

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**Diseño de lanzador de proyectiles de madera para los vehículos
Thyssen Henschel UR-416**

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

Eduardo Elias de la Torre Meléndez

ASESOR: Gustavo Kato Ishizawa

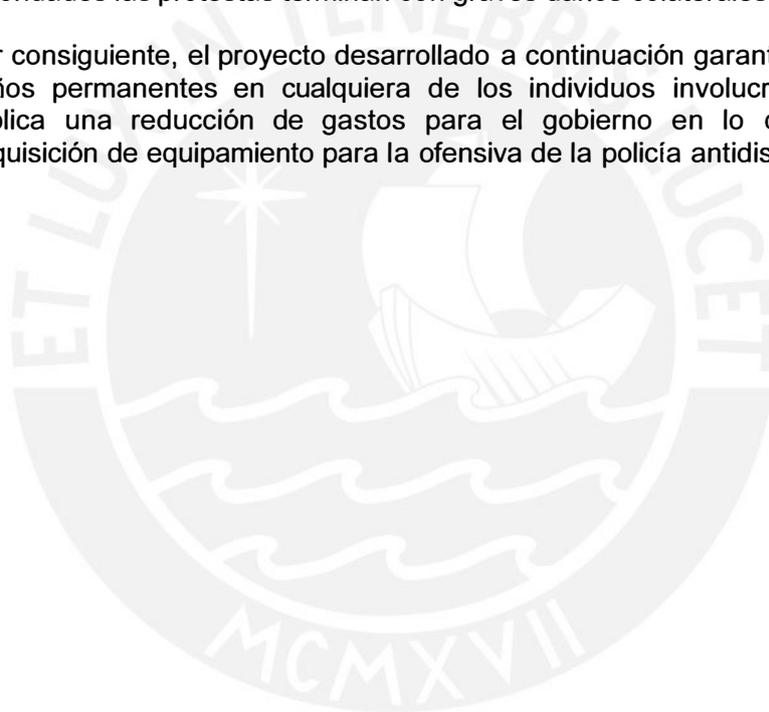
Lima, marzo de 2014

Resumen

El presente trabajo se centra en el diseño de un arma no letal para controlar y disuadir manifestaciones violentas que amenazan la seguridad pública y privada en el actual contexto social.

Todo ciudadano tiene derecho a exigir beneficios de forma pacífica, sin embargo, esto parece ser menos probable, debido a que los manifestantes confunden su derecho a reclamar con el de protestar perturbando el orden público y causando desmanes. Por tal motivo, se hace evidente la creciente frecuencia y magnitud de los enfrentamientos que se genera entre las fuerzas del orden y la población, ya que, al intentar refrenar los actos vandálicos contra entidades públicas, privadas o autoridades las protestas terminan con graves daños colaterales.

Por consiguiente, el proyecto desarrollado a continuación garantiza la ausencia de daños permanentes en cualquiera de los individuos involucrados y, asimismo, implica una reducción de gastos para el gobierno en lo que respecta a la adquisición de equipamiento para la ofensiva de la policía antidisturbios.



Índice

Capítulo 1	6
1.1. Presentación de la problemática	6
1.1.1 Introducción	6
Capítulo 2	8
2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto	8
2.1.1 Requerimientos del sistema mecatrónico.....	8
2.2 Concepto de la solución.....	8
Capítulo 3	14
3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico	14
3.1.1 Sistema de conversión y distribución energético.....	14
3.1.2 Sistema de control	15
3.1.3 Sistema de accionamiento motores principales.	15
3.1.4 Sistema de almacenamiento de proyectiles.	16
3.1.5 Sistema de posicionamiento.	16
3.1.6 Sistema de disparo.	16
3.2 Sensores y actuadores	17
3.2.1 Sensores	17
3.2.2 Actuadores	20
3.3 Planos del sistema mecatrónico.....	24
3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico	26
3.4.1 Microcontrolador:	26
3.4.2 Sensores infrarrojos.....	28
3.4.3 Regulador de voltaje	28
3.4.4 Sistema de alimentación.	29
3.5 Diagrama de flujo del programa de control.....	30
3.5.1 Diagrama control general del sistema	30
3.5.2 Diagrama subrutina verificar sensores	31
3.5.3 Diagrama subrutina verificar bandera	32
3.5.4 Diagrama interrupción fin carrera.....	33
3.5.5 Análisis de esfuerzos	33
Capítulo 4	41
4.1 Presupuesto.....	41
Capítulo 5	44
Conclusiones	44
Bibliografía.....	45
ANEXO 1. Cálculos selección de sensores y actuadores	47
A.1.1 Selección motor principal.....	47
A.1.1.1 Cálculo masa de los proyectiles.	47
A.1.1.2 Cálculo de la energía cinética deseada.	47
A.1.1.3 Cálculo de la potencia nominal	50
A.1.1.4 Cálculo de la potencia requerida y torque nominal.	50
A.1.1.5 Cálculo del torque de arranque.....	51
A.1.1.6 Cálculo potencia pico necesario.	52
A.1.1.7 Resumen requerimientos y selección del motor.....	52
A.1.1.8 Cálculo corriente pico.	53
A.1.1.9 Cálculo de la corriente promedio que el sistema requerirá	54
A.1.1.10 Cálculo voltaje mínimo para alcanzar la potencia pico.....	54
A.1.2 Selección motor secundario.....	55
A.1.2.1 Potencia promedio.....	55
A.1.2.2 Cálculo de la velocidad pico	56

A.1.2.3	Calculamos la velocidad angular pico.....	56
A.1.2.4	Cálculo de la inercia del sistema respecto al eje de giro.....	57
A.1.2.5	Torque necesario en el eje para acelerar la carga inercial.....	57
A.1.3	Selección componentes sensor infrarrojo :.....	60
A.1.3.1	Emisor:.....	61
A.1.3.2	Receptor.....	62
A.1.4	Selección batería.....	64
ANEXO 2.	Cálculos selección de partes mecánicas.....	65
A.2.1	Cálculo rodamiento conexión.....	65
A.2.2	Cálculo rodamiento horquilla.....	68
A.2.3	Cálculo rodamiento carril principal.....	69
A.2.3.1	Analizando la rueda de la parte superior del carril.....	70
A.2.4	Cálculo rueda de la parte inferior del carril.....	72
A.2.5	Cálculo chaveta del disco:.....	73
ANEXO 3.	Análisis del proyectil.....	75
A.3.1	Análisis interno.....	75
A.3.2	Análisis externo.....	76
A.3.3	Análisis terminal.....	79
ANEXO 4.	Análisis de esfuerzos.....	82
A.4.1	Análisis del dispensador.....	82
A.4.2	Análisis ángulo ranurado.....	83
A.4.3	Análisis carril principal.....	85
A.4.4	Análisis disco interno.....	86
ANEXO 5.	Vehículo acople del sistema.....	88
A.5.1	Vehículo UR416.....	88
A.5.2	Perfil y ubicación del carril de desplazamiento.....	89
ANEXO 6.	Antropometría y ergonomía.....	90
ANEXO 7.	Proformas.....	92
A.7.1	Motores principales EMC-ME0909.....	92
A.7.2	Motores secundarios EC 60 y cajas reductoras planetario GP81.....	92
A.7.3	Paquete batería GBS 48V.....	92
A.7.4	Actuadores lineales.....	93
A.7.5	Interruptor.....	93
A.7.6	Ángulos ranurados.....	93
A.7.7	Rodamientos.....	94
A.7.8	Componentes electrónicos.....	94
A.7.9	Plancha de policarbonato.....	95
A.7.10	Ruedas inferiores y superiores.....	96
A.7.11	Tubos PVC.....	97
A.7.12	Proyectiles de madera.....	97
A.7.13	Proforma metal mecánica.....	98
ANEXO 8.	Hojas de datos.....	100
ANEXO 9.	Planos de despiece y ensamble.....	105

Capítulo 1

1.1. Presentación de la problemática

1.1.1 Introducción

En las últimas décadas, la policía se ha enfrentado a numerosas protestas colectivas: manifestaciones, saqueos, ocupación de edificios públicos, toma de carreteras, etc. Inclusive, en ocasiones, se ha recurrido a desplegar al Ejército, debido a la competencia que poseen para actuar en este tipo de situaciones, pero ante el revuelo que causa el uso de armas para apaciguar a los manifestantes se ha renunciado a actuar represivamente para evitar pérdidas humanas. Por lo tanto, la policía ha sido equipada con material antidisturbios no letal, tales como porras, escudos, perdigones, cartuchos de goma y gases lacrimógenos; para así mantener el orden público.

EL DILEMA DEL ORDEN PÚBLICO

Cuando maltratar a su propia población y, en último término, matarla [1], supone un desgaste político, la regencia de turno se enfrenta al *dilema del orden público*. Por un lado reprimir desórdenes supone un coste; por otro no hacerlo, también, pues significa abdicar el compromiso con la legalidad, la protección de derechos de terceros y de la propia determinación para gobernar. La solución de este dilema implica buscar la reducción simultánea de ambos costes, sin que la disminución de uno conlleve al aumento del otro (figura 1.1-1).

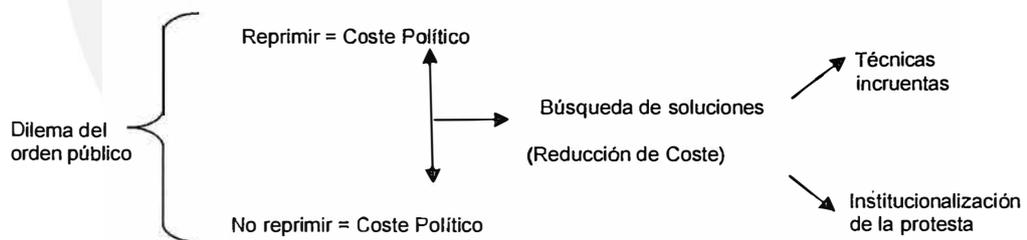


Figura 1.1-1 Dilema del Orden Público

La democratización, con el consiguiente reconocimiento del “derecho a reclamar derechos” y la institucionalización de formas de protesta no violenta, reduce el segundo coste “no reprimir”, pues permite asumir como legítimas actuaciones colectivas que se suelen identificar como desórdenes. Por consiguiente, este trabajo se va a centrar en el primer coste, *reprimir* las manifestaciones violentas.

Actualmente el estado peruano, como respuesta ante el incremento de manifestaciones agresivas, optó por adquirir sistemas de apaciguamiento no letales para disuadir dichas turbas. Por tanto, invierte alrededor de hasta 10 millones de soles solo en la compra de municiones de dispersión (cartuchos y bombas lacrimógenos). Asimismo, el precio unitario de los mencionados proyectiles llega inclusive al de S/. 140.

Por otro lado, el sistema de disuasión usado presenta inconvenientes relevantes, entre los cuales resalta el daño colateral que presenta contra las fuerza del orden y civiles que no prestan parte de dicho acto delictivo, seguidamente, el alto precio que

representa cada unidad limita su uso. De igual forma, durante el año 2012 se realizó una inversión, por parte del Ministerio del Interior, de 21 millones de soles en armamento para la supresión de motines [2] [3] llegando a acumular un total de 640 millones durante dicho año.

Cabe resaltar que existen medios de dispersión, los cuales no contribuyen a la consecución de dicho objetivo, tales como los vehículos Thyssen Henschel UR-416 “tanquetas” (ANEXO A.5.1), que a pesar de ser medios blindados son notablemente insuficientes en dicho contexto, principalmente por no tener permiso para usar armas de fuego, lo cual inhabilita importantes características del mismo, inutilizando así el carril del vehículo que posee este para adherir armas. Adicionalmente, tan solo en la central de la PNP ubicada en el distrito de lima se cuentan con más de 30 vehículos similares los cuales están notablemente deteriorados por falta de actividad.



Capítulo 2

2.1 Requerimientos del sistema mecatrónico y presentación del concepto

2.1.1 Requerimientos del sistema mecatrónico

Las exigencias de este proyecto, con respecto a los requerimientos físicos, mecánicos y electrónicos, deben dar necesariamente solución a todas las dificultades identificadas en la sección anterior, siendo imprescindible tener en cuenta las limitaciones por parte del grupo objetivo a utilizar el sistema. A continuación se listan los principales puntos a cubrir:

- Garantizar que no hayan daños permanentes de ningún tipo efectuados por el sistema de dispersión.
- Contar como mínimo 180° de rotación, es decir, el área de barrido debe ser el máximo posible.
- Tener los grados de libertad suficientes para garantizar la movilidad del sistema en el espacio de trabajo.
- Controlar el flujo de proyectiles de acuerdo a la necesidad del personal a cargo del sistema.
- Garantizar el funcionamiento continuo del sistema durante por lo menos una hora.
- Debe tener un sistema propio de abastecimiento de energía.
- Asegurar un recorrido sin inconvenientes durante el desplazamiento.
- Reconocer y ejecutar los movimientos deseados por el operario.

De acuerdo a lo señalado, el sistema requiere un correcto dimensionamiento para cada una de sus partes, además, la selección de materiales debe realizarse teniendo en consideración los esfuerzos a los que estará sometido.

Por otro lado, la no conexión del sistema a una toma eléctrica fija implica que debe realizarse un uso eficiente de la energía eléctrica durante el tiempo de funcionamiento. Asimismo, el desplazamiento por parte del sistema no debe dificultar la movilidad del operario, por tal motivo el tiempo de reacción el sistema requiere ser instantáneo.

Finalmente, por motivos de seguridad, deberá contar con algún sistema mecánico que asegure la protección del operario, es decir, actúe como un medio de defensa.

2.2 Concepto de la solución

El concepto de solución ha sido desarrollado en base a los requerimientos planteados en la sección anterior. El proyecto se basa en la propulsión de proyectiles de madera mediante el giro, a gran velocidad, de discos en sentido opuesto que a su vez ejerzan presión sobre este y aporten la energía cinética necesaria para compararse a un arma no letal convencional. Las partes detalladas de todo el sistema se puede apreciar en las figuras 2.2-1, 2.2-2 y 2.2-3 y el resumen de las mismas se encuentra en la tabla 2.2-1. Asimismo, las vistas laterales se pueden apreciar en la figura 2.2-4.

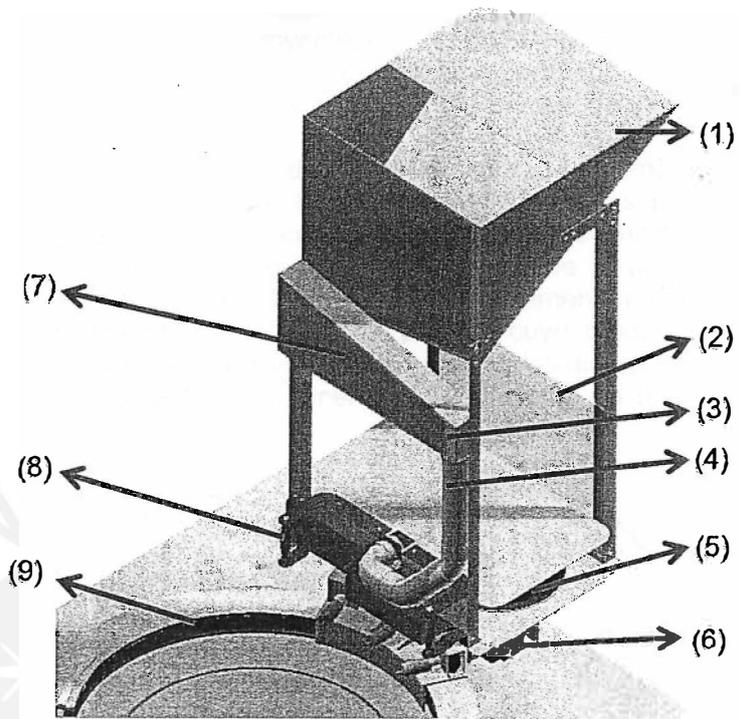


Figura 2.2-1 Concepto de solución.

