



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO
EXPLORADOR TERRESTRE CONTROLADO
INALÁMBRICAMENTE.**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto técnico

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: CHRISTOPHER DANIEL ACOSTA CAJAS
JEAN PIERRE CLAVÓN ENRIQUEZ

DIRECTOR: ING. JOHN GERMAN VERA LUZURIAGA

Riobamba – Ecuador

2020

©2020, Christopher Daniel Acosta Cajas; & Jean Pierre Clavón Enriquez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Christopher Daniel Acosta Cajas y Jean Pierre Clavón Enriquez, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 28 de agosto de 2020

Handwritten signature of Christopher Daniel Acosta Cajas, featuring a large, stylized 'C' and 'A' that encircle the name.

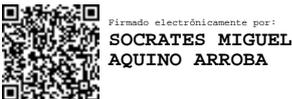
Christopher Daniel Acosta Cajas
172017793-8

Handwritten signature of Jean Pierre Clavón Enriquez, written in a cursive style.

Jean Pierre Clavón Enriquez
180475657-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO EXPLORADOR TERRESTRE CONTROLADO INALÁMBRICAMENTE**, realizado por los señores: **CHRISTOPHER DANIEL ACOSTA CAJAS** y **JEAN PIERRE CLAVÓN ENRIQUEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Nuñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 EDWIN FERNANDO VITERI NUNEZ Date: 2020.11.07 20:38:04 -05'00'	2020-08-28
Ing. John German Vera Luzuriaga DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION	 JOHN GERMAN VERA LUZURIAGA Date: 2020.11.07 21:35:51 -05'00'	2020-08-28
Ing. Socrates Miguel Aquino Arroba MIEMBRO DE TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: SOCRATES MIGUEL AQUINO ARROBA	2020-08-28

DEDICATORIA

Deseo dedicar este trabajo a toda mi familia y en especial a mi madre Sandrita que con su apoyo, paciencia y amor incondicional a sabido encaminar con mucho esfuerzo mi carrera universitaria; siendo madre, padre y amiga me ha otorgado el gran ejemplo de lucha y perseverancia, a mi hermano quien ha sido mi gran compañero en los buenos y malos momentos siendo mi motivo para seguir adelante llenando de orgullo al ser que ambos amamos, a mis amigos, compañeros y docentes que me brindaron los mejores consejos y conocimientos para que logre culminar con éxito esta etapa de mi vida.

Christopher

Dedico este trabajo a mis padres, los cuales me brindaron comprensión, apoyo y amor incondicional y gracias a ello han hecho posible que esta meta se concluya, ya que han sabido guiarme correctamente por el sendero de la vida. A mi hermano que ha sido mi mayor motivación para seguir adelante cada día y poder ser un ejemplo de lucha y vida para él.

Jean Pierre

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primera instancia a Dios que me ha otorgado la valentía y la fuerza para culminar con éxito mi carrera, a mi amada familia que siempre estuvo presente en mi corazón y en mi mente a pesar de la distancia, a mis amigos y compañeros que me brindaron grandes momentos y alegrías en especial a Bexy Rivera quien me brindo todo su apoyo y comprensión en los momentos más difíciles, a mi Tutor y Miembro de trabajo de titulación por sus consejos y recomendaciones para obtener los mejores resultados en este trabajo, a mis docentes que supieron impartirme correctamente todos los conocimientos a lo largo de toda mi carrera politécnica y finalmente a la Escuela e Institución que me abrió las puertas y me dio la oportunidad de prepararme como un profesional en la rama mecánica.

Christopher

Agradezco infinitamente a Dios y a mi familia por su apoyo y amor incondicional día tras día durante toda mi vida, lo cual ha hecho posible la culminación de esta etapa tan importante para mí, a todas las personas las cuales me han brindado su apoyo en todo momento, a mis amigos y compañeros con los que he compartido gratos momentos a lo largo de la carrera, a todos los docentes que han hecho parte de mi formación académica. Al-lahu-àkbar.

Jean Pierre

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Formulación del problema.....	3
1.3. Justificación.....	4
1.3.1. <i>Justificación Teórica</i>	4
1.3.2. <i>Justificación Metodológica</i>	4
1.3.3. <i>Justificación Práctica</i>	4
1.4. Alcance.....	4
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	4
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	4

CAPITULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
2.1. Vehículos terrestres no tripulados.....	6
2.2. Materiales de construcción.....	7
2.2.1. <i>Aleaciones de aluminio</i>	7
2.2.2. <i>Aceros al carbono</i>	8
2.2.3. <i>Policloruro de vinilo (PVC)</i>	8
2.3. Descripción de componentes electrónicos.....	9

2.3.1.	<i>Emisor y receptor de radiofrecuencia (RF)</i>	9
2.3.2.	<i>Motores de corriente continua (DC)</i>	10
2.3.3.	<i>Driver L298N (Puente H)</i>	11
2.3.4.	<i>Baterías de polímero de litio (Li-Po)</i>	11
2.3.5.	<i>Sistema digital de transmisión de video first person view (FPV)</i>	13
2.3.5.1.	<i>Tipos de polarización en antenas FPV</i>	15
2.4.	Diseño mecánico de elementos de máquinas	16
2.4.1.	<i>Etapas diseño</i>	16
2.4.2.	<i>Teorías de falla</i>	17
2.4.2.1.	<i>Teoría del esfuerzo cortante máximo para materiales dúctiles</i>	18
2.4.2.2.	<i>Teoría de la energía de distorsión para materiales dúctiles</i>	18
2.4.3.	<i>Fatiga</i>	20
2.4.3.1.	<i>Criterios de falla por fatiga</i>	22
2.4.3.2.	<i>Fatiga con esfuerzos combinados</i>	23
2.4.3.3.	<i>Teorías de falla con esfuerzos combinados</i>	24
2.5.	Sistema de estabilización	24
2.5.1.	<i>Barra diferencial de estabilización</i>	25
2.5.2.	<i>Estabilización por engranajes</i>	26
2.5.3.	<i>Estabilización electrónica por servomotores</i>	27
2.5.4.	<i>Estabilización por amortiguadores</i>	27
2.6.	Sistema de suspensión	28
2.6.1.	<i>Oscilación no amortiguada</i>	28
2.6.2.	<i>Amortiguamiento</i>	28
2.6.3.	<i>Oscilador amortiguado</i>	29
2.6.3.1.	<i>Caso sobreamortiguado</i>	30
2.6.3.2.	<i>Caso subamortiguado</i>	31
2.6.3.3.	<i>Amortiguamiento critico</i>	32
2.6.4.	<i>Sistemas masa-amortiguador-resorte por función de transferencia</i>	33
2.7.	Estudio de la cinemática	34

CAPITULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	39
----	---------------------------------	----

3.1.	Proceso del despliegue de la casa de la calidad	39
3.1.1.	<i>Identificación de necesidades</i>	39
3.1.2.	<i>Evaluación del usuario</i>	40
3.1.3.	<i>Análisis de competitividad</i>	40
3.1.4.	<i>Correlaciones</i>	44
3.1.5.	<i>Evaluación técnica</i>	44
3.2.	Despliegue de la casa de la calidad	45
3.3.	Análisis funcional / modular	46
3.3.1.	<i>Matriz morfológica</i>	46
3.3.2.	<i>Análisis funcional</i>	46
3.3.2.1.	<i>Análisis funcional de materiales</i>	47
3.3.2.2.	<i>Análisis funcional de comunicación</i>	50
3.3.2.3.	<i>Análisis funcional del sistema de estabilización</i>	53
3.3.2.4.	<i>Análisis funcional del sistema motriz</i>	58
3.4.	Diseño conceptual	61
3.5.	Análisis PERT – CPM	62
3.5.1.	<i>Identificación de actividades para la construcción del vehículo</i>	63
3.6.	Diseño electrónico	64
3.6.1.	<i>Diseño de la electrónica de potencia</i>	64
3.6.2.	<i>Diseño de la electrónica de control</i>	66
3.6.3.	<i>Proceso de fabricación de la placa madre</i>	68
3.6.4.	<i>Ensamble de los componentes</i>	69
3.6.5.	<i>Asignación de canales y programación interna</i>	70
3.7.	Diseño mecánico	73
3.7.1.	<i>Modelo de construcción</i>	73
3.7.2.	<i>Construcción del armazón</i>	74
3.7.2.1.	<i>Construcción de la cubierta de acrílico</i>	74
3.7.2.2.	<i>Construcción de las bases de los rodamientos</i>	75
3.7.2.3.	<i>Fabricación de eje principal</i>	75
3.7.3.	<i>Construcción de la estructura</i>	76
3.7.3.1.	<i>Corte, cilindrado y refrentado de la tubería</i>	76
3.7.3.2.	<i>Mecanizado de los accesorios</i>	77

3.7.3.3.	<i>Mecanizado del refuerzo del eslabón 3</i>	77
3.7.3.4.	<i>Ensamble de la articulación delantera</i>	78
3.7.3.5.	<i>Ensamble de la articulación principal</i>	78
3.7.3.6.	<i>Ensamble total del lateral</i>	79
3.7.4.	<i>Ensamble general</i>	79
3.7.4.1.	<i>Ensamble total del armazón</i>	79
3.7.4.2.	<i>Ensamble de la electrónica</i>	80
3.7.4.3.	<i>Ensamble final</i>	80

CAPITULO IV

4.	RESULTADOS	81
4.1.	Coefficientes de seguridad de los elementos mecánicos	81
4.2.	Resultados del estudio de la cinemática del vehículo explorador	89
4.3.	Comportamiento del sistema de estabilización por amortiguadores	90
4.4.	Estudio de límites de locomoción	92
4.4.1.	<i>Obtención del toque y potencia máxima</i>	92
4.4.2.	<i>Evaluación de potencia mecánica en casos básicos</i>	94
4.4.3.	<i>Superación de obstáculos</i>	95
4.4.4.	<i>Planos inclinados</i>	97
4.4.5.	<i>Deslizamiento y caída del vehículo</i>	98
4.5.	Pruebas de campo	100
4.5.1.	<i>Rango de transmisión por radio frecuencia (RF)</i>	100
4.5.2.	<i>Rango de transmisión de video first person view (FPV)</i>	100
4.5.3.	<i>Autonomía del vehículo explorador</i>	101
	CONCLUSIONES	102
	RECOMENDACIONES	103

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Propiedades de los Aluminios.....	7
Tabla 2-2:	Propiedades de Aceros bajos en carbono.....	8
Tabla 3-2:	Propiedades del PVC.....	8
Tabla 1-3:	Voz del Usuario.....	40
Tabla 2-3:	Ponderación para el factor de venta.....	41
Tabla 3-3:	Contraste entre competencias de mercado.....	42
Tabla 4-3:	Resultado de encuesta.....	43
Tabla 5-3:	Calificación para correlaciones.....	44
Tabla 6-3:	Compromisos técnicos.....	44
Tabla 7-3:	Matriz morfológica.....	46
Tabla 8-3:	Criterios de valoración para cada solución – Materiales	48
Tabla 9-3:	Criterios de valoración – Materiales.....	48
Tabla 10-3:	Evaluación de criterios ponderativos – Materiales.....	48
Tabla 11-3:	Evaluación del criterio Propiedades Físicas del material.....	49
Tabla 12-3:	Evaluación del criterio Peso del material.....	49
Tabla 13-3:	Evaluación del criterio Costo del material.....	49
Tabla 14-3:	Tabla de Conclusiones – Materiales.....	49
Tabla 15-3:	Criterios de valoración para cada solución – comunicación.....	51
Tabla 16-3:	Criterios de valoración –comunicación.....	51
Tabla 17-3:	Evaluación de criterios ponderativos – comunicación.....	52
Tabla 18-3:	Evaluación del criterio distancia máxima de comunicación.....	52
Tabla 19-3:	Evaluación del criterio costo del sistema de comunicación.....	52
Tabla 20-3:	Evaluación del criterio interferencia en comunicación.....	52
Tabla 21-3:	Evaluación del criterio ancho de banda.....	53
Tabla 22-3:	Evaluación del criterio peso del sistema de comunicación.....	53
Tabla 23-3:	Tabla de Conclusiones – sistema de comunicación.....	53
Tabla 24-3:	Criterios de valoración para cada solución – Sistema de estabilización.....	55

