

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño de una Estación Remota de Control de Armas Giroestabilizadas para
unidades Guardacostas.

Proyecto Integrador

INGE-2530

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Mecatrónica

Presentado por:

Jorge Adrian Zapata Cañizares

Sergio Javier Balcázar Martínez

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a mi familia, quienes han sido mi mayor apoyo en todo momento.

A mi mamá, quien con su infinita paciencia y cariño ha sido mi refugio en los momentos difíciles.

A mi papá, quien con su sabiduría me supo guiar y aconsejar. Siempre has sido mi ejemplo a seguir y mi mejor profesor.

A mi hermana, quien desde pequeño ha sido para mí una fuente de admiración y un ejemplo de constancia y responsabilidad.

A mi hermanito, por recordarme que la vida se trata de aprender y crecer, pero también de reír y disfrutar el camino.

Este logro es de ustedes.

Jorge Adrian Zapata Cañizares

Dedicatoria

Dedico el presente proyecto con mucho cariño principalmente a mis padres, que han sido mi apoyo incondicional en toda mi vida académica, llenándome de consejos que usé como motivación en cada altibajo que ocurrió en este largo camino. A mis mascotas, Candy y Kenay, que me acompañaron durante mis noches de estudio desde el colegio. A mis hermanos, que siempre estuvieron ahí aportando su granito de arena cuando pedía su ayuda. Finalmente, a mi pareja, que nunca dudó de mí y me apoyó desde los primeros semestres. Gracias por ser esa gasolina de motivación, ese ejemplo de esfuerzo y dedicación que me entregaron cada uno a su modo. Los quiero mucho a todos.

Sergio Javier Balcázar Martínez

Agradecimientos

Agradezco a Dios y a mis padres por guiarme a lo largo de mi vida y brindarme las oportunidades para llegar a donde he llegado.

A los amigos y colegas que hice durante la carrera, quienes volvieron el recorrido más ameno y me dotaron de valores y habilidades que solo con estudios no se obtienen.

A mi mejor amigo, el Ing. Carlos Reyes, con quien he recorrido este arduo camino lleno de noches desveladas y anécdotas sin fin.

A mi gran amigo y compañero de tesis, el Ing. Sergio Balcázar, quien en estos cinco años de estudios y desafíos ha sido un apoyo día y noche; se ha convertido en una amistad entrañable.

Jorge Adrian Zapata Cañizares

Agradecimientos

Agradezco a Dios y a mi familia por brindarme la oportunidad de estudiar en una universidad tan prestigiosa como la ESPOL y por su apoyo incondicional a lo largo de este camino. A mis amigos, especialmente a mis futuros colegas, el Ing. Adrian Zapata y el Ing. Sebastián Gavilanes, quienes hicieron este viaje más llevadero, incluso en las situaciones más adversas. Agradezco también a mis profesores, quienes han sembrado en mí la semilla de la curiosidad y el deseo constante de aprender.

Gracias infinitas a todos.

Sergio Javier Balcázar Martínez

Declaración Expresa

Nosotros Jorge Adrian Zapata Cañizares y Sergio Javier Balcázar Martínez acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 13 de mayo del 2024.



Jorge Adrian Zapata
Cañizares



Sergio Javier Balcázar
Martínez

Evaluadores

Jorge Hurel, Ph.D.

Profesor de Materia

Francisco Yumbra, Ph.D.

Tutor de proyecto

Resumen

En Ecuador, durante los patrullajes de la guardia costera, es común que se encuentren con piratas involucrados en diversas actividades delictivas. Muchos de ellos están armados, lo que a menudo resulta en tiroteos. Para estas situaciones, la marina utiliza una ametralladora "Browning M2" montada sobre una estructura que permite su manipulación y accionamiento de forma manual. Sin embargo, esta estructura solo ofrece protección frontal, lo que es insuficiente para garantizar la seguridad del operario encargado de disparar. Por esta razón, nuestro proyecto propone el desarrollo de una estación de armas controlada de manera remota, en la que se monte la ametralladora, permitiendo que su control y sus accionamientos sean realizados de forma segura desde la estación de mando. De esta manera, se reduce significativamente la exposición de los tripulantes al fuego enemigo, incrementando la seguridad del personal. Los materiales utilizados para su construcción incluyen "aluminio 6061", "acero dúctil de grado militar" y "acero al carbono", cuyas propiedades mecánicas se ajustan perfectamente a nuestros requerimientos. Además, se desarrolló un tablero de control y una cabina de mando que tienen como componente principal un controlador "PLC Simatic S7-1500". Este controlador recibe señales de un joystick para manejar varios servomotores y controlar tanto el movimiento como el disparo de la ametralladora. Se emplearon diferentes softwares tanto para el diseño 3D, como para los planos eléctricos y la programación del controlador, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo de este proyecto. Con el sistema implementado, se prevé minimizar las lesiones y bajas entre la tripulación, mejorar las capacidades defensivas de la guardia costera ecuatoriana y reducir las actividades delictivas en estas zonas del país.

Palabras Clave: Ametralladora, Joystick, Remota, Seguridad, S7-1500.

Abstract

In Ecuador, during coast guard patrols, it is common to encounter pirates involved in various criminal activities. Many of them are armed, which often results in shootouts. For these situations, the navy uses a “Browning M2” machine gun mounted on a structure that allows for its manual manipulation and operation. However, this structure only offers frontal protection, which is insufficient to guarantee the safety of the operator in charge of firing. For this reason, our project proposes the development of a remote-controlled weapon station, on which the machine gun is mounted, allowing it to be controlled and operated safely from the command station. In this way, the crew's exposure to enemy fire is significantly reduced, increasing the safety of the personnel. The materials used for its construction include “aluminum 6061”, “military grade ductile steel” and “carbon steel”, whose mechanical properties perfectly fit our requirements. In addition, a control panel and a command cabin were developed, which have as their main component the “Simatic S7-1500 PLC” controller. This controller receives signals from a joystick to operate several servomotors and control both the movement and firing of the machine gun. Different software was used for the 3D design, electrical plans and programming of the controller, which were essential for the development of this project. With the implemented system, it is expected to minimize injuries and casualties among the crew, improve the defensive capabilities of the Ecuadorian coast guard and reduce criminal activities in these areas of the country.

Keywords: Machine gun, Joystick, Remote, Security, S7-1500.

Índice general

Resumen	I
<i>Abstract</i>	II
Índice general	III
Abreviaturas	VI
Simbología	VII
Índice de figuras	VIII
Índice de tablas	X
.....	1
1 CAPÍTULO 1	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del Problema.....	4
1.3 Justificación del Problema.....	6
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1 Objetivo general	7
1.4.2 Objetivos específicos.....	7
1.5 Marco teórico.....	7
1.5.1 Buques de guerra naval	7
1.5.2 Partes de un buque.....	8
1.5.3 Movimientos de un buque	9
1.5.4 Remote Weapon System (RWS)	10
1.5.5 RWS en la marina	11
1.5.6 Finite Element Analysis (FEA)	12
1.5.7 Automatización – Autómatas	13
1.5.8 El Sistema de Motion Control.....	14
1.5.9 Mecanismos de Transmisión engrane planetario	15
1.5.10 Transformación de movimiento	16

1.5.11	Tablero de control eléctrico.....	17
1.6	Estado del arte	18
2	Capítulo 2	21
2.1	Metodología.....	22
2.2	Identificación del problema	22
2.3	Análisis de requerimientos	22
2.4	Soluciones.....	23
2.4.1	Soluciones alternativas	23
2.4.2	Criterios de selección	24
2.4.3	Matriz de decisión	25
2.5	Etapas del diseño	26
2.6	Diseño conceptual.....	28
2.7	Especificaciones Técnicas	29
2.7.1	Flujo de Funcionamiento.....	29
2.7.2	Control de Movimientos.....	30
2.8	Consideraciones éticas y legales.....	32
3	Capítulo 3	34
3.1	Resultados y análisis.....	35
3.1.1	Concepto de Entorno	35
3.2	Diseño Mecánico	37
3.2.1	Modelo completo de la estructura Interna de la estación de armas.....	37
3.2.2	Mecanismos para el movimiento “virada”	38
3.2.3	Mecanismo para el movimiento “cabecero”	40
3.2.4	Mecanismo para rastrillar el arma	42
3.2.5	Mecanismo para disparar el arma.....	44
3.3	Simulaciones.....	46
3.3.1	Simulación de elementos finitos	46

3.4	Interfaz Hombre-Máquina (HMI).....	56
3.5	Tablero de control y estación de mando.....	57
3.6	Análisis de costos	59
	61
4	CAPÍTULO 4.....	61
4.1	Conclusiones y recomendaciones.....	62
	<i>4.1.1 Conclusiones</i>	62
	<i>4.1.2 Recomendaciones</i>	63
	BIBLIOGRAFÍA.....	64
	APÉNDICES.....	67

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
DINDES	Dirección de Innovación y Desarrollo de la Armada del Ecuador
RWS	Remote Weapon Station
PLC	Programmable Logic Controller
PID	Proportional-Integral-Derivative
CAD	Computer-aided design
FEA	Finite Element Analysis
MIL-STD	Military Standard
TIA PORTAL	Totally Integrated Automation Portal
IEC	International Electrotechnical Commission
PROFIBUS	Process field bus
PROFINET	Process field network
HMI	Human-Machine Interface

Simbología

Nm	Newton metro
kW	Kilovatio
V	Voltaje
DC	Corriente continua
AC	Corriente alterna
N	Newton
HP	Horsepower
A	Amperios
mA	Miliamperios
m	Metro
mm	Milímetro
in	Pulgada
rpm	Revolución por minuto
kgf	Kilogramo fuerza
lbf	Libra fuerza

Índice de figuras

Figura 1.1 <i>Escala de Violencia en Ecuador</i>	2
Figura 1.2 <i>Principales rutas de grupos delictivos</i>	3
Figura 1.3 <i>Estación de Armas en Embarcación</i>	4
Figura 1.4 <i>Estación de Armas (Soporte Ametralladora)</i>	5
Figura 1.5 <i>Uso de una estación de armas con Browning M2</i>	5
Figura 1.6 <i>Patrullero LG-40</i>	7
Figura 1.7 <i>Características LG-40 de la armada ecuatoriana</i>	8
Figura 1.8 <i>Partes de un buque</i>	8
Figura 1.9 <i>Movimientos y Rotaciones de una embarcación</i>	9
Figura 1.10 <i>Protector M151</i>	10
Figura 1.11 <i>Artillero junto a la estación de mando</i>	11
Figura 1.12 <i>Protector RS4</i>	12
Figura 1.13 <i>RWS de ESCRIBANO</i>	12
Figura 1.14 <i>Finite Element Analysis</i>	13
Figura 1.15 <i>Diferentes PLC's</i>	14
Figura 1.16 <i>Lazo de Control Motion Control</i>	14
Figura 1.17 <i>Comunicación Motion Control</i>	15
Figura 1.18 <i>Engranaje planetario</i>	16
Figura 1.19 <i>Mecanismo Biela Manivela</i>	16
Figura 1.20 <i>Tablero Eléctrico</i>	17
Figura 1.21 <i>Placa de Metal (Protección del Operador)</i>	19
Figura 1.22 <i>Sentinel 2.0</i>	20
Figura 2.1 <i>Proceso de diseño para la elaboración de la solución</i>	27
Figura 2.2 <i>Concepto de la arquitectura</i>	29
Figura 2.3 <i>Flujo de funcionamiento</i>	30
Figura 2.4 <i>Integración Motion Control</i>	31
Figura 2.5 <i>Motion Control (Positioning Control Loop)</i>	32
Figura 3.1 <i>Elementos del Sistema de Control de Armas</i>	36
Figura 3.2 <i>Estructura interna de la estación de armas</i>	37
Figura 3.3 <i>Modelo completo de la estación de armas</i>	38
Figura 3.4 <i>Ensamble Actuador - Reductor - Engranaje Planetario - Rodamientos de la estructura</i>	39

Figura 3.5	<i>Explotado Engranaje planetario</i>	40
Figura 3.6	<i>Ensamble Frame - Actuador - Eje - Soporte Arma</i>	41
Figura 3.7	<i>Explotado mecanismo cabeceo</i>	42
Figura 3.8	<i>Ensamble mecanismo "Rolling Slider" (Posición X₀)</i>	43
Figura 3.9	<i>Ensamble mecanismo "Rolling Slider" (Posición X₁)</i>	43
Figura 3.10	<i>Explotado Mecanismo "Rolling slider" (Rastrillado)</i>	44
Figura 3.11	<i>Mecanismo Disparo (Desactivado)</i>	45
Figura 3.12	<i>Mecanismo Disparo (Activo)</i>	45
Figura 3.13	<i>HMI</i>	56
Figura 3.14	<i>Tablero de Control</i>	57
Figura 3.15	<i>Cabina de mando</i>	58
Figura 3.16	<i>Luces piloto y switch's de control</i>	58
Figura 3.17	<i>Botonera de paro y Joystick</i>	59

Índice de tablas

Tabla 1.1 <i>Partes de una embarcación</i>	9
Tabla 2.1 <i>Requerimientos del cliente</i>	23
Tabla 2.2 <i>Criterios de selección</i>	24
Tabla 2.3 <i>Relevancia del Precio entre Ideas de solución</i>	25
Tabla 2.4 <i>Relevancia de la escalabilidad entre Ideas de solución</i>	25
Tabla 2.5 <i>Relevancia de la funcionabilidad entre Ideas de solución</i>	25
Tabla 2.6 <i>Relevancia de la facilidad de implementación entre Ideas de solución</i>	26
Tabla 2.7 <i>Criterios de selección vs Ideas de solución</i>	26
Tabla 3.1 <i>FEA Acople Cabeceo</i>	46
Tabla 3.2 <i>FEA Soporte Servomotor</i>	47
Tabla 3.3 <i>FEA Engranaje planetario</i>	48
Tabla 3.4 <i>FEA Soporte Virada</i>	49
Tabla 3.5 <i>FEA Eje planetario</i>	50
Tabla 3.6 <i>FEA Manievela</i>	51
Tabla 3.7 <i>FEA Brazo</i>	52
Tabla 3.8 <i>FEA Link 1</i>	53
Tabla 3.9 <i>FEA Palanca</i>	54
Tabla 3.10 <i>FEA Acople disparo</i>	55
Tabla 3.11 <i>Costos Computacionales</i>	60
Tabla 3.12 <i>Costos Eléctricos</i>	60
Tabla 3.13 <i>Costos Mecánicos</i>	60
Tabla 3.14 <i>Análisis de costos total</i>	60

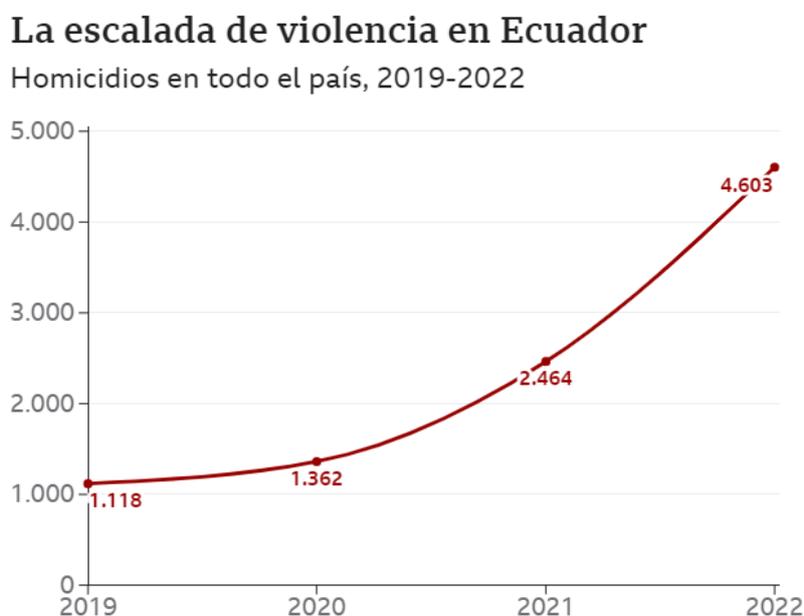
CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

La delincuencia en Ecuador no ha dejado de crecer en los últimos años, una cifra alarmante del año 2023 fue que en los primeros tres meses ocurrieron 1400 homicidios, que significó un 66% más que el mismo periodo del año anterior [1]. En las costas ecuatorianas los asaltos siempre los ejecutan entre 5 a 10 personas en lanchas rápidas, normalmente encapuchados, siempre con armas de fuego y roban normalmente desde los teléfonos celulares, hasta los motores de las pequeñas embarcaciones.

Figura 1.1

Escala de Violencia en Ecuador

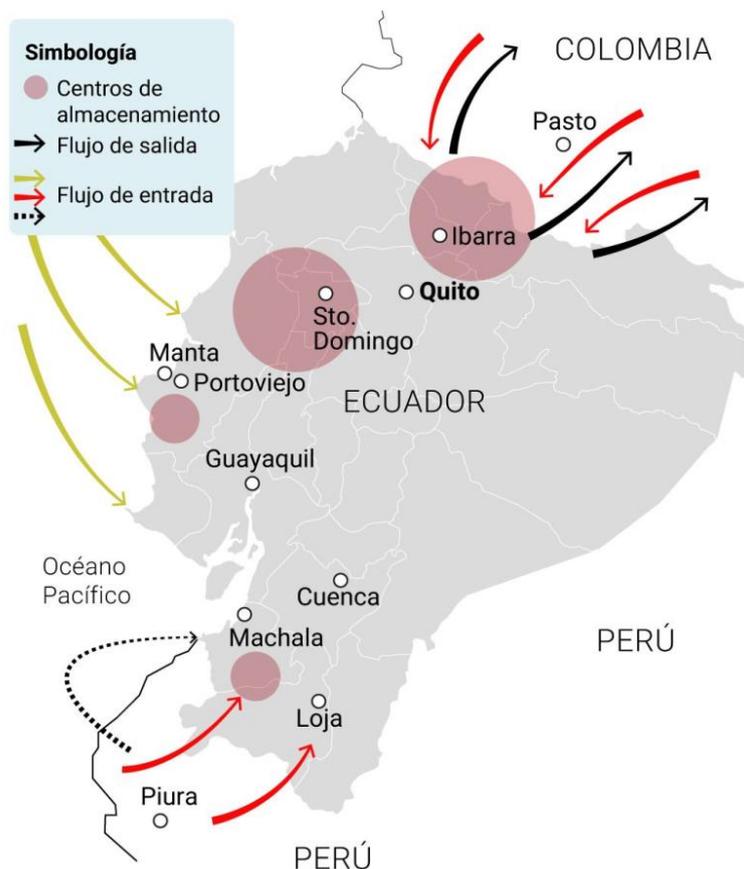


En la Figura 1.1 se observa el incremento de manera exponencial de los decesos en nuestro país, empezando en 2019 con 1118 casos mientras que en el 2022 ocurrieron 4603. Por otro lado, los guardacostas dividen sus labores en proteger a los productores de la industria pesquera y combatir el narcotráfico. Sin embargo, aunque las fuerzas del orden se vean cara a cara con los delincuentes, esto no asegura un desenlace favorable, pues los delincuentes suelen tener mejor armamento que incluso las fuerzas armadas ecuatorianas. Como prueba de ello se tiene

que el pasado 17 de noviembre del presente año (2024), una lancha fue interceptada y capturaron nueve bultos con armas valoradas en cerca de USD 1 millón. [2]

Figura 1.2

Principales rutas de grupos delictivos



Se observa en la Figura 1.2 que las costas ecuatorianas son muy transitadas por estos grupos delictivos.

Las mejoras en las capacidades armamentistas de los guardacostas son cruciales para hacer frente a la delincuencia y tratar de mitigar las acciones que perturben la tranquilidad de la ciudadanía. Por esta razón, este proyecto se basará en la integración de tecnologías RWS “Remote weapon station” a un buque de la marina para aumentar las probabilidades de tener un desenlace triunfante ante un enfrentamiento con delincuentes fuertemente armados.

1.2 Descripción del Problema

Cuando la marina intercepta a los delincuentes en las zonas costeras de nuestro país, existe una gran posibilidad que haya un cruce de fuego. Estos enfrentamientos obligan a los guardacostas a usar fuerza letal contra ellos, una de las principales armas que usan, es una ametralladora “*browning m2*” dicha arma reposa sobre una estructura ajustada a sus dimensiones permitiendo su movilidad.

Figura 1.3

Estación de Armas en Embarcación



En la Figura 1.3 se observa la estructura completa en la que reposa la ametralladora y el espacio físico que tiene el tripulante para usarla. Sin embargo, la seguridad que tendrá el operario es baja, la única protección que posee es la lámina que se encuentra en la parte frontal.

Figura 1.4

Estación de Armas (Soporte Ametralladora)



En la Figura 1.4 se puede ver la estructura desde un plano más cercano y apreciamos la lámina frontal de seguridad que habíamos mencionado. Como es evidente esta lámina no otorga un alto nivel de seguridad al tripulante.

Figura 1.5

Uso de una estación de armas con Browning M2



En la Figura 1.5 se observa cómo es el uso de esta estructura junto con la ametralladora. La única protección para el operario está en la parte frontal, en los laterales y en la parte posterior no hay forma alguna de evitar el impacto de balas.

Además, esta pequeña protección limita la visión de los posibles objetivos a los que se puede alcanzar, lo que puede provocar errores en los disparos. Asimismo, los operarios conocen

que su exposición al peligro es alta, lo que genera más fatiga, limitando su destreza y habilidades con la ametralladora.

Por todo esto, la Dirección de Innovación y Desarrollo (DINDES), lugar donde se desarrollan distintos proyectos de ingeniería para resolver variados problemas de la armada, requiere automatizar una estructura para la ametralladora y lograr controlarla de manera remota.

1.3 Justificación del Problema

Según OrganisedCrime [3] el crimen organizado en la industria pesquera genera numerosos efectos negativos a nivel social, económico y ambiental, los cuales dificultan el cumplimiento de los ODS y obstaculizan el avance hacia una economía oceánica sostenible. Además, en 2023, según cifras del Banco Central, con \$199,5 millones el pescado fue el cuarto rubro más importante de exportaciones tradicionales de Ecuador [4]. Por estos motivos, es crucial para nuestra economía mantener una alta seguridad en dichos sectores en el que se realizan las actividades de pesca.

Los delincuentes emplean buques pesqueros para el tráfico de drogas y personas, aprovechando sus rutas de navegaciones irregulares y las largas estancias en el mar para pasar inadvertidos en el entorno marítimo sin generar sospechas. Además, las organizaciones criminales utilizan las prácticas de la pesca comercial a gran escala para financiar otras actividades ilegales.

Agregar tecnologías como “RWS” a nuestros buques de las fuerzas armadas, dotaría de mejores capacidades armamentistas y por consiguiente mejoraría la seguridad de nuestras zonas costeras, manteniendo el flujo de trabajo de manera estable en nuestras costas.

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general*

Desarrollar un sistema remoto de control para los movimientos y accionamientos necesarios para una ametralladora dentro de los buques de las fuerzas armadas.

1.4.2 *Objetivos específicos*

- Diseñar el sistema eléctrico y un tablero de control de una cabina de mando para el control de una estación de arma.
- Simular el comportamiento de los mecanismos y piezas diseñadas mediante análisis de elementos finitos.
- Proponer distintos actuadores para las funciones principales de la ametralladora como; disparar, rastrillar, movimiento en ronza y cabeceo.

1.5 Marco teórico

1.5.1 *Buques de guerra naval*

Los buques de guerra son embarcaciones diseñadas específicamente para realizar operaciones militares en el mar. Se clasifican según su tamaño, capacidades y misiones. Los más importantes y relevantes son: Portaaviones, destructores, fragatas, corbetas, submarinos. Las “lanchas guardacostas tipo PGO” que posee la armada ecuatoriana entran en la categoría de “corbetas”. [5]

Figura 1.6

Patrullero LG-40



Figura 1.7

Características LG-40 de la armada ecuatoriana

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES		EQUIPAMIENTO	
Eslera total	45,00 m	Motor principal	MTU 16V 4000 M90 2x 2.720 kW @ 2.100 rpm
Eslera epp	41,00 m		MTU 12 V 4000 M90 1x 2.040Kw @ 2.100 rpm
Manga de trazado	10,00 m	Reductores	ZF 2x Aluminio
Puntal a cubierta ppal.	5,00 m		REINTJES dos velocidades 1x Aluminio
Calado max.	3,00 m	Líneas de ejes y hélices	3x de paso fijo
Velocidad en pruebas	25 nudos	Timones	3x
Tripulación	27/30 personas	Auxiliares	CATERPILLAR 2x 257 HP
CAPACIDADES		Emergencia	1x 60 HP
Combustible	55 Toneladas	Generador de agua dulce	1x osmosis inversa 12T/día
Aceite	0,5 Toneladas	OTROS	
Agua dulce (tanques propios)	12 Toneladas	Capacidad provisiones – 15 días en la mar para 30 hombres	
CLASIFICACIÓN		Autonomía de 3.000 millas náuticas	
BV - CLASS I * HULL SPECIAL SERVICE/PATROL SHIP UNRESTRICTED NAVIGATION * MACH		VELOCIDAD	
ARMADOR		Máxima al 100 M.C.R.	Mínimo 25 nudos
ARMADA DE ECUADOR		Al 80% M.C.R. del motor central	12 nudos (velocidad económica)
		Al 60% M.C.R. de los tres motores	20 nudos (velocidad sostenida)
		Fecha de entrega: 2005	

1.5.2 Partes de un buque

En cada sector de un buque se realizan distintas funciones que permiten navegar, mantener la flotabilidad, o cumplir con propósitos específicos.

Figura 1.8

Partes de un buque

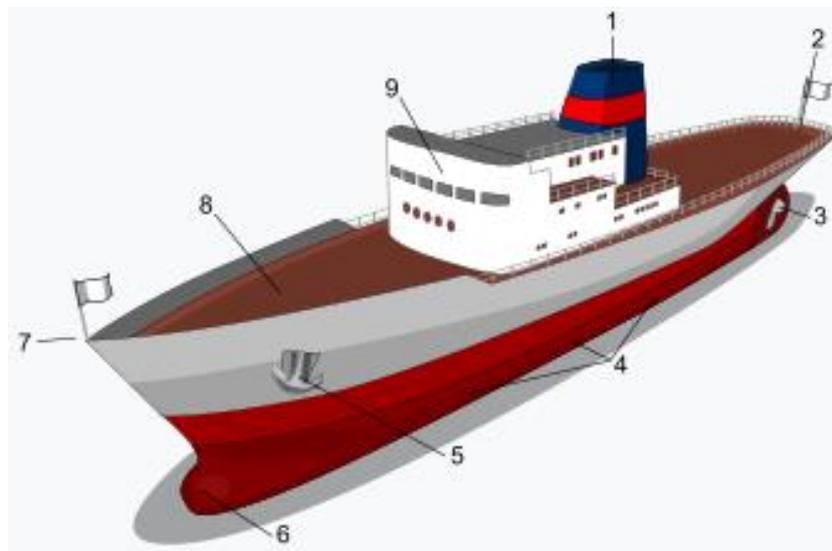


Tabla 1.1 Partes de una embarcación

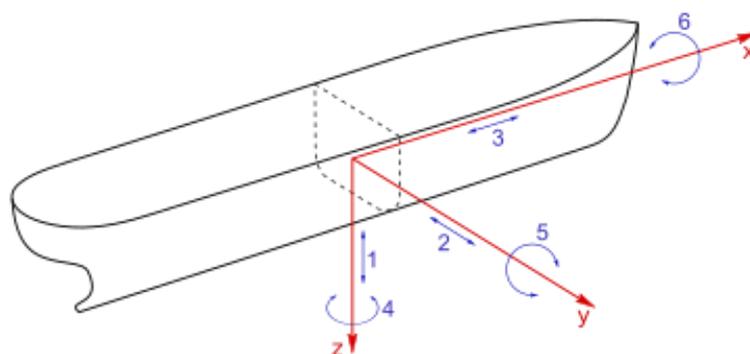
1	Embudo
2	Popa
3	Hélices
4	Obra viva
5	Ancla
6	Bulbo de proa
7	Proa
8	Cubierta
9	Superestructura

1.5.3 Movimientos de un buque

Los movimientos en un buque pueden darse de distintas maneras. Las olas del mar provocan inestabilidad en la embarcación, generando muchas veces movimientos no deseados, por lo que es importante definir los movimientos para referirse a ellos de manera correcta.

Figura 1.9

Movimientos y Rotaciones de una embarcación



Nota. **1** ascenso y descenso, **2** ronza o abatimiento, **3** avance o retroceso, **4** virada o guñada, **5** cabeceo o arfada, **6** escora, balance. [6]

1.5.4 Remote Weapon System (RWS)

Un sistema de armas remota es una estación controlada a distancia que permite la integración de un arma de calibre ligero o medio, y se puede instalar en cualquier tipo de vehículo moderno u otras plataformas tanto terrestres como marítimas. También se pueden integrar a vehículos ya existentes. Su principal característica es que el artillero permanecerá en un lugar más seguro con este tipo de sistemas. [7]

Figura 1.10

Protector M151



Figura 1.11

Artillero junto a la estación de mando



1.5.5 RWS en la marina

Existe una amplia gama de estaciones remotas de armas para el sector marítimo, su principio es exactamente el mismo que el de los sistemas para vehículos terrestres, sin embargo, usan distintos materiales por las condiciones del mar al que estarán sometidos. El tripulante a cargo estará en una zona protegida contra la exposición del fuego enemigo, normalmente en la cabina de mando. Actualmente hay varias empresas internacionales que comercializan este tipo de sistemas dos de las más conocidas son:

KONGSBERG y ESCRIBANO MECHANICAL AND ENGINEERING.

KONGSBERG de su sistema insignia dice que “EL PROTECTOR RS4 Naval proporciona habilidades operativas únicas para enfrentar amenazas y mejorar la protección general del buque, es altamente eficaz para la defensa portuaria y se adapta perfectamente a distintos tipos de buques de guerra y patrulleros.” [8]

Figura 1.12*Protector RS4*

En cambio, ESCRIBANO afirma que “los sistemas diseñados por EM&E soportan condiciones ambientales severas y pueden ser integradas en diversas plataformas.” [9]

Figura 1.13*RWS de ESCRIBANO*

1.5.6 Finite Element Analysis (FEA)

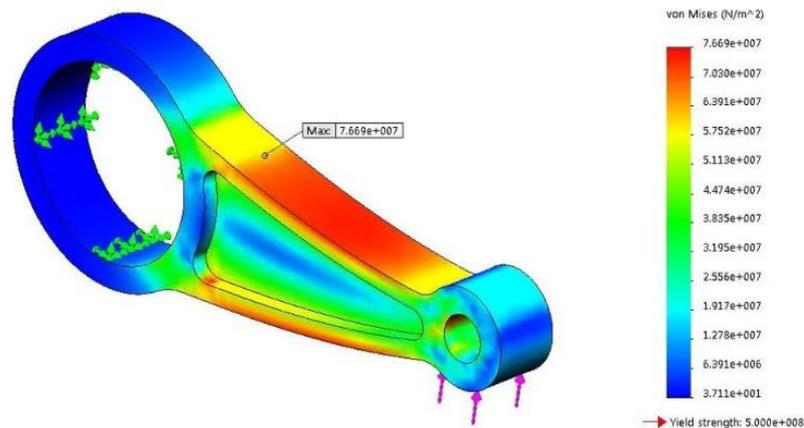
El análisis de elementos finitos es una técnica de modelado en un entorno virtual, permite identificar y resolver problemas respecto al rendimiento de un producto. [10]

La simulación trata de predecir el comportamiento de estructuras y sistemas sometidos a cargas y deformaciones. Los resultados los usamos para evaluar la resistencia final del

producto y qué tan seguro será dependiendo del uso que se le dará. Entre sus tantas aplicaciones están: Diseño de máquinas y equipos, diseño de estructuras, diseño de vehículos, diseño de dispositivos electromecánicos. [11]

Figura 1.14

Finite Element Analysis



1.5.7 Automatización – Autómatas

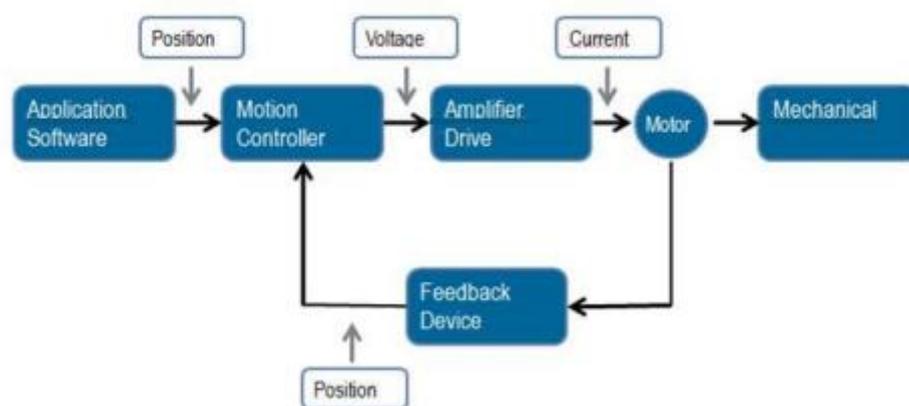
Los PLCs son uno de los componentes más importantes en la automatización, es el cerebro de un sistema de control, el monitorea de manera continua el estado de los dispositivos de entrada y toma decisiones en función de un programa personalizado para gestionar los dispositivos de salida. Estos controladores se pueden utilizar para automatizar un proceso específico o una función de una máquina.

Los PLCs ofrecen al usuario la posibilidad de agregar una amplia gama de funcionalidades, como control discreto, control analógico, control PID, control de posición, control de motor, comunicación serie y conexión en red de alta velocidad. [12]

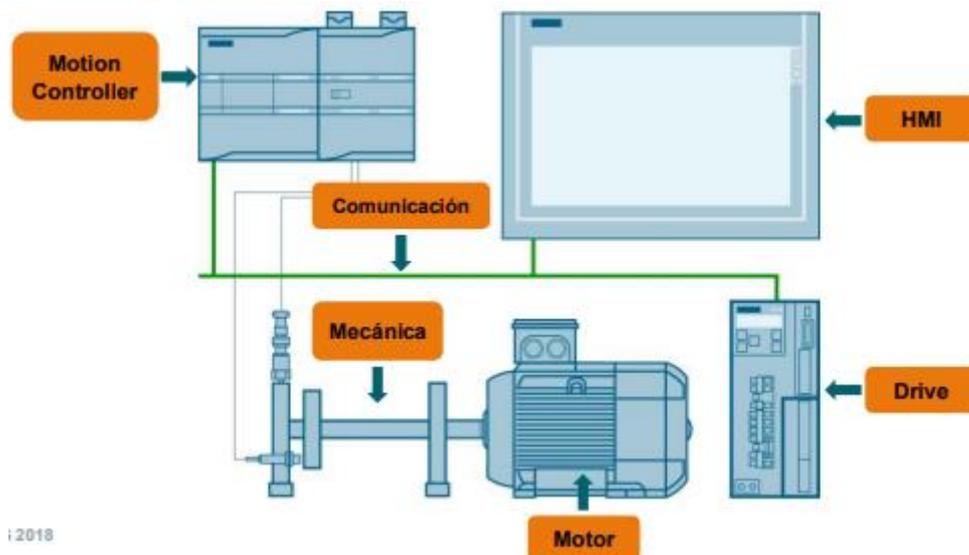
Figura 1.15*Diferentes PLC's*

1.5.8 El Sistema de Motion Control

El “Motion Control” forma parte del área de la mecatrónica de altas prestaciones y engloba el control de posición, velocidad y par de ejes, así como la sincronización entre ellos.

Figura 1.16*Lazo de Control Motion Control*

Este sistema ha abierto nuevas posibilidades gracias a las velocidades y potencia de cálculo, así como a las comunicaciones de los equipos del sistema.

Figura 1.17*Comunicación Motion Control*

1.5.9 Mecanismos de Transmisión engrane planetario

Los engranajes planetarios son un sistema de engranajes en el que el eje de entrada y el eje de salida están alineados. Este tipo de caja de engranajes se utiliza para transmitir un par elevado en un espacio reducido, lo que se conoce como densidad de par.

Los engranajes planetarios son especialmente útiles en aplicaciones donde el espacio y el peso son limitados, pero se requiere una gran reducción de velocidad y un alto torque. Esto es relevante en diversas industrias, como en tractores y equipos de construcción, donde es necesario un par considerable para mover las ruedas. También se encuentran en motores de turbina, transmisiones automáticas e incluso en destornilladores eléctricos.

Matemáticamente, la relación de reducción mínima para los engranajes planetarios es de 3:1, mientras que la máxima es de 10:1. Si la relación es menor a 3, el engranaje solar se vuelve demasiado grande en comparación con los engranajes planetarios. Por otro lado, si la relación supera 10, el engranaje solar se vuelve demasiado pequeño, lo que provoca una disminución en el par. Estas relaciones suelen ser absolutas, es decir, se expresan como números enteros. [13]

Figura 1.18*Engranaje planetario***1.5.10 Transformación de movimiento**

Hablamos de “transformación de movimiento” cuando el tipo de movimiento del elemento de entrada se convierte en un tipo de movimiento diferente en el elemento de salida, transformando un movimiento en otro distinto, un ejemplo de ello es el mecanismo biela-manivela.

Figura 1.19*Mecanismo Biela Manivela*

Al girar la manivela (que actúa como el elemento impulsor), se transmite un movimiento circular a la biela, que luego se convierte en un movimiento alternativo. Este mecanismo

también puede operar en sentido contrario, transformando un movimiento lineal alternativo de vaivén en un movimiento de rotación, lo que lo hace reversible.

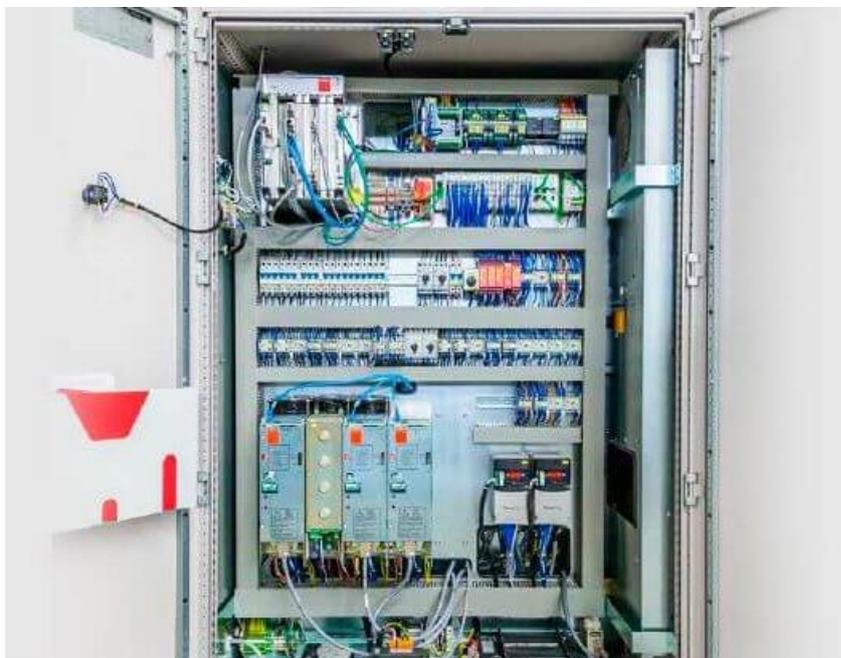
1.5.11 Tablero de control eléctrico

Un tablero eléctrico industrial es un armario que alberga diferentes componentes esenciales para garantizar el funcionamiento seguro y eficiente de una instalación eléctrica. Estos componentes incluyen dispositivos de conexión, control, maniobra, protección, medición, señalización y distribución.

El tablero de control eléctrico funciona como el núcleo de control de la instalación eléctrica, permitiendo la distribución de energía a diversos circuitos y equipos. También facilita el monitoreo y la protección de la instalación a través de interruptores, fusibles, relés y medidores.

Figura 1.20

Tablero Eléctrico



Estos tableros eléctricos desempeñan diversas funciones que aseguran un suministro de electricidad seguro y confiable, las principales funciones de los tableros eléctricos:

Control y distribución de energía: El tablero eléctrico permite dividir la energía proveniente de una fuente principal en varios circuitos y equipos dentro de una instalación, garantizando que cada dispositivo reciba la cantidad adecuada de electricidad para su operación. Además, ofrece mecanismos para encender, apagar o regular la energía eléctrica suministrada a distintos circuitos, lo que permite un control preciso de la alimentación de equipos y sistemas de acuerdo con sus necesidades específicas.

Protección contra sobrecargas y cortocircuitos: Los tableros eléctricos de distribución cuentan con dispositivos de protección, como interruptores, fusibles y relés, que actúan como medidas de seguridad en caso de sobrecarga o cortocircuito. Estos dispositivos detectan irregularidades en el flujo de corriente y desconectan automáticamente el circuito afectado para evitar daños mayores.

Medición y monitoreo: Para un control eficiente del uso de energía y la implementación de acciones correctivas ante cualquier problema, el gabinete de control eléctrico incorpora medidores y dispositivos de monitoreo. Estos permiten registrar el consumo de energía, supervisar los niveles de voltaje y detectar posibles irregularidades.

Señalización y visualización: Algunos tableros eléctricos incluyen elementos de señalización, como luces indicadoras y paneles de visualización, que proporcionan información visual sobre el estado de los circuitos, la presencia de fallas o alarmas, facilitando una intervención rápida y eficiente.

1.6 Estado del arte

El 12 de octubre del año 2000, un pequeño bote cargado de explosivos y conducido por dos terroristas suicidas de Al-Qaeda impactó contra el costado de babor del destructor USS Cole (DDG-67) de la Marina de los EE. UU. mientras repostaba en el puerto de Adén, en

Yemen. Este ataque causó una explosión que provocó la muerte de 19 marinos estadounidenses, dejó 39 heridos y causó serios daños en la nave.

Este ataque terrorista, realizado con una pequeña embarcación en lugar de misiles anti-buque avanzados y costosos, llevó a las principales marinas militares del mundo a reconocer una vulnerabilidad en la defensa de sus buques. Los sistemas convencionales, como las piezas de artillería de 76 mm y 127 mm habituales en los buques de guerra occidentales, no eran adecuados para enfrentar este tipo de ataques asimétricos. Tampoco lo eran los misiles anti-buque como el Harpoon o el Exocet, por lo que se optó por instalar ametralladoras de calibre medio y pesado que permitieran una respuesta rápida y efectiva contra embarcaciones ligeras, como motos de agua, lanchas Zodiac o botes fueraborda, utilizadas por terroristas o piratas en el Cuerno de África o el Golfo de Guinea. Sin embargo, al operar estas armas, los artilleros quedaban expuestos al fuego enemigo, aumentando el riesgo de ser heridos o abatidos.

Figura 1.21

Placa de Metal (Protección del Operador)



En la Figura 1.21 se observa una ametralladora acoplada en su estructura y una placa de metal cubriendo de frente al operario.

La solución a este problema llegó con la introducción de la estación de armas controlada de forma remota **Sentinel 2.0** de Escribano, como se observa en la Figura 1.22 Este innovador sistema permite que los operadores permanezcan a salvo en el interior del Centro de Información de Combate (C.I.C.) o en el puente de mando, al manipular las armas a distancia mediante una consola, reduciendo así el riesgo de ser alcanzados por disparos enemigos.

Figura 1.22

Sentinel 2.0



El sistema de armas puede operar en condiciones de baja visibilidad y durante la noche, gracias a una cámara de infrarrojos de tercera generación diseñada y fabricada por Escribano, además de contar con una cámara diurna (CCD) y un telémetro láser (LRF) para mejorar la precisión de disparo. El montaje con movimiento electromecánico incrementa considerablemente la precisión y estabilidad al disparar contra objetivos seleccionados, absorbiendo el retroceso del arma y mejorando las capacidades de búsqueda, detección, seguimiento y neutralización de posibles amenazas mediante el uso de tecnología optrónica avanzada.

CAPÍTULO 2

2.1 Metodología.

En esta sección se describe el proceso de diseño de la estación remota de control de armas, este capítulo abarca, desde la generación de posibles soluciones, hasta las consideraciones éticas y legales del proyecto.

2.2 Identificación del problema

El objetivo del proyecto se centró en dar solución a la alta exposición a la que se enfrentan los guardacostas cuando usan las ametralladoras en la cubierta de las embarcaciones al enfrentarse con embarcaciones que realizan actividades ilícitas.

2.3 Análisis de requerimientos

Para abordar la problemática se consideraron diferentes factores de diseño, el diseño mecánico se realizó usando como de base el diseño ya existente de la tesis titulada “Diseño de un soporte con giro estabilizado para una ametralladora Browning M2 en las lanchas Guardacostas tipo PGO” [14]

Una parte esencial para el desarrollo del proyecto fueron las reuniones con el cliente DINDES para abordar requerimientos técnicos y de diseño deseados, a partir de múltiples reuniones se llegó a la siguiente tabla.

Tabla 2.1 *Requerimientos del cliente*

CLIENTE: DINDES	PROYECTO: ESTACION REMOTA DE CONTROL DE ARMAS
Especificaciones	
Requerimientos	Descripción
Seguridad	Eliminar a lo mínimo posible la exposición humana al peligro, proveer protocolos de seguridad al accionamiento del sistema para evitar acciones no deseadas por errores humanos.
Escalabilidad	La idea por implementar debe ser lo suficientemente flexible a incluir diferentes tipos de tecnologías a futuro para mejoras continuas.
Estándares Militares	Debido al uso y exposición climática que se le dará en alta mar, los elementos seleccionados deberán cumplir con estándares militares para su implementación.
Adaptabilidad	La solución debe poderse adaptar a las diferentes embarcaciones disponibles en la marina ecuatoriana.
Monitoreo	Se deberá monitorear y tener un historial de acciones y permisos dados para operar la estación de armas.
Tecnologías	La tecnología por implementar debe ser lo suficientemente fácil de usar y aprender para dar capacitación a los tripulantes de la embarcación.

2.4 Soluciones

2.4.1 Soluciones alternativas

De la problemática y requerimientos antes mencionados salieron las siguientes ideas de solución:

- **Idea 1:** Comprar e implementar un sistema RWS existente el mercado global.
- **Idea 2:** Diseñar un blindaje mejorado en la estructura de la estación de armas.
- **Idea 3:** Diseñar un sistema remoto de control similar a un RWS específico para las embarcaciones ecuatorianas.
- **Idea 4:** Diseñar un sistema de drones armados para el combate y reconocimiento de embarcaciones enemigas.

