 3.3V Pin:50mA.
- Memoria Flash: 32KB.
- EEPROM 1KB(ATmega328)
- Velocidad reloj 16MHz.

#### **GENUINO UNO.**

El Arduino Genuino Uno es una placa electrónica compuesta por un chip de Atmel ATmega328, esta cuenta con 14 pines digitales de entrada/salida de los cuales solo 6 pueden ser utilizados como salidas PWM, tiene 6 entradas analógicas, un oscilador de cristal de 16MHz.

## ALIMENTACIÓN

Esta placa cuenta con un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reset. Que sirve para inicializar nuevamente el programa cargado en el microcontrolador, adicionalmente esta placa cuenta con un puerto USB que funciona como puerto serial para transferir y cargar los programas a la placa, también permite energizar y alimentar el Arduino.

Por otro lado, se encuentra que la placa cuenta con un regulador de tensión, que controla la cantidad de electricidad que se envía a los pines y tiene un puerto de corriente continua que se usa para alimentar la placa en caso de que no se utilice el puerto USB.

## PROGRAMACIÓN

El Arduino Uno puede ser programado con el software Arduino o IDE, el ATmega328 en esta placa viene pregrabado con un cargador de arranque que permite subir un nuevo código sin necesidad de usar un programador de hardware externo.



*Figura 10. Placa Arduino genuino uno.*

## 4.2. PROGRAMACION

### 4.2.1. SOFTWARE

Se considera que el software es el equipamiento lógico e intangible de un ordenador. En otras palabras, el concepto de software abarca a todas las aplicaciones informáticas, como los procesadores de textos, las planillas de cálculo y los editores de imágenes. [16]

El software es desarrollado mediante distintos lenguajes de programación, que permiten controlar el comportamiento de una máquina. Estos lenguajes consisten en un conjunto de símbolos y reglas sintácticas y semánticas, que definen el significado de sus elementos y expresiones. Un lenguaje de programación permite a los programadores del software especificar, en forma precisa, sobre qué datos debe operar una computadora.

**Microsoft Visual Studio** es un entorno de desarrollo integrado (IDE) para sistemas operativos Windows. Soporta múltiples lenguajes de programación, tales como C++, C#, Visual Basic .NET, F#, Java, Python, Ruby y PHP, al igual que entornos de desarrollo web,

Como ASP.NET MVC, Django, etc., a lo cual hay que sumarle las nuevas capacidades online bajo Windows Azure en forma del editor Mónico.

#### 4.2.2. INTERFAZ DE USUARIO

Se puede definir la interfaz de usuario como el medio con que el usuario puede comunicarse con una máquina, un equipo o una computadora y comprende todos los puntos de contacto entre el usuario y el equipo. Las más básicas, son las que incluyen menús, ventanas, ratón, los beeps y algunos otros sonidos que la computadora hace y son, en definitiva, todos los canales por los cuales se permite la comunicación entre el ser humano y la computadora. [17]

La interfaz gráfica de usuario posee ciertas características como lo es el monitor gráfico y un dispositivo apuntador (ratón), permite la transferencia entre programas, proporciona respuestas visuales he incluso auditivas a las acciones del usuario lo que genera una mejor comunicación

Ventajas y desventajas:

- o Debido a que la interfaz gráfica de usuario proporciona un ambiente prácticamente intuitivo, genera una gran facilidad en su manejo ya que a diferencia de otros sistemas que requieren memorizar comandos, este le permite al usuario incluso sin ningún tipo de experiencia en su manejo poder operar el software y cumplir con su objetivo.
- o Una interfaz gráfica de usuario genera más gastos en los recursos del sistema, ya que las imágenes y gráficos por naturaleza tienden a ser más grandes y complejos que la información basada en texto.

### **4.3. ARMAS DE FUEGO**

Artefacto mecánico que propulsa un proyectil a alta velocidad a través de un tubo como resultado a la expansión de gases que se produce al quemarse el combustible [18]

#### **FUNCIONAMIENTO DE LAS ARMAS DE FUEGO.**

En general, existen tres tipos de armas de fuego: rifles, escopetas y pistolas,

Las tres partes básicas de un arma de fuego moderna son:

- o Mecanismo de acción o de carga, donde se cargan, disparan y expulsan las municiones. o Cañón: tubo por el cual pasa el proyectil.
- o Culata: soporta el mecanismo y en muchos casos el cañón.
- o Recámara: el inicio que sostiene el tiro cartucho o el cartucho de proyectiles perdigones para disparar.
- o Retrocarga: parte posterior del cañón, empezando con la recámara.
- o Alma del cañón: canal interior del cañón por donde viajan los proyectiles disparados.
- o Seguro: Complemento mecánico diseñado para prevenir disparos accidentales.
- o Cartucho cargador: contenedor donde se colocan las municiones para cargarlas en la recámara. Este se puede colocar dentro de la culata o en un contenedor desmontable.
- o Gatillo; parte que se mueve con el dedo para disparar el cartucho o la bala o el cartucho de perdigones.

- o Guarda del gatillo: anillo protector que impide que el gatillo se dispare o se toque de manera accidental.

### **PARTES DE UNA PISTOLA:**



*Figura 11. Partes de arma de fuego tipo pistola.*

### **ARMA DE FUEGO TIPO REVOLVER**

Es una de las armas de fuego portátiles más usadas en el mundo. Su característica principal es un cilindro giratorio, conocido como “tambor” que contiene varias recámaras llamadas alvéolos. En cada uno de estos va ubicado un cartucho, el cilindro gira mecánicamente alineando cada una de las recámaras donde está dispuesto el cartucho para ser disparado con el cañón con la aguja percutora.

Existen tres tipo de revólveres: El de cilindro oscilante (Swingout), de cilindro basculante o de bisagra y de cilindro fijo. Los revólveres pueden ser de acción simple o acción doble.

Los revólveres de acción simple, el martillo debe ser activado manualmente cada vez que el arma va a ser disparada. Durante el tiempo que se está activando el martillo, el cilindro gira y se alinea la recamara (cargada con un cartucho dispuesto a dispararse) con el cañón y la aguja percutora. La presión aplicada al disparador libera el martillo y se produce el disparo.



*Figura 12. Partes de un arma tipo revolver.*

En los revólveres de acción doble, al aplicar presión continua en el disparador, el martillo se va activando y simultáneamente el cilindro gira y se alinea la recámara cargada con el cañón y la aguja percutora hasta que llega un punto en el que se desprende el martillo y se produce un disparo. Este tipo de revólveres a su vez pueden ser disparados como en acción simple, y difieren en la cantidad de presión que debe ser ejercida sobre el disparador para ejecutar el disparo, en acción doble varía de 12 a 15 lb y si el revolver es amartillado para ser disparado en acción sencilla esta presión disminuye entre 2 y 4lb.

### **ARMA DE FUEGO TIPO PISTOLA SEMIAUTOMÁTICA.**

La pistola usa la fuerza generada por la deflagración de la pólvora para operar los mecanismos de extracción y expulsión del arma, extraer y expulsar la vainilla vacía ya percutida, cargar un nuevo cartucho en la recámara (auto recargable) y ubicar los mecanismos del arma en la posición lista para ser nuevamente disparada.



*Figura 13. Partes de arma tipo semiautomática.*

#### **4.3.1. ARMAS DE FUEGO ARTESANALES O HECHIZAS.**

Se denomina arma de fuego hechiza a todo aquel dispositivo fabricado de manera artesanal con el fin de expulsar un proyectil a larga distancia haciendo uso de pólvora. Este tipo de armas están fabricadas generalmente con materiales y herramientas que se encuentran comúnmente en ferreterías o en tiendas que venden productos al público en general, se pueden construir utilizando desde tuberías plásticas, metales, madera, entre otros. Las armas de fuego hechizas o artesanales, generalmente no pueden ser utilizadas de forma continua debido al mecanismo con el que son fabricadas, no tienen estriado y pueden causar lesiones que provoquen amputación de miembros o extremidades.