Tabla 25-3:	Criterios de valoración - Sistema de estabilización.....	55
Tabla 26-3:	Evaluación de criterios ponderativos - Sistema de estabilización.....	56
Tabla 27-3:	Evaluación del criterio Capacidad de suspensión.....	56
Tabla 28-3:	Evaluación del criterio Velocidad de amortiguación.....	56
Tabla 29-3:	Evaluación del criterio Precisión de movimiento.....	56
Tabla 30-3:	Evaluación del criterio Peso del sistema.....	57
Tabla 31-3:	Evaluación del criterio Costo del sistema.....	57
Tabla 32-3:	Tabla de Conclusiones – Sistema de estabilización.....	57
Tabla 33-3:	Criterios de valoración para cada solución – sistema motriz.....	59
Tabla 34-3:	Criterios de valoración – sistema motriz.....	59
Tabla 35-3:	Evaluación de criterios ponderativos - Sistema motriz.....	60
Tabla 36-3:	Evaluación del criterio Potencia.....	60
Tabla 37-3:	Evaluación del criterio velocidad.....	60
Tabla 38-3:	Evaluación del criterio alimentación.....	60
Tabla 39-3:	Evaluación del criterio costo del sistema motriz	61
Tabla 40-3:	Evaluación del criterio peso del sistema	61
Tabla 41-3:	Tabla de Conclusiones – Sistema motriz.....	61
Tabla 42-3:	Actividades y correlaciones.....	63
Tabla 43-3:	Propiedades del Regulador LM7805.....	65
Tabla 44-3:	Movimientos con Activación de Mezclas.....	72
Tabla 45-3:	Modalidad de conducción.....	73
Tabla 1-4:	Materiales y nomenclatura de los elementos del vehículo explorador.....	81
Tabla 2-4:	Esfuerzos y coeficiente de seguridad del lado izquierdo.....	88
Tabla 3-4:	Esfuerzos y coeficiente de seguridad del lado derecho.....	88
Tabla 4-4:	Dimensiones generales del vehículo explorador.....	89
Tabla 5-4:	Comportamiento del vehículo a condiciones críticas.....	90
Tabla 6-4:	Constantes del amortiguador.....	90
Tabla 7-4:	Potencia Eléctrica en un motor.....	93
Tabla 8-4:	Torque máximo en un motor.....	94
Tabla 9-4:	Coefficientes de rozamiento.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Explorador acuático NEREUS.....	6
Figura 2-2:	Torreta de armamento Kaláshnikov.....	7
Figura 3-2:	Componentes del radio control FlySky Fs-i6x.....	9
Figura 4-2:	Receptor de radio control FlySky Fs-iA10B.....	10
Figura 5-2:	Componentes de un Motor de Corriente Continua.....	10
Figura 6-2:	Motor de Corriente Continua con Reductor.....	11
Figura 7-2:	Puente en H (L298N)	11
Figura 8-2:	Batería de Polímero de Litio (Li-Po)	12
Figura 9-2:	Disposición de celdas de Baterías Li-Po.....	13
Figura 10-2:	Sistema FPV.....	14
Figura 11-2:	Patrón de radiación	16
Figura 12-2:	Representación Gráfica de teorías de falla.....	20
Figura 13-2:	Barra diferencial de estabilización en el <i>Curiosity</i>	25
Figura 14-2:	Sistema de suspensión diferencial.....	26
Figura 15-2:	Sistema de estabilización por engranes.....	26
Figura 16-2:	Sistema de estabilización por servomotores.....	27
Figura 17-2:	Sistema masa, muelle y amortiguador	33
Figura 18-2:	Centro de Rotación del Vehículo.....	35
Figura 19-2:	Dimensiones del Vehículo explorador.....	35
Figura 20-2:	Posicionamiento del vehículo en un plano de referencia.....	36
Figura 1-3:	Casa de la Calidad.....	45
Figura 2-3:	Vista isométrica del vehículo explorador terrestre.....	62
Figura 3-3:	Vista lateral del vehículo explorador terrestre.....	62
Figura 4-3:	Vista superior del vehículo explorador terrestre.....	62
Figura 5-3:	Diagrama PERT - CPM.....	64
Figura 6-3:	Conexión del Regulador LM7805.....	65
Figura 7-3:	Comprobación en Proteus 8 del Regulador LM7805.....	65

Figura 8-3:	Fuente reguladora de Voltaje.....	66
Figura 9-3:	Distribución de señales en Proteus.....	67
Figura 10-3:	PCB de la Placa Madre.....	67
Figura 11-3:	PCB de la Placa Madre para impresión.....	68
Figura 12-3:	Placa previa al baño químico.....	68
Figura 13-3:	Resultado del baño químico.....	69
Figura 14-3:	Diagrama total de conexiones.....	69
Figura 15-3:	Montaje de los componentes electrónicos.....	70
Figura 16-3:	Diagrama de distribución de canales.....	70
Figura 17-3:	Configuración Mix #1.....	71
Figura 18-3:	Configuración Mix #2.....	71
Figura 19-3:	Modelado final del vehículo explorador.....	73
Figura 20-3:	Modelo de estudio de esfuerzos en Adams.....	74
Figura 21-3:	Cubierta de acrílico con refuerzo de aluminio.....	74
Figura 22-3:	Mecanizado de la base de rodamiento.....	75
Figura 23-3:	Base de Rodamiento.....	75
Figura 24-3:	Mecanizado del eje.....	76
Figura 25-3:	Refrendado de la tubería.....	76
Figura 26-3:	Cilindrado de la tubería.....	76
Figura 27-3:	Mecanizado de articulación principal.....	77
Figura 28-3:	Cilindrado del refuerzo eslabón 3.....	77
Figura 29-3:	Ranurado del refuerzo.....	77
Figura 30-3:	Refuerzo de eslabón 3.....	78
Figura 31-3:	Ensamble de articulación delantera.....	78
Figura 32-3:	Ensamble de la articulación Principal.....	79
Figura 33-3:	Ensamble total lateral.....	79
Figura 34-3:	Ensamble total del armazón.....	79
Figura 35-3:	Ensamble de la electrónica.....	80
Figura 36-3:	Ensamble final.....	80
Figura 1-4:	Nomenclatura de los elementos.....	81
Figura 2-4:	Análisis de Von Mises en MSC Adams.....	82