2.4.2 Criterios de selección

Los criterios de selección a los que se llegaron a partir de las reuniones para elegir la idea adecuada fueron los siguientes:

- **Precio:** El sistema debe ser económicamente viable, se busca reducir los costos debido a la situación económica del país y la intención de implementarlo en muchas embarcaciones.
- **Escalabilidad:** La idea a implementar debe ser lo suficientemente flexible pues se piensa incluir diferentes tipos de tecnologías a futuro para mejoras continuas.
- **Funcionabilidad:** La facilidad de uso y diseño robusto son aspectos importantes que considerar para la implementación de un sistema en operaciones marítimas.
- **Facilidad de Implementación:** La implementación de un sistema no debe ser demasiado compleja, pues al existir diferentes tipos de embarcaciones la dificultad puede aumentar dependiendo del escenario.

Tabla 2.2 Criterios de selección

Criterios	Precio	Escalabilidad	Funcionabilidad	Implementación	$\sum +1$	Ponde
Precio	X	0	0,5	1	2,5	0,25
Escalabilidad	1	X	1	1	4	0,4
Funcionabilidad	0,5	0	X	1	2,5	0,25
Implementación	0	0	0	X	1	0,1
					10	1

Las ponderaciones de la Tabla 2.2. fueron generadas a partir de la relevancia de cada criterio frente a los demás obteniendo la siguiente jerarquía:

$$\text{Escalabilidad} > \text{Precio} = \text{Funcionabilidad} > \text{Facilidad de Implementación}$$

2.4.3 Matriz de decisión

Para generar un matriz de decisión primero se obtuvo la ponderación de relevancia de cada criterio de selección frente a cada propuesta de solución, así consiguió las siguientes tablas.

Tabla 2.3 Relevancia del Precio entre Ideas de solución

Precio	Idea 1	Idea 2	Idea 3	Idea 4	$\sum +1$	Ponderación
Idea 1	X	0	0	0	1	0,10
Idea 2	1	X	1	1	4	0,40
Idea 3	1	0	X	0,5	2,5	0,25
Idea 4	1	0	0,5	X	2,5	0,25
					10	1

Tabla 2.4 Relevancia de la escalabilidad entre Ideas de solución

Escalabilidad	Idea 1	Idea 2	Idea 3	Idea 4	$\sum +1$	Ponderación
Idea 1	X	1	0	0,5	2,5	0,25
Idea 2	0	X	0	0	1	0,10
Idea 3	1	1	X	1	4	0,40
Idea 4	0,5	1	0	X	2,5	0,25
					10	1

Tabla 2.5 Relevancia de la funcionabilidad entre Ideas de solución

Funcionabilidad	Idea 1	Idea 2	Idea 3	Idea 4	$\sum +1$	Ponderación
Idea 1	X	1	0,5	1	3,5	0,35
Idea 2	0	X	0	0	1	0,10
Idea 3	0,5	1	X	1	3,5	0,35
Idea 4	0	1	0	X	2	0,20
					10	1

Tabla 2.6 Relevancia de la facilidad de implementación entre Ideas de solución

Implementación	Idea 1	Idea 2	Idea 3	Idea 4	$\sum +1$	Ponderación
Idea 1	X	0	0,5	0,5	2	0,20
Idea 2	1	X	1	1	4	0,40
Idea 3	0,5	0	X	0,5	2	0,20
Idea 4	0,5	0	0,5	X	2	0,20
					10	1

Por último, con las ponderaciones, se armó una tabla final de criterios de selección vs ideas de solución la cual es nuestra matriz de decisión.

Tabla 2.7 Criterios de selección vs Ideas de solución

Conclusión	Precio	Escalabilidad	Funcionabilidad	Implementación	Σ	Prioridad
Idea 1	0,025	0,1	0,0875	0,02	0,2325	2
Idea 2	0,1	0,04	0,025	0,04	0,2050	3
Idea 3	0,0625	0,16	0,0875	0,02	0,3300	1
Idea 4	0,0625	0,1	0,05	0,02	0,2325	2

Se puede observar que siguiendo este proceso iterativo terminamos con un orden de prioridad, el cual pone como prioridad número 1 la idea número 3, la cual es “Diseñar un sistema remoto de control tipo RWS específico para las embarcaciones ecuatorianas”.

2.5 Etapas del diseño

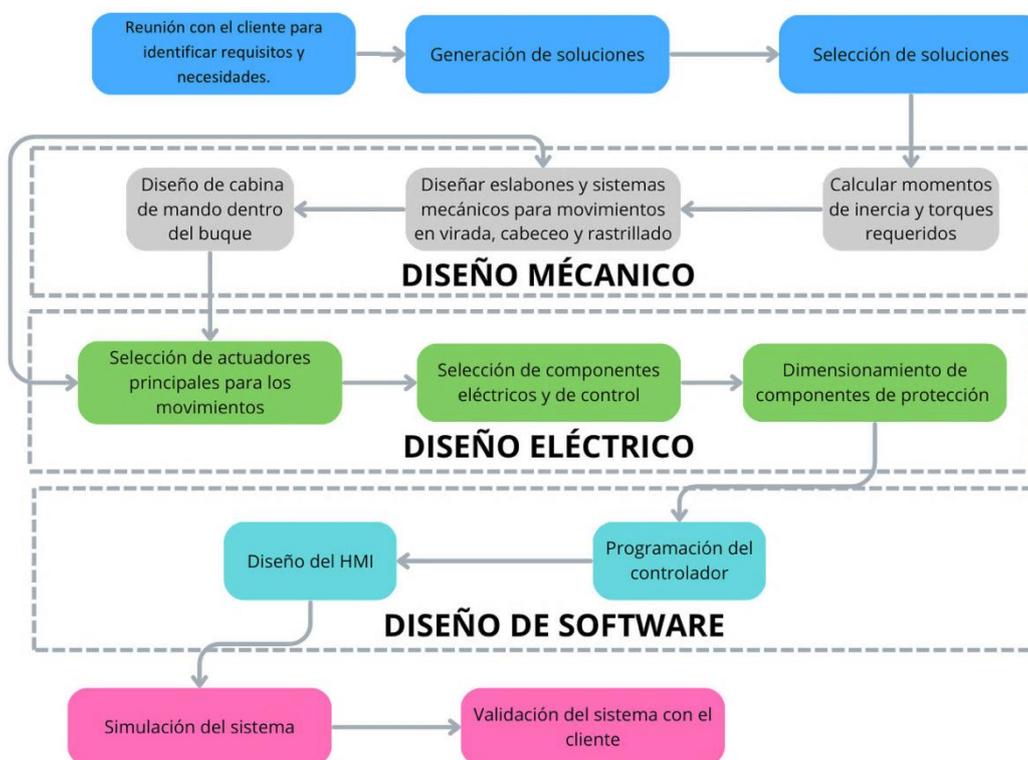
Definir el proceso de diseño fue una etapa crucial para el desarrollo del proyecto. La selección del proceso de diseño se realizó en función de las necesidades y conveniencia del cliente, garantizando que los objetivos establecidos fueran alcanzados de manera eficiente. A continuación, se presenta un diagrama que detalla el proceso de diseño implementado en este proyecto. Es importante destacar la constante iteración entre las fases de diseño mecánico y eléctrico, lo cual fue fundamental para lograr una adecuada sinergia entre ambos elementos.

Este enfoque permitió que el diseño eléctrico y mecánico evolucionaran en paralelo, asegurando la compatibilidad y optimización de cada componente del sistema.

La interacción entre estas dos áreas permitió una mejora continua del diseño, ya que cualquier modificación en una de las fases se reflejaba de inmediato en la otra, lo que facilitó la identificación temprana de posibles conflictos o limitaciones.

Figura 2.1

Proceso de diseño para la elaboración de la solución



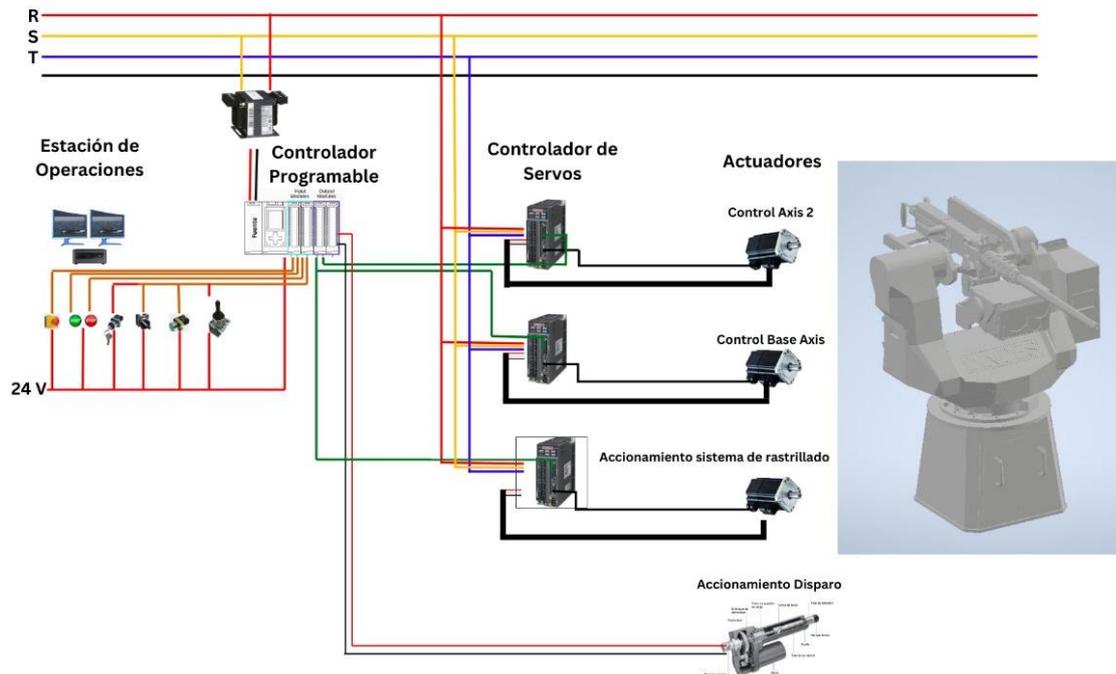
2.6 Diseño conceptual

Primero se desarrolló la arquitectura del sistema de control para las ametralladoras de las embarcaciones de la Armada Ecuatoriana. Estas embarcaciones operan con una red trifásica de 440 V, que proporciona energía a los diversos componentes del sistema.

El control central se lleva a cabo a través de un autómatas programable (PLC), que se encarga de procesar las señales y ejecutar los movimientos de la ametralladora.

La estación de operaciones, donde el operador interactúa con el sistema, está equipada con periféricos de entrada y salida que permiten controlar y supervisar el funcionamiento de la ametralladora, así como los parámetros del sistema y los actuadores. Para el accionamiento de la ametralladora, se emplean un actuador lineal y tres servomotores. Los servomotores son los responsables del movimiento en los ejes horizontal y vertical, además de accionar el sistema de rastrillado del arma. El actuador lineal tiene como función activar el percutor, permitiendo el disparo.

Por último, la estación de armas alberga los mecanismos que permiten el cambio de posición y el accionamiento de la ametralladora, asegurando un funcionamiento preciso y eficiente en diversas situaciones operativas.

Figura 2.2*Concepto de la arquitectura*

2.7 Especificaciones Técnicas

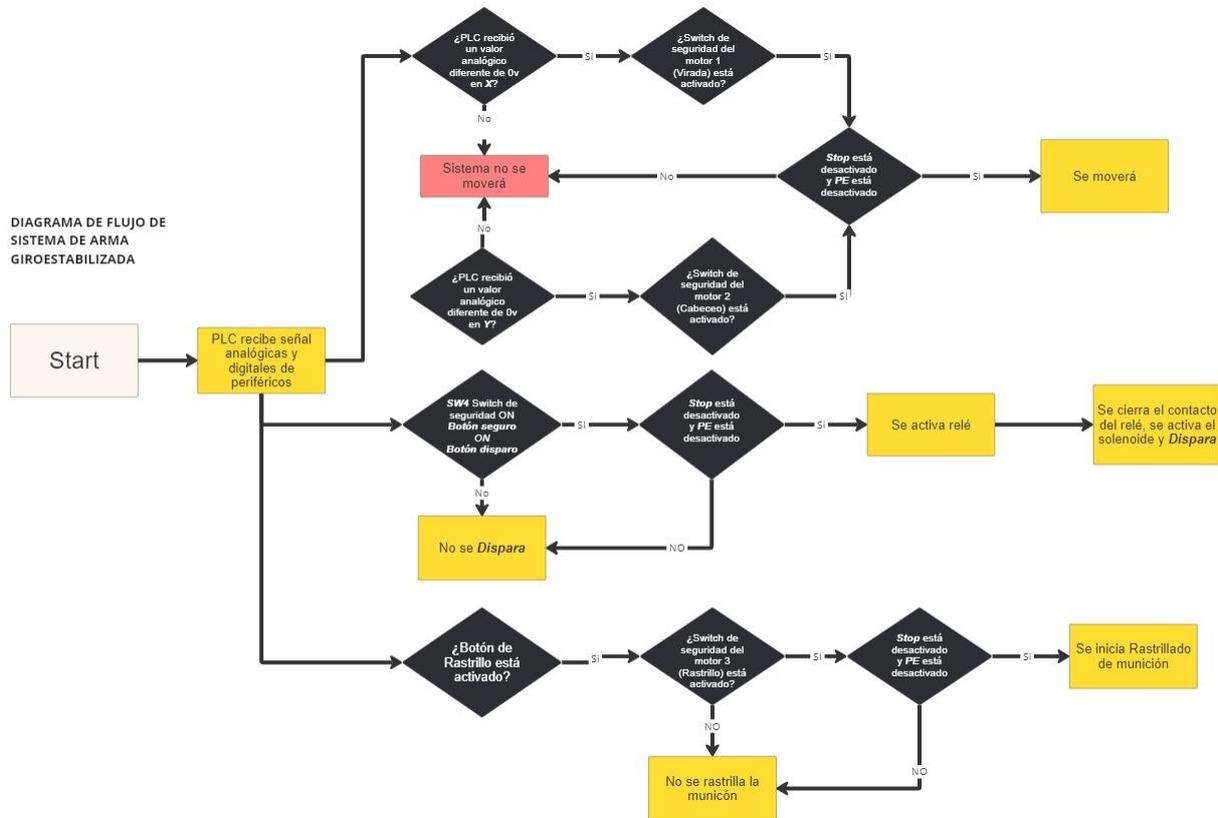
2.7.1 Flujo de Funcionamiento

Se usó el siguiente flujo para programar el funcionamiento del sistema. Fue necesario definir las condiciones específicas a cumplirse para la activación de cada mecanismo, estableciendo claramente las entradas y salidas correspondientes a cada acción. Además, se implementaron protocolos de seguridad rigurosos, como la verificación de límites de operación, la activación de sistemas de emergencia en caso de fallos y la implementación de redundancias en los componentes críticos para garantizar la seguridad operativa.

El flujo de trabajo también incluyó la programación de secuencias de operación, asegurando que los mecanismos se activaran en el orden correcto y en función de las condiciones predefinidas. También se incluyó la integración de mecanismos de interbloqueo para evitar activaciones simultáneas que pudieran comprometer la integridad del equipo o la seguridad del personal.

Figura 2.3

Flujo de funcionamiento



2.7.2 Control de Movimientos

Para el control de los movimientos de los servomotores, se utilizó el sistema de Motion Control de Siemens, específicamente en el modo de Position Control, lo que permitió mejorar significativamente la precisión en las operaciones. Este sistema fue elegido por su capacidad de gestionar de forma eficaz la posición de los servomotores, algo fundamental en aplicaciones donde se requiere alcanzar y mantener posiciones específicas con gran exactitud.

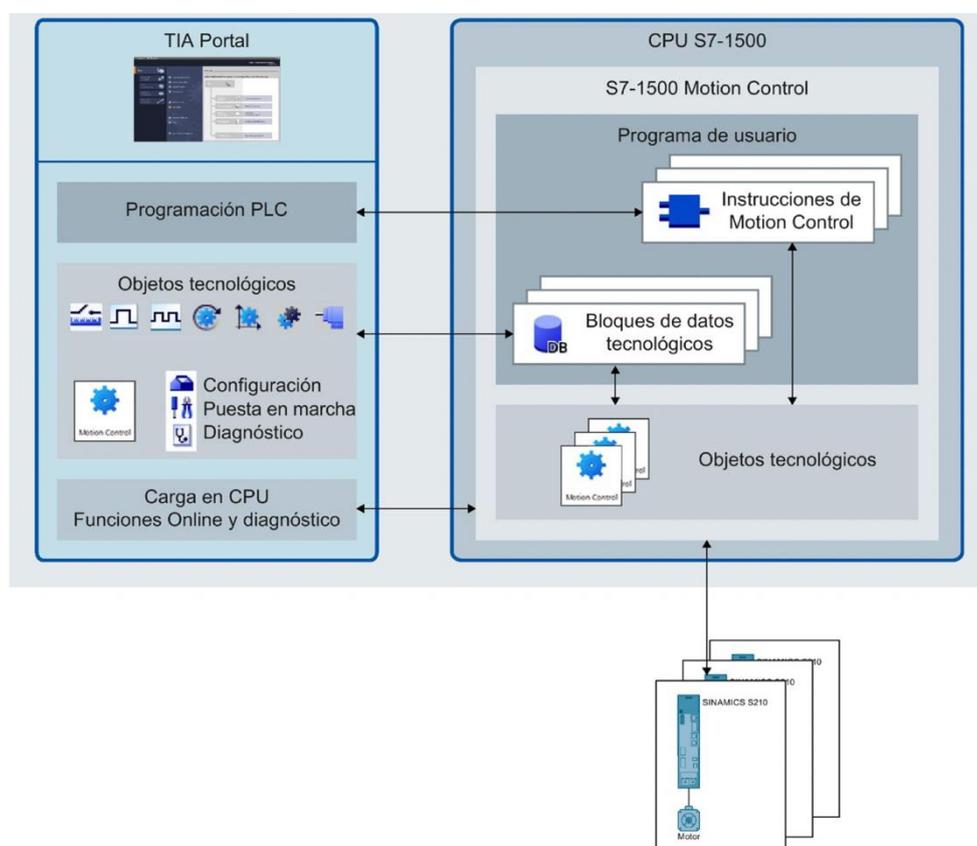
El Position Control permite definir no solo las posiciones deseadas, sino también controlar parámetros como la velocidad y aceleración con la que los servomotores deben moverse. La capacidad del sistema para corregir automáticamente cualquier desviación de la

posición programada, mediante el uso de encoders, fue clave para garantizar una alta precisión y estabilidad. [15]

La figura siguiente muestra un esquema de las interfaces de usuario y la integración de “Motion Control” en la CPU S7-1500.

Figura 2.4

Integración Motion Control



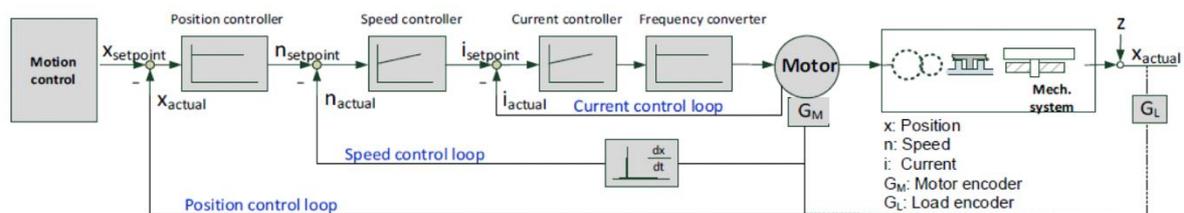
Nota. Obtenido de [16]

En el sistema de Motion Control, el lazo de control trabaja constantemente para ajustar y mantener la posición, velocidad o aceleración de un actuador. Primero, un sensor mide el estado actual del actuador y envía esta información al controlador. El controlador compara esta medición con el valor objetivo, o *setpoint*, y usa un algoritmo PID (Proporcional-Integral-Derivativo) para calcular la señal de control necesaria. Esta señal se envía al actuador, que hace

los ajustes físicos necesarios. Luego, el sensor vuelve a medir el estado y el proceso se repite, asegurando que el sistema mantenga la precisión y estabilidad deseadas. En el TIA Portal, esta operación se configura y gestiona mediante bloques de función diseñados específicamente para “Motion Control”, permitiendo que todo funcione de manera fluida y en tiempo real. [16]

Figura 2.5

Motion Control (Positioning Control Loop)



Nota. Notar que existe un setpoint para cada variable a controlar.

2.8 Consideraciones éticas y legales

En el desarrollo de un sistema de control remoto para ametralladoras en embarcaciones de la Guardia Costera, se consideró cuidadosamente tanto las implicaciones éticas como las legales para garantizar un enfoque responsable y alineado con las normativas vigentes. El diseño del sistema no solo busca precisión y seguridad, sino que también debe adherirse a principios éticos fundamentales, asegurando que el sistema se utilice únicamente para su propósito previsto y evitando cualquier desviación que pudiera tener consecuencias negativas.

Desde el punto de vista legal, se enfocó en cumplir con las normativas nacionales e internacionales relacionadas con los estándares mecánicos y eléctricos. En el ámbito mecánico, se ha seguido rigurosamente las normas de diseño y fabricación para garantizar que cada componente del sistema sea fiable y seguro. Esto incluye aspectos como la resistencia estructural y las tolerancias de fabricación, similares a cómo un ingeniero civil se asegura de que un puente pueda soportar el peso del tráfico sin riesgo de colapso. En el caso de nuestro

sistema, esto significa que cada pieza debe funcionar correctamente bajo las condiciones previstas, asegurando una operación segura y efectiva.

En términos eléctricos, se han aplicado regulaciones estrictas para el diseño y la implementación de los sistemas eléctricos y de control. Se han tomado medidas para cumplir con los códigos internacionales de seguridad eléctrica, como la protección contra sobrecargas y cortocircuitos.

Además de estas consideraciones técnicas, es fundamental reflexionar sobre el impacto más amplio de nuestra tecnología en los derechos humanos y la seguridad pública. El desarrollo de sistemas de control remoto para armamento debe hacerse con una mentalidad que priorice la dignidad humana y el bienestar general. La transparencia en el uso y la aplicación de estos sistemas es esencial para cumplir con las expectativas éticas y legales, y para promover un desarrollo tecnológico que no solo sea innovador, sino también responsable y respetuoso de los principios fundamentales. Esto garantiza que, al igual que un arquitecto diseña un edificio pensando en la seguridad y la funcionalidad, nosotros diseñamos nuestro sistema teniendo en cuenta su impacto ético y legal en la sociedad.

CAPÍTULO 3

3.1 Resultados y análisis

En esta sección se presentará los modelos CAD de todo el sistema encargado de los movimientos de la ametralladora, se explicará el mecanismo usado en cada eje para su correcto funcionamiento en conjunto a los servomotores seleccionados. Así mismo se presentará el estudio de elementos finitos de las piezas más relevantes. Adicional a esto se presentará el tablero de control, cabina de mando, y una breve simulación de todo el sistema en funcionamiento.

3.1.1 *Concepto de Entorno*

Se logró configurar un entorno con tres elementos clave para que el sistema funcione de manera eficiente y segura, brindando a los operadores un ambiente adecuado y sin riesgos.

Estación de mando: Le permite al operador controlar la ametralladora de forma remota desde un lugar seguro, lejos del peligro. Esta estación tiene todos los periféricos necesarios para realizar cada acción, además de un tablero eléctrico ubicado en la parte trasera.

Interfaz de usuario: Sirve para que el operador pueda monitorear en tiempo real todas las acciones del sistema, lo que garantiza un control más preciso de cada operación.

Estación de armas: Está ubicada en la cubierta de la embarcación, donde queda expuesta al fuego enemigo. Esta estación es capaz de moverse en los ejes horizontal y vertical para ajustar el ángulo de disparo, y también permite rastrillar el arma y accionar el percutor de la ametralladora.

Figura 3.1

Elementos del Sistema de Control de Armas



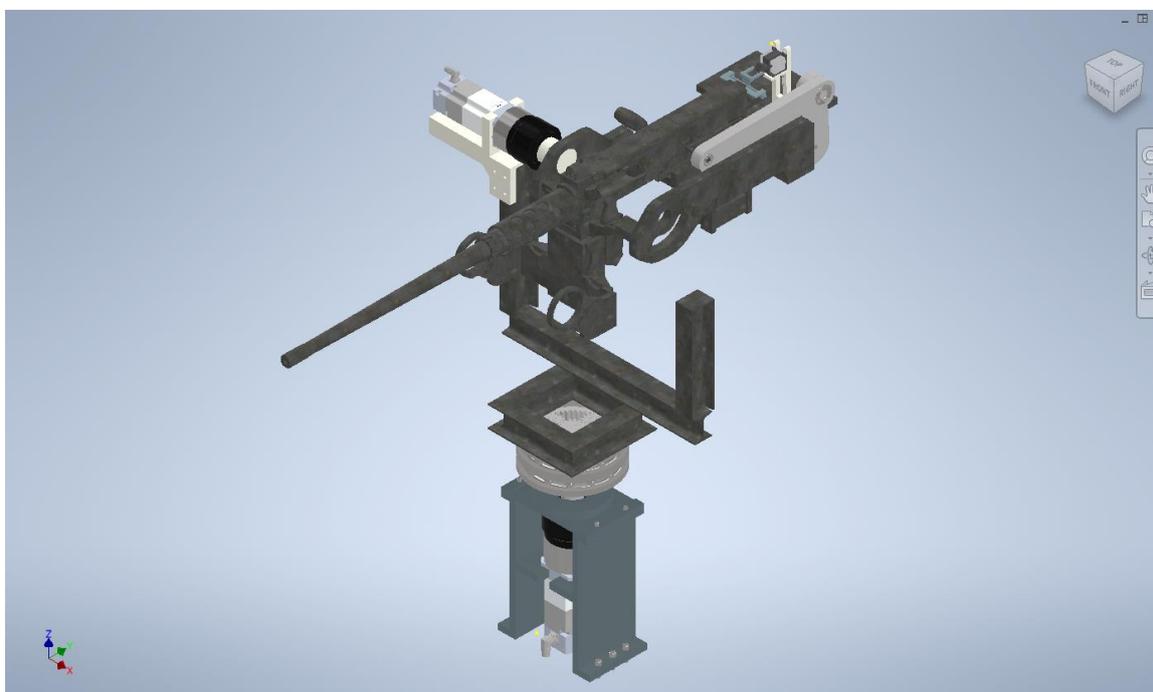
3.2 Diseño Mecánico

3.2.1 Modelo completo de la estructura Interna de la estación de armas

El modelo en 3D de la estructura de arma contiene todos los mecanismos necesarios para realizar los movimientos y accionamientos para su correcto funcionamiento. La estructura cuenta con 3 servomotores, 1 para el movimiento horizontal o “virada”, 1 para el movimiento vertical o “cabeceo”, 1 para recargar el arma o “rastrillar” y 1 actuador lineal o solenoide para el “disparo” del arma.

Figura 3.2

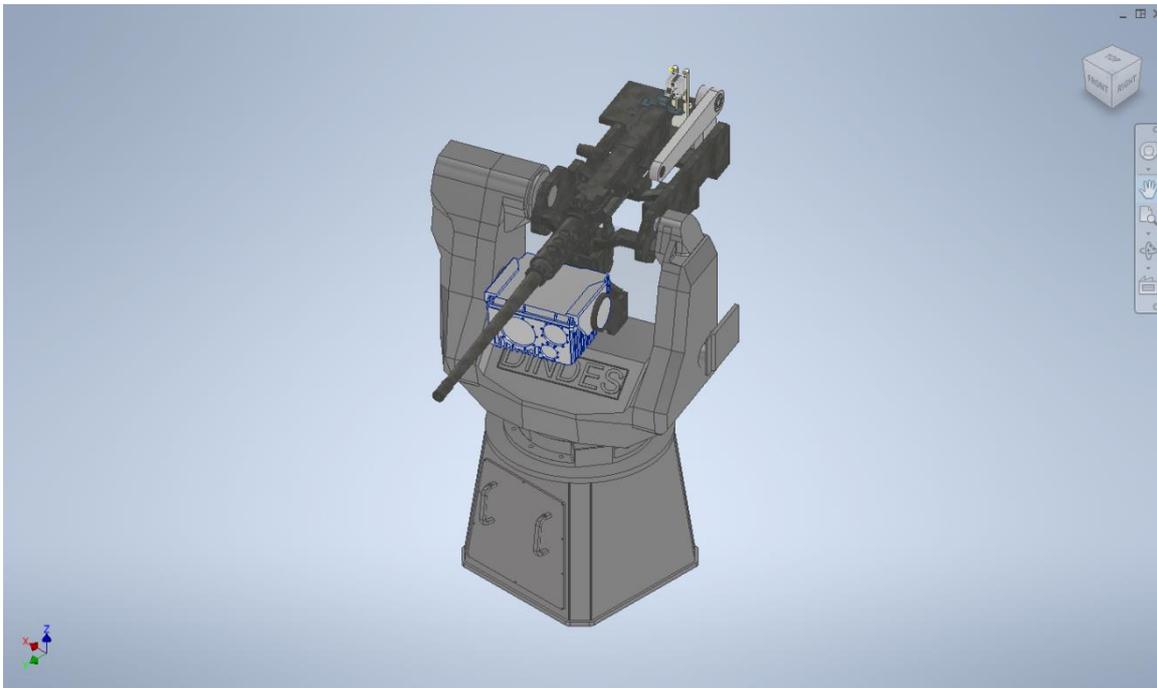
Estructura interna de la estación de armas



A continuación, se muestra el ensamble completo de la estación de armas ya existente con las correspondientes adecuaciones mecánicas para la actuación de los mecanismos.

Figura 3.3

Modelo completo de la estación de armas

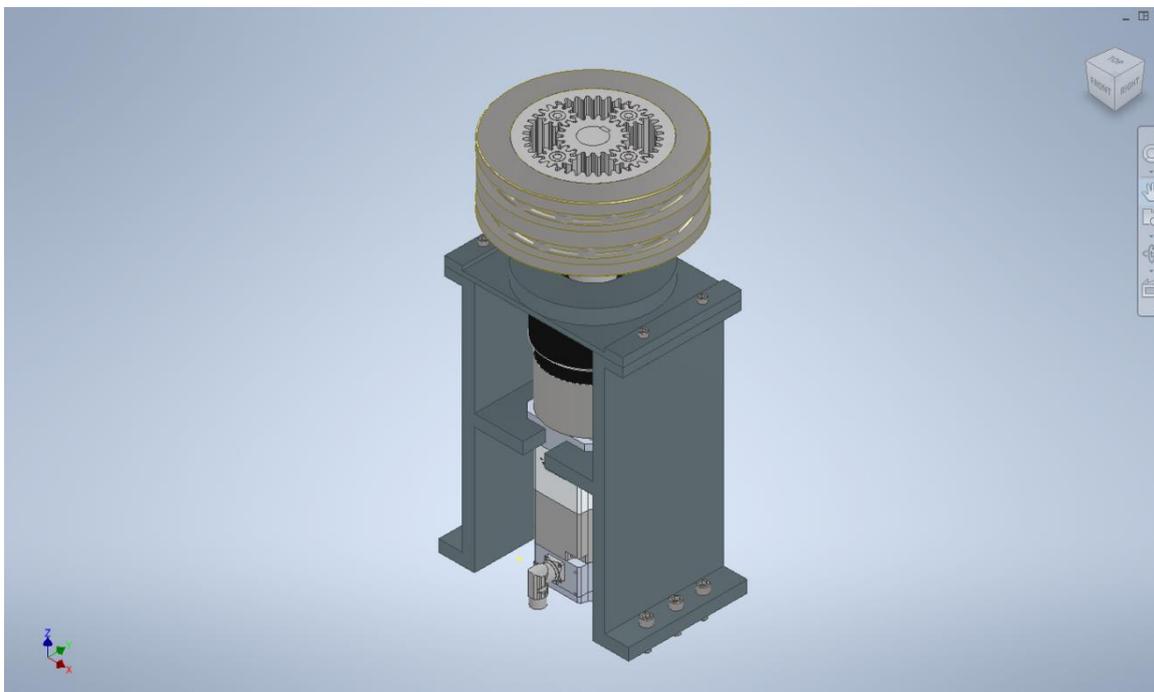


3.2.2 Mecanismos para el movimiento “virada”

Este mecanismo es el encargado de mover a toda la estructura de manera “horizontal”, se observa que cuenta con varios engranes seleccionados acorde a la velocidad, aceleración y torque requerido. En este caso se diseñó un sistema de engranes planetarios con una reducción de velocidad 2:1 o aumento de torque de 1:2, los cálculos pertinentes al diseño de los engranajes y selección de actuadores se detallan en Apéndice A.

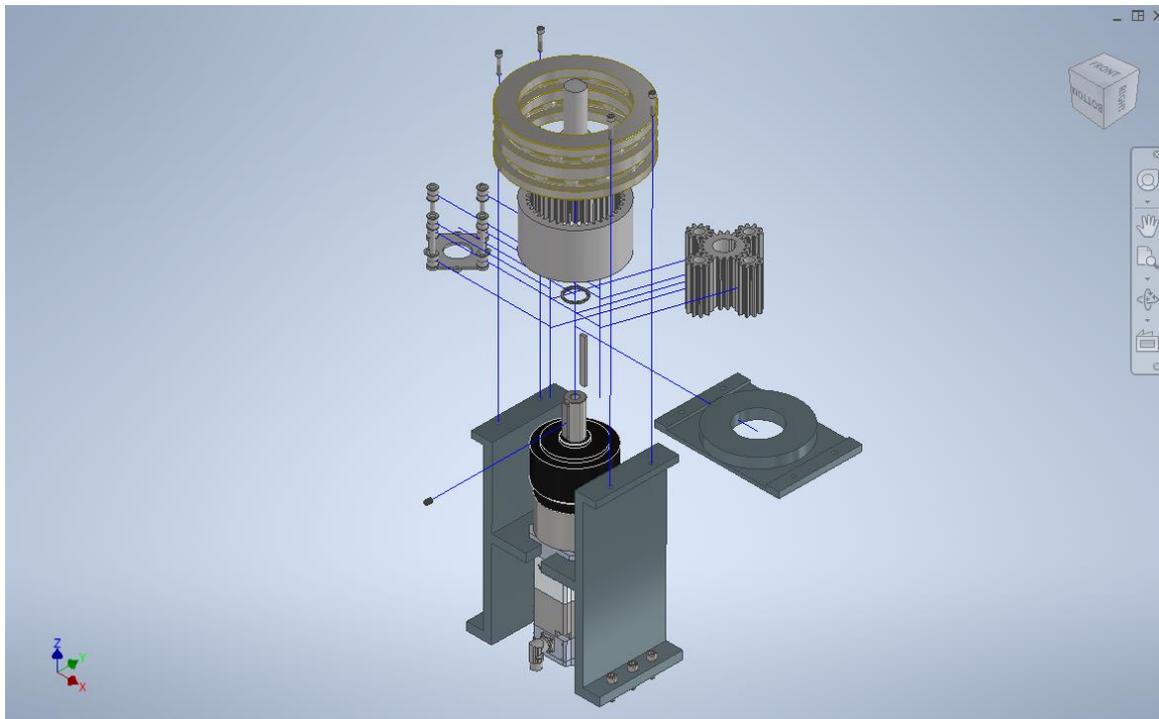
Figura 3.4

Ensamble Actuador - Reductor - Engranaje Planetario - Rodamientos de la estructura



En la siguiente imagen se observa la vista explotada del sistema de engranes planetarios junto a la estructura sobre la que se soporta y la forma de ensamblarse a su actuador (servo motor).

El mecanismo cuenta con 4 engranes rectos de 10 dientes que funcionan como planetas, 1 piñón de 20 dientes que funciona como sol y la corona con 40 dientes, con este mecanismo se consigue una reducción de 2:1 sumado la reducción proporcionada por la caja reductora siemens de 10:1 se logra alcanzar una reducción de velocidad de 20:1 y un aumento de torque de 1:20.

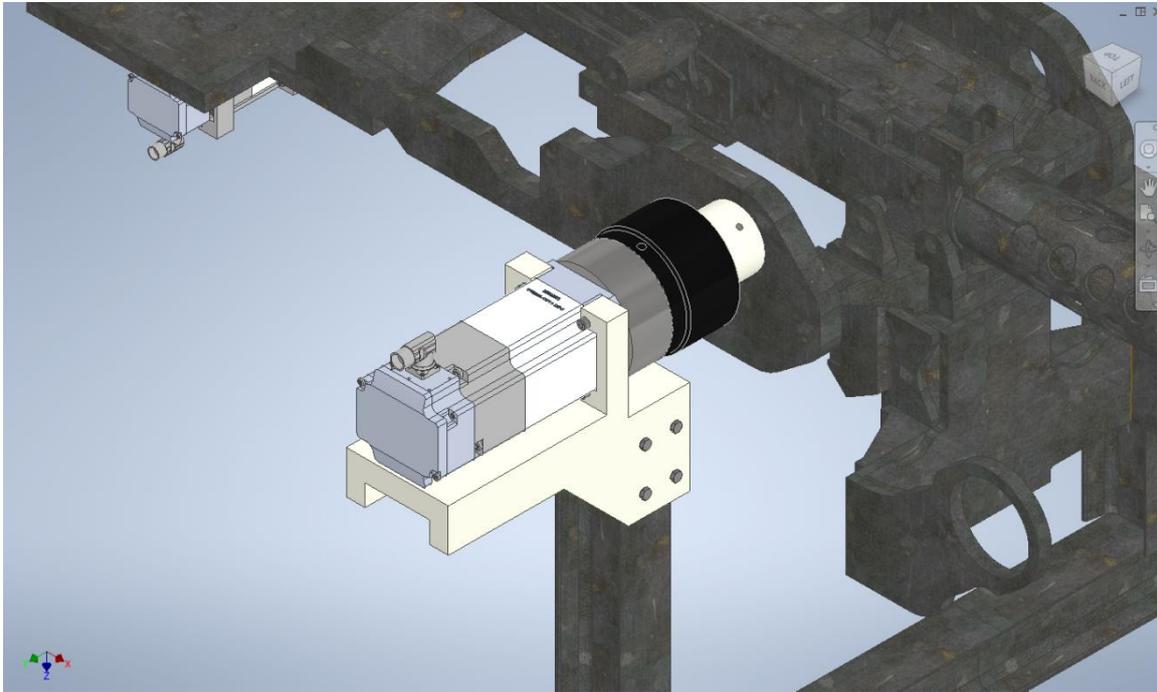
Figura 3.5*Explotado Engranaje planetario*

3.2.3 Mecanismo para el movimiento “cabeceo”

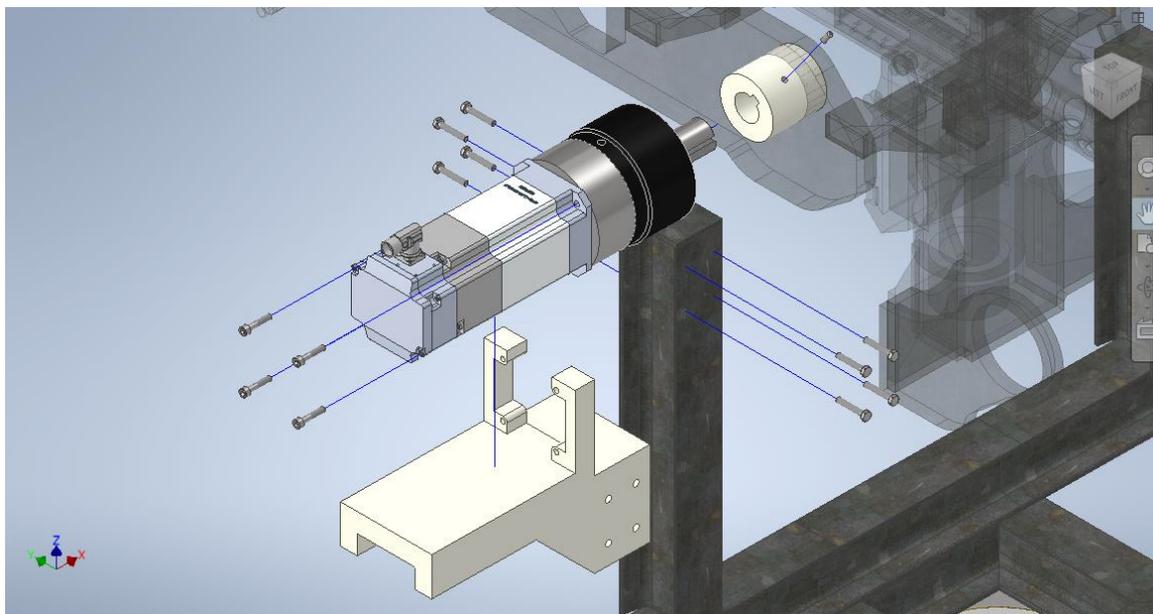
Este mecanismo es el encargado de rotar la estructura soporte-arma en el eje “Y” para cambiar el ángulo de disparo con respecto al suelo, el mecanismo está empotrado a la estructura interna principal de la estación de armas por medio de un acople/soporte a medida para el actuador, el servomotor tiene una caja reductora de 20:1, los cálculos pertinentes a la selección de actuadores se detallan en el Apéndice A.

Figura 3.6

Ensamble Marco - Actuador - Eje - Soporte Arma



Con la vista explotada se observa de mejor manera el ensamble de cada elemento en el mecanismo, así se puede notar que el eje del reductor de velocidad se acopla directamente al eje de rotación en cabeceo del arma.

Figura 3.7*Explotado mecanismo cabeceo*

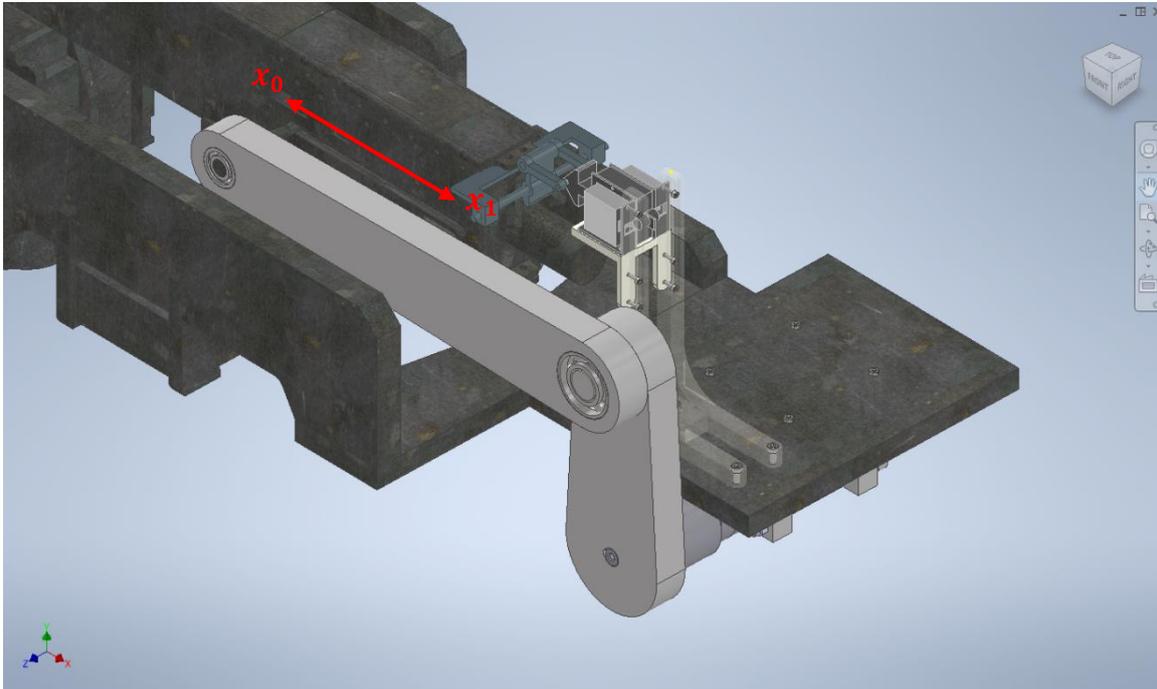
3.2.4 Mecanismo para rastrillar el arma

Para recargar la ametralladora se necesita realizar un movimiento de “rastrillado” desplazando el rastrillo del arma desde su posición de inicio x_0 hacia atrás hasta una posición x_1 y de regreso a x_0 , para esto se diseñó un mecanismo “*Rolling Slider*” impulsado por un servomotor.