#### **CARACTERISTICAS GENERALES DE UN ARMA DE FUEGO HECHIZA.**

A pesar de que las armas de fuego hechizas tienen una gran variedad de diseños y mecanismos, estas tienen unas características generales que le permite al dispositivo artesanal operar de manera similar a un arma de fuego legal.

Dentro de esas características se encuentran:

- o Cañón o barril: Este componente permite la expulsión de la bala hacia el objetivo por medio de gases provocados por la detonación del proyectil.
- o Bloque de cierre: Este componente es el que contiene la bala antes de la detonación, adicionalmente permite direccionar los gases de la detonación hacia el barril o cañón del arma.
- o Percutor: Este componente generalmente puede ser una barra afilada, o clavos para hacer las veces de percutor en un arma de fuego, este golpea la culeta de la bala que está dentro del bloque de cierre para hacer explotar la pólvora dentro de la bala y expulsar el proyectil a través del cañón.
- o Gatillo: El gatillo es el que acciona todos los componentes dentro del arma, este puede ser un botón, un perno o un clavo.



***Figura 14. Tipo de armas artesanales o hechizas.***

#### 4.4. SEÑALES ELECTROMIOGRAFICAS CON EL SENSOR MYO

La electromiografía es una técnica de electro diagnóstico para evaluar y la actividad eléctrica producida por los músculos. Las señales EMG permiten analizar anormalidades médicas, nivel de activación o la biomecánica del movimiento humano, existen aplicaciones tanto clínicas como biomédicas.

En el presente trabajo se implementa el sensor MYO de los laboratorios Thalmic que permite medir la señal electromiografía del antebrazo en bruto. El brazalete mide las señales EMG a partir de ocho sensores ubicados circularmente alrededor de los músculos del antebrazo captando la señal emitida por este al ejecutar uno de los gestos o movimiento predeterminados por el sensor que posteriormente activará el modo “disparar” de la interfaz previamente diseñada en visual Studio.

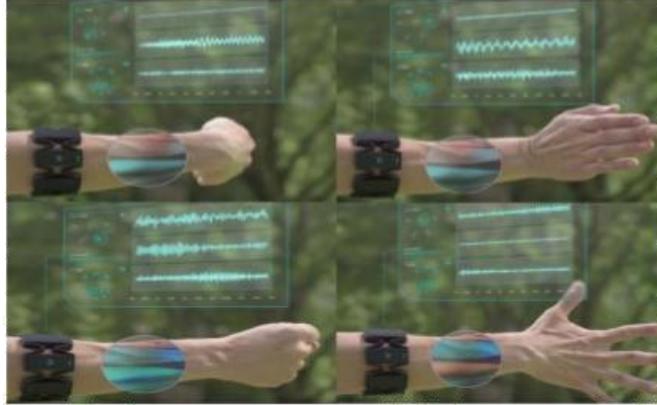
Cuando se realizan gestos, cada parte del sensor EMG toma un aspecto diferente, puesto que cada sección tiene una posición diferente [19]; la sección 1, 6,7 y 8 se activan “palma hacia adentro” mientras que las secciones 3,4 y 5 se activan en el gesto “palma hacia afuera”.

A continuación se muestra la tabla con el orden en que se activa cada sensor cuando se realizan los movimientos predeterminados por el brazalete.

		Number of EMG Sensors							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Gestures	Left	■					■	■	■
	Right			■	■	■			
	Fist		■			■	■	■	■
	Fingers spread		■	■					
	Double Tap		■	■			■	■	

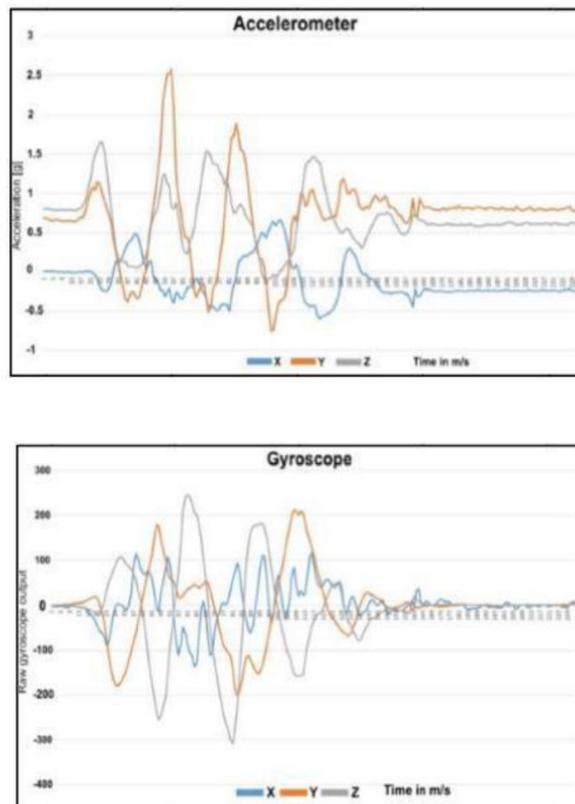
*Figura 15. Comportamiento de los electrodos [19].*

Los sensores localizados dentro, tales como 1, 6,7 y 8 muestran una reacción sensible. Para el caso de “muñeca hacia afuera” la reacción de los sensores cambia significativamente como se muestra en la figura, los músculos resaltados son activados al generar el movimiento y los sensores correspondientes muestran la oscilaciones.



**Figura 16. Visualización de los músculos activos en diferentes poses de la mano [19].**

A continuación se muestran los resultados obtenidos del acelerómetro y el giroscopio al realizar movimientos no predeterminados de la mano en las direcciones X, Y y Z.



**Figura 17. Resultado de los acelerómetros y giroscopios al realizar movimientos no predeterminados.**

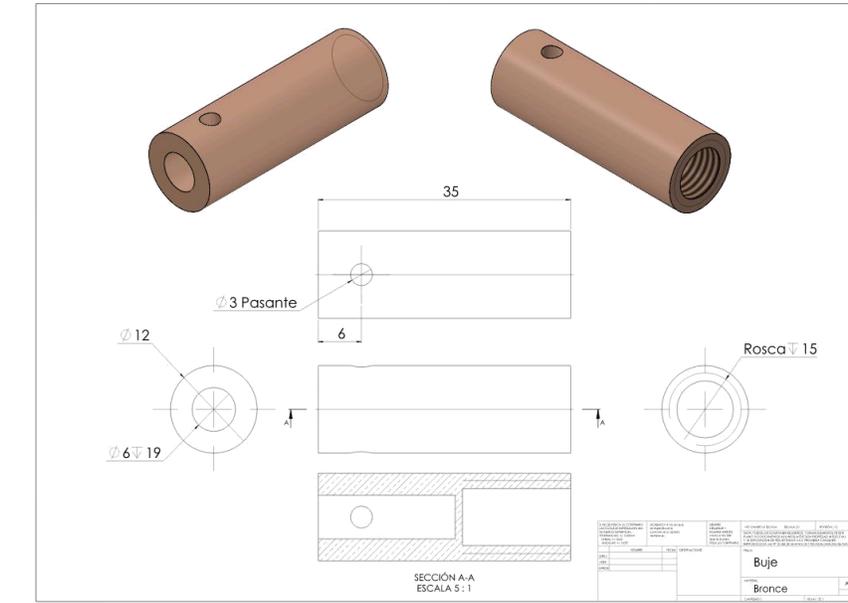
## **CAPITULO CINCO: DESARROLLO EXPERIMENTAL**

En el diseño del dispositivo se partió del hecho de que el arma que se desea disparar ya se encuentra sujeta y estática, por lo cual el dispositivo diseñado no requiere de ningún soporte para dicha arma. Este prototipo posee dimensiones de 35 cm por 35 cm y para su desarrollo fue necesario dividir el trabajo en diferentes etapas, diseño mecánico y eléctrico, programación de la interfaz de usuario y construcción del dispositivo.