Figura 3-4:	Función de transferencia.....	91
Figura 4-4:	Análisis de obstáculos a un juego de neumáticos.....	96
Figura 5-4:	Análisis de obstáculos a ambos lados.....	96
Figura 6-4:	Análisis a pendientes positivas.....	97
Figura 7-4:	Análisis de plano inclinado en descenso.....	98
Figura 8-4:	Posicionamiento del vehículo en un plano de referencia.....	99
Figura 9-4:	Medición satelital del rango de radiofrecuencia.....	100
Figura 10-4:	Medición satelital del rango de comunicación FPV.....	101
Figura 11-4:	Revisión de autonomía del vehículo explorador.....	101

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Curva de descarga de baterías Li-Po.....	13
Gráfico 2-2:	Proceso de diseño.....	17
Gráfico 3-2:	Teorías de falla a fatiga.....	23
Gráfico 4-2:	Curvas de un movimiento Sobreamortiguado.....	31
Gráfico 5-2:	Curvas de un movimiento Subamortiguado.....	32
Gráfico 6-2:	Curvas de un movimiento Amortiguado críticamente.....	32
Gráfico 1-4:	Esfuerzo Equivalente de articulaciones principales.....	82
Gráfico 2-4:	Esfuerzo Equivalente de articulaciones frontales.....	83
Gráfico 3-4:	Esfuerzo Equivalente de Bocines.....	83
Gráfico 4-4:	Esfuerzo Equivalente de bases frontales de amortiguadores.....	83
Gráfico 5-4:	Esfuerzo Equivalente de bases traseras de amortiguadores.....	84
Gráfico 6-4:	Esfuerzo Equivalente de codos de 135°.....	84
Gráfico 7-4:	Esfuerzo Equivalente de Codos Delanteros:	84
Gráfico 8-4:	Esfuerzo Equivalente de Codos Intermedios.....	85
Gráfico 9-4:	Esfuerzo Equivalente de Codos Traseros.....	85
Gráfico 10-4:	Esfuerzo Equivalente de Eslabones 1.....	85
Gráfico 11-4:	Esfuerzo Equivalente de Eslabones 2.....	86
Gráfico 12-4:	Esfuerzo Equivalente de Eslabones 3.....	86
Gráfico 13-4:	Esfuerzo Equivalente de Eslabones 4.....	86
Gráfico 14-4:	Esfuerzo Equivalente de Eslabones 5.....	87
Gráfico 15-4:	Esfuerzo Equivalente de Pasadores.....	87
Gráfico 16-4:	Revoluciones del motor en función del voltaje.....	89
Gráfico 17-4:	Señal pulsátil de las fuerzas.....	91
Gráfico 18-4:	Respuesta del amortiguador.....	91
Gráfico 19-4:	Deformación del amortiguador.....	92
Gráfico 20-4:	Potencia consumida a voltaje constante de 9V.....	93
Gráfico 21-4:	Consumo de potencia en recta.....	94

Gráfico 22-4:	Consumo de potencia en pendiente positiva.....	95
Gráfico 23-4:	Consumo de potencia en giro del vehículo.....	95
Gráfico 24-4:	Velocidad a diferentes ángulos en ascenso.....	97
Gráfico 25-4:	Velocidad a diferentes ángulos en descenso.....	98
Gráfico 26-4:	Deslizamiento lateral del vehículo explorador.....	99

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: MANUAL DE USUARIO Y MANTENIMIENTO

ANEXO B: PLANIMETRÍA

ANEXO C: NORMA INEN 2497

ANEXO D: ESPECIFICACIONES DE LA CÁMARA

ANEXO E: ESPECIFICACIONES DEL TRANSMISOR

ANEXO F: FOTOS DE PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

RESUMEN

El trabajo de titulación tuvo por objetivo el diseño, modelado, construcción y programación de un prototipo de vehículo explorador terrestre con visión en tiempo real controlado de forma inalámbrica en un rango máximo de operatividad de 50 metros. El proceso de selección de los materiales y de los componentes que conformaron al vehículo fueron establecidos mediante la metodología de despliegue de la función de calidad bajo criterios ponderativos, con ello se estableció un diseño conceptual al cual posteriormente se sometió a un análisis de ingeniería asistida por computadora de esfuerzos de Von Mises para obtener los coeficientes de seguridad y validar la resistencia mecánica de los elementos que conforman al vehículo en condiciones dinámicas. Se realizó el estudio correspondiente para facilitar el proceso de control de señales electrónicas y la construcción de la placa madre que controla a todos los componentes eléctricos. Al establecer la geometría y dimensiones de los elementos se realizó la construcción por medio de procesos de diseño y manufactura asistida por computadora con la finalidad de obtener la mayor precisión posible. Del proceso constructivo se obtuvo el vehículo explorador con un coeficiente de seguridad superior a 1 en todos los elementos mecánicos evaluándolos mediante la teoría de Goodman para elementos a fatiga. Se analizó su comportamiento mediante una matriz jacobiana la cual rige el movimiento de robots omnidireccionales en condiciones máximas de voltaje. Se realizaron varios análisis cinemáticos para determinar los límites de locomoción y la influencia del sistema de amortiguación en terrenos irregulares. Se concluyó que el vehículo explorador es capaz de mantener una comunicación estable tanto en radio frecuencia como en transmisión de video en primera persona en un rango de 200 metros radiales considerando un terreno urbano con una densidad media de edificaciones. Se recomienda la incorporación de sensores de condiciones ambientales para mejorar la adquisición de datos informativos del terreno a explorar.

