

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

Diseño de un soporte con giro estabilizado para una ametralladora Browning  
M2 en las lanchas Guardacostas tipo PGO

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Mecánico**

Presentado por:

Santiago Alejandro Meneses Cevallos

Leonardo Manuel Martínez Redrobán

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2022

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto lo dedico a Dios, por sus bendiciones me permitió culminar una meta más en mi vida profesional.

A mi querida esposa, hija y su familia por brindarme su apoyo, comprensión y cariño durante este periodo de estudios, siendo un impulso para superar paso a paso las dificultades de una carrera en esta prestigiosa Institución.

Finalmente, a la Armada del Ecuador y sus repartos subordinados, que nos dieron la oportunidad de continuar con nuestra preparación y nos abrieron las puertas para poner en práctica los conocimientos técnicos aprendidos.

**Santiago Meneses Cevallos**

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto lo dedico a Dios por brindarme la salud, paciencia y sabiduría para alcanzar un objetivo más en mi vida profesional.

A mi esposa e hijo que son los pilares esenciales en mi vida y que gracias a su amor, comprensión y apoyo me han dado el impulso a superar cualquier obstáculo.

Así también, a mis padres que a través de sus consejos, enseñanzas y cariño hicieron de mí, una gran persona y son el pilar principal que me motiva a seguir adelante y conseguir las metas planteadas.

Finalmente, agradecer a la Armada del Ecuador, noble institución que me permitió preparar profesionalmente y a los repartos subordinados que nos permitieron poner en práctica los conocimientos adquiridos en las aulas.

**Leonardo Martínez Redrobán**

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestro más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica del Litoral y todas sus autoridades, al personal docente de la facultad de Ingeniería Mecánica su impartir su experiencia y conocimiento en las aulas de estudio.

A nuestro tutor de tesis por darnos ese acompañamiento y guía durante el desarrollo de este proyecto.

Finalmente, pero no menos importante, de manera especial y sentida, a la mejor institución del mundo; la Armada del Ecuador que por medio de la DIGEDO nos brindó la oportunidad de capacitarnos en una carrera técnica, para impulsar los proyectos de mantenimiento, investigación y desarrollo de la Marina de Guerra del Ecuador.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Santiago Meneses Cevallos* y *Leonardo Martínez Redroban* no damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

*Santiago Meneses  
Cevallos*

*Leonardo Martínez  
Redroban*

## EVALUADORES

PhD. Francis Loayza Paredes

PROFESOR DE LA MATERIA

MSc. Fausto Maldonado Galarza

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

Las unidades Guardacostas de Patrullaje Oceánico del Ecuador cuentan con cinco lanchas patrulleras tipo PGO para operar en zonas marítimas desde aguas interiores hasta la zona económica exclusiva. En tiempo de paz ayudan a combatir actividades ilícitas y en tiempo de guerra a defender la soberanía marítima nacional. El presente proyecto tiene por objetivo el diseño de una estructura con giro estabilizado para dar soporte a una ametralladora Browning M2 calibre 0.50 para ser aplicada en este tipo de buques, la cual debe tener la capacidad de acoger un sistema de automatización para control teleoperado.

El diseño del soporte propuesto se fundamenta en una estructura principal laminar fabricada en acero naval ASTM A131, que conste con un eje de rotación y un escudo de protección para la conservación de la integridad de los componentes electromecánicos. La finalidad de este tipo de estructura es que pueda soportar ataques enemigos y condiciones climáticas adversas.

Los resultados obtenidos nos permiten observar que el diseño está sobredimensionado, con factores de seguridad muy altos en elementos críticos; por ejemplo, un factor de 15 en la base principal, dado que se tiene que agregar los elementos electrónicos y soportar las peores condiciones del mar. Además, se corroboraron los resultados teóricos mediante simulación de elementos finitos con el programa Autodesk Inventor 2022 versión estudiantil. Finalmente, se obtiene que el diseño es capaz de cumplir los requerimientos propuestos de operación y seguridad. Así mismo, se realizó una comparación con diseños de sistemas similares de otros países, obteniendo un ahorro significativo en el costo de fabricación con materiales y mano de obra local.

**Palabras claves:** Soporte, ametralladora, control teleoperado, ataques, condiciones adversas.

## **ABSTRACT**

*Ecuador's Coast Guard Ocean Patrol units have three PGO-type patrol boats to operate in maritime areas near the continent as well as in deep waters. In times of peace, they help to combat illicit activities and in times of war to defend sovereignty. The objective of this project is the design of a structure with stabilized rotation to support a 0.50 caliber Browning M2 machine gun to be applied in this type of ships, it must have the capacity to host an automation system for teleoperated control.*

*The design of the proposed support is based on a main laminar structure made of naval steel ASTM A131, which includes a rotation axis and a protection shield to preserve the integrity of the electromechanical components. The purpose of this type of structure is that it can withstand enemy attacks and adverse weather conditions.*

*The results obtained show that the design is oversized, with very high safety factors in critical elements; for example, a factor of 15 in the main base, since the electronic elements have to be added and withstand the worst sea conditions. Additionally, the theoretical results were corroborated by finite element simulation with Autodesk Inventor 2022 student version. Finally, it is obtained that the design is capable of meeting the proposed operation and safety requirements. Also, a comparison was made with similar system designs from other countries, obtaining significant saving in the cost of manufacturing with local materials and labor.*

**Keywords:** *Support, machine gun, teleoperated control, attacks, adverse conditions.*



# ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	6
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Definición del Problema.....	2
1.2 Justificación del proyecto .....	4
1.3 Objetivos .....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Marco teórico.....	5
CAPÍTULO 2.....	14
2. Metodología .....	14
2.1 Objetivos de diseño .....	14
2.2 Restricciones de diseño .....	15
2.3 Funciones.....	16
2.4 Requerimientos del cliente: .....	17
2.5 Criterios de selección .....	17

2.6	Propuestas de alternativas de solución.....	18
2.6.1	Selección del material.....	18
2.6.2	Tipo de arquitectura.....	20
2.7	Descripción de la alternativa ganadora.....	23
2.8	Diseño de forma.....	24
2.9	Diseño detallado.....	26
2.9.1	Diseño de la estructura base principal del arma (tipo campana).....	26
2.9.2	Diseño de eje para rotación de la armadura.....	30
2.9.3	Diseño de escudo de protección.....	34
2.9.4	Diseño de base superior.....	37
2.9.5	Diseño de chavetas para “eje de rotación – motorreductor”.....	38
2.9.6	Selección de rodamientos para eje de rotación.....	41
2.9.7	Selección de Motorreductores.....	42
2.9.8	Diseño de juntas empernadas.....	43
2.9.9	Diseño de juntas soldadas.....	44
2.10	Validación de resultados mediante el uso de Elementos Finitos.....	45
CAPÍTULO 3.....		47
3.	RESULTADOS.....	47
3.1	Resultados de diseño para la estructura base principal (tipo campana).....	47
3.1.1	Resultados de diseño y validación de la estructura base principal por elementos finitos.....	51
3.2	Resultados de diseño para el escudo de protección.....	52
3.2.1	Resultados de diseño y validación del escudo de protección por elementos finitos	53
3.3	Resultados de diseño y validación por elementos finitos para la base superior...	55

3.4	Resultados de diseño del eje de rotación.....	57
3.4.1	Resultados de validación para el eje de rotación por elementos finitos.....	63
3.5	Diseño de chavetas para eje de rotación – motorreductor .....	64
3.6	Selección de rodamientos para eje de rotación.....	66
3.7	Selección de motorreductores.....	70
3.8	Diseño y selección de junta empernada.....	73
3.9	Diseño de junta soldada .....	74
3.10	Análisis de resultados.....	74
3.11	Análisis económico.....	77
CAPÍTULO 4.....		81
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
4.1	Conclusiones.....	81
4.2	Recomendaciones.....	83
BIBLIOGRAFÍA.....		84
ALTAMIRANO, C.-E. D. (2022). REQUERIMIENTOS OPERACIONALES - IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIÓN REMOTA DE ARMAS GIROESTABILIZADA EN UNIDADES OPV, PGO Y PGM. ARMADA DEL ECUADOR DIRECCIÓN DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO.....		84
APÉNDICES.....		86

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
COG	Centro de Operaciones de Guardacostas
BMG	Browning Machine Gun
DIRNEA	Dirección Nacional de Espacios Acuáticos
COGUAR	Comando de Guardacostas
PGO	Guardacostas de Patrullaje Oceánico
SAE	Society of Automotive Engineers
AWS	American Welding Society

## SIMBOLOGÍA

kW	Kilovatio
MW	Megavatio
Pa	Pascal
MPa	Megapascal
N	Newton
m	Metro
mm	milímetro
in	pulgada
kg	Kilogramo
lbf	libra fuerza
h	Hora
s	Segundo
rpm	Revoluciones por minuto

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de la ametralladora Browning M2 0.5" - Partes .....	5
Figura 1.2 Cartucho 12,7 x 99 mm OTAN o 0.50 BMG .....	6
Figura 1.3 Lancha Guardacostas tipo PGO.....	7
Figura 1.4 Esquema de la montura MK 93 MOD 0.....	9
Figura 1.5 Sistema para GAU-19 .....	10
Figura 1.6 Sistema de artillería teleoperado Sentinel 30 .....	11
Figura 1.7 Estación de armas RCWS Samson.....	11
Figura 1.8 Ilustración de desplazamiento de un elemento mediante elementos finitos .....	13
Figura 2.1 Diagrama de flujo para objetivos de diseño.....	14
Figura 2.2 Diagrama de árbol de objetivos y restricciones .....	16
Figura 2.3 Diagrama de caja negra de funciones .....	16
Figura 2.4 Diagrama de caja transparente de funciones .....	17
Figura 2.5 Alternativa #1: Esquema de estructura triangular.....	20
Figura 2.6 Alternativa #2: Esquema de estructura laminar .....	21
Figura 2.7 Alternativa #3: Esquema de estructura entramada.....	22
Figura 2.8 Diseño de forma de la estructura detallado .....	24
Figura 2.9 Imagen diseño preliminar del Soporte principal.....	26
Figura 2.10 Mallado de estructura principal, definidas los apoyos fijos, la fuerza gravitatoria y las cargas aplicadas.....	29
Figura 2.11 Deformación de la estructura principal con aumento 1X (ilustrativo) dado por el programa Inventor .....	30
Figura 2.12 Esquema de diseño del eje de rotación.....	31
Figura 2.13 Esquema del mallado y fuerzas sobre el eje de rotación .....	33
Figura 2.14 Deformación del eje de rotación con aumento 1X (ilustrativo) dado por el programa Inventor .....	34
Figura 2.15 Esquema de diseño del escudo de protección .....	36
Figura 2.16 Deformación del escudo de protección con aumento 1X (ilustrativo) dado por el programa Inventor .....	37
Figura 2.17 Esquema de diseño de la base superior .....	37

Figura 2.18 Deformación de la base superior con aumento 1X (ilustrativo) dado por el programa Inventor .....	38
Figura 2.19 Diagrama de fuerzas que actúan sobre la chaveta: .....	39
Figura 2.20 Esquema de rodamiento y chumacera NTN.....	42
Figura 3.1 Imagen diseño definitivo del Soporte principal .....	48
Figura 3.2 Diagrama de cuerpo libre para el eje de rotación .....	58
Figura 3.3 Diagrama de fuerza cortante del eje de rotación .....	60
Figura 3.4 Diagrama de Momento Flector del eje de rotación .....	60
Figura 3.5 Selección de rodamiento de rodillo esféricos inferior .....	68
Figura 3.6 Selección de rodamiento de bolas superior.....	70
Figura 3.7 Curvas de selección del factor de servicio para motorreductores .....	71
Figura 3.8 Proforma ejemplo de la Sentinel 2.0 para comparación de precios con otras tecnologías, el precio unitario oscila los \$307.200.....	80

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Características y equipamiento de las lanchas Guardacostas tipo PGO.....	7
Tabla 2.1 Cuadro de comparación por pares para objetivos .....	15
Tabla 2.2 Matriz de decisión para selección del material .....	19
Tabla 2.3 Matriz de decisión para selección del tipo de estructura .....	22
Tabla 2.4 Tabla de enumeración de piezas.....	25
Tabla 2.5 Coeficientes de longitud efectiva para columnas.....	27
Tabla 3.1 Imágenes y valores de validación del diseño mediante elementos finitos .....	51
Tabla 3.2 Imágenes y valores de validación del diseño mediante elementos finitos .....	54
Tabla 3.3 Imágenes y valores de validación del diseño mediante elementos finitos .....	56
Tabla 3.4 Imágenes y valores de validación del diseño mediante elementos finitos .....	63
Tabla 3.5 Selección de motorreductores de 3.00 kW a 60 Hz marca Motovario .....	72
Tabla 3.6 Material prima estimados para el desarrollo del proyecto.....	78
Tabla 3.7 Trabajos requeridos para la manufactura de la estructura y costos estimados .....	79
Tabla 3.8 Infraestructura y equipo técnico requerido para mantenimiento .....	79



## ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Isométricos y frontal del diseño del Soporte con giro estabilizado para una ametralladora Browning M2
- PLANO 2 Vista explosionada y lista de piezas
- PLANO 3 Planos de la estructura principal
- PLANO 4 Planos de la base superior y el eje de rotación
- PLANO 5 Planos del escudo de protección

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

La ametrallada Browning calibre 0.5", también conocida como ametralladora M2 es un arma pesada diseñada durante la Primera Guerra Mundial que dispara un cartucho grande 12.7x99 OTAN (.50 BMG) (Browning Machine Gun); es un arma efectiva para hacer contra a vehículos, infantería y sobre todo embarcaciones sin blindaje o ligeramente blindados y aviones a una baja altitud (Laurent, 2020). La Browning M2 es una ametralladora compuesta por 244 piezas, enfriada por aire, alimentada por banda de cartuchos que dispara acorde al principio del retroceso corto (Chinn, 1951).

Las unidades Guardacostas de Patrullaje Oceánico del Ecuador cuenta con tres patrulleros de altura clase Isla Fernandina Tipo PGO (LG-39, LG-40, LG-41) que operan desde el 2006 y fueron construidos en España, estas embarcaciones cuenta con un peso de 100 toneladas, 45 metros de eslora (largo) y 10 metros de manga (ancho), un puntal de 5 metros y un calado de 2.5 metros, lo que les dispone de una autonomía de más de 3000 millas náuticas a 12 nudos con un alojamiento de hasta 30 tripulantes (Saumeth, 2022). Estas embarcaciones son capaces de operar en áreas marítimas cercanas al continente como en alta mar que son las aguas más lejanas a la costa, también cerca de las islas Galápagos; logran combinar puntas de velocidad elevadas con navegación de larga duración. Estos clase Isla Fernandina presentan una relación de coste/operación muy conveniente para países como Ecuador, que tienen que vigilar amplias zonas marítimas y que cuentan con recursos económicos limitados.

Los patrulleros de altura clase Isla Fernandina de la Armada del Ecuador disponen de dos afustes para emplazar dos ametralladores de tipo FN Herstal SA, y especialmente de uno para una ametralladora M2 Browning 0.5. Sin embargo, no disponen de la infraestructura mecánica que les permita soportar firmemente el arma y dar un giro estabilizado, sobre todo ante circunstancias de amenaza, conflictos bélicos, mal tiempo o mar agitado.

## 1.1 Definición del Problema

Las unidades Guardacostas de Patrullaje Oceánico (PGO) cumplen con diferentes tareas, en tiempo de paz combaten actividades ilícitas y en tiempo de guerra defienden la costa. Adicionalmente, desarrollan operaciones de apoyo a la sociedad civil. Es necesario que este tipo de unidades dispongan de armamento que les permita hacer frente a las amenazas, tales como el narcotráfico, piratería, pesca ilegal, trata de personas y contrabando.

En relación con las tareas y operaciones ya citadas, se ha evidenciado que las unidades Guardacostas no cuentan con una estructura mecánica que les permita implementar un sistema de armas automatizado, limitando la seguridad personal de los operadores de armas frente alguna amenaza o a las inclemencias del clima en condiciones de mal tiempo o mar agitado. De acuerdo las estadísticas del Centro de Operaciones de Guardacostas (COG) se ha tenido 25 enfrentamientos en el último año en aguas jurisdiccionales ecuatorianas, contra personas sospechosas de actividades ilícitas; las mismas que han tenido una respuesta disuasiva al ver las lanchas Guardacostas equipadas con armamento sobre su estructura. A pesar de que estas unidades tienen un soporte para ametralladora, esta debe ser operada por un tripulante de la dotación, volviéndolo vulnerable ante los riesgos que implica una operación de este tipo, por lo que el cuidado del bienestar y salud ocupacional del tripulante operativo de la ametralladora debe ser la prioridad.

Las acciones comerciales que se desarrollan en el mar están siendo vulneradas por las actividades ilícitas de grupos delictivos transnacionales que han visto en nuestras costas, el medio para desarrollar sus actos al margen de la ley. Conforme lo menciona Anguita y Sánchez en su artículo de opinión; “la falta de gobernanza, la pobreza, la desestructuración social y estatal, la corrupción y la sobreexplotación de recursos” son factores que limitan el encuentro de paz y el desarrollo de una sociedad. Por lo que resulta imperativo, poseer y ofrecer una posición disuasiva por parte de la Armada, que permita brindar seguridad a los

recursos que nos brinda los espacios marítimos, no solo naturales, sino también comerciales, ya que estos contribuirían a regenerar las instituciones del estado y brindar mejoría social.

La Dirección Nacional de Espacios Acuáticos (DIRNEA) a través de su órgano operativo que es el Comando de Guardacostas (COGUAR), ha planteado la necesidad de contar con un sistema giro estabilizado que permitan reducir la cantidad de tripulantes para operar la ametralladora de manera remota. Para lo cual se requiere diseñar una estructura que sirva de soporte para la ametrallado y los dispositivos electrónicos lo suficientemente robusta y adecuada al espacio disponible en las unidades PGO, por lo que será necesario realizar un análisis de cargas por medio de un programa de elementos finitos (Inventor), que nos permitirá dimensionar el nuevo soporte que estará sometido a esfuerzos de fatiga, fuerzas de empuje, movimientos giratorios, además de las condiciones marinas que afectará el tiempo de vida útil de la estructura.

Entre los aspectos que debe satisfacer el diseño de este soporte, está el hecho que se lo debe desarrollar dentro de la institución, es decir, con el personal y los recursos disponibles para la Armada del Ecuador, específicamente en el sector de los Espacios Acuáticos. Por lo cual el diseño del soporte debe ser económico para ser fabricado en los astilleros navales para su posterior ensamblaje en las unidades PGO durante su proyecto de modernización.

Hay que mencionar además que el diseño del soporte debe ser amigable con el medio ambiente, por lo que los materiales que se deban emplear tengan una larga vida útil y puedan ser reemplazados con el tiempo sin tener un efecto ambiental negativo. Además, que debe ser una estructura que se adapte a los equipos que están acostumbrado a operar los tripulantes de las dotaciones de esta unidad PGO, ya que culturalmente como organización se tiene una doctrina establecida la cual se debe cumplir durante las operaciones que son empleadas estas lanchas Guardacostas.

Por lo tanto, se requiere diseñar un soporte para una ametralladora Browning calibre 0.50" que permita ser disparada de forma remota desde el puente de mando de la lancha Guardacostas tipo PGO.

## **1.2 Justificación del proyecto**

Las unidades tipo PGO cuentan con una estructura básica para armas de accionamiento manual de calibre máximo 0.50" el cual resulta insuficiente para hacer frente a las amenazas, además que, se pone en riesgo la seguridad del personal (operadores de armas), sea por la posible acción de la amenaza o por las inclemencias del clima en condiciones de mal tiempo o mar agitado. Adicionalmente, se cuenta con un numérico reducido de personal (05 oficiales y 19 tripulantes) en estas unidades con relación a las tareas y misiones que son designadas; por lo expuesto, se hace necesario que las unidades cuenten con estaciones de armas que brinden la capacidad de operar ametralladoras de 0.50" automatizadas, lo que permitirá hacer frente a las amenazas que se pueden encontrar en el cumplimiento de las tareas en tiempos de paz, conflicto y guerra.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar una estructura metálica de soporte para una ametralladora Browning M2 calibre 0.50" por medio de programa para diseño mecánico y análisis de elementos finitos (Autodesk Inventor 2022 versión estudiantil) aplicada a Lanchas Guardacostas tipo PGO de la Armada del Ecuador.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Diseñar estructuralmente un soporte con sistema giroestabilizador que permita el movimiento con los grados de libertad necesarios para la ametralladora Browning M2 calibre 0.50".
2. Analizar por elementos finitos el diseño de la estructura soporte.

3. Seleccionar los elementos necesarios (pernos, motores, suspensión, entre otros), que permita el funcionamiento de la ametralladora.
4. Desarrollar el análisis de costos de la implementación del proyecto.

#### 1.4 Marco teórico

##### Ametralladora M2 Browning calibre 0.50

La ametralladora Browning calibre 0.50 es un rediseño de la ametralladora Browning M1917 calibre 0.30 y fue fabricada en Estados Unidos por John Browning, además se le consideró como el arma más exitosa por su efectividad contra la infantería, vehículos, embarcaciones sin blindaje o ligeramente blindadas. (Cooke, 2006)

La ametralladora está conformada por: sistema de alimentación, apoyo del cañón, conjunto cañón, receiver, pivote y elementos de puntería. Como se puede observar en la figura 1. (Cooke, 2006), (The Army Maintenance Management System (TAAMS))

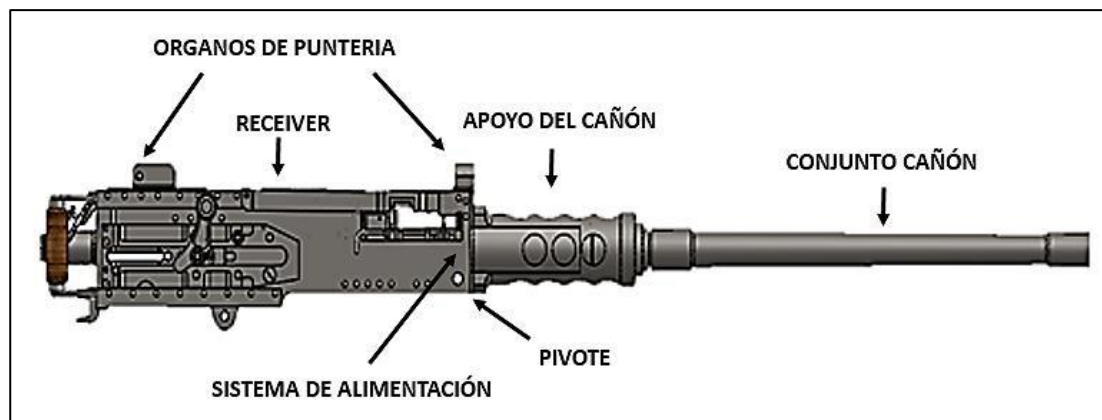


Figura 1.1 Esquema de la ametralladora Browning M2 0.5" – Partes.

Fuente: (Cooke, 2006)

##### Cartucho 12,7 x 99 mm OTAN

El cartucho 12,7 x 99 mm OTAN o 0.50 BMG (Browning Machine Gun) es un cartucho especial desarrollado para la ametralladora Browning Calibre 0.50 a

finales de los años 1910. Las municiones para la M2 están empaquetadas en una caja metálica con 100 rondas entrelazadas. Cada caja tiene un peso aproximado 16 kg. (McLaren, 2015)



**Figura 1.2 Cartucho 12,7 x 99 mm OTAN o 0.50 BMG.**

**Fuente:** (McLaren, 2015)

### **Lancha Guardacostas PGO**

Los patrulleros de altura de la clase Isla Fernandina han sido construidos para el Cuerpo de Guardacostas de la Armada de Guerra de Ecuador. Pueden operar tanto en la zona marítima próxima al Continente como en aguas alejadas de la costa, incluso en las islas Galápagos, combinan puntas de velocidad elevadas con navegaciones de larga duración a velocidad moderada (más de 3.000 millas a 12 nudos).

Estos patrulleros presentan una relación coste/operación muy interesante para países como Ecuador que tienen que vigilar zonas marítimas muy amplias y que no cuentan con demasiados recursos económicos para ello. Estos buques pueden ser operados desde el puente con una guardia de tan solo tres personas.