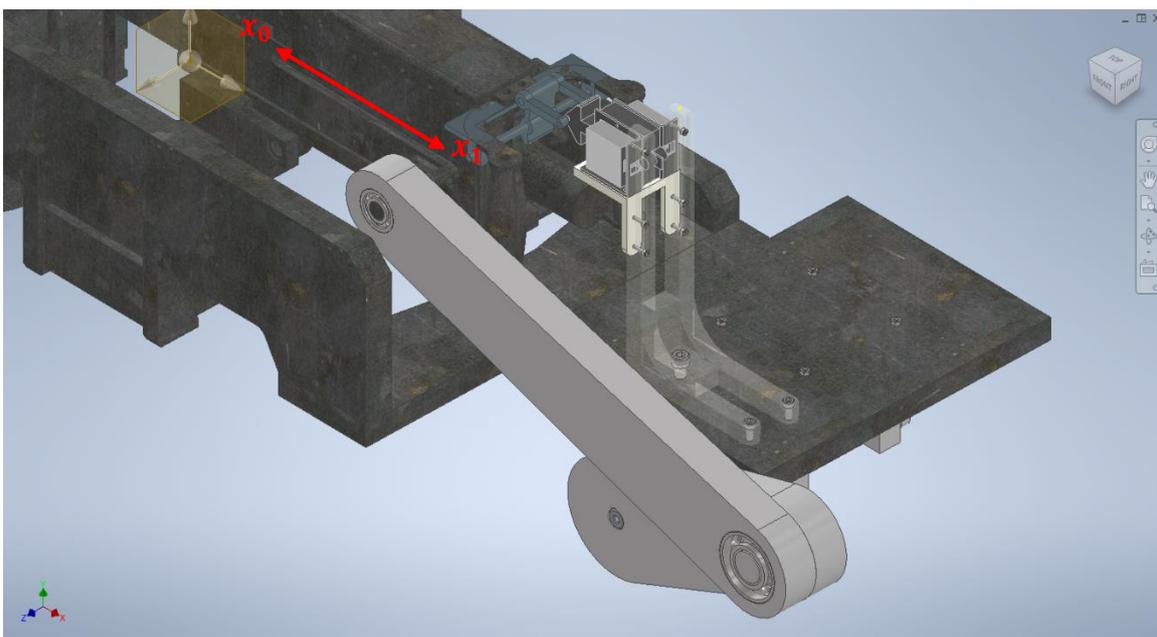
Un mecanismo “*Rolling Slider*” es una combinación de dos tipos de movimiento: deslizante (traslacional) y rodante (rotacional). En este mecanismo, una parte del sistema se desliza a lo largo de una trayectoria mientras otra parte rota simultáneamente convirtiendo el movimiento rotacional en lineal alternativo. [17]

Figura 3.8

Ensamble mecanismo "Rolling Slider" (Posición X_0)

**Figura 3.9**

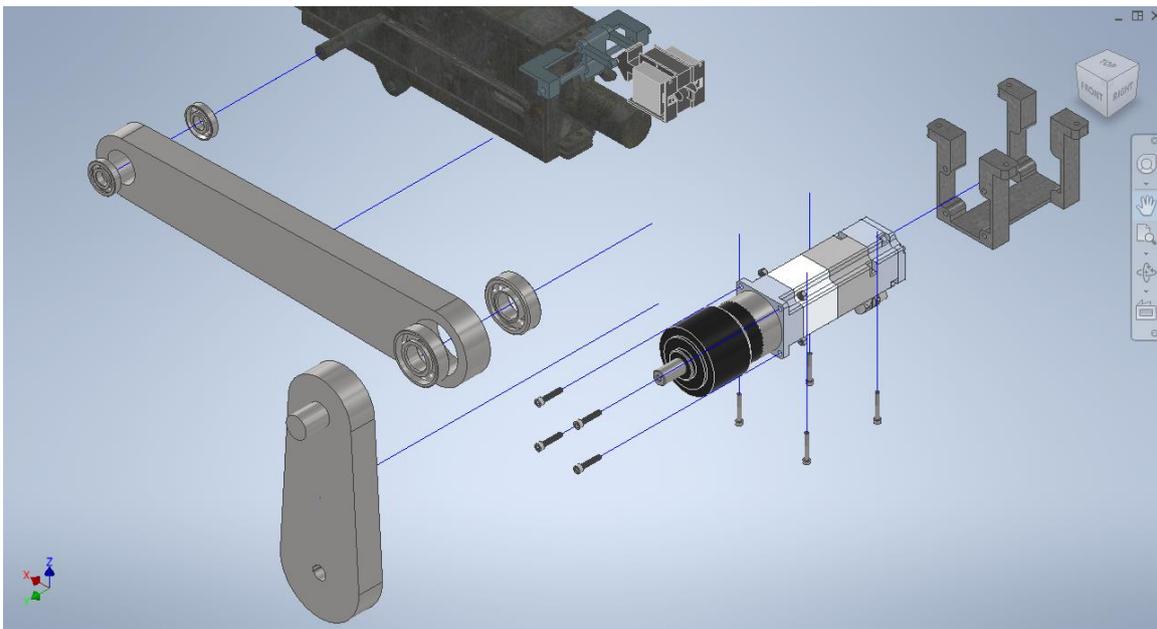
Ensamble mecanismo "Rolling Slider" (Posición X_1)



Con la vista explotada se observa cómo se acopla cada elemento al servomotor y al anclaje con el que se fija el actuador a la estructura principal, el final del enlace “biela” está acoplado al rastrillo del arma y el desplazamiento limitado de este a un solo movimiento lineal funciona de riel para desplazamiento final del mecanismo.

Figura 3.10

Explotado Mecanismo "Rolling slider" (Rastrillado)



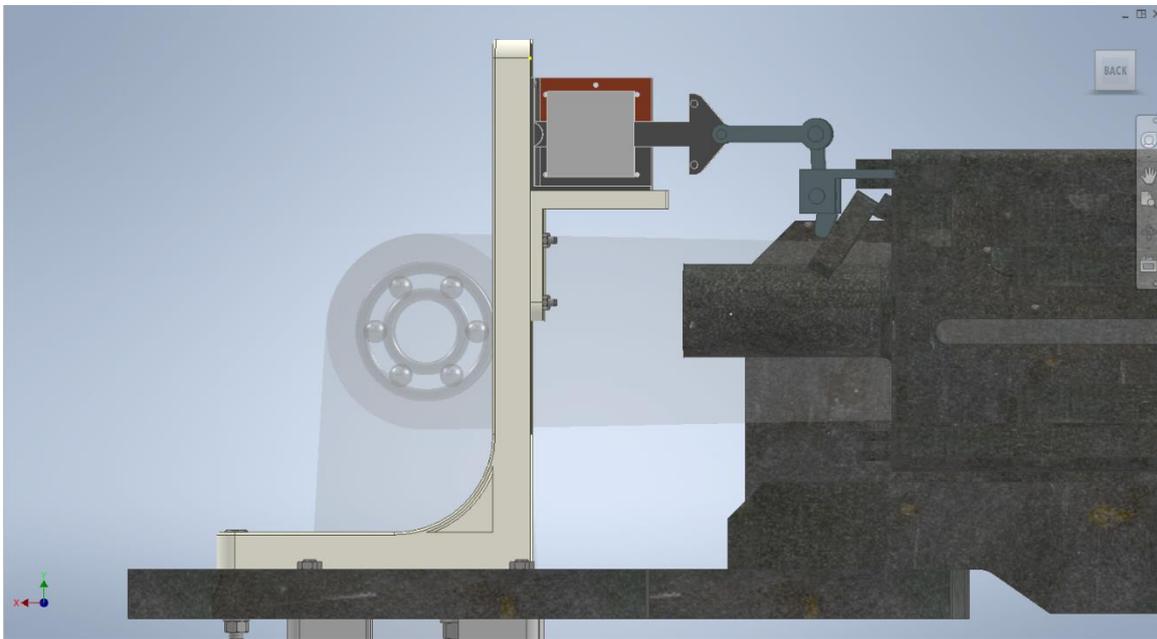
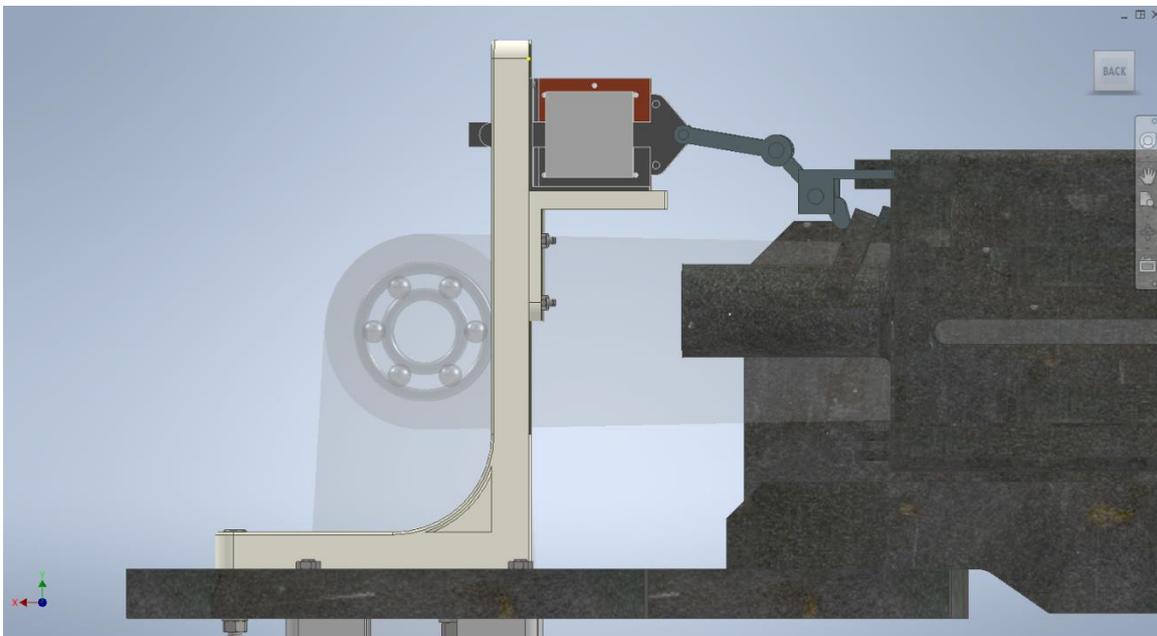
3.2.5 Mecanismo para disparar el arma

Para accionar el disparo de una ametralladora se necesita presionar el “gatillo”, mientras este activo el “gatillo” el mecanismo de disparo permanecerá funcionando y descargando municiones secuencialmente (ráfaga).

Para activar el “gatillo” de la ametralladora se diseñó un mecanismo de palanca con una leva en el extremo final. Este mecanismo será accionado por un solenoide lineal controlado por la estación de mando.

Este mecanismo transforma el movimiento lineal del solenoide en movimiento angular, así se sigue la misma trayectoria de movimiento del percusor del arma eliminando fuerzas indeseadas y por lo tanto esfuerzos no contemplados en simulaciones.

A continuación, se observa el mecanismo de activación del percusor en reposo la (Figura 3.9) y activo (Figura 3.10).

Figura 3.11*Mecanismo Disparo (Desactivado)***Figura 3.12***Mecanismo Disparo (Activo)*

3.3 Simulaciones

3.3.1 Simulación de elementos finitos

3.3.1.1 Elementos para el movimiento en cabeceo

Tabla 3.1 FEA Acople Cabeceo

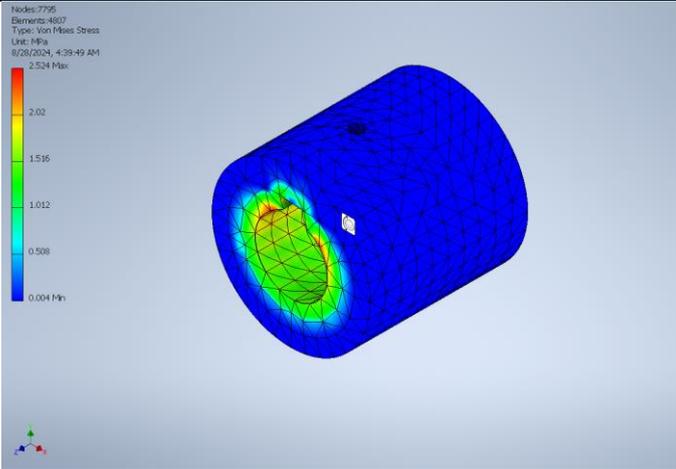
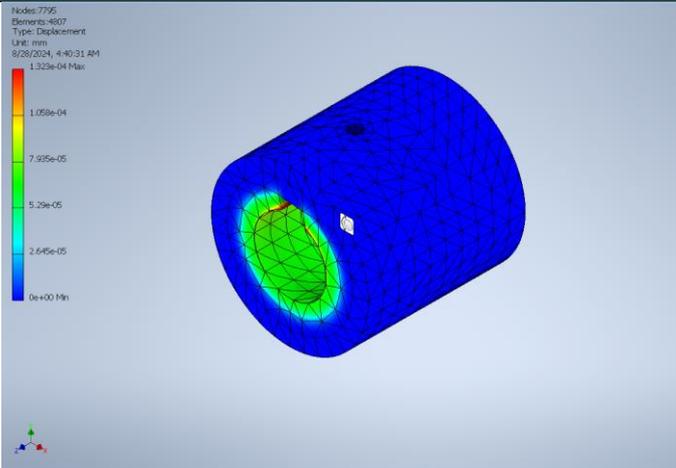
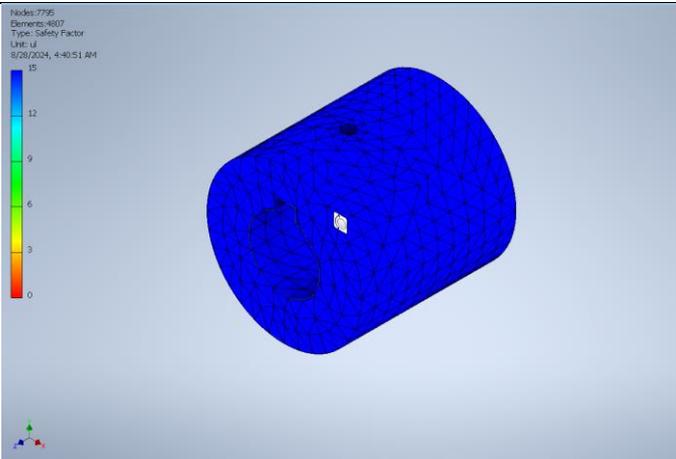
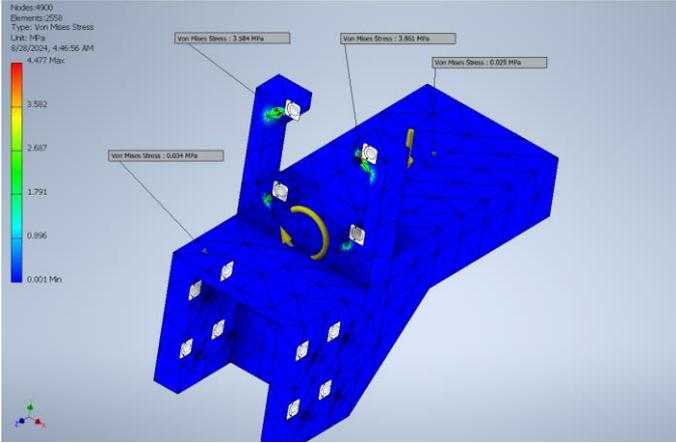
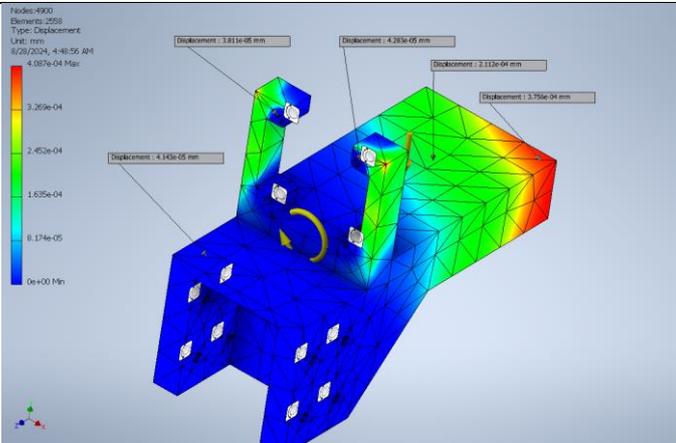
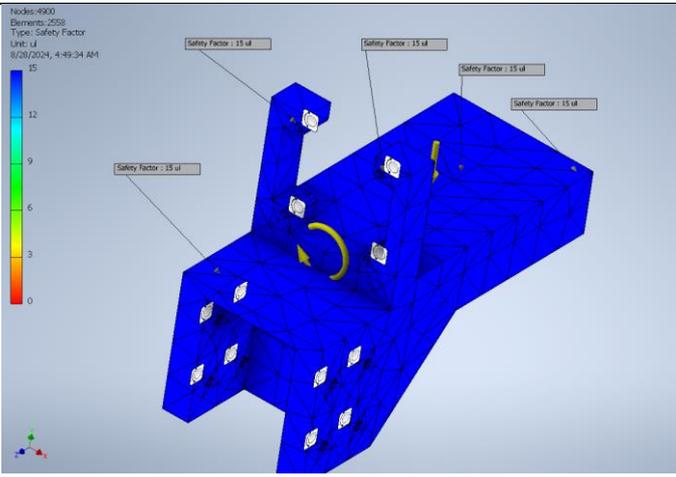
Analisis	Simulacion
<p>Esfuerzo maximo de Von Mises Aplicado en el acople del movimiento en Cabeceo.</p> <p><u>2.52 MPa</u></p>	
<p>Desplazamiento Maximo</p> <p><u>$1.32 \cdot 10^{-04} \text{ mm}$</u></p>	
<p>Valor maximo de factor de seguridad</p> <p><u>FS=15</u></p>	

Tabla 3.2 FEA Soporte Servomotor

Analisis	Simulacion
<p>Esfuerzo maximo de Von Mises Aplicado en el soporte del servomotor de Cabeceo.</p> <p><u>3.86 MPa</u></p>	
<p>Desplazamiento Maximo</p> <p><u>$3.75 \cdot 10^{-04} \text{ mm}$</u></p>	
<p>Valor maximo de factor de seguridad</p> <p><u>FS=15</u></p>	

3.3.1.2 Elementos para el movimiento en virada

Tabla 3.3 FEA Engranaje planetario

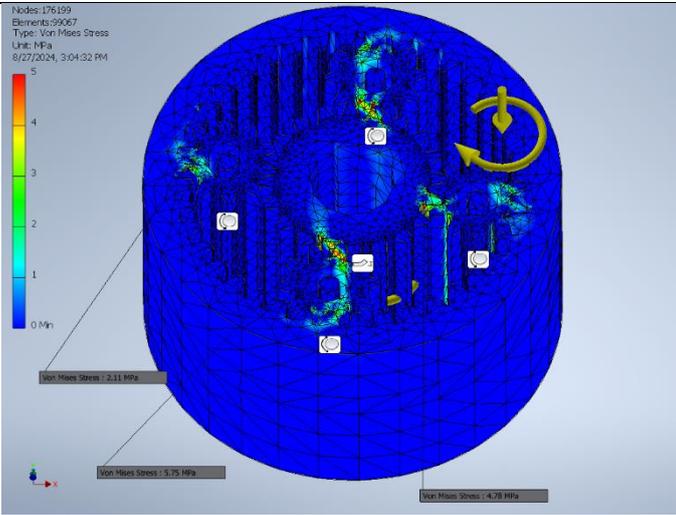
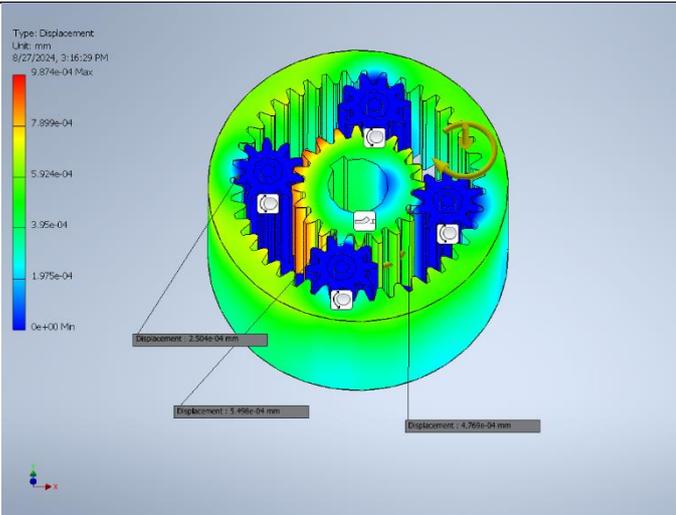
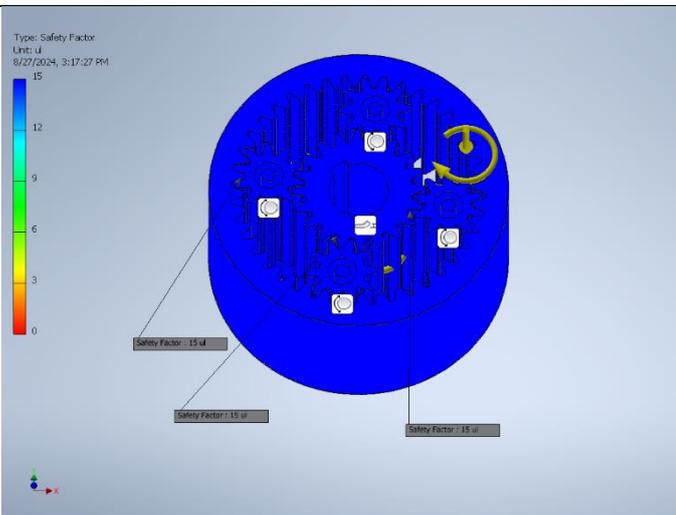
Analisis	Simulacion
<p>Esfuerzo maximo de Von Mises aplicado en el engranje planetario</p> <p><u>5.75 Mpa</u></p> <p>Al ser la cara de los dientes largas ayuda a distribuir mejor las fuerzas.</p>	 <p>Nodes: 176199 Elements: 99667 Type: Von Mises Stress Unit: MPa 8/27/2024, 3:04:32 PM</p> <p>Von Mises Stress : 2.11 MPa Von Mises Stress : 5.75 MPa Von Mises Stress : 4.78 MPa</p>
<p>Desplazamiento Maximo</p> <p><u>$5.49 \cdot 10^{-04} \text{ mm}$</u></p>	 <p>Type: Displacement Unit: mm 9.874e-04 Max 8/27/2024, 3:16:29 PM</p> <p>Displacement : 2.504e-04 mm Displacement : 5.49e-04 mm Displacement : 4.769e-04 mm</p>
<p>Valor maximo de factor de seguridad</p> <p><u>FS=15</u></p>	 <p>Type: Safety Factor Unit: u 15 8/27/2024, 3:17:27 PM</p> <p>Safety Factor : 15.0 Safety Factor : 15.0 Safety Factor : 15.0</p>

Tabla 3.4 FEA Soporte Virada

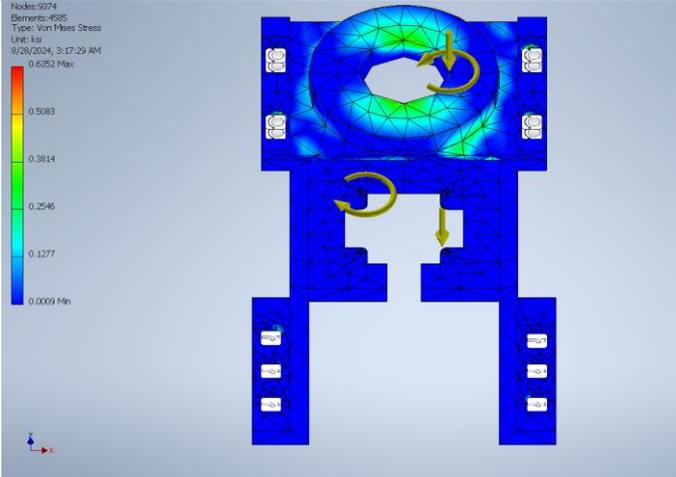
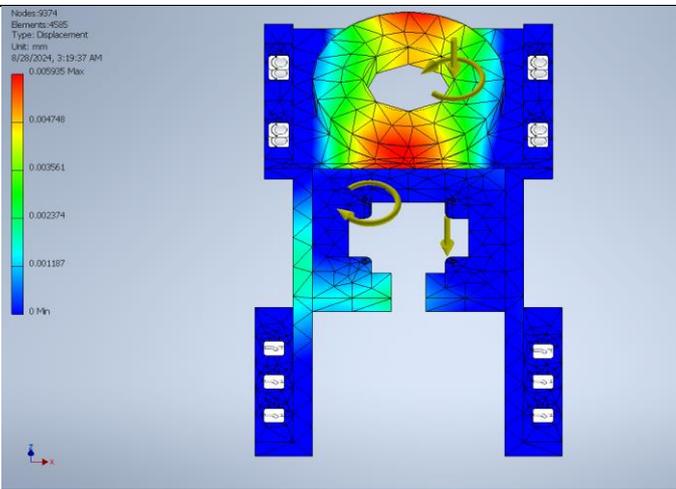
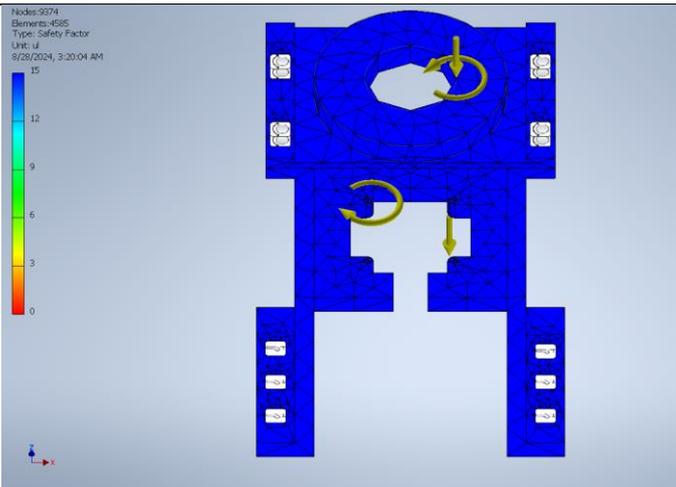
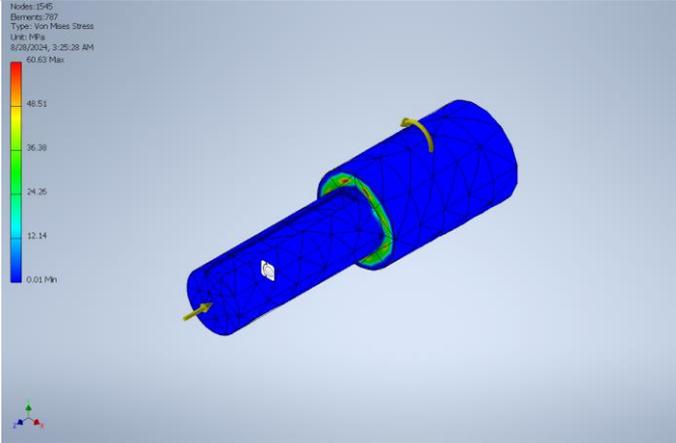
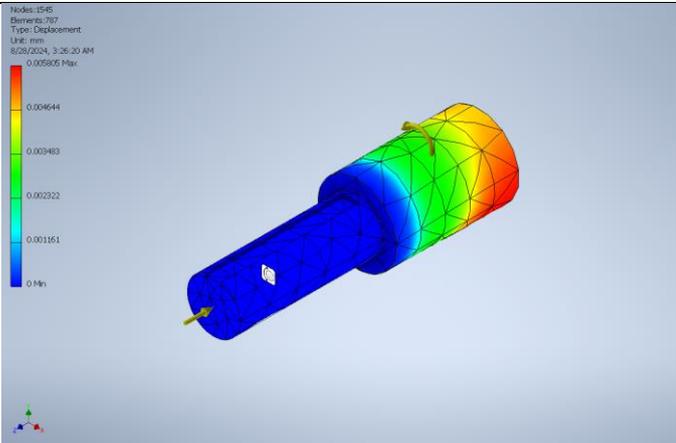
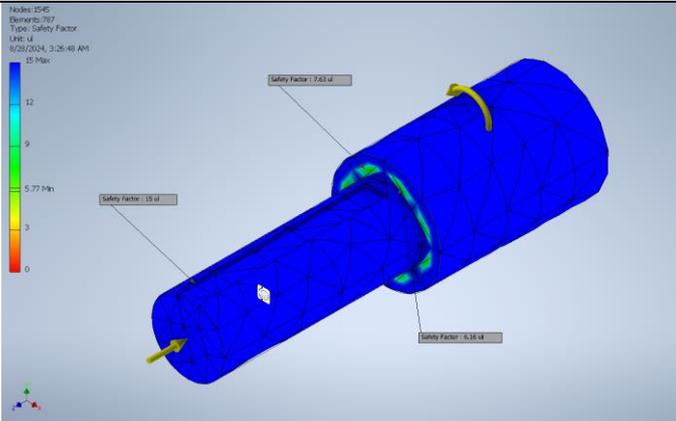
<i>Analisis</i>	<i>Simulacion</i>
<p>Esfuerzo maximo de Von Mises aplicado en el soporte de Virada</p> <p><u>5.75 Mpa</u></p>	 <p>Nodos: 9374 Elementos: 4585 Type: Von Mises Stress Unit: ksi 8/28/2024, 3:17:29 AM 0.6352 Max 0.5083 0.3814 0.2546 0.1277 0.0009 Min</p>
<p>Desplazamiento Maximo</p> <p><u>$5.94 \cdot 10^{-03} \text{ mm}$</u></p>	 <p>Nodos: 9374 Elementos: 4585 Type: Displacement Unit: mm 8/28/2024, 3:19:37 AM 0.009905 Max 0.004748 0.003561 0.002374 0.001187 0 Min</p>
<p>Valor maximo de factor de seguridad</p> <p><u>FS=15</u></p>	 <p>Nodos: 9374 Elementos: 4585 Type: Safety Factor Unit: ul 8/28/2024, 3:20:04 AM 15 12 9 6 3 0</p>

Tabla 3.5 FEA Eje planetario

Analisis	Simulacion
<p>Esfuerzo maximo de Von Mises aplicado en eje de Virada</p> <p><u>60.75 Mpa</u></p>	
<p>Desplazamiento Maximo</p> <p><u>$5.81 \cdot 10^{-03} \text{ mm}$</u></p>	
<p>Valor max de factor de seguridad</p> <p>FS=15</p> <p>Valor min de factor de seguridad</p> <p><u>FS=6.16</u></p>	

3.3.1.3 Elementos para rastrillar el arma

Tabla 3.6 FEA Manivela

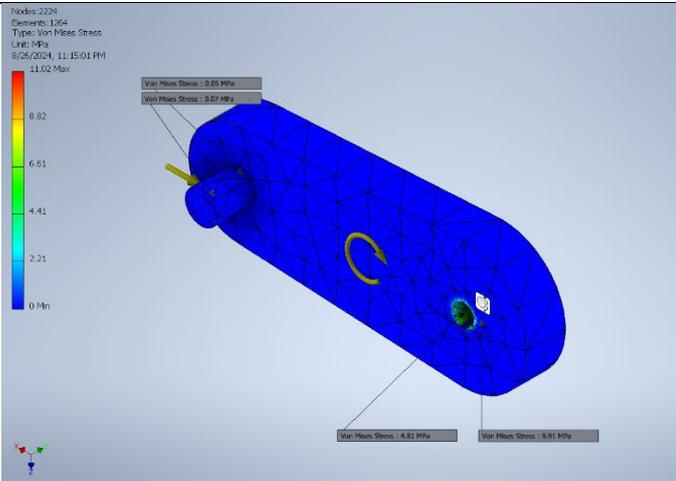
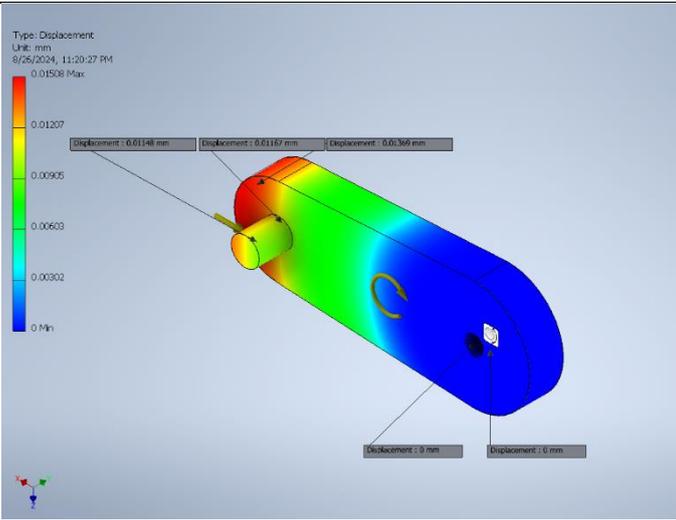
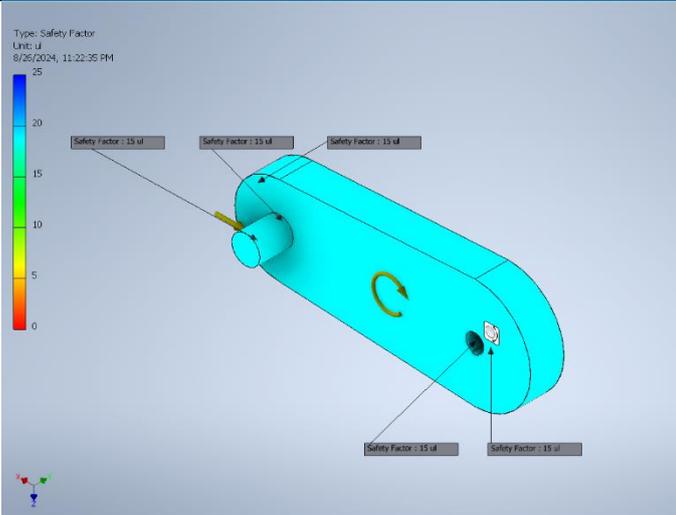
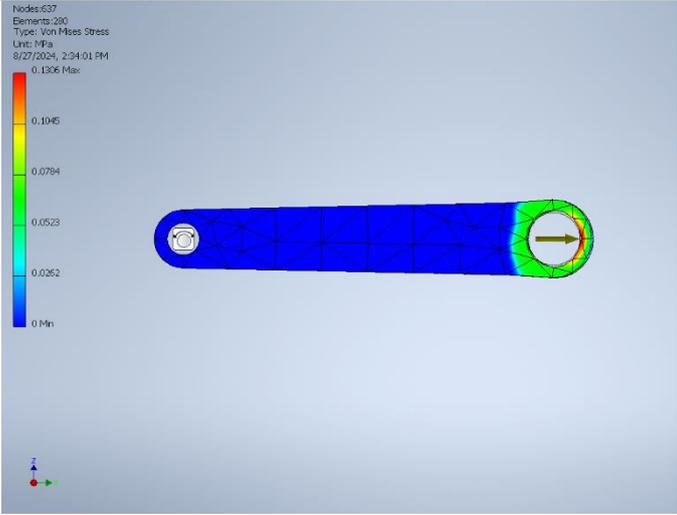
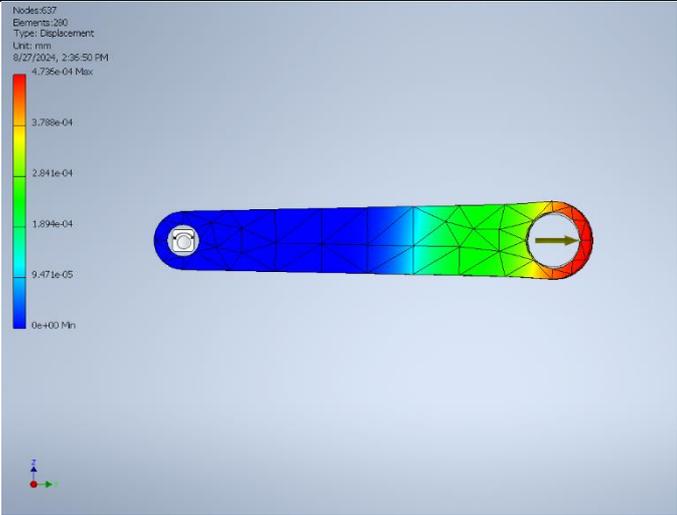
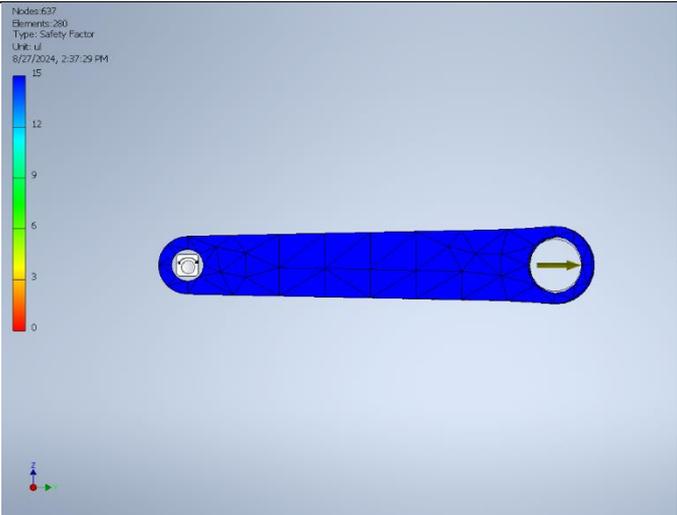
Analisis	Simulacion
<p>Esfuerzo maximo de Von Mises aplicado en la manivela</p> <p><u>9.91 Mpa</u></p>	 <p>Nodos: 2224 Elementos: 1264 Type: Von Mises Stress Unit: MPa 9/25/2024, 11:15:01 PM 11.02 Max Von Mises Stress: 0.05 MPa Von Mises Stress: 0.07 MPa Von Mises Stress: 4.51 MPa Von Mises Stress: 9.91 MPa</p>
<p>Desplazamiento Maximo</p> <p><u>$1.37 \cdot 10^{-02} mm$</u></p>	 <p>Type: Displacement Unit: mm 9/25/2024, 11:20:27 PM 0.01506 Max Displacement: 0.01148 mm Displacement: 0.01157 mm Displacement: 0.00369 mm Displacement: 0 mm Displacement: 0 mm</p>
<p>Valor maximo de factor de seguridad</p> <p><u>FS=15</u></p>	 <p>Type: Safety Factor Unit: 1 9/25/2024, 11:22:35 PM 25 Safety Factor: 15.01 Safety Factor: 15.01 Safety Factor: 15.01 Safety Factor: 15.01 Safety Factor: 15.01</p>

Tabla 3.7 FEA Brazo

Analisis	Simulacion
<p>Esfuerzo maximo de Von Mises aplicado en el brazo</p> <p><u>0.13 Mpa</u></p>	
<p>Desplazamiento Maximo</p> <p><u>$4.74 \cdot 10^{-04} \text{ mm}$</u></p>	
<p>Valor maximo de factor de seguridad</p> <p><u>FS=15</u></p>	

3.3.1.4 Elementos para disparar el arma

Tabla 3.8 FEA Enlace 1

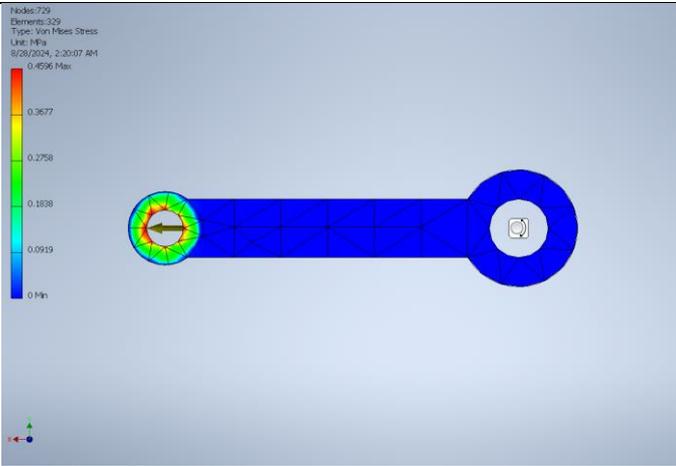
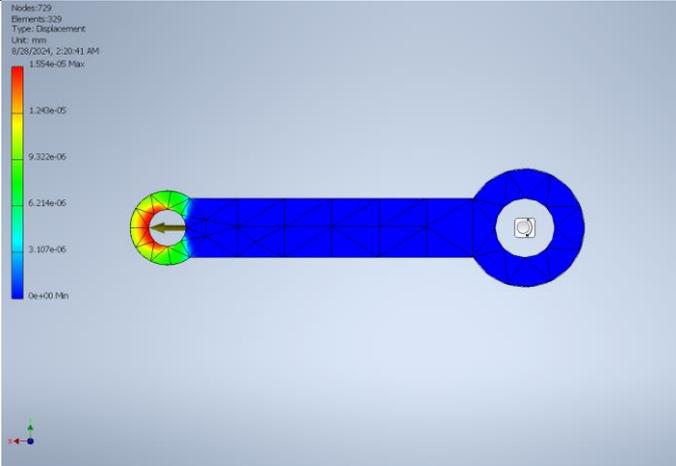
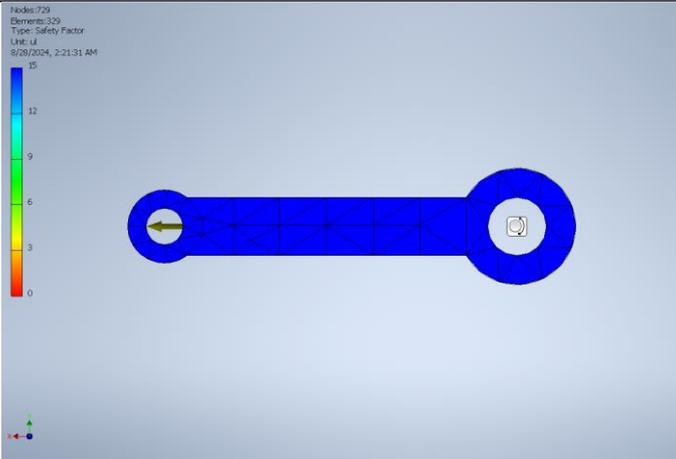
Analisis	Simulacion
<p>Esfuerzo maximo de Von Mises aplicado en link 1 y 2</p> <p><u>0.46 Mpa</u></p>	
<p>Desplazamiento Maximo</p> <p><u>$1.55 \cdot 10^{-05} \text{ mm}$</u></p>	
<p>Valor maximo de factor de seguridad</p> <p><u>FS=15</u></p>	

Tabla 3.9 FEA Palanca

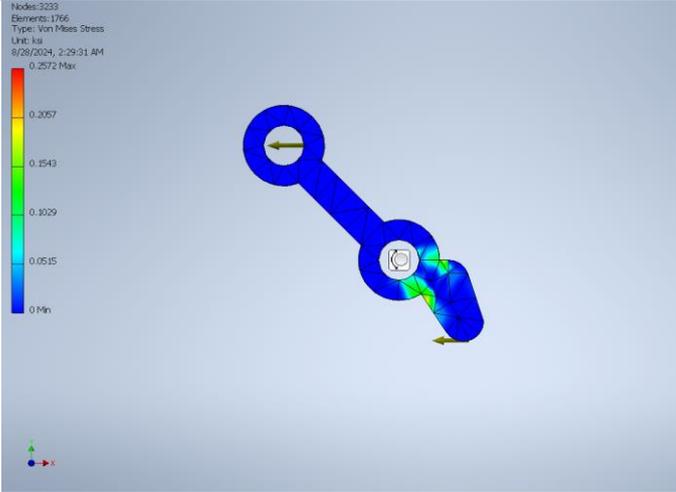
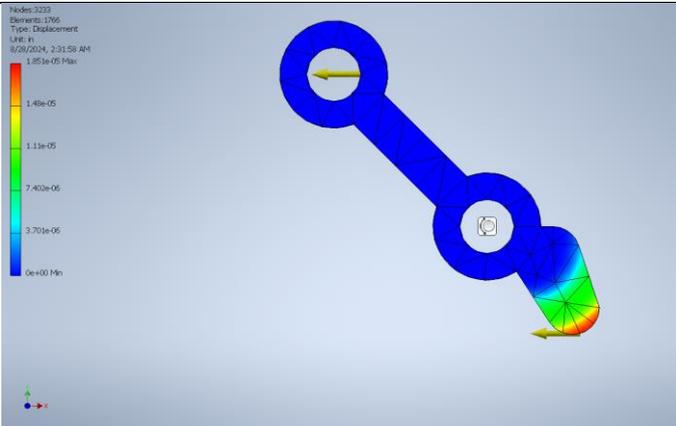
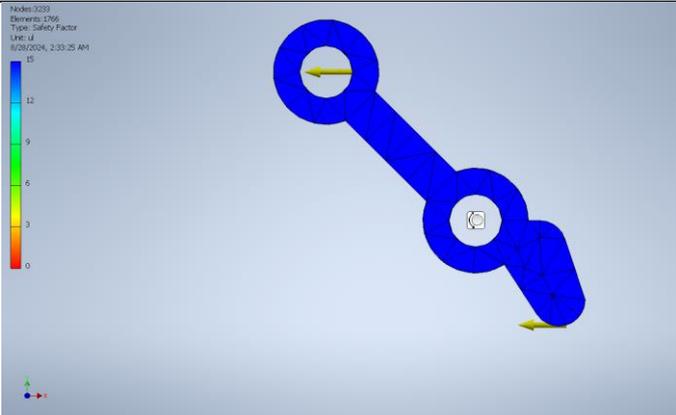
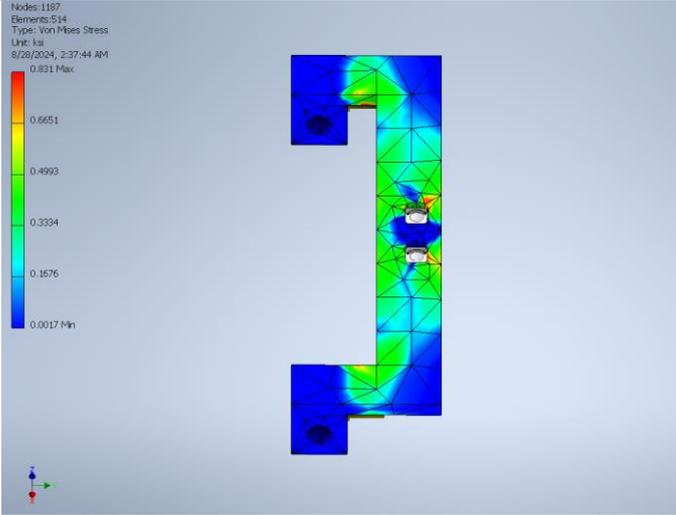
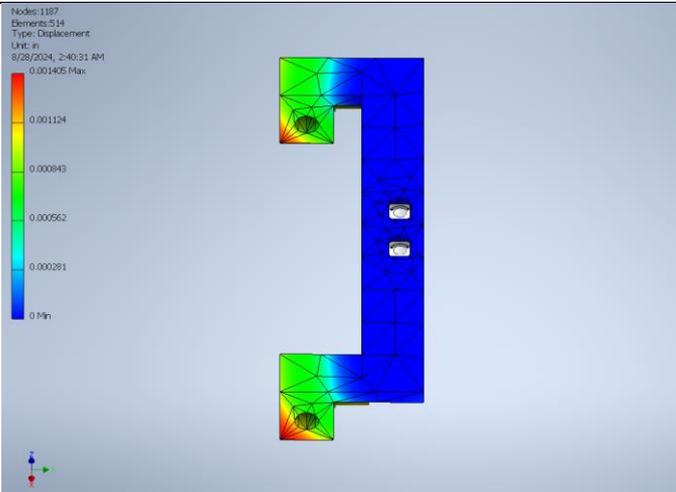
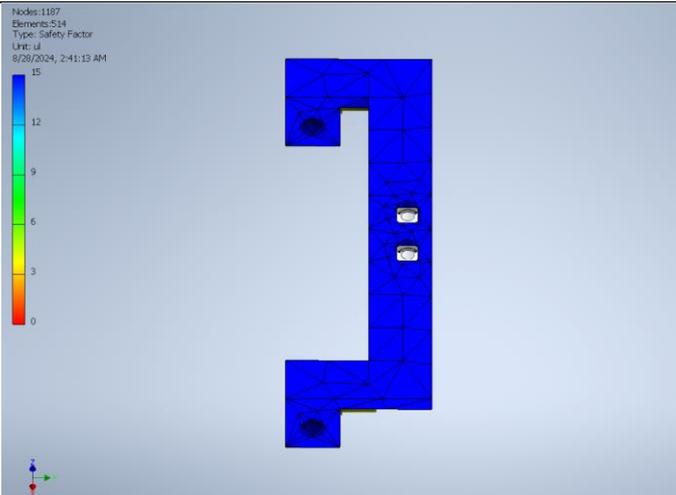
Analisis	Simulacion
<p>Esfuerzo maximo de Von Mises aplicado en la palanca</p> <p><u>1.37 Mpa</u></p>	 <p>Nodos: 3233 Elementos: 1766 Tipo: Von Mises Stress Unit: Mpa 8/28/2024, 2:29:31 AM 0.2572 Max 0.2057 0.1543 0.1029 0.0515 0 Min</p>
<p>Desplazamiento Maximo</p> <p><u>$1.85 \cdot 10^{-05} mm$</u></p>	 <p>Nodos: 3233 Elementos: 1766 Tipo: Displacement Unit: m 8/28/2024, 2:31:58 AM 1.85e-05 Max 1.49e-05 1.11e-05 7.40e-06 3.70e-06 0e+00 Min</p>
<p>Valor maximo de factor de seguridad</p> <p><u>FS=15</u></p>	 <p>Nodos: 3233 Elementos: 1766 Tipo: Safety Factor Unit: M 8/28/2024, 2:33:25 AM 15 12 9 6 3 0</p>

Tabla 3.10 FEA Acople disparo

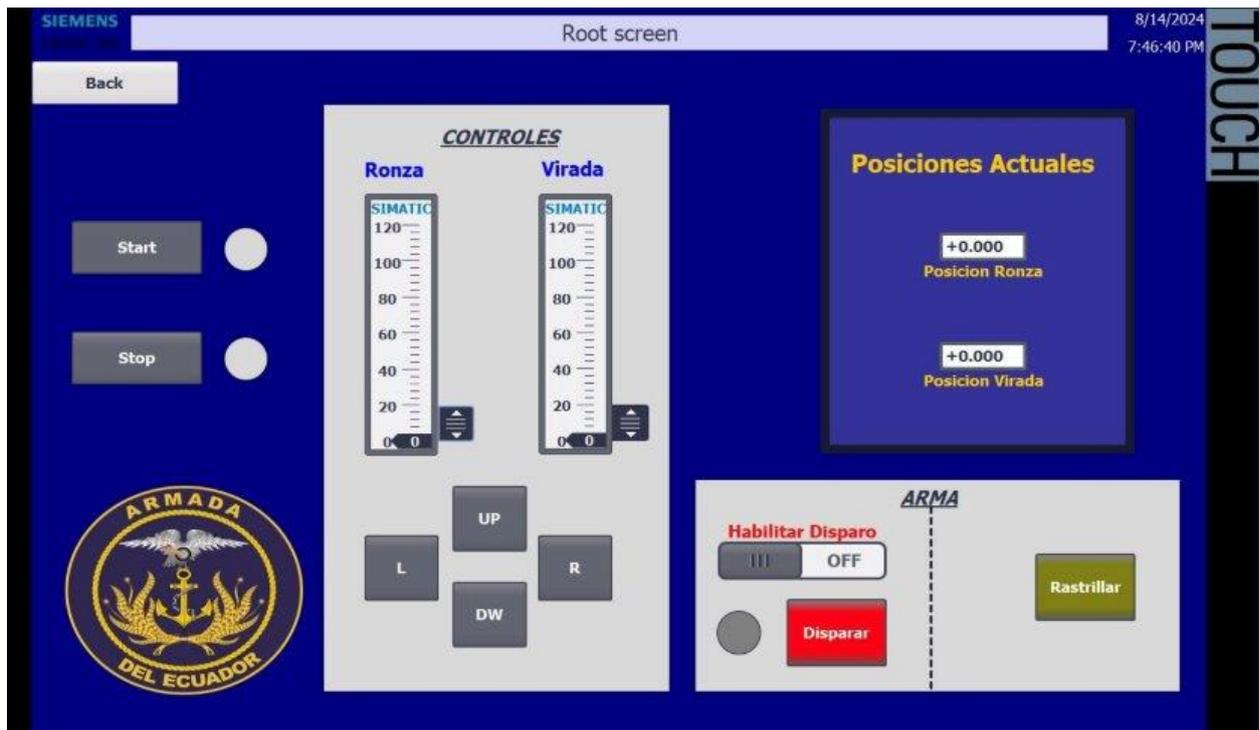
<i>Analisis</i>	<i>Simulacion</i>
<p>Esfuerzo maximo de Von Mises aplicado en el acople de disparo</p> <p><u>5.72 Mpa</u></p>	 <p>Nodos: 1187 Elementos: 514 Type: Von Mises Stress Unit: Mpa 9/28/2024, 2:37:44 AM 0.831 Max 0.6651 0.4993 0.3334 0.1676 0.0017 Min</p>
<p>Desplazamiento Maximo</p> <p><u>$1.40 \cdot 10^{-03} \text{ mm}$</u></p>	 <p>Nodos: 1187 Elementos: 514 Type: Displacement Unit: m 9/28/2024, 2:40:31 AM 0.001405 Max 0.001124 0.000843 0.000562 0.000281 0 Min</p>
<p>Valor maximo de factor de seguridad</p> <p><u>FS=15</u></p>	 <p>Nodos: 1187 Elementos: 514 Type: Safety Factor Unit: ul 9/28/2024, 2:41:13 AM 15 12 9 6 3 0</p>

3.4 Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

Se seleccionó una pantalla HMI para el continuo monitoreo de los ejes en movimiento, y como un método adicional de control para el tripulante. En él mismo tendrá la opción de iniciar todo el sistema: de detenerlo, de disparar, y de recargar la ametralladora.