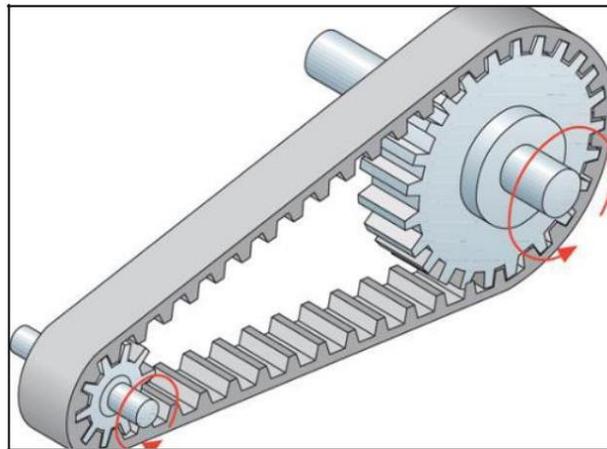
### **5.1. DISEÑO MECANICO Y ELECTRÓNICO**

El dispositivo se realizó con un sistema de rieles, con el fin de facilitar los movimientos verticales y horizontales, logrando de esta manera la posición deseada y necesaria para que el disparo se realice de manera óptima. La libertad en los movimientos mencionados anteriormente se implementaron debido a la diversidad que existe en el tamaño de las armas hechizas como se mencionó en el capítulo cuatro, lo que genera que el gatillo se encuentre siempre ubicado en posiciones diferentes, a la cual se tiene acceso gracias a la libertad de movimiento con la que se diseñó el dispositivo.

Para lograr dichos movimientos se utilizaron dos motores pasos a paso, con los que se podrán controlar la posición exacta en la que se desea ubicar el dispositivo. El primer motor permite controlar el movimiento vertical se encuentra unido a un tornillo sin fin (varilla roscada) por medio de un buje que permite el movimiento del tornillo cuando el motor gira (ver figura 18); generando de esta manera un movimiento vertical proporcional al número de pasos que el motor giró. Por otro lado el eje del segundo motor que controla el movimiento horizontal va sujeto a un piñón rodeado por una correa dentada como se muestra en la figura 19, este sistema trabaja similar al funcionamiento de una bicicleta, cuando el motor gira genera que la piñón mueva la correa dentada proporcionando así el movimiento horizontal.

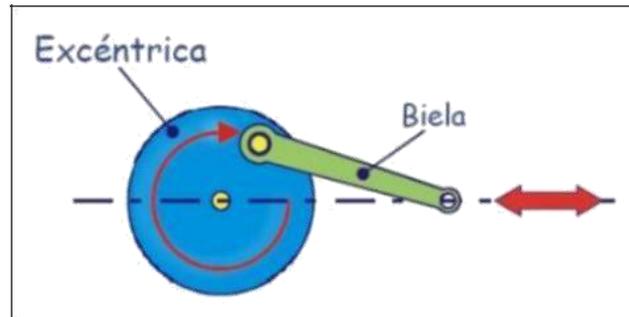


**Figura 18. Diseño del buje que une el motor y el tornillo sin fin.**



**Figura 19. Sistema de piñones para movimiento horizontal.**

Es importante tener en cuenta que aunque el dispositivo tenga dimensiones de 35 cm por 35cm, lo que se llamara en este trabajo como el “disparador”, es el que tendrá la libertad de moverse dentro de este rango. Para el diseño del disparador se toma como base el funcionamiento que tiene una rueda excéntrica con una biela como se muestra en la figura 20. En el eje central de la rueda va sujeto un servo motor que generara el movimiento de manera controlada; cuando se realice dicho movimiento la biela avanzara, generando que la celda de carga que va ubicada en el extremo del disparador se posicione justo en frente del gatillo, quedando así en la posición ideal para realizar el disparo.



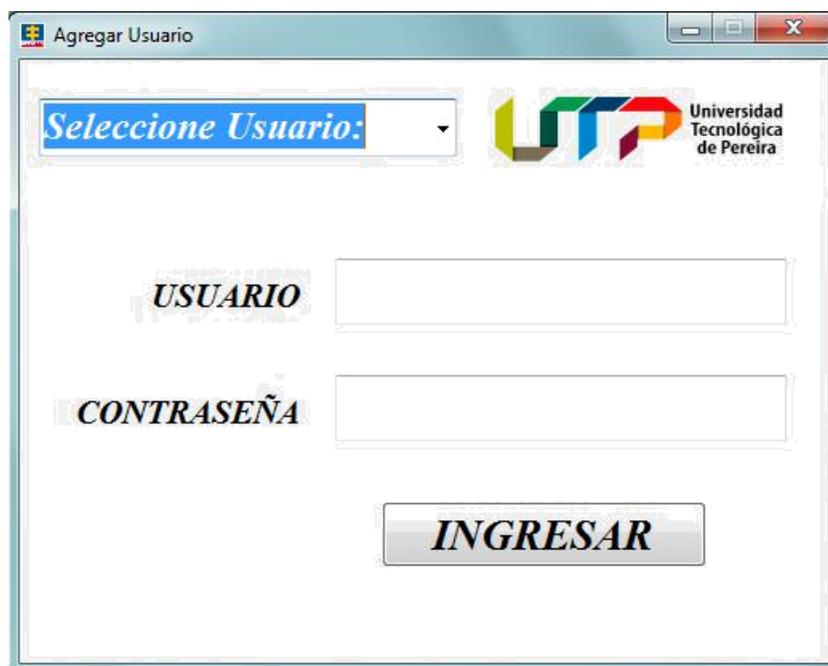
*Figura 20. Grafica del sistema de funcionamiento para el disparador.*

Por otro lado, se debe conocer que el control tanto de los dos motores paso a paso como el del servo motor se realizó con un Arduino Uno, para el cual fue necesario implementar dos drivers que contribuyen con el control y la programación de los motores, debido a que el Arduino solo genera la orden; mientras que los drivers permiten manejar los altos voltajes e intensidades que requieren estos motores, limitan la corriente que circula por ellos, y proporcionan las protecciones para evitar que la electrónica pueda resultar dañada.

## **5.2. DISEÑO DE LA INTERFAZ DE USUARIO**

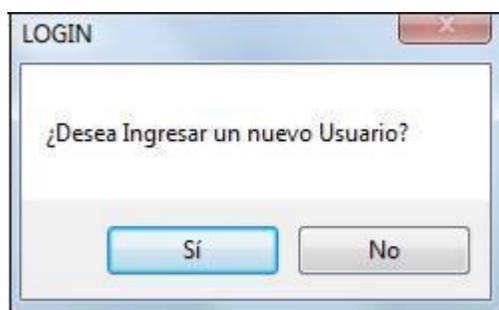
Con el fin de generar un lenguaje de comunicación entre el computador y el usuario se diseña una interfaz en Visual Studio con la cual el usuario podrá tener el control total del dispositivo de una manera sencilla y óptima.

Inicialmente el programa mostrara una pestaña para el ingreso a la interfaz, este cuenta con dos opciones, puede hacerlo como usuario, o como administrador como se muestra en la figura 21, en ambos casos la persona debe ingresar el nombre de usuario y contraseña con el fin de que el acceso al manejo del dispositivo sea restringido y más seguro.



**Figura 21.** Ventana de ingreso a la *interfaz*

Posteriormente, si el usuario ingresa como administrador la interfaz le mostrara una ventana en la que se le preguntara si desea ingresar un nuevo usuario o no (ver figura 22), esto con el fin de que la única persona que puede autorizar nuevos usuarios para el manejo del dispositivo sea el encargado, en este caso el administrador.