**Figura 1.3 Lancha Guardacostas tipo PGO.**  
Fuente: (Armada del Ecuador, 2005)

**Tabla 1.1 Características y equipamiento de las lanchas Guardacostas tipo PGO.**  
Fuente: (Armada del Ecuador, 2005)

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES		EQUIPAMIENTO	
✓ Eslora total	45,00 m	✓ Motor principal	MTU 16V 4000 M90 2x 2.720 kW @2.100 rpm
✓ Eslora 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
			Emergencia 1x 60 HP
CAPACIDADES		✓ Generador de agua dulce	1x osmosis inversa 12T/día
✓ Combustible	55 Toneladas	OTROS	
✓ Aceite	0,5 Toneladas	✓ Capacidad provisiones – 15 días en la mar para 30 hombres	
✓ Agua dulce (tanques propios)	12 Toneladas	✓ Autonomía de 3.000 millas náuticas	
CLASIFICACIÓN		VELOCIDAD	
BV - CLASS I * HULL SPECIAL SERVICE/PATROL SHIP UNRESTRICTED NAVIGATION * MACH		✓ Máxima al 100 M.C.R.	Mínimo 25 nudos
ARMADOR		✓ Al 80% M.C.R. del motor central	12 nudos (velocidad económica)
ARMADA DE ECUADOR		✓ Al 60% M.C.R. de los tres motores	20 nudos (velocidad sostenida)
		<b>Fecha de entrega: 2005</b>	

## Sistema Teleoperados

Los sistemas teleoperados están compuestos de un conjunto de tecnologías cuyo objetivo es la manipulación a distancia de un actuador a través de la interacción de funciones de inteligencia artificial y bajo la supervisión humana. (CERÓN CORREA), (B. S. T., 1992).



La funcionalidad de un sistema teleoperado es análoga a la de un control remoto, es decir, cuando el operador requiere realizar una acción, este envía una instrucción y espera la confirmación de su ejecución. Por lo tanto, se puede decir que la tele operación es una forma de telecomunicación donde existe un emisor que es el operador y un receptor que es el actuador (L. Basañez, 2009). Un sistema teleoperado puede desglosarse en zona local y zona remota.

- **Zona Local**

La zona local está constituida por el operador humano o teleoperador, encargado de la manipulación remota del dispositivo esclavo y del sistema maestro que genera órdenes de movimiento al dispositivo teleoperado e informa al operador la ejecución de esta. (OLLER, 2001), (Rodríguez C. D., 2012)

- **Zona Remota**

La zona remota es el entorno en donde opera el sistema esclavo el cual se comunica con la zona local mediante un canal de comunicaciones, a través del procesamiento de información e instrucciones. (L. Basañez, 2009), (OLLER, 2001)

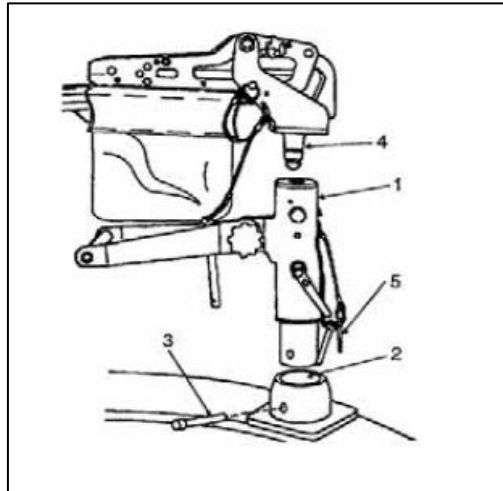
### **Tecnologías y plataformas para ametralladoras**

Las plataformas para ametralladoras tienen como principal objetivo soportar el peso y tamaño de las armas, aportando estabilidad y permitiendo su libre movimiento; parte de su propósito es de poder apoyarse sobre cualquier tipo de vehículo; ya sea terrestre, marítimo o aéreo. Yendo más lejos, algunas plataformas mecánicas y otras integran un sistema teleoperado para acción remota son:

- **Montura MK 93 MOD 0**

Es una montura avanzada con cuna de retroceso suave (para la ametralladora M2), puede usarse sobre el trípode M3, o como parte de la

montura MK 93 MOD 1 para vehículos, cuenta con soporte para caja de munición de 40 mm y de calibre .50.



**Figura 1.4 Esquema de la montura MK 93 MOD 0..**

Fuente: Manual Operador – U.S. Ordnance

- **Sistema para GAU-19 argentino**

Esta plataforma fue diseñada a partir de la necesidad de soportar el gran peso y tamaño de la ametralladora denominada como GAU-19/A Gatting Gun, caracterizada por incorporar una ametralladora multipropósito calibre 12.7mm, ayuda incrementar el poder de fuego, la independencia tecnológica y la capacidad de defensa, también ayuda a evitar movimientos bruscos producto de la fuerza de retroceso. Las desventajas que presenta esta plataforma radican en su elevado peso para colocarlo en automóviles brindados ligero, proporcionando también poco espacio para el operador. Además, es poco flexible a posibles modificaciones futuras. (ZONA MILITAR, 2010).



**Figura 1.5 Sistema para GAU-19.**  
Fuente: Proyecto Pragmalia Oficial Web Site

- **Sistema Sentinel 30**

Es una estación remota estabilizada para armas de 30 y 40mm. Puede ser operado día y noche para misiones de vigilancia y combate. Este sistema incorpora un sistema óptico avanzado de observación, seguimiento y control que permite alcanzar una elevada precisión de tiro a largas distancias.

El sistema se alimenta por dos líneas separadas de munición que son seleccionadas por el operador a través del sistema de control y mando. Es un sistema teleoperado costoso controlado desde el interior de la estructura de la embarcación, aportando protección al operador. El sistema incluye también un programa de simulación para entrenamiento y formación en distintos entornos de combate.



**Figura 1.6 Sistema de artillería teleoperado Sentinel 30.**  
**Fuente:** Escribano Mechanical and Engineering

- **RCWS Samson**

Es un sistema de armamento remoto de procedencia israelí que permite que una amplia variedad de dispositivos sean operados de forma automática o por control remoto. Incluye armamento como ametralladoras de 5,56 mm, 7,62 mm, y 12,7 mm, lanzagranadas automáticos de 40 mm, misiles antitanque, sistemas de observación y sistemas antiaéreos. Esta plataforma está diseñada especialmente para vehículos blindados terrestres.



**Figura 1.7 Estación de armas RCWS Samson.**  
**Fuente:** Rafael Armament Development Authority Ltd.

## **Diseño estructural**

El diseño estructural es una metodología de investigación sobre la estabilidad, la resistencia y la rigidez de las estructuras, y su principal función es generar estabilidad en una estructura por medio del buen uso de los materiales y el diseño. El objetivo del diseño y análisis estructural es producir una estructura capaz de resistir todas las cargas aplicadas sobre sí sin fallas durante su vida de uso (Martínez Calzón, 2005a: 43-51). El diseño estructural consta de los siguientes elementos:

- **Dimensionamiento de la estructura y sus partes**

Se realiza una estructura preliminar, proponiendo ubicación y dimensiones de los elementos estructurales que permitan afinar el diseño. Adicionalmente, en base a los elementos mecánicos que se acoplen a la estructura, se proporcionan las dimensiones y su respectivo acople.

- **Análisis estático**

El objetivo principal del análisis resistencia estática de las estructuras es la evaluación de un estado de estrés de una estructura sometida a fuerzas constante en el tiempo (estáticos). Se logra mediante el equilibrio estático y elástico cuando las fuerzas externas y los momentos flectores son iguales a cero.

$$\sum F = 0; \text{ en } X, Y, Z \quad \text{Ec. 1.1}$$

$$\sum M = 0; \text{ en } X, Y, Z \quad \text{Ec. 1.2}$$

- **Análisis dinámico**

Este análisis tiene por propósito comprender el comportamiento de las fuerzas, velocidades, aceleraciones y desplazamientos que están presente en un elemento para poder diseñar de forma adecuada su forma y dimensiones.

- **Dibujo de planos**

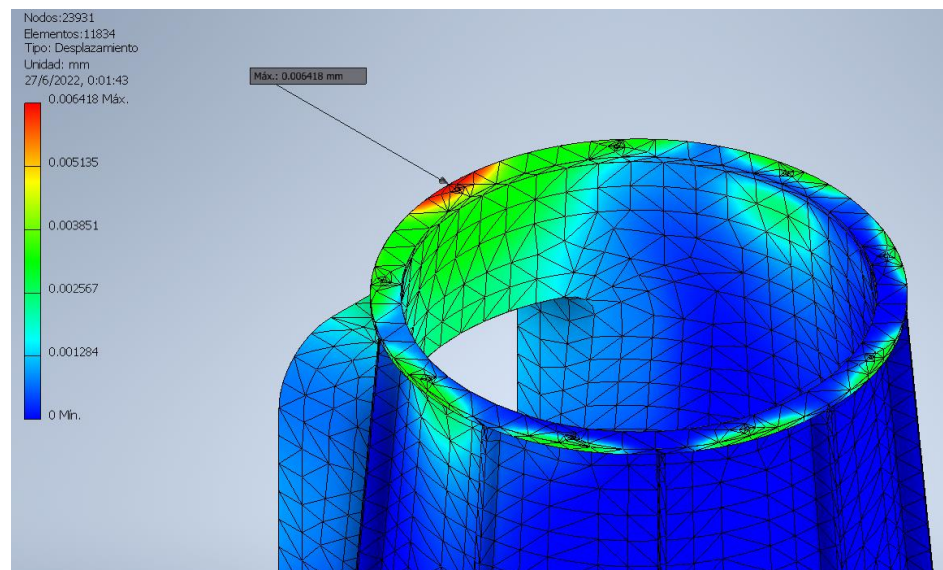
Se lo realiza a partir de los datos y valores obtenidos por los análisis mencionados anteriormente. Se dibujan los planos los elementos y estructuras que proporcionan acorde a los resultados teóricos.

- **Elementos finitos**

El análisis se lo realiza con programas de computación que utilizan el método de las rigideces y elementos finitos que proporcionan los desplazamientos y elementos mecánicos de los miembros de la estructura.

El método de los elementos finitos (MEF) es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy complejas utilizado en diversos problemas de ingeniería física.

El MEF está pensado para ser usado en computadoras y permite resolver ecuaciones diferenciales asociadas a un problema físico o ingenieril sobre geometrías complicadas. El MEF se usa en el diseño y mejora de productos y aplicaciones industriales, así como en la simulación de sistemas físicos complejos.



**Figura 1.8 Ilustración de desplazamiento de un elemento mediante elementos finitos.**

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

De forma general este proyecto se desarrolló teniendo como base los trabajos e investigaciones realizadas previamente en Ecuador y el mundo sobre temas y diseños relacionados a plataformas, bases y estructuras para armamento de alto calibre y su utilización en sistemas autónomos de operación. Estos conceptos en conjunto con el análisis estático serán primordiales para el diseño de la estructura de las lanchas Guardacostas clase Fernandina de la Armada del Ecuador, la cual debe ser capaz de soportar el peso de la ametralladora Browning M2 0.5", dar libertad de giro y poder acoger los sistemas de automatización. Para simplificar la elaboración del proyecto y alcanzar a complementar los conceptos ya mencionados con los requerimientos del cliente se lleva a cabo un proceso de diseño basado en la definición de los requerimientos, funciones y restricciones que den forma a un planteamiento conceptual preliminar que de una posible solución al problema ya definido.

### 2.1 Objetivos de diseño

El establecimiento de los objetivos se simplifica mediante la utilización de un árbol de jerarquía que ayuda a categorizar la importancia y relevancia de estos.

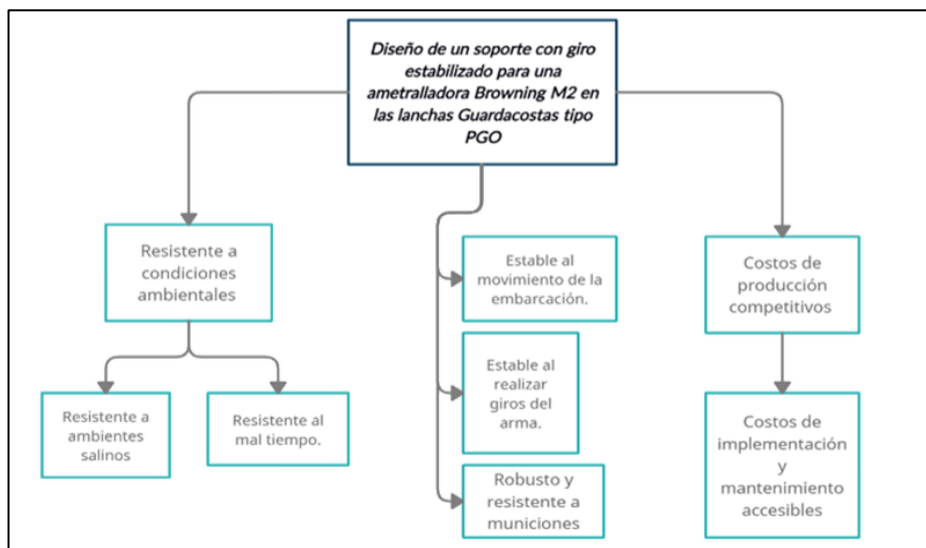


Figura 2.1 Diagrama de flujo para objetivos de diseño.

**Tabla 2.1 Cuadro de comparación por pares para objetivos**

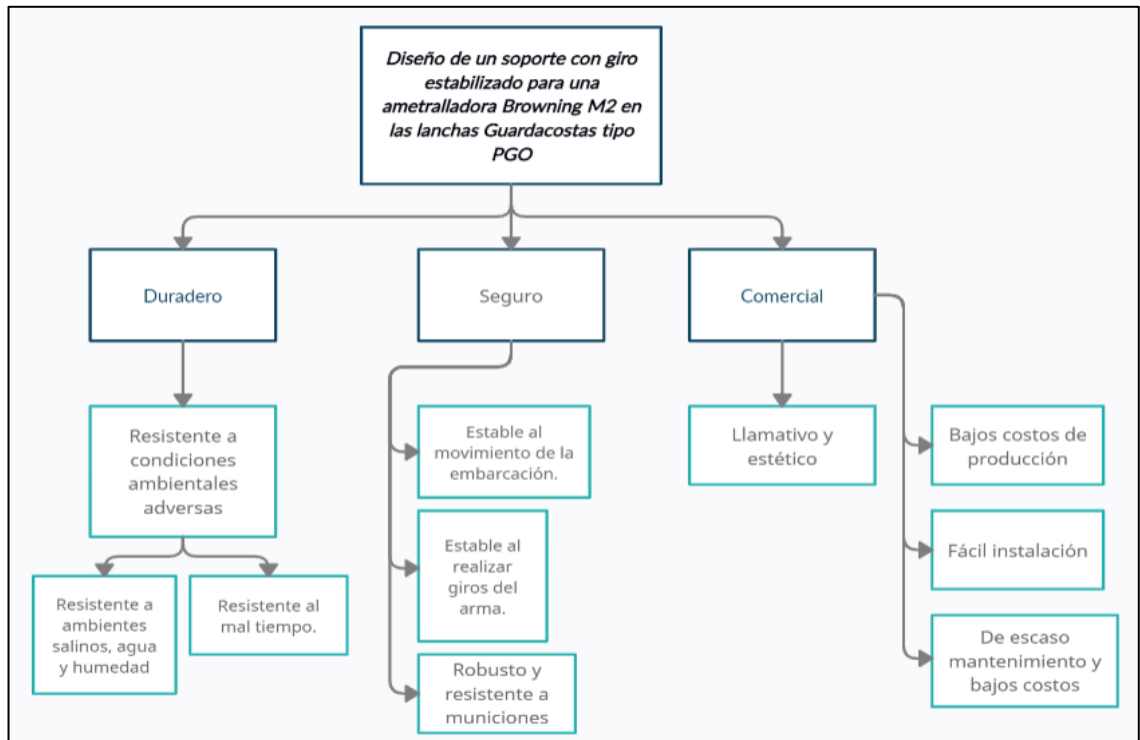
Metas	Resistencia a condiciones ambientales	Estable al movimiento y giro de la embarcación y del arma	Resistente a impactos de munición enemigos	Costo de implementación y mantenimiento accesible	Costos de producción competitivos	Total
Resistencia a condiciones ambientales	1	0	0	1	1	3
Estable al movimiento y giro de la embarcación y del arma	1	1	0	1	1	4
Resistente a impactos de munición enemigos	1	1	1	1	1	5
Costo de implementación y mantenimiento accesible	0	0	0	1	1	2
Costos de producción competitivos	0	0	0	1	0	1

Se considera 5 como el objetivo más importante y 1 como el menos relevante, se establece que el objetivo de mayor importancia es que sea resistente a impactos de munición enemigos.

## 2.2 Restricciones de diseño

Para el establecimiento de las restricciones se realiza un diagrama de flujo que combine los objetivos y las restricciones, para diferenciarlos los objetivos han sido enmarcados en rectángulos con contornos azules mientras que las restricciones se enmarcan en recuadros con contornos celeste.

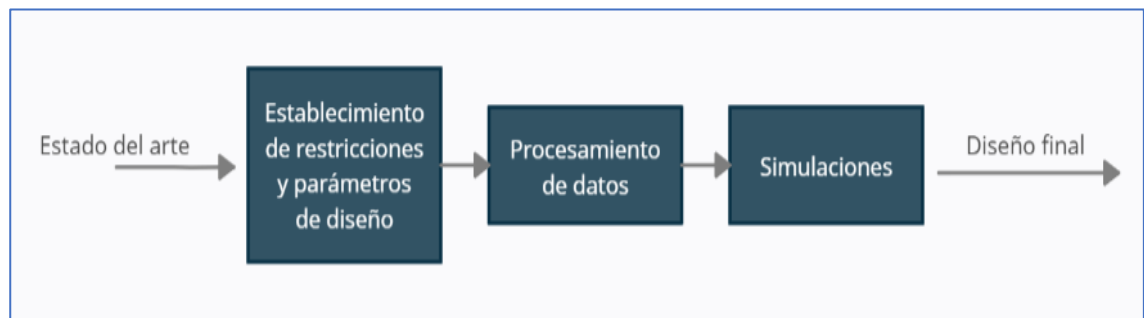




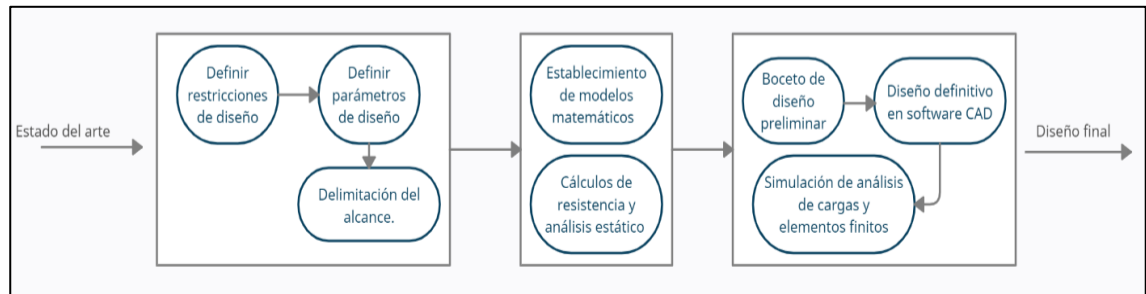
**Figura 2.2 Diagrama de árbol de objetivos y restricciones.**

### 2.3 Funciones (caja negra y transparente)

Para establecer las funciones se utilizan como herramientas la Caja negra y la caja transparente, las cuales hacen referencia a la operación del sistema de forma general en el primer caso y de forma más específica detallada en el segundo.



**Figura 2.3 Diagrama de caja negra de funciones.**



**Figura 2.4 Diagrama de caja transparente de funciones.**

## 2.4 Requerimientos del cliente:

Acorde a lo estipulado por el cliente, se necesita estructura diseñada cumpla con lo siguiente:

- a) Que su implementación y manufactura no sea costosa.
- b) Que la instalación se factible y sencilla acorde a las dimensiones dadas por la embarcación, considerando el tiempo que tomará y el espacio disponible.
- c) Que no sea necesario realizar mantenimientos con demasiada frecuencia y costos.
- d) Que permita el movimiento y giro estabilizado de forma natural (no forzada).

## 2.5 Criterios de selección

La selección de la mejor alternativa fue realizada acorde a las funciones, restricciones y objetivos que se definieron previamente y que se explican a través de los siguientes criterios de selección.

- **Resistencia a condiciones ambientales:** Hace referencia a la resistencia de la estructura y su integridad antes las inminencias del clima y a la exposición a ambientes salinos.
- **Estable al movimiento y giro de la embarcación y del arma:** Se refiere a la estabilidad del arma ante los movimientos que pueden producirse por las olas del mar, mal tiempo y giro o rotación de la embarcación.

- **Resistente a impactos de munición enemigos:** Hace referencia al ámbito de seguridad del operario y de la infraestructura en si misma para tolerar ataques provenientes de enemigos
- **Costo de implementación y mantenimiento accesible:** Se refiere a los costos que implican la instalación y mantenimiento de la estructura diseñada.
- **Costos de producción competitivos:** Hace referencia a los costos de fabricación y manufactura de acuerdo con los materiales utilizados y su calidad y a los procesos utilizados.

## 2.6 Propuestas de alternativas de solución.

Las alternativas de solución se pueden clasificar por partes o etapas de diseño, para este proyecto se cree conveniente que la división debe realizarse conforme a las etapas de selección de material y tipo de arquitectura de diseño.

### 2.6.1 Selección del material

- **Acero inoxidable S304**

El acero inoxidable 304 es el tipo de acero inoxidable más común en el mundo, por su excelente resistencia a la corrosión y a su valor. El 304 puede resistir la corrosión de los ácidos más oxidantes, lo cual lo convierte en fácil de desinfectar y por lo tanto ideal para aplicaciones de cocina y alimentos. No obstante, el acero inoxidable 304 tiene una debilidad y es que es bastante susceptible a la corrosión por soluciones de cloruro, o por ambientes salinos como la costa.

- **Acero inoxidable S316**

El acero inoxidable 316 es de tipo austenítico de cromo-níquel que añade entre 2 y 3% de molibdeno. El molibdeno agranda la resistencia a la corrosión y aumenta la resistencia ante las picaduras en soluciones de iones de cloruro aumentando la resistencia a altas temperaturas; tiene

las mismas aplicaciones que el S304, pero el Molibdeno en su estructura incrementa la resistencia a la corrosión en atmósferas salina.

- **Plancha naval ASTM A131**

Es una plancha de acero estructural naval, fabricada bajo la norma ecuatoriana de fabricación NTE INEN 115 y calidad ASTM A131; es una presentación del Acero Negro que se haya en espesores de 4 mm a 15 mm. Es resistente a la corrosión y útil para aplicaciones como son cascos de barcos y gabarras, construcción de buques y embarcaciones, etc.

**Tabla 2.2 Matriz de decisión para selección del material**

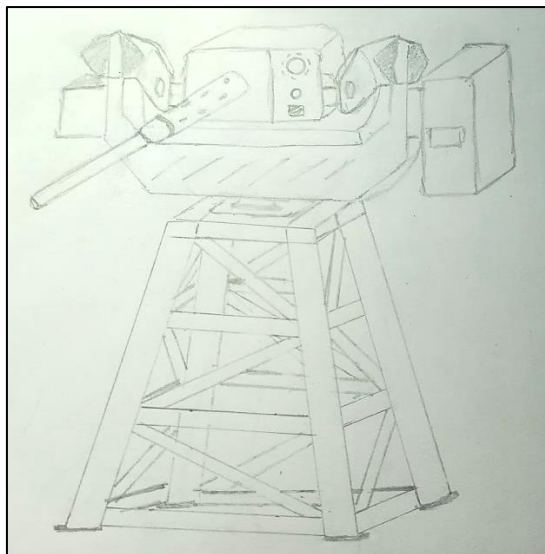
	%	Acero inoxidable S304		Acero inoxidable S316		Plancha Naval ASTM A131	
<b>Resistencia a condiciones ambientales</b>	20	4	0.8	5	1.0	3	0.6
<b>Estable al movimiento y giro de la embarcación y del arma</b>	20	5	1.0	5	1.0	5	1.0
<b>Resistente a impactos de munición enemigos</b>	40	3	1.2	3	1.2	5	2.0
<b>Costo de implementación y mantenimiento accesible</b>	10	3	0.3	3	0.3	5	1.0
<b>Costos de producción competitivos</b>	10	3	0.3	3	0.3	5	1.0
		Total	3.6	Total	3.8	Total	5.6

## 2.6.2 Tipo de arquitectura

- **Estructuras trianguladas**

Se caracteriza por la posición de las barras, que se orientan formando triángulos. Son estructuras resistentes y ligeras a la vez, además son sumamente económicas; mayormente son utilizadas para la construcción de puentes y naves industriales.

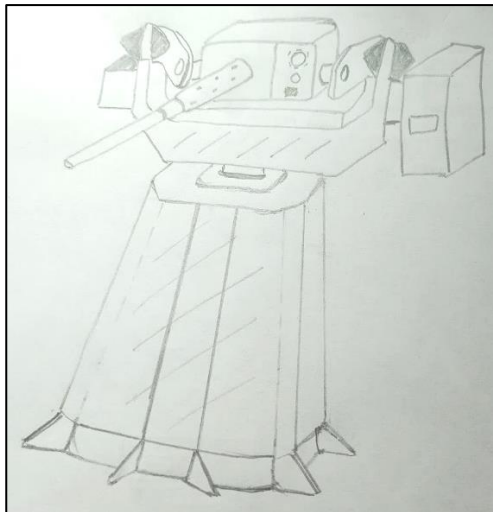
Para esta estructura es necesario colocar 4 bases o parantes con un leve ángulo de inclinación que harán de columnas para soportar la ametralladora y toda la estructura, ligadas a estas 4 columnas se colocan perfiles de forma horizontal que los entrelazan entre sí para luego de forma diagonal colocar nuevos perfiles que creen secciones o formas triangulares. Las uniones entre barras normalmente no son rígidas para evitar rigideces perjudiciales, sin embargo, sin que exista la posibilidad de que las barras se deformen, los triángulos que forman la pieza base de las estructuras son indeformables. Para las columnas puede ser recomendable utilizar perfiles IPE o IPN, mientras que para los perfiles horizontales y diagonales puede ser recomendable el uso de perfiles PTR por economía.