Palabras clave: <DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN>, <INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADOR>, <RADIO FRECUENCIA (RF)>, <VISIÓN EN TIEMPO REAL>, <ANÁLISIS DINÁMICO>.



Firmado electrónicamente por:
JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS

SUMMARY

The objective of the present research work was the design, modeling, construction and programming of a prototype of a land explorer vehicle with wirelessly controlled real-time vision in a maximum operating range of 50 meters. The process for selecting the materials and components that made up the vehicle were established through the methodology of deployment of the quality function under weighting criteria, with this a conceptual design was established which was subsequently subjected to an engineering analysis assisted by Von Mises stress computer to obtain safety coefficients and validate the mechanical resistance of the elements that make up the vehicle under dynamic conditions. The corresponding study was carried out to facilitate the electronic signal control process and the construction of the motherboard that controls all the electrical components. When establishing the geometry and dimensions of the elements, the construction was carried out through computer-aided design and manufacturing processes in order to obtain the highest possible precision. From the construction process, the explorer vehicle was obtained with a safety coefficient greater than 1 in all mechanical elements, evaluating them using Goodman's theory for fatigue elements. Their behavior was analyzed using a Jacobian matrix which governs the movement of omnidirectional robots under maximum voltage conditions. Several kinematic analyzes were carried out to determine the limits of locomotion and the influence of the damping system on uneven terrain. It was concluded that the rover is capable of maintaining stable communication both in radio frequency and in first person video transmission in a range of 200 radial meters considering an urban terrain with an average density of buildings. The incorporation of environmental conditions sensors is recommended to improve the acquisition of informative data of the terrain to be explored.

Keywords: <DESIGN AND CONSTRUCTION>, <COMPUTER-ASSISTED ENGINEERING>, <RADIO FREQUENCY (RF)>, <REAL-TIME VISION>, <DYNAMIC ANALYSIS>.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día a nivel global, la robótica ha presentado avances significativos en cuanto a herramientas que aportan a la exploración y reconocimiento de diversos terrenos fuera de nuestro planeta (Ribeiro et al., 2015), todo esto a partir de la insaciable necesidad de adquirir conocimiento por parte del ser humano (Dos et al., 2016). La ocupación humana de otros planetas ha sido siempre un objetivo planteado por los científicos, pero para tal objetivo es necesario conocer las características del medio del planeta a explorar (Greicius, 2015), un claro ejemplo de lo antes mencionado son las investigaciones realizadas por diferentes entidades y agencias espaciales (NASA, 2010), las cuales son reconocidas por su incesable trabajo en las diferentes misiones enviadas a la luna y marte. Una de las formas para conocer si la colonización humana es factible es enviar sondas exploradoras evitando así poner en riesgo la vida humana (Rincon, 2019).

Por otra parte, los vehículos exploradores no son de uso exclusivo para el ámbito espacial, sino también han resultado favorables como elementos de apoyo en diversas actividades tales como: exploraciones posteriores a catástrofes naturales (Sánchez, 2017), contrarrestar incendios, traslado de insumos médicos, alimenticios y armamentísticos (Dynamics, 2019), reconocimiento de artefactos explosivos (Erazo, 2009), recolección de datos en ecosistemas inhóspitos (Quiroz et al., 2016), inspección de tuberías, entre otros. Esta diversidad de aplicaciones ha permitido la optimización de procesos humanos gracias a la implementación de nuevas tecnologías, logrando así que muchas de las tareas realizadas por los seres humanos sean reemplazadas por robots evitando así exponer al ser humano a situaciones insalubres y peligrosas (BOWEN et al., 2010). Sin embargo, esta situación presenta desventajas, ya que la robótica ha dejado sin empleo a muchos trabajadores debido a que un robot realiza funciones con menores costos de operaciones y con un óptimo desempeño (Méndez et al., 2019).

Ecuador ha presentado un avance significativo en el desarrollo de tecnologías debido a la implementación de procesos automatizados en diferentes sectores económicos, acogiendo en una manera favorable a la industria 4.0 (Barzallo, 2019), estas tecnologías no son aplicadas únicamente en el sector industrial, ya que también han sido implementadas en el ámbito académico permitiendo que los estudiantes se involucren con dichas tecnologías previo a su inserción al campo laboral (Bravo et al., 2019). Esto se ve reflejado en el desarrollo de vehículos exploradores por parte de diferentes instituciones de educación superior, dando como resultado nuevos métodos de comunicación y control (Arevalo, 2005), amplificando el rango de operación y volviendo intuitivo el manejo de los vehículos desarrollados (Quezada, 2014); también se ha optado por la adición de

otro tipo de herramientas como brazos robóticos, extintores (López et al., 2015), cepillos (Husaco, Yacelga, 2015), entre otros incrementando así las prestaciones al usuario (Fuentes, Pilco, 2014).

En la ciudad de Riobamba, el aporte otorgado por las Universidades locales ha sido notorio, puesto a que se ha dado mayor énfasis a los vehículos terrestres no tripulados en cuanto a nuevas propuestas de control y monitoreo, por ejemplo: en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se ha desarrollado el vehículo de exploración y mitigación de incendios tipo oruga para terrenos irregulares (Borja, Bravo, 2016), el vehículo hexápodo para inspección de tubería (Jarrín et al., 2015), y en la Universidad Nacional de Chimborazo fue desarrollado el vehículo de transporte de mensajería interna (Fuentes, Pilco, 2014).

CAPITULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Hasta la actualidad, no se ha podido explorar muchos lugares terrestres por la dificultad o el riesgo que presenta hacerlo (Parra, 2013). Varias organizaciones militares y agencias espaciales de varios países como Estados Unidos, Reino Unido, Rusia, China, entre otros han optado por construir vehículos exploradores terrestres no tripulados ya que estos representan una herramienta de ayuda fundamental para conocer, o dar un punto de vista de los secretos que alojan dichos lugares (Quiroz et al., 2016). Por otra parte, se les ha dado otra función a dichos vehículos, siendo herramienta de supervivencia o apoyo para soldados en conflictos bélicos reduciendo así las pérdidas humanas (BOWEN et al., 2010).