Figura 3.13

HMI



3.5 Tablero de control y estación de mando

El tablero de control cuenta con todos los componentes necesarios para el funcionamiento del sistema, en ella se encontrarán desde componentes principales para la energización, hasta componentes para el control o comando. Dicho tablero se encontrará en la parte posterior de la estación de mando.

Figura 3.14

Tablero de Control

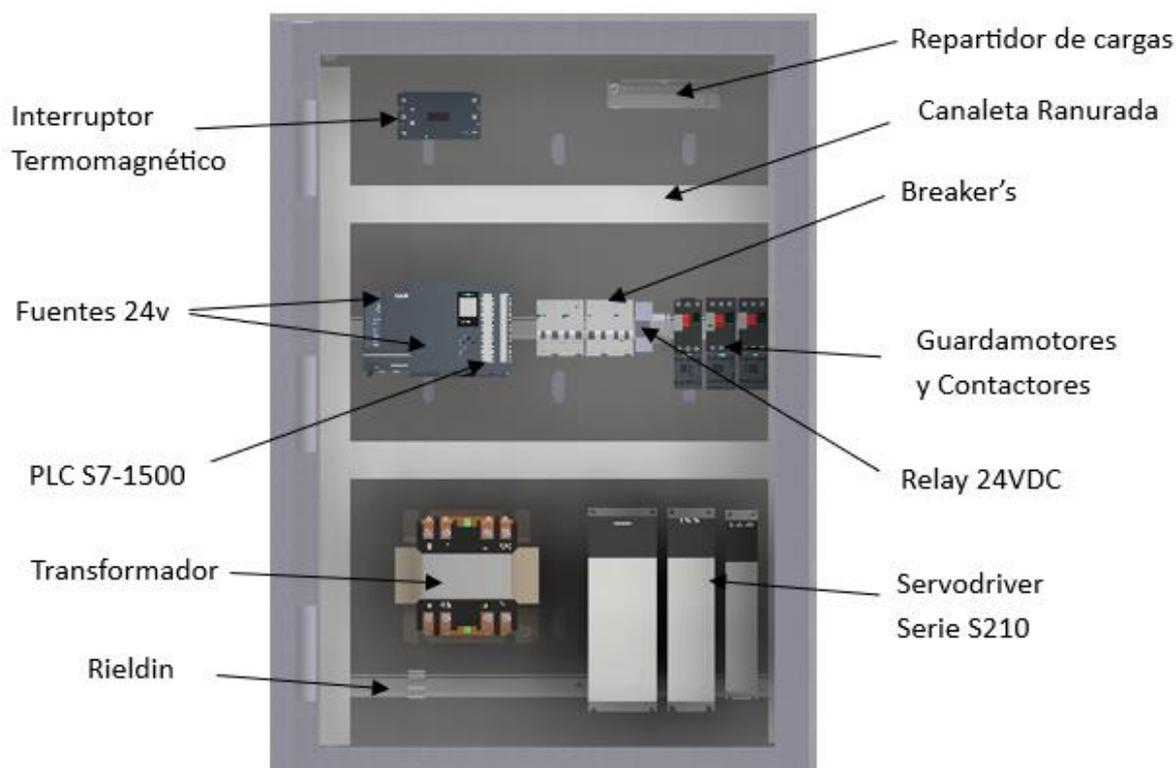
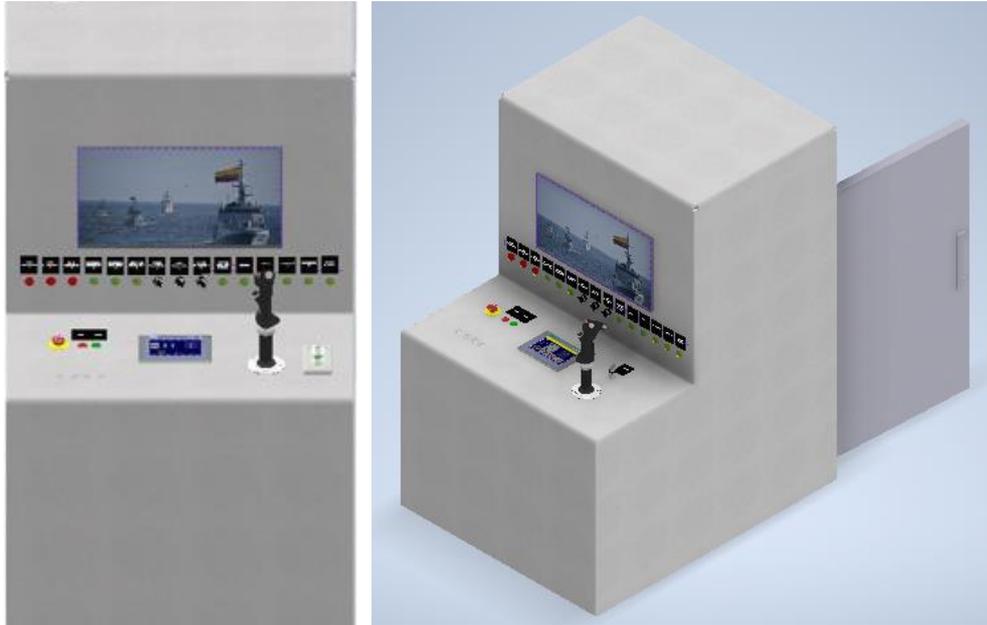
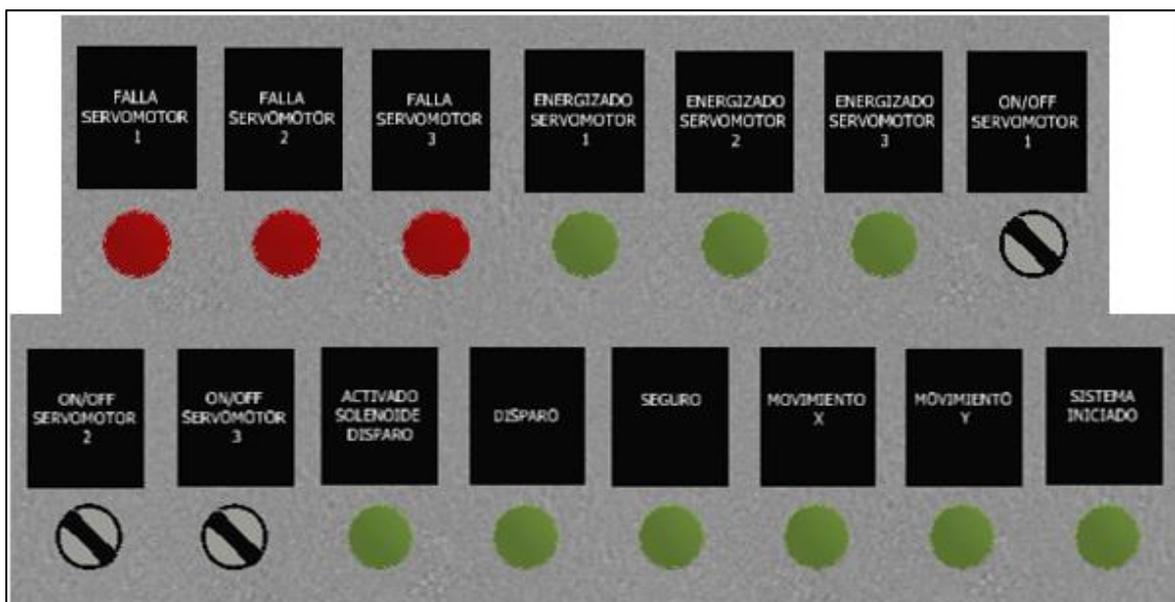


Figura 3.15*Cabina de mando*

En la Figura 3.16 se observa la organización que tendrá la cabina de mando, y la ubicación del tablero de control en el mismo. La estación de mando será la encargada de proporcionar a los tripulantes todos los elementos necesarios para controlar la ametralladora y también de entregar información a los mismos sobre el estado de cada parte del sistema.

Figura 3.16*Luces piloto y switch's de control*

En la Figura 3.17 se observan las luces piloto encargadas de notificar al tripulante en turno el estado de las distintas funciones principales del sistema, como; disparar, recargar, activación de seguros, movimiento en X y en Y. Adicional a ello, se introdujeron 3 switch's que al ser activados permiten la energización de cada servomotor según corresponda.

Figura 3.17

Botonera de paro y Joystick



En la Figura se observa el panel de control de la estación de mando, en la izquierda se observa: el botón “*Stop*”, “*Start*” y “*Paro de emergencia*”. En el centro se observa la pantalla HMI, por la derecha se tiene el joystick, y el switch de seguridad con llave.

3.6 Análisis de costos

En esta sección se presenta una estimación de costos para la implementación de sistema remoto de control

Inversión necesaria para implementación del sistema

Tabla 3.11 Costos Computacionales

<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio Unit. (USD)</i>	<i>Precio Total (USD)</i>
<i>Software de programación</i>	<i>1</i>	<i>\$ 5 010.00</i>	<i>\$ 5 010.00</i>
<i>Programación</i>	<i>1</i>	<i>\$ 1 000.00</i>	<i>\$ 1 000.00</i>
<i>Diseño 3D</i>	<i>1</i>	<i>\$ 500.00</i>	<i>\$ 500.00</i>
<i>Simulaciones</i>	<i>1</i>	<i>\$ 500.00</i>	<i>\$500.00</i>
<i>Total</i>			<i>\$ 7 010.00</i>

Tabla 3.12 Costos Eléctricos

<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio Unit. (USD)</i>	<i>Precio Total (USD)</i>
<i>Elementos de control</i>	<i>1</i>	<i>\$15 000.00</i>	<i>\$15 000.00</i>
<i>Elementos de potencia</i>	<i>1</i>	<i>\$6 000.00</i>	<i>\$6 000.00</i>
<i>Elementos de protección</i>	<i>1</i>	<i>\$2 500.00</i>	<i>\$2 500.00</i>
<i>Material eléctrico</i>	<i>1</i>	<i>\$1 500.00</i>	<i>\$1 500.00</i>
<i>Total</i>			<i>\$25 000.00</i>

Tabla 3.13 Costos Mecánicos

<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio Unit. (USD)</i>	<i>Precio Total (USD)</i>
<i>Estación de armas</i>	<i>1</i>	<i>\$20 000.00</i>	<i>\$20 000.00</i>
<i>Mecanismos</i>	<i>1</i>	<i>\$5 000.00</i>	<i>\$5 000.00</i>
<i>Estación de mando</i>	<i>1</i>	<i>\$2 000.00</i>	<i>\$2 000.00</i>
<i>Total</i>			<i>\$27 000.00</i>

Tabla 3.14 Análisis de costos total

<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio Unit. (USD)</i>	<i>Precio Total (USD)</i>
<i>Diseño Informático</i>	<i>1</i>	<i>\$ 7 010.00</i>	<i>\$ 7 010.00</i>
<i>Diseño Electrónico</i>	<i>1</i>	<i>\$ 25c 000.00</i>	<i>\$25 000.00</i>
<i>Diseño Mecánico</i>	<i>1</i>	<i>\$ 27 000.00</i>	<i>\$ 27 000.00</i>
<i>Total</i>			<i>\$59 010.00</i>

CAPÍTULO 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

A lo largo de este documento, se han utilizado diversas herramientas y conocimientos de ingeniería para desarrollar un sistema de control remoto para una estación de armas. Partiendo de una estructura base, se rediseñaron distintos componentes para emplear actuadores disponibles en el mercado. De esta manera, se integraron tres servomotores y un solenoide para ejecutar todas las funciones principales del sistema.

El uso de actuadores en este proyecto ha sido esencial, ya que son responsables de ejecutar las funciones del sistema. Por lo tanto, se seleccionaron actuadores con alta disponibilidad en el mercado, facilitando su futura implementación.

Basándonos en proyectos similares y en los requerimientos de nuestro cliente, se diseñó tanto la cabina de mando como el tablero de control, los cuales estarán ubicados dentro de la embarcación, lejos de posibles situaciones de peligro. Este tablero alberga todos los componentes principales del sistema y estará dentro de la cabina, desde donde el operador podrá controlar la ametralladora y monitorear el estado del sistema en todo momento.

Para garantizar la integridad estructural del sistema, se simuló el comportamiento de las piezas más críticas de los mecanismos propuestos, utilizando análisis de elementos finitos. Los resultados mostraron factores de seguridad elevados y deformaciones mínimas, lo que indica que los mecanismos añadidos no presentarán fallos mecánicos.

El desarrollo de este sistema contribuye a la modernización y al fortalecimiento de las capacidades defensivas de las fuerzas armadas frente a actividades delictivas, resultando en una reducción del número de bajas y lesiones en la tripulación. Además, nuestro sistema es escalable, lo que permite incentivar su mejora continua y fomenta la creación de tecnologías propias.

En conclusión, implementar la tecnología sistemas tecnológicos en la seguridad, contribuye enormemente en el avance y desarrollo de nuestro país, teniendo incidencia directa en la integridad de los tripulantes y de los civiles, pero también de manera indirecta en la economía de los pueblos cercanos.

4.1.2 Recomendaciones

La estructura desarrollada en este proyecto permite la manipulación de una ametralladora “Browning M2”, sin embargo, se conoce que no es la única que se usa una embarcación guardacostas. Por ello se recomienda un rediseño parcial para que puedan instalarse al menos dos ametralladoras en una misma torre.

El sistema actual permite mover la ametralladora en dos diferentes direcciones y disparar de manera remota. No obstante, se sugiere dotar al sistema con cámara y telémetro digital, lo que permitiría calcular la distancia y el ángulo de inclinación entre el objetivo y la ametralladora. Esto mejoraría la puntería del operario proporcionando recomendaciones de cuál es el ángulo apropiado de tiro.

Dado que la embarcación no es estática y se mueve constantemente debido a las olas, la precisión del sistema se ve afectada, dependiendo en gran medida de la destreza del operario. Por este motivo, se recomienda utilizar un giroscopio que envíe las señales a nuestro controlador sobre los movimientos de la embarcación. De esta manera, con la información entre el giroscopio y el telémetro, se podría desarrollar un sistema de control que compense los movimientos del buque por el impacto de las olas.

Finalmente, el uso de una ametralladora remota plantea consideraciones éticas y morales importantes. Pues es importante conocer el riesgo de errores fatales y la responsabilidad del uso de la fuerza. Por ello, se recomienda que los altos mandos se aseguren que este tipo de sistemas RWS se empleen de acuerdo con principios éticos para evitar violaciones de los derechos humanos y asegurar la protección de la vida civil en cualquier operación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Atahualpa Amerise, «BBC News MUNDO,» 4 Mayo 2023. [En línea]. Available: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-65352883>. [Último acceso: 14 Agosto 2024].
- [2] PRIMICIAS, «Las armas que circulan en Ecuador,» 11 Septiembre 2024. [En línea]. Available: <https://www.primicias.ec/noticias/seguridad/armas-ilegales-ecuador-trafico-ametralladoras-fusiles-pistolas/>.
- [3] Witbooi, «Crimen organizado en el sector de la industria pesquera,» 2020. [En línea]. Available: <https://oceanpanel.org/wp-content/uploads/2022/05/Organised-Crime-in-the-Fisheries-Sector-Summary-ES.pdf>. [Último acceso: Mayo 2024].
- [4] EL UNIVERSO, «Pesca: después de casi cinco años, Ecuador espera salir de la tarjeta amarilla en septiembre del 2024,» EL UNIVERSO, Guayas, 2024.
- [5] Astilleros de Murueta, «LG-39, LG-40 & LG-41 - Patrullera,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.astillerosmurueta.com/vessels/30/lg-39-lg-40-lg-41/>.
- [6] Wikipedia, «Movimiento y oscilación de un barco,» 27 Febrero 2024. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Movimiento_y_oscilación_de_un_barco.
- [7] Military Wiki, «Remote weapon system,» 2020. [En línea]. Available: https://military-history.fandom.com/wiki/Remote_weapon_system. [Último acceso: Junio 2024].
- [8] KONGSBERG, «PROTECTOR RS4 Naval,» KONGSBERG, 2024. [En línea]. Available: <https://www.kongsberg.com/kda/what-we-do/defence-and-security/remote-weapon-systems/protector-rws-naval/>. [Último acceso: 2024].
- [9] EM&E, «ESCRIBANO MECHANICAL & ENGINEERING,» ESCRIBANO MECHANICAL & ENGINEERING, 2024. [En línea]. Available: <https://www.em-es.com/rws/>. [Último acceso: Junio 2024].
- [10] SIEMENS, «Análisis de elementos finitos,» SIEMENS, 2024. [En línea]. Available: <https://www.sw.siemens.com/es-ES/technology/finite-element-analysis-fea/>. [Último acceso: 2024].
- [11] M. Pena, «¿Qué es el Análisis por Elementos Finitos?,» 08 Enero 2023. [En línea]. Available: <https://miguelpena.site/que-es-el-analisis-por-elementos>

<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/us/Catalog/Product/1FK22062AF001MA0>.
[Último acceso: 2024].

- [21] Siemens, «Productos y Soluciones (S210),» 2022. [En línea]. Available: <https://www.siemens.com/mx/es/productos/drives/sinamics/baja-tension/servo-converter/sinamics-s210.html>. [Último acceso: 2024].
- [22] Schneider, «Schneider Electric,» Schneider, 2024. [En línea]. Available: <https://www.se.com/es/es/faqs/FAQ000263842/#:~:text=Esto%20permite%20proteger%20la%20carga, caso%20de%20sobrecarga%20o%20cortocircuito>. [Último acceso: 2024].
- [23] Siemens, «Lista de Precios Productos Industriales Eléctricos,» 01 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:3424fd64-1a13-4d4f-b05b-5da93a1919ce/version:1566593499/lista-de-preciosindustriaecuador.pdf>. [Último acceso: Julio 2024].
- [24] IEC, «CONTACTORES NORMALIZADO IEC947,» 2022. [En línea]. Available: <https://s06938d77ebd85b76.jimcontent.com/download/version/1398391520/module/8795120969/name/05%20%20%20CONTACTORES%20%20NORMALIZADOS.pdf>. [Último acceso: 2024].
- [25] Leipo, «LEIPOLE Page,» LEPOILE, 2024. [En línea]. Available: <https://www.leipole.net/>. [Último acceso: 2024].
- [26] WordPress, «LOS PLC Y SUS VENTAJAS DENTRO DE LA INDUSTRIA,» 2024. [En línea]. Available: <https://todoproyecto.wordpress.com/2020/08/15/los-plc-y-sus-ventajas-dentro-de-la-industria/>.
- [27] Feindef, «Escribano exhibirá en Feindef su nuevo sistema electroóptico Apolo y la torre Sentinel 30 de la F110,» infodefensa, 2021.
- [28] Escuela Superior Politecnica del Litoral, «Escuela Superior Politecnica del Litoral,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.espol.edu.ec/es>. [Último acceso: 10 Junio 2024].

APÉNDICES

APÉNDICE A

Cálculos Mecánicos

1. Accionamiento rastrillo

Movimiento manivela-corredera

Largo de Manivela (6.930 in = 176.022 mm)

Requerimientos

Fuerza necesaria en promedio para rastrillar una browning m2 es 33 a 35 lbf , que transformado es entre 15 a 16 kgf [18]

Entonces

147 N a 155.82 N

Con un brazo de 17 cm o 0.17 m el torque que es capaz de aplicar el resorte del rastrillo es:

Cálculo de Torque

$$\text{Torque} = \text{Fuerza(N)} \times d(\text{m}) \quad (\text{A.1})$$

$$\tau = 155.82 \text{ N} * 0.17 \text{ m} = 26.49 \text{ Nm}$$

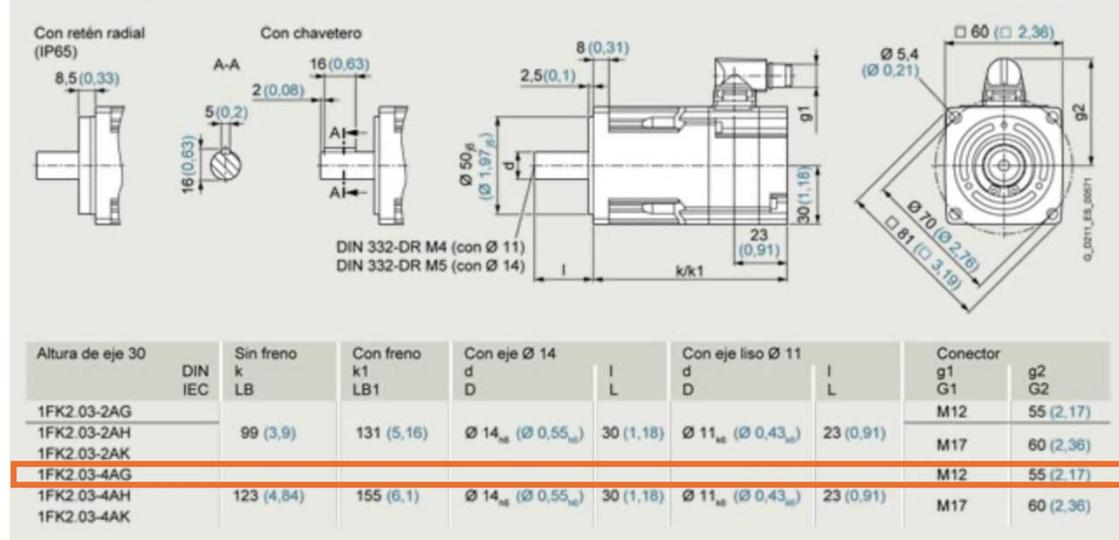
Con este requerimiento de torque se procede a la selección del motor

Selección de motor

Figura A.1

Dimensiones Altura de eje 30

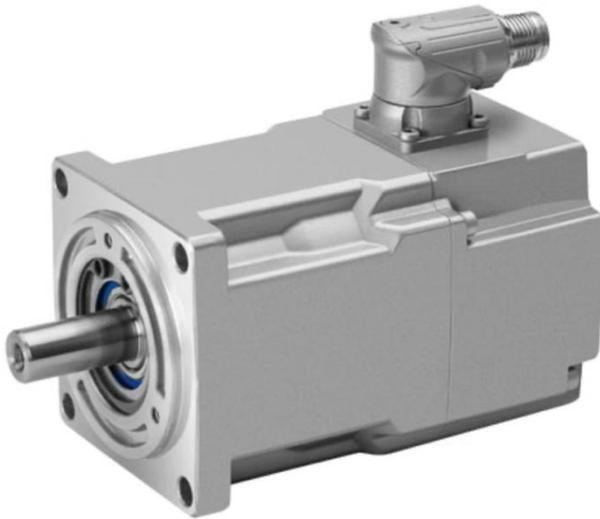
SIMOTICS S-1FK2, altura de eje 30



Nota. Las dimensiones están en mm y en pulgadas entre paréntesis.

Figura A.2

Características S-1FK2



Datos técnicos específicos

Servomotores SIMOTICS S-1FK2		High Dynamic				Compact			
Altura de eje 30		1FK2103-2AG	1FK2103-2AH	1FK2103-4AG	1FK2103-4AH	FK2203-AG	1FK2203-2AK	1FK2203-4AG	1FK2203-4AK
Par a rotor parado M_0	Nm	0,64	0,64	1,27	1,27	0,64	0,64	1,27	1,27
Corriente a rotor parado I_0	A	1,36	1,06	2,4	1,87	1,38	1,05	2,52	2,05
Par máximo $M_{m\acute{a}x}$	Nm	1,95	1,95	4,05	4,05	1,85	1,85	3,75	3,75
Corriente máxima $I_{m\acute{a}x}$	A	4,8	3,95	8,7	7,1	4,2	3,4	7,8	6,7
Velocidad máxima $n_{m\acute{a}x}$	r/min	8000	8000	7300	8000	8000	8000	7800	8000
Momento de inercia del rotor J_{mot}	kg cm ²	0,093	0,093	0,14	0,14	0,20	0,20	0,35	0,35
Momento de inercia (con freno) $J_{Fr Mot}$	kg cm ²	0,11	0,11	0,16	0,16	0,22	0,22	0,37	0,37
Peso m_{mot}	kg	1,17	1,18	1,64	1,65	1,15	1,16	1,48	1,49
Peso (con freno) $m_{Fr mot}$	kg	1,54	1,55	1,98	1,99	1,52	1,53	1,96	1,97

Torque nominal del Servomotor: 1.27 Nm

Reducción necesaria: 20.88:1

Se utilizará un factor de seguridad de 1.3 por se usará un reductor de 27:1 teniendo un torque nominal resultante de:

$$\tau = 1.2 \text{ Nm} * 27 = 34.29 \text{ Nm}$$

Selección Reductor Planetario

Figura A.3

Configuración de Reductores

Descripción de los motorreductores

3.1 Ventajas y características destacadas

Tabla 3-2 Series de los reductores planetarios angulares



Variantes de motor

El motorreductor 1F□2 cuenta con 2 variantes de motor.

	Motores High Dynamic	Motores Compact
Series	1FK21□□-□ 1FT21□□-□	1FK22□□-□ 1FT22□□-□
Dimensionado	<ul style="list-style-type: none"> Inercia reducida Para aplicaciones en las que se muevan masas pequeñas con un alto nivel de dinámica y precisión 	<ul style="list-style-type: none"> Inercia media Para aplicaciones en las que se muevan cargas grandes con dinámica y precisión En combinación con reductores planetarios con relaciones de transmisión elevadas para aplicaciones con condiciones de inercia difíciles desde el punto de vista de la regulación

Figura A.4

Selección de Configuración

Reductores planetarios

Los reductores planetarios NRB, NRBW, NRK, NRKW, NLC y NLCW cuentan con lubricación permanente, por lo que no requieren mantenimiento, y pueden montarse en cualquier posición sin limitaciones.

Tabla 3-3 Estructura y características técnicas de los reductores planetarios

Reductores planetarios	NRB, NRBW	NRK, NRKW	NLC, NLCW
Imágenes de los reductores planetarios coaxiales NRB, NRK y NLC			
Imágenes de los reductores planetarios angulares NRBW, NRKW y NLCW			

Figura A.5

Descripción de reductores

Descripción de los motorreductores

3.1 Ventajas y características destacadas

Reductores planetarios	NRB, NRBW	NRK, NRKW	NLC, NLCW
Características especiales	<ul style="list-style-type: none"> Para altas velocidades Reductor ligero 	<ul style="list-style-type: none"> Para elevadas fuerzas radiales y axiales en el eje de salida gracias a rodamiento de bolas grande Rozamiento reducido para muy altas velocidades 	Para fuerzas radiales y axiales elevadas gracias a rodamiento de rodillos cónicos precargado
Relación de transmisión i	3 ... 512	3 ... 100	3 ... 100
Etapas de reducción z	1, 2 y 3 etapas, NRB160 solo 2 etapas	1 o 2 etapas	1 o 2 etapas
Juego angular φ_2 de los reductores planetarios en arcmin	6 ... 22 para NRB 11 ... 28 para NRBW	8 ... 20 para NRK 11 ... 25 para NRKW	7 ... 10 para NLC 11 ... 18 para NLCW
Tipo de reductor	IM B14	IM B14	IM B5
Grado de protección	IP64	IP64	IP65
Densidad de potencia	+++	++	++
Capacidad de carga del cojinete	+	++	+++
Aptitud para altas velocidades	++	++	+
Grado de protección	+	+	++
Campos de aplicación	Industria farmacéutica y equipos médicos	Sistemas de automatización y montaje	
	Industria alimentaria	-	<ul style="list-style-type: none"> Industria alimentaria Presión
	Embalaje, ejes auxiliares en máquinas herramienta		
Opciones	<ul style="list-style-type: none"> Eje liso o eje macizo con chaveta Lubricación estándar o lubricante apto para contacto con alimentos 		

Figura A.6

Selección de Opciones

3.2 Opciones

Reductores NRK para 1F□2

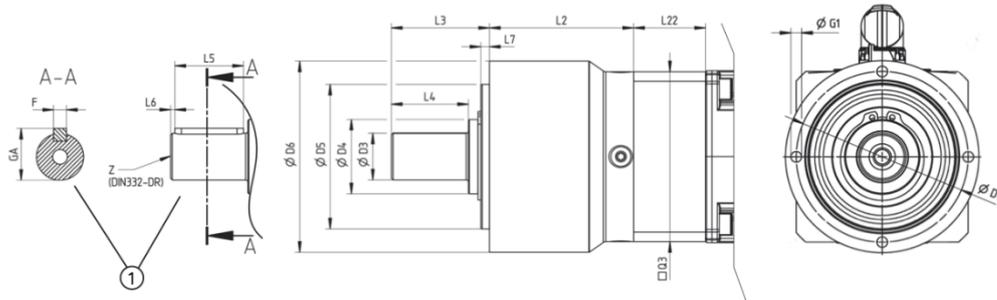
Reductor	Máximos pares de aplicación M_2 en variante con chaveta, en Nm	
	Hasta 10^7 cambios de carga	Hasta 10^8 cambios de carga
NRK050	12 Nm	9 Nm
NRK070	Sin limitaciones	29 Nm
NRK090	84 Nm	67 Nm
NRK120	Sin limitaciones	190 Nm
NRK155	389 Nm	309 Nm

Figura A.7

Planos de Montaje acotados

8.3 Reductores planetarios NRK

El motor tiene las siguientes dimensiones en los distintos tamaños:



① Extremo de eje con chaveta

Figura 8-3 Reductores planetarios NRK

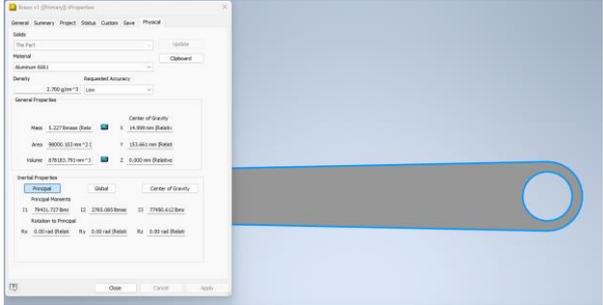
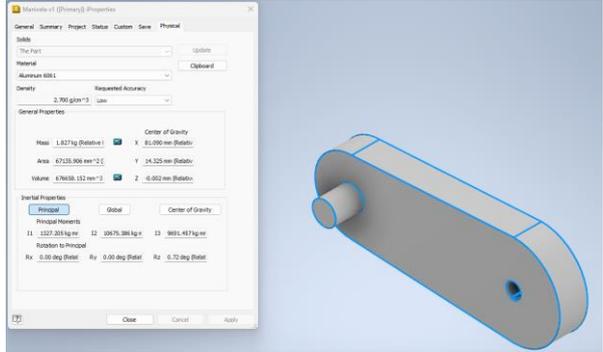
Dimensiones dependientes del tamaño de reductor

Denominación de las dimensiones		NRK050	NRK070	NRK090	NRK120	NRK155
Diámetro del reductor	Ø D6	50	70	90	120	155
Diámetro del eje	Ø D3	12 (k7)	16 (k7)	22 (k7)	32 (k7)	40 (k7)
Longitud del reductor: una etapa	L2 (z = 1)	46	51	67,5	76,5	100
Longitud del reductor: dos etapas	L2 (z = 2)	58,5	64	85,5	104	144,5
Longitud del eje hasta la brida	L3	24,5	36	46	68	97
Longitud del eje hasta el resalte	L4	18	28	36	58	82
Diámetro del resalte del eje	Ø D4	15	30	35	50	55
Diámetro del borde de centrado	Ø D5	35 (h7)	52 (h7)	68 (h7)	90 (h7)	120 (h7)
Profundidad del borde de centrado	L7	3	3	4	5	8
Diámetro del círculo de agujeros	Ø D1	44	62	80	108	140
Rosca atornillada/profundidad	Ø G1 x T	M4 x 8	M5 x 8	M6 x 9	M8 x 20	M10 x 20
Dimensiones divergentes para el extremo de eje con chaveta						
Ancho de chaveta	F	4	5	6	10	12
Altura de eje incluida la chaveta	GA	13,5	18	24,5	35	43
Longitud de chaveta	L5	14	25	32	50	70
Distancia desde el extremo de eje	L6	2	2	2	4	6
Agujero de centrado DIN 332-DR	Z	M4 x 10	M5 x 12,5	M8 x 19	M12 x 28	M16 x 36

Dimensiones dependientes del motor adosado

Dimensiones de la brida adaptadora	NRB040		NRB060		NRB080		NRB120		NRB160	
	Q3		Q3		Q3		Q3		Q3	
Dimensiones de borde	L22									
Longitud										
1F□2102	40	28,5	60	24	-	-	-	-	-	-
1F□2□03	60	27,5	60	24	80	33,5	115	47,5	-	-
1F□2□04	-	-	80	31	80	33,5	115	47,5	-	-
1F□2205	-	-	90	41,5	90	43,5	115	47,5	142	78,5
1F□2105	-	-	100	41,5	100	43,5	125	47,5	142	78,5
1F□2□06	-	-	-	-	115	53,5	125	57,5	142	78,5
1F□2208	-	-	-	-	-	-	140	73	142	88,5
1F□2210	-	-	-	-	-	-			190	108,5

Tabla A.1 Pesos Mecanismo Rastrillado

Elemento	Referencia	Peso Kg
Brazo		2.37
Manivela		1.83

Servomotor

SIMOTICS S-1FK2, altura de eje 30

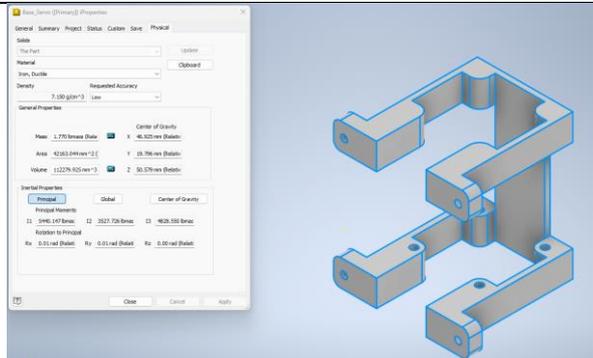


Datos técnicos específicos

Servomotores SIMOTICS S-1FK2		High Dynamic				Compact			
		1FK2103-2AG	1FK2103-2AH	1FK2103-4AG	1FK2103-4AH	1FK2203-2AG	1FK2203-2AK	1FK2203-4AG	1FK2203-4AK
Altura de eje 30									
Par a rotor parado M_0	Nm	0,64	0,64	1,27	1,27	0,64	0,64	1,27	1,27
Corriente a rotor parado I_0	A	1,36	1,06	2,4	1,87	1,38	1,05	2,52	2,05
Par máximo M_{max}	Nm	1,95	1,95	4,05	4,05	1,85	1,85	3,75	3,75
Corriente máxima I_{max}	A	4,8	3,95	8,7	7,1	4,2	3,4	7,8	6,7
Velocidad máxima n_{max}	r/min	8000	8000	7300	8000	8000	8000	7800	8000
Momento de inercia del rotor J_{rot}	kg cm ²	0,093	0,093	0,14	0,14	0,20	0,20	0,35	0,35
Momento de inercia (con freno) $J_{rot+brk}$	kg cm ²	0,11	0,11	0,16	0,16	0,22	0,22	0,37	0,37
Peso m_{rot}	kg	1,17	1,18	1,64	1,65	1,15	1,16	1,48	1,49
Peso (con freno) $m_{rot+brk}$	kg	1,54	1,55	1,98	1,99	1,52	1,53	1,96	1,97

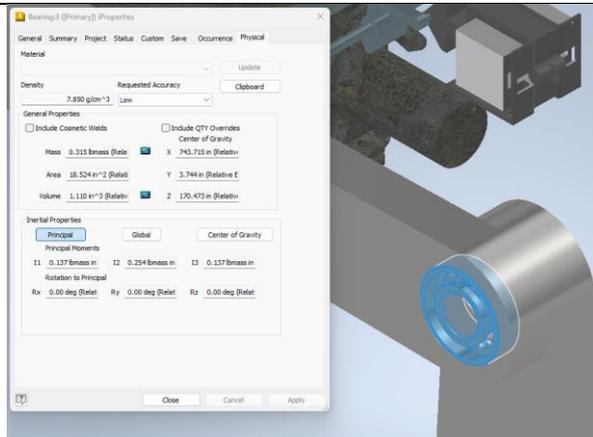
1.98

Soporte Servomotor



0.80

Rodamientos x4



0.57

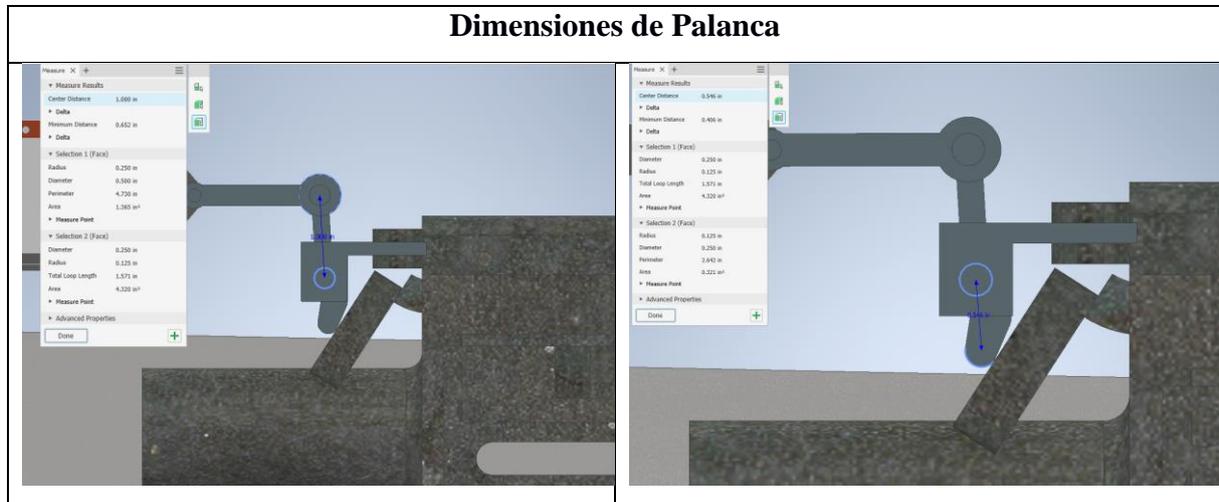
Total

7.55

2. Accionamiento Disparo

Figura A.8

Posición de Disparo



Requerimientos

Fuerza necesaria en promedio para accionar una browning m2 es 4 - 6 lbf /1.81 - 2.72 kgf

[19]

Transformamos a Newtons

$$F_{min} = 1.81 \text{ Kg} * 9.80 \text{ m/s}^2$$

$$F_{min} = 17.74 \text{ N}$$

$$F_{max} = 2.72 \text{ Kg} * 9.80 \text{ m/s}^2$$

$$F_{max} = 26.66 \text{ N}$$

Para ser conservadores se tomará la fuerza más alta 26.66 N

Teniendo una Palanca de

$$0.546 \text{ in} \approx 1.387 \text{ cm} \approx 0.014 \text{ m}$$

Calculamos el torque en el eje de giro del brazo:

$$\tau = F * Brazo \tag{A.2}$$

$$\tau = 26.660 \text{ N} * 0.014 \text{ m}$$

$$\tau = 0.373 \text{ Nm}$$

Del otro lado se tiene un brazo de

$$1 \text{ in} \approx 2.54 \text{ cm} \approx 0.03 \text{ m}$$

Por lo tanto, para obtener un torque de **0.37 Nm**

$$\tau = F * \text{Brazo}$$

$$F = \frac{\tau}{\text{Brazo}}$$

$$F = \frac{0.37 \text{ Nm}}{0.03 \text{ m}}$$

$$F = 12.33 \text{ N}$$

La fuerza nominal que el actuador lineal debe tener es 12.33 N

con estos datos se procedió a seleccionar el siguiente modelo de solenoide:

Selección de actuador (Solenoide)

Figura A.6

Planos Solenoide

SA Traction Electromagnet

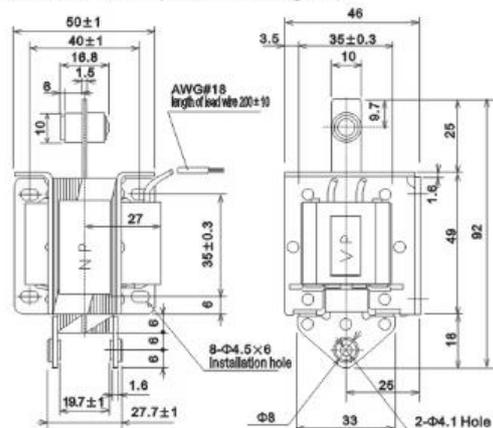
● NP: Model label ● VP: Voltage label



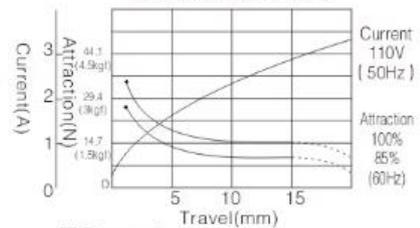
● Push: pull type (PUSH-PULL) ● pull type (PULL)

SA-2502
(Push and pull type)
SA-2501
(Pull type)

(SA-2502 Pick-up state Size diagram)