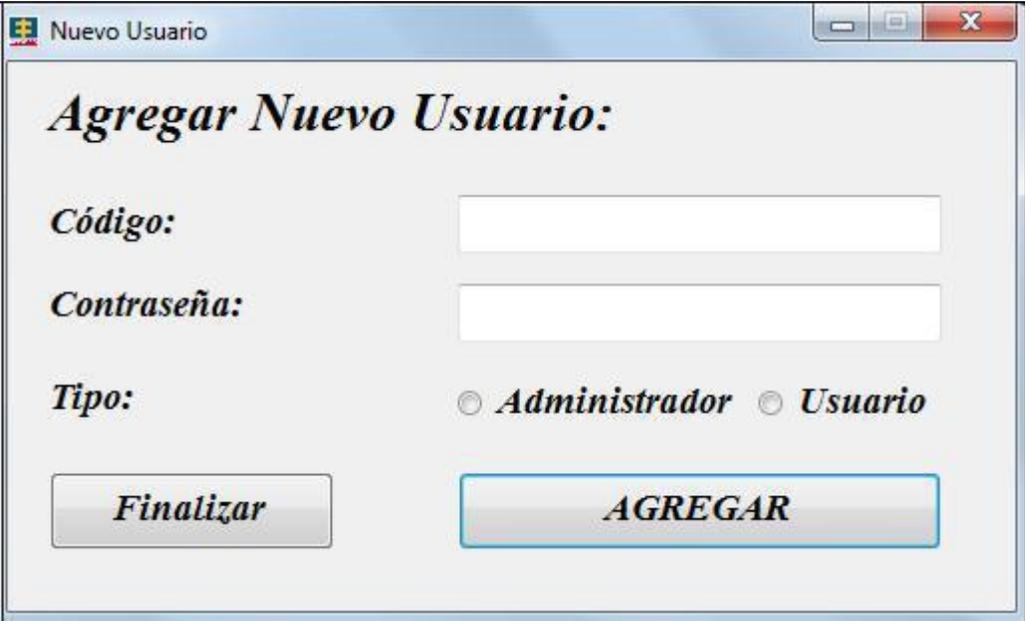
**Figura 22.** Ventana de decisión para ingresar usuario.

Si el administrador le selecciona la opción “sí” que se observa en la figura 22 automáticamente el programa abrirá otra ventana donde le solicitará los datos del nuevo usuario que se desea ingresar, esta ventana se puede observar en la figura 23. Los datos que pide el programa son mencionados a continuación:

**Código:** Este código será la identificación del usuario, y lo que deberá ingresar en la pestaña inicial como usuario (ver figura 21). Este código puede ser, por ejemplo, el nombre de la persona, la cedula o alguna identificación con la que se caracterice.

**Contraseña:** La contraseña que se ingresa puede ser alfanumérica.

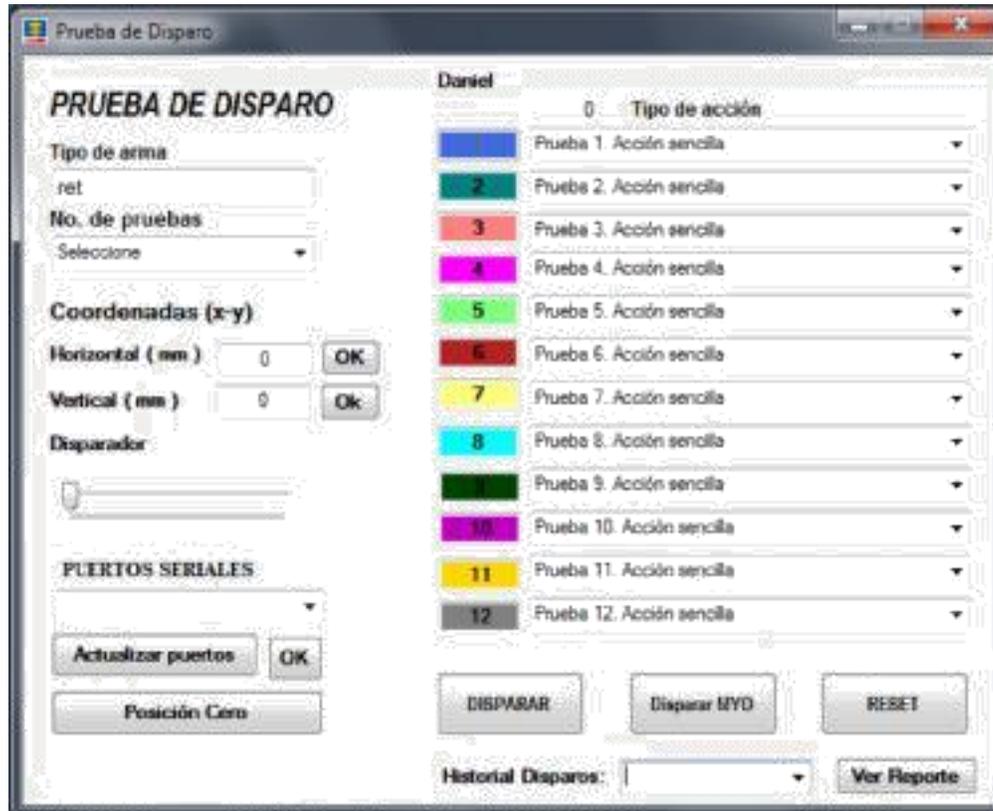
**Tipo:** El administrador tiene la opción de ingresar a esta persona como usuario o puede darle la autoridad de administrador.



The image shows a Windows-style window titled "Nuevo Usuario". The main heading is "Agregar Nuevo Usuario:". Below this, there are three input fields. The first is labeled "Código:" and is empty. The second is labeled "Contraseña:" and is empty. The third is labeled "Tipo:" and has two radio buttons: "Administrador" (which is selected) and "Usuario". At the bottom of the window, there are two buttons: "Finalizar" on the left and "AGREGAR" on the right.

*Figura 23. Ventana para el ingreso de un nuevo usuario.*

Por otro lado si la opción que el administrador seleccionó en la ventana de la figura 21 fue “no”, la pestaña que aparecerá será la del control del dispositivo (ver figura 24), la misma que le aparecerá a la persona que ingrese como usuario automáticamente después de que ingrese su código y contraseña.



*Figura 24. Ventana de comando de la interfaz.*

Esta pestaña es con la que el usuario tiene acceso al control del dispositivo y la que generara la información necesaria para posteriormente crear un informe detallado de la prueba realizada con el disparador. Toda la información que allí se solicita debe ser ingresada de manera obligatoria, si por alguna razón la información no está completa la interfaz no dejara continuar con el proceso.

Para el ingreso de las coordenadas se tienen dos opciones; la primera es ingresar el número aproximado (en centímetros para el eje  $x$  y en mm para el eje  $y$ ) para que mover cada motor, y la segunda es mover manualmente por medio del “scrollback” milímetro a milímetro en ambos ejes, en este caso se debe tener mucha precaución para no saturar el sistema.

Por otro lado, se debe ingresar también el tipo de arma y el número de pruebas o disparos que se desean realizar, lo que genera que se habiliten únicamente este número de casillas en la parte derecha de la pestaña donde se debe advertir si el disparo se realizara en acción sencilla o doble, únicamente para suministrar dicha información en el informe.

En la interfaz la opción de disparar activara un contador que aumenta de uno en uno cada que se presione dicha opción, así solo se permitirá disparar las veces que el usuario haya especificado. Apenas

se hayan realizado todos los disparos deseados se le preguntara al usuario si desea o no generar el informe (ver imagen 25).