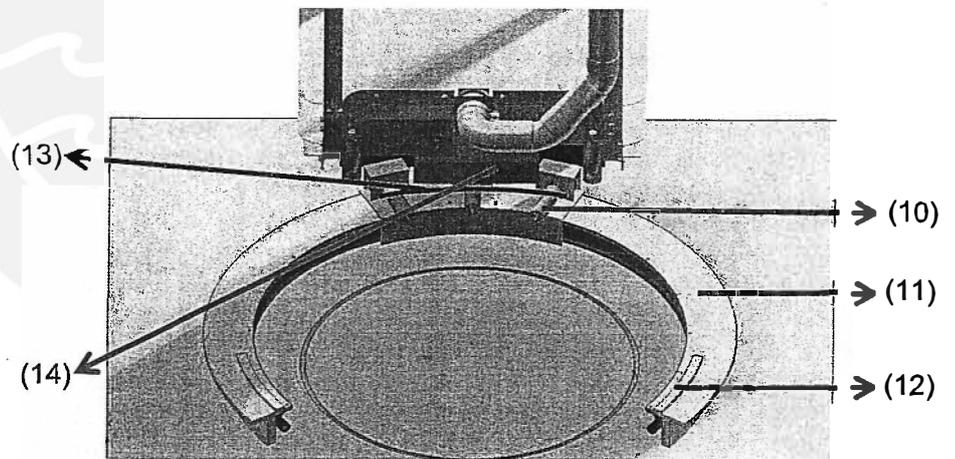


Figura 2.2-2 Concepto de solución.

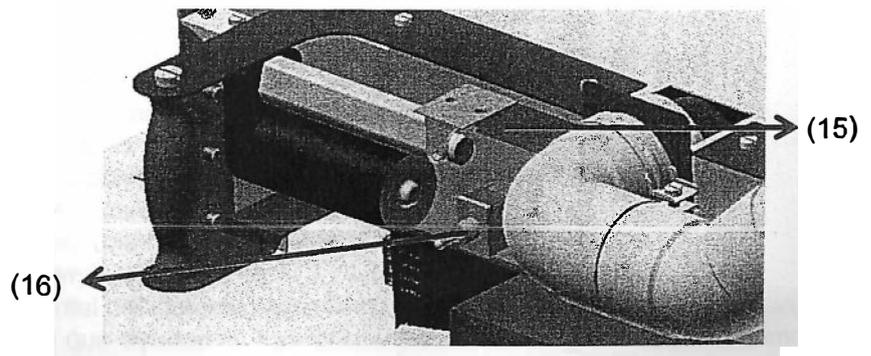


Figura 2.2-3 Concepto de solución.

Las figuras 2.2-1, 2.2-2 y 2.2-3 muestran el concepto de solución, donde el sistema cuenta con un dispensador de proyectiles (1) capaz de almacenar un total de 120 municiones, siendo estos proporcionados desde la parte superior del sistema para así usar a favor la energía potencial gravitatoria y trasladarlos hasta la posición de disparo.

La figura 2.2-2 muestra el principio de propulsión utilizado, además de los discos (5) encargados de la aceleración de los proyectiles, los cuales tienen un radio de 0.14m, además poseen en su extremo un doblez circunferencial de diámetro 56mm, cuya función es sujetar a las esferas de madera durante su propulsión. La mayor distancia entre los discos es de 53mm, la cual es ligeramente menor al diámetro del proyectil para así ejercer una fuerza de presión cuyo módulo asegure que el proyectil no resbale durante su aceleración. A su vez los discos tienen una cubierta de caucho con la finalidad de incrementar el coeficiente de fricción entre dichas superficies.

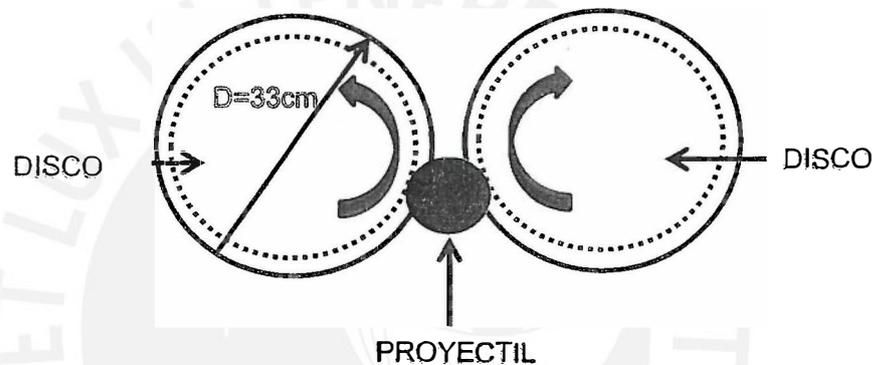


Figura 2.2-2 Principio de propulsión.

Los discos están situados sobre una cubierta, que a su vez está sujeta sobre una base móvil (13), dicha base posee 6 ruedas, 3 ubicadas en la parte superior del carril del vehículo (11) y 3 en la parte inferior. La forma de dicha superficie se asemeja a la de un carril circunferencial (ANEXO A.5.2). Por consiguiente, el sistema cuenta con un ángulo de movimiento de 240°, asimismo, mediante la conexión mecánica horquilla (17), el sistema posee un movimiento en su propio eje de 60°, 30° hacia cada lado con respecto al plano de simetría vertical, 10° y -30° con respecto del plano horizontal (ANEXO A.6 figura A.6-2). El movimiento de la base móvil se realiza a partir de las señales obtenidas mediante los sensores infrarrojos de presencia, los cuales detectan la presencia del pin de posición y activan los motores secundarios para desplazar la base móvil.

El diseño del sistema se hizo para ser acoplado al carril del vehículo mediante el carril inferior (9) a los vehículos UR-416 de origen alemán que posee la Policía Nacional del Perú, para lo cual se requirió tomar las medidas de todo el vehículo y en específico del carril que este posee en la parte superior (ANEXO A.5).

Con respecto a los proyectiles se seleccionó como material a la madera, principalmente por el reducido costo que presenta en el país, además de una manufactura más sencilla en comparación con elementos de similar función. Éstos presentan un diámetro de 55mm, asimismo, serán disparados a una velocidad aproximada de 70m/s cada 0.5s. Los parámetros fueron definidos de manera que se cuente con una energía semejante a la de los proyectiles de goma en armamentos similares [4] [5] [6].

En la parte frontal del sistema, para la fácil y rápida manipulación, se encuentran las sujeciones (8) que ayudan al operario a controlar tanto la posición como dirección del sistema. La altura y distancia entre el operario y el arma se realizó teniendo en cuenta la ergonomía de los agentes de la Policía Nacional del Perú.

Por otro lado, el diseño cuenta con un escudo protector de policarbonato (2) con un espesor de 3mm en la parte posterior, mostrado en la figura 2.2-3, material comúnmente usado para cubrir a las fuerzas del orden durante enfrentamientos, por consiguiente se evitarán agresiones frontales hacia el operador durante el funcionamiento del sistema.

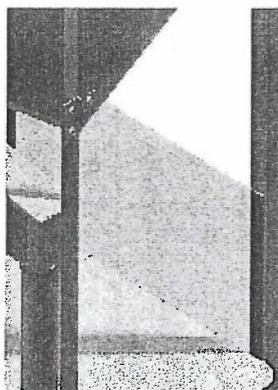


Figura 2.2-3 Escudo protector.

Finalmente, para el óptimo control de todos los parámetros, el sistema contará con un microcontrolador, ubicado en la caja de control (14), el cual se hará cargo de las funciones de posicionamiento y flujo de proyectiles.

Tabla 2.2-1 Resumen partes arma no letal

NÚMERO	NOMBRE	FUNCIÓN
1	DISPENSADOR DE PROYECTILES	ALMACENAMIENTO DE PROYECTILES.
2	ESCUDO PROTECTOR	PARA LA PROTECCIÓN DEL OPERARIO.
3	COMPUERTA SUPERIOR	PERMITE EL FLUJO DE LOS PROYECTILES DESDE EL RECIPIENTE DE ALMACENAMIENTO HACIA LA CAVIDAD INFERIOR.
4	DUCTO DE CONEXIÓN	NEXO ENTRE EL DISPENSADOR Y LA PARTE CENTRAL DE LOS DISCOS.
5	DISCOS	ACELERAN EL PROYECTIL A LA VELOCIDAD DESEADA.
6	MOTOR PRINCIPAL	ENCARGADO DE LA VELOCIDAD DE GIRO DE LOS DISCOS.
7	RAMPA	NEXO ENTRE EL DISPENSADOR Y DUCTO DE CONEXIÓN.
8	SUJECIONES	CONTROLA LA DIRECCIÓN Y POSICIÓN DEL SISTEMA.
9	CARRIL INFERIOR	SOPORTE PARA MANTENER EL SISTEMA ESTABLE DURANTE SU POSICIONAMIENTO.
10	MOTOR SECUNDARIO	ENCARGADO DEL POSICIONAMIENTO DEL SISTEMA EN EL CARRIL.
11	CARRIL VEHICULO	PARTE SUPERIOR DEL VEHICULO POR EL CUAL SE DESPLAZARÁ EL SISTEMA.
12	TOPES MECÁNICOS	EVITA EL DESCARRILAMIENTO DEL SISTEMA.
13	BASE MOVIL	PERMITE EL DESPLAZAMIENTO DEL SISTEMA A LO LARGO DEL CARRIL VEHICULO.

14	CAJA DE CONTROL	CAVIDAD PARA EL SISTEMA DE CONTROL.
15	COMPUERT A INFERIOR	PERMITE EL FLUJO DE LOS PROYECTILES LADESDE CAVIDAD INFERIOR HACIA LA PARTE CENTRAL DE LOS DISCOS.
16	INTERRUPTOR	APERTURA Y CIERRE DE LAS COMPUERTAS.



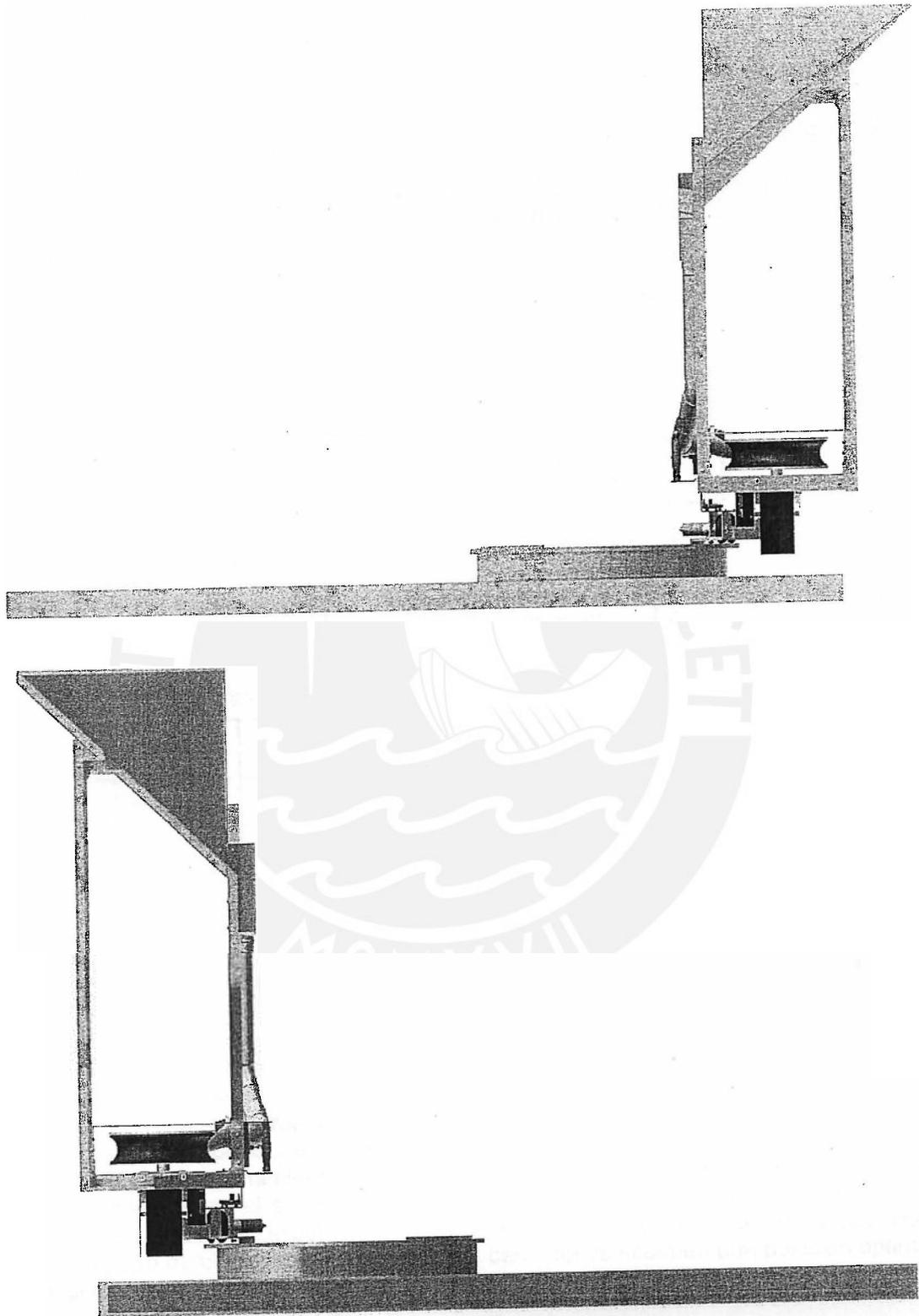


Figura 2.2-8 Vistas laterales del sistema.

Capítulo 3

3.1 Diagrama de funcionamiento del sistema mecatrónico

El siguiente diagrama de bloques muestra los procesos involucrados del equipo diseñado (figura 3.1-1).

Cabe resaltar que esquematiza el funcionamiento del sistema cuándo está ya puesto en marcha, es decir, cuando se encuentran cargados los proyectiles y energizado el sistema.