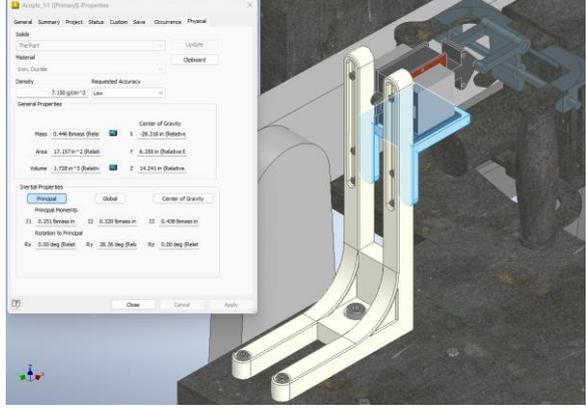
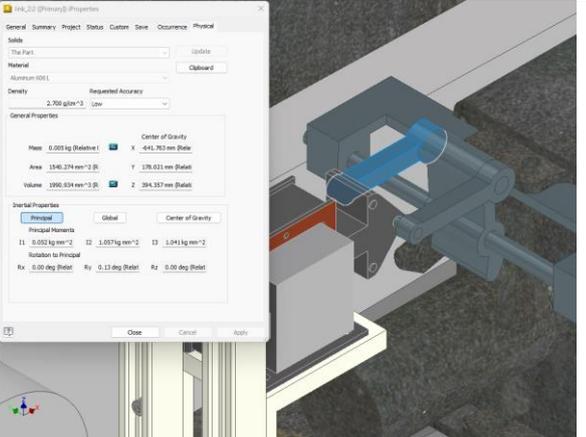
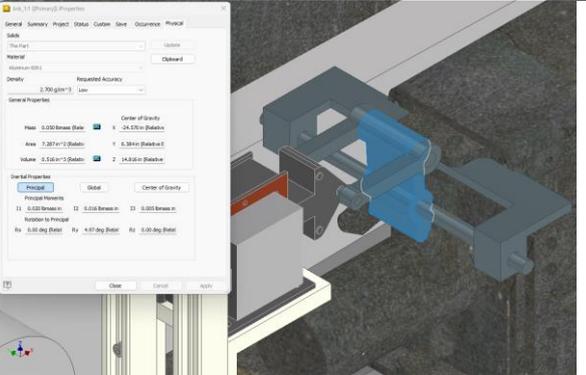
Attractive features, Current features (Test temperature 20°C)

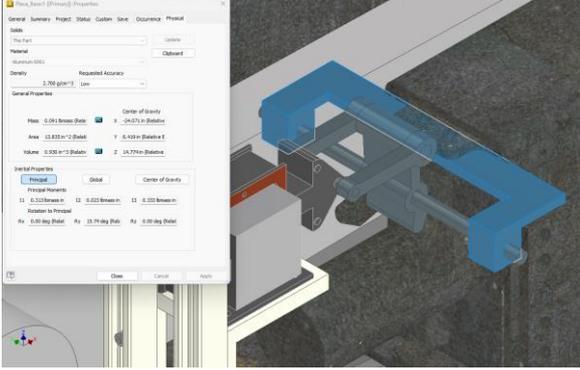


Current

Model	Voltage AC (V)	Start Current (A)	Holdin current (A)	Reedstratctress Rated Travel
SA-2502	110	3.1	0.35	14.7N(1.5kgf) /15mm
SA-2501	110	3.1	0.35	
	220	1.4	0.17	

Tabla A.2 Pesos Mecanismo Disparo

<i>Elemento</i>	<i>Referencia</i>	<i>Peso Kg</i>
Anclaje principal		1.237
Base de solenoide		0.203
Link1 * 2		0.010
Soporte Servomotor		0.023

<p>Rodamientos x4</p>		<p>0.041</p>																																						
<p>Solenoid</p>	<table border="1"> <tr> <td>Número de Modelo</td> <td>SA-2502</td> </tr> <tr> <td>Tipo</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>Tipo de montaje</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>Descripción</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>Aplicación</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>Ciclo de servicio</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>Potencia (vatios)</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>-Tensión nominal</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>Tamaño/dimensión</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>Fuerza atractiva</td> <td>1.5kgf 14.7N</td> </tr> <tr> <td>Trazo</td> <td>15mm</td> </tr> <tr> <td>Voltaje</td> <td>220 VAC</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia de funcionamiento nominal</td> <td>1200 veces/hora</td> </tr> <tr style="border: 2px solid orange;"> <td>Peso</td> <td>430g de</td> </tr> <tr> <td>Ciclo clasificado</td> <td>50/60Hz Común</td> </tr> <tr> <td>Aumento de la temperatura</td> <td>85 °C</td> </tr> <tr> <td>Peso móvil del núcleo de hierro</td> <td>125g</td> </tr> <tr> <td>Modelo</td> <td>SA-2502</td> </tr> <tr> <td>Tamaño de instalación</td> <td>35*40*35mm</td> </tr> </table>	Número de Modelo	SA-2502	Tipo	N	Tipo de montaje	N	Descripción	N	Aplicación	N	Ciclo de servicio	N	Potencia (vatios)	N	-Tensión nominal	N	Tamaño/dimensión	N	Fuerza atractiva	1.5kgf 14.7N	Trazo	15mm	Voltaje	220 VAC	Frecuencia de funcionamiento nominal	1200 veces/hora	Peso	430g de	Ciclo clasificado	50/60Hz Común	Aumento de la temperatura	85 °C	Peso móvil del núcleo de hierro	125g	Modelo	SA-2502	Tamaño de instalación	35*40*35mm	<p>0.430</p>
Número de Modelo	SA-2502																																							
Tipo	N																																							
Tipo de montaje	N																																							
Descripción	N																																							
Aplicación	N																																							
Ciclo de servicio	N																																							
Potencia (vatios)	N																																							
-Tensión nominal	N																																							
Tamaño/dimensión	N																																							
Fuerza atractiva	1.5kgf 14.7N																																							
Trazo	15mm																																							
Voltaje	220 VAC																																							
Frecuencia de funcionamiento nominal	1200 veces/hora																																							
Peso	430g de																																							
Ciclo clasificado	50/60Hz Común																																							
Aumento de la temperatura	85 °C																																							
Peso móvil del núcleo de hierro	125g																																							
Modelo	SA-2502																																							
Tamaño de instalación	35*40*35mm																																							
<p>Total</p>		<p>1.954</p>																																						

3. Para el Movimiento en Cabeceo

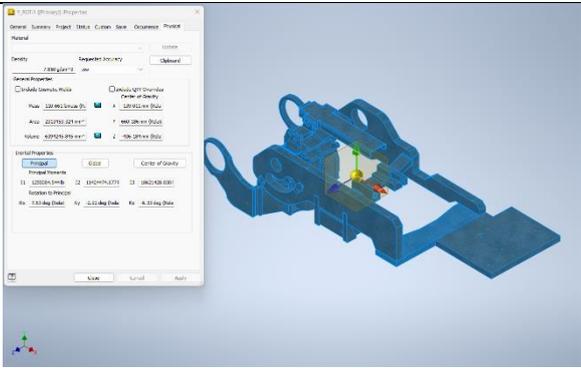
Primero se debe conseguir el peso que debe ser capaz de mover el actuador, para esto se obtiene el peso de la ametralladora Browning M2 [18].

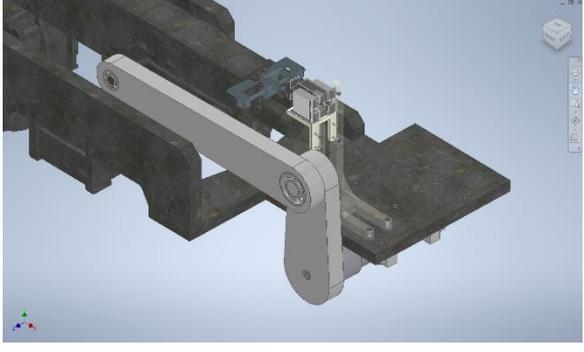
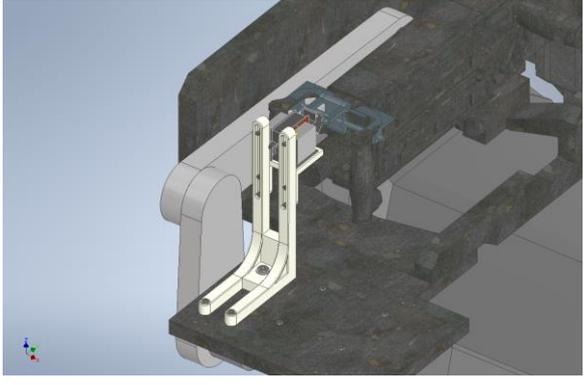
Según el datasheet del arma, esta tiene un peso de 84 lbmass.

$$m = 84 \text{ lbmass} * \frac{1 \text{ kg}}{2.20 \text{ lbmass}} = 38.18 \text{ kg}$$

Necesitamos el peso de la estructura que sostiene el arma

Tabla A.3 Pesos Mecanismo Cabeceo

<i>Elemento</i>	<i>Referencia</i>	<i>Peso (Kg)</i>																																
Arma	<p>c. Table 1-1 provides the general data on the caliber .50 MG.</p> <table border="1"> <tr><td>Weight (approx)</td><td>84 pounds</td></tr> <tr><td>Weight of barrel</td><td>24 pounds</td></tr> <tr><td>Length of gun</td><td>65.13 inches</td></tr> <tr><td>Length of barrel</td><td>45 inches</td></tr> <tr><td>Length of rifling (approx)</td><td>41.88 inches</td></tr> <tr><td>Number of lands and grooves</td><td>8</td></tr> <tr><td>Twist, right-hand</td><td>one turn in 15 inches</td></tr> <tr><td>Feed</td><td>link-belt</td></tr> <tr><td>Operation</td><td>recoil</td></tr> <tr><td>Cooling</td><td>air</td></tr> <tr><td>Muzzle velocity (approx)</td><td>3,050 feet per second</td></tr> <tr><td>Rate of fire (cyclic)</td><td>450 to 550 rounds per minute</td></tr> <tr><td>Maximum range (approx)</td><td>7,440 yards or 6,764 meters</td></tr> <tr><td>Maximum effective range (approx)</td><td>2,000 yards or 1,830 meters</td></tr> <tr><td>• Area targets</td><td>1,830 meters</td></tr> <tr><td>• Point targets, single shot</td><td>1,500 meters</td></tr> </table> <p>Table 1-1. General data.</p>	Weight (approx)	84 pounds	Weight of barrel	24 pounds	Length of gun	65.13 inches	Length of barrel	45 inches	Length of rifling (approx)	41.88 inches	Number of lands and grooves	8	Twist, right-hand	one turn in 15 inches	Feed	link-belt	Operation	recoil	Cooling	air	Muzzle velocity (approx)	3,050 feet per second	Rate of fire (cyclic)	450 to 550 rounds per minute	Maximum range (approx)	7,440 yards or 6,764 meters	Maximum effective range (approx)	2,000 yards or 1,830 meters	• Area targets	1,830 meters	• Point targets, single shot	1,500 meters	38.18
Weight (approx)	84 pounds																																	
Weight of barrel	24 pounds																																	
Length of gun	65.13 inches																																	
Length of barrel	45 inches																																	
Length of rifling (approx)	41.88 inches																																	
Number of lands and grooves	8																																	
Twist, right-hand	one turn in 15 inches																																	
Feed	link-belt																																	
Operation	recoil																																	
Cooling	air																																	
Muzzle velocity (approx)	3,050 feet per second																																	
Rate of fire (cyclic)	450 to 550 rounds per minute																																	
Maximum range (approx)	7,440 yards or 6,764 meters																																	
Maximum effective range (approx)	2,000 yards or 1,830 meters																																	
• Area targets	1,830 meters																																	
• Point targets, single shot	1,500 meters																																	
Soporte Arma		50.30																																

Mecanismo de Rastrillado		7.55
Mecanismo de Disparo		1.95
Cámara		36.10
		134.08

También se sabe que el momento de inercia de la estructura en el eje z con respecto a su centro de masa es: $24576385.658 \text{ kg mm}^2$

Determinar momento de Inercia alrededor de CM

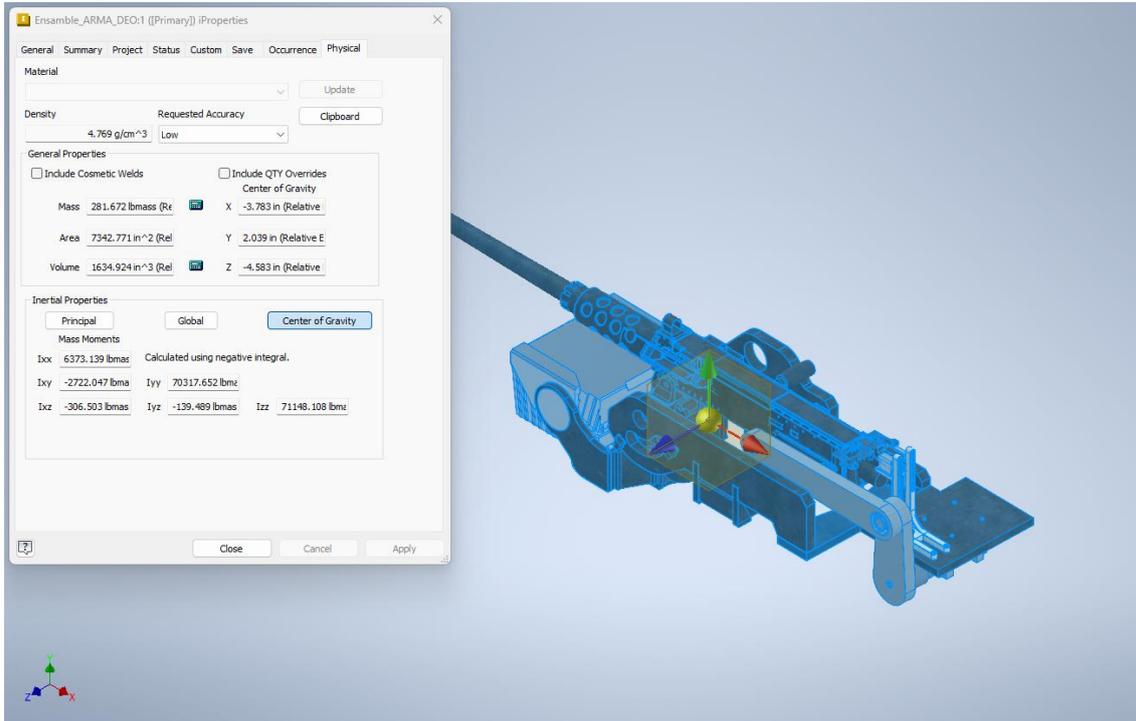
$$I_{CM} = 71148.108 \text{ lbmass} \cdot \text{in}^2$$

$$I_{CM} = 71148.108 \text{ lbmass} \cdot \text{in}^2 * \frac{0.454 \text{ kg}}{1 \text{ lbm}} * \left(\frac{0.0254 \text{ m}}{1 \text{ in}} \right)^2$$

$$I_{CM} = 20.82 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Figura A.7

Inercia en el CM de ensamble cabeceo



Determinar el Momento de inercia ajustado

Pero el eje de giro este alrededor del centro de masas por lo que se necesita calcular el momento de inercia alrededor del eje desplazado, para esto se necesitan los siguientes datos.

Datos:

- Masa del objeto M : 134.08 kg
- Desplazamiento en X (dx): 3.410 pulgadas = 0.0866m
- Desplazamiento en Y (dy): 3.185 pulgadas = 0.0809m
- Momento de inercia original (I_{cm}): $20.82 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

Calculamos la distancia d del eje de giro al centro de masa:

$$d = \sqrt{d_x^2 + d_y^2} = \sqrt{(0.0866)^2 + (0.0809)^2} \quad (\text{A.3})$$

$$d = \sqrt{0.007499 + 0.006544} \approx \sqrt{0.014044} \approx 0.1185$$

Aplicamos el Teorema de Ejes Paralelos

$$I = I_{CM} + Md^2 \quad (\text{A.4})$$

Sustituyendo los valores:

$$I = 20.820 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 + 134.080 \text{ kg} * (0.118)^2$$

$$I = 20.820 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 + 134.080 \text{ kg} * 0.014$$

$$I = 20.820 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 + 1.867 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I = 22.687 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Calcular la Aceleración Angular (α)

Datos:

- Angulo de rotación (θ): 90 grados = π radianes
- Tiempo (t): 1 segundo

La aceleración angular se calcula usando:

$$\alpha = \frac{2\theta}{t^2} \quad (\text{A.5})$$

Sustituyendo los valores:

$$\alpha = \frac{2 * \pi / 2}{1^2} = \pi \text{ rad} / \text{s}^2$$

$$\alpha = \pi \text{ rad} / \text{s}^2$$

Calcular el Torque Necesario (τ)

Usamos la segunda ley de Newton para rotación:

$$\tau = I \cdot \alpha \quad (\text{A.6})$$

Sustituyendo los valores:

$$\tau = 22.687 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 * \pi \text{ rad/s}^2$$

$$\tau = 71.273 \text{ N} \cdot \text{m}$$

El torque necesario para mover el ensamble en cabeceo y hacerlo girar 90 grados en 1 segundo

es aproximadamente 71.273 Nm, se usará un factor de seguridad de 1.3 por lo cual se asumirá que el torque necesario es:

$$\tau = 71.273 \text{ N} \cdot \text{m} * 1.3$$

$$\tau = 92.655 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Con esta información se procede a seleccionar el actuador.

Figura A.8

Servomotor 1FK2205

1FK2205-4AF11-1MA0



SIMOTICS S-1FK2 CT servomotor M0 = 6 Nm; Pn = 1,45 kW a Nn = 3000 1/min (380-480 V); Pn = 0,86 kW a Nn = 1500 1/min (200-240 V); con freno de mantenimiento; grado de protección IP65; eje D 19 x 40 mm con chaveta; encóder absoluto 22 bits + 12 bits multivuelta (encóder AM22DQC); con interfaz OCC; conector tamaño M17, girable;

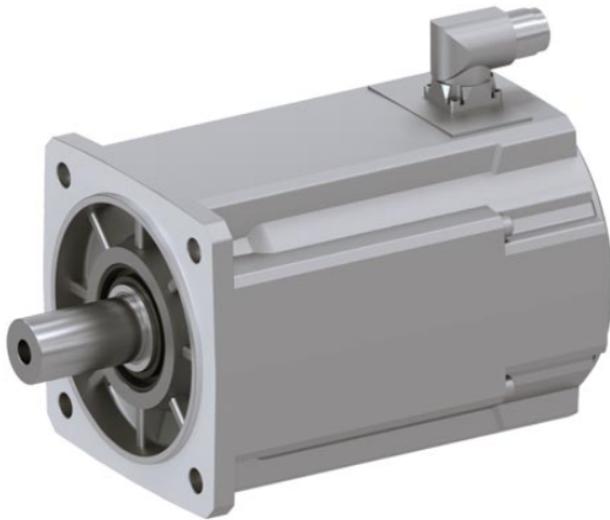
Precio de lista > [Mostrar precios](#)

Precio de cliente > [Mostrar precios](#)

Additional Services
Para este producto podemos ofrecer servicios como Entrega/Reparación/Cambio de piezas de repuesto. Actualmente no tiene derechos para ingresar a Service Web Shop para eso.
> Para obtener más información y solicitar este servicio, comuníquese con su socio local de repuestos y reparaciones.

Service & Support (Manuals, Certificates, FAQs...) > [Download](#)

SIMOTICS S-1FK2, altura de eje 48



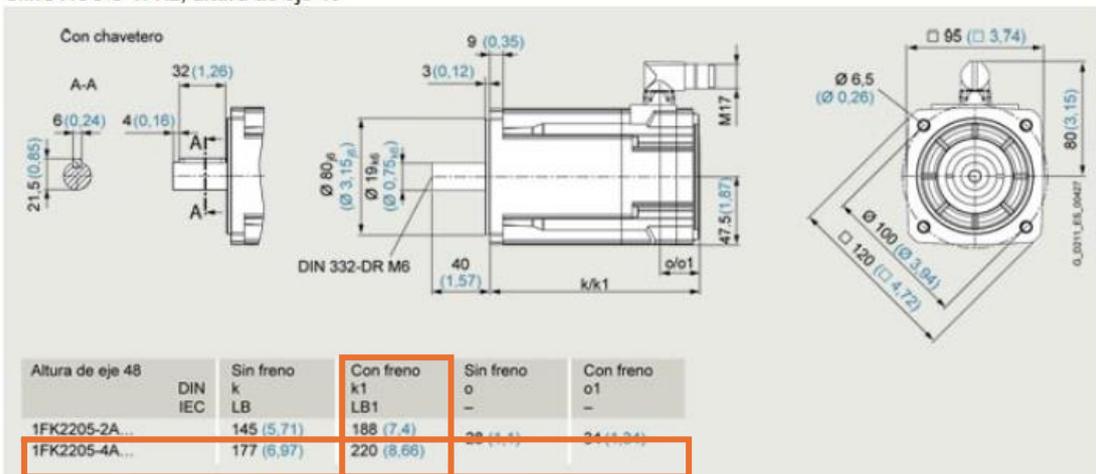
Datos técnicos específicos

Servomotores SIMOTICS S-1FK2		Compact	
Altura de eje 48		1FK2205-2AF	1FK2205-4AF
Par a rotor parado M_0	Nm	3,6	6
Corriente a rotor parado I_0	A	2,9	4,7
Par máximo $M_{m\acute{a}x}$	Nm	10,8	18
Corriente máxima $I_{m\acute{a}x}$	A	9,5	15,1
Velocidad máxima $n_{m\acute{a}x}$	r/min	6000	6000
Momento de inercia del rotor J_{mot}	kg cm ²	3,2	5,1
Momento de inercia (con freno) $J_{Fr Mot}$	kg cm ²	4,0	6,0
Peso m_{mot}	kg	3,75	5,2
Peso (con freno) $m_{Fr mot}$	kg	4,75	6,2

Figura A.9

Dimensiones Altura de eje 48

SIMOTICS S-1FK2, altura de eje 48



Todas las dimensiones en mm (valores entre paréntesis en pulgadas).

Torque nominal del Servomotor: 6 Nm

Reducción necesaria: $92.655 / 6 = 15.44$

Reducción para implementar: 16:1

Torque Nominal resultante: $6 Nm * 16 = 96 Nm$

Factor de Seguridad: $\frac{96Nm}{92.655Nm} = 1.036$

Selección del reductor planetario

La familia de reductores será la misma que la seleccionada para los movimientos de Rastrillado

Figura A.10

Selección de NRK120

Descripción de los motorreductores

3.2 Opciones

Reductores NRK para 1F□2

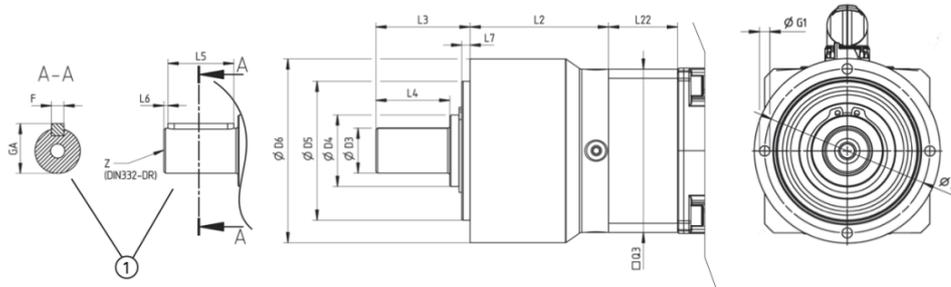
Reductor	Máximos pares de aplicación M_2 en variante con chaveta, en Nm	
	Hasta 10^7 cambios de carga	Hasta 10^8 cambios de carga
NRK050	12 Nm	9 Nm
NRK070	Sin limitaciones	29 Nm
NRK090	84 Nm	67 Nm
NRK120	Sin limitaciones	190 Nm
NRK155	389 Nm	309 Nm

Figura A.11

Planos acotados NRK 120

8.3 Reductores planetarios NRK

El motor tiene las siguientes dimensiones en los distintos tamaños:



① Extremo de eje con chaveta

Figura 8-3 Reductores planetarios NRK

Dimensiones dependientes del tamaño de reductor

Denominación de las dimensiones		NRK050	NRK070	NRK090	NRK120	NRK155
Diámetro del reductor	Ø D6	50	70	90	120	155
Diámetro del eje	Ø D3	12 (k7)	16 (k7)	22 (k7)	32 (k7)	40 (k7)
Longitud del reductor: una etapa	L2 (z = 1)	46	51	67,5	76,5	100
Longitud del reductor: dos etapas	L2 (z = 2)	58,5	64	85,5	104	144,5
Longitud del eje hasta la brida	L3	24,5	36	46	68	97
Longitud del eje hasta el resalte	L4	18	28	36	58	82
Diámetro del resalte del eje	Ø D4	15	30	35	50	55
Diámetro del borde de centrado	Ø D5	35 (h7)	52 (h7)	68 (h7)	90 (h7)	120 (h7)
Profundidad del borde de centrado	L7	3	3	4	5	8
Diámetro del círculo de agujeros	Ø D1	44	62	80	108	140
Rosca atornillada/profundidad	Ø G1 x T	M4 x 8	M5 x 8	M6 x 9	M8 x 20	M10 x 20
Dimensiones divergentes para el extremo de eje con chaveta						
Ancho de chaveta	F	4	5	6	10	12
Altura de eje incluida la chaveta	GA	13,5	18	24,5	35	43
Longitud de chaveta	L5	14	25	32	50	70
Distancia desde el extremo de eje	L6	2	2	2	4	6
Agujero de centraje DIN 332-DR	Z	M4 x 10	M5 x 12,5	M8 x 19	M12 x 28	M16 x 36

Dimensiones dependientes del motor adosado

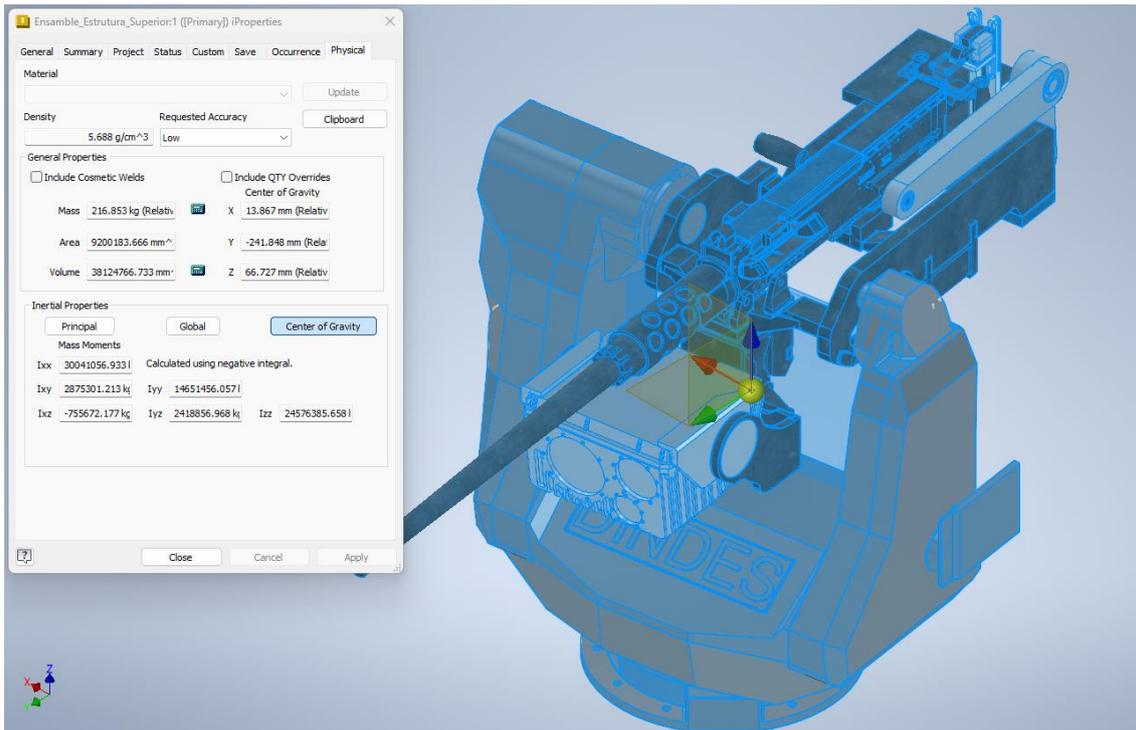
Dimensiones de la brida adaptadora	NRB040		NRB060		NRB080		NRB120		NRB160	
	Q3	L22								
1F□2102	40	28,5	60	24	-	-	-	-	-	-
1F□2□03	60	27,5	60	24	80	33,5	115	47,5	-	-
1F□2□04	-	-	80	31	80	33,5	115	47,5	-	-
1F□2205	-	-	90	41,5	90	43,5	115	47,5	142	78,5
1F□2105	-	-	100	41,5	100	43,5	125	47,5	142	78,5
1F□2□06	-	-	-	-	115	53,5	125	57,5	142	78,5
1F□2208	-	-	-	-	-	-	140	73	142	88,5
1F□2210	-	-	-	-	-	-			190	108,5

4. Para el movimiento en virada

Primero se debe conocer el peso que debe mover el mecanismo, para esto se sumaron los pesos de cada mecanismo y la estructura a moverse, teniendo un peso global de alrededor de 216.8532 Kg

Figura A.12

Inercia en el CM de ensamble virada



También gracias al software inventor se sabe que el momento de inercia de la estructura en el eje z con respecto a su centro de masa es 24576385.658 kg mm²

Determinar momento de Inercia alrededor de CM

$$I_{CM} = 24576385.658 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$$

$$I_{CM} = 24576385.658 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2 * \frac{0.000001 \text{ m}^2}{\text{mm}^2}$$

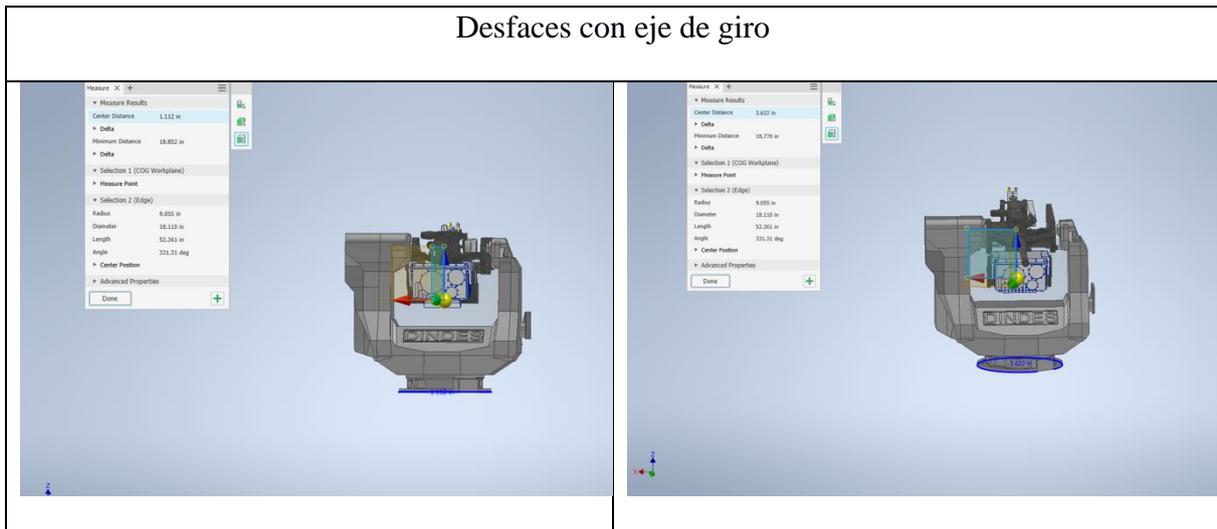
$$I_{CM} = 24.5764 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Determinar Momento de inercia ajustado al centro de rotación

Pero el eje de giro este alrededor del centro de masas como se aprecia a continuación:

Figura A.13

Desfaces con el eje de giro



por lo que se necesita calcular el momento de inercia alrededor del eje desplazado, para esto:

Calcular el Momento de Inercia usando el Teorema de Ejes Paralelos

Datos:

- Masa del objeto (M): 216.853 kg
- Desplazamiento en X (dx): 1.112 pulgadas = 0.0282m
- Desplazamiento en Y (dy): 3.622 pulgadas = 0.0920m
- Momento de inercia original (Icm): 24.5764 kg · m²

Calcular la distancia d del eje de giro al centro de masa:

$$d = \sqrt{d_x^2 + d_y^2} = \sqrt{(0.0282)^2 + (0.0920)^2}$$

$$d = \sqrt{0.000795 + 0.000846} \approx \sqrt{0.001641} \approx 0.0405$$

Aplicar el Teorema de Ejes Paralelos:

$$I = I_{CM} + Md^2$$

Se sustituye los valores:

$$I = 24.576 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 + 216.853 \text{ kg} * (0.0962)^2$$

$$I = 24.576 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 + 216.856 \text{ kg} * 0.009$$

$$I = 24.576 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 + 2.006 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I = 26.583 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Calcular la Aceleración Angular (α)

Datos:

- Angulo de rotación (θ): 180 grados = π radianes
- Tiempo (t): 1 segundo

La aceleración angular se calcula usando:

$$\alpha = \frac{2\theta}{t^2}$$

Se sustituye los valores:

$$\alpha = \frac{2\pi}{1^2} = 2\pi \text{ rad}/\text{s}^2$$

$$\alpha = 6.283 \text{ rad}/\text{s}^2$$

Calcular el Torque Necesario (τ)

Se procede a usar la segunda ley de Newton para rotación:

$$\tau = I \cdot \alpha$$

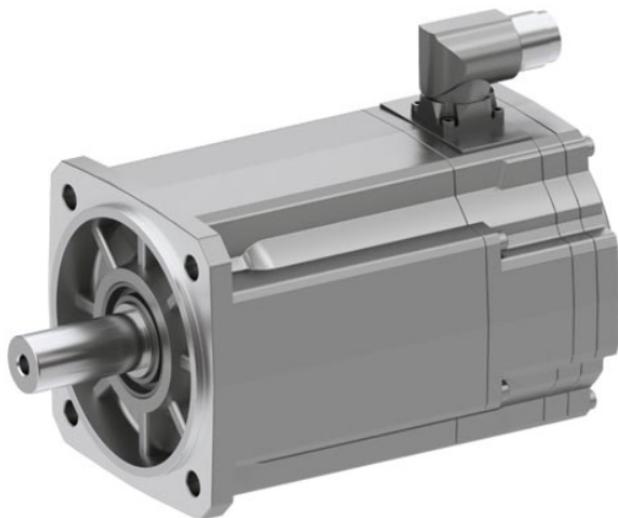
Se sustituyendo los valores:

$$\tau = 26.583 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 * 6.283 \text{ rad}/\text{s}^2$$

Se calcula:

$$\tau = 167.020 \text{ N} \cdot \text{m}$$

SIMOTICS S-1FK2, altura de eje 63



Datos técnicos específicos

Servomotores SIMOTICS S-1FK2		High Dynamic			Compact	
Altura de eje 63		1FK2106-3AF	1FK2106-4AF	1FK2106-6AF	1FK2206-2AF	1FK2206-4AF
Par a rotor parado M_0	Nm	9	12	16	6,5	12
Corriente a rotor parado I_0	A	9,2	10,7	14,3	5	7,9
Par máximo $M_{m\acute{a}x}$	Nm	26	33	45,5	18	36
Corriente máxima $I_{m\acute{a}x}$	A	43	42	49	17,8	29,5
Velocidad máxima $n_{m\acute{a}x}$	r/min	6000	6000	6000	6000	5800
Momento de inercia del rotor J_{mot}	kg cm ²	4,6	6,0	8,7	7,8	15
Momento de inercia (con freno) $J_{Fr Mot}$	kg cm ²	6,3	7,6	10	9,4	17
Peso m_{mot}	kg	7,4	9	11,8	6,3	8,9
Peso (con freno) $m_{Fr mot}$	kg	9	10,6	13,4	7,9	10,6

Figura A.15

Servomotor 1FK2206

1FK2206-4AF11-1MA0



SIMOTICS S-1FK2 CT servomotor $M_0 = 12$ Nm; $P_n = 2,85$ kW a $n_n = 3000$ 1/min (380-480 V); $P_n = 1,72$ kW a $n_n = 1500$ 1/min (200-240 V); con freno de mantenimiento; grado de protección IP65; eje $D 24 \times 50$ mm con chaveta; encóder absoluto 22 bits + 12 bits multivuelta (encóder AM22DQC); con interfaz OCC; conector tamaño M23, girable;

Precio de Lista > [Mostrar precios](#)

Precio de cliente > [Mostrar precios](#)

Additional Services Para este producto podemos ofrecer servicios como Entrega/Reparación/Cambio de piezas de repuesto. Actualmente no tiene derechos para ingresar a Service Web Shop para eso.
> Para obtener más información y solicitar este servicio, comuníquese con su socio local de repuestos y reparaciones.

Service & Support (Manuals, Certificates, FAQs...) > [Descargar](#)

> Galería de imágenes (0)

Torque nominal del Servomotor: 12 Nm

Reducción necesaria: $108.863/12 = 9.072$

Reducción para implementar: 10:1

Torque Nominal resultante: $12 Nm * 10 = 120 Nm$

Torque final con Engranajes planetarios: $120 Nm * 2 = 240 Nm$

Factor de Seguridad: $\frac{240Nm}{217.126Nm} = 1.10$

Selección reductora planetario

La familia de reductores es la misma que la seleccionada para los movimientos de Cabeceo y

Rastrillado

Figura A.16

Selección de NRK155

Descripción de los motorreductores

3.2 Opciones

Reductores NRK para 1F□2

Reductor	Máximos pares de aplicación M_2 en variante con chaveta, en Nm	
	Hasta 10^7 cambios de carga	Hasta 10^8 cambios de carga
NRK050	12 Nm	9 Nm
NRK070	Sin limitaciones	29 Nm
NRK090	84 Nm	67 Nm
NRK120	Sin limitaciones	190 Nm
NRK155	389 Nm	309 Nm

Figura A.17

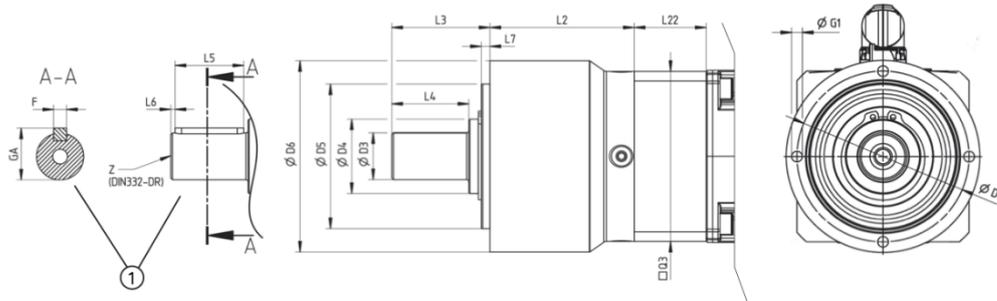
Planos acotados NRK155

Planos de montaje/planos acotados

8.3 Reductores planetarios NRK

8.3 Reductores planetarios NRK

El motor tiene las siguientes dimensiones en los distintos tamaños:



① Extremo de eje con chaveta

Figura 8-3 Reductores planetarios NRK

Dimensiones dependientes del tamaño de reductor

Denominación de las dimensiones		NRK050	NRK070	NRK090	NRK120	NRK155
Diámetro del reductor	Ø D6	50	70	90	120	155
Diámetro del eje	Ø D3	12 (k7)	16 (k7)	22 (k7)	32 (k7)	40 (k7)
Longitud del reductor: una etapa	L2 (z = 1)	46	51	67,5	76,5	100
Longitud del reductor: dos etapas	L2 (z = 2)	58,5	64	85,5	104	144,5
Longitud del eje hasta la brida	L3	24,5	36	46	68	97
Longitud del eje hasta el resalte	L4	18	28	36	58	82
Diámetro del resalte del eje	Ø D4	15	30	35	50	55
Diámetro del borde de centrado	Ø D5	35 (h7)	52 (h7)	68 (h7)	90 (h7)	120 (h7)
Profundidad del borde de centrado	L7	3	3	4	5	8
Diámetro del círculo de agujeros	Ø D1	44	62	80	108	140
Rosca atornillada/profundidad	Ø G1 x T	M4 x 8	M5 x 8	M6 x 9	M8 x 20	M10 x 20
Dimensiones divergentes para el extremo de eje con chaveta						
Ancho de chaveta	F	4	5	6	10	12
Altura de eje incluida la chaveta	GA	13,5	18	24,5	35	43
Longitud de chaveta	L5	14	25	32	50	70
Distancia desde el extremo de eje	L6	2	2	2	4	6
Agujero de centraje DIN 332-DR	Z	M4 x 10	M5 x 12,5	M8 x 19	M12 x 28	M16 x 36

Dimensiones dependientes del motor adosado

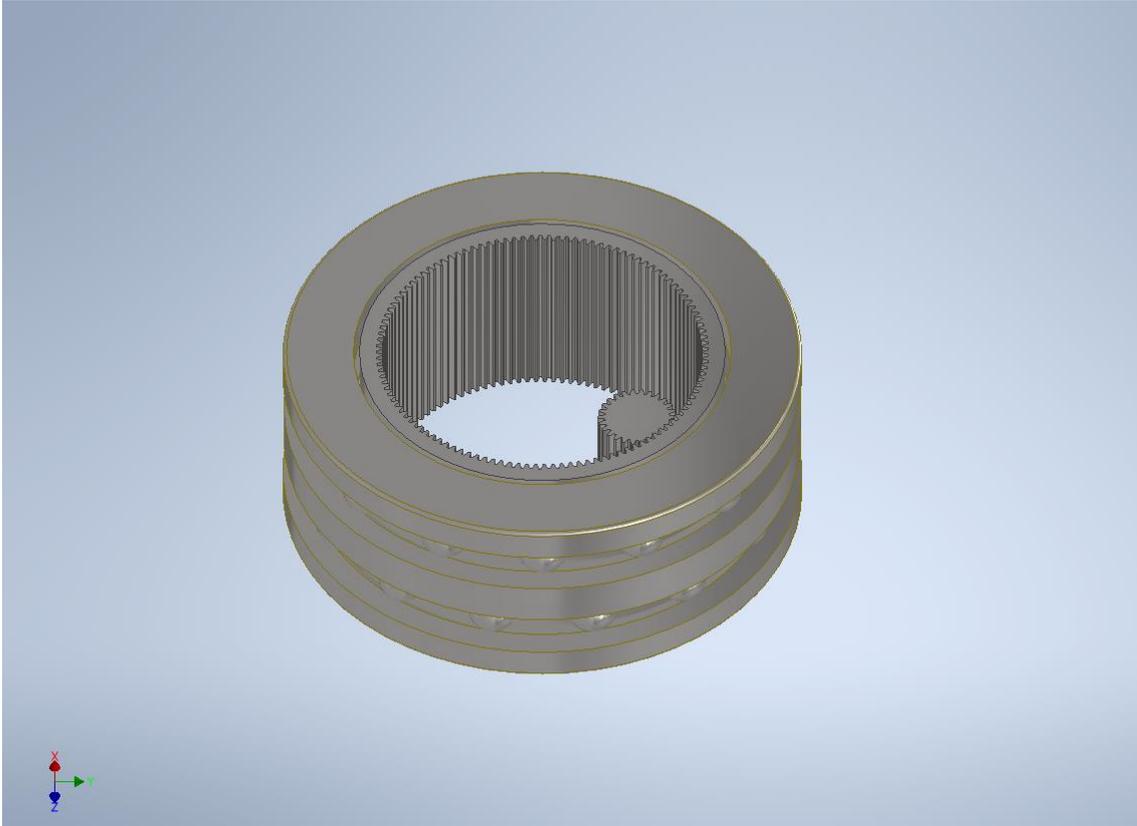
Dimensiones de la brida adaptadora	NRB040		NRB060		NRB080		NRB120		NRB160	
	Q3	L22								
1F□2102	40	28,5	60	24	-	-	-	-	-	-
1F□2□03	60	27,5	60	24	80	33,5	115	47,5	-	-
1F□2□04	-	-	80	31	80	33,5	115	47,5	-	-
1F□2205	-	-	90	41,5	90	43,5	115	47,5	142	78,5
1F□2105	-	-	100	41,5	100	43,5	125	47,5	142	78,5
1F□2□06	-	-	-	-	115	53,5	125	57,5	142	78,5
1F□2208	-	-	-	-	-	-	140	73	142	88,5
1F□2210	-	-	-	-	-	-			190	108,5

5. Diseño del sistema de engranaje planetario**Proponer un diseño**

Para el diseño del sistema de engranes planetarios se optó por trabajar sobre el sistema de acople ya existente el cual consta de una corona acoplada a un rulemán grande de tres filas de bolas sobre el cual reposa la estructura, permitiendo el giro y distribuyendo las cargas axiales sobre estas, a continuación, una imagen que ilustra de mejor manera esto:

Figura A.18

Transmisión Antigua

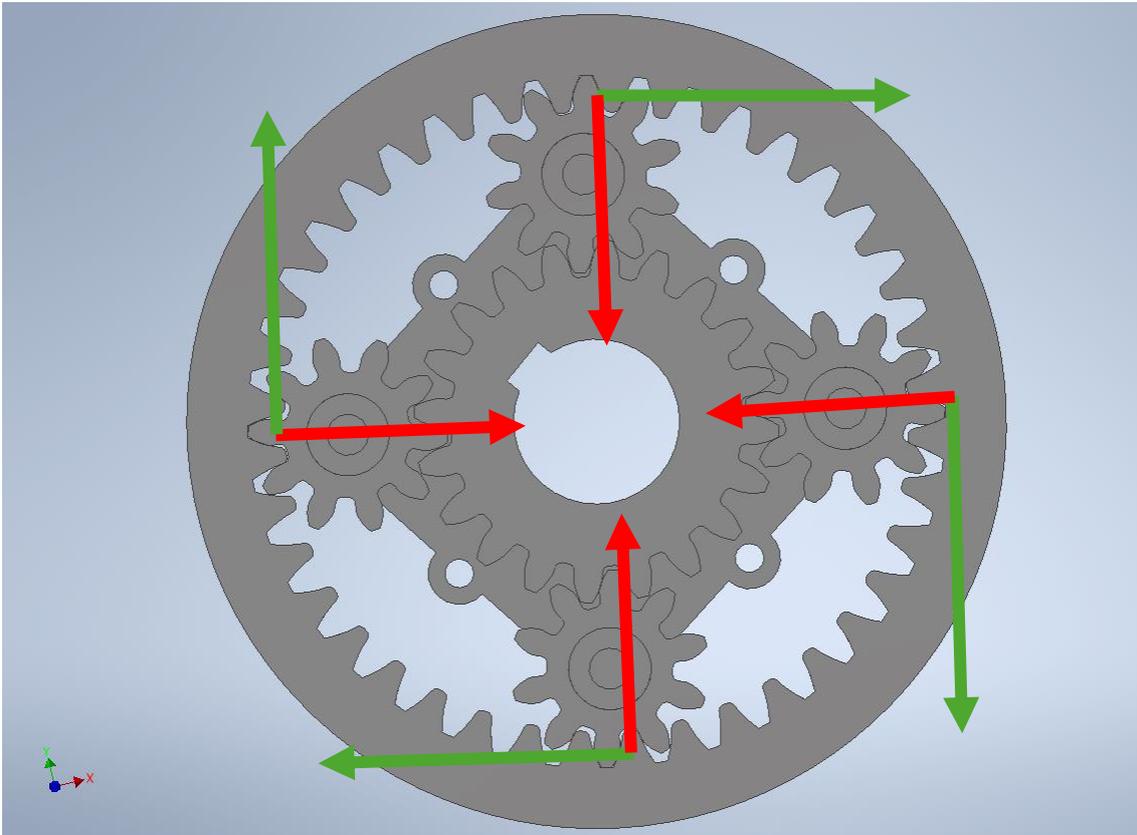


El sistema mostrado cumple con la transmisión de potencia sin embargo presenta problemas de diseño, pues el piñón de potencia está sometido a fuerzas radiales generadas por las caras de los dientes al transmitir la potencia a la corona, esto puede provocar desde desplazamientos no deseados sobre el eje de transmisión hasta saltos de dientes.