*Figura 25. Ventana de decisión para imprimir el informe.*



REPORTE  
PRUEBA ARMA DE FUEGO

*Fiscalía general de la nación seccional pereira*

Usuario  
Tipo de arma  
Numero de pruebas

Sussana Cortés Ruiz.  
Revolver  
5

N° disparo	Fuerza (N)	Tipo de acción
1	14,70	Prueba 1. Acción sencilla
2	47,04	Prueba 2. Acción sencilla
3	31,36	Prueba 3. Acción sencilla
4	45,08	Prueba 4. Acción sencilla
5	37,24	Prueba 5. Acción sencilla
6	No realizada	Prueba 6. Acción sencilla
7	No realizada	Prueba 7. Acción sencilla
8	No realizada	Prueba 8. Acción sencilla
9	No realizada	Prueba 9. Acción sencilla
10	No realizada	Prueba 10. Acción sencilla
11	No realizada	Prueba 11. Acción sencilla
12	No realizada	Prueba 12. Acción sencilla

*Figura 26. Informe*

### 5.3. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Para realizar la construcción del dispositivo fue necesario construir una base en acrílico, la cual sirve como soporte para el empalme de todo el dispositivo. Se realizó la impresión en 3D de algunas piezas que se necesitaban, para poder unir por ejemplo las varillas de los rieles tanto verticales como horizontales, estas piezas no solo sirven de unión sino también como soporte, brindando una mayor estabilidad. Todas las impresiones se realizaron en la impresora 3D del grupo de investigación **DICOPE** de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Para la construcción del dispositivo se requirieron algunos implementos que se mencionaran a continuación:

- o Tres varillas de 35 cm de largo y un diámetro de 9.5mm en acero inoxidable.
- o Una varilla roscada o tornillo sin fin, con un largo de 35cm y un diámetro de 9.5mm en acero inoxidable.
- o Un motor paso a paso 23LM-C315 con una precisión de 1.8 grados
- o Un motor paso a paso 28 byj-48 con una precisión de
- o Tres rodamientos lineales de 9.5 mm de diámetro interno. o
- o Dos poleas dentadas con un eje o diámetro interno de 5mm. o
- o Una correa dentada.
- o Un servo motor o
- o Un Arduino uno.
- o Un sensor de sonido KY038.
- o Dos sensores de final de carrera.

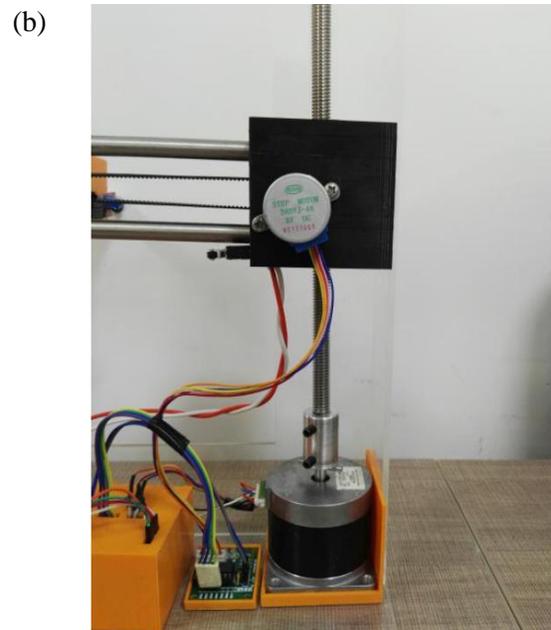
### 5.3.1. DESARROLLO MECANICO

#### *Riel vertical*

Inicialmente se realiza el empalme entre el motor paso a paso 20LM-C315 con el tornillo sin fin, por medio de un buje como se había mencionado en el capítulo de diseño, este buje fue realizado en la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira, por el profesor **Yesid Moreno** (ver figura 26.a), una vez se tiene echa dicha unión se debe asegurar que el otro riel pueda deslizarse fácilmente por este eje, sin ningún tipo de esfuerzo, para lo cual se adhiere una tuerca roscada a la caja que fue impresa como se mencionó anteriormente, lo que permite que al girar el tornillo sin fin la caja suba y baje sin ningún tipo de esfuerzo. El resultado de este primer riel vertical se puede observar en la imagen 26.b.



*Figura 27a. Motor paso a paso unido al tornillo Sin fin por medio del buje.*



*Figura 27b. Eje vertical del dispositivo*

Ahora para el segundo eje vertical se insertó la varilla en una de las piezas impresas para generar un mayor soporte y estabilidad, esta pieza se ubica en la base del acrílico, paralela al motor 20LM-C315, permitiendo así que la varilla quede paralela al tornillo sin fin o varilla roscada del otro eje vertical

mencionado anteriormente. La varilla atravesará otra pieza de impresa en forma de caja como se ve en la figura 27 y con el fin de que esta pieza pueda deslizarse libremente por la varilla fue necesario utilizar un rodamiento lineal que a su vez está adherido en la caja. Además, para una mayor estabilidad se le colocó otra caja impresa en la parte superior de la varilla, así esta no tendrá libertad para moverse.

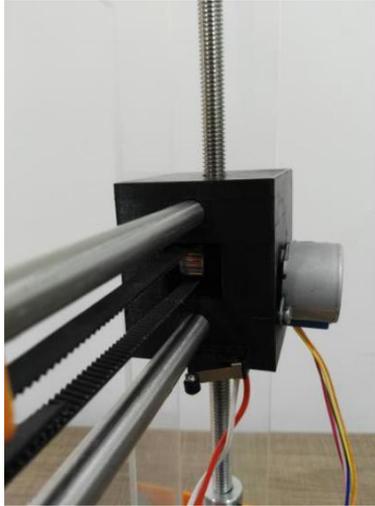


*Figura 28. Segundo riel vertical del dispositivo.*

### ***Riel horizontal***

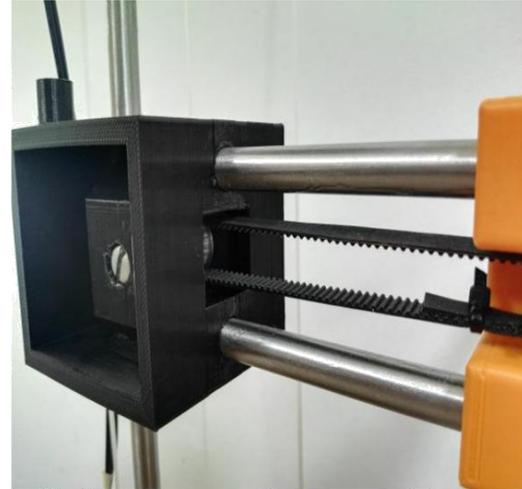
Para el riel horizontal se insertan los extremos de las dos varillas restantes a cada una de las cajas ubicadas en los ejes verticales, el diseño con el que se imprimieron estas cajas hace que estas dos varillas queden de manera paralela con el fin de garantizar un movimiento uniforme. Una vez se tuvo este empalme, se procedió a ubicar el motor 28 byj-48; este motor se adhirió a la caja del primer eje vertical ubicado en el lado izquierdo del dispositivo, el cual se encuentra unido a una de las poleas dentadas (ver figura 28a), la otra polea se encuentra ubicada de forma paralela a esta, en la caja del segundo eje vertical (lado derecho). Esta segunda polea se sostuvo por medio de un tornillo como se observa en la figura 28b, con el fin de permitirle un movimiento libre.