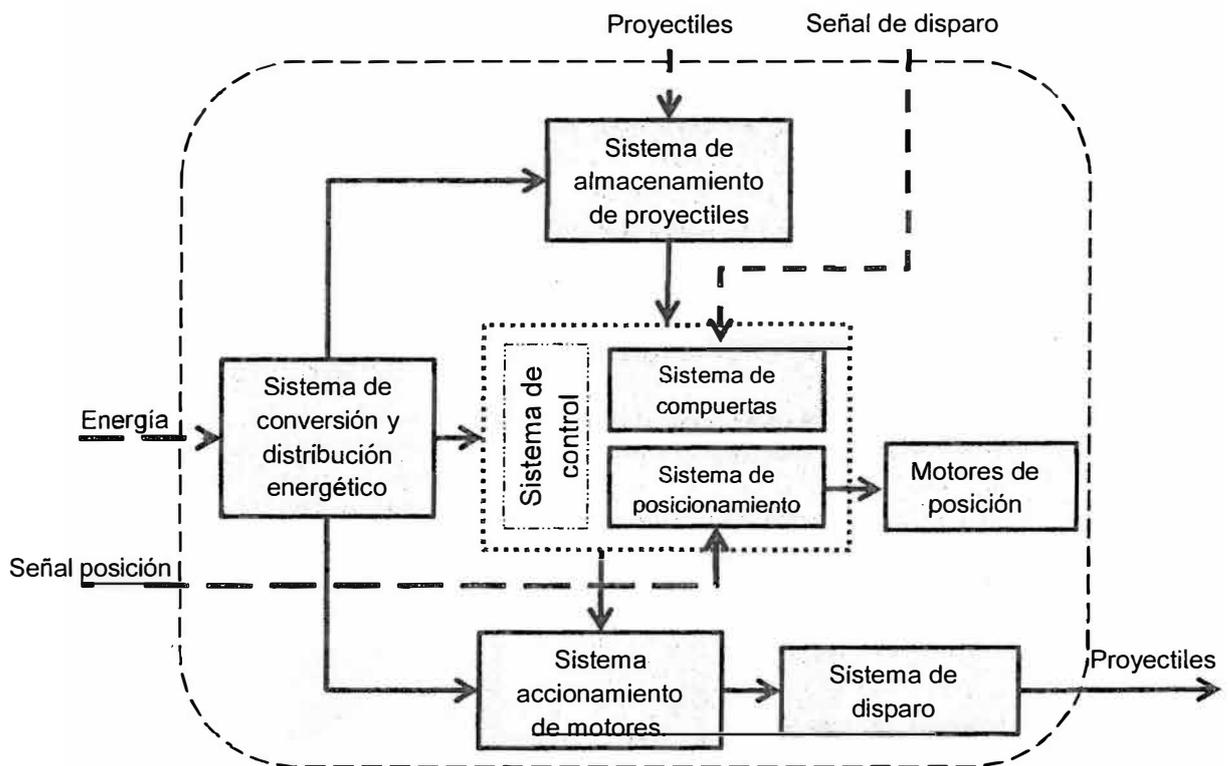


Figura 3.1-1 Diagrama de bloques de sistema mecatrónico.

De acuerdo al diagrama, el ciclo de funcionamiento inicia con el sistema de conversión y distribución energético, encargado de transformar y repartir la potencia según cada sistema lo requiera, seguidamente el sistema de control, ya activo, realizará el control propiamente dicho sobre los sensores y actuadores según el programa de control, a continuación, el sistema de accionamiento de motores pondrá en funcionamiento los discos principales, encargados de acelerar los proyectiles, luego el sistema de almacenamiento estará habilitado para permitir el flujo de proyectiles, simultáneamente el sistema de posicionamiento, el cual está encargado de ubicar el conjunto sobre el carril del vehículo en una posición óptima, y el sistema de disparo responderán según las necesidades del operario.

A continuación, se describirán los sistemas mostrados:

3.1.1 Sistema de conversión y distribución energético

Este sistema cuenta con cuatro baterías de 12V cada una, las cuales se colocan en serie para hacer un total de 48V requeridos en los drivers de los motores principales, encargados del giro de los discos, y en los drivers de los motores de posicionamiento, encargados del desplazamiento del sistema a lo largo del riel.

Además, se cuenta con un regulador de voltaje a 5V para la alimentación de la tarjeta de control, sensores infrarrojos y sensores de fin de carrera. Finalmente la alimentación de los actuadores lineales se realiza directamente desde los terminales de una de las baterías realizando la apertura y cierre de las compuertas según la posición en la que se encuentre el interruptor no momentáneo. La figura 3.1.1-1 muestra el paquete de alimentación seleccionado.



Figura 3.1.1-1 Batería GBS 48V.

3.1.2 Sistema de control

El sistema de control está conformado por el microcontrolador Atmega8 (ANEXO A.9), el cuál mediante dos tipos de sensores: presencia y fin de carrera (microinterruptor), adquiere la información necesaria para un correcto funcionamiento del sistema. A continuación se enumeran las funciones de las que estará a cargo el microcontrolador:

1. A través de los sensores de presencia ubicados estratégicamente en la parte inferior de la horquilla (figura 3.1.2-1) podrá ejecutar el sentido de giro de los motores secundarios, los cuales se encargarán del posicionamiento del sistema.

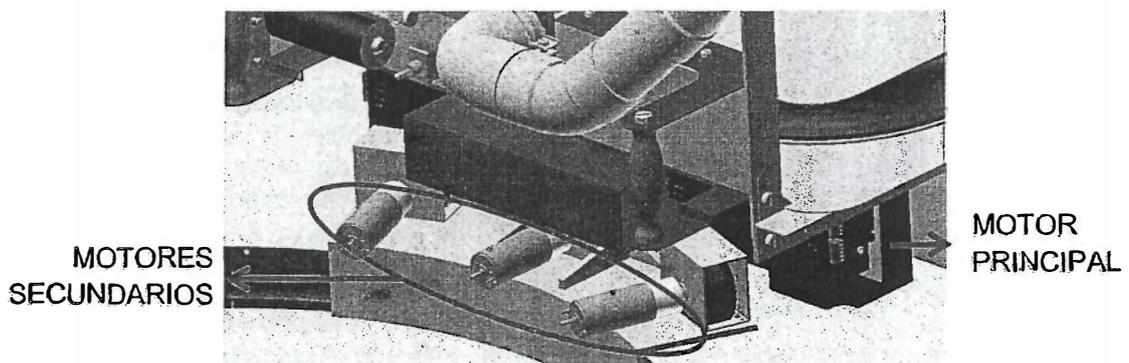


Figura 3.1.2-1 Ubicación motores secundarios.

2. Mediante los sensores de fin de carrera podrá limitar el movimiento de los motores secundarios y de esta manera evitar que el sistema colisione con los topes mecánicos y/o supere los límites del carril.

3.1.3 Sistema de accionamiento motores principales.

El accionamiento de los motores, encargados del giro de los discos, se realiza de manera independiente a través de sus respectivos drivers, los cuales también gobiernan la velocidad de giro de los mismos a partir de un divisor de voltaje ubicado en la parte externa. Asimismo, la alimentación energética se realiza a partir del paquete de baterías de 48V.

3.1.4 Sistema de almacenamiento de proyectiles.

En la parte superior del sistema se ubica el recipiente encargado de almacenar los proyectiles, el cual fue diseñado especialmente para garantizar el flujo de los mismos hacia la rampa de salida al margen de los movimientos realizados al sistema por el operario.

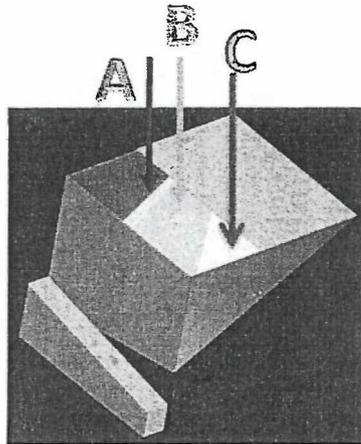


Figura 3.1.4-1. Dispensador de proyectiles

La figura 3.1.4-1 muestra el dispensador en cuya parte inferior tiene tres distintos ángulos de inclinación, los cuales se citan a continuación: el ángulo entre el plano horizontal y pliegue A es de 35° ; entre el plano horizontal y el pliegue B es 37° y, finalmente, entre el pliegue C y el plano horizontal es 30° . De este modo se asegura un declive hacia la compuerta ubicada en la parte inferior izquierda del dispensador para cualquier posición del sistema y se obtenga un constante flujo de los proyectiles esféricos.

En la parte inferior izquierda de la figura se ubica la rampa de salida donde se asegura la presencia de un proyectil a la vez, para evitar posibles agolpamientos en la compuerta superior.

3.1.5 Sistema de posicionamiento.

El sistema de posicionamiento permite desplazarse a través del carril circunferencial hasta 240° , además, de facultar una inclinación de 30° hacia adelante y 10° hacia atrás, con respecto al plano horizontal, y 60° sobre su propio eje. Todos estos grados de posicionamiento fueron limitados mecánicamente mediante cálculos geométricos.

3.1.6 Sistema de disparo.

El sistema de disparo está compuesto por dos discos de aluminio con diámetro externo 0.33m y una curvatura en su extremo de 0.056m (figura 3.1.5-1), ambos recubiertos de caucho para incrementar la fricción entre los discos y el proyectil, además, los discos giran en sentido opuesto a una velocidad aproximada de 4700 RPM , llegando a concentrar en los proyectiles una energía aproximada de 128J , siendo este valor próximo a los 170J que acumulan municiones en armamentos similares a la salida del cañón (ANEXO A.1.1.2).

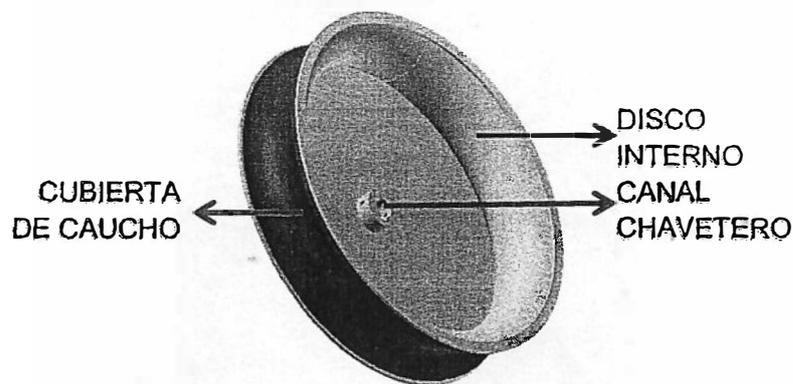


Figura 3.1.5-2 Disco empleado para acelerar los proyectiles

3.2 Sensores y actuadores

3.2.1 Sensores

3.2.1.1 Sensor infrarrojo reflectivo

El diodo IRFLED (infrared light emitting diode) es un emisor de rayos infrarrojos, los cuales son una radiación electromagnética situada en el intervalo que va desde la luz visible a las microondas. Estos diodos se diferencian de los LED convencionales por el color generalmente azul o gris de la cápsula que los envuelve.

Se usará el LED infrarrojo emisor IR333, de la marca EVERLIGHT y un LED receptor SFH213, de la marca OSRAM. La utilidad de usar estos sensores es la variabilidad de la ubicación que en este caso permitirá adaptar tanto el emisor y receptor a la parte inferior de la horquilla, específicamente en la parte superior del pin de dirección y anclado en la parte inferior del disco de la horquilla (figuras 3.2.1.1- 2 y 3.2.1.1- 3), con el propósito de detectar la presencia del pin una vez que el diodo receptor detecte los rayos reflejados por este. Dicho pin tiene un movimiento solidario con la parte superior del sistema; es decir 60° de giro con respecto al eje vertical. Una vez que el pin se ubique en uno de los extremos de su desplazamiento, el sensor enviará la señal para activar el giro de los motores en el sentido respectivo con el fin de realizar el desplazamiento del sistema y poder abarcar un mejor ángulo de disparo. Las distancias de detección serán calibradas manualmente mediante un potenciómetro.

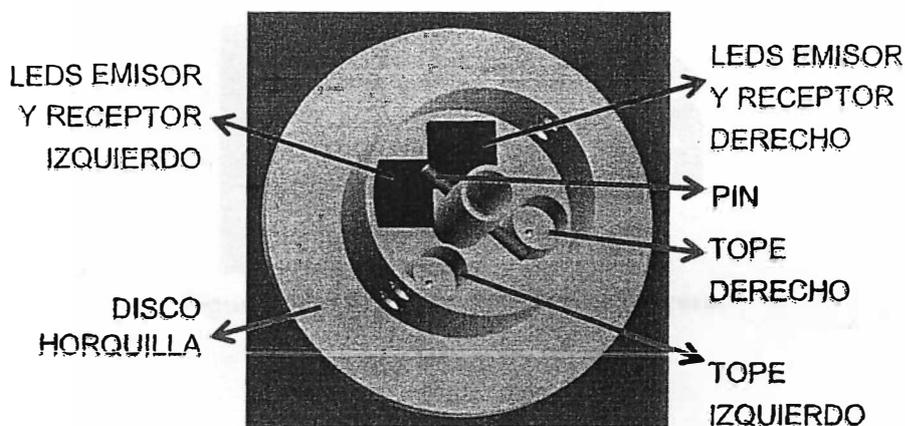


Figura 3.2.1.1-2 Vista inferior de la horquilla

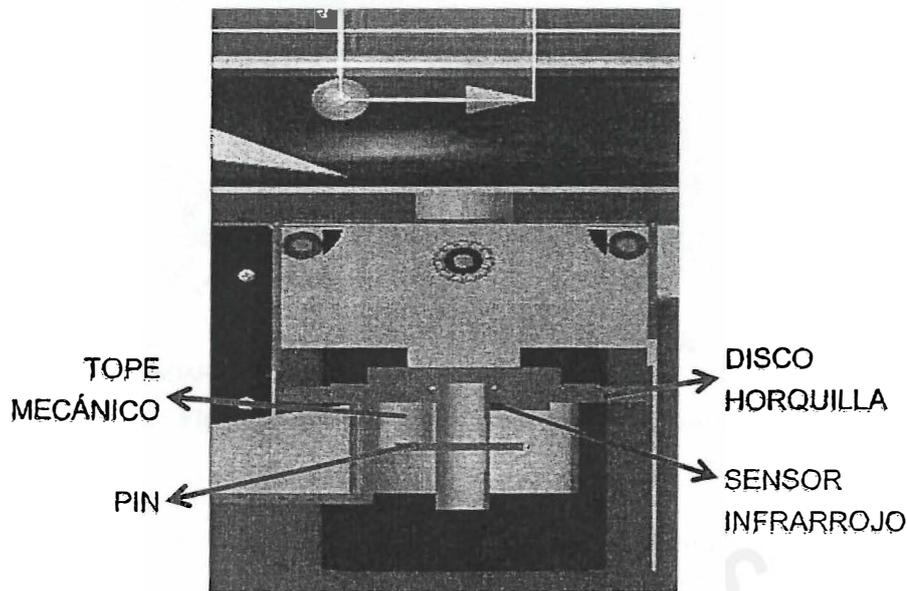


Figura 3.2.1.1-3 Corte transversal horquilla

3.2.1.2 Sensores de fin de carrera

Son sensores de contacto (microinterruptores), que envían una señal eléctrica ante la presencia de un movimiento mecánico. Pueden determinar la presencia, ausencia, paso y posicionamiento de un objeto. Consta de un accionador unido a una serie de contactos de forma que si un objeto entra en contacto con el accionador, el dispositivo establece o interrumpe una conexión eléctrica.