**Figura 2.5 Alternativa #1: Esquema de estructura triangular.**

- **Estructuras laminares**

Este tipo de estructuras están compuestas por láminas de metal unidas entre sí, suelen ser delgadas y curvadas; por ello soportan a la perfección los cortes en su anatomía y tensiones de flexión, aunque suelen dar la sensación de inestabilidad, en realidad son bastantes resistentes. Principalmente se utilizan para la construcción de aviones y automóviles. Este tipo de estructura es la más recomendable para la fabricación de bases militares debido a que protegen por completo la integridad de los equipos y de los operarios al cubrir en su totalidad todo el volumen, se compone principalmente de planchas de acero (para esta aplicación de gran espesor) con parantes o bases de la misma plancha muy cercanos entre sí y en posición perpendicular.

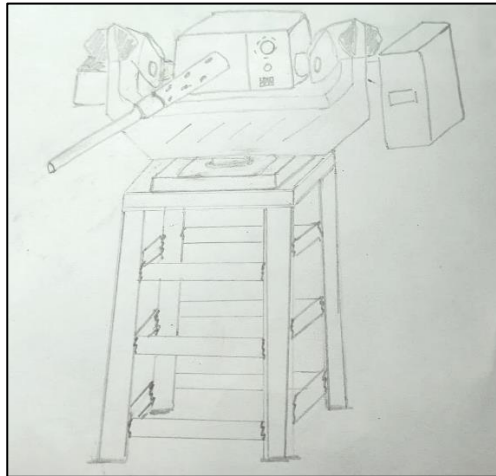


**Figura 2.6 Alternativa #2: Esquema de estructura laminar.**

- **Estructuras entramadas**

Es del tipo de estructuras más comunes, generalmente se utiliza en terreno urbano. Compuesta primordialmente de cimientos, barras, vigas y columnas. Se utiliza en los edificios de mayor altura. Se trata de barras verticales que soportan esfuerzos de compresión unidas por vigas horizontales que otorgan estabilidad y homogeneidad de movimiento;

para este tipo de aplicación no se considera especialmente recomendable debido a la poca seguridad al operario y al sistema que ofrece, además, bajo las condiciones de movimiento de la embarcación puede resultar no muy estable.



**Figura 2.7 Alternativa #3: Esquema de estructura entramada.**

**Tabla 2.3 Matriz de decisión para selección del tipo de estructura**

	%	Estructuras trianguladas		Estructuras laminares		Estructura entramadas	
<b>Resistencia a condiciones ambientales</b>	20	4	0.8	5	1.0	3	0.6
<b>Estable al movimiento y giro de la embarcación y del arma</b>	20	2	0.4	5	1.0	5	1.0
<b>Resistente a impactos de munición enemigos</b>	40	1	0.4	5	2.0	2	0.8
<b>Costo de implementación y mantenimiento accesible</b>	10	5	0.5	3	0.3	4	0.4
<b>Costos de producción competitivos</b>	10	5	0.5	3	0.3	4	0.4
		Total	2.6	Total	4.6	Total	3.2

## **2.7 Descripción de la alternativa ganadora**

La alternativa ganadora se compone por una estructura laminada en plancha naval (Acero ASTM A131), se eligió este tipo de material por ser económico en relación con los aceros inoxidable contrastados, sobre todo, en grandes espesores y presentar buenas propiedades mecánicas con poca influencia de daño dada por el ambiente salino, este tipo de acero es el más utilizado para dar forma a cascos de embarcaciones. Por otra parte, se determinó que el tipo de estructura laminar es la más adecuada porque no solo va a soportar a la perfección las tensiones de flexión y los esfuerzos cortantes que se produzcan, sí no que también este tipo de estructura es la más recomendable para la fabricación de bases militares debido a que protegen por completo la integridad de los equipos y de los operarios al cubrir en su totalidad todo el volumen. La estructura completa se compone de: un soporte principal que acogerá y protegerá en su interior la mayor parte de elementos necesarios para el control remoto, un eje de rotación que en conjunto con un motorreductor se encargará de permitir el movimiento lateral u horizontal del arma y de un sistema diferencial con un segundo motorreductor que será el que permita realizar el movimiento vertical de la Browning 0.5". Adicionalmente, en la parte superior de la estructura se dispondrá de una barrera tipo escudo de seguridad hecho del mismo material resistente, cuya función es respaldar la integridad de la ametralladora y los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que se hallen en el soporte principal.



## 2.8 Diseño de forma

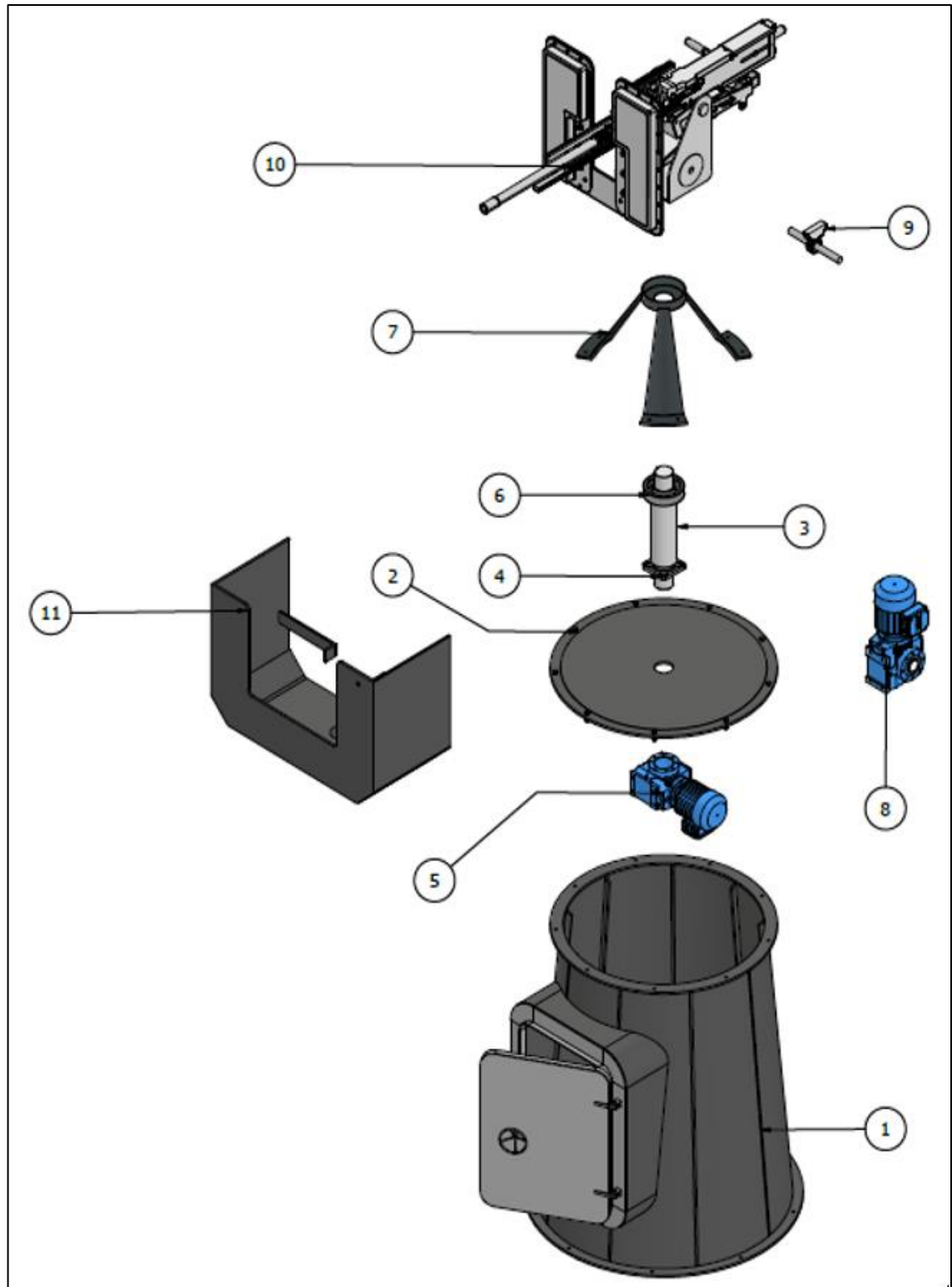


Figura 2.8 Diseño de forma de la estructura detallado.

**Tabla 2.4 Tabla de enumeración de piezas**

<b>Lista de piezas</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Cant.</b>	<b>Nº de pieza</b>	<b>Descripción</b>
1	1	Estructura principal	Estructura de soporte principal sobre para asentar y proteger el arma y los diferentes elementos mecánicos y eléctricos
2	1	Base Superior	Base superior para ametralladora y sistemas de movimiento
3	1	Eje de rotación	Eje de rotación para soporte del arma y movimiento horizontal
4	1	Chumacera y rodamiento de rodillos cilíndricos axial	Chumacera y rodamiento para permitir el movimiento del eje de rotación
5	1	Motorreductor para movimiento vertical	Motorreductor para accionar el movimiento vertical
6	1	Rodamiento de bolas radial	Rodamiento para permitir el movimiento del eje de rotación
7	1	Soporte del eje	Estructura para dar estabilidad de soporte y giro al eje de rotación
8	1	Motorreductor para movimiento horizontal	Motorreductor para accionar el movimiento horizontal
9	1	Engranajes rectos para transmisión de movimiento horizontal	Mecanismo de engranes para transmitir el movimiento vertical del motorreductor
10	1	Ametralladora Browning M2 calibre 0.50	Arma pesada efectiva contra a vehículos, infantería, embarcaciones sin blindaje y aviones a una baja altitud
11	1	Escudo de protección	Barrera de protección para ametralladora y sistemas de movimiento

## 2.9 Diseño detallado

### 2.9.1 Diseño de la estructura base principal del arma (tipo campana)

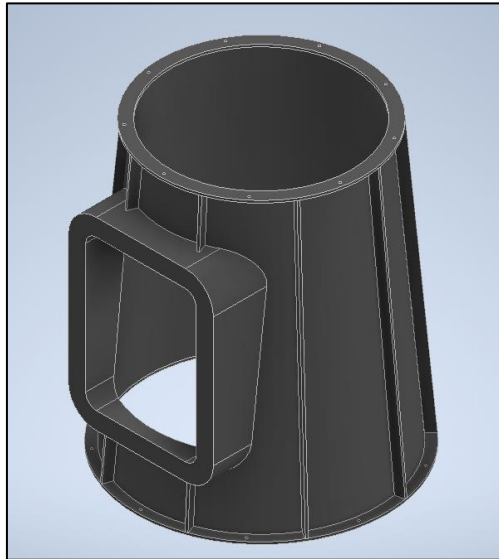


Figura 2.9 Imagen diseño preliminar del Soporte principal.

- **Cargas permanentes:**

Las cargas permanentes están constituidas por el peso de los diversos elementos estructurales y por los pesos de los cuerpos que están permanentemente unidos a la estructura, están formadas por los pesos de las columnas, vigas, techo, muros fijos, instalaciones eléctricas y otros dispositivos diversos.

- **Cargas localizadas:**

Estas cargas pueden variar en magnitud y localización, y son debidas al peso de todos los objetos que pueden estar sobre la estructura debido al uso de esta. Por tanto, son causadas por el peso de los objetos colocados sobre una estructura.

Se debe elegir perfiles y planchas de acero que soporten el peso de las cargas permanentes y localizadas y deben evaluarse como columnas, ya que las planchas son lo suficientemente delgadas respecto a su longitud y están sometidas a compresión para considerarse como tal. (Singer & Pytel, 1994).

Acorde a la definición de carga crítica y formula de Euler, la ecuación para una columna articulada es: (Singer & Pytel, 1994)

$$P_c = \frac{E * I * \pi^2}{L_e^2} \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde:

$P_c$ : Carga crítica de la columna

$E$ : Modulo de elasticidad del material

$I$ : momento de Inercia de la columna

$L_e$ : longitud equivalente en función de los apoyos

**Tabla 2.5 Coeficientes de longitud efectiva para columnas**  
Fuente: (Singer & Pytel, 1994)

<b>TABLA DE COEFICIENTES DE LONGITUD EFECTIVA</b>			
Columna articulada-articulada	Columna empotrada-articulada	Columna empotrada-empotrada	Columna empotrada-libre
$L_e = L$	$L_e = 0.699L$	$L_e = 0.5L$	$L_e = 2L$
$K = 1$	$K = 0.699$	$K = 0.5$	$K = 2$

Para que la fórmula de Euler se pueda aplicar, el esfuerzo en el pandeo no debe exceder el límite de proporcionalidad. (Singer & Pytel, 1994)

$$\frac{P}{A} = \frac{E * \pi^2}{\left(\frac{L}{r}\right)^2} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde:

P/A: Esfuerzo medio en la columna cargada con su carga crítica

A: área de la sección recta

R: radio mínimo de giro

Para que la relación sea aceptable, se debe cumplir con la siguiente igualdad.

$$P_{dis} < P_c \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$P_{dis} = \eta * P \quad \text{Ec. 2.4}$$

Donde:

$P_{dis}$ : Carga de diseño

P: Carga total (permanentes + localizadas)

$\eta$ : Factor de seguridad

En el caso de que no se cumpla con las condiciones de Euler, se realiza el análisis para columnas intermedias del AISC.

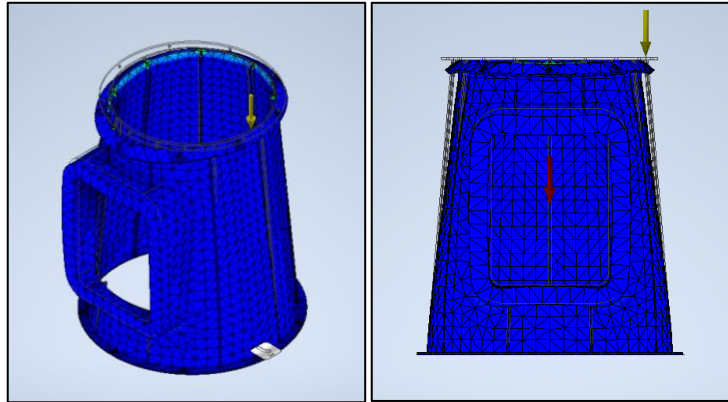
### 2.9.1.1 Validación de la estructura base principal (tipo campana)

Para el diseño y validación de la estructura se utilizó el programa Autodesk Inventor 2022 Versión estudiantil, puesto que representa una metodología simple para un diseño integral, ya que a través de esta herramienta se realizó un diseño preliminar y otro definitivo para la base que soporta la ametralladora Browning 0.5, que también protegerá a los elementos mecánicos y electrónicos que se encuentren expuestos.

Para el análisis de validación se definió el material utilizado en analogía con el ASTM A131, las dimensiones de los perfiles utilizados de 10 mm de espesor, la forma del mallado es triangular con un total de 12587 elementos y 26083 nodos. La cara inferior plana del cono se estableció como el apoyo fijo de la estructura, mientras que para las cargas se establecieron la fuerza gravitacional a la que está expuesta la estructura y la sumatoria de todas las cargas permanentes y localizadas, dando una fuerza total de 5000 N aproximadamente. Los resultados más relevantes que entregó la simulación fueron el esfuerzo de Von Mises, los esfuerzos máximos de flexión y compresión, los factores de seguridad y las deflexiones existentes.



**Figura 2.10** Mallado de estructura principal, definidas los apoyos fijos, la fuerza gravitatoria y las cargas aplicadas.



**Figura 2.11 Deformación de la estructura principal con aumento 1X (ilustrativo) dado por el programa Inventor.**

### 2.9.2 Diseño de eje para rotación de la armadura

Para el diseño del eje de rotación de la armadura si se consideran las cargas dinámicas. Se obtiene el diámetro a partir de la ecuación de Goodman mostrada a continuación. (Norton, 2011)

$$D = \left\{ \frac{32N_f}{\pi} \left[ \frac{\sqrt{(k_f M_a)^2 + \frac{3}{4}(k_{fs} T_a)^2}}{S_f} + \frac{\sqrt{(k_{fm} M_m)^2 + \frac{3}{4}(k_{fsm} T_m)^2}}{S_{ut}} \right] \right\}^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Dónde:

D: Diámetro mínimo del eje

Nf: Factor de seguridad

Ma: Momento de flexión amplitud máxima

Mm: Momento de flexión medio

Sf: Límite de fatiga del eje corregido

Ta: Momento de torsión amplitud máxima

Tm: Momento de torsión medio

Sy: Esfuerzo cortante máximo

El límite de fatiga del eje corregido se ajusta a las condiciones del material usado para el eje utilizando los siguientes factores:

$$S_f = K_a \times K_b \times K_c \times K_d \times K_e \times S_f^* \quad \text{Ec. 2.6}$$

$$S_f^* = 0.5 \times S_y \quad \text{Ec. 2.7}$$

Dónde:

Ka: Factor de superficie (0.8 para ejes mecanizados)

Kb: Factor de tamaño (1 – corregir)

Kc: Factor de confiabilidad (0.897 – 90% de confiabilidad)

Kd: Factor de temperatura (1.0 para -70°F - 400°F)

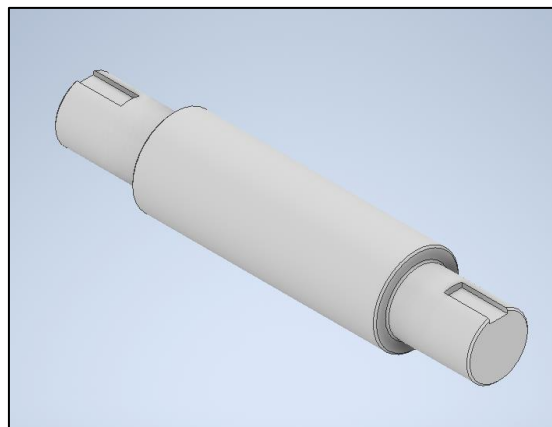
Ke: Factor de ciclo de trabajo (1.0, siempre para esfuerzos combinados)

Además, considerando los factores de concentración de esfuerzos para flexión y torsión se tiene:

Para chaveteros:

$$K_t = K_{ts} = 4$$

$$K_f = 1 + q * (K_t - 1) \quad \text{Ec. 2.8}$$



**Figura 2.12 Esquema de diseño del eje de rotación.**



Es apreciable que el eje no estará directamente sometido a esfuerzos de flexión, pero si a esfuerzos de compresión axiales y torsión dada por el peso y la rotación del armamento. No obstante, en el análisis también se consideró el esfuerzo de flexión que se produce por el movimiento de la nave y por el empuje que se origina al disparar el arma.

Los esfuerzos de flexión alternantes y de flexión medio se obtienen a partir de: (Norton, 2011)

$$\sigma_a = K_f * \frac{M_a * c}{I} \quad \text{Ec. 2.9}$$

$$\sigma_m = K_{fm} * \frac{M_m * c}{I} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Donde:

$K_f \wedge K_{fm}$ : Factores de concentración de esfuerzos de flexión para fatiga

$M_a \wedge M_m$ : Momento alternante y momento medio aplicados

$I$ : Momento de inercia

$c$ : Radio del eje

Los esfuerzos cortantes alternantes y de torsión medio se obtienen a partir de: (Norton, 2011)

$$\tau_a = K_{fs} * \frac{T_a * r}{J} \quad \text{Ec. 2.11}$$

$$\tau_m = K_{fm} * \frac{T_m * r}{J} \quad \text{Ec. 2.12}$$

Donde:

$K_{fs} \wedge K_{fm}$ : Factores de concentración de esfuerzos de torsión para fatiga

$T_a \wedge T_m$ : Torque alternante y Torque medio aplicados

$J$ : Segundo momento de inercia

$r$ : Radio del eje

Para una carga de tensión axial  $P$ , normalmente sólo tiene una componente media (como el peso de los elementos) y se obtiene con: (Norton, 2011)

$$\sigma_{m-axial} = K_{fm} * \frac{P}{A} \quad \text{Ec. 2.13}$$

Donde:

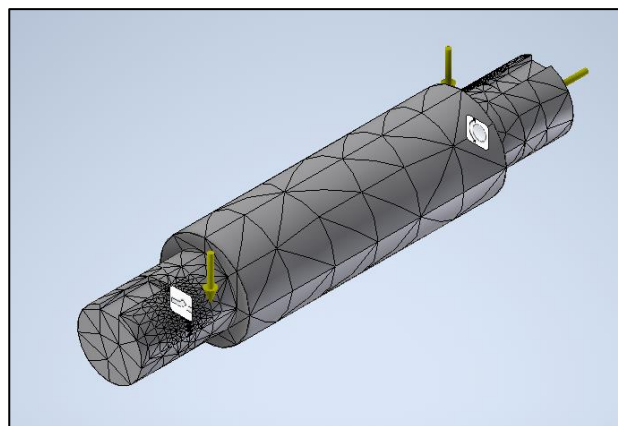
$K_{fm}$ : Factor de concentración de esfuerzo axial de fatiga

$A$ : Área transversal del eje

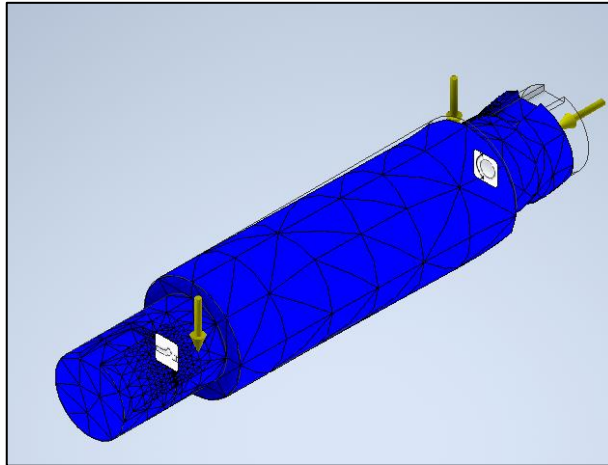
$P$ : Carga dada por el peso de los componentes

### 2.9.2.1 Validación del eje de rotación

Aunque el diseño del eje se efectuó mediante procedimiento manual, igualmente se realizó su validación a través de la herramienta de elementos finitos que ofrece el programa Inventor, se consideran las fuerzas axiales, y los momentos de torsión y flexión producto del movimiento del arma y la embarcación, se utilizaron mallas de forma triangular con un número total de 5555 elementos y 9053 nodos.



**Figura 2.13 Esquema del mallado y fuerzas sobre el eje de rotación.**



**Figura 2.14 Deformación del eje de rotación con aumento 1X (ilustrativo) dado por el programa Inventor.**

### **2.9.3 Diseño de escudo de protección**

La principal tarea del escudo de protección es brindar la ametralladora Browning 0.5" y los componentes de rotación y automatización, esta va anclada al eje de rotación para moverse en conjunto con el arma. El escudo debe asegurar que va a resistir los impactos balísticos y certificar la integridad de los elementos internos.