(a)



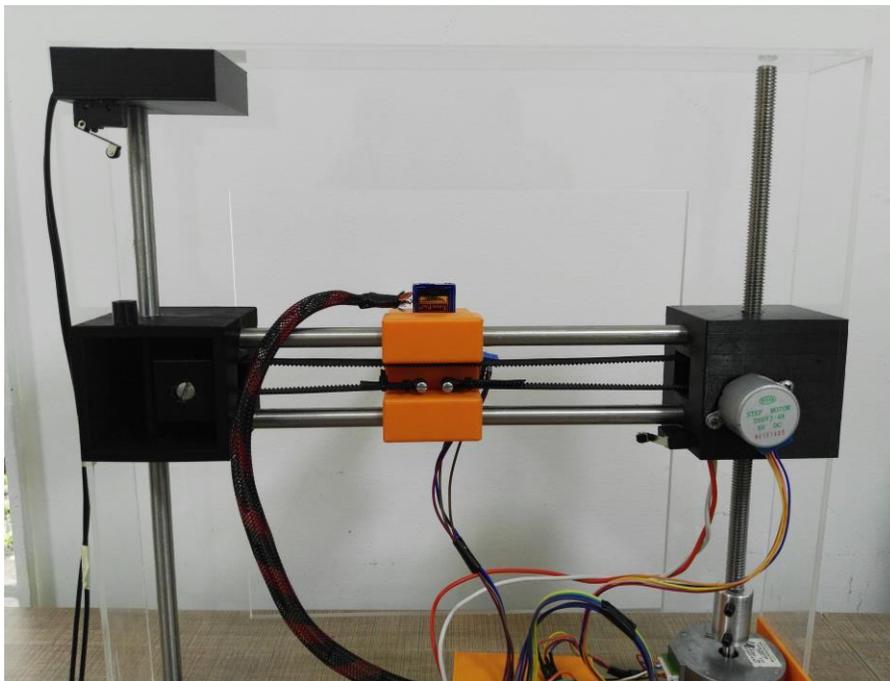
*Figura 29a. Acople de las varillas horizontales y el motor paso a paso.*

(b)



*Figura 29b. Acople de la polea con la correa dentada.*

Posteriormente y una vez listo todo el empalme entre las varillas se procede a poner la correa dentada en medio de las dos varillas horizontales, esta correa va sujeta por las dos poleas dentadas que se mencionaron anteriormente y al disparador por medio de dos tronillos como se muestra en la figura 30. El movimiento que el motor le genera a esta correa es el que permite el desplazamiento en el eje horizontal.

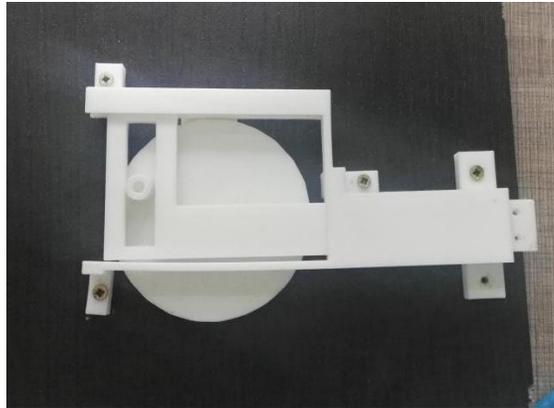


**Figura 30. Eje horizontal con el acople del disparador.**

Para que dicho desplazamiento se realice de una manera fluida se requiere de dos rodamientos lineales, uno para cada varilla, teniendo en cuenta que lo que deslizará por estas varillas es el disparador. Los rodamientos lineales fueron diseñados en Solid Works por el ingeniero Sebastián Vargas y se imprimieron en el grupo de investigación **Dicoped**.

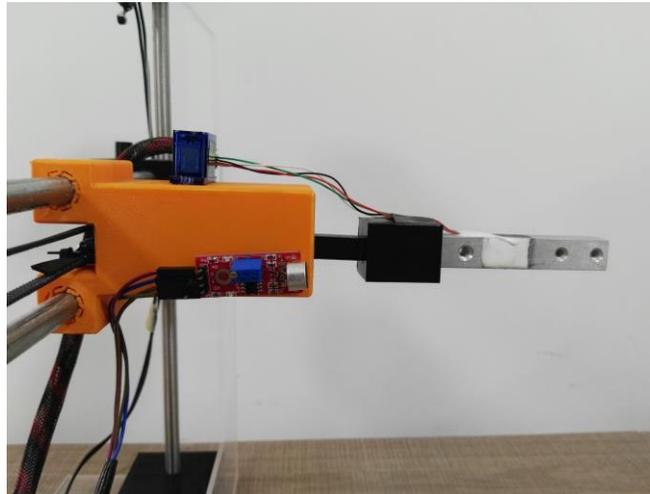
### *Disparador*

Para la construcción del disparador se imprimieron tres piezas 3D que se podrán observar en la figura 31 y posteriormente se empalmaron proporcionando de esta manera un movimiento lineal por medio de una circunferencia como se había explicado anteriormente. La circunferencia del disparador va sujeta a un servo motor, y a la punta de la biela va unida la celda de carga de 5Kg.



**Figura 31. Sistema de funcionamiento del disparador.**

Ahora este disparador se introduce a una caja que fue anteriormente diseñada e impresa para esta función, esta caja cuenta con dos abrazaderas que van a ir sujetas a los dos rodamientos lineales de las varillas horizontales, y también va sujeta a la correa dentada como se puede observar en la figura 32. De esta manera se logrará el movimiento horizontal y vertical del disparador dependiendo del movimiento de los motores paso a paso.



*Figura 32. Disparador Acoplado al riel horizontal*

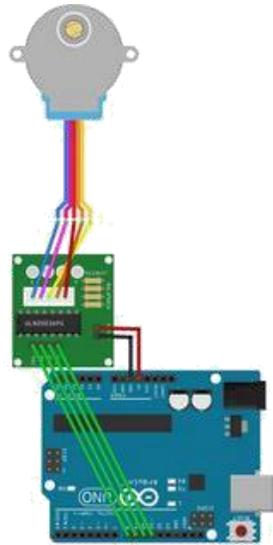
### **5.3.2. DESARROLLO ELECTRONICO**

Una vez se tiene el diseño mecánico del prototipo, se procede a acoplar las componentes electrónicas que otorgan movimiento al sistema para cumplir con los objetivos propuestos. Para realizar el movimiento vertical y horizontal que posicionan el disparador, se implementaron dos motores paso a paso que controlan cada grado de libertad respectivamente. A continuación se describe como se controló cada motor.

#### **Movimiento Horizontal.**

El motor paso a paso que se implementó para realizar el movimiento horizontal del disparador fue el 28BYJ-48, se escogió en base a sus características, como el voltaje de funcionamiento de 5 a 12V, este motor es unipolar y tiene cuatro (4) bobinas que permite moverlo de tres maneras diferentes, movimiento normal, movimiento completo y movimiento de medio paso, en este caso se programó el motor para que operara a medio paso, de esta manera se obtiene un movimiento lento y suave.

La alimentación para el motor **28BYJ-48** desde una placa Arduino, se debe realizar mediante el driver ULN2003 puenteando el voltaje que no se utiliza, con jumpers se selecciona una alimentación de 5V o 12V como se muestra en la figura 33.



**Figura 33. Conexión motor vertical al Arduino.**

Como se mencionó anteriormente, este motor se programó a medio paso siguiendo la secuencia que se muestra a continuación:

PASO	BOBINA A	BOBINA B	BOBINA C	BOBINA D
1	HIGH	LOW	LOW	LOW
2	HIGH	HIGH	LOW	LOW
3	LOW	HIGH	LOW	LOW
4	LOW	HIGH	HIGH	LOW
5	LOW	LOW	HIGH	LOW
6	LOW	LOW	HIGH	HIGH
7	LOW	LOW	LOW	HIGH
8	HIGH	LOW	LOW	HIGH

**Figura 34. Secuencia de las bobinas para el movimiento del motor.**

La tabla anterior indica que valor se deben tener en las salidas digitales del Arduino, según la figura 33 se tiene las siguientes conexiones.

<b>ARDUINO</b>	8	9	10	11
<b>BOBINA</b>	A	B	C	D

## SISTEMA ELECTRÓNICO DEL DISPARADOR.

Partiendo del diseño mecánico del disparador se incorpora a este una celda de carga, un servomotor, y un sensor de sonido que forman un sistema ideal para el correcto funcionamiento del disparador. A continuación se describe el control que se tuvo en cuenta para cada componente.