En el sistema los sensores de fin de carrera servirán para evitar que se sobrepase el desplazamiento de 240° en el carril del vehículo, es decir, el descarrilamiento del conjunto; ya que, si alguno de los dos microinterruptores entra en contacto con los topes ubicados en los extremos de la parte superior del carril del vehículo, proporcionarán una señal, la cual deshabilita el giro de los motores de posicionamiento en el sentido donde se produjo el contacto. La ubicación de los mismos se realiza en los extremos del carril principal (figura 3.2.1.2-2)

En este caso los 2 microinterruptores seleccionados son de la empresa "Omron Electronics Inc-EMC Div", modelo SS-3GL13P y código SW777-ND (figura 3.2.1.2-1).

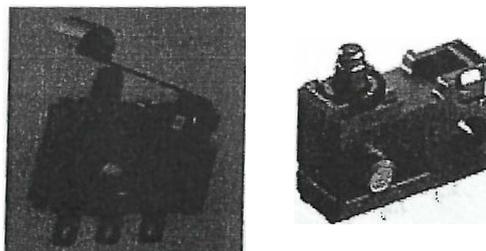


Figura 3.2.1.2-1 Sensor de fin de carrera.

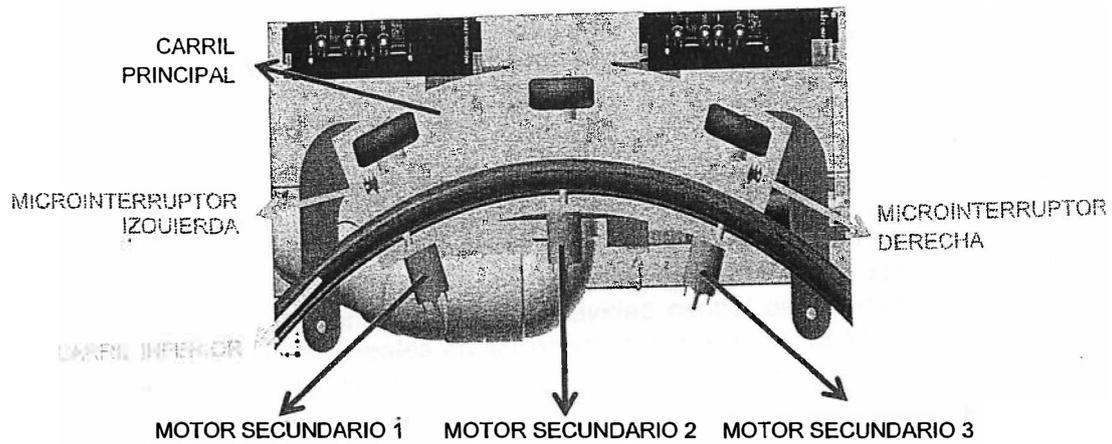


Figura 3.2.1.2-2 Vista inferior del sistema

3.2.1.3 Interruptor no momentáneo.

A través del interruptor (figura 3.2.1.3-1), el sistema controla el flujo de proyectiles de acuerdo al requerimiento del operario. Según la posición de este se realizará la apertura o cierre de las compuertas. En el sistema se sitúa un interruptor general, ubicado en la parte frontal (figura 3.2.1.3-2).

En este caso el interruptor seleccionado es de la empresa "ServoCity", modelo DPDT 20A non-momentary.

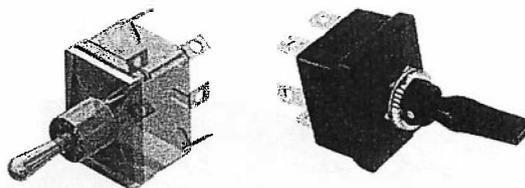


Figura 3.2.1.3-1 Interruptor

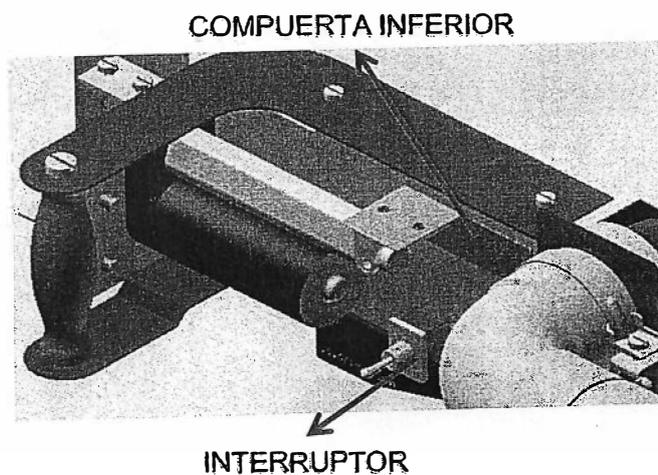


Figura 3.2.1.3-2 Posición interruptor en el sistema

3.2.2 Actuadores

3.2.2.1 Actuador lineal

Se utiliza dos actuadores lineales, uno ubicado dentro de la compuerta superior figura 3.2.2.1-2, el cual en este sistema permite el paso de los proyectiles desde el dispensador hacia el ducto de conexión. El segundo se encontrará en la parte izquierda de la cavidad central de los discos figura 3.2.2.1-3, este permite el flujo desde el ducto de conexión hacia la cavidad central de los discos. El motivo de tener los actuadores lineales en las posiciones indicadas es limitar la presencia de proyectiles en el mencionado ducto de conexión, ya que, debido a su inclinación y altura, proporciona la energía necesaria para llevar las municiones desde el dispensador hasta el área de impulso en 0.5 segundos aproximadamente (ANEXO A.3.1). En este caso los 2 actuadores lineales seleccionados son de la empresa Pololu Robotic & Electronics, modelo 4" stroke, 12V, 1.5"/s y código 2344.

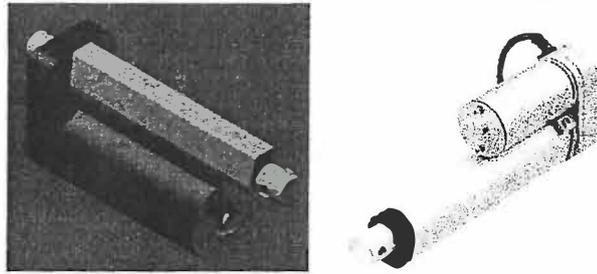


Figura 3.2.2.1-1 Actuador lineal genérico

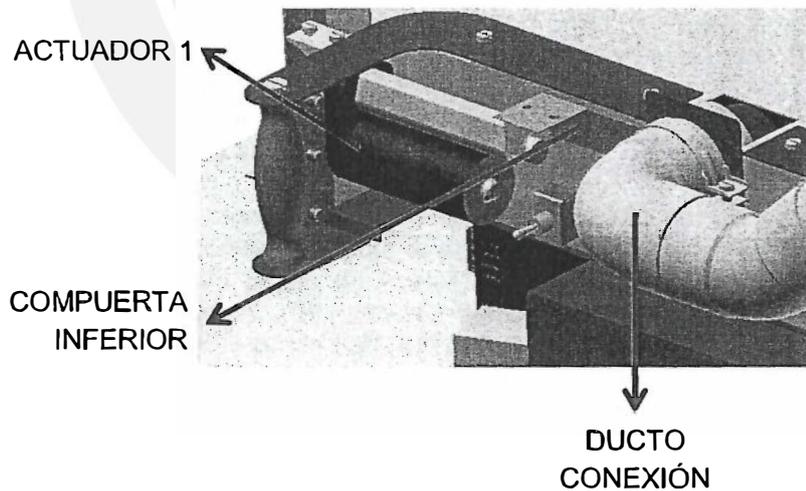


Figura 3.2.2.1-2 Posición actuador lineal 1

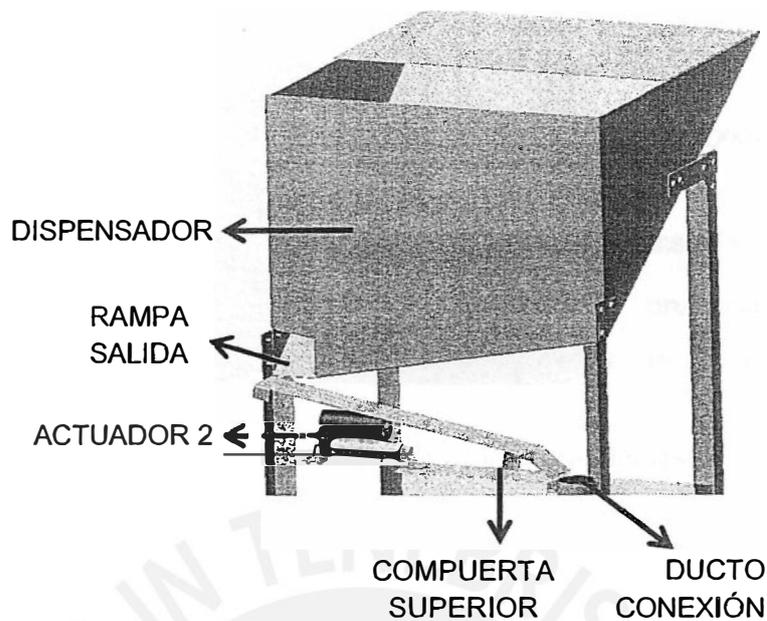


Figura 3.2.2.1-3 Posición actuador lineal 2

3.2.2.2. Motor principal.

Para que el sistema entregue la energía requerida a los proyectiles es necesario cubrir las exigencias de velocidad y torque calculados (ANEXO A.1.1), asimismo, se debe tener en cuenta parámetros tales como el peso y espacio que ocupan, debido a que, si no son los adecuados limitarían notablemente al sistema. Es así como se realiza la selección de los motores DC de imán permanente (figura 3.2.2.2-1), los cuales se caracterizan por tener una alta velocidad. La conmutación magnética se realiza mediante los colectores o conmutadores [8], por otro lado para el control de los mismos se optó por adquirir los drivers de los mismos ofrecidos en un paquete el cual incluye tanto el potenciómetro como el relé para el encendido (ANEXO 9 figura A.9-1). Es así como aseguramos el correcto funcionamiento de dichos actuadores en el sistema.

Por otra parte, el acople de estos se realiza en la parte inferior de la cubierta optando por una conexión directa al disco mediante una unión por forma [9], canal chavetero, y fijando el eje del motor al disco por medio de dos pines cónicos pasantes a presión. El motor seleccionado pertenece a la empresa "Electricmotorsport", modelo EMC-ME0909.

Se especifica la posición de cada uno de los elementos mencionados, figura 3.2.2.2-2.



Figura 3.2.2.2-1 motor principal EMC-ME0909

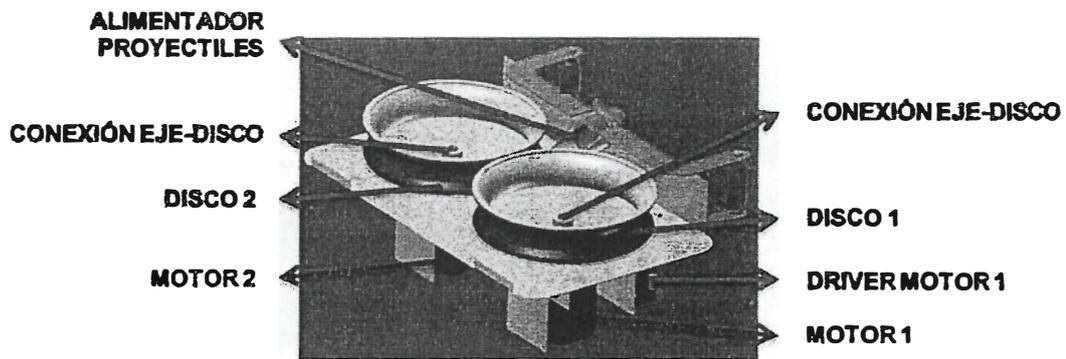


Figura 3.2.2.2-2 Ubicación motores principales

3.2.2.3 Motor secundario

El desplazamiento sobre el carril del vehículo es uno de los principales beneficios que presenta el sistema, es así como obtiene un mayor ángulo de disparo de acuerdo a las necesidades del operario. Para desarrollar esta tarea se realizaron los cálculos correspondientes (ANEXO A.1.2) de acuerdo a la masa inercial que deben mover respecto del eje de giro de las ruedas superiores del carril principal. Éstas son acopladas a los motores de desplazamiento mediante un cubo, el cual se articula a dichas ruedas. Asimismo, para cubrir los requerimientos de torque y velocidad necesarios se realiza el uso de una caja reductora con relación de transmisión de 25:1 abasteciendo de esta forma el torque de arranque necesario para poner en movimiento el sistema. El motor seleccionado es del tipo sin escobillas [8], es decir, la conmutación del campo magnético se realiza electrónicamente mediante los sensores de tipo hall que posee en cada uno de sus bobinados, por lo tanto el control de los mismos se hace más complejo, por consiguiente se optó por adquirir los drivers ofrecidos por la empresa asegurando así el correcto funcionamiento de ellos en el sistema figura 3.2.3-4.

El motor seleccionado es de la marca Maxon Motors, número de artículo 167131 además la caja reductora compatible de la misma marca con el número de artículo 110410 y por último el controlador ESCON 70/10 V dc, número de artículo 422969 los cuales se muestran en la figura 3.2.2.3-1, 3.2.2.3-2 y 3.2.2.3-4 respectivamente.

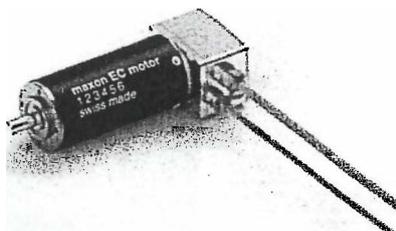


Figura 3.2.2.1.1-1 Motor secundario



Figura 3.2.2.1.1-2 caja reductora

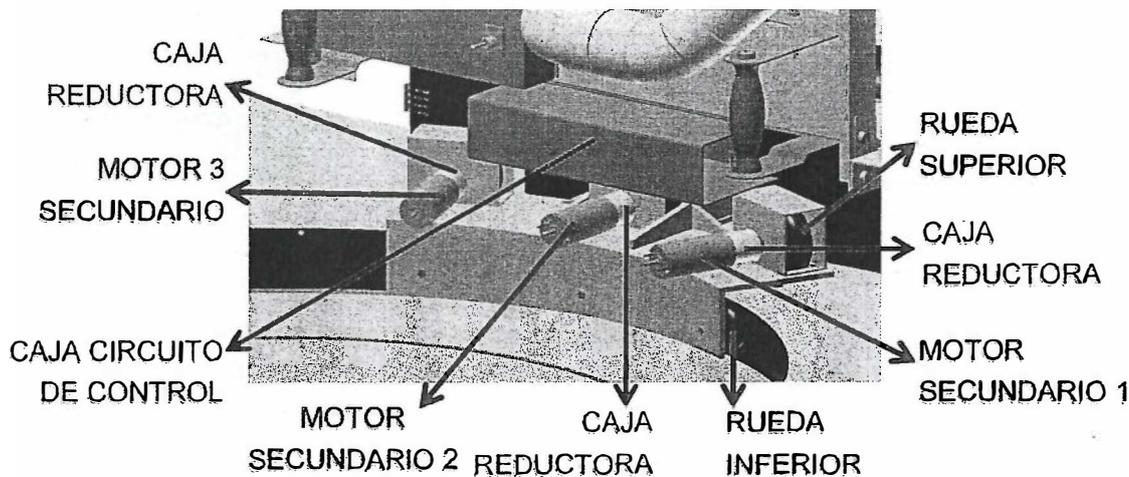


Figura 3.2.2.3-3 Posición de motores en el sistema

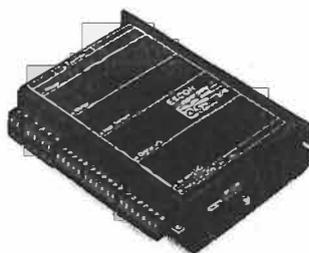


Figura 3.2.2.3-4 Controlador ESCON 70/10 V dc.