En Ecuador el desarrollo de vehículos exploradores se ha centrado en el uso de exploradores aéreos no tripulados dejando en un segundo plano los exploradores terrestres (Reyes et al., 2019). Las ventajas que presenta un explorador terrestre frente a un aéreo es la capacidad de transitar por superficies irregulares gracias a su sistema de locomoción principalmente en lugares con gran densidad de vegetación (Cerezo, Briones, 2018).

Con el diseño y la implementación de un vehículo explorador terrestre con un sistema de suspensión se lograría acceder a lugares inhóspitos, evitando así poner en riesgo la integridad de las personas encargadas de realizar los análisis de dichos entornos.

1.2. Formulación del problema.

En Ecuador, el desarrollo de tecnología de exploración terrestre se ha centrado en su mayoría en el ámbito electrónico, por lo que surge la necesidad de un vehículo enfocado en la optimización de la rama mecánica con la implementación de sistemas de amortiguación. Posterior a una investigación a nivel interno dentro de la facultad de mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se pudo constatar que, debido a la reciente creación del Club Aeroespacial, este carece de un vehículo explorador terrestre de corto y mediano rango de operación con visión en tiempo real.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación Teórica

Utilizando los conocimientos adquiridos en las áreas de electrónica, automatización, control automático, resistencia de materiales y diseño de elementos de máquina, se va a disponer de las herramientas e información necesaria para la selección adecuada de los componentes electrónicos, así como también para el diseño, representación planimétrica y la construcción de los elementos mecánicos estructurales del vehículo explorador terrestre.

1.3.2. Justificación Metodológica

La metodología del diseño mecánico busca justificar el aumento de la capacidad y la resistencia máxima que va a disponer el equipo, en comparación a otros modelos expuestos anteriormente en la introducción de este documento. Por tanto, pasa por un proceso de selección materiales disponibles comercialmente y la obtención de la geometría necesaria para optimizar los resultados cuando el equipo opere en casos críticos.

1.3.3. Justificación Práctica

El proyecto se realiza para profundizar e incrementar el conocimiento del estudiante con respecto a las siguientes áreas: electrónica, control automático, comunicación inalámbrica y diseño de elementos de máquinas en función a la resistencia de materiales.

1.4. Alcance

El proyecto tiene como finalidad el diseño teórico, simulación, programación y construcción de un vehículo explorador terrestre controlado inalámbricamente con un sistema de visión en tiempo real en un con un rango máximo de 50 m.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Diseñar, construir y programar un prototipo de vehículo explorador terrestre útil en sitios poco accesibles para el ser humano controlado de forma inalámbrica.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Revisar el material bibliográfico necesario respecto al diseño de vehículos exploradores terrestres y las diferentes formas de programación.

- Diseñar el sistema mecánico, electrónico de control y potencia del prototipo del vehículo explorador aplicando los conocimientos previamente adquiridos.
- Realizar la programación y control para el desplazamiento del vehículo explorador en un rango máximo de cincuenta metros.
- Realizar pruebas necesarias de funcionamiento que permitan constatar el correcto desempeño del prototipo de vehículo explorador, depurando así posibles errores.

CAPITULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Vehículos terrestres no tripulados

El deseo humano por colonizar otros planetas ha sido un objetivo primordial planteado por muchos científicos, el cuál ha sido limitado debido a la falta de conocimiento de las características en los ecosistemas presentes en otros planetas. Los centros espaciales han optado por enviar sondas exploradoras con el propósito de recolectar datos esenciales, evitando poner en riesgo la vida humana. Estos vehículos no son de uso exclusivos de las misiones de exploración en otros planetas como las realizadas por la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) sino que también se utilizan para llegar a lugares de difícil acceso para el ser humano en regiones inhóspitas del planeta tierra para recopilar datos como la composición del aire, composición del suelo, presencia de vida. Los robots exploradores controlados a distancia también son aplicados en diversas situaciones, por ejemplo, regiones abismales en el fondo marino.



Figura 1-2. Explorador acuático NEREUS

Fuente: BOWEN et al., 2010

Por medio de la robótica muchas de las tareas realizadas por humanos están siendo reemplazadas por robots, evitando de esta forma exponer a los seres humanos a situaciones insalubres y peligrosas en espacios confinados. Por mencionar un ejemplo, en el área militar los robots se han utilizado cada vez más en situaciones de combate al estar equipados con armas mucho más eficientes que las utilizadas por los humanos. Según los estudiosos, la manera en que se utiliza esta rama de la tecnología puede ser aprovechada por la humanidad para su acelerado desarrollo o para sentar las bases de su inminente destrucción, por tal motivo, el deber de aquellos con el conocimiento de estas tecnologías es difundirlo y usarlo en beneficio de la humanidad.



Figura 2-2. Torreta de armamento Kaláshnikov

Fuente: Lístseva, 2018

2.2. Materiales de construcción

Los vehículos exploradores no tripulados están expuestos a diferentes condiciones de operación, por ende, el material de construcción es un tema fundamental por tratar, generalmente se utilizan aleaciones metálicas no ferrosas, así como también otros tipos de materiales especiales como titanio y magnesio que tienen propiedades mecánicas elevadas en comparación a otras aleaciones ferrosas, con la diferencia de que tienen una menor densidad, considerando que se requiere encontrar un equilibrio entre el precio de la materia prima y su peso, se ha optado por considerar 3 materiales principales para el proceso de construcción.

2.2.1. Aleaciones de aluminio

En Ecuador una de las empresas más importantes para la distribución de perfiles de aluminio para usos arquitectónicos y estructurales es Cedal, la cual especifica que utiliza como materia prima lingotes de aluminio 6063, 6061 y 6005 siendo estos de alta calidad y resistencia, por otra parte, una aleación que se ha empezado a utilizar en la industria de la construcción de moldes para inyección de polímeros es el duraluminio, el cual utiliza como base a la aleación de aluminio 7075, por ende es necesario realizar una comparación de las propiedades de dichos materiales como se muestra en la Tabla 2-1.