Para determinar que el escudo resista los impactos balísticos se debe realizar el diseño en son de una estructura de cascaron, pero también se debió calcular la fuerza con que impactan dichas balas, esto se logra a partir de las ecuaciones de energía cinética y energía potencial.

$$E_p = mgh \quad \text{Ec. 2.14}$$

$$E_c = \frac{1}{2} m * v^2 \quad \text{Ec. 2.15}$$

Como un objeto balístico es una masa que se mueve de forma horizontal con una velocidad promedio dependiente del tipo de proyectil y arma que lo dispara y no es un elemento que cae en caída libre, se descarta el

componente de la energía potencial, por ende, la fuerza de impacto estaría dada únicamente por la energía cinemática y la distancia recorrida.

$$F_m = \frac{Ec}{d} \quad \text{Ec. 2.16}$$

Donde:

$F_m$ : fuerza de impacto

$Ec$ : Energía cinética

$m$ : Masa del proyectil

$v$ : Velocidad promedio

$d$ : distancia de impacto

$$\sigma_m = \frac{F_m}{A} \quad \text{Ec. 2.17}$$

Donde:

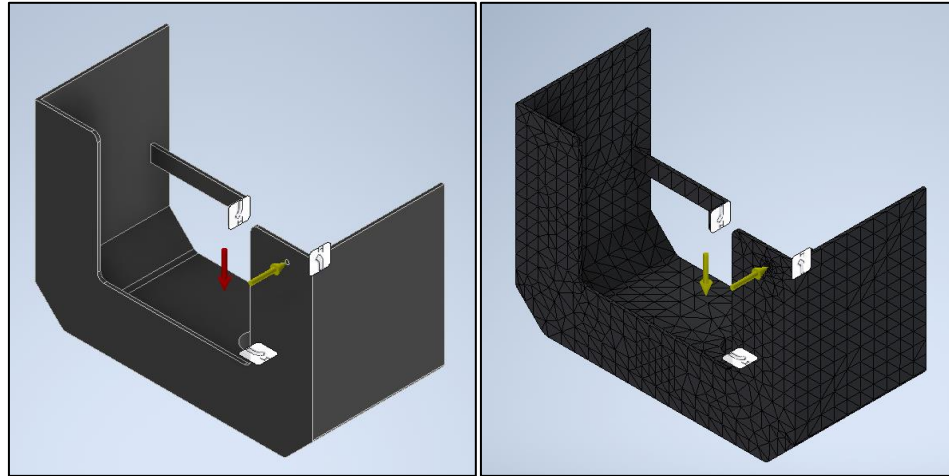
$\sigma_m$ : Esfuerzo generado por la fuerza de impacto

$A$ : Área de impacto del proyectil

Para que el diseño del escudo sea válido se tiene que cumplir que:

$$\sigma_m < Sy \quad \text{Ec. 2.18}$$

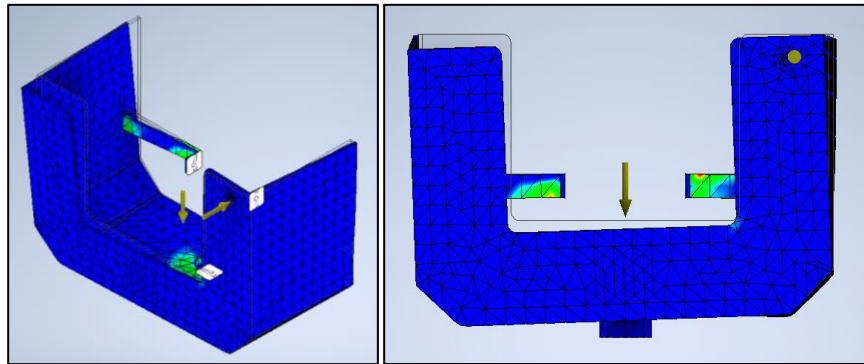
Con la fuerza calculada se puede obtener el esfuerzo que se produce por el impacto, con el cual se podrá determinar si supera o no la resistencia a la fluencia del material con el respectivo factor de seguridad, para el caso especial de este componente se requirió una validación por medio de un análisis de resistencia del programa Inventor.



**Figura 2.15 Esquema de diseño y mallado del escudo de protección.**

### **2.9.3.1 Validación del escudo de protección**

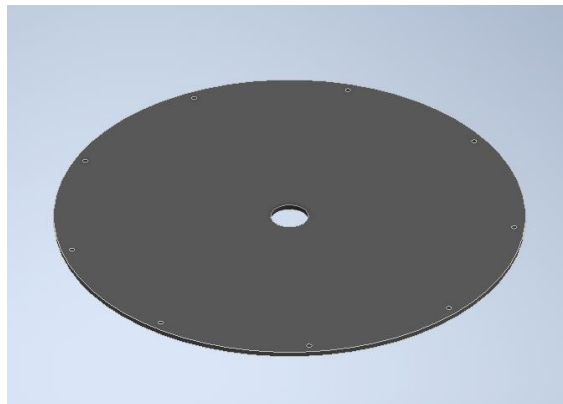
La validación del escudo de protección por elementos finitos del escudo de protección se la realizó en el programa Inventor versión estudiantil, la forma de análisis para esta estructura fue asemejando el impacto de un proyectil 12.7 x 99 mm OTAN que tiene un diámetro de cuello de 14.2 mm en la zona frontal superior derecha del escudo. Se estableció la base que comunica con el eje de rotación como un apoyo fijo para que gire simultáneamente a este. Se determinó que la fuerza de impacto del proyectil es de 124 N aproximadamente (flecha amarilla), la flecha roja indica la fuerza gravitacional. El mallado se realizó en forma triangular y el número total de elementos fue de 4861 con 10104 nodos. En la siguiente figura se ilustra el esquema de mallado junto con las fuerzas y la deformación causada por el impacto.



**Figura 2.16 Deformación del escudo de protección con aumento 1X (ilustrativo) dado por el programa Inventor.**

#### **2.9.4 Diseño de base superior.**

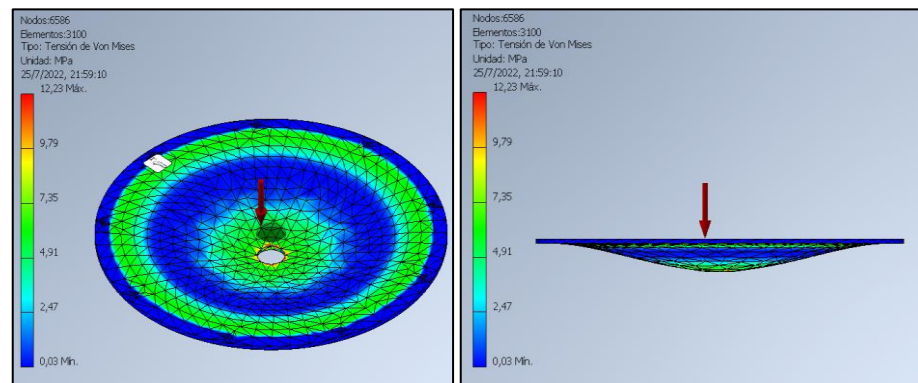
Para el diseño de la tapa de la base superior se va a considerar la estructura como tipo cascaron que es lo adecuadamente fina para no desarrollar momentos apreciables, pero con espesor suficiente para soportar cargas axiales y cortantes con una carga aplicada puntual en el centro (donde va el eje). El diseño de la base se la puede asimilar a una tapa de alcantarilla, la metodología de diseño, análisis y validación para esta pieza se basa netamente en el análisis de elementos finitos mediante el programa Inventor utilizando un análisis estático y por fatiga para el cálculo de esfuerzos y deformaciones.



**Figura 2.17 Esquema de diseño de la base superior.**

### 2.9.4.1 Validación de la base superior

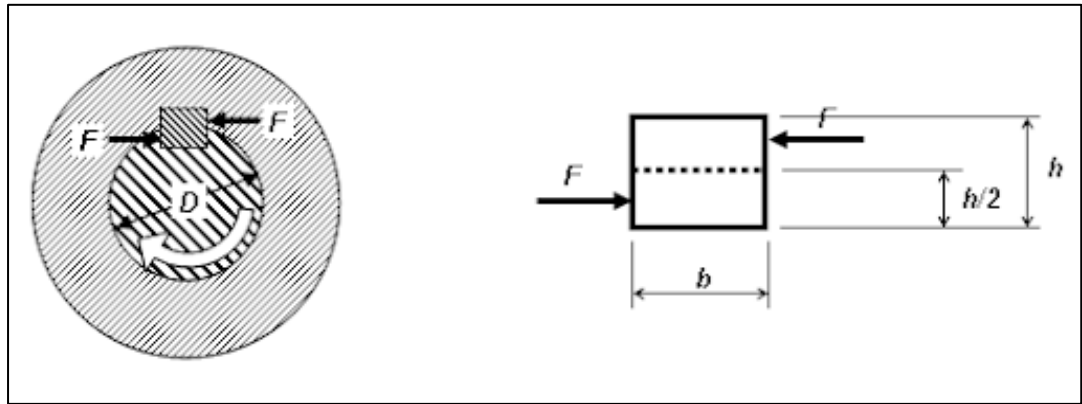
La forma de análisis para esta estructura fue asemejando una carga fija en el centro de la estructura donde va el eje, la cual se distribuye a lo largo de todo el perímetro exterior donde se apoya la base; está sometida prácticamente a las mismas cargas a las que se somete el soporte principal, por lo que la fuerza aproximada es de 5000 N, se utilizó un mallado triangular con un total de 3100 elementos y 6586 nodos.



**Figura 2.18 Deformación de la base superior con aumento 1X (ilustrativo) dado por el programa Inventor.**

### 2.9.5 Diseño de chavetas para “eje de rotación – motorreductor”

Siguiendo la norma alemana DIN 6885 y considerando un material más blando al del eje, es decir el acero SAE 1010, con el fin de que en cualquier circunstancia falle la cuña antes que el eje. La chaveta tiene que ser analizada tanto para esfuerzo cortante como para esfuerzo de aplastamiento, ya que debido a la forma de aplicación de las fuerzas puede fallar de ambas formas.



**Figura 2.19 Diagrama de fuerzas que actúan sobre la chaveta.**  
Fuente: (Pérez González, 2014)

### 2.9.5.1 Análisis para cortante puro:

$$\eta_c = \frac{S_{sy}}{\tau} \quad \text{Ec. 2.19}$$

Donde:

$\eta_c$ : Factor de seguridad para cortante puro

$S_{sy}$ : Resistencia a la fluencia del material de la chaveta

$\tau$ : Momento cortante efectuado sobre la chaveta

$$\tau = \frac{F}{b * L} \quad \text{Ec. 2.20}$$

Donde:

$F$ : Fuerza cortante

$b \wedge L$ : Ancho y largo de la chaveta

Además;



$$F = \frac{T}{r} \quad \text{Ec. 2.21}$$

Donde:

T: Torque efectuado sobre la chaveta

r: radio del eje

### 2.9.5.2 Análisis por aplastamiento:

$$\eta_{ap} = \frac{S_y}{\sigma} \quad \text{Ec. 2.22}$$

Donde:

$\eta_{ap}$ : Factor de seguridad para aplastamiento

$S_y$ : Resistencia a la fluencia del material de la chaveta

$\sigma$ : Esfuerzo de aplastamiento efectuado sobre la chaveta

$$\sigma = \frac{F}{\frac{h}{2} * L} \quad \text{Ec. 2.23}$$

Donde:

F: Fuerza cortante

$h \wedge L$ : Altura y largo de la chaveta

Además;

$$F = \frac{T}{r} \quad \text{Ec. 2.24}$$

Donde:

T: Torque efectuado sobre la chaveta

r: radio del eje

Para que un diseño sea válido se recomienda que el factor de seguridad en ambos casos sea superior a 2.5.

### 2.9.6 Selección de rodamientos para eje de rotación.

Para la selección de rodamientos se tomó en cuenta el procedimiento expuesto en el catálogo de la marca NTN, que muestra y explica los distintos modelos matemáticos para diferentes casos de estudio y expone una gran lista para selección de cojinetes.

#### 2.9.6.1 Modelo matemático

Sobre el eje solo se está aplicando carga radial lo que simplifica el proceso de selección de rodamientos en función de la capacidad básica de carga dinámica. (NTN (New Technology Network), 2004)

$$C_r = \left[ \frac{60 * N * L_{10h}}{10^6} \right]^{\frac{1}{p}} * Pr \quad \text{Ec. 2.25}$$

Donde:

Cr: capacidad básica de carga dinámica

N: Velocidad de giro

L10h: Vida nominal básica en función al tipo de aplicación para los rodamientos

Pr o Pa: Carga radial o axial dinámica equivalente

p: Rodamiento de bolas = 3; rodamiento de rodillos esféricos = 10/3



**Figura 2.20 Esquema de rodamiento y chumacera NTN.**  
Fuente: GrabCAD

### 2.9.7 Selección de Motorreductores.

Para la selección del reductor de velocidad se tienen que definir los siguientes parámetros:

- Velocidad de rotación requerida
- Relación de velocidad de transmisión
- Factor de servicio
- Potencia requerida

$$P = \frac{T * \omega}{n}$$

Ec. 2.26

Donde:

T: Torque ejercido por el arma y sus componentes

$\omega$ : Velocidad de rotación requerida

n: eficiencia de los componentes mecánicos y del motorreductor

### 2.9.8 Diseño de juntas empernadas

El diseño de juntas empernadas es requerido en este proyecto por la conexión que existe entre la estructura principal y la base superior, que deben estar completamente aseguradas entre si para evitar fallas en el diseño.

El análisis para la selección de pernos se debe realizar tanto por cortante y tensión.

- **Análisis de pernos por tensión**

Se obtiene la tensión en cada perno, dividiendo la fuerza total por el número de pernos de la junta.

$$P' = \frac{P}{n} \quad \text{Ec. 2.27}$$

Donde;

$P'$ : Tensión unitaria por perno

$P$ : Fuerza de exposición de la junta

$n$ : Número de pernos

En relación con el grado de material elegido para el diseño (Apéndice A-7) se debe obtener el área mínima de trabajo, para luego con ayuda del Apéndice A-8 obtener el número de perno adecuado.

$$A_t = \frac{P'}{S_p} \quad \text{Ec. 2.28}$$

Donde;

$A_t$ : Área mínima de esfuerzo por tensión

$S_p$ : Resistencia de prueba mínima

- **Análisis de pernos por cortante**

Para el análisis por cortante se predefine el factor de seguridad requerido, y en conjunto con la resistencia a la fluencia del grado de perno seleccionado obtener el esfuerzo cortante.

$$\eta = \frac{S_{sy}}{\tau} \quad \text{Ec. 2.29}$$

Donde;

$\eta$ : Factor de seguridad por cortante

$S_{sy}$ : Resistencia de fluencia del material corregido

$\tau$ : Esfuerzo cortante

A su vez, el esfuerzo cortante se puede expresar en función de la carga crítica sobre el perno y el área de esfuerzo.

$$\tau = \frac{P'}{A} \quad \text{Ec. 2.30}$$

Donde;

$A$ : Área de esfuerzo por cortante

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} \quad \text{Ec. 2.31}$$

### 2.9.9 Diseño de juntas soldadas

El diseño de las juntas soldadas complementa la unión entre las partes de la estructura base principal, es decir entre la base del cono truncado y las columnas de refuerzo, bajo este concepto se define un perfil de filete para la soldadura.

Se considera diseño por cortante puro para la junta soldada.

$$T_{xy} = \frac{P}{A_g} \quad \text{Ec. 2.32}$$

Donde;

$T_{xy}$ : Esfuerzo por cortante puro

$P$ : Carga aplicada

$A_g$ : Área de garganta

Según la norma American Welding Society (AWS) para que una junta soldada sea segura y no falle, el esfuerzo de cortante puro debe ser igual o inferior al 30% del esfuerzo último del material del electrodo.

$$T_{xy} \leq 0.3 * S_{ut} \quad \text{Ec. 2.33}$$

Por último, el área de garganta para el perfil de soldadura de filete se define por la expresión.

$$t = 0.707 * w \quad \text{Ec. 2.34}$$

Donde;

$t$ : espesor de la garganta

$w$ : espesor del cordón

## **2.10 Validación de resultados mediante el uso de Elementos Finitos.**

Tal como se ha ido mostrando a lo largo de este capítulo, la herramienta de elementos finitos ha sido ampliamente utilizada tanto para el diseño como para la validación de los distintos componentes y elementos de la estructura base para ametralladora Browning, algunos elementos como la estructura principal, el escudo de protección y la base superior fueron en mayor parte diseñados y validados mediante el programa Inventor versión estudiantil, pero otros componentes como el eje de rotación han sido validados para corroborar que exista una concordancia con los cálculos obtenidos manualmente, teniendo de esta forma certeza de que los resultados teóricos manuales son correctos. Mediante la herramienta computacional de elementos finitos se ha logrado verificar el buen funcionamiento de los distintos elementos mecánicos, sus esfuerzos y deflexiones máximas y el factor de seguridad de estos. Además, se verificó cómo se comporta la deformación y si está pudiera llegar a afectar al desempeño del sistema.

El capítulo 2 ha descrito la metodología llevada a cabo para el diseño de un soporte con giro estabilizado para una ametralladora Browning M2 en las lanchas Guardacostas tipo PGO. En un inicio se detallaron los criterios de selección para la obtención de la mejor alternativa de diseño, a partir de allí se definieron las bases y pautas para la elaboración preliminar del diseño de la estructura y obtención de los resultados, los cuales fueron posteriormente validados mediante la herramienta computacional de análisis elementos finitos por el programa Inventor 2022 Versión estudiantil, a partir del cual ya se pudo obtener un diseño final.

# CAPÍTULO 3

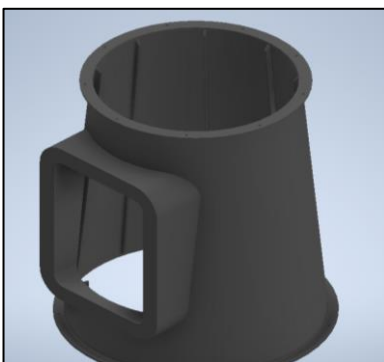
## 3. RESULTADOS

La realización de este capítulo se fundamenta en el desarrollo de la metodología mostrada en el capítulo anterior con la finalidad de obtener los resultados ingenieriles del diseño propuesto, y validarlos mediante cálculos manuales aplicando los modelos matemáticos adecuados o mediante simulación de elementos finitos otorgado por programa Inventor versión estudiantil. Además, se desarrolla un análisis económico con la finalidad de obtener los gastos y costos de manufactura del soporte y compararlos con sistemas ya disponibles para apreciar si es económicamente inferior su costo y por tanto conviene su implementación en contraste con otros sistemas extranjeros.

### 3.1 Resultados de diseño para la estructura base principal (tipo campana)

La estructura principal del soporte para la ametralladora Browning M2 0.5" fue diseñado y validado por el método de análisis finitos al ser una estructura laminar o de tipo cascaron a la cual no se tuvo alcance durante el transcurso de estudio, pero a través de la simulación estática y de fatiga se han podido obtener los esfuerzos producidos en la misma y hallar sus deformaciones. Esta estructura se la ha diseñado con un factor de seguridad bastante amplio al ser la base principal que soportará todas las cargas tanto permanentes como localizadas además de que en caso de enfrentamientos será el escudo protector de los elementos motrices y de control del arma, protegiéndolos además de las condiciones climáticas adversas del litoral ecuatoriano.





**Figura 3.1 Imagen diseño definitivo del Soporte principal.**

La estructura laminar, además fue reforzada mediante columnas por la parte interior para que soporte de mejor manera los esfuerzos axiales producidos por el peso, y los esfuerzos de flexión producto del movimiento de la embarcación y accionamiento del arma, estas columnas se colocan en la parte interior de la estructura para cumplir con varias funciones como por ejemplo servir de soporte a los elementos electrónicos internos, mostrar un diseño estético por la parte exterior y por ultimo para evitar ser tan visible antes radares enemigos de ondas electromagnética.

Para la simulación en Inventor fue necesario en primer lugar definir las cargas a la que estará sometida la estructura, además de también definir las propiedades mecánicas del material previamente definido como es la plancha naval de acero ASTM A131 con una densidad de  $8.238 \text{ g/cm}^3$  y una resistencia a la fluencia de  $24 \text{ kg/mm}^2$ .

- **Cargas permanentes:**

Para este cálculo se considera el peso de la ametralladora Browning M2 que se obtiene del catálogo de esta, el peso del escudo protector que puede obtenerse mediante el diseño en Inventor el peso de los elementos como eje de rotación, base superior, peso de motorreductores y demás elementos motrices fijos al sistema.

$$C_p = 38 \text{ kg} + 236.4 \text{ kg} + 64 \text{ kg} * 2 + 15 \text{ kg} + 48 \text{ kg}$$

$$C_p = 465.4 \text{ kg}$$

- **Cargas localizadas:**

Para este cálculo se considera únicamente el peso de las municiones que llega a ser variable, no obstante, para cuestiones de cálculo se considera el máximo posible

$$C_l = 31.4 \text{ kg}$$

Por tanto, la carga total es.

$$P = (C_p + C_l) * 9.8 \frac{m}{s^2} = 4868.7 \text{ N} \approx 5000 \text{ N}$$

En base a la carga total de diseño se puede realizar el análisis o semejanza mediante la definición de columnas, y acorde a la definición de carga crítica y la ecuación de Euler se tiene:

$$P_c = \frac{E * I * \pi^2}{Le^2}$$

Se obtiene el momento de inercia de la sección rectangular de las columnas internas de la estructura cuyas dimensiones son de 100 \* 10 mm.

$$I = \frac{b * h^3}{12} = \frac{(0.01m)(0.1m)^3}{12} = 8.33 * 10^{-7} \text{ m}^4$$

Además, se obtiene que la longitud equivalente de las columnas es de 2\*L dado que tiene un extremo empotrado (inferior) y el otro considerado como libre (superior). (véase tabla 2.5)

El módulo de Young promedio para el acero seleccionado es 200 GPa, por tanto, reemplazando en la ecuación 2.1 se tiene que la carga crítica es:

$$P_c = \frac{200 * 10^9 \text{ Pa} * 8.33 * 10^{-7} \text{ m}^4 * \pi^2}{[2 * (1.2 \text{ m})]^2} = 285464.6 \frac{\text{Pa}}{\text{m}^2}$$

Esta carga crítica establece el valor máximo de presión que podrían soportar las columnas antes del fallo, mientras el valor de la carga real sea menor a esta y se obtenga un factor de seguridad satisfactorio el diseño se considera adecuado.

Para que pueda aplicarse la ecuación de Euler se debe de cumplir con que la relación de esbeltez  $L/r$  sea igual o mayor que 100, por tanto, para obtener el radio de giro se tiene que:

$$r \leq \frac{L}{100} = \frac{2400 \text{ mm}}{100} = 24 \text{ mm}$$

Por tanto, reemplazando estos valores en la fórmula 2.2 del esfuerzo medio de la columna se tiene que:

$$\frac{P}{A} = \frac{E * \pi^2}{\left(\frac{L}{r}\right)^2} = \frac{200 * 10^9 * \pi^2 * (0.01) * (0.1)}{\left(\frac{2 * (1.2)}{0.024}\right)^2} = 8567.4 \frac{\text{Pa}}{\text{m}^2}$$

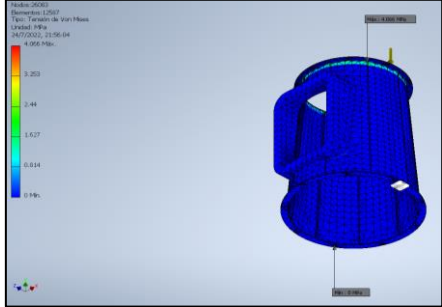
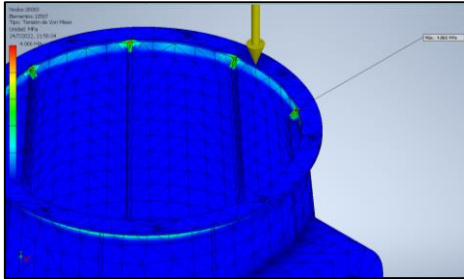
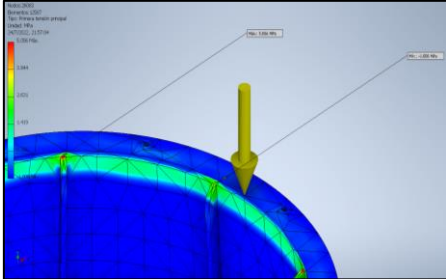
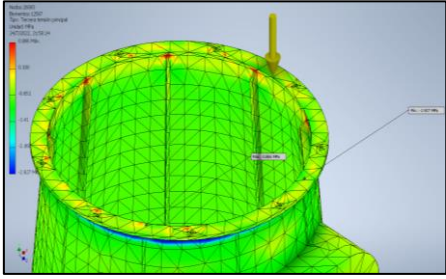
Por lo tanto, se cumple con la desigualdad dada en la expresión 2.3, donde  $P_{dis} < P_c$ , además de se obtiene el factor de seguridad conforme a la ecuación 2.4.

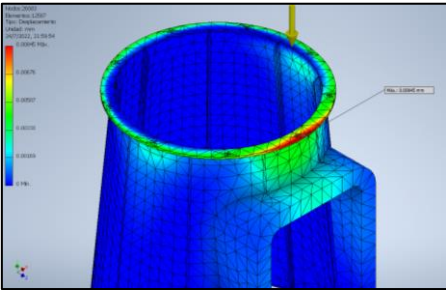
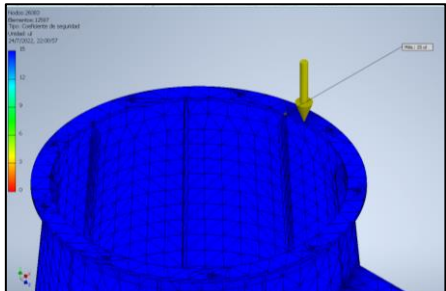
$$\eta = \frac{285464.6}{8567.4} = 33$$

El factor de seguridad es satisfactorio y de hecho bastante abultado, tal como lo demuestra también la simulación de elementos finitos mostrado a continuación, donde el factor resulta en 15 (por límite máximo establecido por el programa).