En base a una serie de cálculos del torque requerido y la justificación de los mismos (ANEXO A.1.2), se obtuvo la siguiente tabla resumen:

Tabla 3.2.2-1 Resumen características de los motores y los actuadores lineales

Características	motor principal 1 y 2	motor secundario 1, 2 y 3	Actuadores lineales
Uso	Girar el disco.	Desplazamiento del sistema.	Abrir las compuertas y permitir el paso de los proyectiles
Actuador	Motor	motor	Lineal genérico
Velocidad angular rad/s	507.9	519.41	-
Torque nominal (Nm)	-	746×10^{-3}	-
Potencia Mecánica pico (W)	2342.87	415.23	-
motor elegido	EMC-ME0909	167131	4" Stroke, 12V, 1.5"/s
Revoluciones por minuto (RPM)	4850	4960	-
Potencia nominal (W)	2984	420	-
Eficiencia (%)	90%	86%	-

Alimentación (V)	50	48	12
Corriente (A)	5.1	0.79	1
Corriente pico (A)	46.67	13.54	7

3.3 Planos del sistema mecatrónico

En las figuras 3.3-1 y 3.3-2 se muestran las vistas del plano de ensamble general del sistema mecatrónico, asimismo, los planos de sub ensamble y despiece se encuentran en el ANEXO 9.

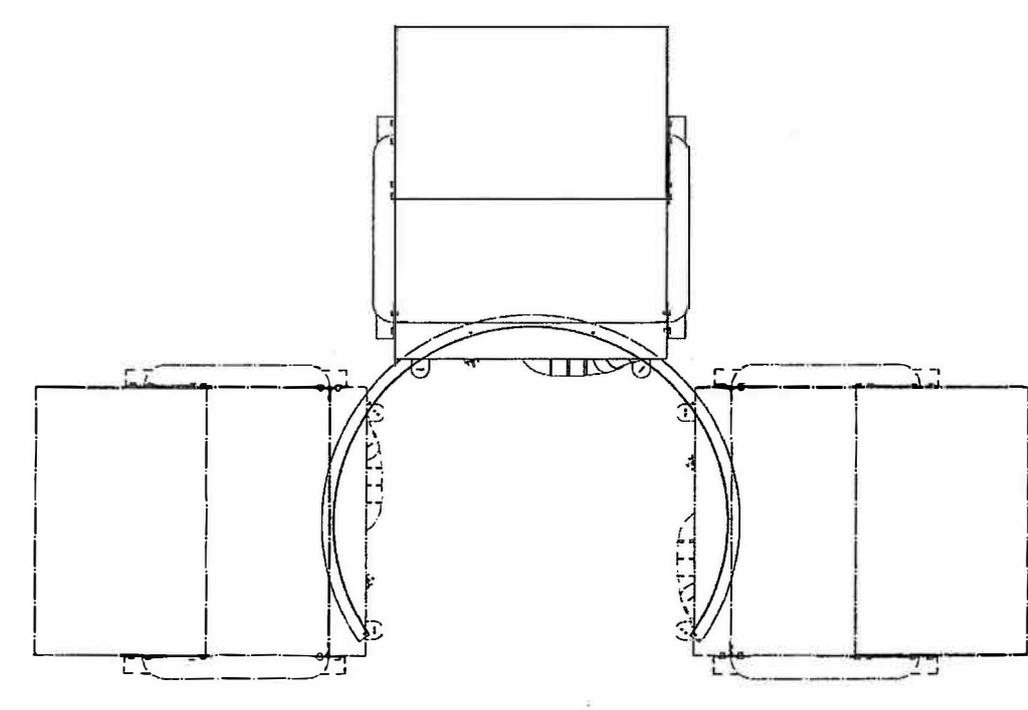


Figura 3.3-1 Posición extrema de la parte móvil.

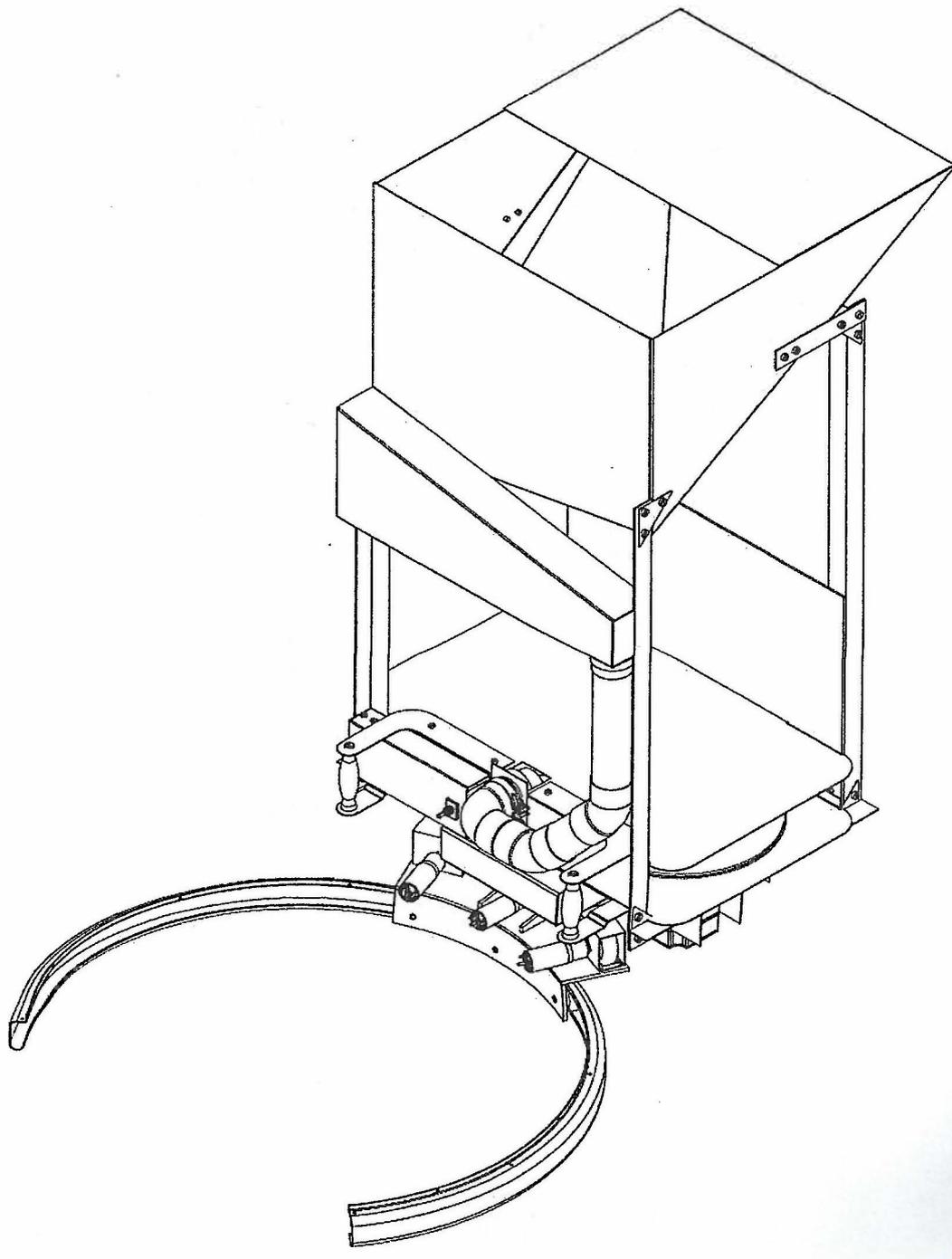


Figura 3.2.2.1.1-1 Vista isométrica del sistema.

3.4 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema mecatrónico

3.4.1 Microcontrolador:

La figura 3.4.1-1 muestra el diagrama del ATmega8, el cual se encargará del control del sistema. Su voltaje de operación es de 4.5 a 5.5 voltios, en este caso operará con 5 voltios provenientes de una batería de 12V. Para solucionar esta diferencia de voltaje se usará un regulador (7805). Las características del mismo son las siguientes: 28 pines, frecuencia de hasta 20MHz, 8 Kbytes de memoria flash, 512bytes EEPROM y 1Kbytes SRAM. En la figura 3.4.1-2 se muestra una imagen con el esquemático de la tarjeta electrónica, asimismo, se cuenta con un conector ICSP de 10 pines para programar al microcontrolador directamente desde la tarjeta mediante un programador libre. Cabe resaltar que todos los conectores serán borneras del tipo deslizables horizontales, debido a que son fáciles de conectar, evitando así entrar en conflicto con circuitos periféricos.

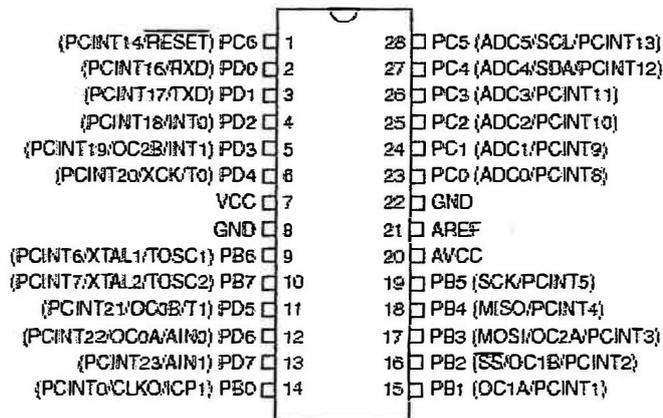


Figura 3.4.1-1 Microcontrolador Atmega8

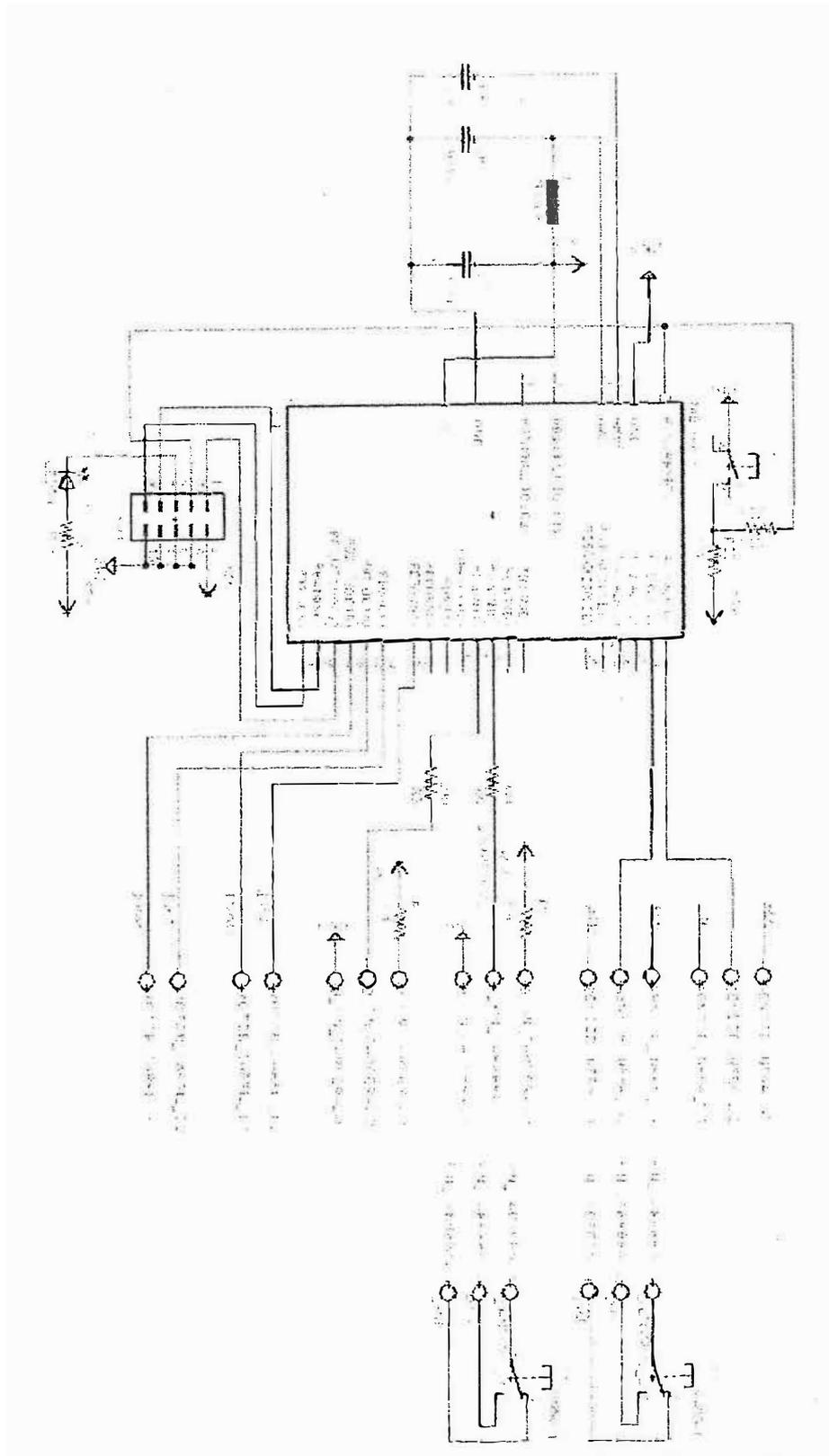


Figura 3.4.1-2 Esquemático de tarjeta electrónica del ATmega8

La figura 3.4.1-2 presenta el diagrama esquemático de la tarjeta de control, la cual tiene como función gobernar el sentido y la velocidad de giro de los motores sin escobillas (motores de posición), de acuerdo a las señales que registre mediante

3.4.4 Sistema de alimentación.

La figura 3.4.4-1 simboliza el diagrama de conexiones empleados para suministrar la energía requerida tanto de sensores y actuadores en el sistema. El paquete de baterías incluye un diagrama de conexión para los motores principales.