Tabla 1-2. Propiedades de los Aluminios

CARACTERISTICA	6063	6061	6005	7075
Límite Elástico	≥ 195 MPa	≤ 85 MPa	≥ 103 MPa	≤ 145 MPa
Resistencia a la Tracción	≥ 230 MPa	≤ 150 MPa	≥ 172 MPa	≤ 275 MPa
Alargamiento	≥ 14 %	≥ 10 %	≥ 16 %	≥ 10 %
Módulo de Elasticidad	66 GPa	69 GPa	71 GPa	71.7 GPa
Densidad	2.7 kg/dm ³	2.7 kg/dm ³	2.7 kg/dm ³	2.8 kg/dm ³

Fuente: TotalMaterial, 2017

Realizado por: Autores

2.2.2. Aceros al carbono

Los aceros de bajo carbono son los más utilizados comercialmente para la construcción de elementos mecánicos debido a sus elevadas propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción, pero presentan la desventaja de ser materiales muy susceptibles a la corrosión y posee una mayor densidad, los dos aceros de transmisión más utilizados son AISI 1020 y AISI 1040 para los cuales se muestran sus principales características en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2. Propiedades de Aceros bajos en carbono

CARACTERISTICA	AISI 1020	AISI 1040
Límite Elástico	≥ 260 MPa	≥ 345 MPa
Resistencia a la Tracción	≥ 360 MPa	≥ 645 MPa
Alargamiento	≥ 12 %	≥ 10 %
Dureza	62 HRB	≥ 75 HRB
Módulo de Elasticidad	205 GPa	211 GPa
Densidad	7.73 kg/dm ³	7.85 kg/dm ³

Fuente: TotalMaterial, 2013

Realizado por: Autores

2.2.3. Policloruro de vinilo (PVC)

El material más utilizado en la industria agrícola y de construcción para la elaboración de sistemas de trasegado de fluidos es el PVC que presenta excelentes propiedades de resistencia a la exposición a diferentes agentes químicos, adicional a ello poseen una baja densidad, pero sus propiedades mecánica no superan a los metales convirtiéndolo en una gran opción para realizar la construcción del vehículo explorador debido a su bajo peso y balance de propiedades, las características se muestra en la Tabla 2-3.

Tabla 3-2. Propiedades del PVC

CARACTERISTICA	D6263 S-CPVC0211	D6263 S-CPVC0211
Resistencia a la Tracción	> 48 MPa	> 48 MPa
Resistencia al Impacto	80 J/m	35 J/m
Módulo de Elasticidad	2.76 GPa	2.76 GPa

Fuente: TotalMaterial, 2018

Realizado por: Autores

2.3. Descripción de componentes electrónicos

Para la fabricación de un vehículo explorador terrestre no tripulado es necesario de la integración de diferentes elementos electrónicos, los cuales permitan controlar y otorgar la potencia necesaria para que opere de manera óptima, a continuación, se detallan los elementos electrónicos considerados necesarios.

2.3.1. Emisor y receptor de radiofrecuencia (RF)

Una de las herramientas elementales concerniente al control de las acciones a distancia de un dispositivo siendo este aéreo o terrestre es el control a través de radiofrecuencia el cual consta de un equipo de emisor y receptor, este tipo de comunicación permite salvaguardar la vida del operario puesto a que se mantiene seguro en un rango establecido por la frecuencia a la que se controlada el dispositivo. El emisor es un mando conformado por una cantidad de canales que varían desde los 4 a 18 y estos están distribuidos entre joysticks, potenciómetros (ambos de tipo de señal analógica), interruptores de tipo de señal booleana o que permiten intercalar fácilmente entre distintos tipos de modos de conducción, finalmente una pantalla que permite al usuario realizar configuraciones y combinaciones entre los canales del transmisor. Por lo general este tipo de sistema de comunicación mantiene comercialmente una frecuencia de 2.4 GHz y una tecnología de espectro expandido.

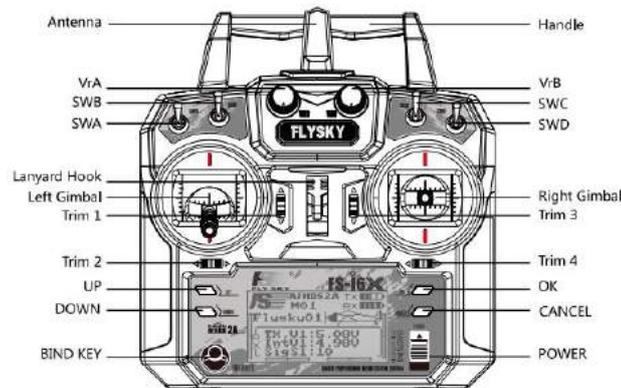


Figura 3-2. Componentes del radio control FlySky Fs-i6x

Fuente: FlySky, 2018

El receptor es el elemento electrónico encargado de recibir las señales enviadas por parte del emisor (mando) y distribuirlas a través de los canales que tiene el control, convirtiéndolas en señales electrónicas para que los diferentes actuadores que conformen al dispositivo preste movilidad en forma de comandos, es decir que las diferentes señales proporcionaran el control de la velocidad de los motores, inclinación o ángulo de apertura de los servomotores entre otras acciones, todo dependerá de los dispositivos conectados al receptor. Cabe mencionar que

transmisor o mando (TX) sólo puede establecer la comunicación con un receptor (Rx) específico de un mismo fabricante.