Se propuso un nuevo diseño de engranajes planetarios en el cual las fuerzas radiales sobre el piñón de potencia se van a cancelar entre sí:

Figura A.7

Reductor Planetario



Para llegar al factor de reducción se utilizarán las siguientes ecuaciones para engranes planetarios:

$$R = 2 * P + S \quad (A.7)$$

Donde:

- **R** Numero de dientes en la corona.
- **S** Numero de dientes en el planeta
- **P** Numero de dientes en los satélites

Ecuacion de relación de transmisión

$$(R + S) * T_y = R * T_r + T_s * S \quad (A.8)$$

Donde:

- T_r Velocidad de giro de la corona
- T_s Velocidad de giro del planeta
- T_y Velocidad de giro del portasatelites

El elemento de potencia será el piñón y el elemento que transmita la potencia final será la corona, por lo cual el portasatélites estará fijo empotrado, por lo cual la velocidad de giro del portasatélites es cero pudiendo expresar la ecuación A.8 de la siguiente forma:

$$0 = R * T_r + T_s * S$$

$$R * T_r = -T_s * S$$

$$R = \frac{-T_s * S}{T_r}$$

Al estar buscando una relación de 2:1 en sentido inverso se conoce que

$$T_s = -2 \text{ entonces } T_r = 1$$

Se asume el número de dientes en el planeta como $S = 20$.

Entonces:

$$R = \frac{-(-2) * 20}{1}$$

$$R = 40$$

Se usa la ecuación A.7 entonces:

$$R = 2 * P + S$$

$$P = \frac{R - S}{2}$$

$$P = \frac{40 - 20}{2}$$

$$P = 10$$

Diseño de los dientes

- D_p Pitch Diameter del planeta
- D_g Pitch Diameter de los satelites
- C distancia entre ceros

Planeta

$$D_p = mN_p = 3 * 20 = 60 \text{ mm}$$

Satélites

$$D_g = mN_g = 3 * 10 = 30 \text{ mm}$$

$$C = 45 \text{ mm}$$

Angulo de presión

Por comodidad de diseño se seleccionó un ángulo de presión de 20° debido a que la mayoría de engranes se fabrican con este ángulo y los procesos de fabricación están optimizados para generar este ángulo en los piñones.

Figura A.19

Angulo de Presión

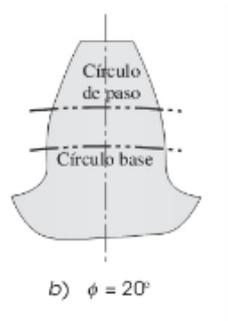
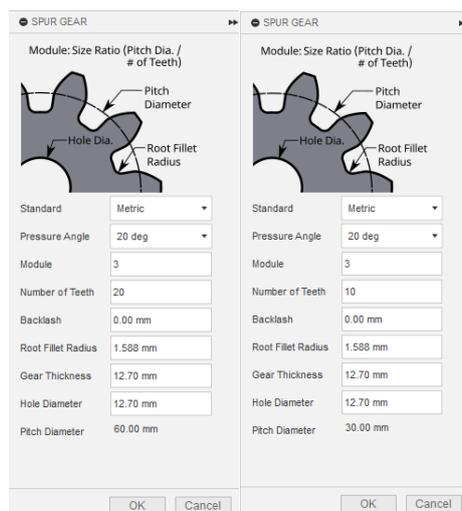


Figura A.20

Generador de engranes rectos



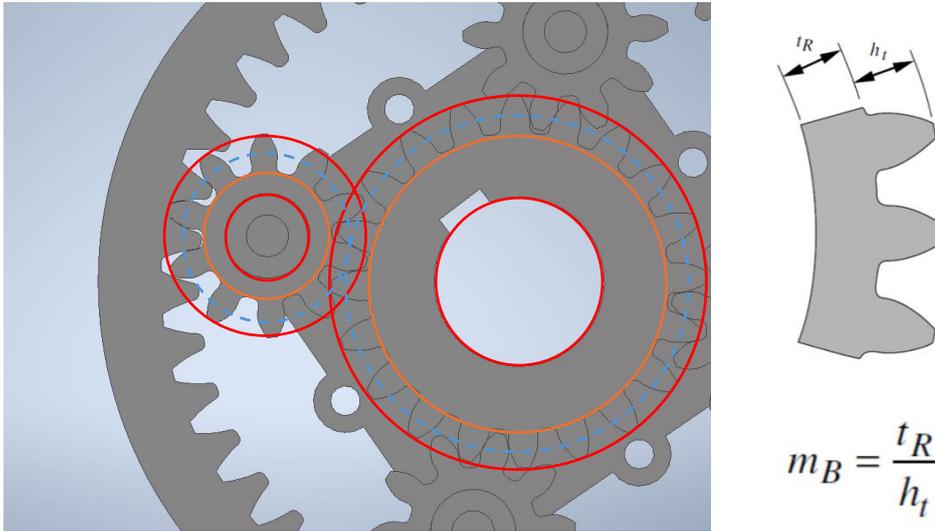
Se seleccionó el módulo con respecto al número de dientes siguiendo la recomendación de AGMA sobre una razón de respaldo m_B no sea menor a 0.5.

$$\text{En el caso del planeta } m_B = \frac{15.149 \text{ mm}}{9.767 \text{ mm}} = 1.55$$

$$\text{En el caso de los satélites } m_B = \frac{5.149 \text{ mm}}{9.775 \text{ mm}} = 0.53$$

Figura A.21

Consideraciones de engranes planetarios



Cálculo de la velocidad lineal

$$v_t = \frac{D_p}{2} * n_p \quad (\text{A.9})$$

$$v_t = \frac{0.060 \text{ m}}{2} * 3000 \text{ rpm} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 9.42 \text{ m/s}$$

Cálculo del torque en el piñón

$$T_p = \frac{\text{Potencia}}{n_p} \quad (\text{A.10})$$

$$T_p = \frac{2.85 \text{ kW}}{3000 \text{ rpm} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}} = 9.07 \text{ Nm}$$

Cálculo de la fuerza tangencial

$$W_t = \frac{T_p}{\left(\frac{D_p}{2}\right)} \quad (\text{A.11})$$

$$W_t = \frac{9.07 \text{ Nm}}{\left(\frac{0.060 \text{ m}}{2}\right)} = 0.30 \text{ kN}$$

Cálculo de la fuerza radial

$$W_r = W_t \tan \phi$$

$$W_r = 109 \text{ N}$$

Apéndice B
Cálculos y selección de los componentes electrónicos
Servomotores

Una vez que se tiene los valores necesarios para mover los mecanismos, como la potencia mecánica requerida, empezamos a realizar la selección de los servomotores, y junto a ello los servodrivers.

Movimiento “VIRADA”

Se encerrará los valores más importantes, entre ellos la corriente nominal, y la potencia en W.

Figura B.1

Selección de servomotor para el movimiento en virada [20]

Altura de eje 63		1FK2106-3AF	1FK2106-4AF	1FK2106-6AF	1FK2206-2AF	1FK2206-4AF
Par a rotor parado M_0	Nm	9	12	16	6,5	12
Corriente a rotor parado I_0	A	9,2	10,7	14,3	5	7,9
Par máximo $M_{m\acute{a}x}$	Nm	26	33	45,5	18	36
Corriente máxima $I_{m\acute{a}x}$	A	43	42	49	17,8	29,5
Velocidad máxima $n_{m\acute{a}x}$	r/min	6000	6000	6000	6000	5800
Momento de inercia del rotor J_{mot}	kg cm ²	4,6	6,0	8,7	7,8	15
Momento de inercia (con freno) $J_{Fr Mot}$	kg cm ²	6,3	7,6	10	9,4	17
Peso m_{mot}	kg	7,4	9	11,8	6,3	8,9
Peso (con freno) $m_{Fr mot}$	kg	9	10,6	13,4	7,9	10,6
3 AC 200 ... 240 V						
Velocidad asignada n_N	r/min	1500	1500	1500	1500	1500
Par asignado M_N	Nm	8,3	10,5	13,8	6,1	10,9
Corriente asignada I_N	A	8,7	9,6	12,5	4,8	7,3
Potencia asignada P_N	W	1300	1640	2150	970	1700
3 AC 380 ... 480 V						
Velocidad asignada n_N	r/min	3000	3000	3000	3000	3000
Par asignado M_N	Nm	7,3	8,6	10,6	5,4	9,1
Corriente asignada I_N	A	7,9	8,1	9,7	4,35	6,2
Servomotores SIMOTICS S-1FK2						
		High Dynamic			Compact	
Altura de eje 63		1FK2106-3AF	1FK2106-4AF	1FK2106-6AF	1FK2206-2AF	1FK2206-4AF
Potencia asignada P_N	W	2300	2700	3300	1710	2850

En la Figura B.1 se tiene la corriente nominal del servomotor de 6.2A y la potencia de 2850W.

Movimiento “Cabeceo”

Figura B.2

Selección de servomotor para el movimiento cabeceo [20]

Servomotores SIMOTICS S-1FK2		Compact	
Altura de eje 48		1FK2205-2AF	1FK2205-4AF
Velocidad asignada n_N	r/min	1500	1500
Par asignado M_N	Nm	3,4	5,5
Corriente asignada I_N	A	2,8	4,35
Potencia asignada P_N	W	530	860
3 AC 380 ... 480 V			
Velocidad asignada n_N	r/min	3000	3000
Par asignado M_N	Nm	3	4,6
Corriente asignada I_N	A	2,5	3,75
Potencia asignada P_N	W	940	1450
Para servoconvertidor SINAMICS S210			
• 1 AC 200 ... 240 V		6SL3210-5HB10-8UF0	–
• 3 AC 200 ... 240 V		6SL3210-5HE11-0UF0	6SL3210-5HE11-5UF0
• 3 AC 380 ... 480 V		6SL3210-5HE11-0UF0	6SL3210-5HE11-5UF0
Para servoconvertidor SINAMICS S210 (New)			
• 1 AC 200 ... 240 V		6SL5310-1BB10-8CF0	–
• 3 AC 200 ... 240 V		6SL5310-1BE11-0DF0	6SL5310-1BE11-5DF0
• 3 AC 380 ... 480 V		6SL5310-1BE11-0DF0	6SL5310-1BE11-5DF0

En la Figura B.2 se tiene que la corriente nominal es 3.75A y la potencia 1450W.

Movimiento “Rastrillar”

Figura B.3

Selección de servomotor para rastrillar la ametralladora [20]

Servomotores SIMOTICS S-1FK2		High Dynamic				Compact			
Altura de eje 30		1FK2103-2AG	1FK2103-2AH	1FK2103-4AG	1FK2103-4AH	1FK2203-2AG	1FK2203-2AK	1FK2203-4AG	1FK2203-4AK
Par a rotor parado M_0	Nm	0,64	0,64	1,27	1,27	0,64	0,64	1,27	1,27
Corriente a rotor parado I_0	A	1,36	1,06	2,4	1,87	1,36	1,05	2,52	2,05
Par máximo M_{\max}	Nm	1,95	1,95	4,05	4,05	1,85	1,85	3,75	3,75
Corriente máxima I_{\max}	A	4,8	3,95	8,7	7,1	4,2	3,4	7,8	6,7
Velocidad máxima n_{\max}	r/min	8000	8000	7300	8000	8000	8000	7800	8000
Momento de inercia del rotor J_{rot}	kg cm ²	0,093	0,093	0,14	0,14	0,20	0,20	0,35	0,35
Momento de inercia (con freno) $J_{Fr, \text{Mot}}$	kg cm ²	0,11	0,11	0,16	0,16	0,22	0,22	0,37	0,37
Peso m_{mot}	kg	1,17	1,18	1,64	1,65	1,15	1,16	1,48	1,49
Peso (con freno) $m_{Fr, \text{mot}}$	kg	1,54	1,55	1,98	1,99	1,52	1,53	1,96	1,97
3 AC 380 ... 480 V									
Velocidad asignada n_N	r/min	3000	–	3000	–	3000	–	3000	–
Par asignado M_N	Nm	0,64	–	1,27	–	0,64	–	1,27	–
Corriente asignada I_N	A	1,36	–	2,4	–	1,36	–	2,52	–
Potencia asignada P_N	W	200	–	400	–	200	–	400	–

La corriente nominal es 2.4A la potencia es de 400W.

Servodrivers

Con estos servomotores iniciamos con la selección de los servodrivers según corresponda, nos dirigimos a lo que nos recomienda el fabricante.

El servodriver debe ser capaz de otorgar la potencia que requiere cada uno de los servomotores.

Aquí se tiene un resumen de los valores que se necesita:

Tabla B.1 Resumen de selección de servomotores

Descripción	Modelo	Altura eje (mm)	Potencia (W)	Corriente (A)
VIRADA	1FK2206-4AF	63	2850	6.2
CABECEO	1FK2205-4AF	48	1450	3.75
RASTRILLADO	1FK2103-4AG	30	400	2.4

Con esto en cuenta, se seleccionará según la potencia necesaria el Servodriver.

Figura B.4

Selección de servomotores [21]

Converters with 3 AC line connection

Article number	Frame size	Rated power
6SL3210-5HE10-4UF0	FSA	0.4 kW
6SL3210-5HE10-8UF0	FSA	0.75 kW
6SL3210-5HE11-0UF0	FSA	1 kW
6SL3210-5HE11-5UF0 ¹⁾	FSB	1.5 kW
6SL3210-5HE12-0UF0 ¹⁾	FSB	2 kW
6SL3210-5HE13-5UF0 ¹⁾	FSC	3.5 kW
6SL3210-5HE15-0UF0 ¹⁾	FSC	5 kW
6SL3210-5HE17-0UF0 ¹⁾	FSC	7 kW

Figura B.5

Datos del servodriver para virada [21]

Datos de pedido MLFB-Ordering data	6SL3210-5HE13-5UF0
Número de pedido del cliente / Client order no.:	
N°. de pedido Siemens / Order no.:	
Número de oferta / Offer no.:	
Nota / Remarks:	
Datos asignados / Rated data	
Entrada / Input	
Número de fases Number of phases	3 AC
Tensión de red Line voltage	200 ... 480 V ±10 %
Frecuencia de red Line frequency	45 ... 66 Hz
Intensidad asignada Rated current	12,5 A
Intensidad de arranque Inrush current	27,8 A
Salida / Output	
Número de fases Number of phases	3 AC
Potencia asignada (con 400V) Rated power (at 400V)	3,50 kW
Potencia asignada (con 240V) Rated power (at 240V)	2,10 kW
Corriente asignada I_N Rated current I_N	9,0 A
Intensidad de salida, máx. Max. output current	33,0 A
Frecuencia de pulsación Pulse frequency	8 kHz
Frecuencia de salida con	0 ... 550 Hz
Alimentación de la electrónica de control / Electronics power supply	
Tensión Voltage	24 V -15 % ... +20 %
Consumo, máx. Current demand, max.	1,2 A

Figura B.5

Datos del servodriver para cabeceo [21]

Datos de pedido MLFB-Ordering data		6SL3210-5HE12-0UF0
Número de pedido del cliente / Client order no.:		
Nº. de pedido Siemens / Order no.:		
Número de oferta / Offer no.:		
Nota / Remarks:		
Datos asignados / Rated data		
Entrada / Input		
Número de fases Number of phases	3 AC	
Tensión de red Line voltage	200 ... 480 V ±10 %	
Frecuencia de red Line frequency	45 ... 66 Hz	
Intensidad asignada Rated current	7,5 A	
Intensidad de arranque Inrush current	8,6 A	
Salida / Output		
Número de fases Number of phases	3 AC	
Potencia asignada (con 400V) Rated power (at 400V)	2,00 kW	
Potencia asignada (con 240V) Rated power (at 240V)	1,20 kW	
Corriente asignada I_{N} Rated current I_N	7,0 A	
Intensidad de salida, máx. Max. output current	24,0 A	
Frecuencia de pulsación Pulse frequency	8 kHz	
Frecuencia de salida con	0 ... 550 Hz	
Alimentación de la electrónica de control / Electronics power supply		
Tensión Voltage	24 V -15 % ... +20 %	
Consumo, máx. Current demand, max.	1,0 A	

Figura B.6

Datos del servodriver para rastrillar la ametralladora [21]

Datos de pedido MLFB-Ordering data		6SL3210-5HE11-0UF0
Número de pedido del cliente / Client order no.:		
Nº. de pedido Siemens / Order no.:		
Número de oferta / Offer no.:		
Nota / Remarks:		
Datos asignados / Rated data		
Entrada / Input		
Número de fases Number of phases	3 AC	
Tensión de red Line voltage	200 ... 480 V ±10 %	
Frecuencia de red Line frequency	45 ... 66 Hz	
Intensidad asignada Rated current	3,8 A	
Intensidad de arranque Inrush current	4,3 A	
Salida / Output		
Número de fases Number of phases	3 AC	
Potencia asignada (con 400V) Rated power (at 400V)	1,00 kW	
Potencia asignada (con 240V) Rated power (at 240V)	0,60 kW	
Corriente asignada I_{n1} Rated current I_n	3,0 A	
Intensidad de salida, máx. Max. output current	10,9 A	
Frecuencia de pulsación Pulse frequency	8 kHz	
Frecuencia de salida con	0 ... 550 Hz	
Alimentación de la electrónica de control / Electronics power supply		
Tensión Voltage	24 V -15 % ... +20 %	
Consumo, máx. Current demand, max.	1,0 A	

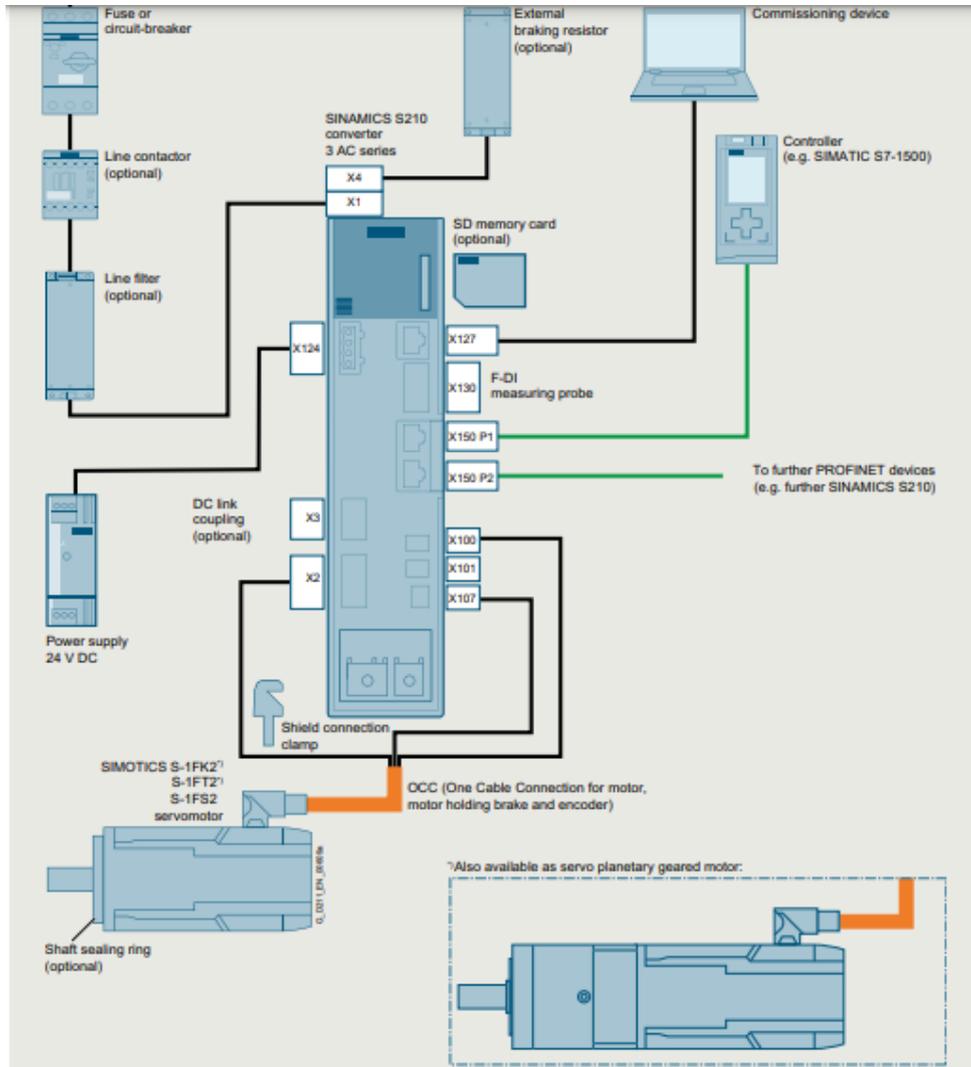
Tabla B.2 Resumen de selección de servodrivvers

Número del artículo	Función	Potencia (W)	Corriente In (A)	Corriente out (A)
6SL3210-5HE10-8UF0	Rastrillo	1kW	3.8	3.0
6SL3210-5HE12-0UF0	Cabeceo	2kW	7.5	7.0
6SL3210-5HE13-5UF0	Virada	3.5kW	12.5	9

Protecciones para los servodrivs

Figura B.7

Esquema recomendado por el fabricante [21]



Se observa que el Servodriver necesita como protección “fuse or circuit breaker”. El manual del servodriver menciona que “los dispositivos de protección contra sobrecorriente son necesarios para el funcionamiento de los convertidores”.

El guarda motor según schneider: “la protección térmica permite al guardamotor monitorear la corriente que fluye hacia el motor y disparar el interruptor automático si detecta una sobrecorriente a lo largo del tiempo” [22]. Por esta razón se seleccionará guardamotors para cada uno.

Protección virada

Se tiene que la corriente nominal del servomotor es de 6.2A, con esa corriente el servomotor funcionará de manera normal sin sobrecargarse y por consiguiente no existirá sobrecorriente. Ahora con respecto al servodriver, él tiene 2 corrientes nominales, una de entrada y otra de salida, 12.5A y 9A respectivamente. Dichas corrientes son muchas más altas que la que consumirá el servomotor, sin embargo, se debe tener en cuenta que el servodriver es el que le entregará la corriente necesaria al servomotor y evidentemente no usará los 9A de salida, solo usará 6.2A. Por lo que se realizará una estimación para conocer cuánta corriente usará el servodriver cuando en la salida tenga 6.2A. Según ese valor se seleccionará el guardamotor. Si 12.5A es consumido en la entrada cuando se consume 9A en la salida, cuanto consumirá si solo consume en la salida 6.2A.

$$9Ax = 12.5A * 6.2A \tag{B.1}$$

$$x = 8.6A$$

Figura B.8

Selección del guardamotor para virada [23]

No. de Depósito	Descripción				Precio Lista Unit. US \$
	Tipo	Tamaño	Regulación (A) Bimetálico	Cortocircuito	
Nuevos guardamotors SIRIUS Innovations					
100176230	3RV20 11 - 0JA10	500	0.7 - 1.0	13	60,23
100176232	3RV20 11 - 1AA10		1.1 - 1.6	21	61,68
100176234	3RV20 11 - 1BA10		1.4 - 2.0	26	63,47
100176236	3RV20 11 - 1CA10		1.8 - 2.5	33	63,47
100176238	3RV20 11 - 1DA10		2.2 - 3.2	42	63,47
100176240	3RV20 11 - 1EA10		2.8 - 4.0	52	63,47
100199318	3RV20 11 - 1FA10		3.5 - 5.0	65	63,47
100176244	3RV20 11 - 1GA10		4.5 - 6.3	82	63,47
100176246	3RV20 11 - 1HA10		5.5 - 8.0	104	64,70
100176248	3RV20 11 - 1JA10		7.0 - 10.0	130	72,48
100176250	3RV20 11 - 1KA10	9.0 - 12.0	163	75,89	
100176252	3RV2011 - 4AA10	50	11.0 - 16.0	208	77,70
100176254	3RV2021 - 4BA10		14.0 - 20.0	260	77,70
100176256	3RV2021 - 4CA10		17.0 - 22.0	286	79,94
100176258	3RV2021 - 4DA10		20.0 - 25.0	325	95,40
100176260	3RV2021 - 4NA10		23.0 - 28.0	364	156,23
100176262	3RV2021 - 4EA10		27.0 - 32.0	400	160,74
100176264	3RV2021 - 4PA10		30.0 - 36.0	432	187,67
100176266	3RV2021 - 4FA10		34.0 - 40.0	480	187,67



3RV2011



3RV2021



3RV2041-4YA10

Protección cabeceo

Si 7.5A es consumido en la entrada cuando se consume 7A en la salida, cuanto consumirá si solo consume en la salida 3.75A. Usamos la misma ecuación B.1

$$7Ax = 7.5A * 3.75A$$

$$x = 4A$$

Se procede a seleccionar un guardamotor que encierre dicho valor.

Figura B.9

Selección del guardamotor para cabeceo [23]

No. de Depósito	Descripción				Precio Lista Unit. US \$
	Tipo	Tamaño	Regulación (A) Bimetálico	Cortocircuito	
Nuevos guardamotors SIRIUS Innovations					
100176230	3RV20 11 - 0JA10	S00	0.7 - 1.0	13	60,23
100176232	3RV20 11 - 1AA10		1.1 - 1.6	21	61,68
100176234	3RV20 11 - 1BA10		1.4 - 2.0	26	63,47
100176236	3RV20 11 - 1CA10		1.8 - 2.5	33	63,47
100176238	3RV20 11 - 1DA10		2.2 - 3.2	42	63,47
100176240	3RV20 11 - 1EA10		2.8 - 4.0	52	63,47
100199318	3RV20 11 - 1FA10	S0	3.5 - 5.0	65	63,47
100176244	3RV20 11 - 1GA10		4.5 - 6.3	82	63,47
100176246	3RV20 11 - 1HA10	S0	5.5 - 8.0	104	64,70
100176248	3RV20 11 - 1JA10		7.0 - 10.0	130	72,48
100176250	3RV20 11 - 1KA10		9.0 - 12.0	163	75,89
100176252	3RV2011 - 4AA10		11.0 - 16.0	208	77,70
100176254	3RV2021 - 4BA10		14.0 - 20.0	260	77,70
100176256	3RV2021 - 4CA10		17.0 - 22.0	286	79,94
100176258	3RV2021 - 4DA10		20.0 - 25.0	325	95,40
100176260	3RV2021 - 4NA10		23.0 - 28.0	364	156,23
100176262	3RV2021 - 4EA10		27.0 - 32.0	400	160,74
100176264	3RV2021 - 4PA10		30.0 - 36.0	432	187,67
100176266	3RV2021 - 4FA10	34.0 - 40.0	480	187,67	

Protección para rastrillar

Si 2.8A es consumido en la entrada cuando se consume 2.3A en la salida, cuanto consumirá si solo consume en la salida 2.4A.

$$3Ax = 3.8A * 2.4A$$

$$x = 3.0A$$

Se procede a seleccionar un guardamotor que encierre dicho valor.

Figura B.10

Selección del guardamotor para rastrillar la ametralladora [23]

No. de Depósito	Descripción				Precio Lista Unit. US \$
	Tipo	Tamaño	Regulación (A) Bimetálico	Cortocircuito	
Nuevos guardamotors SIRIUS Innovations					
100176230	3RV20 11 - 0JA10	500	0.7 - 1.0	13	60,23
100176232	3RV20 11 - 1AA10		1.1 - 1.6	21	61,68
100176234	3RV20 11 - 1BA10		1.4 - 2.0	26	63,47
100176236	3RV20 11 - 1CA10		1.8 - 2.5	33	63,47
100176238	3RV20 11 - 1DA10		2.2 - 3.2	42	63,47
100176240	3RV20 11 - 1EA10	500	2.8 - 4.0	52	63,47
100199318	3RV20 11 - 1FA10	500	3.5 - 5.0	65	63,47
100176244	3RV20 11 - 1GA10		4.5 - 6.3	82	63,47
100176246	3RV20 11 - 1HA10		5.5 - 8.0	104	64,70
100176248	3RV20 11 - 1JA10		7.0 - 10.0	130	72,48
100176250	3RV20 11 - 1KA10		9.0 - 12.0	163	75,89
100176252	3RV2011 - 4AA10	50	11.0 - 16.0	208	77,70
100176254	3RV2021 - 4BA10		14.0 - 20.0	260	77,70
100176256	3RV2021 - 4CA10		17.0 - 22.0	286	79,94
100176258	3RV2021 - 4DA10		20.0 - 25.0	325	95,40
100176260	3RV2021 - 4NA10		23.0 - 28.0	364	156,23
100176262	3RV2021 - 4EA10		27.0 - 32.0	400	160,74
100176264	3RV2021 - 4PA10		30.0 - 36.0	432	187,67
100176266	3RV2021 - 4FA10		34.0 - 40.0	480	187,67

Contactor para virada

Figura B.11

Norma IEC para la selección de contactores según la categoría de empleo [24]

NORMA IEC 947 – 4 - 1 CATEGORIZACIÓN DE LOS CONTACTORES UTILIZADOS EN LOS CIRCUITOS DE FUERZA		
TIPO	CATEGORIA	DESCRIPCION DE LA UTILIZACION
CORRIENTE ALTERNA	AC – 1	Cargas no inductivas, hornos resistivos.
	AC – 2	Motores de anillos rozantes. Arranque y apagado.
	AC – 3	Motores tipo jaula de ardilla. Arranque y apagado.
	AC – 4	Motores jaula. Frecuentes arranques y apagado.
	AC – 5a	Encendido y descarga de control de lamparas.
	AC – 5b	Encendido de lamparas incandescentes.
	AC – 6a	Encendido de transformadores.
	AC – 6b	Encendido de banco de condensadores.
	AC – 8a	Control de motor compresor hermético refrigerado. Con apagado manual y soporte de sobrecargas.
AC – 8b	Control de motor compresor hermético refrigerado. Con apagado automático y soporte de sobrecargas.	
CORRIENTE CONTINUA	DC – 1	Cargas no inductivas y hornos resistivos.
	DC – 3	Motores DC tipo shunt. Comportamiento dinámico.
	DC – 5	Motores DC tipo serie. Comportamiento dinámico.
	DC – 6	Encendido de lamparas incandescentes.

Nuestra categoría de empleo entraría dentro de AC-1, ya que nuestro contactor no será para arrancar nuestro servomotor como tal, solo dará el paso de la corriente. En pocas palabras el control del servomotor se encargará el servodriver, el contactor solo será usado como un switch.

La selección se hará de acuerdo con la potencia de los servomotores, ya que la intensidad para nuestro caso es bien alta. Para ello convertimos las potencias en HP.

Tabla B.3 conversión de potencia de W a HP

Función	Potencia (W)
Rastrillo	1kW – 1.3HP
Cabeceo	2kW – 2.7HP
Virada	3.5kW – 4.7HP

Figura B.12

Selección de contactores [23]

No. de Depósito	Descripción								Precio Lista Unit. US \$
	Tipo	Bobina	Tamaño	Intensidad (A)		Potencia del Motor (HP)		Contactos Auxiliares Inteligentes	
				AC1	AC3	220 VAC	440 VAC		
100176180	3RT2015-1AF01	120 VAC	500	18	7	2.0	4.0	1NA	24,76
100176182	3RT2015-1AP01	220 VAC		18	7	2.0	4.0	1NA	24,76
100176184	3RT2016-1AF01	120 VAC	500	22	9	3.0	6.0	1NA	27,02
100176186	3RT2016-1AP01	220 VAC		22	9	3.0	6.0	1NA	27,02

Tabla B.4 resumen de selección de los contactores

Función	Contactador
Rastrillo	3RT2015-1AP01
Cabeceo	3RT2015-1AP01
Virada	3RT2016-1AP01

Cálculo de consumo de corriente por ramales

En el plano eléctrico y de control se podrá identificar varios ramales, cada uno de ellos debe ser protegido por un mini interruptor automático acorde a la corriente que consumirán dichas cargas.

Los ramales con la carga de los servomotores, no se les colocará breaker porque ya tienen su protección con el guardamotor.

RAMAL 1:

Figura B.11

Consumo de luces piloto [20]

Color de la fuente de luz	Rojo
[Us] Tensión de alimentación	230...240 V AC 50/60 Hz
Complementario	
Altura	47 mm
Ancho	30 mm
Profundidad	54 mm
Descripción de terminales ISO n*1	(X1-X2)PL
Peso del producto	0.08 kg
Resistencia a lavadoras de alta presión	7000000 Pa en55 °C, distancia:0.1 M
Conexiones - terminales	Terminales de fijación por tornillo,<= 2 x 1.5 mm² Con terminal acorde aIEC 60947-1 Terminales de fijación por tornillo,1 x 0,22...2 x 2,5 mm² Sin terminal acorde aIEC 60947-1
[UI] tensión asignada de aislamiento	250 V (grado de contaminación3) acorde aIEC 60947-1
[Uimp] Tensión de impulso asignada (BIL)	4 kV acorde a IEC 60947-1
Tipo señalización	Fijo
Consumo de corriente	14 mA
Vida útil	100000 H A tensión nominal y 25 °C

Se tienen tres contactores, dos diferentes.

Figura B.12

Datos de contactores usados [20]

Circuito de control/ Control por entrada	
tipo de corriente de la tensión de alimentación de mando	AC
tensión de alimentación del circuito de mando con AC	
• con 50 Hz valor asignado	230 V
• con 60 Hz valor asignado	230 V
factor de rango de trabajo tensión de alimentación de mando valor asignado de la bobina con AC	
• con 50 Hz	0,8 ... 1,1
• con 60 Hz	0,85 ... 1,1
potencia inicial aparente de la bobina con AC	
• con 50 Hz	27 VA
• con 60 Hz	24,3 VA
cos phi inductivo a la potencia de atracción de la bobina	
• con 50 Hz	0,8
• con 60 Hz	0,75
potencia de retención aparente de la bobina con AC	
• con 50 Hz	4,2 VA
• con 60 Hz	3,3 VA
cos phi inductivo con potencia de retención de la bobina	
• con 50 Hz	0,25
• con 60 Hz	0,25
retardo de cierre	
• con AC	9 ... 35 ms
retardo de apertura	
• con AC	4 ... 15 ms
duración de arco	10 ... 15 ms
tipo de control del accionamiento de maniobra	Standard A1 - A2

$$I_{in} = \frac{S}{V} \quad (B.2)$$

$$I_{in} = \frac{24.3}{220} = 0.1A = 110.4mA$$

$$I_{retencion} = \frac{3.3}{220} = 0.015A = 15mA$$

Los 2 tipos de contactores que se han seleccionado son iguales, por lo que la corriente de consumo de la bobina será la misma, solo se procederá a usar la corriente más alta.

Tabla B.5 Resumen de consumo del ramal 1

Cantidad	Elemento	Consumo (mA)	Total (mA)
3	Contactores (bobina)	110.4	331.2
8	Luces pilotos	14	112

$$331.2mA + 112mA = 443mA = 0.4A \quad (B.3)$$

Por lo que en este ramal se consume máximo 0.4 A.

RAMAL 2:

En este ramal se tiene la conexión de 24V a los 3 servodriviers, también están conectadas algunas entradas al PLC, por lo que se considera muy baja dicha corriente. Son aproximadamente 50mA. Se llevó a cabo el mismo procedimiento, consultar el datasheet del elemento y determinar su consumo, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla B.6 Resumen de consumo del ramal 2 en DC

Cantidad	Elemento	Consumo (A) DC	Total (A)
1	6SL3210-5HE10-8UF0 (750 W) RASTRILLO	1.0 en DC	1.0
1	6SL3210-5HE12-0UF0 (2.0 kW) CABECEO	1.0 en DC	1.0
1	6SL3210-5HE13-5UF0 (3.5 kW) VIRADA	1.2 en DC	1.2

Tabla B.7 Consumo de fuente del ramal 2 en AC

Cantidad	Elemento	Consumo (A) AC	Total (A)
1	SITOP PSU200M	2.4	2.4

Para determinar la corriente que exigirán los servodrivens del lado de 220VAC se debe usar la potencia generada que es:

$$P = I * V \quad (B.4)$$

$$P = 3.2A * 24V = 76.8W$$

Esta es la potencia que debe ser capaz de entregar, y ahora para transformarla a corriente en AC se debe verificar la eficiencia de la fuente, que en este caso es de 91%.

$$Fuente = \frac{76.6}{0.91} = 84.17W$$

Ahora si con esto se encuentra la corriente necesaria del lado de AC.

$$I = \frac{84.17}{220} = 0.38A$$

Ahora sumando las corrientes en AC se tiene

$$0.38A + 2.4A = 2.78A$$

Esa es la corriente en todo el ramal.

RAMAL 3:

Se tiene una fuente de poder que será usada para conectar el PLC, y sea capaz de suplir la energía para encender las salidas que estarán controladas por el controlador.

El PLC empieza a funcionar con 0.8 A, es decir, se enciende y empieza a consumir dicha corriente, sin embargo, en nuestro caso se debe sumar la corriente que consume las salidas digitales, que se puede observar que para lanzar "1" lógico el PLC será capaz de mandar 0.5A

Lo mínimo de corriente necesario para realizar el “switchero” en el relé es de 10mA a 17VDC. Para facilitar los cálculos se usará el máximo de corriente que puede entregar el PLC en cada salida, y se sumará dependiendo de cuántas salidas digitales se usará

Tabla B.8 Consumo de fuente del ramal 3 en AC

Cantidad	Elemento	Consumo (A)	Total (A)
1	FUENTE SIMATIC S7 1500	1.7	1.7

Tabla B.9 Resumen de consumo de elementos del ramal 3 en DC

Cantidad	Elemento	Consumo (A) en DC	Total (A)
1	PLC S7 1500	0.8	0.8
5	Salida digital del PLC	0.5	2.5

Se verifica si la potencia de la fuente es capaz de satisfacer a lo que se va a usar.

$$P = (0.8 + 2.5)A * 24VDC = 79.2W$$

La potencia máxima de nuestra fuente es de aproximadamente 192W, por lo que no existe inconveniente en este apartado.

Ahora se realiza el cálculo para las corrientes en AC para las cargas que funcionan en DC. La potencia de esta fuente es de 90%. Aquí se usa la ecuación B.4

$$Fuente = \frac{79.2W}{0.9} = 88W$$

$$I = \frac{88W}{220Vac} = 0.4A$$

Ahora se suman las corrientes en AC.

$$0.4A + 1.7A = 2.1A$$

RAMAL 4:**Tabla B.10** *Consumo del ramal 4 en AC*

Cantidad	Elemento	Consumo (A)	Total (A)
1	Solenoide	1.4	1.4

Existe un único ramal para el solenoide para mantener más segura la ejecución de disparo del arma.

Antes de realizar darle las debidas protecciones, se debe recordar que el sistema está a 440VAC, sin embargo, todos o la mayoría de los equipos usados aquí en esta sección, son de 220VAC por lo que nos obliga a usar un transformador 440 a 220.

Así que ahora se sumarán todas las corrientes por ramal y se obtendrá cuanta corriente se necesitará para que todo se energice correctamente.

Tabla B.11 *Resumen de consumo de corriente por ramal*

Ramal	Consumo (A)
Ramal 1	0.4
Ramal 2	2.78
Ramal 3	2.1
Ramal 4	1.4

$$0.4 + 2.78 + 2.1 + 1.4 = 6.68A$$

El total entre los ramales es de 6.68A

Transformador

Necesitamos un transformador de 440VAC a 220VAC, para seleccionarlo se usará la corriente que debe ser suministrada.

$$S = 220V * I * \sqrt{2} \quad (B.5)$$

Esta expresión nos arrojará la potencia aparente que necesita nuestros 4 ramales en 220VAC, siendo que la "I" es la corriente resultando de la suma de todos los ramales.

$$S = 220V * 6.7A * \sqrt{2}$$

$$S = 2\,084.6\text{ VA}$$

Con este resultado se busca un transformador que sea capaz de suministrar esta potencia.

Se recomienda no sobrecargar al transformador a más de 80% de su capacidad, por lo que, para nuestro caso, mínimamente necesitamos un transformador de:

$$X = \frac{2084.6 * 100}{80} = 2605.75\text{ VA}$$

Pero no hay comerciales de ese valor, se puede escoger el de 3KVA, sin embargo, se cree que no debe estar ajustado nuestro valor, ya que de todas maneras no es un dispositivo de protección y al tener más capacidad se puede ir agregando más funcionalidades al proyecto en un futuro.

De esta manera un transformador de 4KVA puede ser un valor aceptable teniendo en cuenta un proyecto a futuro.

Figura B.13

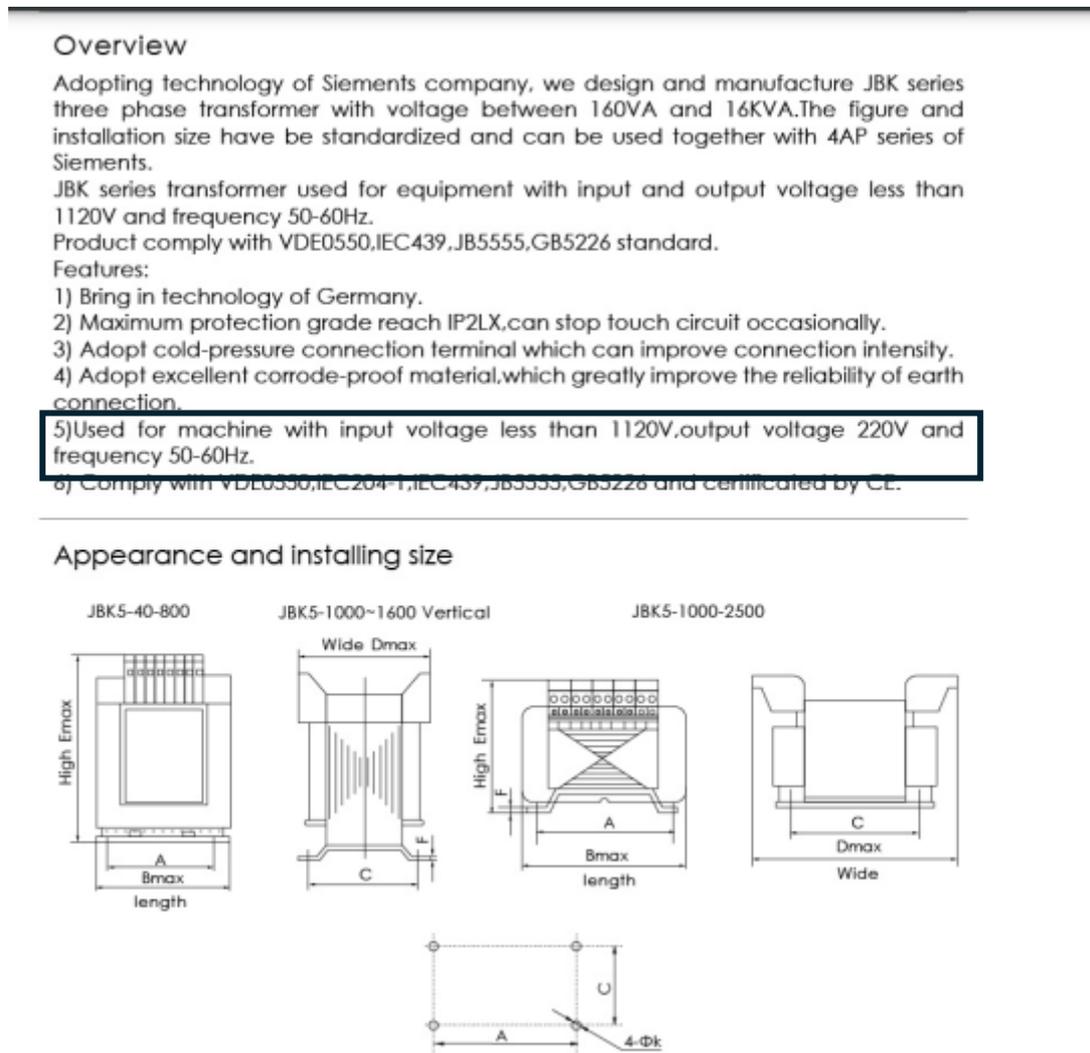
Selección de transformador [25]

Technical data

Model	Order number	B max	D max	E max	Hole distance		Hole diameter K	F max	Remarks
					A	C			
JBK5-40, 63	4011.001/2	78	72	90	56±0.15	46±0.125	4.6	1.5	
JBK5-100	4011.003	84	75	96	64±0.15	62±0.15	4.6	1.5	
JBK5-160	4011.004	96	92	105	84±0.175	73.5±0.15	5.5	1.5	
JBK5-250	4011.005	96	100	104	84±0.175	85±0.175	5.8	1.5	
JBK5-400	4011.006	120	100	122	90±0.175	85±0.175	5.8	2	
JBK5-500		120	110	122	90±0.175	96±0.175	5.8	2	
JBK5-630	4011.007	150	110	140	122±0.2	90±0.175	7	2	
JBK5-800	4011.008	150	128	142	122±0.2	105±0.2	7	2	
JBK5-1000	4011.009*	150	190	142	126±0.2	152±0.2	7	3	Horizontal
JBK5-1000	4011.009*	168	125	155	138±0.2	105±0.2	9	2	Vertical
JBK5-1600	4011.010*	170	225	153	140±0.2	176±0.2	7	3	Horizontal
JBK5-1600	4011.010*	168	138	155	138±0.2	116±0.2	9	2	Vertical
JBK5-2500	4011.011	194	250	170	170±0.2	200±0.23	7	4	Horizontal
JBK5-2500	4011.011	228	200	230	190±1.0	122±1.0	10	4	Vertical
JBK5-3000	4011.012	194	250	190	170±0.2	200±0.23	7	4	Horizontal
JBK5-3000	4011.012	228	210	230	190±1.0	132±1.0	10	4	Vertical
JBK5-4000	4011.013	194	250	200	170±0.2	200±0.23	7	4	Horizontal
JBK5-4000	4011.013	228	240	230	190±1.0	152±1.0	10	4	Vertical
JBK5-5000	4011.014	220	286	215	208±0.5	240±0.5	9	4	Horizontal
JBK5-5000	4011.014	240	225	240	200±1.0	152±1.0	10	4	Vertical
JBK5-6000	4011.015	220	286	215	208±0.5	240±0.5	9	4	Horizontal
JBK5-6000	4011.015	240	240	240	200±1.0	162±1.0	10	4	Vertical
JBK5-7000	4011.016*	220	286	250	208±0.5	240±0.5	9	4	Horizontal
JBK5-7000	4011.016*	240	240	260	200±0.5	165±0.5	12	4	Vertical
JBK5-8000	4011.017	270	310	320	225±0.5	205±0.5	12	4	Vertical
JBK5-10000	4011.018	270	310	320	225±0.5	205±0.5	12	4	Vertical
JBK5-15KVA	4011.019	330	270	480	290	150	14	5	Vertical
JBK5-20KVA	4011.020	330	300	480	290	180	14	5	Vertical
JBK5-30KVA	4011.021	330	320	480	290	200	14	5	Vertical

Figura B.14

Resumen de características del transformador [25]



Se observa que este transformador funciona para cualquier voltaje menos de 1120VAC y entregará un voltaje 220AC.