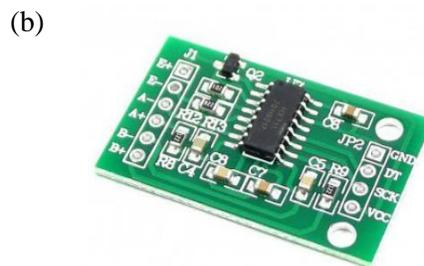
### CONTROL DE LA CELDA DE CARGA

Como se mencionó anteriormente, una celda de carga es un transductor capaz de convertir una fuerza en una señal eléctrica, esto lo hace mediante una o más galgas que contiene en su interior, configuradas en un puente Wheatstone. Para la construcción de este prototipo se utilizó una celda de carga de 5kg ver figura 35.a y el control de esta se realiza mediante el **transmisor HX711**, este módulo es una interface entre la celda de carga y el microcontrolador que permite leer el peso de manera sencilla, internamente se encarga de la lectura del puente Wheatstone formado por la celda de carga, convirtiendo la lectura analógica a digital con su conversor A/D interno de 24 bits y se comunica con el microcontrolador mediante 2 pines (Clock y Data) de forma serial ver figura 35.b.

Por otro lado se debe calibrar la celda de carga para determinar el valor de escala que se utilizará, para obtener el valor de la lectura en unidades de peso, para esto se utilizó una masa conocida de 4kg y se implementó el código que se muestra a continuación.



*Figura 35a. Celda de carga  
5Kg.*



```

#include <HX711.h>
#define DOUT A1
#define CLK A0

HX711 balanza(DOUT, CLK);

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.print("Valor leído conversor ADC: ");
  Serial.println(balanza.read());
  Serial.println("Dejar balanza sola");
  Serial.println("Destarando");
  // balanza.set_scale();
  balanza.set_scale(413340.7);
  balanza.tare(20);
  Serial.println("Listo para medir:");
  //Serial.println("coloque una masa conocida:");
}

void loop()
{
  Serial.print("Fuerza");
  Serial.print("Lectura balanza: ");
  Serial.println(balanza.get_units(20), 3);
  Serial.println(" kg");
  delay(100);
}

```

LECTURA DE LA BALANZA	PROMEDIO	ESCALA
1634725		
1640942		
1647955		
1656204		
1656228		
1656325		
1656322		
1656406		
1656314		
1656597		
1656506		
1656343		
1656521		
1656509		
1656545		
24800442	1653362,8	413340,7

El servomotor le permite al usuario mover la celda de carga desde la interfaz aproximadamente un cm, de esta manera se puede ingresar o salir del agujero del gatillo del arma a disparar. Por otro lado se implementa el sensor de Sonido OKY-038 que se activa con el disparo del arma, una vez esto ocurre la celda de carga entrega el valor de la fuerza que leyó y el motor 28BYJ-48 realiza una vuelta en sentido contrario a las manecillas del reloj hasta que se realicen la cantidad de disparos determinados por el usuario en la interfaz.

### MOVIMIENTO VERTICAL.

El motor paso a paso bipolar encargado de realizar el movimiento vertical en el sistema es el 23LMc-315 de 24V, para controlarlo se implementa el driver DRV8825 de Polulu ver figura 36 con una corriente de salida hasta de 2,2 A [21], este driver cuenta con un potenciómetro que permite ajustar la corriente máxima de salida. Funciona con una tensión de alimentación entre 8.2V y 45V y puede entregar hasta 1,5 A por fase, sin disipador de calor.



*Figura 36. Driver DRV8825.*

La calibración de DRV8825 se realiza teniendo en cuenta las especificaciones del motor [22] y con el Datasheet del driver DRV8825 de la Texas Instruments [20] donde se tiene que la ecuación para calcular la corriente máxima está dada por la ecuación:

$$I_{MAX} = \frac{V_{REF}}{5 * R_s}$$

Revisando las especificaciones del motor y del driver se encuentra que el valor de  $R_s$  del DRV8825 es  $R_s = 100\Omega$  y la  $I_{MAX} = 2A$  para el motor paso a paso

Por lo tanto se obtiene que el voltaje de referencia indicado para mover el motor paso a paso es:

$$V_{REF} = (I_{MAX})(5)(0.1)$$

$$V_{REF} = 1V.$$

Como se va a utilizar el motor en pasos completos, su rendimiento es del 70%, por lo tanto se le debe restar al  $V_{REF}$

$$V_{REF} = 1V * 0,7$$

$$V_{REF} = 0,7$$

$$V_{REF} = 1 - 0,7 = 0,3V$$

Adicionalmente se incorporaron dos sensores de final de carrera para llevar los dos motores paso a paso a una posición inicial denominada (Posición cero).

Una vez se tiene todas los componentes electrónicos que controlan el dispositivo, se diseña una shield en el software Eagle (ver figura 37) para incorporar a la placa de Arduino con ayuda del estudiante de mecatrónica Jhans Brandon Vélez Cortés en la cual se conectan todos los componentes de manera ordenada y garantizando el funcionamiento óptimo del prototipo.

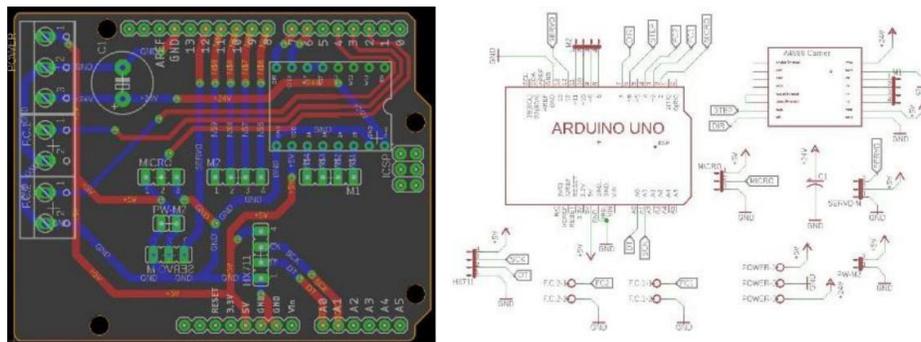


Figura 37. Diseño de la váquela tipo shield.

## 6. RESULTADOS

- Se diseñó un dispositivo con las características mecánicas y electrónicas, requeridas por la Fiscalía general de la nación seccional Pereira, que logra realizar el disparo de un arma de fuego hechiza, y que además puede controlar el movimiento periférico de este en escala de milímetros.
- Se realizó la construcción del prototipo diseñado, con las características mecánicas y electrónicas necesarias para que cumpliera con las especificaciones de movimiento, capacidad de disparo, y reporte de datos obtenidos, garantizando el funcionamiento de manera adecuada
- Se realizó el diseño y la implementación de una interfaz de usuario que permite controlar el dispositivo, tanto en su movimiento periférico como en la cantidad de disparos a realizar y el tipo de acción de este. (disparo de acción doble o acción sencilla).
- Se implementó una función que genera en la interfaz un informe con el registro de la fuerza realizada en cada uno de los disparos, el tipo de arma con la que se ejecutaron las pruebas y el usuario que las realizo.
- Se acopló a la interfaz de usuario el sensor MYO, con el que se genera la orden de disparo de una manera inalámbrica.
- La aplicación la aplicación permite recopilar un historial de los archivos generados, los cuales podrán ser visualizados por los administradores del software con el fin de tener los soportes necesarios por parte de los peritos si fuese necesario en algún momento.