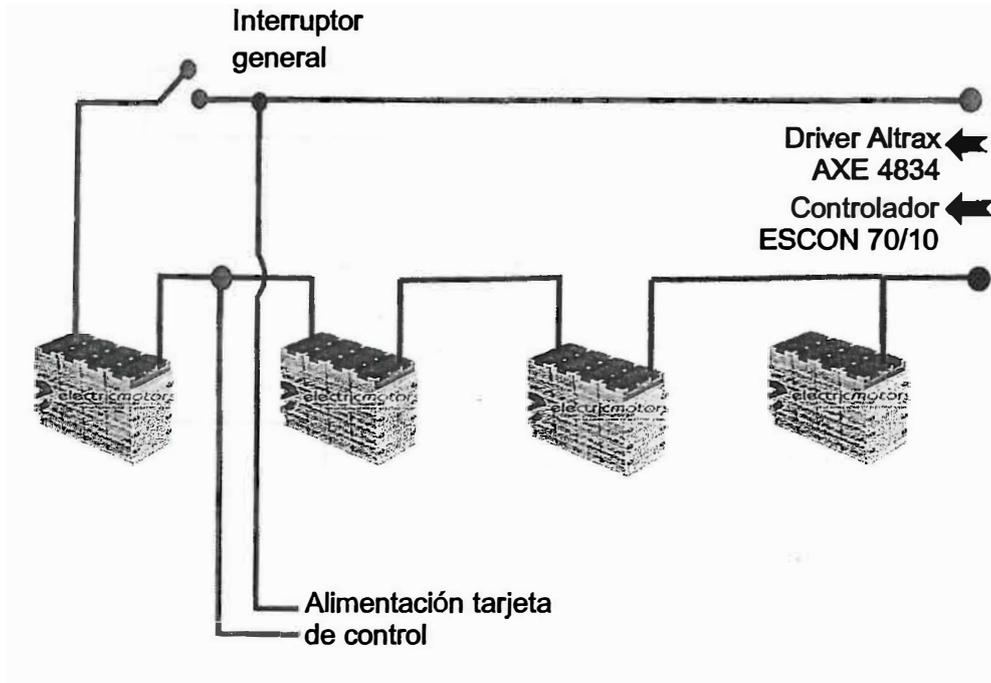


Figura 3.4.4-1 Sistema de alimentación.

3.5 Diagrama de flujo del programa de control

3.5.1 Diagrama control general del sistema

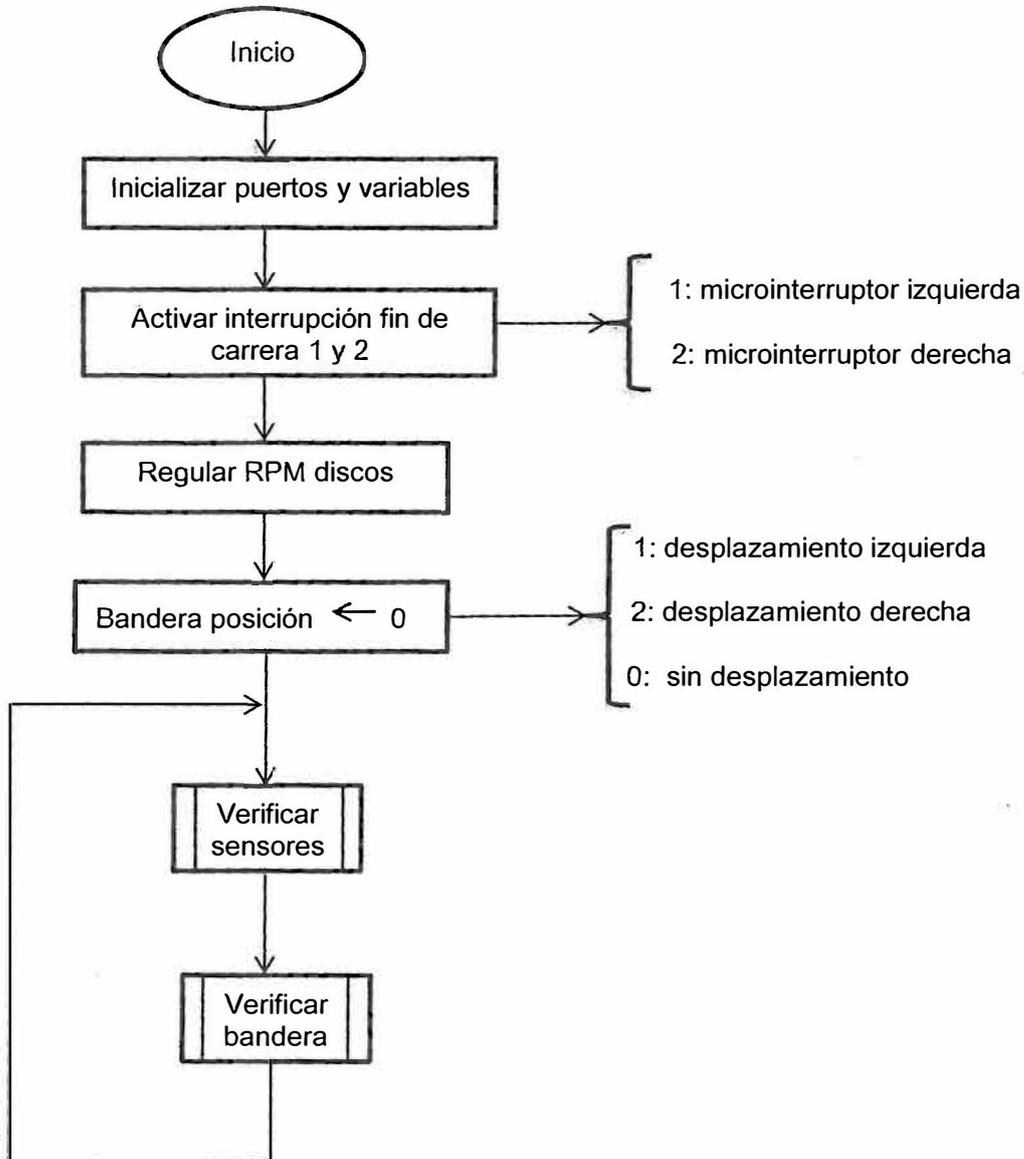


Figura 3.5.1-1 Diagrama de control general

Programa principal: Se realiza la inicialización de los puertos y variables a usar para luego desarrollar un constante sondeo tanto al estado de la bandera posición, encargada del sentido de giro de los motores, así como de la señal detectada por los sensores infrarrojos, cuya función es modificar el estado de la bandera mencionada según los requerimientos del operario.

Se usarán 2 interrupciones externas donde cada una de estas actúa de acuerdo a la respuesta de los microinterruptores, los cuales están encargados de evitar el descarrilamiento del sistema.

3.5.2 Diagrama subrutina verificar sensores

Verificar sensores. Se realiza un sondeo a los valores posición, emitidos por los sensores para así proceder a la modificación de la bandera

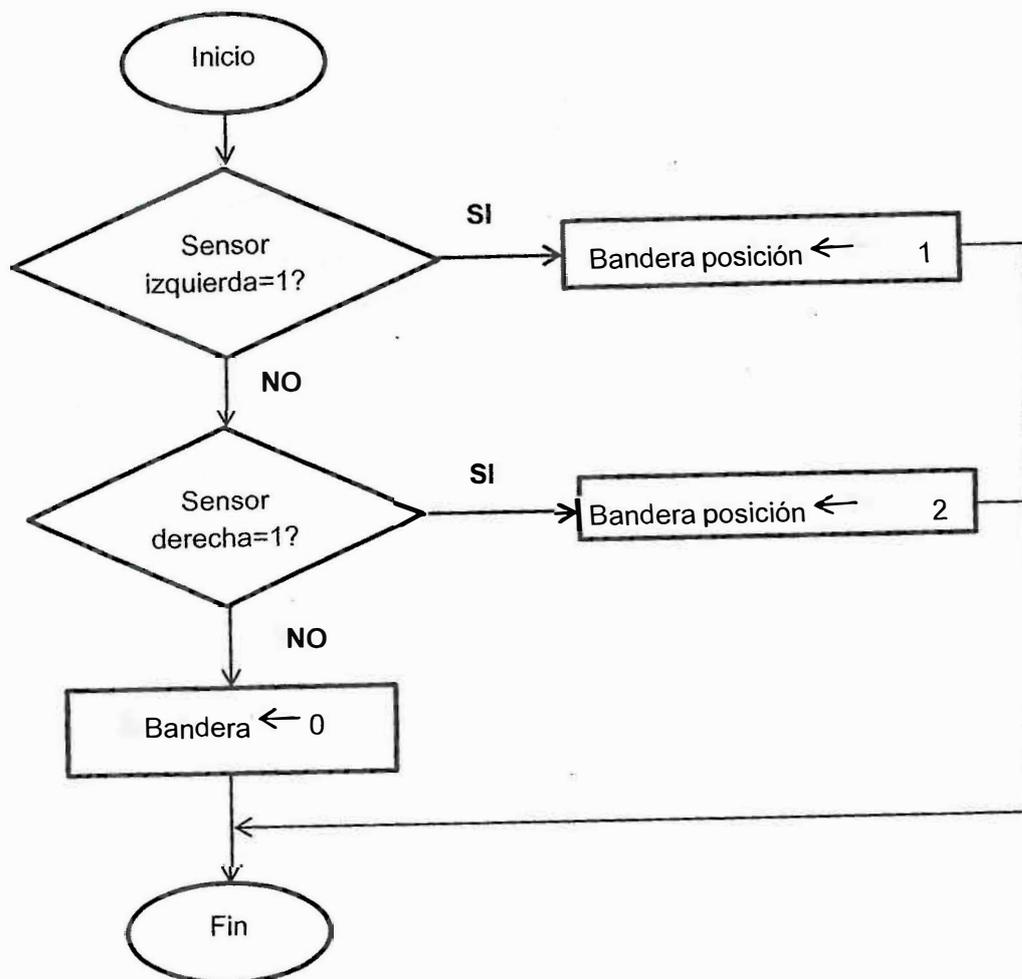


Figura 3.5.2-1 Diagrama subrutina sensores

3.5.3 Diagrama subrutina verificar bandera

Verificar bandera.

Esta subrutina tiene como función modificar el sentido de giro de los motores de acuerdo al valor de la bandera posición.

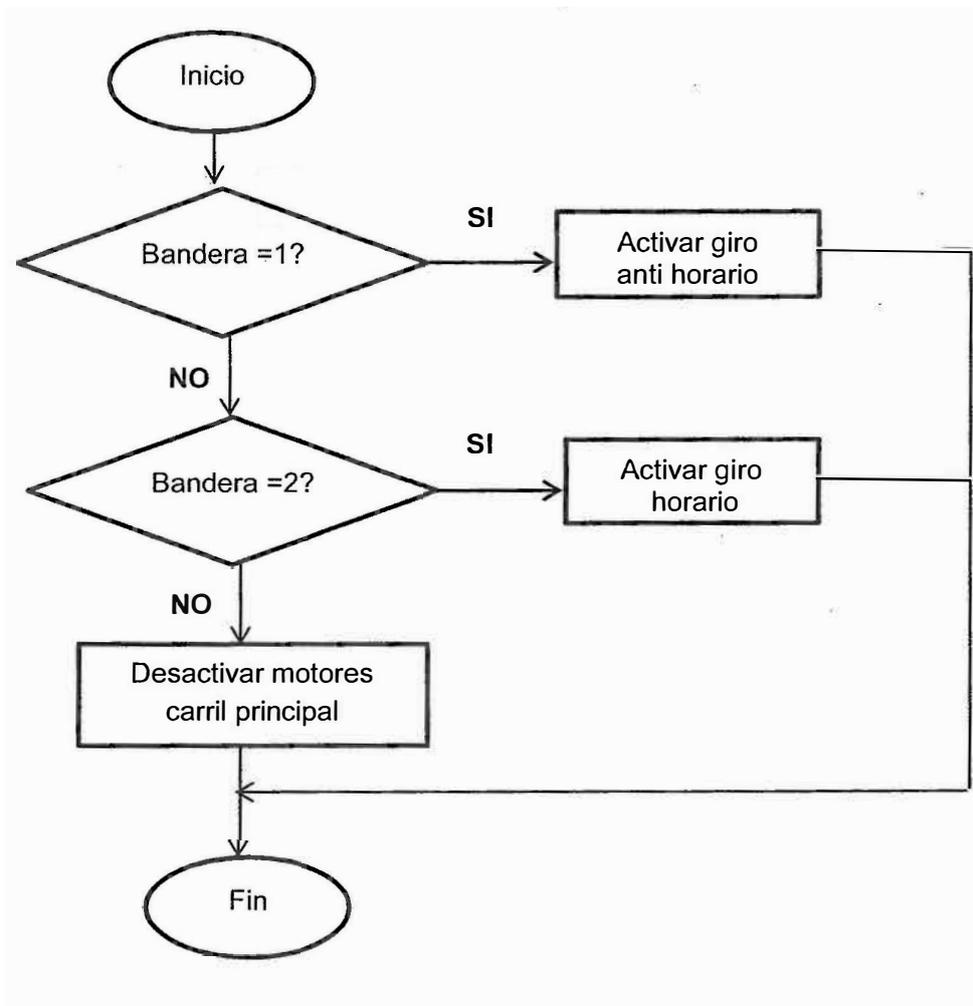


Figura 3.5.3-1 Diagrama subrutina bandera.

3.5.4 Diagrama interrupción fin carrera 1 y 2

Interrupción externa 1 y 2.

Ambas interrupciones se usan para modificar el valor de la bandera posición según los parámetros indicados, es decir, de acuerdo a ellos se gobernará el sentido de giro de los motores del carril principal.

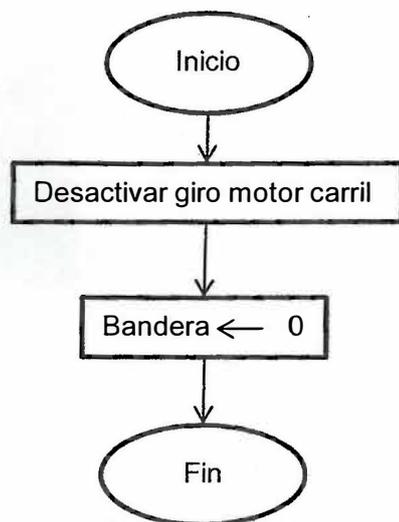


Figura 3.5.4-1 Diagrama Interrupción fin de carrera 1 y 2.

3.5.5 Análisis de esfuerzos

Con respecto a los análisis y simulaciones, se tuvieron en cuenta los valores hallados en el ANEXO 2: Cálculos partes mecánicas. Asimismo, la simulación de esfuerzos en el sistema se realizó por elementos para que de esta manera se pueda apreciar las partes más críticas detalladamente. Cabe resaltar que se tomaron las consideraciones necesarias en cada parte.

Con respecto al material **ALUMINIO 6061**, sus características son las siguientes:

Tabla 3.5.5-1: Características del aluminio 6061

Nombre	Aluminio 6061	
General	Densidad	2.71 g/cm ³
	Límite elástico	275 MPa
	Límite de tracción	310 MPa
Esfuerzo	Módulo de Young	68.9 GPa
	Coefficiente de Poisson	0.33 ul
	Módulo cortante	25.9023 GPa

Con respecto al material **ACERO ASTM**, sus características son las siguientes:

Tabla 3.5.5-2: Características del acero astm.

Nombre	Acero	
General	Densidad	7.85 g/cm ³
	Límite elástico	207 MPa
	Límite de tracción	345 MPa
Esfuerzo	Módulo de Young	210 GPa
	Coeficiente de Poisson	0.3 ul
	Módulo cortante	80.7692 GPa

Por otro lado se especifica los pesos estimados de cada componente:

Tabla 3.5.5-3: Peso estimado de cada componente.

Ensamble	Masa (Kg)	Cantidad	Masa total (Kg)
Dispensor	6.754	1	6.754
Angulos ranurado vertical 1	0.969	1	0.969
Angulos ranurado vertical 2	0.86	1	0.86
Angulos ranurado vertical 3	1.151	1	1.151
Angulos ranurado vertical 4	1.198	1	1.198
Angulos ranurado horizontal 1	0.583	1	0.583
Angulos ranurado horizontal 2	0.583	1	0.583
Arriostres	0.022	8	0.176
Ensamble superior	9.943	1	27.403
Horquilla	1.147	1	1.147
Carril superior	4.616	1	4.616
Eje carril	0.972	2	1.944
Eje conexión	0.143	1	0.143
			47.527

3.5.6 Análisis del dispensador

Se considera a los agujeros de los pernos que sujetan a este con los ángulos ranurados como caras sin deslizamiento.