### 3.1.1 Resultados de diseño y validación de la estructura base principal por elementos finitos

**Tabla 3.1** Imágenes y valores de validación del diseño mediante elementos finitos

<p><i>Esfuerzos máximo y mínimo de Von Mises aplicado sobre la estructura principal</i></p>	
<p><i>Esfuerzo máximo de Von Mises aplicado sobre la estructura base principal</i> <b><u>4.006 MPa</u></b></p>	
<p><i>Valor máximo de esfuerzo de tensión</i> <b><u>Max: 5.056 MPa</u></b> <b><u>Min: -1.006 MPa</u></b></p>	
<p><i>Valor máximo de esfuerzo de compresión</i> <b><u>Max: 0.866 MPa</u></b> <b><u>Min: -2.927 MPa</u></b></p>	

<p>Valor máximo de desplazamiento</p> <p><b><u>0.00845 mm</u></b></p>	
<p>Valor máximo y mínimo de factor de seguridad</p> <p><b><u>FS=15</u></b></p>	

Acorde al análisis mostrado, la estructura es confiable y de hecho sobredimensionada para que cumpla con las tareas ya antes descritas, el esfuerzo máximo y mínimo de tensión y compresión corresponden a 5.056 y -2.927 MPa respectivamente, que están muy por debajo del esfuerzo de fluencia del material seleccionado 24 kg/mm<sup>2</sup> (235 MPa) dando un factor de seguridad superior a 15, de hecho, si se analiza también la teoría del esfuerzo de Von Mises el resultado es similar. Además, mediante el análisis se observa que el desplazamiento es ínfimo, apenas 0.00845 mm, es decir, no afectará en ninguna circunstancia la operación y estabilidad del sistema.

### 3.2 Resultados de diseño para el escudo de protección

Considerando que el peso de un proyectil es de 157 g y la promedio que puede alcanzar es de 887 m/s (U.S. ORDNANCE) (Gary's U.S. Infantry Weapons Reference Guide, 2006), se puede calcular la energía cinética que posee la bala,

mediante la cual se puede aproximar la fuerza de impacto asumiendo una distancia “x” de 500 m considerable para un enfrentamiento armado.

$$E_c = \frac{1}{2} * 0.157 \text{ kg} * \left(887 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 61761.4 \text{ N} * \text{m}$$

$$F_m = \frac{61761.4 \text{ N} * \text{m}}{500 \text{ m}} = 123.5 \text{ N}$$

Teniendo en consideración el diámetro del cuello del proyectil 12.7 x 99 mm OTAN es de 14.2 mm se puede obtener el área donde impacta la bala y el esfuerzo que se crea en dicho instante.

$$\sigma_m = \frac{123.5 \text{ N}}{\frac{\pi}{4} * (0.0142 \text{ m})^2} = 780 * 10^4 \text{ Pa}$$

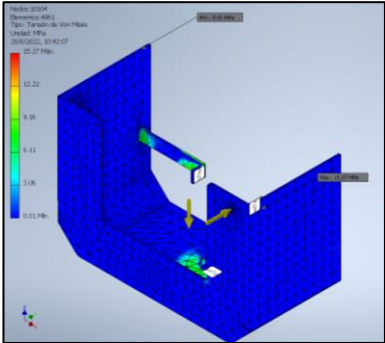
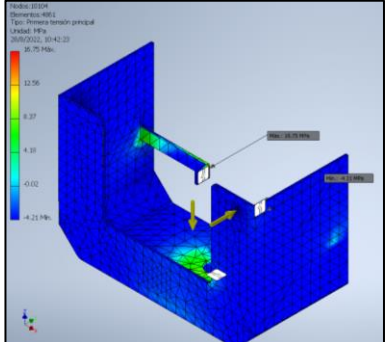
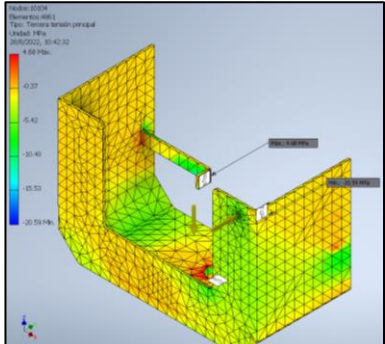
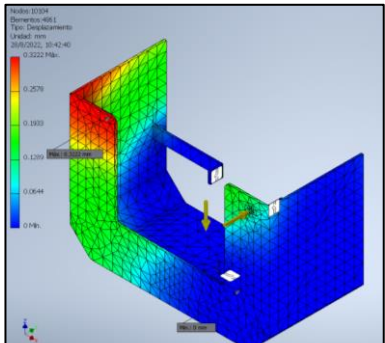
Comparando el valor obtenido con el esfuerzo de fluencia del acero ASTM A131 puede obtenerse el factor de seguridad mínimo de diseño.

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_m} = \frac{235 \text{ MPa}}{780 * 10^4 \text{ Pa}} = 30.12$$

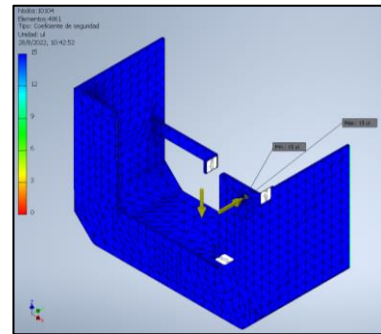
El factor obtenido de forma manual es bastante abultado y con gran margen de seguridad, por lo que se procedió a comprobar el diseño mediante análisis de elementos finitos en Inventor y se analizó si los aspectos considerados en el diseño propuesto son adecuados.

### **3.2.1 Resultados de diseño y validación del escudo de protección por elementos finitos**

**Tabla 3.2 Imágenes y valores de validación del diseño mediante elementos finitos**

<p><i>Esfuerzos máximo y mínimo de Von Mises aplicado sobre el escudo protector</i></p> <p><b><u>Max: 15.27 MPa</u></b></p> <p><b><u>Min: 0 MPa</u></b></p>	
<p><i>Valor máximo de esfuerzo de tensión</i></p> <p><b><u>Max: 16.75 MPa</u></b></p> <p><b><u>Min: -4.21 MPa</u></b></p>	
<p><i>Valor máximo de esfuerzo de compresión</i></p> <p><b><u>Max: 4.68 MPa</u></b></p> <p><b><u>Min: -20.59 MPa</u></b></p>	
<p><i>Valor máximo de desplazamiento</i></p> <p><b><u>0.3222 mm</u></b></p>	

Valor máximo y mínimo de  
factor de seguridad  
**FS=15**



De acuerdo con el análisis, la estructura posee un amplio factor de seguridad, además sufre una deformación bastante pequeña de apenas 0.322 mm, por tanto, el diseño es confiable para que cumpla con las tareas ya antes descritas, los esfuerzos máximo y mínimo de tensión y compresión corresponden a 16.75 y -20.59 MPa respectivamente, que están muy por debajo del esfuerzo de fluencia del material seleccionado (235 MPa). Además, la teoría del esfuerzo de Von Mises arroja similar con un factor sobredimensionado de 15. Es de recalcar, que acorde al análisis se apreció que el mayor esfuerzo no se produce en el lugar del impacto sino en la zona de apoyo, por tanto, para mejorar el diseño y aumentar aún más la confiabilidad lo recomendable es tener más puntos de apoyos.

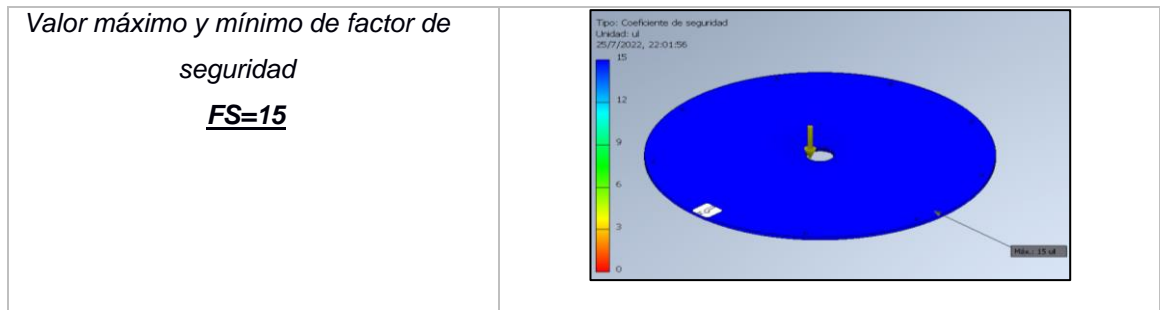
### 3.3 Resultados de diseño y validación por elementos finitos para la base superior

Para el análisis de la base superior se realiza una analogía con una tapa de tipo alcantarillado, que debe soportar esfuerzos estáticos como de fatiga. La base superior está sometida básicamente a las mismas cargas a las que se somete el soporte principal, sobre esta actúa una fuerza central dada por el eje de rotación y los componentes sobre este, dicha carga se reparte sobre los distintos apoyos a lo largo de su circunferencia sobre la base principal.



**Tabla 3.3 Imágenes y valores de validación del diseño mediante elementos finitos**

<p><i>Esfuerzos máximo y mínimo de Von Mises aplicado sobre la estructura principal</i></p> <p><b><u>Max: 12.23 MPa</u></b></p> <p><b><u>Min: 0.03 MPa</u></b></p>	<p>Tipo: Tensión de Von Mises Unidad: MPa 25/7/2022, 22:00:04 12.23 Max. 0.03 Min.</p>
<p><i>Valor máximo de esfuerzo de tensión</i></p> <p><b><u>Max: 13.61 MPa</u></b></p> <p><b><u>Min: -4.43 MPa</u></b></p>	<p>Tipo: Primera tensión principal Unidad: MPa 25/7/2022, 22:01:08 13.61 Max. -4.43 Min.</p>
<p><i>Valor máximo de esfuerzo de compresión</i></p> <p><b><u>Max: 2.82 MPa</u></b></p> <p><b><u>Min: -12.49 MPa</u></b></p>	<p>Tipo: Tercera tensión principal Unidad: MPa 25/7/2022, 22:01:18 2.82 Max. -12.49 Min.</p>
<p><i>Valor máximo de desplazamiento</i></p> <p><b><u>0.2108 mm</u></b></p>	<p>Tipo: Desplazamiento Unidad: mm 25/7/2022, 22:01:30 0.2108 Max. 0 Min.</p>



Por el análisis efectuado se observa que la estructura posee un amplio factor de seguridad, además sufre una deformación mínima, apenas 0.2108 mm por tanto es válida para la aplicación requerida, los esfuerzos máximo y mínimo de tensión y compresión corresponden a 13.61 y -12.49 MPa respectivamente y están muy por debajo del esfuerzo de fluencia del material seleccionado (235 MPa), además la teoría del esfuerzo de Von Mises ratifica este valor y el amplio factor de seguridad de 15.

### 3.4 Resultados de diseño del eje de rotación.

El diseño del eje de rotación se lleva a cabo mediante análisis dinámico, con la finalidad de obtener el diámetro adecuado en el punto crítico en función de las cargas y fuerzas que actúan sobre el mismo, para el diseño de este se utiliza el acero SAE 1020 rolado en caliente con un factor de seguridad de 3.5. Recordar, que este eje está sometido principalmente a torsión y una fuerza axial que con el movimiento angular del mismo incita a un esfuerzo de flexión. Para simplificar el análisis, se realizó el DCL del eje de forma horizontal respetando las magnitudes y direcciones de las fuerzas actuantes.

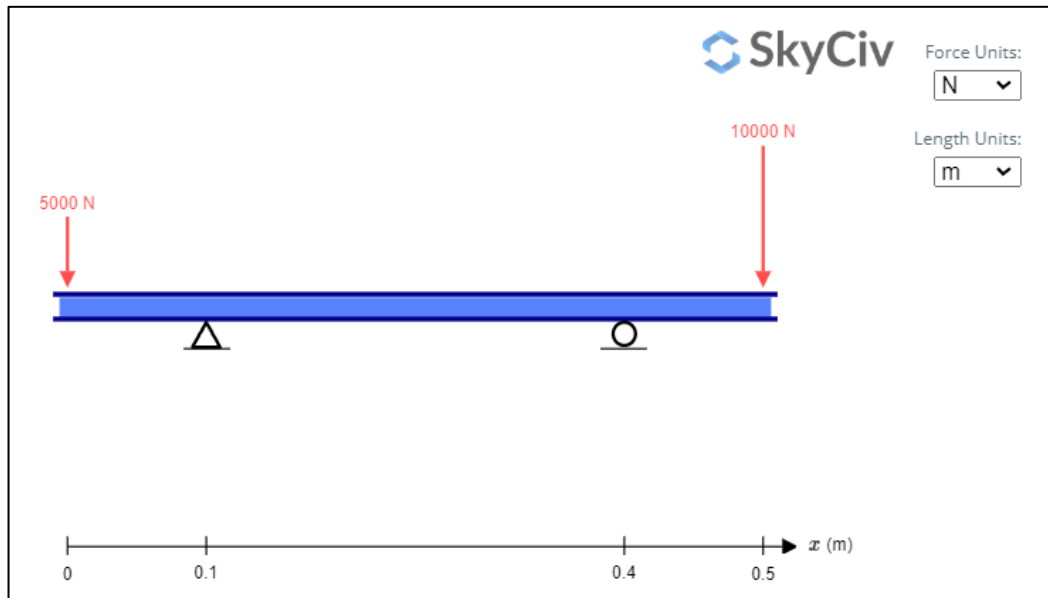


Figura 3.2 Diagrama de cuerpo libre para el eje de rotación

- **Cálculo de potencia:**

$$W = T * \omega$$

Donde;

$$T = F * r$$

Para el radio se asume un diámetro de disco del motorreductor de 200 mm, por tanto.

$$T = 5000 \text{ N} * 0.1 \text{ m} = 500 \text{ Nm}$$

$$W = 500 \text{ Nm} * 30 \text{ rpm} * \frac{2\pi}{60} = 1570.8 \text{ W} \approx 1.6 \text{ kW}$$

Dado que el torque es constante desde el punto A al punto D se tiene que la fuerza que se ejerce sobre el punto D en donde se ubica el armamento es de:

$$F_D = \frac{T}{r_D}; \text{ donde se asume un } r_D \text{ de } 0.05 \text{ m}$$

$$F_D = \frac{500 \text{ Nm}}{0.05 \text{ m}} = 10000 \text{ N}$$

- **Reacciones:**

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{By} = F = 5000 \text{ N}$$

$$+\circlearrowleft \sum M_B = 0$$

$$R_{Cx} * (0.3) + F * (0.1) - F_D * (0.4) = 0$$

$$R_{Cx} = \frac{(10000 \text{ N}) * (0.4) - (5000 \text{ N}) * (0.1)}{0.3}$$

$$R_{Cx} = 3500 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{Bx} = F + F_D - R_{Cx}$$

$$R_{Bx} = 10000 \text{ N} + 5000 \text{ N} - 3500 \text{ N}$$

$$R_{Bx} = 11500 \text{ N}$$

- Diagramas de fuerza cortante y momento flector.

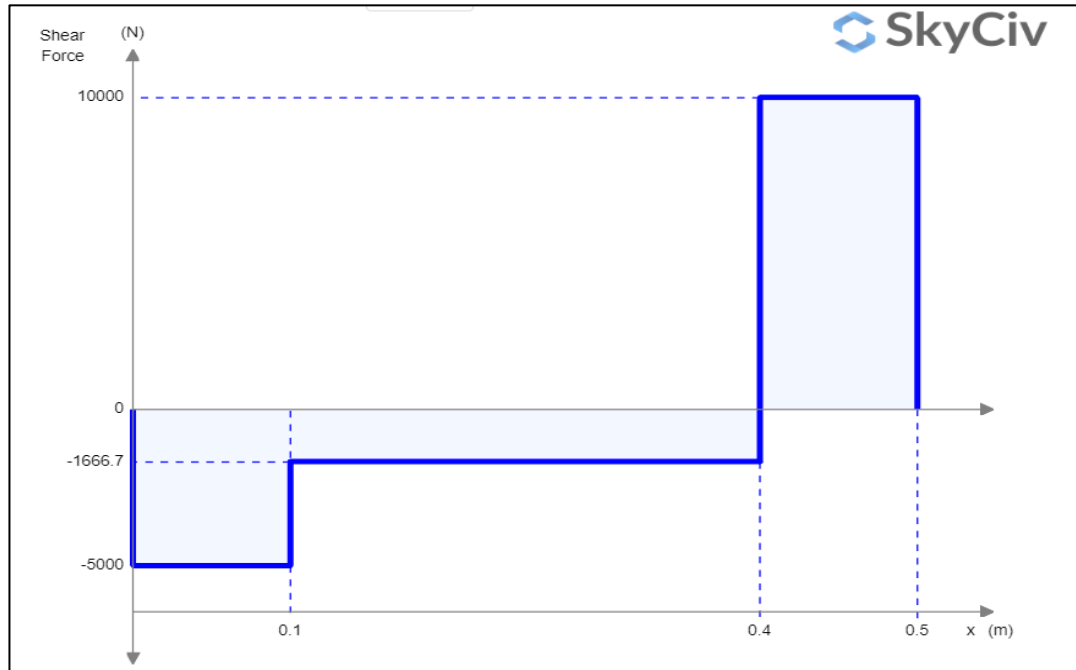


Figura 3.3 Diagrama de fuerza cortante del eje de rotación

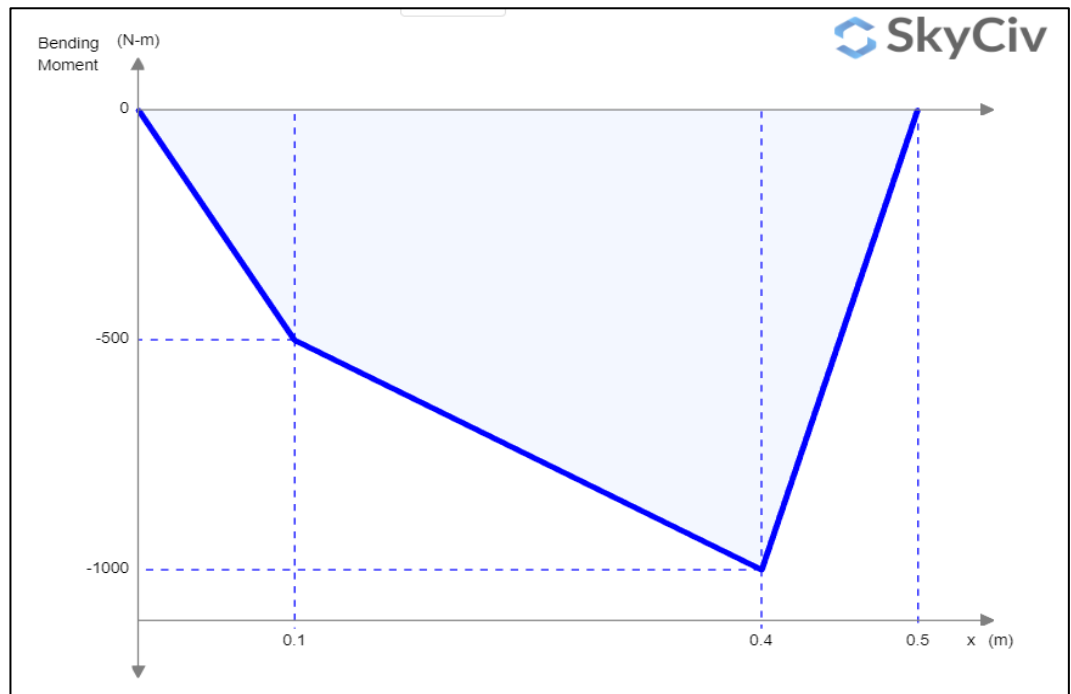


Figura 3.4 Diagrama de Momento Flector del eje de rotación

Mediante el diagrama de momento flector se determina que el punto crítico es el punto "C" es decir donde se aloja el segundo rodamiento muy cerca de donde se aloja toda la carga de la ametralladora Browning y su escudo de protección, es decir, en este punto se compaginan en mayoría el momento torsor que es constante en todo el eje y el momento de flexión producto de la fuerza axial y movimiento de armadura.

$$M = 1000 Nm$$

$$T = 500 Nm$$

Para el diseño del eje se utiliza la ecuación 2.5 de Goodman, pero para hacer uso de esta primero se debe obtener el límite de fatiga de esfuerzo corregido (ecuación 2.6) mediante los distintos factores de carga, temperatura, superficie, tamaño y confiabilidad. Además, de los factores de corrección correspondiente a los elementos de transmisión de potencia que para este caso será mediante chavetas.

Para aceros:

$$S_f^* = 0.5 * S_{ut}$$

$$S_f^* = 0.5 * 379 * 10^6 Pa$$

$$S_f^* = 189.5 * 10^6 Pa$$

Donde:

$K_a = 0.7$  Factor de carga, predominante esfuerzo axial

$K_b = 1$  Factor de tamaño, se asume 1, pero se debe corregir en base al primer diámetro obtenido

$K_c = 0.8$  Factor de superficie, se estima un eje maquinado

$K_d = 1$  Factor de temperatura, 1 para operación en temperatura ambiente.

$K_e = 0.814$  Factor de confiabilidad para el 99%

Por tanto:

$$S_f = 0.7 * 1 * 0.8 * 1 * 0.814 * 189.5 * 10^6 Pa$$

$$S_f = 86.2 * 10^6 Pa$$

Para los factores de corrección de los elementos de transmisión de potencia se tiene que, considerando el esfuerzo ultimo de 379 MPa y un radio de muesca de 0.01 m se tiene que:

Para flexión:

$$K_t = 4 \wedge q = 0.5$$

$$K_f = 1 + q * (K_t - 1) = 1 + 0.5 * (4 - 1) = 2.5$$

Para torsión:

$$K_{ts} = 4 \wedge q = 0.56$$

$$K_{fs} = 1 + q_s * (K_{ts} - 1) = 1 + 0.56 * (4 - 1) = 2.68$$

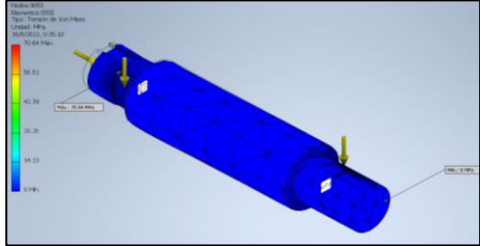
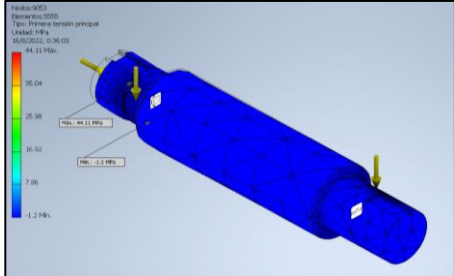
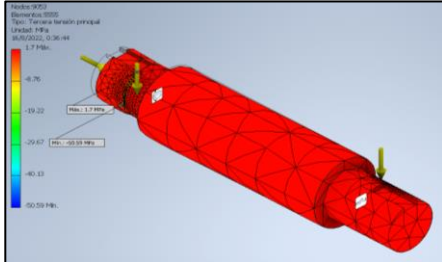
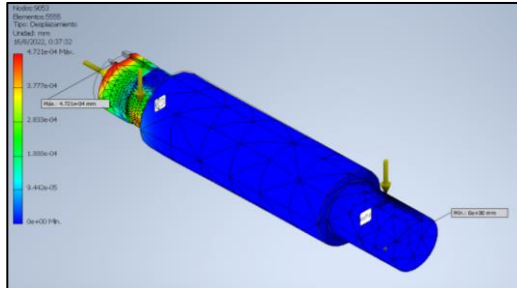
Reemplazando estos valores en la ecuación de Goodman y teniendo presente que el esfuerzo es de tipo alternante, por tanto, el Torque máximo y el Momento medio son nulos. Reemplazando.

$$d = \left\{ \frac{32 * 3.5}{\pi} \left[ \frac{\sqrt{(2.5 * 1000 Nm)^2}}{86.2 * 10^6 Pa} + \frac{\sqrt{\frac{3}{4} (2.68 * 500 Nm)^2}}{379 * 10^6 Pa} \right] \right\}^{\frac{1}{3}}$$

$$d = 0.1045 m = 105 mm$$

### 3.4.1 Resultados de validación para el eje de rotación por elementos finitos

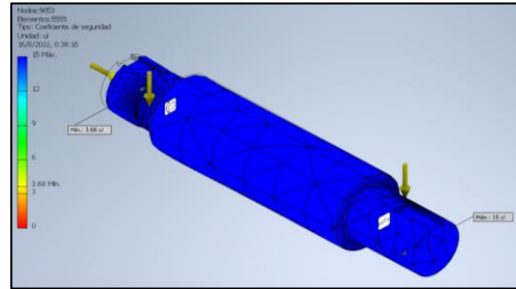
Tabla 3.4 Imágenes y valores de validación del diseño mediante elementos finitos

<p>Esfuerzos máximo y mínimo de Von Mises aplicado sobre el eje</p> <p><b><u>70.64 MPa</u></b></p>	
<p>Valor máximo de esfuerzo de tensión</p> <p><b>Max: 44.11 MPa</b></p> <p><b>Min: -1.20 MPa</b></p>	
<p>Valor máximo de esfuerzo de compresión</p> <p><b>Max: 1.70 MPa</b></p> <p><b>Min: -50.59 MPa</b></p>	
<p>Valor máximo de desplazamiento</p> <p><b>(0.000472 mm)</b></p>	



Valor máximo y mínimo de  
factor de seguridad

**FS=3.68**



De acuerdo con los resultados arrojados por el análisis de elementos finitos mostrado, el diseño de eje cumple satisfactoriamente con los requerimientos propuestos y soportará sin problema las fuerzas a las que estará sometido. Los esfuerzos máximos de tensión y de compresión arrojados son de 44.11 y -50.59 MPa, estos valores son inferiores a la resistencia de fluencia del material del eje 207 MPa dando un factor de seguridad superior de 3.68, bastante similar al propuesto de 3.5. Además, si se analiza también la teoría del esfuerzo de Von Mises se tiene una respuesta similar pues el esfuerzo máximo es de 70.64 MPa, inferior a la ya mencionada resistencia del acero 1020. Por último, el análisis muestra que la deformación crítica del eje es prácticamente insignificante, apenas 0.000472 mm, es decir, no afectará en ninguna circunstancia la operación y estabilidad del sistema.