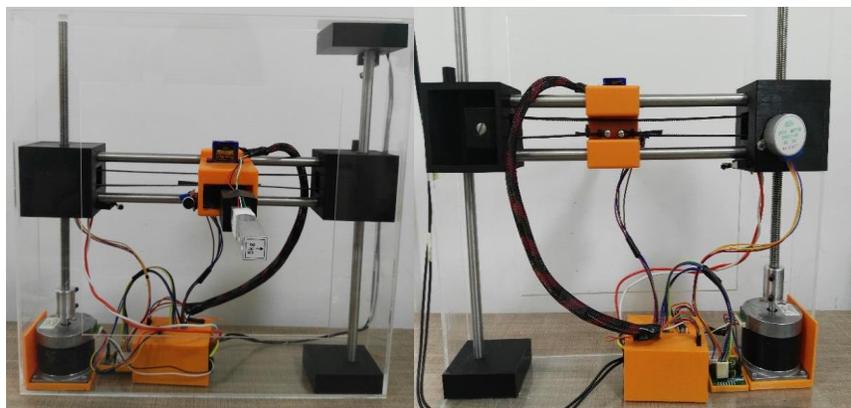


Figura 38. Imagen final del prototipo.

## 7. CONCLUSIONES

- Se desarrolló un prototipo fácil de utilizar, que permite ubicar el disparador en la posición deseada y mide la fuerza aproximada que se ejerce sobre el gatillo en el momento de ejecutar el disparo.
- Se implementó el microcontrolador Ardiuno porque, además de ser gratuito, tiene una plataforma amigable con el usuario y genera facilidades en la programación, así mismo tiene óptimo desempeño para la comunicación con sensores digitales.
- La implementación de motores paso a paso para realizar tareas de ubicación espacial resultó ser la más acertada, debido a precisión con la que se pueden manipular las posiciones del motor.
- Se encontró que el sensor MYO brinda mayor comodidad y seguridad al usuario al realizar la prueba, ya que este tiene una conexión inalámbrica con el computador.

## **8. RECOMENDACIONES.**

- Para mejorar el funcionamiento del disparador se recomienda usar un motor paso a paso con mayor torque en el eje horizontal, para garantizar mayor exactitud al posicionar el dispositivo en este eje.
- Se recomienda utilizar materiales más resistentes en la estructura del prototipo para alargar su vida útil.
- Se sugiere cambiar los rodamientos lineales impresos en PLA por unos metálicos que generen menos fricción en los desplazamientos (horizontal y vertical).
- Se recomienda utilizar un tornillo sin fin de paso más amplio para optimizar la velocidad en la que se desplaza el dispositivo verticalmente.

## 9. REFERENCIAS

- [1] El Heraldo, «El Heraldo,» 6 Diciembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.elheraldo.co/judicial/las-armas-artesanales-un-peligro-doble-232212>. [Último acceso: Abril 2018].
- [2] G. J. MORALES, «El Colombiano,» 19 Noviembre 2011. [En línea]. Available: [http://www.elcolombiano.com/historico/el\\_precio\\_de\\_las\\_armas-EYEC\\_158963](http://www.elcolombiano.com/historico/el_precio_de_las_armas-EYEC_158963). [Último acceso: Abril 2018].
- [3] «Policía Nacional de Colombia,» 18 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://policia.gov.co/noticia/policia-metropolitana-pereira-entrega-278-armas-fuego-ser-destruidas>. [Último acceso: Junio 2018].
- [4] M. D. Gojanovi6, «Fatal firearm injuries caused by handmade weapons,» *Journal of Clinical Forensic Medicine*, vol. 2, pp. 213-216, 1995.
- [5] N. H. M. Ali Boyali, «Hand Posture and Gesture Recognition using MYO Armband,» *IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, p. 2, 2015.
- [6] M. R. H. R. J. Kristian Nymoén, "MuMYO — Evaluating and Exploring," p. 4, 2015.
- [7] Bill Wiseman , «Bill Wiseman & Co, Inc.,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.wisemanballistics.com/>. [Último acceso: Junio de 2018 2018].
- [8] Prototypa, «Prototypa,» 1991-2018. [En línea]. Available: <http://www.prototypa.com/products-services#ballistic-equipment-for-testing-of-weapons>. [Último acceso: Abril del 2018 2018].
- [9] E. M. Perez, «Documentos.tips,» 16 Noviembre 2017. [En línea]. Available: [https://documentos.tips/download/motor-a-pasos\\_5a0d766bd64ab2215609338e\\_pdf](https://documentos.tips/download/motor-a-pasos_5a0d766bd64ab2215609338e_pdf). [Último acceso: Junio 2018].
- [10] V. R. González, «Robótica,» 2002. [En línea]. Available: [http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0204/cyr\\_01/robotica/index.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/index.htm). [Último acceso: Junio del 2018 2018].
- [11] Acomee, «Acomee Celdas de Carga,» [En línea]. Available: <https://www.acomee.com.mx/CELDAS%20DE%20CARGA.pdf>. [Último acceso: Mayo de 2018 2018].
- [12] Allen-Bradley, «Rockwell Automation,» 2018. [En línea]. Available: <https://ab.rockwellautomation.com/es/Sensors-Switches/Limit-Switches>. [Último acceso: Mayo de 2018 2018].
- [13] Acomee, «Acomee,» 2011-2018. [En línea]. Available:

- <https://www.ahomee.com.mx/SENSOR%20FINAL%20DE%20CARRERA.pdf>. [Último acceso: Junio de 2018 2018].
- [14] Descubre Arduino, «Descubre Arduino,» 2014. [En línea]. Available: <https://descubrearduino.com/arduino-uno/?cn-reloaded=1>. [Último acceso: Junio de 2018 2018].
- [15] Arduino, «Arduino,» [En línea]. Available: <http://arduino.cl/que-es-arduino/>. [Último acceso: Mayo 2018].
- [16] «Definición.De,» [En línea]. Available: <https://definicion.de/software/>. [Último acceso: Mayo de 2018 2018].
- [17] «Merca20,» [En línea]. Available: <https://www.merca20.com/que-es-una-interfaz-de-usuario-que-elementos-debe-contener/>. [Último acceso: Mayo de 2018 2018].
- [18] TPW, Texas Park Wild Life, « Texas Park Wild Life,» [En línea]. Available: <https://tpwd.texas.gov/education/hunter-education/educacion-para-cazadores/capitulo-2>. [Último acceso: Mayo de 2018 2018].
- [19] H.-S. S.-H. L. Asilbek Ganiev, «Study on Virtual Control of a Robotic Arm via a Myo Armband for the SelfManipulation,» *International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562*, vol. 1, p. 8, 2016.
- [20] Texas Instruments, «Texas Instruments,» [En línea]. Available: <http://www.ti.com/product/drv8825/samplebuy?keyMatch=driver%20DRV8825&tisearch=Search-EN-Everything>. [Último acceso: Agosto 2018].
- [21] Pololu, «Pololu Robotics and Electronics,» [En línea]. Available: <https://www.pololu.com/product/2133>. [Último acceso: Agosto 2018].
- [22] [En línea]. Available: [http://cnc25.free.fr/documentation/moteurs%20pap/pap\\_nmb.pdf](http://cnc25.free.fr/documentation/moteurs%20pap/pap_nmb.pdf).
- [23] programarfacil, «programarfacil.com,» [En línea]. Available: <https://programarfacil.com/blog/motor-paso-a-paso/>. [Último acceso: Julio 2018].
- [24] Naylamp Mechatronics, «Naylamp Mechatronics,» [En línea]. Available: [https://naylampmechatronics.com/blog/25\\_tutorial-trasmisor-de-celda-de-carga-hx711-ba.html](https://naylampmechatronics.com/blog/25_tutorial-trasmisor-de-celda-de-carga-hx711-ba.html)
- [25] [http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0204/cyr\\_01/robotica/sistema/motores\\_p-p.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/sistema/motores_p-p.htm)
- [26] [https://naylampmechatronics.com/blog/25\\_tutorial-trasmisor-de-celda-de-carga-hx711-ba.html](https://naylampmechatronics.com/blog/25_tutorial-trasmisor-de-celda-de-carga-hx711-ba.html)
- [27]