La fuerza máxima será el peso total ejercido por los 120 proyectiles que es igual a 62N.

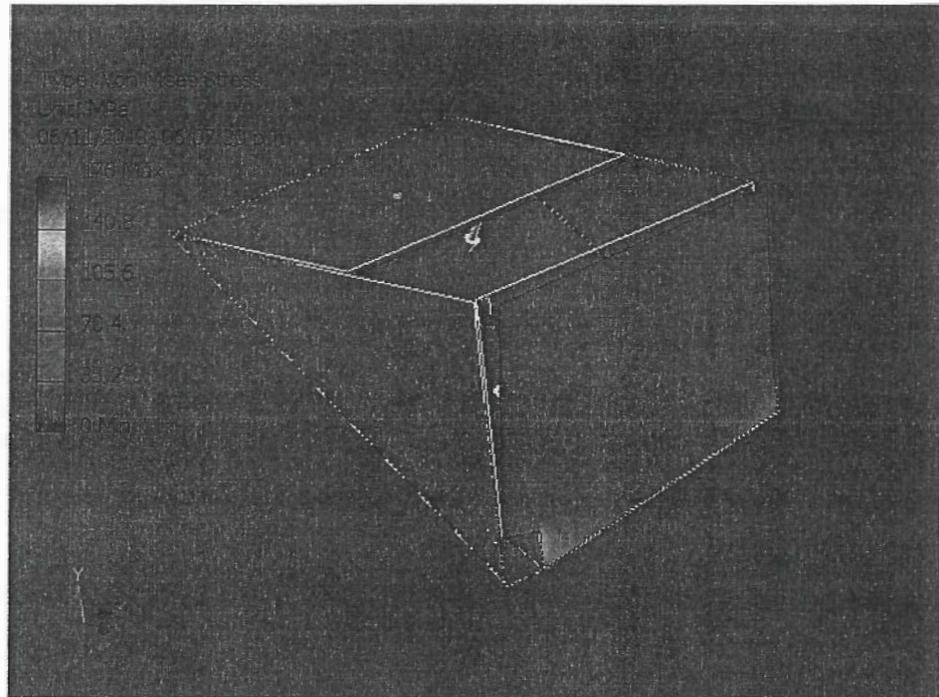


Figura 3.5.6-1 Evaluación de esfuerzos por von Mises.

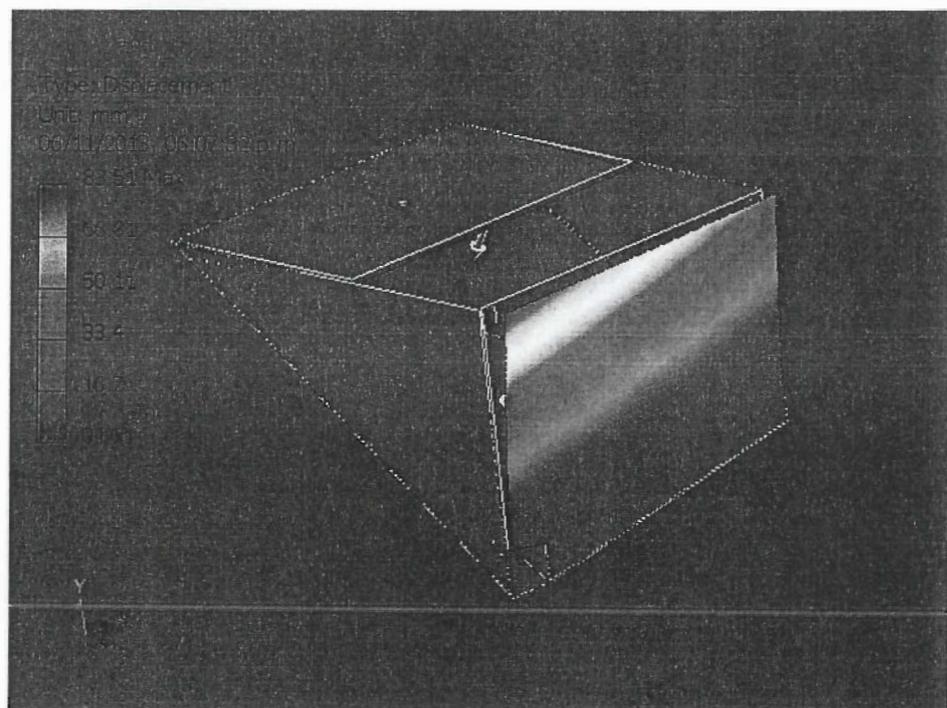


Figura 3.5.6-2 Evaluación de deformaciones.

Se obtiene:

Tabla 3.5.6-1 Resultados.

Nombre	Mínimo	Máximo
Desplazamiento	0 mm	83.5116 mm
Esfuerzo Von Mises	0.00340807 MPa	175.987 MPa
Factor de seguridad	1.56261 ul	15 ul

Por lo tanto en el extremo superior se aplicara un punto de soldadura adicional para evitar el desplazamiento máximo.

3.5.7 Análisis ángulo ranurado

Se considera a los agujeros de los pernos que sujetan a este con la parte inferior del sistema como caras sin deslizamiento.

La fuerza máxima será el peso total ejercido por los 120 proyectiles más el peso del dispensador (tabla A.4.2-1).

Tabla 3.5.7-1 Resultados.

Nombre	Mínimo	Máximo
Desplazamiento	0.000000106383 mm	0.129197 mm
Esfuerzo Von Mises	0.0104839 MPa	24.1549 MPa
Factor de seguridad	8.56969 ul	15 ul

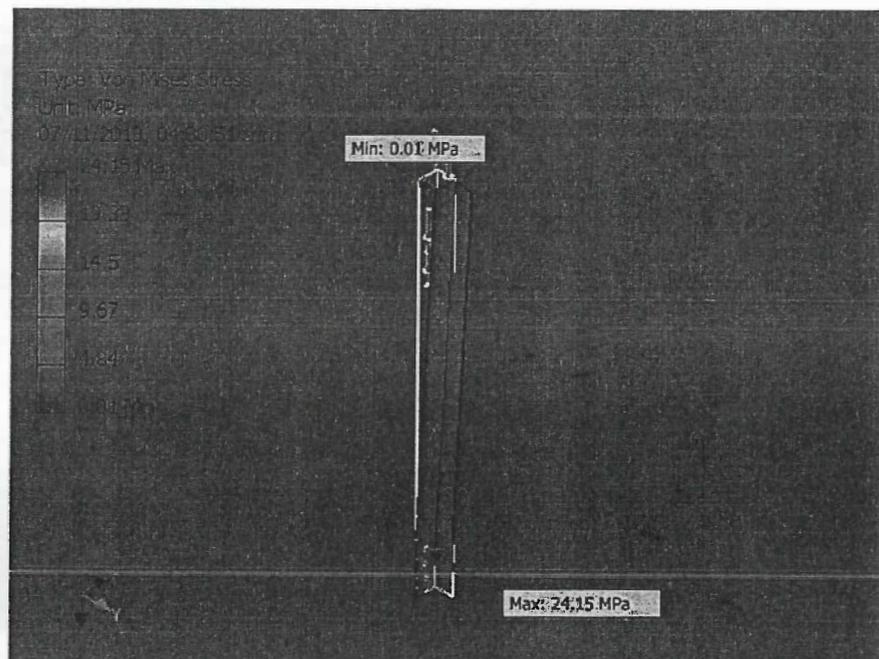


Figura 3.5.7-1 Evaluación de esfuerzos por von Mises,

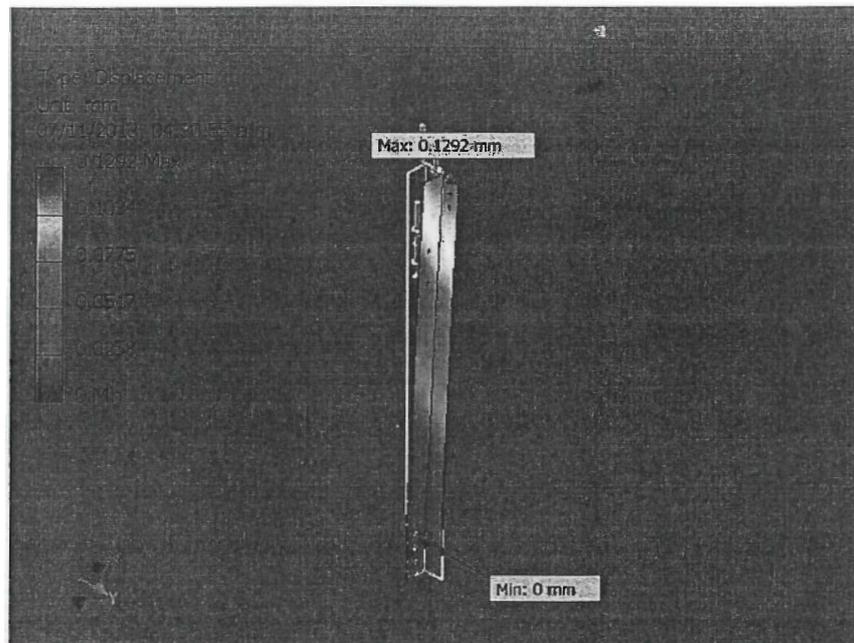


Figura 3.5.7-2 Evaluación de deformaciones.

3.5.8 Análisis carril principal

Se considera a los agujeros de los pernos que sujetan a este con las ruedas inferiores y superiores como caras sin deslizamiento. La fuerza máxima será el peso total ejercido por todo el sistema superior cuya masa aproximada de 40Kg reposará sobre la conexión con la horquilla (tabla A.4.3-1).

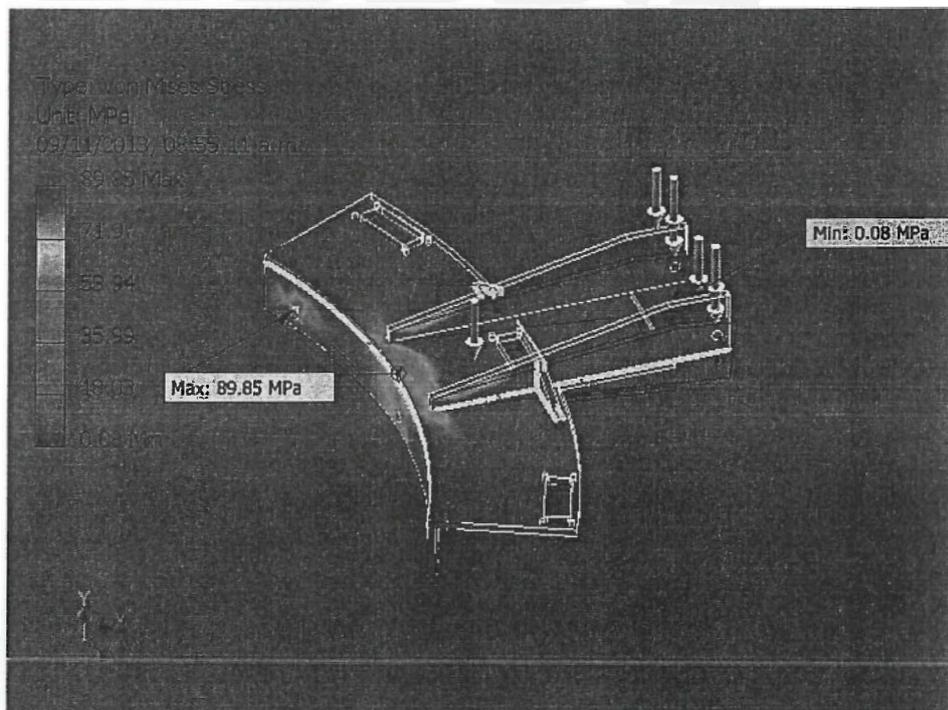


Figura 3.5.8-1 Evaluación de esfuerzos por von Mises.

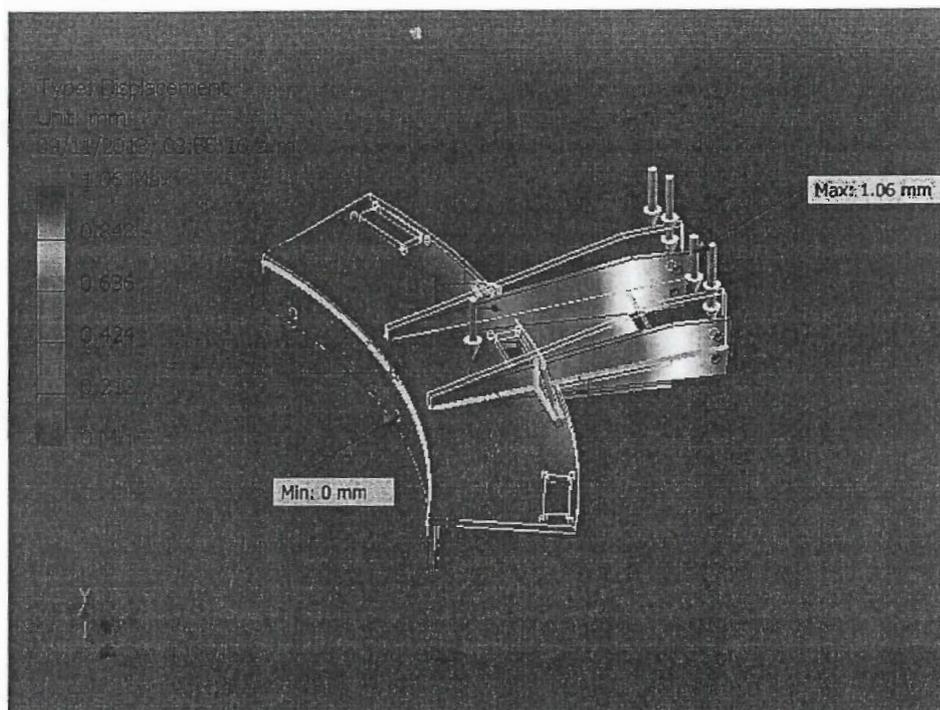


Figura 3.5.8-2 Evaluación de deformaciones.

Se obtiene:

Tabla 3.5.8-1 Resultados.

Nombre	Mínimo	Máximo
Desplazamiento	0.00000239072 mm	1.06012 mm
Esfuerzo Von Mises	0.0771962 MPa	89.8528 MPa
Factor de seguridad	2.30377 ul	15 ul

3.5.9 Análisis disco interno

El disco soportará un momento máximo de 4Nm el cual es transferido a través del canal chavetero.