### 3.5 Diseño de chavetas para eje de rotación – motorreductor

Como ya se mencionó en la metodología el diseño se le realiza a partir de la norma DIN 6885 para chavetas en acero, para este caso se un material con menor resistencia mecánica al eje, es decir el acero SAE 1010.

El diagrama de fuerzas de la chaveta figura 2.19 indica que el eje y collarín someten a la chaveta a doble cortante. Sin embargo, también hay que realizar el respectivo análisis por aplastamiento ya que también podría deformarse.

- **Análisis para cortante puro:**

Acero SAE 1010:

Esfuerzo de fluencia:  $S_y = 179 \text{ MPa}$

Esfuerzo último:  $S_{ut} = 324 \text{ MPa}$

$$\eta_c = \frac{S_{sy}}{\tau}$$

Resistencia a la fluencia del material corregido

$$S_{sy} = 0.5 * S_y = 0.5 * 179 \text{ MPa} = 89.5 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante es:

$$\tau = \frac{F}{b * L}$$

Donde:

La fuerza se obtiene por el torque producido en el eje y el radio de este, es decir.

$$F = \frac{T}{r} = \frac{500 \text{ Nm}}{0.0375 \text{ m}} = 13333 \approx 13400 \text{ N}$$

Las dimensiones del área transversal de la chaveta se obtienen de tabla acorde a la norma ya mencionada en función del diámetro del eje. Para un diámetro de 75 mm donde asientan los rodamientos (el diámetro crítico es 105 mm) se tiene que las dimensiones b x h son 22 x 14 mm respectivamente, además se recomienda que la longitud sea al menos de 1.5 veces el radio. Por tanto, realizando el reemplazo del esfuerzo cortante en la ecuación del factor de seguridad se tiene.

$$\eta_c = \frac{S_{sy}}{\tau} = \frac{S_{sy}}{\frac{F}{b * L}} = \frac{89.5 * 10^6 \text{ Pa} * 0.022 \text{ m} * 0.05625 \text{ m}}{13400 \text{ N}} = 8.26$$

$8.26 > 1 \therefore$  No falla la chaveta por cortante

- **Análisis por aplastamiento:**

$$\eta_{ap} = \frac{S_y}{\sigma}$$

El esfuerzo por cortante es:

$$\sigma = \frac{F}{\frac{h}{2} * L}$$

Donde, la fuerza y las dimensiones ya son conocidas, por tanto, se reemplaza esta ecuación en la del factor de seguridad del esfuerzo por aplastamiento.

$$\eta_{ap} = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{S_y}{\frac{F}{\frac{h}{2} * L}} = \frac{179 * 10^6 \text{ Pa} * \frac{0.014 \text{ m}}{2} * 0.05625 \text{ m}}{13400 \text{ N}} = 5.26$$

$5.26 > 1 \therefore$  *No falla la chaveta por aplastamiento*

Como se mencionó en la metodología del capítulo anterior, la chaveta cumple con los requerimientos de fuerza establecidos, cumple con ser de un material de menor resistencia que el eje, para que en cualquier caso falle primero la chaveta y posee factores de seguridad tanto por cortante como por aplastamiento superior a 2.5, por lo que el diseño se considera correcto.

### 3.6 Selección de rodamientos para eje de rotación

Para la selección de rodamientos se utiliza el procedimiento expuesto por el catálogo de NTN, hay que considerar que los rodamientos no son de la misma naturaleza de acción, puesto que el rodamiento inferior debe de ser de tipo axial, ya que soportará el peso de los componentes, mientras que el rodamiento superior tendría mayormente fuerzas radiales actuando sobre él, ya que sería un estabilizador para el eje.

- **Rodamiento inferior**

Para el tipo de aplicación y vida requerida se tomó como referencia que el diseño del soporte tiene una clasificación de una máquina que no se usa constantemente, pero se utiliza por largos periodos (Apéndice A-4) por tanto, se tomó una vida útil requerida de  $4 \sim 12 \times 10^3$  h, cuyo promedio se establece en  $8 \times 10^3$  h.

Se debe tener claro que los rodamientos normales axiales a un ángulo de  $90^\circ$  no soportan nada de carga radial. No obstante, los rodamientos axiales de rodillos esféricos si permiten algo de carga radial. Por tanto, se tiene que la carga axial dinámica equivalente es: (NTN (New Technology Network), 2004)

$$P_a = F_a + 1.2F_r$$

Donde;

$P_a$ : Carga axial dinámica equivalente

$F_a$ : Carga axial aplicada

$F_r$ : Carga radial aplicada

Para que un rodamiento se considere axial debe cumplir con la relación de:

$$\frac{F_r}{F_a} \leq 0.55$$

$$\frac{3500}{10000} = 0.35 \leq 0.55$$

Por tanto;

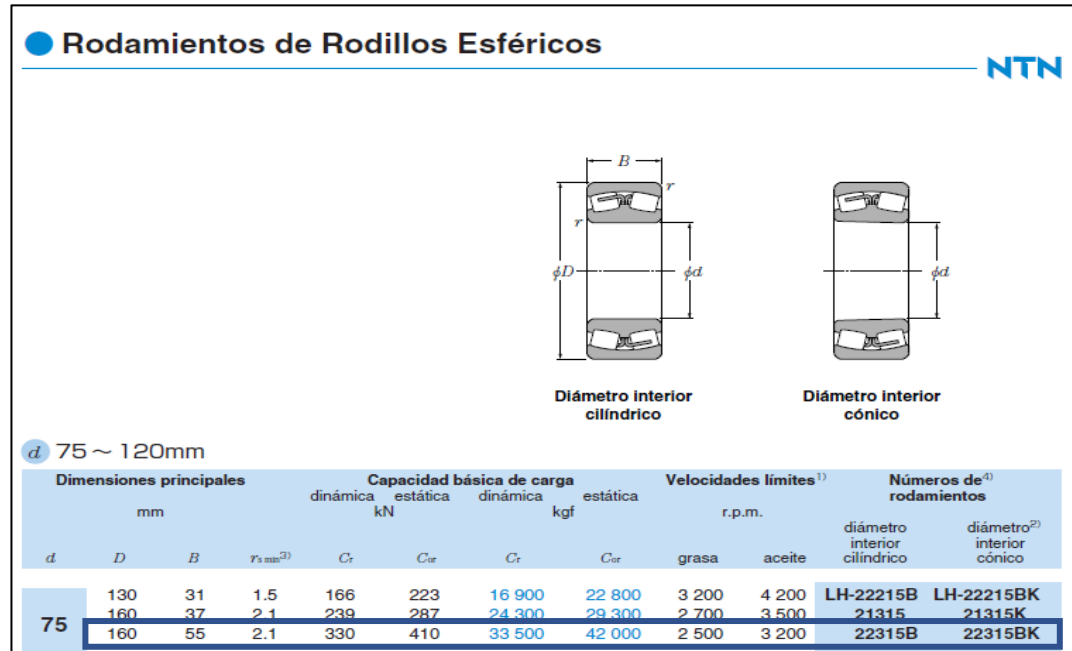
$$P_a = F_a + 1.2F_r = 10000 + 1.2 * 3500 = 14200 \text{ N}$$

De la ecuación 2.25 mencionada en el capítulo anterior se pudo obtener la capacidad básica de carga dinámica axial, teniendo en consideración que  $p$  es  $10/3$  para rodamiento de rodillos.

$$C_a = \left[ \frac{60 * N * L_{10h}}{10^6} \right]^{\frac{1}{p}} * P_a$$

$$C_a = \left[ \frac{60 * 30 * 8 * 10^6}{10^6} \right]^{\frac{3}{10}} * 14200 = 251071 \text{ N} = 251 \text{ kN}$$

Para un diámetro de 75 mm y una capacidad básica de carga dinámica axial de 251 kN se selecciona el rodamiento con el código 22315B tal como se muestra en la siguiente tabla.



**Figura 3.5 Selección de rodamiento de rodillo esféricos inferior**  
Fuente: (NTN (New Technology Network), 2004)

Las principales características del rodamiento seleccionado “22315B” son:

- Capacidad básica de carga dinámica = 330 kN
  - Diámetro interior = 75 mm
  - Diámetro exterior = 160 mm
  - Ancho = 55 mm
  - RPM máximas = 2500 rpm con lubricación de grasa; 3200 rpm con lubricación de aceite
- **Rodamiento superior**

Para este rodamiento se tiene únicamente cargas radiales, ya que este no soportará el peso del eje y de la ametralladora, hará de estabilizador para que el eje se mantenga a 90°, tiene la misma clasificación que el rodamiento

inferior y por tanto se asigna la misma vida útil requerida de  $8 \times 10^3$  h. Para este rodamiento se selecciona uno rígido de bolas

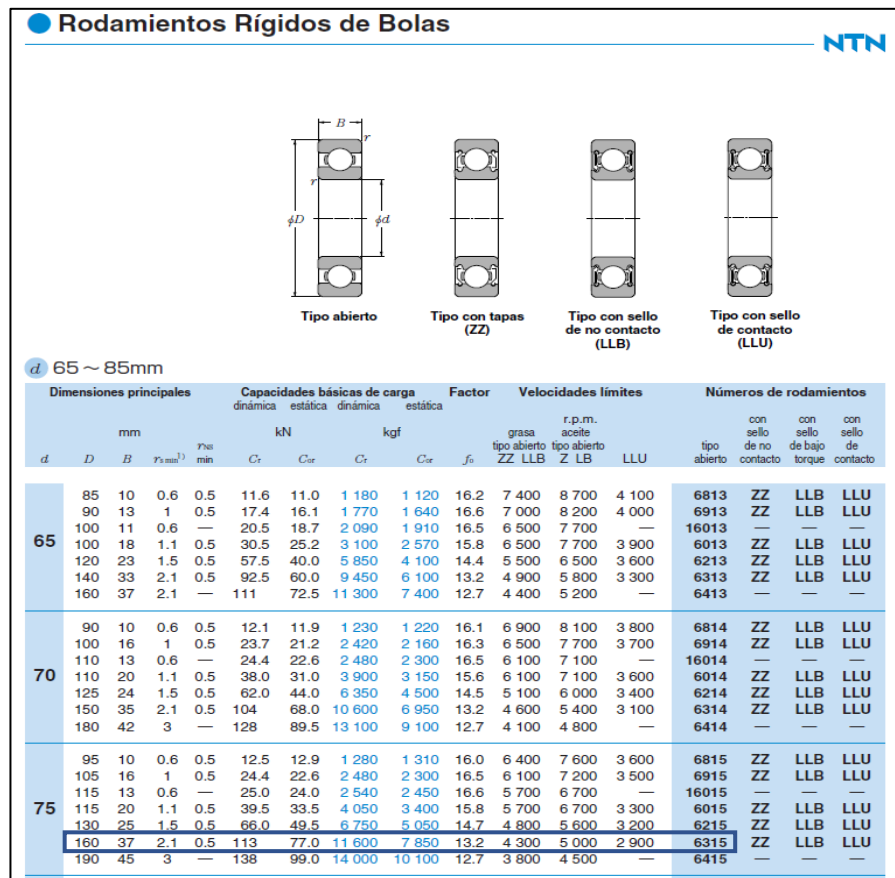
$$P_r = F_r = 3500 \text{ N}$$

Por tanto, la capacidad básica de carga dinámica radial es teniendo en consideración que  $p$  es  $10/3$  para rodamiento de rodillos.

$$C_r = \left[ \frac{60 * N * L_{10h}}{10^6} \right]^{\frac{1}{p}} * P_r$$

$$C_r = \left[ \frac{60 * 30 * 8 * 10^6}{10^6} \right]^{\frac{1}{3}} * 3500 = 85150 \text{ N} = 85.2 \text{ kN}$$

Para un diámetro de 75 mm y una capacidad básica de carga dinámica radial de 85.2 kN se selecciona el rodamiento con el código 6315 tal como se muestra en la siguiente tabla.



**Figura 3.6 Selección de rodamiento de bolas superior**  
Fuente: (NTN (New Technology Network), 2004)

Las principales características del rodamiento seleccionado “6315” son:

- Capacidad básica de carga dinámica = 113 kN
- Diámetro interior = 75 mm
- Diámetro exterior = 160 mm
- Ancho = 37 mm
- RPM máximas = 4300 rpm con lubricación de grasa abierto; 5000 rpm con lubricación de aceite abierto

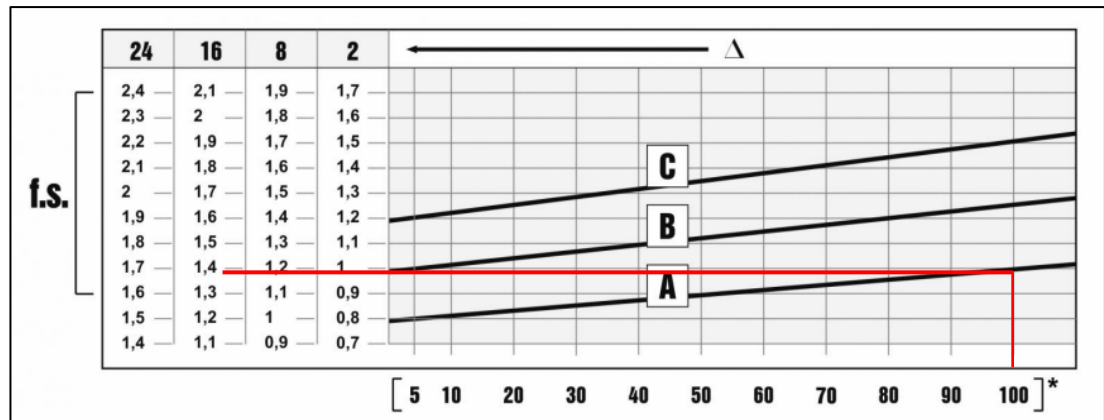
### 3.7 Selección de motorreductores

Como ya se predefinió anteriormente se requiere que los motorreductores tengan la capacidad de dar al menos media vuelta en el lapso de un segundo, esto se traduce en 30 rpm. Además, ya se calculó que la potencia requerida para mover

el sistema es de 1.6 kW, hay que considerar que a este valor hay que dividirlo por la eficiencia del motor y el reductor y el valor resultante multiplicarlo por el factor de servicio. Hay que recordar que el torque que debe producirse debe ser superior a 500 N\*m. Se han seleccionado motorreductores de tipo ortogonales ya que son los que mejor se adecuan al diseño del soporte para la ametralladora Browning 0.5'.

- **Parámetros de selección**

- Velocidad requerida:  $n_2 = 30$  rpm
- Relación de transmisión = (depende de las rpm del motor seleccionado) Si  $n_1 = 1750 - 1800$  rpm;  $i = 58 - 60$ . Si  $n_1 = 1150 - 1200$  rpm;  $i = 38 - 40$
- El factor de servicio se lo obtiene de la tabla del fabricante, para la selección de los motorreductores se utilizará el catálogo de la marca italiana "Motovario" (TECO Group Company). Se establece que opera hasta 16 horas al día en máxima exigencia teniendo hasta 100 arranques y un tipo de carga leve "A". Por tanto, el factor de servicio es 1.4



**Figura 3.7 Curvas de selección del factor de servicio para motorreductores**  
Fuente: (TECO Group Company)

Por tanto, la potencia real requerida es de.

$$P_e = \frac{P}{\eta_{motor} * \eta_{reductor}} = \frac{1.6 \text{ kW}}{0.9 * 0.9} = 1.97 \text{ kW} \approx 2 \text{ kW}$$



Multiplicando la potencia eléctrica por el factor de servicio se obtiene la potencia de diseño o selección.

$$P_s = 1.4 * 2 \text{ kW} = 2.8 \text{ kW} = 3.75 \text{ HP}$$

Con los requerimientos ya definidos se procedió a obtener un motorreductor del catálogo que cumpla con las características y que opere a una frecuencia de 60 Hz.

**Tabla 3.5 Selección de motorreductores de 3.00 kW a 60 Hz marca Motovario**  
Fuente: (TECO Group Company)

Serie B / Standard / IEC							
5.2 B/BA MOTORREDUCTORES (60Hz)						CATÁLOGO TÉCNICO	
3.00 kW							
n2 [rpm]	M2 [Nm]	fs	i	Reductor	Motor	Fr2 D-S-P [N]	Fr2 C [N]
34.0	759	1.1	51.19	B083	TH100LB4	18000	6048
34.0	759	1.1	51.19	B083	TS100LB4	18000	6048
33.9	768	1.1	34.49	B083	TH132S6	18000	6043
33.9	768	1.1	34.49	B083	TS132SA6	18000	6043
33.7	772	3.7	34.68	B123	TH132S6	30000	10908
33.7	772	3.7	34.68	B123	TS132SA6	30000	10908
33.6	774	1.1	34.49	B083	TS112MB6	18000	6055
33.4	779	3.7	34.68	B123	TS112MB6	30000	10933
33.2	777	2.1	53.02	B103	TP112MS4	22000	7808
32.8	786	2.0	53.02	B103	TH100LB4	22000	7833
32.8	786	2.0	53.02	B103	TS100LB4	22000	7833
32.6	798	2.2	35.87	B103	TH132S6	22000	7839
32.6	798	2.2	35.87	B103	TS132SA6	22000	7839
32.4	796	3.8	54.30	B123	TP112MS4	30000	11036
32.3	805	2.2	35.87	B103	TS112MB6	22000	7858
32.0	805	3.7	54.30	B123	TH100LB4	30000	11069
32.0	805	3.7	54.30	B123	TS100LB4	30000	11069
31.7	813	1.0	55.52	B083	TP112MS4	18000	6147
31.3	823	1.0	55.52	B083	TH100LB4	18000	6162
31.3	823	1.0	55.52	B083	TS100LB4	18000	6162
30.1	857	1.9	58.50	B103	TP112MS4	22000	8021
29.7	867	1.8	58.50	B103	TH100LB4	22000	8046

Se seleccionó un motorreductor de 3 kW de potencia de la Marca Motovario, modelo B103, con una relación de velocidad de 58.5 y una salida de 30.1 rpm, en conjunto con un motor de 4 polos de 60 Hz a 1750 rpm modelo TP112MS4. En el apéndice A-6 se detallan las dimensiones del motorreductor seleccionado.

### 3.8 Diseño y selección de junta empernada

La junta empernada entre la base superior y la estructura principal consta de 9 pernos repartidos en el diámetro superior del cono truncado, se define un factor de seguridad de 5 tanto para el análisis de tensión como de cortante, y se escoge un material grado 8 SAE.

Del apéndice A-7 la resistencia mínima del material seleccionado es 120 Kpsi

- **Análisis por tensión:**

$$P' = \frac{5000 N}{9} = 555.5 N = 125 \text{ lbf}$$
$$A_t = \frac{125 \text{ lbf}}{120 * 10^3 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}} = 1.04 * 10^{-3} \text{ in}^2$$

Multiplicando el área mínima de resistencia por el factor de seguridad se tiene,

$$A_{t-d} = 5 * 1.04 * 10^{-3} \text{ in}^2 = 5.20 * 10^{-3} \text{ in}^2 = 0.0052 \text{ in}^2$$

Del apéndice A-8 se elige un diámetro de perno de cuerdas finas UNF de 0.3125 in, es decir de 8 mm.

- **Análisis por cortante:**

$$P' = \frac{10000 N}{9} = 1111.10 N = 250 \text{ lbf}$$
$$\eta = \frac{S_{sy}}{\tau} \rightarrow \tau = \frac{0.557 * 120 * 10^3 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}}{5} = 13368 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$$
$$13368 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} = \frac{250 \text{ lbf}}{\frac{\pi * d^2}{4}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * 250 \text{ lbf}}{13368 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} * \pi}} = 0.15 \text{ in} \approx 4 \text{ mm}$$

El resultado para el diámetro de los pernos es el mayor resultante entre los dos análisis, es decir 8 mm de análisis de tensión.

### 3.9 Diseño de junta soldada

La junta entre las partes de la estructura principal debe ser mediante soldadura, por las características del diseño se elige un perfil tipo filete.

Se selecciona un electrodo E7011, con  $S_{ut} = 70 \text{ Kpsi}$ , se considera todo el cordón soldado, por tanto, la longitud es de 1.2 metros. La carga aplicada debe ser igual a la carga total dividida para el número de columnas.

$$P' = \frac{5000 \text{ N}}{9} = 555.5 \text{ N} = 125 \text{ lbf}$$

$$T_{xy} \leq 0.3 * S_{ut}$$

$$\frac{P'}{A_g} = 0.3 * S_{ut}$$

$$\frac{125 \text{ lbf}}{1.2 \text{ m} * \left(\frac{39.4 \text{ in}}{1 \text{ m}}\right) * t} = 0.3 * \left(70 * 10^3 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}\right)$$

$$t = 1.25 * 10^4 \text{ in}$$

$$w = \frac{t}{0.707} = 1.8 * 10^{-4} \text{ in}$$

Aunque el diseño, diga que se requiere un ancho de garganta mínimo de  $1.8 * 10^{-4} \text{ in}$ , se considera el mayor valor entre el ancho obtenido y el ancho de espesores mínimos recomendados de apéndice A-9. Es decir que considera que el ancho de la soldadura debe ser de 3/16 in o 5 mm.

### 3.10 Análisis de resultados

El diseño de la estructura base principal ha arrojado un amplio factor de seguridad, es decir, el diseño de la estructura esta sobredimensionado para ser simplemente un soporte de la ametralladora Browning M2, este sobredimensionamiento es parte del diseño propuesto, ya que no solo se busca

que la estructura soporte el arma, si no que sea estable en todo momento y bajo cualquiera circunstancia. Además, otro de los objetivos de este diseño es que el interior de la estructura acoja parte del sistema electromecánico y de automatismo y control, por tanto, el tipo de estructura laminar y el amplio factor de seguridad se lo realizó con la finalidad ser una estructura estable y a la vez capaz de acoger el sistema de tele operación, protegiéndolo de las inclemencias que pueda suscitar el clima y de posibles enfrentamientos con enemigos. La estructura principal está diseñada con acero naval ASTM A131 con una resistencia a la fluencia de 235 MPa, tiene forma de un cono truncado o tipo campana con una altura de 1.2 metros, un diámetro superior de 0.78 metros e inferior de 0.98 metros, cuenta con una puerta estanca de 0.65\*0.48 metros y con nueve columnas internas de refuerzo de 10\*30 mm. Los máximos esfuerzos de flexión y compresión en los puntos críticos que soportará son de 5.056 MPa y - 2.927 MPa respectivamente; por este motivo el amplio factor de seguridad resultante.

Por otra parte, se tiene el diseño del eje de rotación, que es el elemento encargado de dar apoyo a la ametralladora Browning, también de soportar el escudo de protección, las municiones, el motorreductor motriz horizontal y demás componentes de control y movimiento; está diseñado en acero SAE 1020 con una resistencia a la fluencia de 207 MPa, diseñado con chaveteros a sus extremos para la transmisión la potencia; mediante el método de Goodman y considerando un esfuerzo cíclico alternante y un factor de seguridad de 3.5 se determinó que el diámetro crítico debe ser de 105 mm. El eje se encuentra apoyado sobre dos rodamientos, el inferior que soportará todo el peso es de tipo axial de rodillos cilíndricos, mientras que el superior que sirve más de estabilizador es de tipo radial de bolas. Los cojinetes seleccionados acorde a las cargas críticas dinámicas axiales y radiales son el "22315B" inferior y el "6315" superior.

Los mecanismos que otorgan los movimientos de rotación a la ametralladora M2 son dos motorreductores ortogonales de 3kW cada uno, pueden transmitir un torque de 857 Nm, superior a los 500 Nm requeridos para mover el mecanismo, poseen una relación de reducción de 58 – 60 considerando un motor de cuatro polos a 1800 rpm, es decir, la velocidad de salida es de 30 rpm.