Interrupidores automáticos de protección

Se debe recordar los valores de cada ramal para la selección de interruptores automáticos.

Figura B.15

Selección de interruptores automáticos [23]

3 Polo					
100382452	5SL3302-7MB	2.0	6	4	41,25
100382453	53L3304-7MB	4.0	6	4	39,15
100382454	5SL3306-7MB	6.0	6	4	27,50
100382455	5SL3310-7MB	10.0	6	4	23,20
100382456	5SL3316-7MB	16.0	6	4	23,20
100382457	5SL3320-7MB	20.0	6	4	23,20
100382458	5SL3325-7MB	25.0	6	4	23,20
100382459	5SL3332-7MB	32.0	6	4	23,20
100382460	5SL3340-7MB	40.0	6	4	25,75
100382461	5SL3350-7MB	50.0	6	4	33,00
100382462	5SL3363-7MB	63.0	6	4	38,65

Tabla B.12 *Resumen de selecciones de interruptores por ramal*

Ramal	Consumo (A)	Interruptor Automático
Ramal 1	0.4	5SL3302-7MB
Ramal 2	2.78	53L3304-7MB
Ramal 3	2.1	53L3304-7MB
Ramal 4	1.4	5SL3302-7MB

Para este punto solo falta seleccionar el interruptor automático principal, para esto se usará un interruptor de caja moldeada (MCCB), estos están diseñados para proteger circuitos de sistemas de distribución.

Sumando las corrientes de todos los ramales, incluyendo la de los servomotores obteniendo:

Tabla B.12 *Resumen del consumo de todos los ramales del sistema*

Ramal	Consumo (A)
Ramal 1	0.4
Ramal 2	2.78
Ramal 3	2.1
Ramal 4	1.4
Servomotor Virada	8.6
Servomotor Cabeceo	4
Servomotor Rastrillo	3

Corriente total:

$$0.4 + 2.78 + 2.1 + 1.4 + 8.6 + 4 + 3 = 22.284$$

Figura B.16

Selección de breaker principal [23]

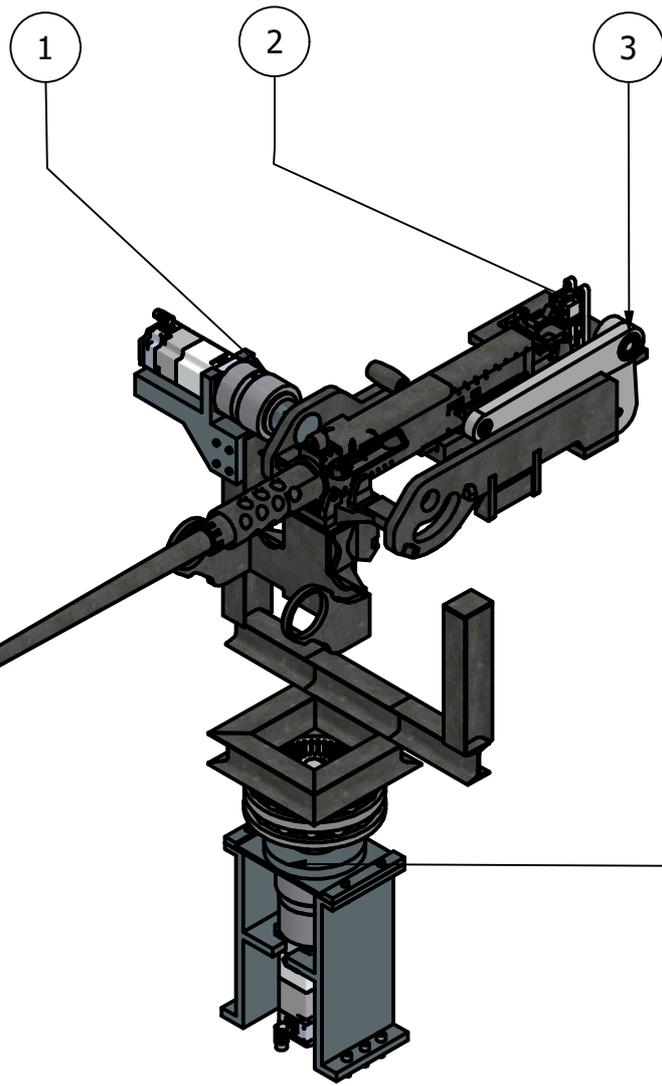
Breakers Regulable 3VM de 3 Polos							
100346472	3VM1196-3EE32-0AA0	11-16	320	36	25	16	88,00
100377065	3VM1120-3EE32-0AA0	14-20	320	36	25	16	88,00
100346473	3VM1125-3EE32-0AA0	18-25	320	36	25	16	88,00
100346474	3VM1132-3EE32-0AA0	22-32	320	36	25	16	88,00
100346475	3VM1140-3EE32-0AA0	28-40	400	36	25	16	88,00
100346476	3VM1150-3EE32-0AA0	35-50	500	36	25	16	88,00
100346477	3VM1163-3EE32-0AA0	44-63	630	36	25	16	88,00
100346478	3VM1180-3EE32-0AA0	56-80	800	36	25	16	100,00
100346394	3VM1110-3EE32-0AA0	70-100	1000	36	25	16	110,00
100346392	3VM1112-3EE32-0AA0	88-125	1250	36	25	16	180,00
100346389	3VM1116-3EE32-0AA0	112-160	1600	36	25	16	200,00
100346386	3VM1220-4EE32-0AA0	140-200	2000	55	36	25	300,00
100346356	3VM1225-4EE32-0AA0	175-250	2500	55	36	25	325,00
100469244	3VM1340-4EE32-0AA0	280-400	4000	55	36	25	430,00
100469245	3VM1463-4EE32-0AA0	440-630	6300	55	36	25	600,00

Se selecciona 3VM1132-3EE32-0AA0 ya que tiene una regulación entre 22 a 32A.

Apéndice C
Planos Mecánicos



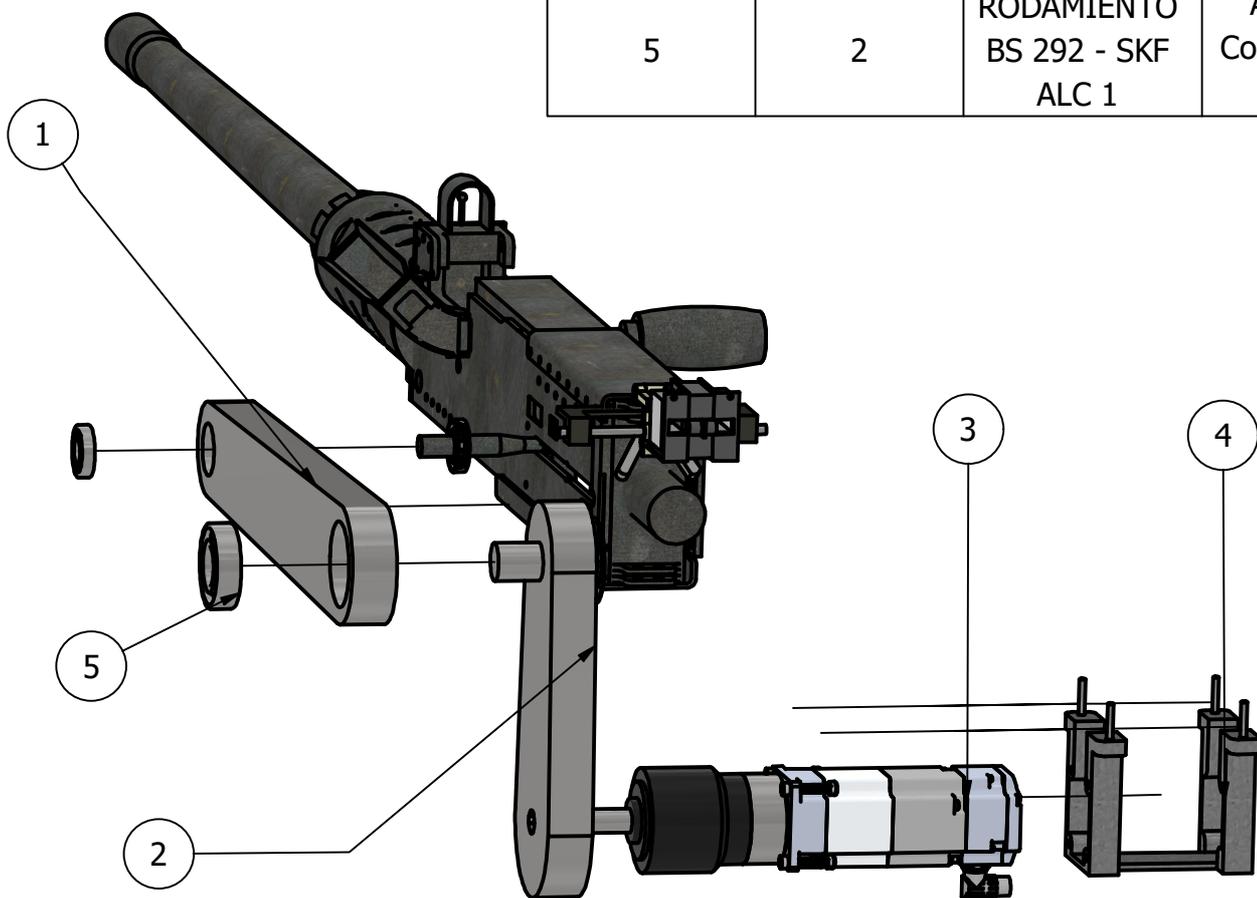
PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	MECANISMO CABECEO
2	1	MECANISMO DISPARO
3	1	MECANISMO RASTRILLAR
4	1	MECANISMO VIRADA



AUTOR	FECHA	ESPOL		
ING. JORGE ZAPATA	9/11/2024			
ING. SERGIO BALCAZAR		ESTRUCTURA INTERNA DE LA ESTACIÓN DE ARMAS		
REVISADO		TAMAÑO	DIBUJO NO	REV
		A4	INGE-2530	
		ESCALA	HOJA 1 DE 5	
		1 / 15		

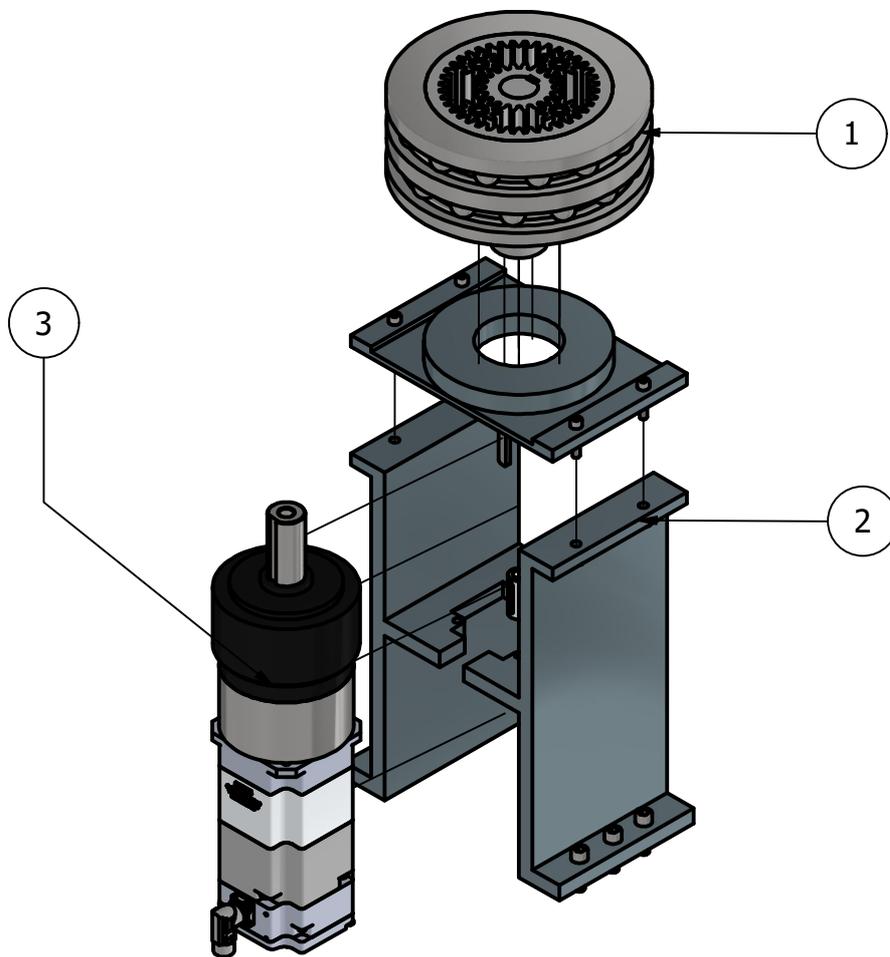


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	BRAZO	
2	1	MANIVELA	
3	1	SERVOMOTOR	
4	1	SOPORTE MOTOR	
5	2	RODAMIENTO BS 292 - SKF ALC 1	Angular Contact Ball Bearing



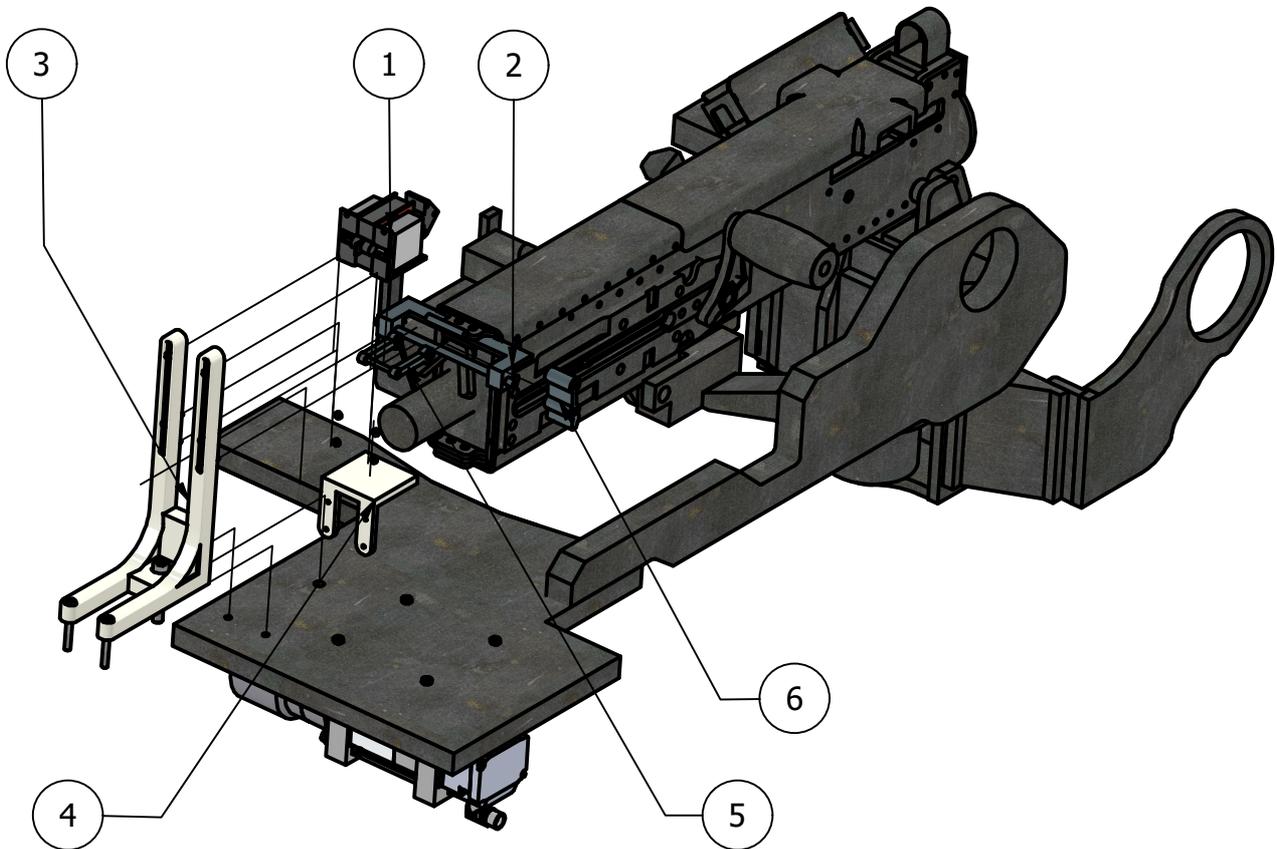
AUTOR	FECHA	ESPOL		
ING. JORGE ZAPATA	9/11/2024			
ING. SERGIO BALCAZAR		TITULO		
REVISADO		MECANISMO RASTRILLAR		
		TAMAÑO	DIBUJO NO	REV
		A4	INGE-2530	
		ESCALA	1 / 5	HOJA 2 DE 5

PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	ENGRANAJE PLANETARIO	REDUCCIÓN 2/1
2	1	BASE SERVOMOTOR VIRADA	
3	1	SERVOMOTOR VIRADA	SIEMENS CON REDUCTOR 120 Nm



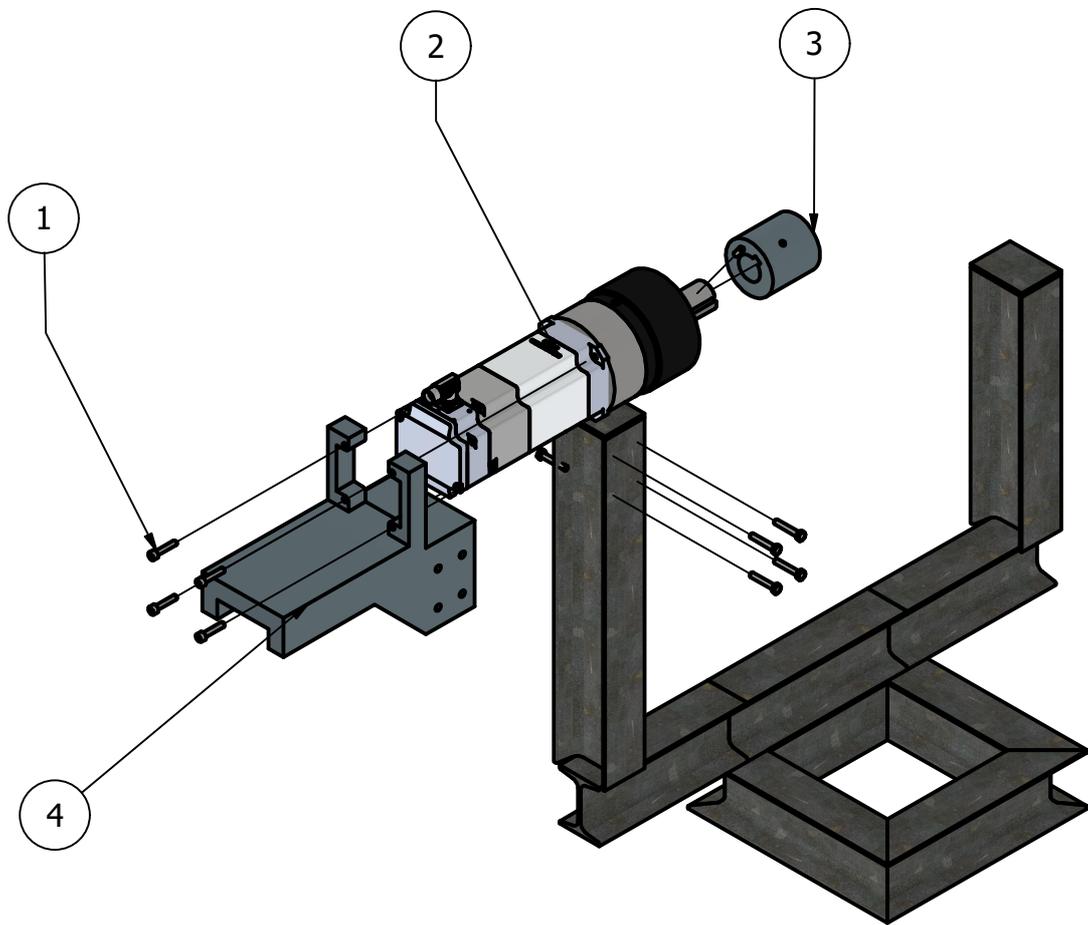
AUTOR	FECHA	ESPOL		
ING. JORGE ZAPATA	9/11/2024			
ING. SERGIO BALCAZAR		MECANISMO VIRADA		
REVISADO				
		A4	INGE-2530	
		ESCALA	HOJA 3 DE 5	
		1 / 8		

PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	SOLENOIDE
2	1	ACOPLE
3	1	ANCLAJE
4	1	BASE
5	2	LINK 1
6	1	LINK 2



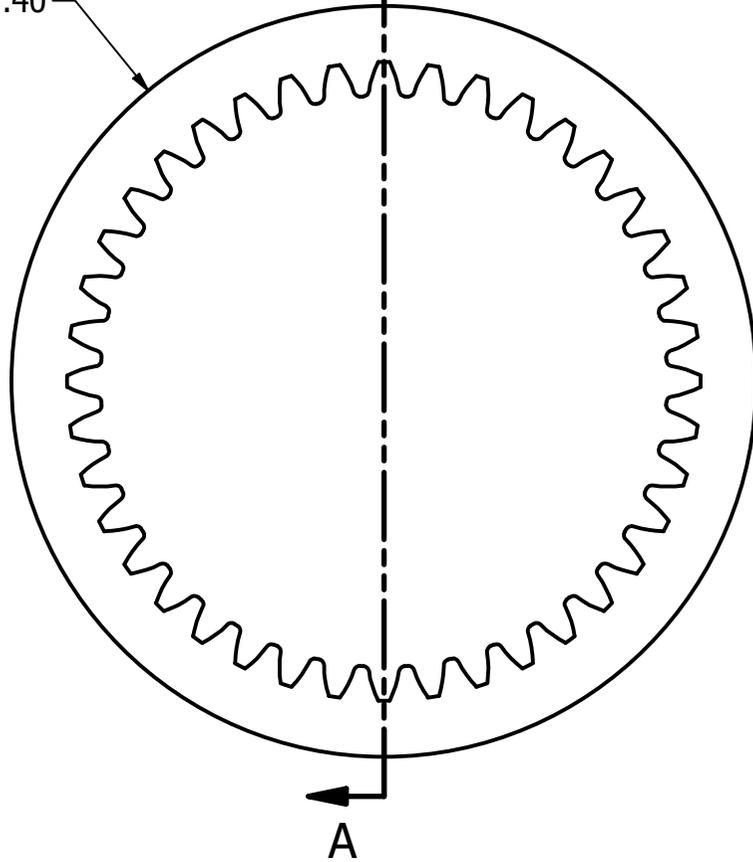
AUTOR	FECHA	ESPOL		
ING. JORGE ZAPATA	9/11/2024			
ING. SERGIO BALCAZAR		TITULO		
REVISADO		MECANISMO DISPARO		
		TAMAÑO	DIBUJO NO	REV
		A4	INGE-2530	
ESCALA		1 / 6	HOJA 4 DE 5	

PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	SOPORTE
2	1	SERVOMOTOR
3	1	ACOCPLE EJE
4	8	PERNOS 1/2"

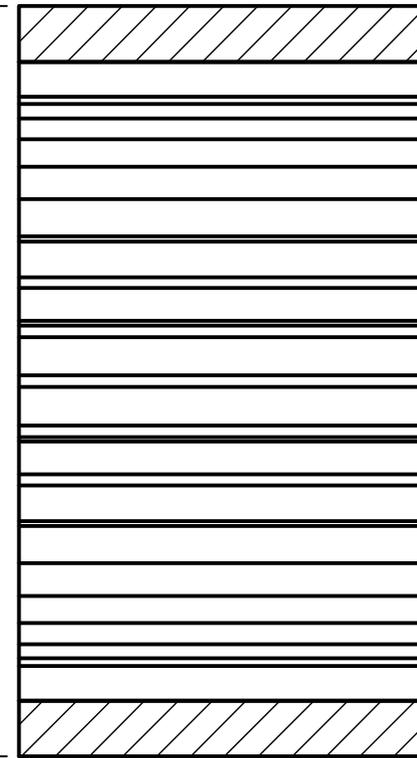


AUTOR	FECHA	ESPOL		
ING. JORGE ZAPATA	9/11/2024			
ING. SERGIO BALCAZAR		TITULO		
REVISADO		MECANISMO CABECEO		
		TAMAÑO	DIBUJO NO	REV
		A4	INGE-2530	
		ESCALA	HOJA 5 DE 5	
		1 / 8		

Ø197.40



Ø197.40

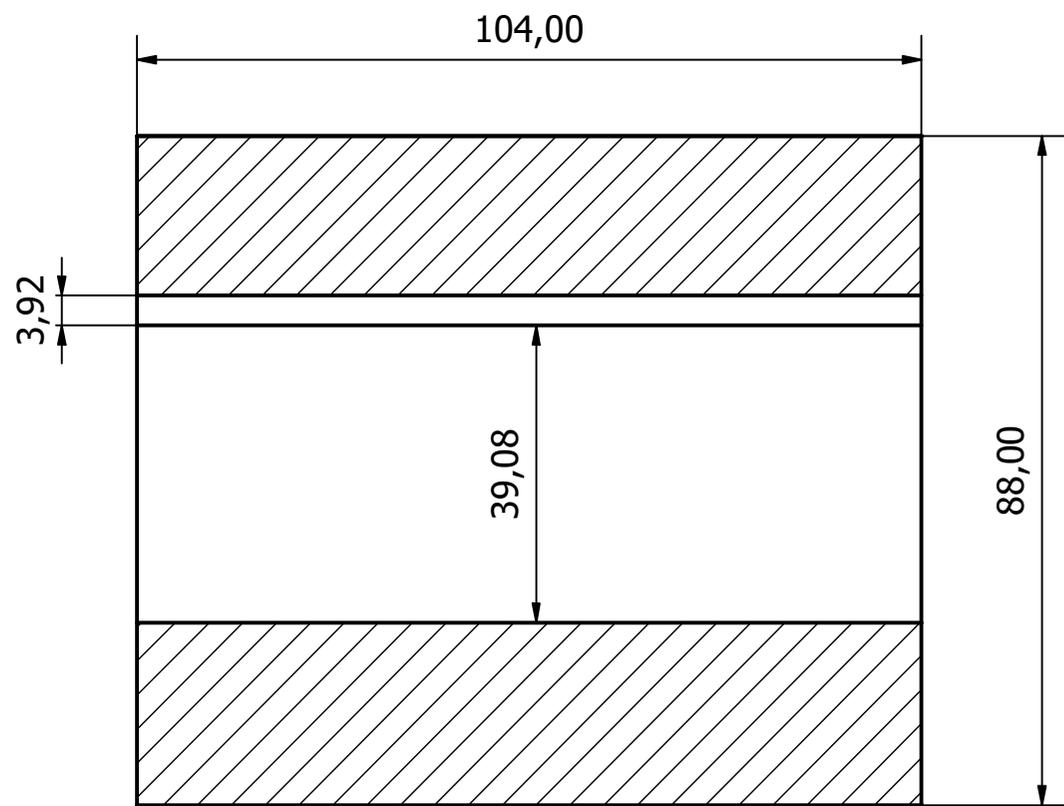
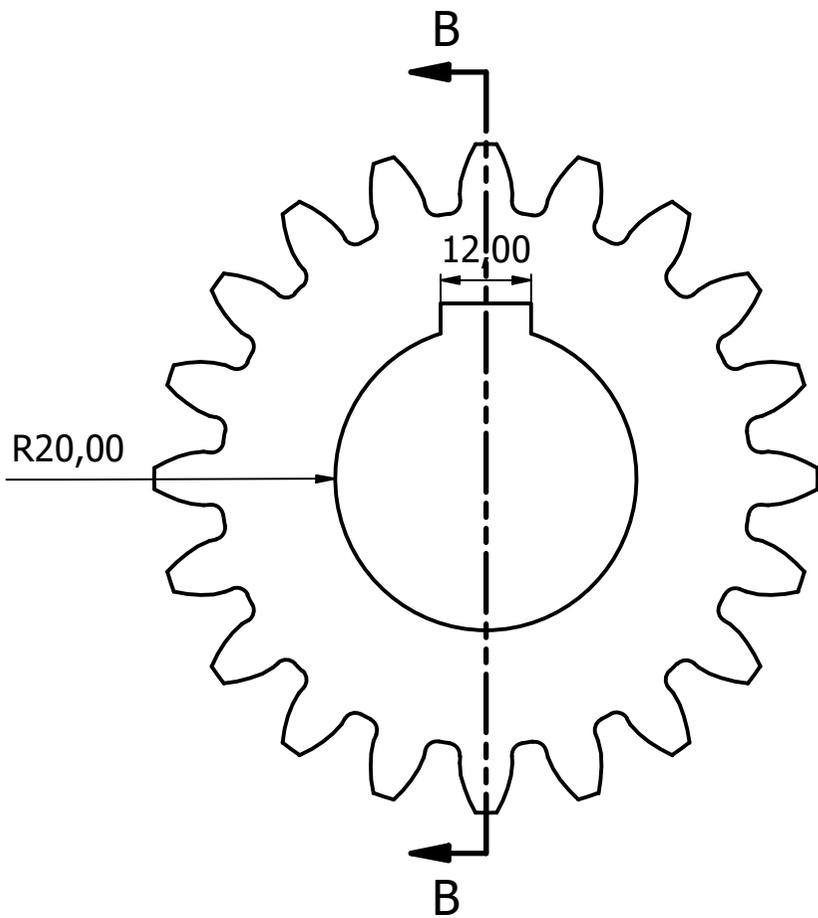


168.00

SECTION A-A
SCALE 1 / 2

DATOS DE FRESADO	
NUMERO DE DIENTES	40
DIAMETRO DE PASO	120 mm
ANDULO DE PRESION	20
DIAMETRO DE RAIZ	12.70 mm
MODULO	3

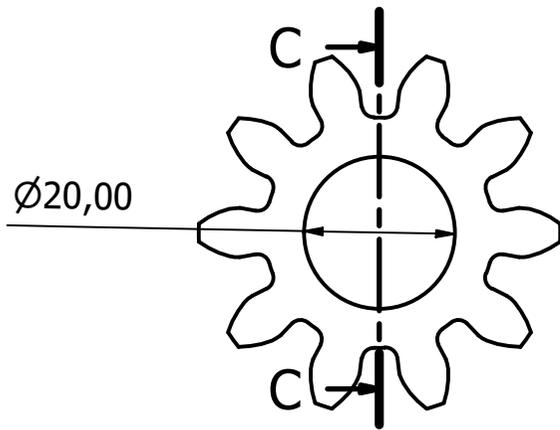
AUTOR		FECHA		MECANISMO VIRADA		
ING. JORGE ZAPATA		9/11/2024				
ING. SERGIO BALCAZAR				TITULO		
REVISADO				Corona		
				TAMAÑO	DIBUJO NO	REV
				A4	INGE-2530	
		ESCALA	HOJA 1 DE 7			
		1 / 2				



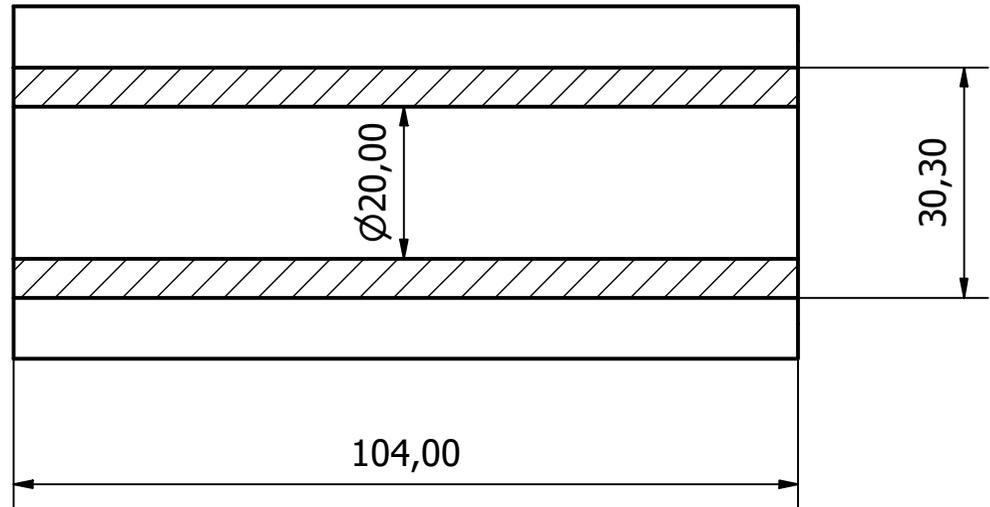
SECTION B-B
SCALE 1 : 1

DATOS DE FRESADO	
NUMERO DE DIENTES	20
DIAMETRO DE PASO	60 mm
ANDULO DE PRESION	20
DIAMETRO DE RAIZ	12.70 mm
MODULO	3

AUTOR		FECHA		MECANISMO VIRADA		
ING. JORGE ZAPATA		9/11/2024				
ING. SERGIO BALCAZAR				TITULO		
REVISADO				SOL		
				TAMAÑO	DIBUJO NO	REV
				A4	INGE-2530	
		ESCALA	HOJA 2 DE 7			
		1 : 1				

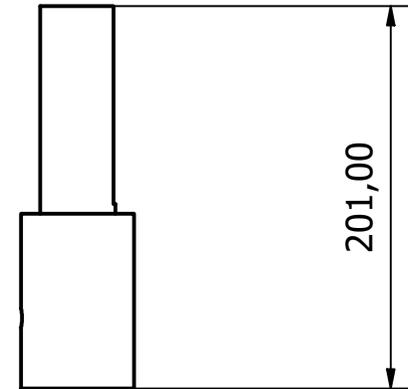
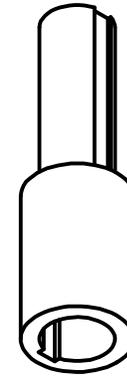
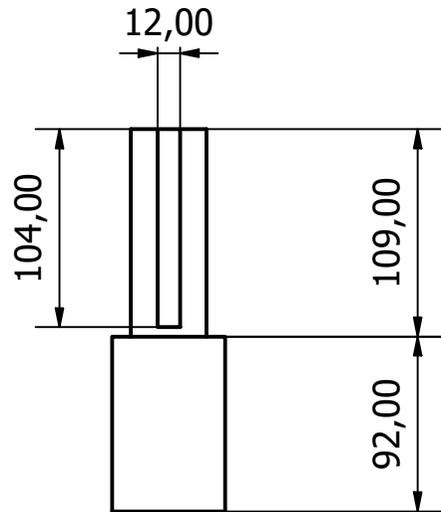
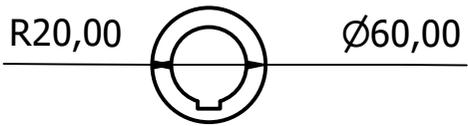


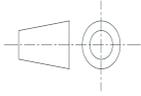
C-C (1 : 1)

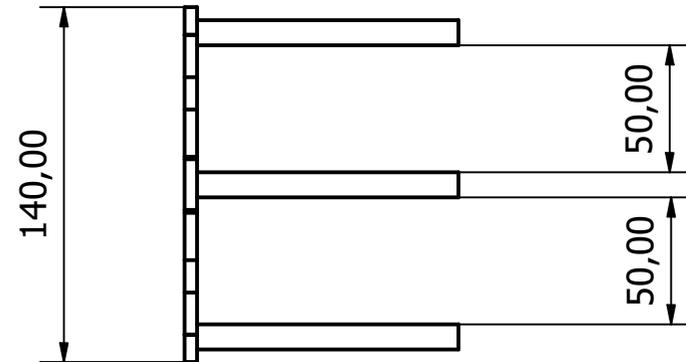
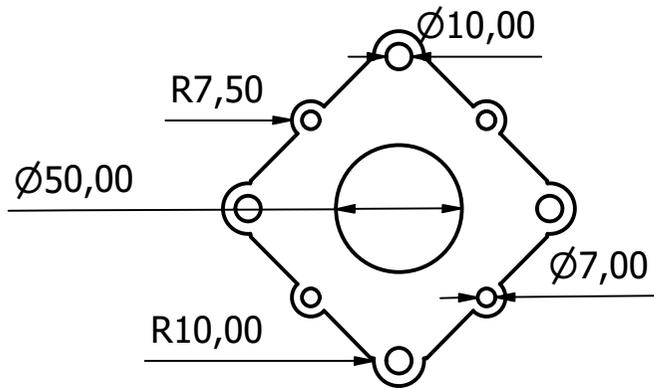
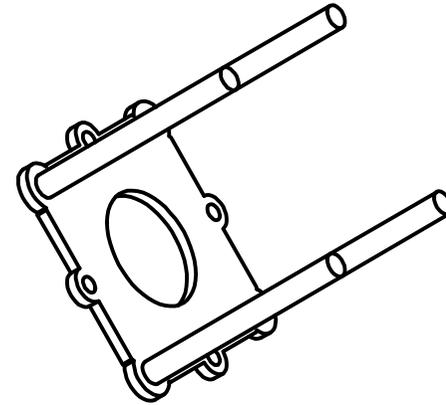
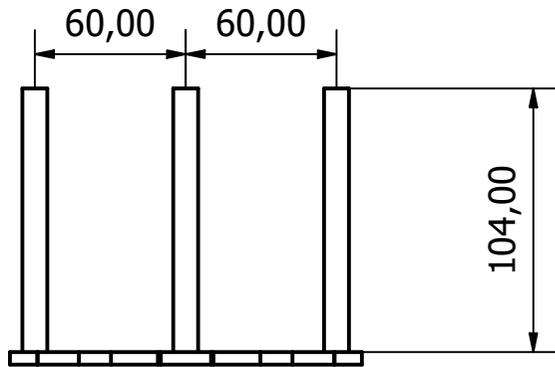


DATOS DE FRESADO	
NUMERO DE DIENTES	10
DIAMETRO DE PASO	30 mm
ANDULO DE PRESION	20
DIAMETRO DE RAIZ	12.70 mm
MODULO	3

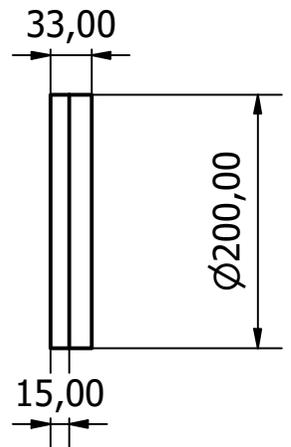
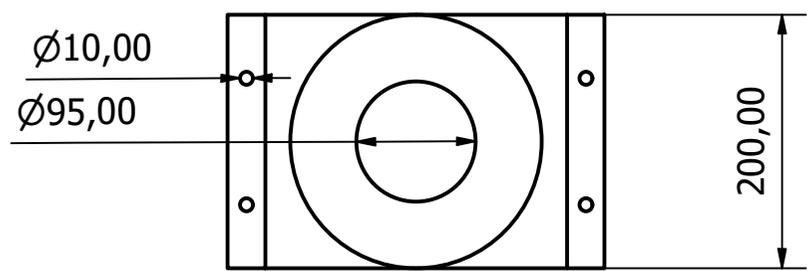
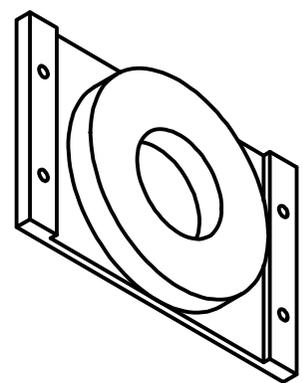
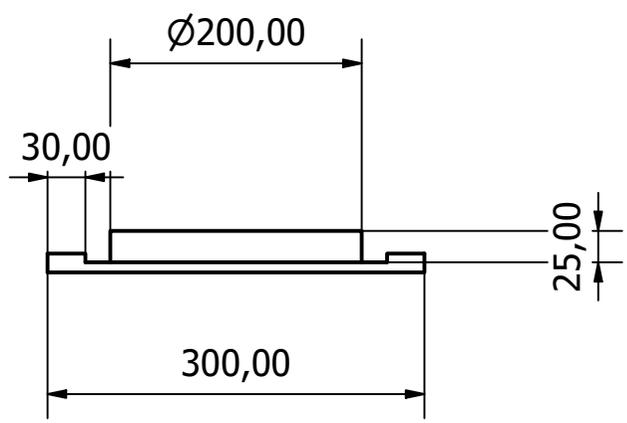
AUTOR	FECHA	MECANISMO VIRADA		
ING. JORGE ZAPATA	9/11/2024			
ING. SERGIO BALCAZAR		TITULO		
REVISADO		Planetas		
		TAMAÑO	DIBUJO NO	REV
		A4	INGE-2530	
		ESCALA	HOJA 3 DE 7	
		1 : 1		



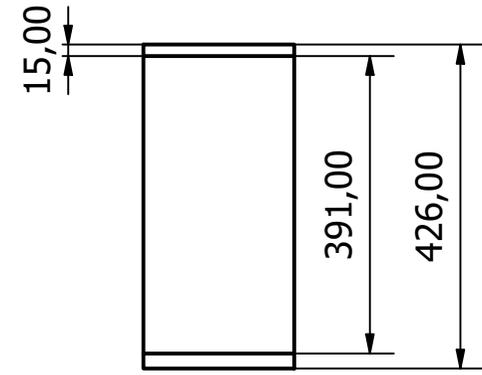
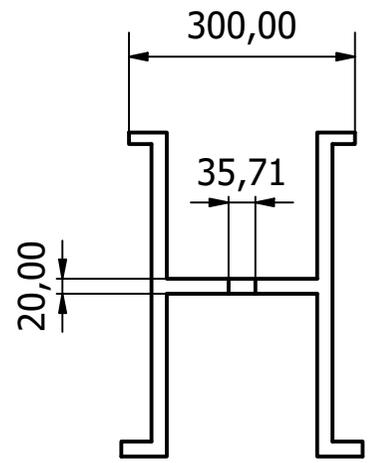
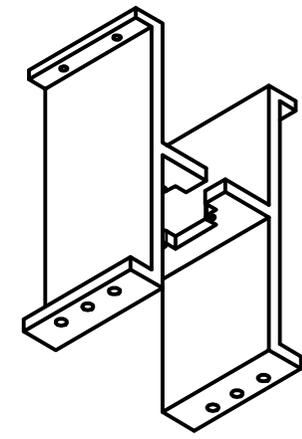
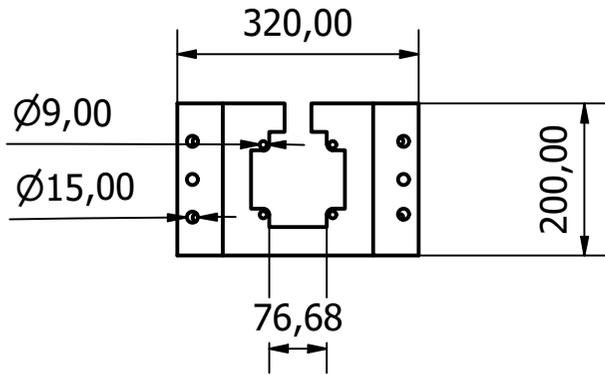
AUTOR		FECHA		MECANISMO VIRADA		
ING. JORGE ZAPATA		9/11/2024				
ING. SERGIO BALCAZAR		REVISADO		TITULO		
				Eje		
				TAMAÑO	DIBUJO NO	REV
				A4	INGE-2530	
		ESCALA	HOJA 4 DE 7			
		1 : 4				



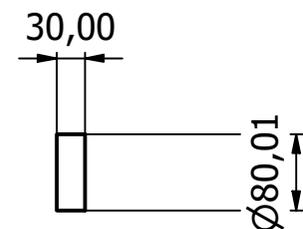
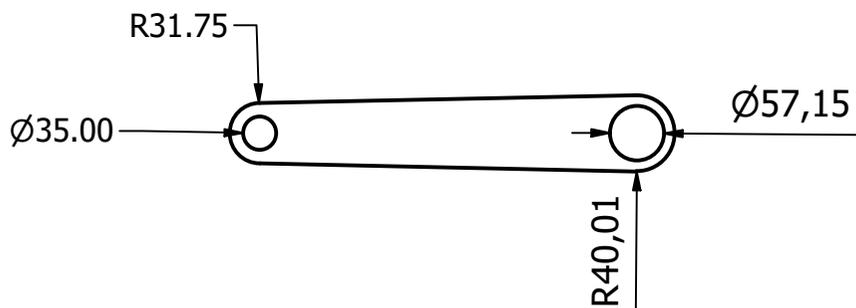
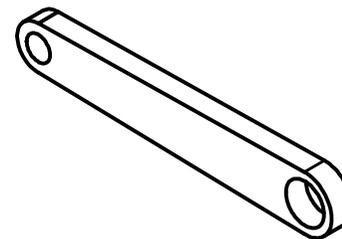
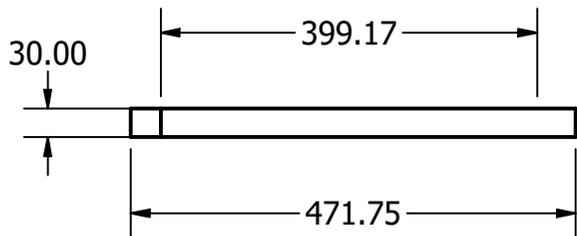
AUTOR		FECHA		MECANISMO VIRADA		
ING. JORGE ZAPATA		9/11/2024				
ING. SERGIO BALCAZAR				TITULO		
REVISADO				Porta Planetas		
				TAMAÑO	DIBUJO NO	REV
				A4	INGE-2530	
		ESCALA	1 / 3		HOJA 5 DE 7	