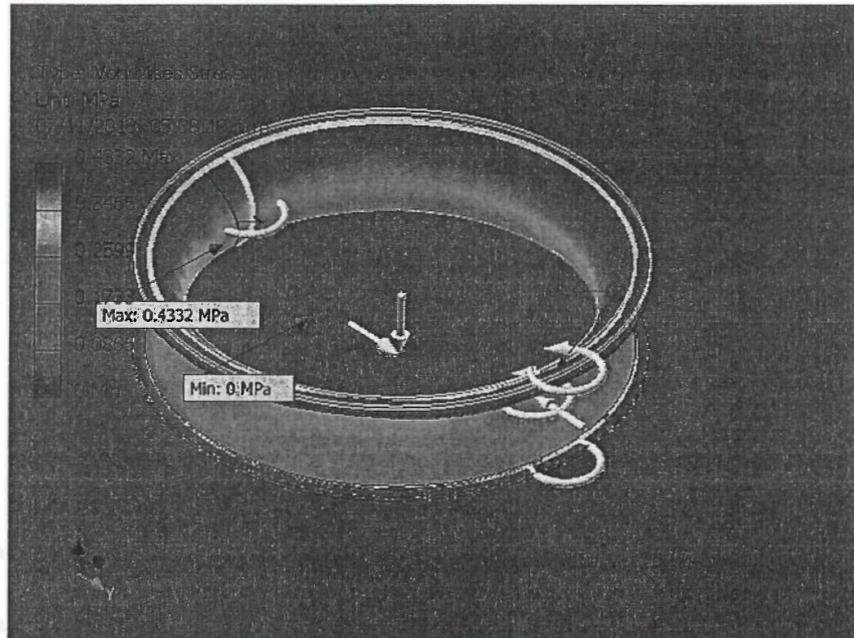


Figura 3.5.9-1 Evaluación de esfuerzos por von Mises

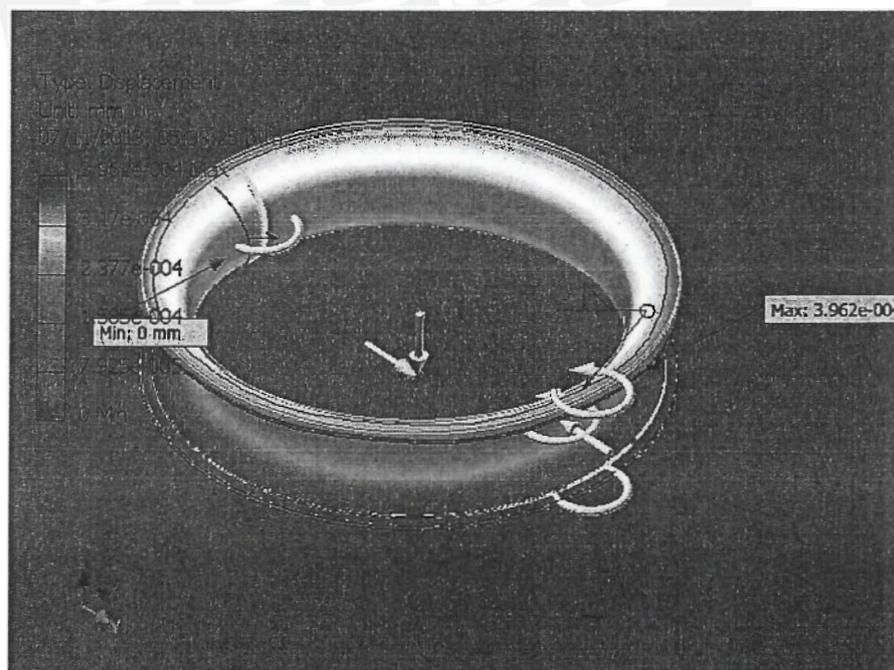


Figura 3.5.9-2 Evaluación de deformaciones.

Se obtiene:

Tabla 3.5.9-1 Resultados.

Nombre	Mínimo	Máximo
Desplazamiento	0 mm	0.000396235 mm
Esfuerzo Von Mises	0.000000202301 MPa	0.433227 MPa
Factor de seguridad	15 ul	15 ul



Capítulo 4

4.1 Presupuesto.

Las proformas de los distintos componentes mecánicos y electrónicos se encuentran en el ANEXO 7.

En la Tabla 4.1-1 se verá el costo de la manufactura metal-mecánica, que se hizo de acuerdo a los planos.

Tabla 4.1-1: Presupuesto manufactura metal-mecánica

MANUFACTURA METAL-MECÁNICA			
Descripcion	Material	Cantidad	Sub total (S/.)
Piezas del arma no letal según plano	Aluminio, ASTM A500 y latón	34 piezas	12,354.60

Tabla 4.1-2: Sensores y actuadores importados

SENSORES Y ACTUADORES IMPORTADOS			
Descripcion	Cantidad	P. unitario (\$)	Sub total (\$)
Actuador lineal generico Pololu 2344	2	66.95	133.90
Motor drive kit EMC-ME0909	2	960.00	1920.00
Motor S60 Brushless	3	972.84	2918.52
Reductor planetario GP 81	3	430.81	1292.43
Switch	1	9.99	9.99
Controlador ESCON 70/10	3	324.72	974.16
Microswitch	2	1.11	2.22
Batería GBS 48V kit with GBS-LF	1	750.20	750.20
			8,001.42
		Impuesto (19.75%)	1,580.28
		S&H (Pololu)	41.95
Tasa de cambio: S/. 2.82		S&H (Aliexpress)	122.63
		Total (Dólares)	9,746.28
		Total (Soles)	27,484.51

Tabla 4.1-3: Presupuesto de tarjeta de control

MICROCONTROLADOR ATMEGA			
Descripción	Cantidad	P. unitario	Sub total (S/.)
Bobina 100uH	1	0.7	0.7
Led	1	0.2	0.2
Resistencia 10k	3	0.1	0.3
Resistencia 200	4	0.1	0.4
Pulsador 4 pines	1	0.5	0.5
Condensador 100nf cerámico	3	0.2	0.6
Atmega 8	1	10.5	10.5
Espadines macho	1	0.8	0.8
Nuevos soles peruanos			14.0

Tabla 4.1-4: Regulador 5V – 1.5A

CONTROLADOR MOTORES			
Descripción	Cantidad	P. unitario	Sub total (S/.)
Bornera	1	2.21	2.21
Diodo 1N4004	1	0.13	0.13
Condensador 1uF electrolítico	1	0.35	0.35
LM7805	1	0.67	0.67
Condensador 0.01uF cerámico	1	0.30	0.30
led	1	0.20	0.20
Resistencia 330	1	0.18	0.18
			4.04

Tabla 4.1-5: Presupuesto sensor infrarrojo

SENSOR INFRARROJO			
Descripción	Cantidad	P. unitario	Sub total (S/.)
LM358N	2	1.54	3.08
Resistencia 220	2	1.01	2.02
Resistencia 10K	1	0.84	0.84
Resistencia 1K	1	0.84	0.84
Potenciómetro 10K	1	4.48	4.48
Condensador 10uf	1	1.12	1.12
Condensador 100nF	1	1.04	1.04
Led SFH213	1	2.32	2.32
Led IR333	1	1.23	1.23
Transistor BC547	2	0.56	1.12
Bornera 3P	1	0.70	0.70
			18.79

Tabla 4.1-6: Presupuesto de elementos mecánicos

Componentes mecánicos para el ensamblaje			
Producto	Cantidad	P. unitario	Sub total (S/.)
Angulos ranurados	3	18.18	64.36
Abrazaderas 2" 1/2	3	1.00	3.54
Codo PVC 90° 2" 1/2	1	8.00	9.44
Codo PVC 45° 2" 1/2	2	8.00	18.88
Tubo PVC 2"1/2	1	35.00	41.30
Tuerca + perno M8 x 15 cabeza ranurada	46	0.15	8.14
Tuerca + perno M6 x 10 cabeza ranurada	16	0.10	1.89
Tuerca + perno M5 x 10 cabeza ranurada	14	0.10	1.65
Rodamiento SFK 61802	2	13.27	31.31
Rodamiento SFK 61804	1	34.39	40.58
Rodamiento SFK 607	6	16.44	116.42
			337.50

Tabla 4.1-7: Otros componentes

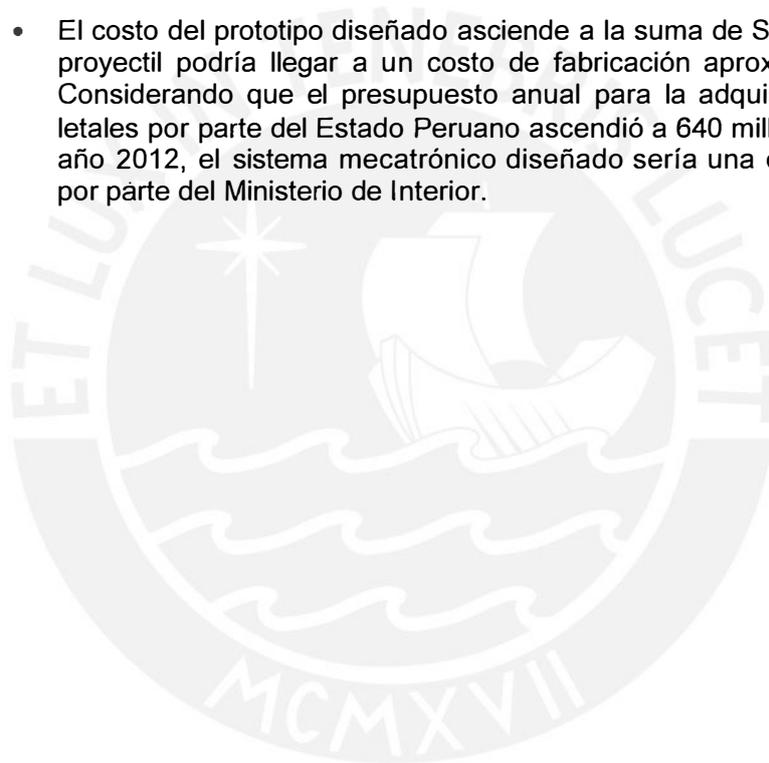
OTROS COMPONENTES			
Descripcion	Cantidad	P. unitario	Sub total (S/.)
Manijas de madera	2	15	35.4
Esferas de madera	120	6	849.6
Rueda Nylon 3"	3	25	88.5
Rueda Nylon 2"	3	15	53.1
Cubierta disco caucho	1	12	14.16
Plancha polipropileno	1	206.4	206.4
			1,040.76

El costo total de realizar este sistema mecatrónico es S/. 41,254.20.

Capítulo 5

Conclusiones

- El diseño mecatrónico realizado permite disparar proyectiles de madera con 55 milímetros de diámetro y 52.24g de masa a una velocidad de 70m/s en condiciones ambientales estándar ($T=20^{\circ}\text{C}$ y $P=1\text{atm}$), almacenando así una energía de 128J a la salida de los discos. El impacto del proyectil contra un cuerpo a una distancia de 35m llega a transferir una energía aproximada de 55J (Anexo 3), valor con el cual podemos asegurar que el sistema podría ser utilizado para la dispersión de manifestantes de manera no letal.
- El costo del prototipo diseñado asciende a la suma de S/. 41,254.20, y cada proyectil podría llegar a un costo de fabricación aproximado de S/. 1.00. Considerando que el presupuesto anual para la adquisición de armas no letales por parte del Estado Peruano ascendió a 640 millones de soles en el año 2012, el sistema mecatrónico diseñado sería una opción a considerar por parte del Ministerio de Interior.



Bibliografía

- [1] LA REPUBLICA [En línea]. Disponible: <http://www.larepublica.pe/26-10-2012/aumenta-dos-numero-de-muertos-tras-enfrentamiento-en-la-parada> [Último acceso: 29 Noviembre 2013].
- [2] PERÚ 21. [En línea] Disponible: <http://peru21.pe/politica/gobierno-compra-armas-no-letales-s21-millones-2040538>. [Último acceso: 25 Noviembre 2013].
- [3] RPP. [En línea] Disponible: [http://www.rpp.com.pe/2012-09-03-peru-anuncia-compra-de-armas-no-letales-por-us\\$-8millonesnoticia_518275.html](http://www.rpp.com.pe/2012-09-03-peru-anuncia-compra-de-armas-no-letales-por-us$-8millonesnoticia_518275.html). [Último acceso: 25 Noviembre 2013].
- [4] AMTEC Less-lethal systems [En línea]. Disponible: <http://www.lesslethal.com/index.php?page=ALS1200> [Último acceso: 26 Noviembre 2013].
- [5] AMTEC013 Less-lethal systems [En línea]. Disponible: <http://www.lesslethal.com/index.php?page=ALSGL6>. [Último acceso: 26 Noviembre 2013].
- [6] Lanzador B&T GL-06NL [En línea]. Disponible: http://www.naiz.info/media/asset_publics/resources/000/016/678/original/15_BTGL06NL_Sistema_no_letal_de_40mm_usado_por_los_Mossos_dEsquadra-1.pdf. [Último acceso: 27 Noviembre 2013].
- [7] atmel Datasheet ATMEGA8 [En línea]. Disponible: http://www.atmel.com/images/atmel-2486-8-bit-avr-microcontroller_atmega8_1_datasheet.pdf. [Último acceso: 27 Noviembre 2013].
- [8] ELECTRIC MOTORS REFERENCE CENTER [En línea]. Disponible: <http://www.electricmotors.machinedesign.com/BDEList.aspx>. [Último acceso: 24 Noviembre 2013].
- [9] G. Niemann, "Elementos de máquina", Editorial Labor S.A., pp. 781-786, 1.
- [10] POLICIA NACIONAL DEL PERÚ [En línea]. Disponible: http://www.pnp.gob.pe/direcciones/diredud/descarga/PROSPECTO_ETS%202013.pdf. [Último acceso: 27 Noviembre 2013].
- [11] A. Ramirez, "Antropometría del trabajador minero de la altura", Anales de la Facultad de Medicina Universidad Nacional Mayor de San Marcos, pp. 298-309, 2006.
- [12] D. Montone and H. Kerk, "Applying motors in linear motion applications", Pittman Motors. [En línea]. Disponible: http://www.pittmanmotors.com/Portals/0/Resources/Applying_DC_Motors_in_Linear_Motion_Applications.pdf [Último acceso: 26 Noviembre 2013].
- [13] R. Hibbeler, "Mecánica de materiales", Pearson Educación de México S.A, pp. 263-269, 2011.

- [14] Vargas-Machuca Saldarriaga, Federico, "Máquinas eléctricas rotativas", Megaprint Ediciones S.A, pp. 239-250, 1990.
- [15] BOOKS [E n línea]. Disponible:
http://en.books.org/General_Engineering_Introduction/Arduino_and_Motors/Motor_Introduction. [Último acceso: 23 Noviembre 2013].
- [16] A. SENDEL, "FLUID MECHANICS FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS" pp. 573-585 2006 primera edición.
- [17] M. Potter and D. Wiggert, "MECANICA DE FLUIDOS", International Thomson Editores pp. 313-323 tercera edición 2002.
- [18] B. Koene, F. Id-Boufker and A. Papy, "Kinetic Non-Lethal Weapons", pp 10-11, Netherlands Annual review of Military Studies 2008.
- [19] Evaluation of kinectic-energy non lethal weapons, International symposium on ballistics Tarragon Spain.pdf, 2007.
- [20] J. Rodriguez, "Resistencia de materiales 2", Pontificia Universidad Católica del Perú, pp. 1_21-1_40, 2012.
- [21] "Dibujo Mecánico I" ", Pontificia Universidad Católica del Perú, pp. 8.1- 8.14 10.1-10.12, 2010.