La ametralladora y los elementos externos de movimiento, accionamiento, electromecánicos y de control se encuentran protegidos por un escudo de protección del mismo material, acero naval ASTM A131 con un espesor de 10 mm, el mismo gira en conjunto con el eje de rotación pues se encuentra asentado sobre el mismo, posee la capacidad de soportar proyectiles de armas de alto calibre como los 12.7 x 99 mm OTAN, posee un factor de seguridad de 15, a pesar que los mayores esfuerzos se percibe en los bases de asentamiento de este escudo, transmitiendo el efecto de empuje del proyectil al eje y tapa superior que está unida a la estructura principal, sin embargo al tener amplio factor de seguridad se garantiza la integridad a los elementos internos, pero para mejorar el nivel de protección se puede considerar incrementar el espesor de la plancha de acero, teniendo en cuenta que repercute con mayor peso y costo de manufactura.

Para el diseño y validación de gran parte de los elementos de la estructura se utilizó el programa Autodesk Inventor 2022 Versión Estudiantil para ejecutar el análisis de elementos finitos, se utilizó un arreglo de malla triangular con un tamaño medio de elemento de 0.100 veces la fracción de la longitud del cuadro delimitador. Las simulaciones sirvieron para en primer lugar validar los cálculos manuales obtenidos de forma teórica y comprobar que los esfuerzos, dimensiones y factores de seguridad obtenidos eran correctos, y también para validar diseños preliminares de las estructuras laminares realizadas directamente en el programa Inventor. Los resultados finales fueron satisfactorios ya que los cálculos y diseños propuestos fueron adecuados.

El diseño propuesto está delimitado a la parte estructural mecánica, pero enfocado a poder acoger un sistema de control remoto para ser operado a distancia, en este aspecto se podría comparar con tecnologías como la RCWS Samson y la Sentinel 30. La estación de armas remota RCWS y Sentinel 2.0 permiten operar en distintos vehículos y además de operar la ametralladora Browning M2 calibre 0.50, también puede acoger armamento de calibre 5.56 mm, 7.62 mm y en el caso de la RCWS también lanzagranadas automáticas de 40 mm (Rafael Advanced Defense System Ltd.) en contraste, la estructura diseñada en el desarrollo de este proyecto está dirigida únicamente a la ametralladora Browning M2. Por su parte, la RCWS llega a tener un peso de hasta 1.5 toneladas en comparación a los 990 kg estimados para la estructura diseñada en este proyecto. Por otra parte, la Sentinel 30 es una torre del control remoto con tecnología de punta, cuenta con Sistema Selectro-óptico de observación y seguimiento, cámara infrarroja, cámara térmica, puntero laser integrado (EM&M Escribano Mechanical & Engineering). La Sentinel 30 puede pesar hasta 1500 kg, y una velocidad de rotación de 1 rad/s en contraste con los 0.5 rad/s del diseño propuesto. Los precios varían entre tecnologías, pues para la RCWS Samson y de origen israelí y la Sentinel 2.0 el precio oscila entre los 250.000 y 310.000 dólares (Defensa, 2014), mientras que la Sentinel 30 llega hasta un \$1'150.000 (Navarro García, 2021).

### **3.11 Análisis económico**

La ejecución del proyecto para el diseño de un soporte con giro estabilizado para una ametralladora Browning M2 en las lanchas Guardacostas tipo PGO depende de muchos factores, algunos van más allá de temas de diseño e ingenieriles, tocando otros factores como por ejemplo ambientales, sociales, humanitarios y lo más importante en la mayoría de proyecto el factor económico como es el caso.

En esta sección se detallará el análisis del factor económico, hay que tener presente que el proyecto no tiene como finalidad ser lucrativo, es decir, que el

soporte que se diseñe no generará un rublo económico por concepto de venta de un producto o prestación de un servicio, por lo tanto, realizar un flujo de caja para obtener el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) al cabo de un determinado plazo sería en vano, ya que la rentabilidad sería negativa al no obtenerse ningún ingreso. Por ello, el presente análisis pretende únicamente obtener el coste estimado de manufactura del diseño, limitado únicamente al área mecánica, es decir, sin considerar en el área de control y automatismo; y a partir de este costo comparar el diseño propuesto con el precio de otras estructuras o torres que ya existentes.

- **Elementos para la fabricación del soporte**

Se consideran los materiales requeridos para la fabricación del soporte para la ametralladora.

**Tabla 3.6 Materia prima estimados para el desarrollo del proyecto**

<b>Materia Prima</b>			
<b>Equipamiento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Total</b>
Plancha de acero Naval ASTM A131 de 10 mm de espesor (1500*6000)	3	\$2,200.00	\$6,600.00
Eje de acero SAE 1020 (diámetro 12 mm)	1	\$190.00	\$190.00
Motorreductores angulares 3 HP de 30 – 60 rpm	2	\$1,390.00	\$2,780.00
Rodamiento Axial (diámetro interno 12 mm)	1	\$120.00	\$120.00
Rodamiento radial (diámetro interno 12 mm)	1	\$80.00	\$80.00
Engranajes de dientes rectos de paso de acero	1	\$240.00	\$240.00
Perno hexagonal M8*40mm Grado 8.8	9	\$2.00	\$18.00
<b>Total</b>			<b>\$10,028.00</b>

- **Diseño de la estructura y gastos de trabajo**

Costo aproximado considerado para los trabajos necesarios requeridos para el diseño de la estructura.

**Tabla 3.7 Trabajos requeridos para la manufactura de la estructura y costos estimados**

<b>Diseño de estructura y gastos de trabajo</b>	
Rolado de planchas de acero naval ASTM A131	\$1500.00
Maquinado de eje de acero SAE 1020	\$120.00
Soldadura de componentes y planchas de acero	\$1500.00
Manufactura y montaje	\$800.00
<b>Total</b>	<b>\$3.920.00</b>

- **Mantenimiento y operación**

Considera los rubros necesarios para ejercer el respectivo mantenimiento de la estructura, requiere de una infraestructura adecuada, repuestos, equipos técnicos, herramientas e instrumentos.

**Tabla 3.8 Infraestructura y equipo técnico requerido para mantenimiento**

<b>Costos estimados para mantenimiento</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Costo anual</b>
Infraestructura	\$2,000.00
Equipamiento técnico, herramientas e instrumentos	\$3,500.00
<b>Total</b>	<b>\$5,500.00</b>

Considerando los rubros ya descritos para el diseño; materia prima, trabajos de manufactura y mantenimiento se tiene un coste total para la estructura de \$19.448, considerando únicamente la parte mecánica del sistema; para obtener un coste total, se tiene que desarrollar el diseño integral lo cual no está al alcance de este proyecto.

Para obtener una comparación y realizar un contraste adecuado y determinar si es económicamente rentable la realización del proyecto se tiene que realizar



el análisis económico de forma integral, considerando todos los rubros de diseño tanto mecánico como de control. No obstante, teniendo en cuenta solo el aspecto de diseño estructural, de acuerdo con el desglose de valores por la estructura y los mecanismos de movimiento, se estima un valor inferior a los \$20.000, que en comparación con los \$250.000 de la RCWS Samson, los \$310.000 de la Sentinel 2.0 y los \$1.150.000 de la Sentinel 30 ofrece un beneficio de ahorro económico bastante considerable si se lo realiza en el país con suministros locales y mano de obra de la institución.

**Figura 3.8 Proforma ejemplo de la Sentinel 2.0 para comparación de precios con otras tecnologías, el precio unitario oscila los \$307.200.**

Fuente: (EM&M Escribano Mechanical & Engineering)

		<b>Estación de Armas Remota Sentinel 2.0</b> <b>OFERTA COMERCIAL</b>		<small>REP. INT. - UZELCZO</small> Rev.: 00 Date: 05/06/2020 Página: 18	
<p><b>6 PRECIO</b></p> <p>A continuación, se muestra el precio de 11 RWS Sentinel 2.0 a integrar en los anteriormente citados medios navales de la Armada de Ecuador.</p>					
Sentinel 2.0					
Artículo	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)	
Recurrentes					
SENTINEL 2.0	Estación de Armas Remota Naval para calibre 12.7 (no incluye el arma) – (Ver nota 1)	11	\$222.700,00	\$2.449.700,00	
INSTALACIÓN	Instalación (ver nota 2)	11	\$6.350,00	\$69.850,00	
<b>Total</b>				<b>\$ 2.519.550,00</b>	
Sentinel 2.0					
Artículo	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)	
No Recurrentes					
FORMACIÓN	Mantenimiento Nivel 1 (ver nota 3)	1	\$ 0,00	\$ 0,00	
FORMACIÓN	En fábrica para operación y mantenimiento de nivel 2 (ver nota 4)	1	\$ 5.800,00	\$ 5.800,00	
FORMACIÓN	En las instalaciones del cliente para operación y mantenimiento de nivel 2 (ver nota 5)	1	\$ 13.850,00	\$ 13.850,00	
REPUESTOS (OPCIONAL)	Repuestos para Mantenimiento de nivel 2 y 3 (Ver nota 6)	1	\$ 839.750,00	\$ 839.750,00	
<b>Total</b>				<b>\$ 19.650,00</b>	
<b>Total (SET DE REPUESTOS INCLUIDO)</b>				<b>\$ 859.400,00</b>	
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 2.539.200,00</b>	
<b>TOTAL (SET DE REPUESTOS INCLUIDO)</b>				<b>\$ 3.378.950,00</b>	

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente proyecto se ha fundamentado en el diseño de una estructura metálica para dar soporte a una ametralladora Browning M2 calibre 0.50 aplicada a Lanchas Guardacostas tipo PGO de la Armada del Ecuador, la misma debe de tener la capacidad de acoger un sistema de automatización para control remoto o teleoperado; por esto, el diseño mecánico de este soporte parte de una estructura base principal laminar fabricado de acero naval ASTM A131 de 10 mm de espesor, esto con la finalidad de que pueda contener ataques enemigos y proteger los componentes mecánicos y de control internos de impactos balísticos y condiciones climáticas; para reforzar el soporte principal se utilizaron 9 parantes tipo columnas para dar mayor resistencia y estabilidad, además estas ayudan a dar soporte a los componentes internos de control. Para que se produzcan los movimientos tanto vertical como horizontal de la ametralladora Browning, se incluyen dos motorreductores de 3 kW y 857 Nm que permiten realizar un giro estabilizado a 30 rpm, otorgando versatilidad y rapidez de reacción. La M2 está apoyada sobre un eje de rotación que a la vez se apuntala sobre dos rodamientos, uno axial de rodillos y otro radial de bolas. La estructura se complementa por medio de un escudo protector que garantiza la integridad del arma, caja de municiones y elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos externos que integran el sistema motriz superior para el movimiento horizontal y accionamiento del arma.

### 4.1 Conclusiones

- Las unidades Guardacostas de Patrullaje Oceánico del Ecuador poseen tres patrulleros de altura clase Isla Fernandina Tipo PGO equipados para emplazar ametralladoras Tipo FN Herstal y Browning 0.5. No obstante, estos no tienen la cualidad que permita dar un soporte y giro estabilizado, mucho menos con operación remota que permita maniobrar el arma a distancia. Durante el desarrollo de este proyecto se ha logrado diseñar un soporte para una

ametralladora Browning M2 0.5 en este tipo de navíos, que cuenta con la capacidad de tener un movimiento y giro estable apoyado sobre una estructura que puede soportar y contener las condiciones adversas que pueda suscitar el clima y los poco probables pero posibles enfrentamientos bélicos.

- El diseño mecánico de la estructura constó de cálculos teóricos soportados mediante análisis de elementos finitos realizados a través del programa Inventor 2022 Versión Estudiantil, en la mayoría de elementos se establecieron factores de seguridad muy altos (superior a 15 en el elemento crítico “Soporte principal”), es decir, se diseñó una estructura sobredimensionada; esto con el fin de que el soporte de giro estabilizado pueda soportar posibles escenarios de ataques enemigos con armamento de gran calibre. El análisis de elementos finitos también sirvió para constatar que el diseño y los resultados obtenidos sean adecuados y que la operación de los elementos bajo circunstancias críticas sea la correcta, esto sirvió por ejemplo para efectuar cambios en los soportes del escudo protector, puesto que acorde a la primera simulación existía una exagerada deformación ante el impacto balístico de un proyectil 12.7 x 99 mm OTAN.
- Debido a que el soporte de giro estabilizado no retribuye ningún rublo económico puesto que no representa la venta de ningún producto o prestación de algún servicio el análisis económico del mismo no reflejaría una rentabilidad ni un punto de equilibrio a lo largo de un plazo establecido. Por ello, el análisis económico se limita simplemente a una comparación del costo de fabricación estimado con precios otras tecnologías, pues para el apartado mecánico se tiene un precio que ronda cerca de los \$19.450, a estos habría que sumarle el coste del sistema de automatización y control para obtener un valor integral de la estructura y poder compararlo con torres de control remoto disponibles en el mercado. Aun así, se detallan a continuación el coste aproximado de otras tecnologías. Pues, por ejemplo, la torre de control remoto Sentinel 30 que es una de las más avanzadas tecnológicamente tiene un precio aproximado de \$1'150.000, mientras que la

estructura israelí RCW Samson en base a la inflación mundial al año 2021 tiene un coste cercano a los \$250.000, por su parte la Sentinel 2.0 tiene un precio cercano a los \$310.000.

## **4.2 Recomendaciones**

- Cabe destacar que, este proyecto se limita únicamente al diseño mecánico de la estructura, es decir, de los componentes que permiten el soporte y movimiento del arma, pero no de los componentes actuadores de los mismos ni del sistema de control para la operación remota de la ametralladora. Por ello, es recomendable que este proyecto se trabaje como interdisciplinario con la finalidad de que intervengan otras ramas de la ingeniería y se obtenga un enfoque integral para el diseño y estimación económica completa del soporte.
- El diseño del soporte principal fue realizado con columnas internas con dos finalidades, la más importante es que sirvan de soporte para los elementos mecánicos y de automatización que se alojaron en el interior, ya que el esfuerzo que realizan sobre la estructura es de compresión y segundo, para que muestre un diseño estético exterior que además le permita evitar ser tan visible antes radares enemigos de ondas electromagnéticas, sin embargo, se puede realizar un análisis posterior de la estructura principal, considerándola como un cascarón, lo que permitirá corroborar o mejorar los resultados obtenidos.
- Para ampliar el análisis del diseño se recomienda desarrollar un estudio dinámico de los esfuerzos que se generan por el impacto del proyectil de 12.7 x 99 mm OTAN en la estructura de la ametralladora, tanto para el escudo protector como para los demás elementos motrices y de soporte de la ametralladora, que pueden ser afectados por un impacto enemigo, incluso se debería considerar el análisis en un momento bélico contra armas de mayor potencia de fuego y deba soportar el peor ataque posible en dicho enfrentamiento.

# BIBLIOGRAFÍA

ALTAMIRANO, C.-E. D. (2022). REQUERIMIENTOS OPERACIONALES - IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIÓN REMOTA DE ARMAS GIROESTABILIZADA EN UNIDADES OPV, PGO Y PGM. ARMADA DEL ECUADOR DIRECCIÓN DE INNOVACIÓN Y DESARROLLO.

Armada del Ecuador. (2005). *LG-39, LG-40 & LG-41*. Obtenido de Murueta: Astilleros - Shipyards:<https://www.astillerosmurueta.com/vessels/vesseldetails.php?id=30&buque=lg-39-lg-40-lg-41>

Defensa. (14 de Agosto de 2014). El Ejército de Tierra busca repuestos para las torres Mini Samson de los blindados RG-31 Mk5. *Defensa*.

EM&M Escribano Mechanical & Engineering. (s.f.). *SCAMO - SISTEMA DE CONTROL DE ARMAS POR MEDIOS OPTRÓNICOS*. Madrid.

EM&M Escribano Mechanical & Engineering. (s.f.). *SENTINEL 30*. Madrid.

Gary's U.S. Infantry Weapons Reference Guide. (2006). *Ametralladoras: Browning M2 calibre .50 (USA)*. Gary W. Cook.

Navarro García, J. (27 de Enero de 2021). Torres de empleo Remoto Sentinel 30 de Escribano para los patrulleros clase Serviola de la Armada Española. *Defensa*.

Norton, R. (2009). *Diseño de Maquinaria*. Mexico: McGRAW-HILL.

Norton, R. (2011). *Diseño de Maquinas*. Mexico.

NTN (New Technology Network). (2004). *Rodamientos de bolas y rodillos*.

Pérez González, A. (04 de Julio de 2014). *Cálculo resistente de chavetas*. Obtenido de Mecapedia: [http://www.mecapedia.uji.es/calculo\\_resistente\\_de\\_chavetas.htm](http://www.mecapedia.uji.es/calculo_resistente_de_chavetas.htm)

Rafael Advanced Defense System Ltd. (s.f.). *Samson 30 mm Integrated RWS*.

Rafael Advanced Defense Systems Ltd. (s.f.). *Estación de armas a control remoto Samson*.  
Obtenido de [https://hmong.es/wiki/Samson\\_Remote\\_Controlled\\_Weapon\\_Station](https://hmong.es/wiki/Samson_Remote_Controlled_Weapon_Station)

Singer, F., & Pytel, A. (1994). *Resistencia de materiales: Introducción a la mecánica de sólidos*. México: HARLA.

TECO Group Company. (s.f.). *MOTORREDUCTORES ORTOGONALES - CATALOGO TECNICO*. Modugno: MOTOVARIO. Obtenido de <https://www.roydisa.es/wp-content/uploads/2012/12/Catalogo-tecnico-reductor-ortogonario-Motovario-serie-B.pdf>

U.S, ORDNANCE. (s.f.). *Ametralladora Modelo M2HB/QCB .50 CAL*.

Yáñez Chicaiza, A., & Bohorquez German, D. (2017). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE SOPORTE PROVISTO CON UN CONTROL MANUAL Y TELEOPERADO PARA LA AMETRALLADORA BROWNING CALIBRE 0.50 DE LOS VEHÍCULOS BLINDADOS DE EXPLORACIÓN PANHARD AML 90 DEL CICTE*. Sangolqui: Universidad de las Fuerzas Armadas .

# APÉNDICES

# APÉNDICE A

## DOCUMENTACIÓN TÉCNICA

### Apéndice A-1 Ficha técnica, aceros inoxidables S304 y S316

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE		SERIE 300		
		Acero al Cromo - Níquel	Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno	
DESIGNACIÓN	TIPO AISI	<b>304</b>	<b>316</b>	
	COMPOSICIÓN QUÍMICA	C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 18% - 20%* Ni 8% - 10,5%*	C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 16% - 18%* Ni 10% - 14%* Mo 2% - 2.5%*	
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD) (g/cm <sup>3</sup> )	7.9	7.95 - 7.98	
	MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm <sup>2</sup> )	193,000	193,000	
	ESTRUCTURA	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	
	CALOR ESPECÍFICO A 20C (J/Kg K)	500	500	
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C (W/m K)	15 / 16	15 / 16	
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C (x 10 <sup>6</sup> C <sup>-1</sup> )	16.0 - 17.30	16.02 - 16.5	
INTERVALO DE FUSIÓN (C)	13981454	13711398		
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO	AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1.008	
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C (μΩm)	0.72 - 0.73	0.73 - 0.74	
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	130150 / 180330	130185 / -	
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	7088 / 1035	7085 / -	
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO Rm (N/mm <sup>2</sup> )	520 - 720 / 540 - 750	540690 / -	
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO Rp (N/mm <sup>2</sup> )	210 / 230	205410 / -	
	ELONGACIÓN (A <sub>5</sub> ) MIN (%)	≥ 45		
	RESILIENCIA KCUL / KVL (J/cm <sup>2</sup> )	160 / 180	160 / 180	
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD	RP(0.2) A 300C/400C/500C (N/mm <sup>2</sup> )	125 / 97 / 93	140 / 125 / 105
		RP(1) A 300C/400C/500C (N/mm <sup>2</sup> )	147 / 127 / 107	166 / 147 / 127
	LÍMITE DE FLUENCIA A 500C/600C/700C/800C σ <sub>1/10<sup>5</sup>/t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	68 / 42 / 14.5 / 4.9	82 / 62 / 20 / 6.5	
TRATAMIENT. TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO	ENFR. RÁPIDO	ENFR. RÁPIDO	
	RECOCIDO INDUSTRIAL (OC)	10081120	10081120	
	TEMPLADO	NO ES POSIBLE	NO ES POSIBLE	
	INTERVALO DE FORJA INICIAL / FINAL (C)	1200 / 925	1200 / 925	
OTRAS PROPIEDADES	FORMACIÓN DE CASCARILLA, SERVICIO CONTINUO / SERVICIO INTERMITENTE	925 / 840	925 / 840	
	SOLDABILIDAD	MUY BUENA	MUY BUENA	
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. B1112	45%	45%	
	EMBUTICIÓN	MUY BUENA	BUENA	

\* Son aceptables tolerancias de un 1%



## Apéndice A-2 Ficha técnica Plancha Naval ASTM A131


EMBARCACIONES NAVALES.					
<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA</b>					
NORMA TÉCNICA	CARBONO (C) %	MANGANESO (Mn) %	FÓSFORO (P) %	AZUFRE (S) %	SILICIO (Si) %
ASTM A-131 GRADO A	0.21 MÁXIMO	2.5 X %C MÍNIMO	0.035 MÁXIMO	0.035 MÁXIMO	0.05 MÁXIMO
<b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>					
NORMA TÉCNICA	LÍMITE DE FLUENCIA (F) Kg/mm <sup>2</sup>	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (R) Kg/mm <sup>2</sup>	ELONGACIÓN (A) %		
ASTM A-131 GRADO A	24 mínimo	41 - 53	21 mínimo		

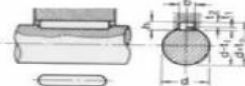
**NORMA EQUIVALENTE:**

**LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING – GRADO A (LRA)**

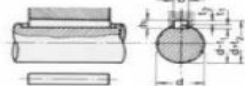
## Apéndice A-3 Norma DIN 6885

**DIMENSIONES CHAVETEROS Y CHAVETAS**  
**S/DIN 6885/1 - 6886 y 6887**  
**STANDARD KEYWAYS S/DIN 6885/1 - 6886 and 6887**

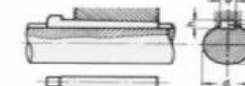




Chaveta paralela  
S/DIN-6885/1



Chaveta de cuña  
S/DIN-6886



Chaveta de cuña con cabeza  
S/DIN-6887

Ø eje d mm desde-hasta	Medidas chaveta b x h mm	Medidas del chavetero en el cubo				Medidas del chavetero en el eje para chavetas paralelas y de cuña		Medidas de los ejes en el cubo de la rueda		
		Chaveta paralela S/DIN 6885/1		Chaveta de cuña S/DIN 6886 y 6887		t <sub>1</sub> m/m	Tol. admisible (en altura) m/m	Ø m/m desde-hasta	Tol. H-7 m/m	
		d + t <sub>2</sub> m/m	Tol. admisible (en altura) m/m	d + t <sub>2</sub> m/m	Tol. admisible (en altura) m/m					
17-22	6x6	d+2,6	+0,1	d+2,1	+0,1	3,5	+0,2	10-18	+0,018 0	
22-30	8x7	d+3,0		d+2,8		4,1				
30-38	10x8	d+3,4		d+2,6		4,7				
38-44	12x8	d+3,2		d+2,9		4,9				
44-50	14x9	d+3,6	d+3,2	5,5						
50-58	16x10	d+3,9	d+3,5	6,2						
58-65	18x11	d+4,3	d+3,9	6,8						
65-75	20x12	d+4,7	d+4,8	7,4						
75-85	22x14	d+5,6	d+4,6	8,5						
85-95	25x14	d+5,4	+0,2	d+4,6	+0,2	8,7		120-180	+0,040 0	
95-110	28x16	d+6,2		d+5,4		9,9				
110-130	32x18	d+7,1		d+6,1		11,1				
130-150	36x20	d+7,9		d+6,9		12,3				
150-170	40x22	d+8,7		d+7,7		13,5				
170-200	45x25	d+9,9		d+8,9		15,3				
200-230	51x28	d+11,2		d+10,1		17				
230-260	56x32	d+12,9		d+11,8		19,3				
260-290	63x32	d+12,6		+0,3		d+11,5	+0,3	19,6	180-250	+0,046 0
									250-315	+0,052 0
							315-400	+0,057 0		
							400-500	+0,063 0		

**Zonas de tolerancia en el ancho de los chaveteros**

Tipo de ajuste	chavetero eje	chaveteo rueda
A presión (forzado)	P9	P9
Ligero	N9	J9
Deslizante	H8	D10