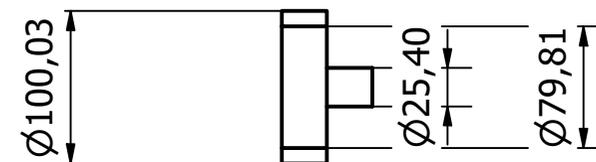
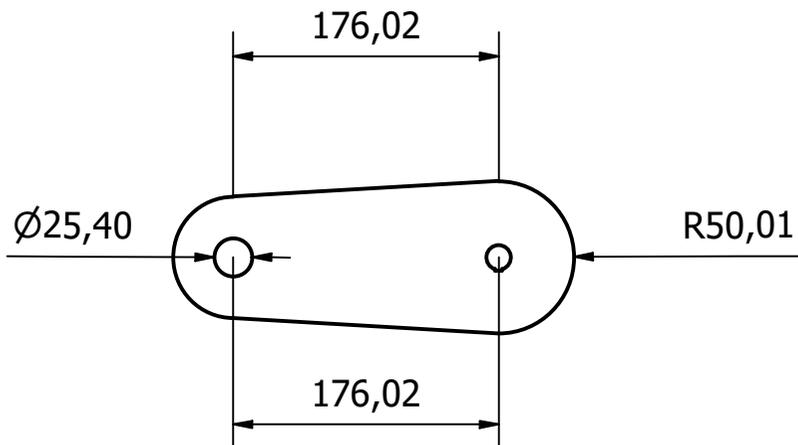
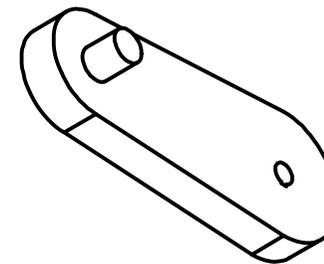
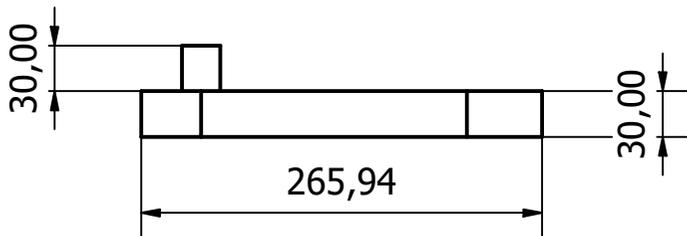
AUTOR		FECHA		MECANISMO VIRADA		
ING. JORGE ZAPATA		9/11/2024				
ING. SERGIO BALCAZAR		REVISADO		TITULO		
				Base Tapa		
				TAMAÑO	DIBUJO NO	REV
				A4	INGE-2530	
		ESCALA	1 / 6		HOJA 6 DE 7	

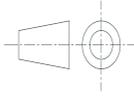


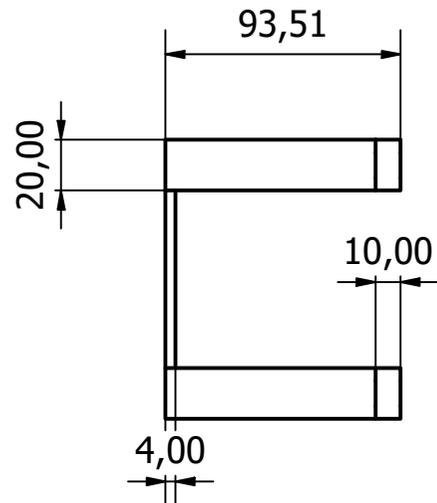
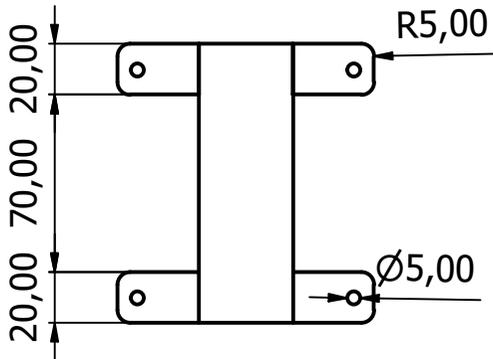
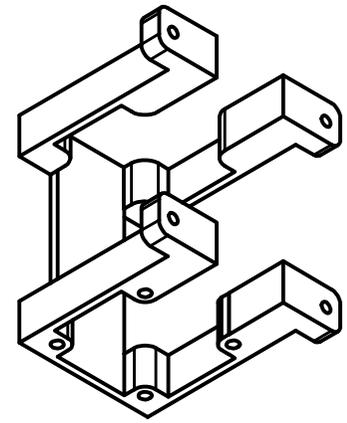
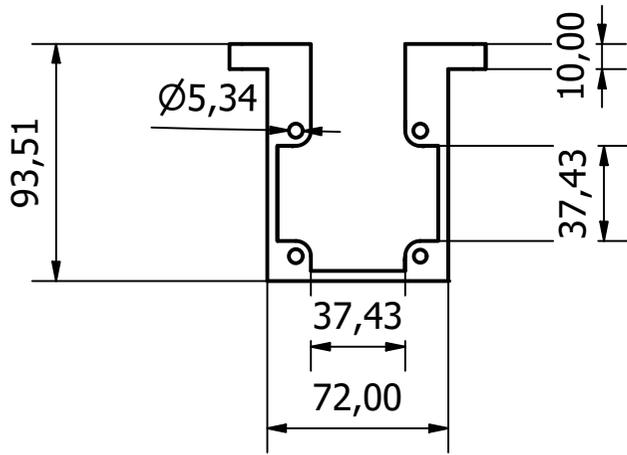
AUTOR		FECHA		MECANISMO VIRADA	
ING. JORGE ZAPATA		9/11/2024			
ING. SERGIO BALCAZAR				TITULO	
REVISADO					
				Base	
		A4	INGE-2530		
		ESCALA	1 / 10	HOJA 7 DE 7	



AUTOR		FECHA		MECANISMO RASTRILLAR	
ING. JORGE ZAPATA		9/11/2024			
ING. SERGIO BALCAZAR		TITULO			
REVISADO					
		Brazo			
		ESCALA 1 / 8	HOJA 1 DE 3		

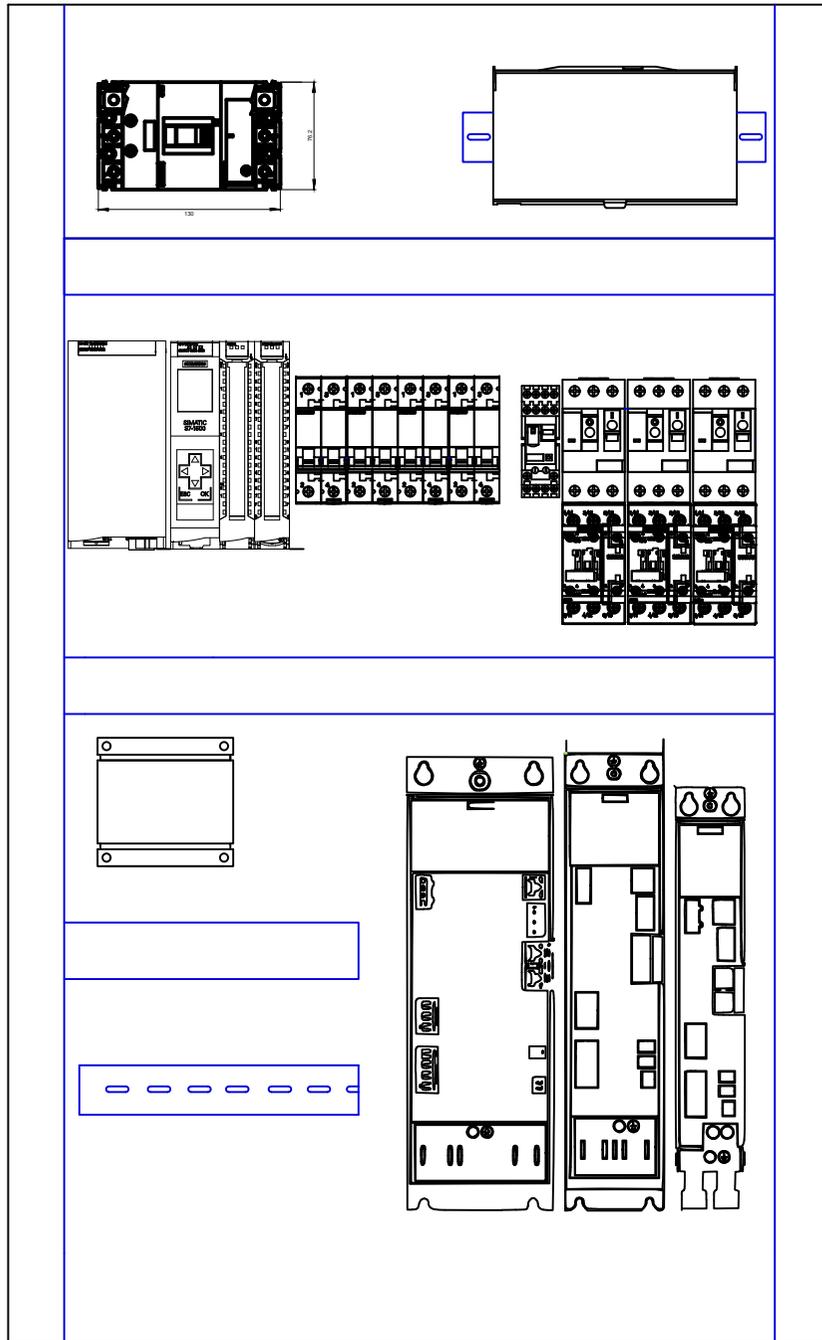


AUTOR	FECHA	MECANISMO RASTRILLAR		
ING. JORGE ZAPATA	9/11/2024			
ING. SERGIO BALCAZAR		TITULO		
REVISADO		Manivela		
		TAMAÑO	DIBUJO NO	REV
		A4	INGE-2530	
ESCALA		1 / 5	HOJA 2 DE 3	



AUTOR		FECHA		MECANISMO RASTRILLAR	
ING. JORGE ZAPATA		9/11/2024			
ING. SERGIO BALCAZAR				TITULO	
REVISADO				<div style="text-align: center; font-size: 2em;">Base</div>	
		TAMAÑO			
		A4		INGE-2530	
		ESCALA		REV	
		1 : 3		HOJA 3 DE 3	

Apéndice D
Planos Eléctricos



- X1: Falla servomotor 1
- X2: Falla servomotor 2
- X3: Falla servomotor 3
- X4: Solenoide activado (disparo)
- X5: Servomotor 1 Energizado
- X6: Servomotor 2 Energizado
- X7: Servomotor 3 Energizado
- X8: Movimiento en X
- X9: Movimiento en Y
- X10: Disparo
- X11: Sistema iniciado
- X12: Rastrillando

- SW1: Encender/Apagar Servomotor 1
- SW2: Encender/Apagar Servomotor 2
- SW3: Encender/Apagar Servomotor 3
- SW4: Switch de seguridad (llave)

- P1: Botón Disparo
- P2: Botón Seguro
- P3: Start (Inicio del sistema)
- P4: Stop
- P5: Rastrillar
- PE: Paro de Emergencia

REVISION

CLIENTE: DINDES

DIBUJO: A. Zapata, S. Balcázar

ESC: -:-

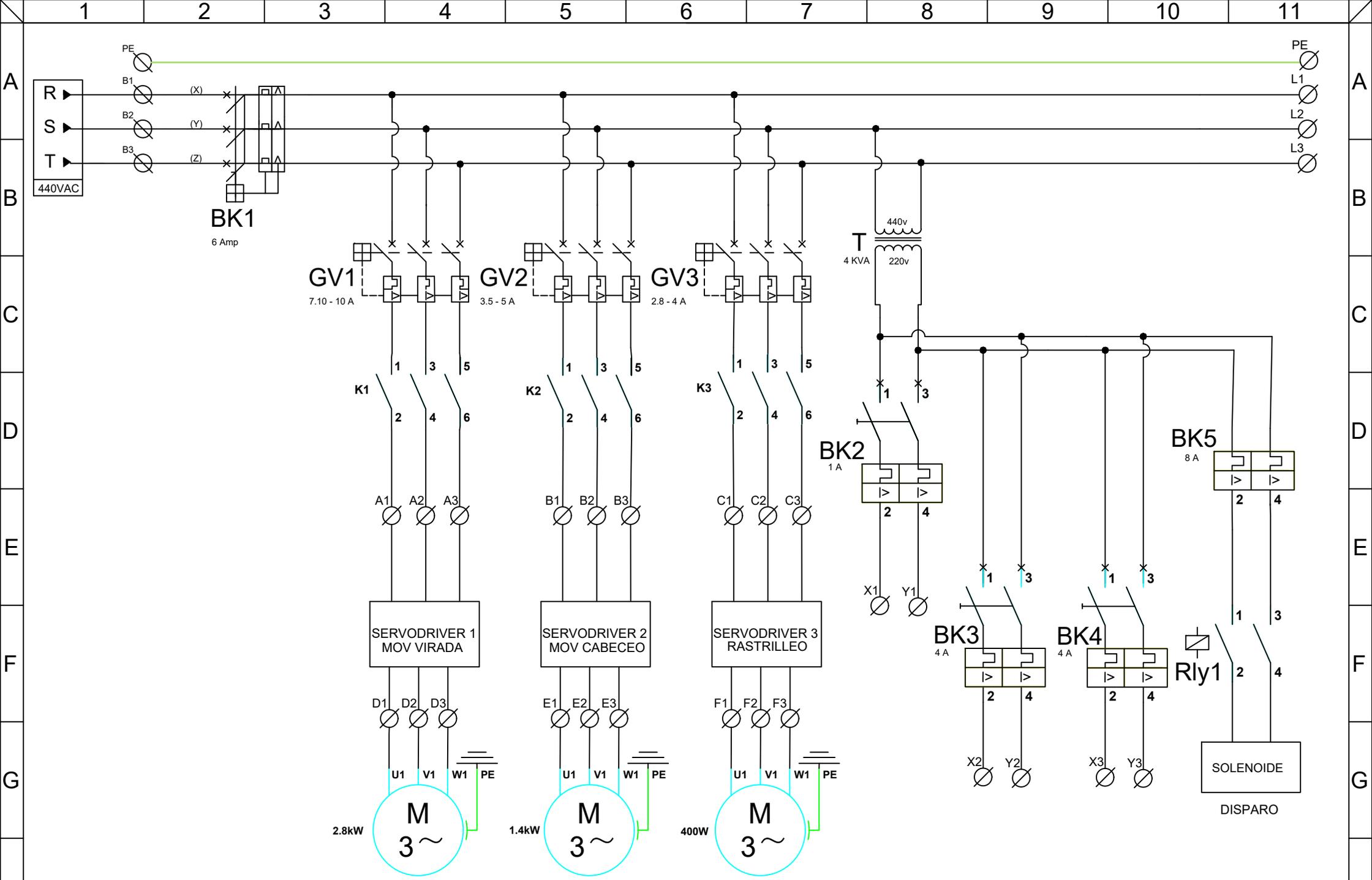
PROYECTO: Sistema de control remoto de arma RWS

FECHA: 17 - 08 - 2024

CONTIENE: Plano eléctrico y de control

CODIGO: NIMRAD1

PAGINA: 1

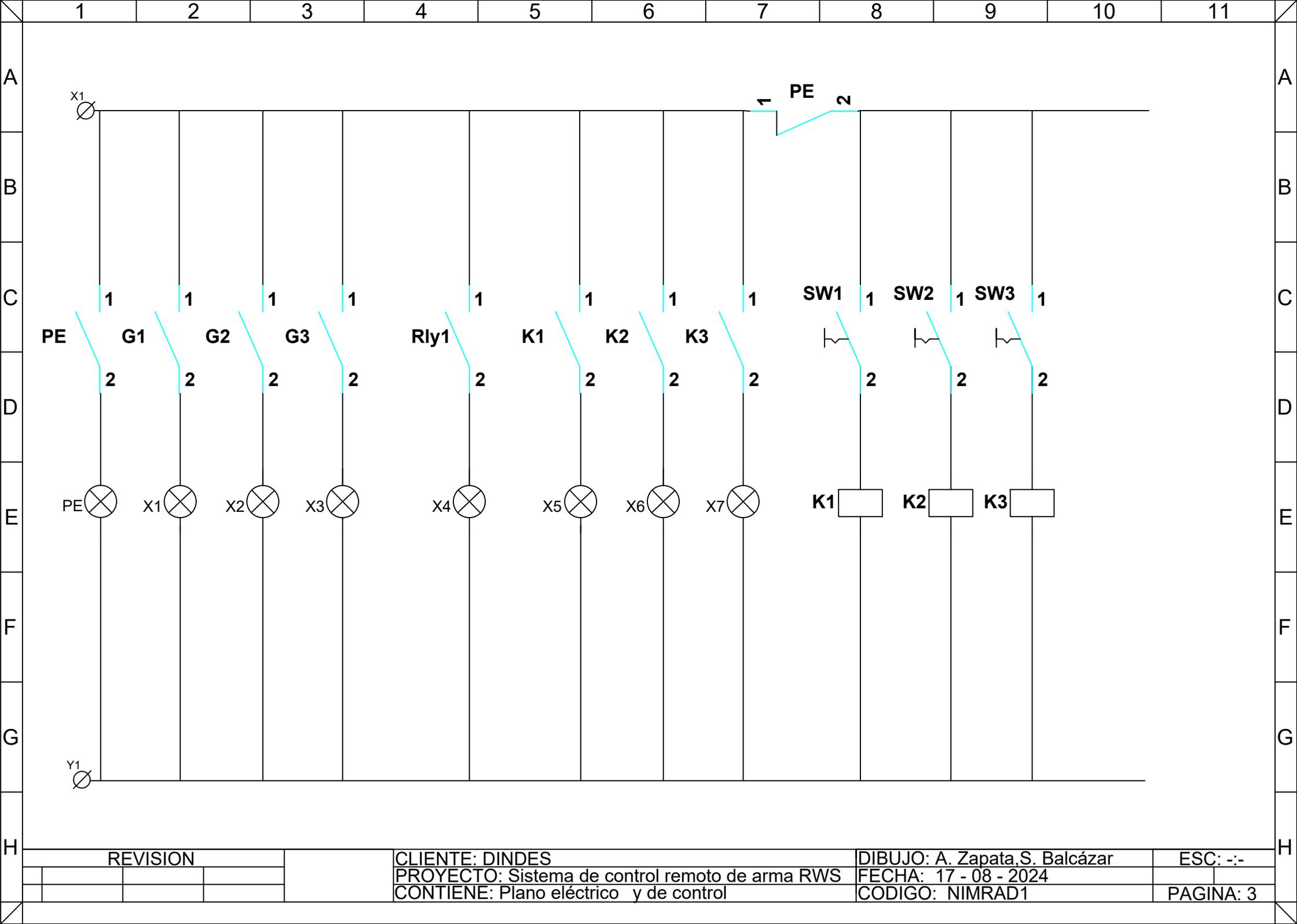


REVISION			

CLIENTE: DINDES
 PROYECTO: Sistema de control remoto de arma RWS
 CONTIENE: Plano eléctrico y de control

DIBUJO: A. Zapata, S. Balcázar
 FECHA: 17 - 08 - 2024
 CODIGO: NIMRAD1

ESC: -:-
 PAGINA: 2

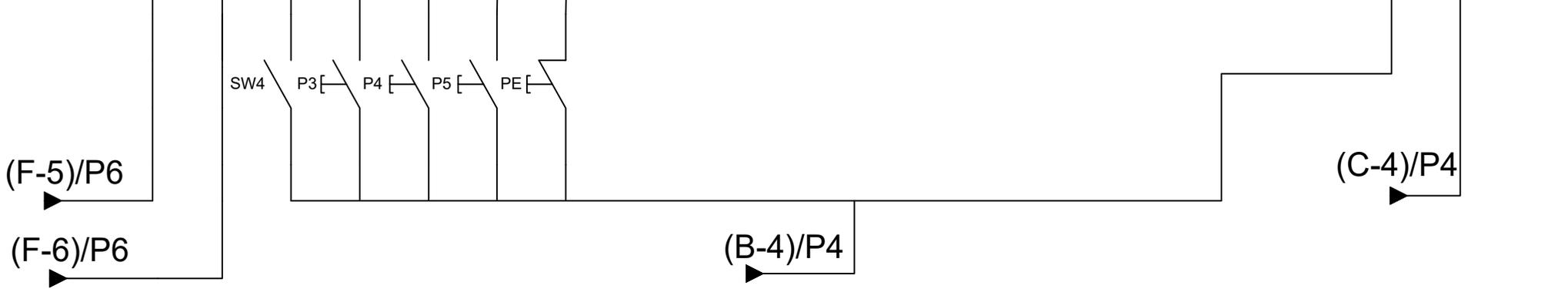
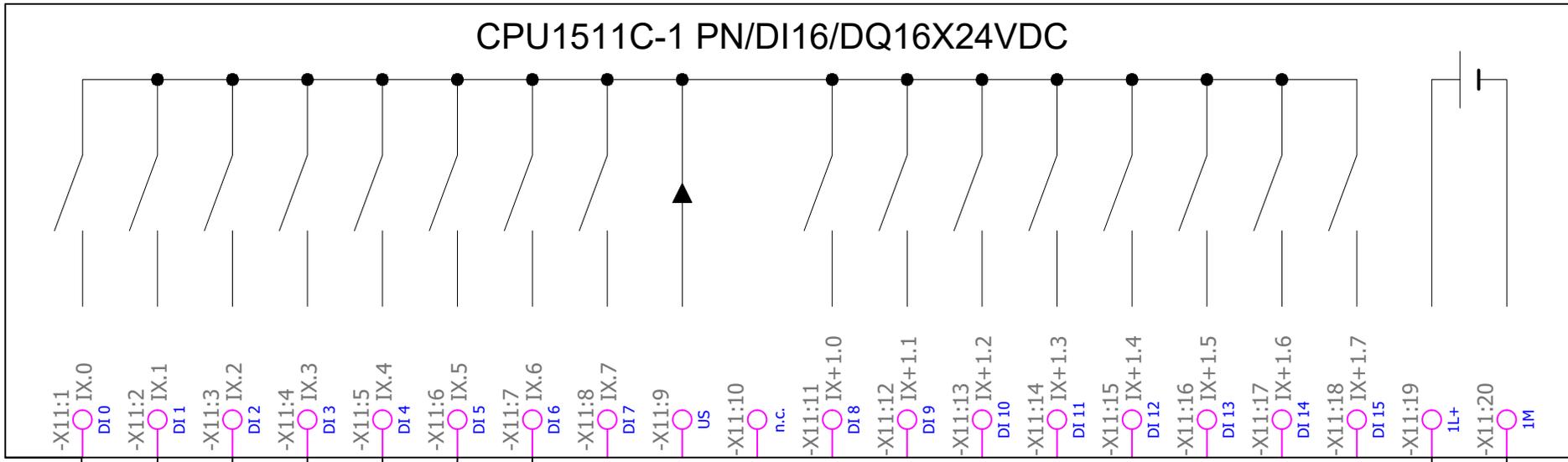
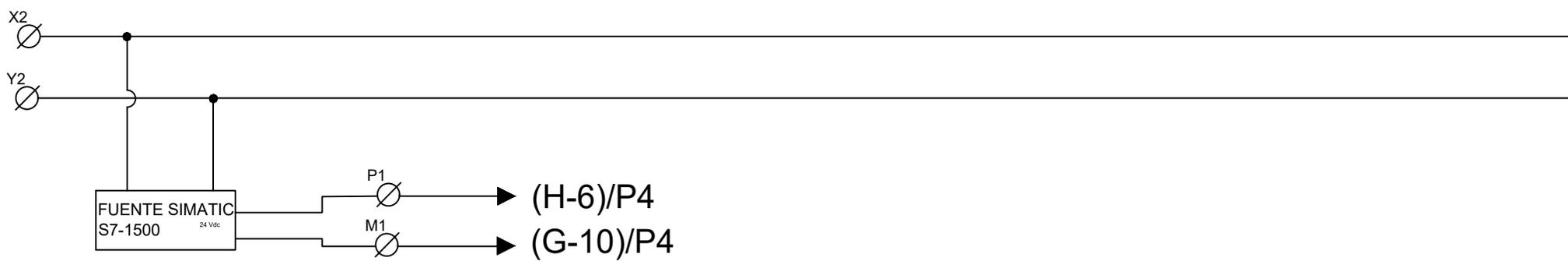


REVISION			

CLIENTE: DINDES
PROYECTO: Sistema de control remoto de arma RWS
CONTIENE: Plano eléctrico y de control

DIBUJO: A. Zapata, S. Balcázar
FECHA: 17 - 08 - 2024
CODIGO: NIMRAD1

ESC: :-
PAGINA: 3

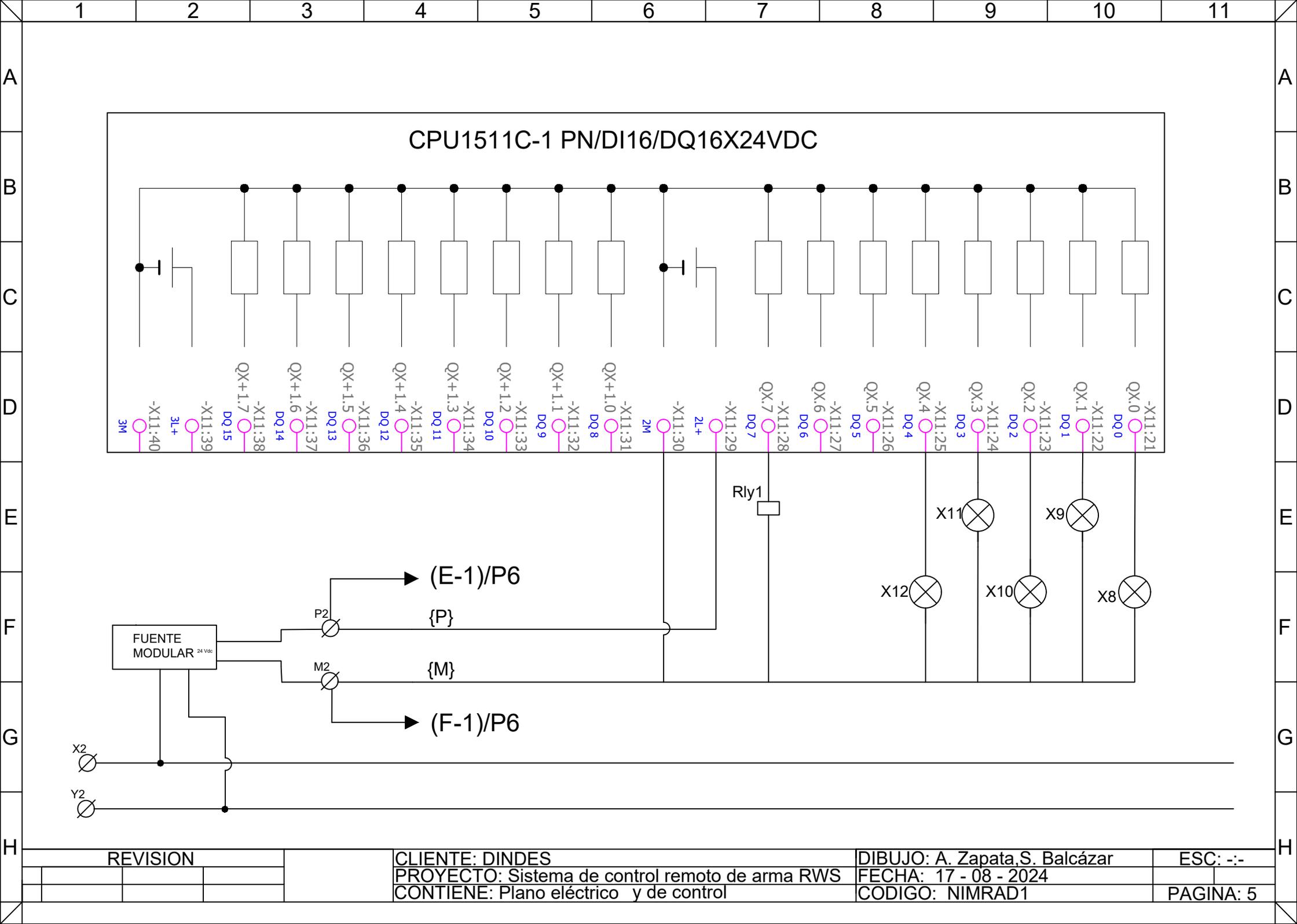


REVISION			

CLIENTE: DINDES
 PROYECTO: Sistema de control remoto de arma RWS
 CONTIENE: Plano eléctrico y de control

DIBUJO: A. Zapata, S. Balcázar
 FECHA: 17 - 08 - 2024
 CODIGO: NIMRAD1

ESC: -:-
 PAGINA: 4

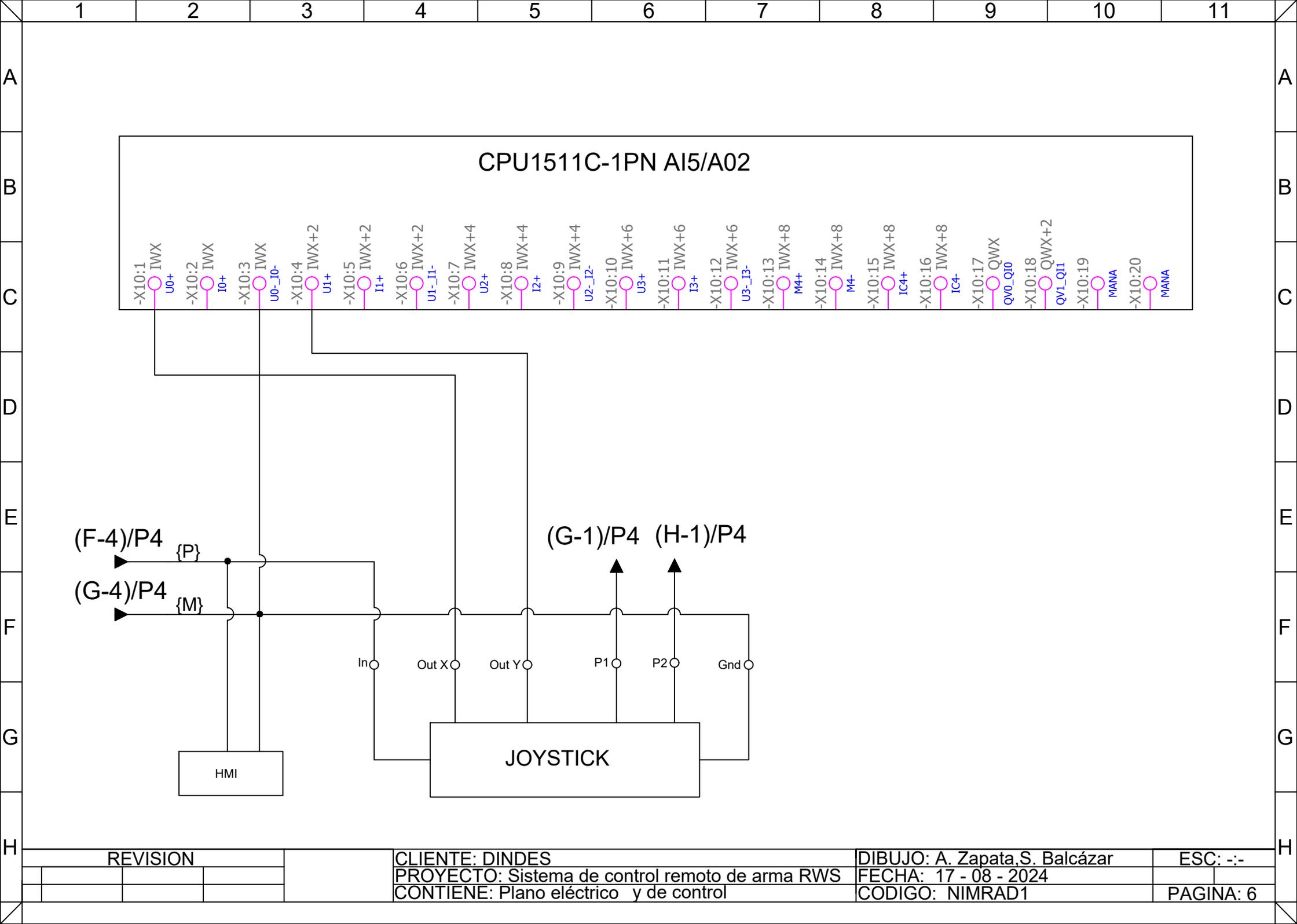


REVISION			

CLIENTE: DINDES
 PROYECTO: Sistema de control remoto de arma RWS
 CONTIENE: Plano eléctrico y de control

DIBUJO: A. Zapata, S. Balcázar
 FECHA: 17 - 08 - 2024
 CODIGO: NIMRAD1

ESC: -:-
 PAGINA: 5

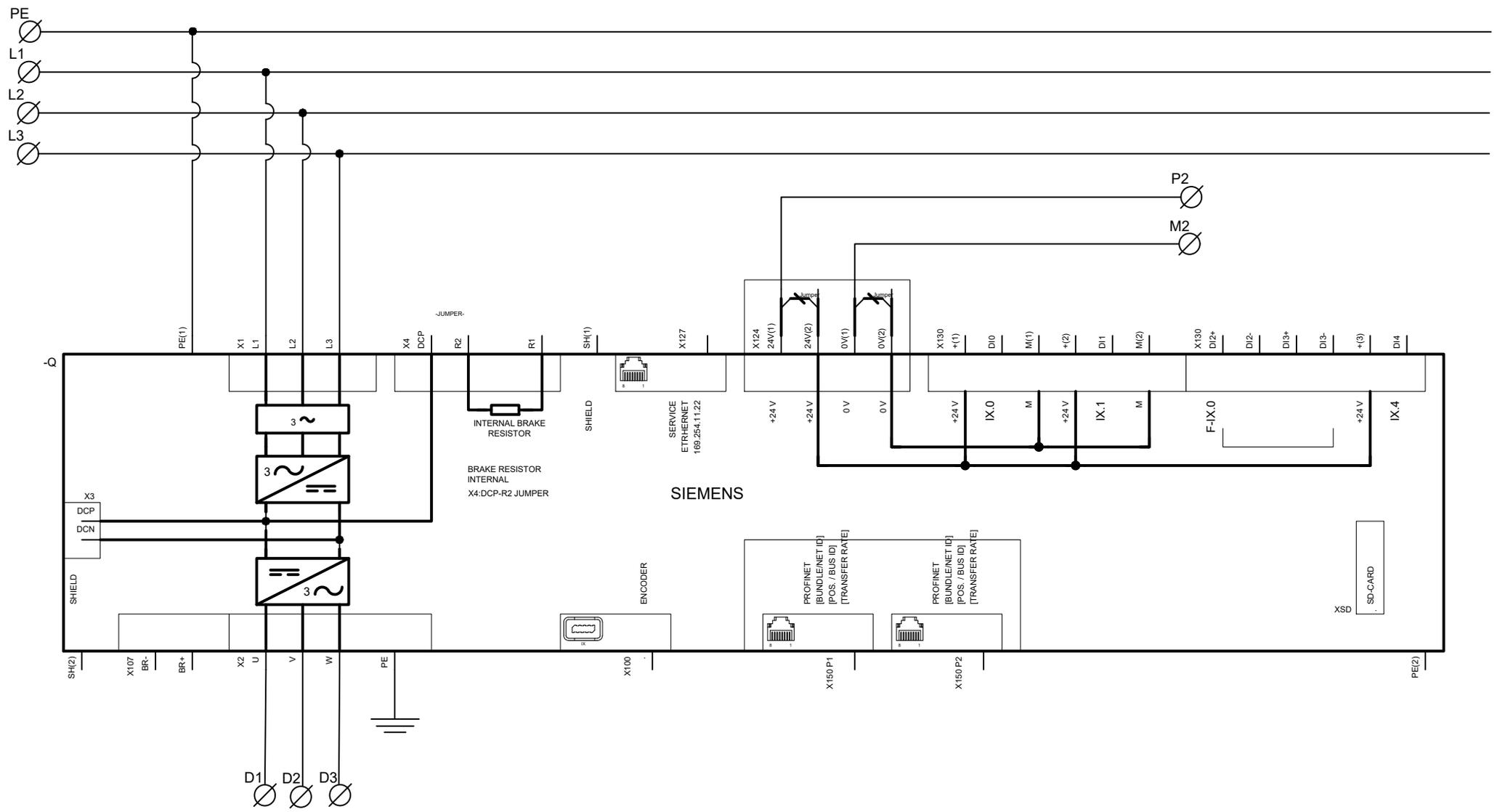


REVISION			

CLIENTE: DINDES
PROYECTO: Sistema de control remoto de arma RWS
CONTIENE: Plano eléctrico y de control

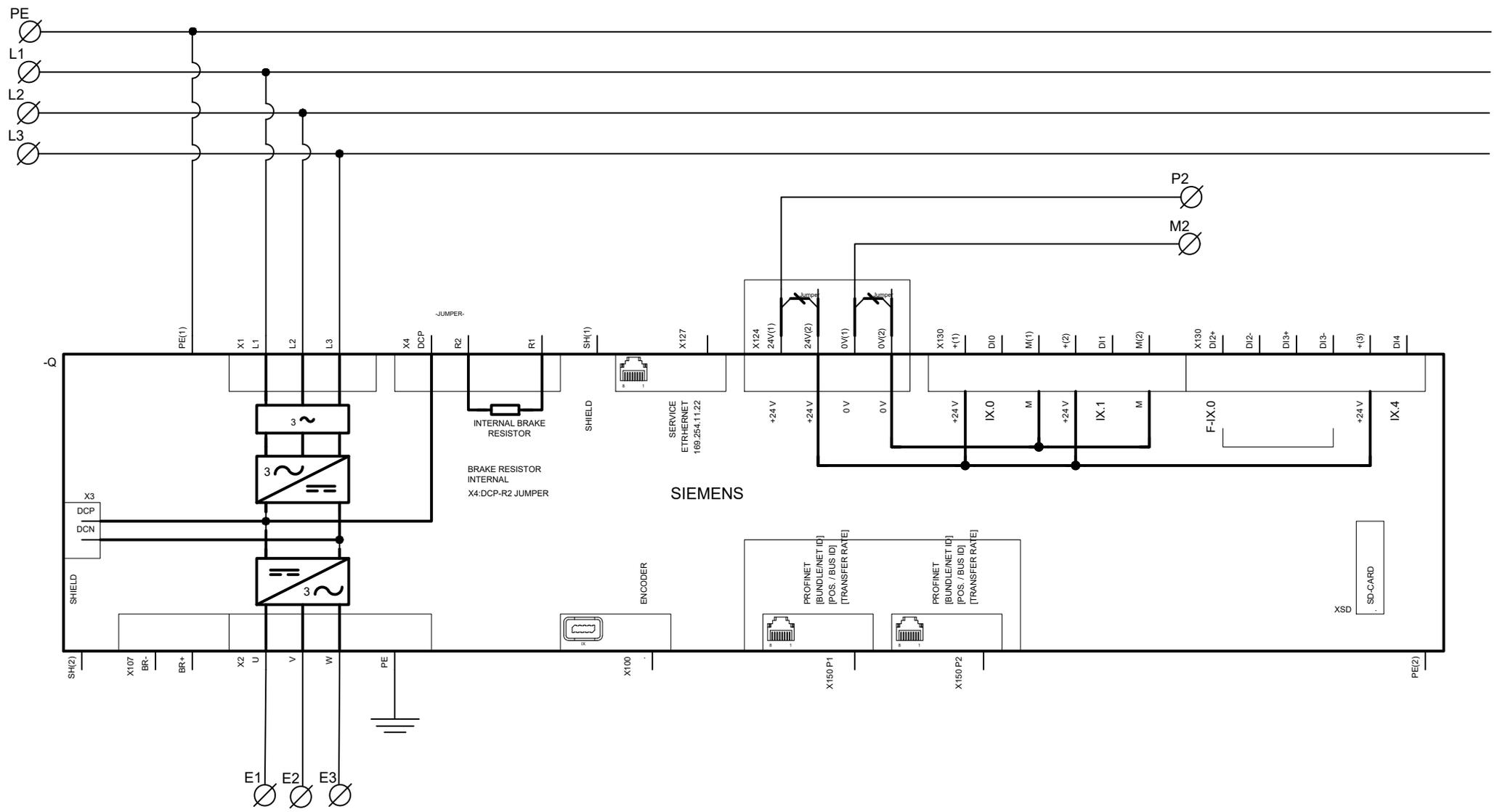
DIBUJO: A. Zapata, S. Balcázar
FECHA: 17 - 08 - 2024
CODIGO: NIMRAD1

ESC: :-
PAGINA: 6



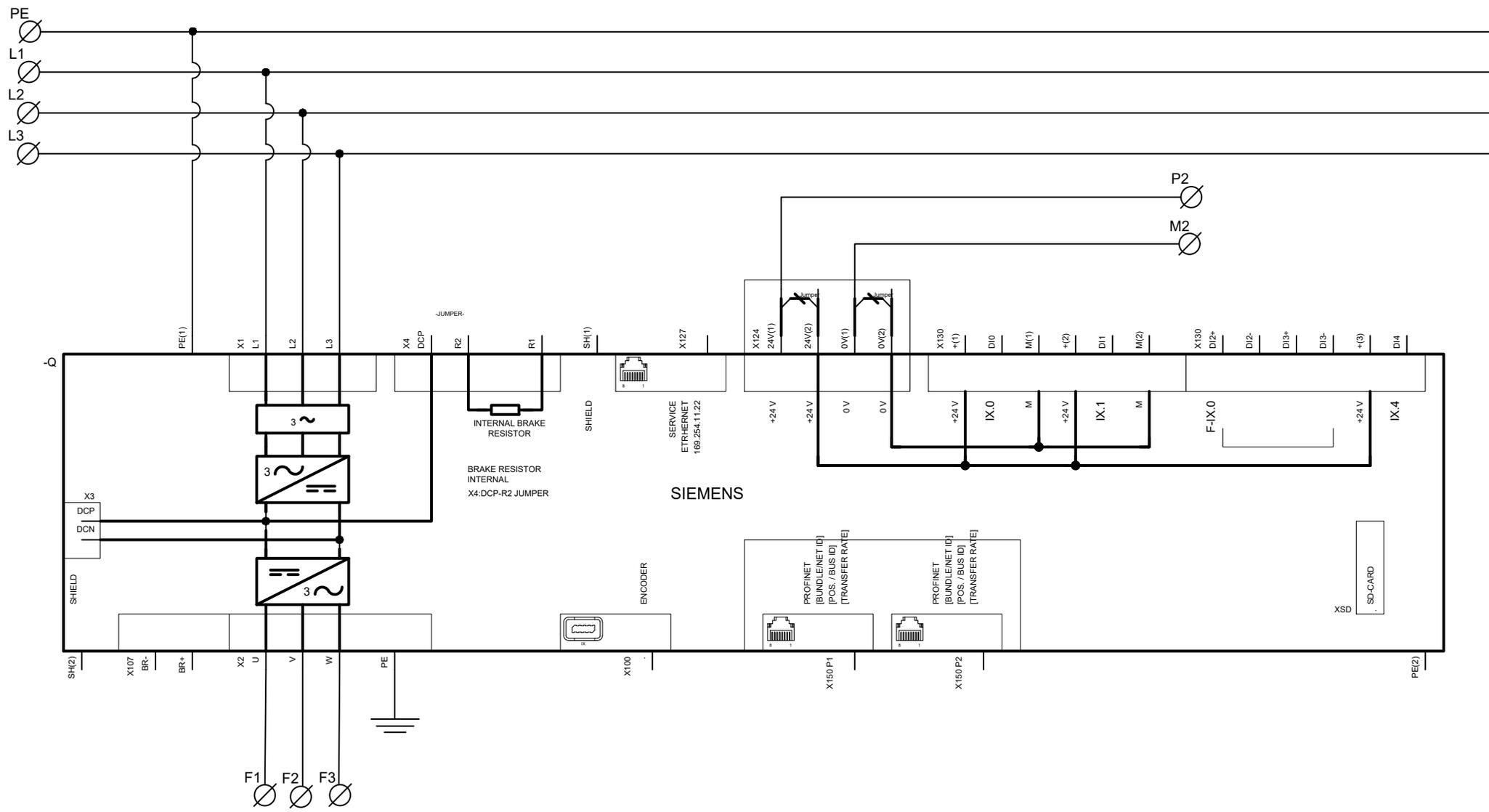
VIRADA - BASE

REVISION		CLIENTE: DINDES	DIBUJO: A. Zapata, S. Balcázar	ESC: :-
		PROYECTO: Sistema de control remoto de arma RWS	FECHA: 17 - 08 - 2024	
		CONTIENE: Plano eléctrico y de control	CODIGO: NIMRAD1	PAGINA: 7



CABECEO

REVISION		CLIENTE: DINDES	DIBUJO: A. Zapata, S. Balcázar	ESC: :-
		PROYECTO: Sistema de control remoto de arma RWS	FECHA: 17 - 08 - 2024	
		CONTIENE: Plano eléctrico y de control	CODIGO: NIMRAD1	PAGINA: 8



RASTRILLO

REVISION		CLIENTE: DINDES	DIBUJO: A. Zapata, S. Balcázar	ESC: :-
		PROYECTO: Sistema de control remoto de arma RWS	FECHA: 17 - 08 - 2024	
		CONTIENE: Plano eléctrico y de control	CODIGO: NIMRAD1	PAGINA: 9

Apéndice E

Código del Proyecto

En el siguiente repositorio se puede consultar el código en TIA Portal del proyecto y el detalle de cada elemento seleccionado:

<https://github.com/jazapata16/Armada-Proyect.git>