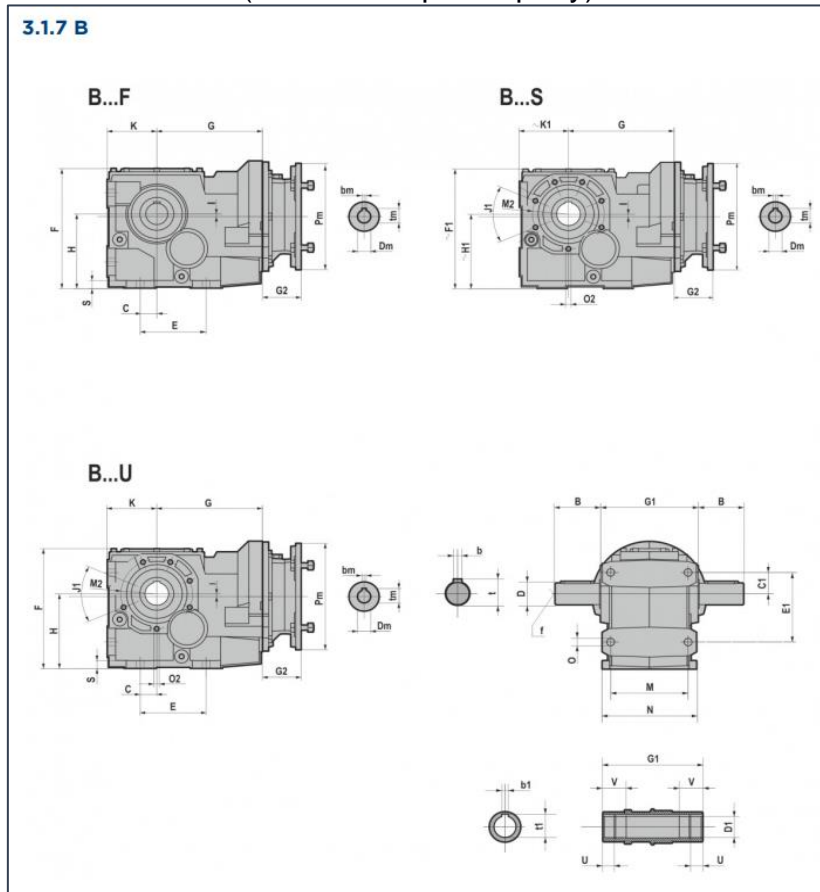
La chaveta deberá dimensionarse de manera que pueda transmitir el mismo momento o par de torsión que el eje correspondiente. Por ello, la longitud de dicha chaveta deberá ser, como mínimo, igual a 1,5 veces el diámetro del eje. Los chaveteros de eje y rueda deberán tener bordes redondeados ( en todos los sentidos) para evitar la formación de grietas y

## Apéndice A-4 Aplicaciones en maquinarias y vida útil para rodamientos (NTN (New Technology Network), 2004)

Tabla 3.4 Aplicaciones en maquinarias y vida requerida (Referencia)

Clasificación del servicio	Aplicaciones en maquinarias y vida requerida (referencia) $L_{10h}$ $\times 10^3$ h				
	~4	4~12	12~30	30~60	60~
Máquinas usadas por periodos cortos q utilizadas sólo ocasionalmente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicaciones domésticas</li> <li>• Herramientas de mano eléctricas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maquinaria agrícola</li> <li>• Equipos de oficina</li> </ul>			
Utilización durante periodos cortos e intermitentemente, pero con requerimientos de alta confiabilidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipos médicos</li> <li>• Instrumentos de medición</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motores de acondicionadores de aire residenciales</li> <li>• Equipos de construcc.</li> <li>• Elevadores</li> <li>• Grúas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grúas (Poleas)</li> </ul>		
Máquinas que no se usan constantemente, pero se utilizan por periodos largos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automóviles</li> <li>• Vehículos de dos ruedas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motores pequeños</li> <li>• Buses/camiones</li> <li>• Transmisiones de engranes en general</li> <li>• Máquinas madereras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Husillos de máquinas</li> <li>• Motores industriales</li> <li>• Trituradores</li> <li>• Cribas vibratorias</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transmisiones de engranes principales</li> <li>• Máquinas de caucho/plástico</li> <li>• Rodillos de calandrias</li> <li>• Máquinas de impresión</li> </ul>	
Máquinas en constante uso durante las 8 horas del día.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laminadores</li> <li>• Escaleras eléctricas</li> <li>• Transportadores</li> <li>• Centrífugas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejes de vehículos ferroviarios</li> <li>• Acondicionadores de aire</li> <li>• Motores grandes</li> <li>• Centrífugas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejes de locomotoras</li> <li>• Motores de tracción</li> <li>• Elevadores mineros</li> <li>• Volantes a presión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máquinas de fabricación de papel</li> <li>• Equipos de propulsión para barcos</li> </ul>
24 horas de operación continua, no interrumpible.					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipos de abastecimiento de agua</li> <li>• Bombas de drenaje/ventiladores para minería</li> <li>• Equipos para generación de potencia</li> </ul>

## Apéndice A-5 Plano de dimensiones del motorreductor seleccionado (TECO Group Company)



## Apéndice A-6 Dimensiones del motorreductor seleccionado

(TECO Group Company)

	D1	b1	t1	U	V	B	D	b	t	f	C	C1	E	E1
<b>063</b>	35 H7	10	38,3	12	35	58	35 k6	10	38	M12	30	39	130	126
<b>063</b>	40 H7	12	43,3	12	35	58	35 k6	10	38	M12	30	39	130	126
<b>083</b>	40 H7	12	43,3	22,25	42	80	40 k6	12	43	M16	30	40	120	130
<b>083</b>	45 H7	14	47,6	22,25	42	80	40 k6	12	43	M16	30	40	120	130
<b>103</b>	45 H7	14	48,8	22,25	50	100	50 k6	14	53,5	M16	40	50	150	160
<b>103</b>	50 H7	14	53,8	25	50	100	50 k6	14	53,5	M16	40	50	150	160
<b>123</b>	60 H7	18	64,4	28	70	120	60 m6	18	64	M20	55	78	180	220
<b>143</b>	70 H7	20	74,9	27,5	75	140	70 m6	20	74,5	M20	75	90	240	280
<b>153</b>	90 H7	25	95,4	34	90	170	90 m6	25	95	M20	95	110	280	330
<b>153</b>	80 H7	22	85,4	34	90	170	90 m6	25	95	M20	95	110	280	330
<b>163</b>	100 H7	28	106,4	40	100	210	110 m6	28	116	M20	115	155	350	420

	F	F1	G	G1	H	H1	I	K	K1	M	N	O	S	J1	M2	O2
<b>063</b>	215	219,5	174	140	132	137	33	88	92,5	104	126	14	12	45	130	M10x20 (n.6)
<b>083</b>	225	225	192	180	140	140	5	90	90	140	170	14	15	45	130	M10x20 (n.6/7)
<b>103</b>	283	283	213,5	210	180	180	25	112	112	165	205	18	18	45	165	M12x22 (n.6/7)
<b>123</b>	341	342	246	240	212	213	33,5	132	133	180	230	22	22	45	185	M14x28 (n.7)
<b>143</b>	414	/	279	300	265	/	34	160	/	240	290	22	22	45	200	M14x30 (n.7)
<b>153</b>	490	/	353	350	315	/	35	200	/	270	330	26	26	45	245	M16x32 (n.7)
<b>163</b>	615	/	426,5	445	375	/	47	230,5	/	330	400	38	45	45	298	M18x40 (n.6)

	G2				
	063	083-103	123-143	153	163
<b>140x11</b>	57	/	/	/	/
<b>160x14</b>	69,0	/	/	/	/
<b>200x19</b>	90,0	70,0	60,5	/	/
<b>200x24</b>	90,0	70,0	60,5	/	/
<b>250x28</b>	105,0	85,0	75,5	/	/
<b>300x38</b>	/	110,0	100,5	76,0	/
<b>350x42</b>	/	157,5	148,0	123,5	109,0
<b>350x48</b>	/	157,5	148,0	123,5	109,0
<b>400x55</b>	/	/	185,0	160,5	146,0
<b>450x60</b>	/	/	/	160,5	146,0
<b>550*65</b>	/	/	/	/	175,0
<b>550*75</b>	/	/	/	/	175,0

## Apéndice A-7 Especificaciones de resistencia para los pernos de grado SAE

(Norton R. , 2011)

Número de grado de la SAE	Intervalo del tamaño del diám. ext. (in)	Resistencia de prueba mínima (kpsi)	Resistencia a la fluencia mínima (kpsi)	Resistencia a la tensión mínima (kpsi)	Material
1	0.25-1.5	33	36	60	bajo o medio carbono
2	0.25-0.75	55	57	74	bajo o medio carbono
2	0.875-1.5	33	36	60	bajo o medio carbono
4	0.25-1.5	65	100	115	medio carbono, forjado en frío
5	0.25-1.0	85	92	120	medio carbono, Q&T*
5	1.125-1.5	74	81	105	medio carbono, Q&T
5.2	0.25-1.0	85	92	120	martensita al bajo carbono, Q&T
7	0.25-1.5	105	115	133	aleación al medio carbono, Q&T
8	0.25-1.5	120	130	150	aleación al medio carbono, Q&T
8.2	0.25-1.0	120	130	150	martensita al bajo carbono, Q&T

\* Templado y revenido

## Apéndice A-8 Dimensiones de los tornillos estándares

(Norton R. , 2011)

Tamaño	Cuerdas gruesas, UNC				Cuerdas finas, UNF		
	Diámetro mayor $d$ (in)	Cuerdas por pulgada	Diámetro menor $d_r$ (in)	Área de esfuerzo por tensión $A_t$ (in <sup>2</sup> )	Cuerdas por pulgada	Diámetro menor $d_r$ (in)	Área de esfuerzo por tensión $A_t$ (in <sup>2</sup> )
0	0.0600	-	-	-	80	0.0438	0.0018
1	0.0730	64	0.0527	0.0026	72	0.0550	0.0028
2	0.0860	56	0.0628	0.0037	64	0.0657	0.0039
3	0.0990	48	0.0719	0.0049	56	0.0758	0.0052
4	0.1120	40	0.0795	0.0060	48	0.0849	0.0066
5	0.1250	40	0.0925	0.0080	44	0.0955	0.0083
6	0.1380	32	0.0974	0.0091	40	0.1055	0.0101
8	0.1640	32	0.1234	0.0140	36	0.1279	0.0147
10	0.1900	24	0.1359	0.0175	32	0.1494	0.0200
12	0.2160	24	0.1619	0.0242	28	0.1696	0.0258
1/4	0.2500	20	0.1850	0.0318	28	0.2036	0.0364
5/16	0.3125	18	0.2403	0.0524	24	0.2584	0.0581
3/8	0.3750	16	0.2938	0.0775	24	0.3209	0.0878
7/16	0.4375	14	0.3447	0.1063	20	0.3725	0.1187
1/2	0.5000	13	0.4001	0.1419	20	0.4350	0.1600
9/16	0.5625	12	0.4542	0.1819	18	0.4903	0.2030
5/8	0.6250	11	0.5069	0.2260	18	0.5528	0.2560
3/4	0.7500	10	0.6201	0.3345	16	0.6688	0.3730
7/8	0.8750	9	0.7307	0.4617	14	0.7822	0.5095
1	1.0000	8	0.8376	0.6057	12	0.8917	0.6630
1 1/8	1.1250	7	0.9394	0.7633	12	1.0167	0.8557
1 1/4	1.2500	7	1.0644	0.9691	12	1.1417	1.0729
1 3/8	1.3750	6	1.1585	1.1549	12	1.2667	1.3147
1 1/2	1.5000	6	1.2835	1.4053	12	1.3917	1.5810
1 3/4	1.7500	5	1.4902	1.8995			
2	2.0000	4.5	1.7113	2.4982			
2 1/4	2.2500	4.5	1.9613	3.2477			
2 1/2	2.5000	4	2.1752	3.9988			
2 3/4	2.7500	4	2.4252	4.9340			
3	3.0000	4	2.6752	5.9674			
3 1/4	3.2500	4	2.9252	7.0989			
3 1/2	3.5000	4	3.1752	8.3286			
3 3/4	3.7500	4	3.4252	9.6565			
4	4.0000	4	3.6752	11.0826			

## Apéndice A-9 Tamaños mínimos de soldaduras de filete

(Norton R. , 2011)

**Tabla 12-2**  
Tamaños mínimos de soldadura  
en filetes\*

**Espesor del metal base (T)      Tamaño mínimo de la soldadura**

tamaño en pulgadas

$T \leq 1/4$	1/8
$1/4 < T \leq 1/2$	3/16
$1/2 < T \leq 3/4$	1/4
$3/4 < T$	5/16

tamaños en mm

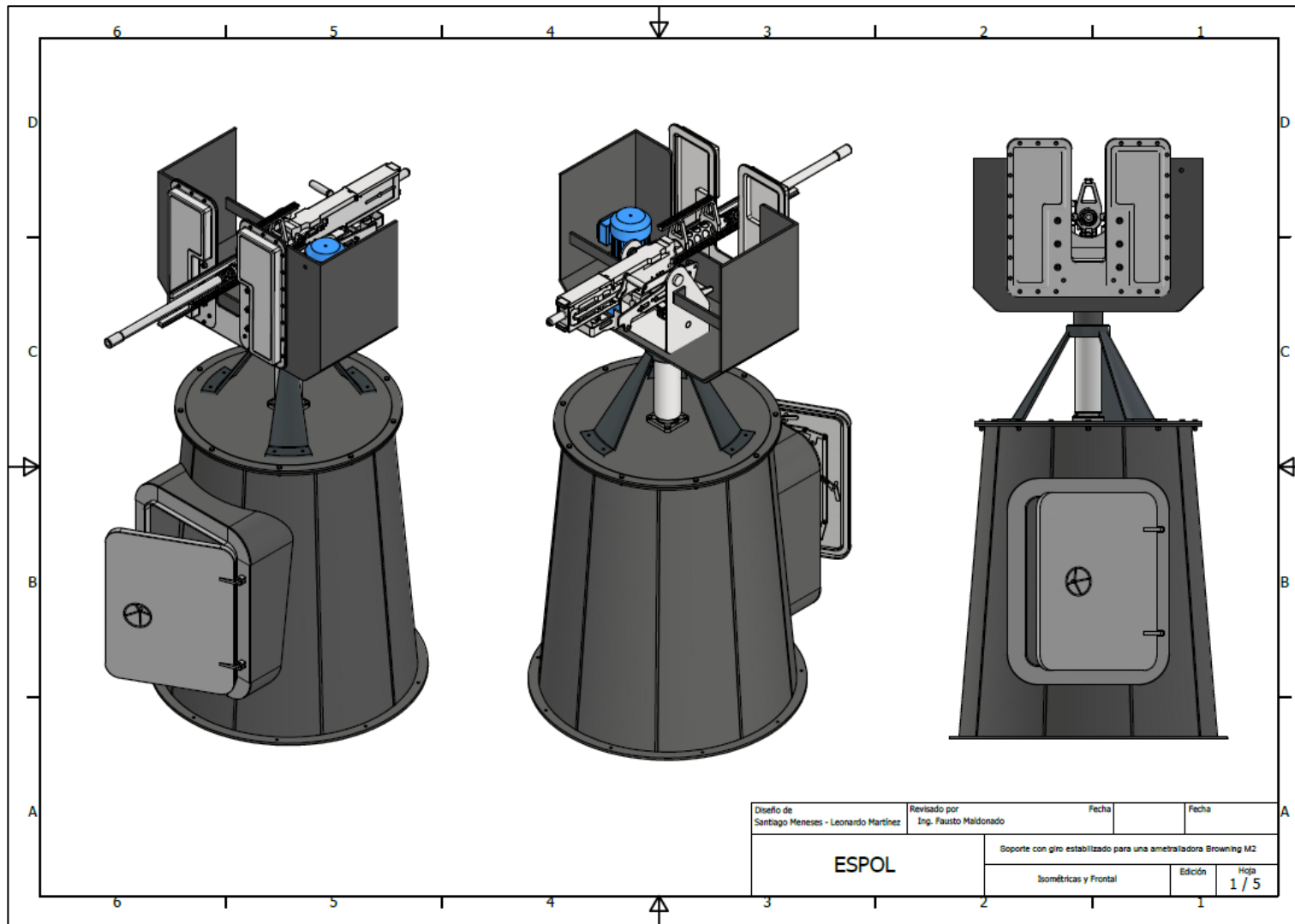
$T \leq 6$	3
$6 < T \leq 12$	5
$12 < T \leq 20$	6
$20 < T$	8

\* Fuente: tabla 5.8 AWS D1.1

# APÉNDICE B

## PLANOS

Apéndice B-1 Isométricos y frontal del diseño del Soporte con giro estabilizado para una ametralladora Browning M2



## Apéndice B-2 Vista explosionada y lista de piezas

LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Estructura principal
2	1	Base Superior
3	1	Eje de rotación
4	1	Chumacera y rodamiento de rodillos cilindricos axial
5	1	motorreductor para movimiento vertical
6	1	Rodamiento de bolas radial
7	1	Soporte del eje
8	1	Motorreducto para movimiento horizontal
9	1	Engranés rectos para transmisión de movimiento horizontal
10	1	Ametralladora Browning M2 calibre 0.50
11	1	Escudo de protección

Diseño de Santiago Meneses - Leonardo Martínez

Revisado por Ing. Fausto Maldonado

Fecha

Fecha

ESPOL

Soporte con giro estabilizado para una ametralladora Browning M2

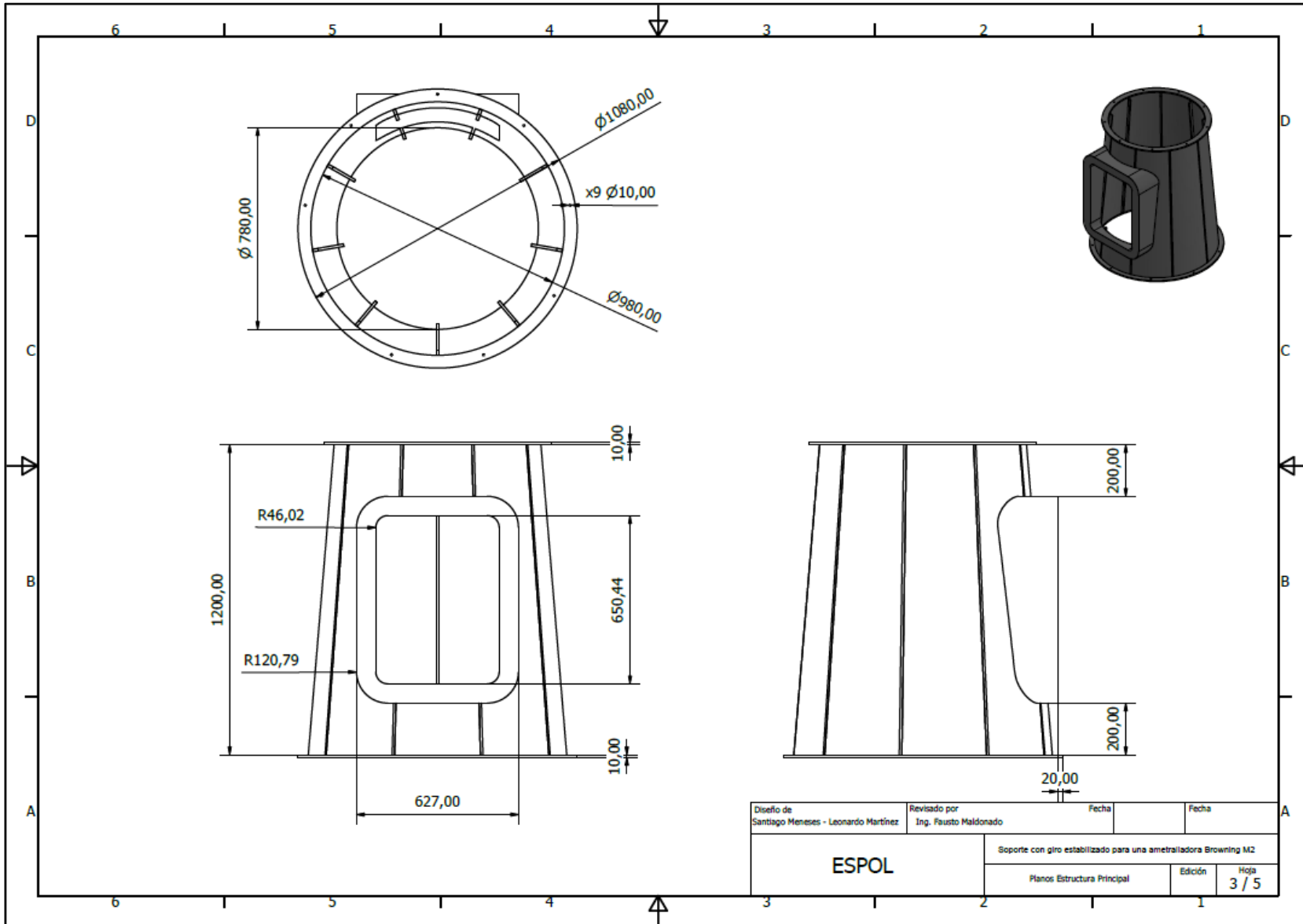
Vista explosionada y lista de piezas

Edición

Hoja

2 / 5

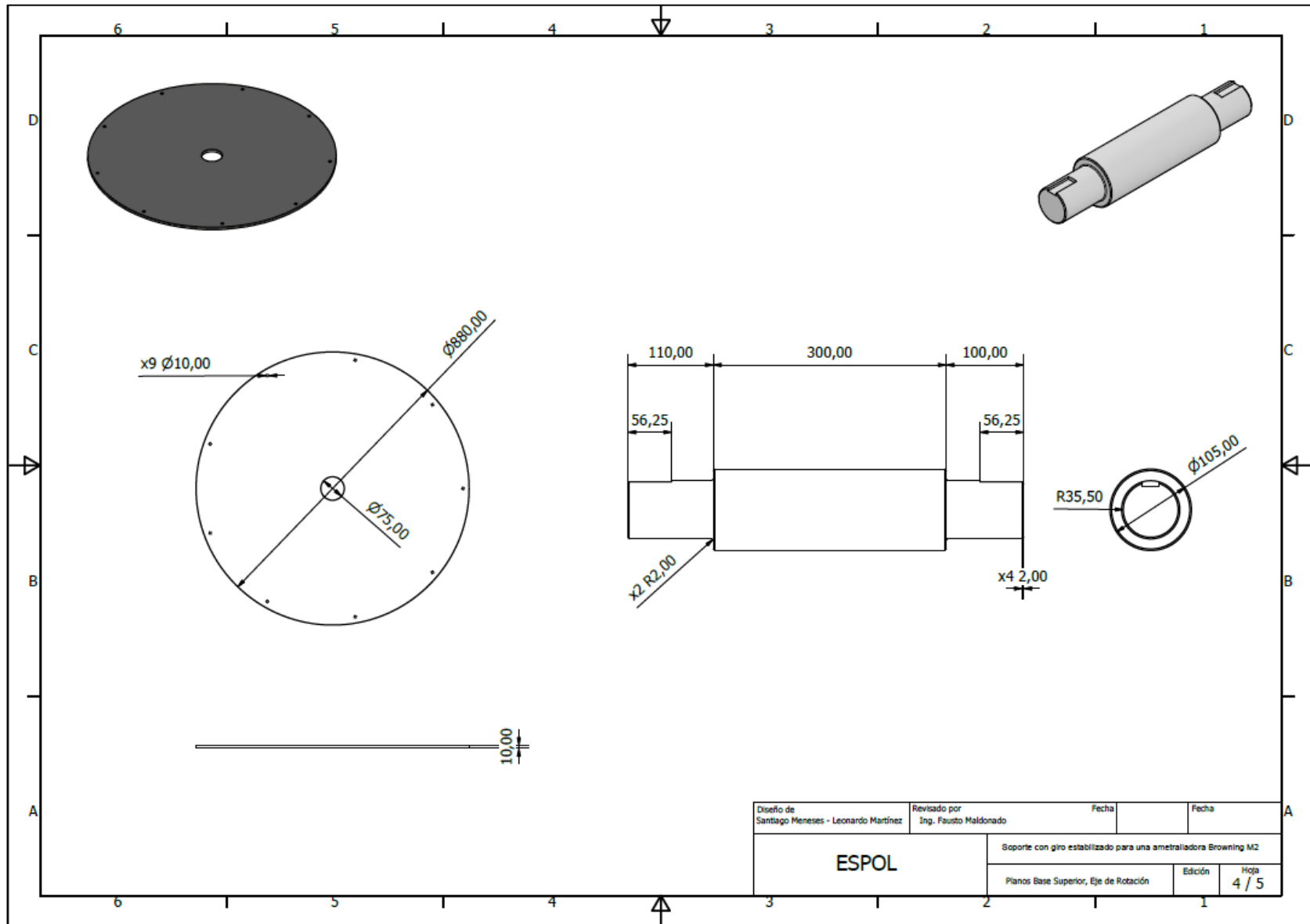
### Apéndice B-3 Planos de la estructura principal



Diseño de Santiago Meneses - Leonardo Martínez	Revisado por Ing. Fausto Maldonado	Fecha	Fecha
<b>ESPOL</b>		Soporte con giro estabilizado para una ametralladora Browning M2	
		Planos Estructura Principal	Edición Hoja 3 / 5



### Apéndice B-4 Planos de la base superior y el eje de rotación



### Apéndice B-5 Planos del escudo de protección