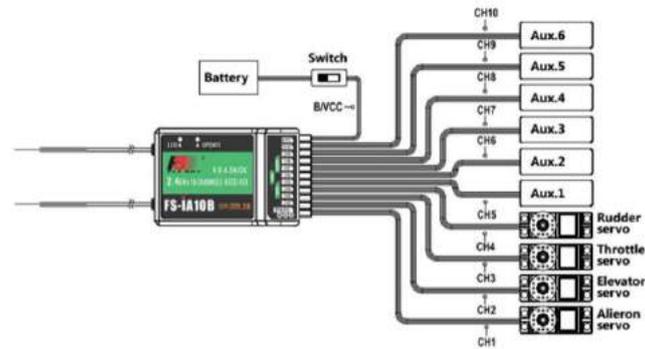


Figura 4-2. Receptor de radio control FlySky Fs-iA10B

Fuente: FlySky, 2018

2.3.2. Motores de corriente continua (DC)

El actuador eléctrico encargado de generar el movimiento a través de una carga de corriente eléctrica es el motor (DC), los motores de corriente continua están conformados por dos partes principales, la primera es el estator que es un imán permanente fijado al armazón del motor manteniendo una polaridad constante, la segunda es el rotor que es una serie de bobinas encargadas de generar la inducción electromagnética al ser alimentados por medio de corriente a través de escobillas fijas; estas partes al estar alineadas en un eje produce la rotación del mismo debido a que fluctúan las polaridades entre sí.

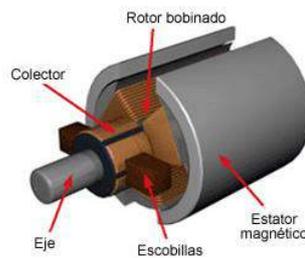


Figura 5-2. Componentes de un Motor de Corriente Continua

Realizado por: Autores

La ventaja de este tipo de motores aparte de la facilidad de conexión y el poco mantenimiento que se debe otorgar, es que permiten variar su velocidad a través de limitaciones de voltaje continuo por señales de tipo pulsátil PWM por otra parte permitir invertir el sentido de rotación solo con el cambio de polaridad de la corriente de alimentación, adicional a ello no presenta desventajas, convirtiéndolo en un motor idóneo para un trabajo continuo.

Los motores de corriente continua pueden ser diferenciados por la velocidad de salida debido a que algunos modelos están compuestos por un sistema de caja reductora la cual reduce la velocidad y aumenta el torque a la salida del eje, esto ocasiona que aumente el valor de carga en el arranque ya que tiene que vencer la inercia de todo el sistema del mecanismo que incorpora el motor.



Figura 6-2. Motor de Corriente Continua con Reductor

Realizado por: Autores

2.3.3. *Driver L298N (Puente H)*

El puente en H es un controlador electrónico que permite principalmente intercalar valores de salida de voltaje, es decir, se puede establecer una salida de entre 5 a 12 Volts y ser controlado con un voltaje inferior, además brinda la facilidad de generar un control de velocidad por medio de señales pulsátiles de voltaje (PWM) en un rango de 5 Volts máximos, es decir que pasa a ser las funciones de un relé con mayores opciones de control. Por otra parte, el puente en H consta con un limitador de voltaje el cual permite alimentar al controlador y aparte proporcionar una salida de 5 Volts en caso de requerirlo.

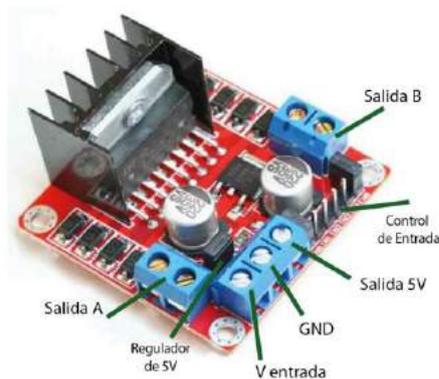


Figura 7-2. Puente en H (L298N)

Realizado por: Autores

2.3.4. *Baterías de polímero de litio (Li-Po)*

Para otorgar la alimentación a todos los componentes eléctricos y electrónicos del vehículo explorador terrestre es necesario la intervención de una fuente de energía, para lo cual las baterías

de polímero de litio (Li-Po) pasan a ser la mejor opción debido a su gran uso en drones, aviones y vehículos a escala. Las baterías Li-Po brindan grandes beneficios al ser baterías recargables de alta duración, por otra parte, su tasa de carga y descarga son altas esto quiere decir que el vehículo va a constar con una alta potencia disponible para el consumo de los dispositivos acoplados a dicha batería, debido a ello las baterías vienen en diferentes capacidades de almacenamiento según sean las necesidades (Alarcon, 2014). Al portar una amplia variedad de capacidad de carga y voltaje las baterías Li-Po se vuelven primordiales en el uso como fuente de alimentación de sistemas de propulsión para drones o vehículos de competición de radio frecuencia, además de alimentar sistemas de monitoreo y control en otro tipo de vehículos mucho más complejos. Cabe recalcar que aparte de presentar grandes ventajas las baterías Li-Po muestran una gran desventaja debido a que requieren un extremo cuidado al ser cargadas ya que tienen riesgo de incendio considerando que las baterías portan con un sistema de carga balanceada, además puede generarse sobrecalentamiento al sobreexponer la batería a condiciones de operación demasiado forzadas o elevadas temperaturas en la zona de ubicación de la batería.

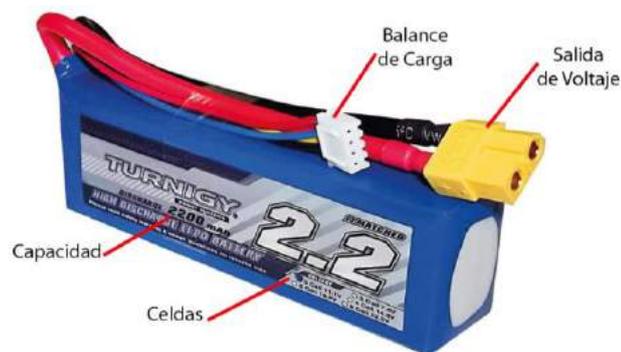


Figura 8-2. Batería de Polímero de Litio (Li-Po)

Realizado por: Autores

Internamente las baterías Li-Po se encuentran conformadas por celdas y cada una porta con una tensión nominal de 4.2 voltios, las cuales dependiendo de las necesidades del usuario van siendo conectadas en serie de esta forma aumentan el voltaje nominal, pero conservando su capacidad de almacenamiento, otro dato importante es que las baterías cuentan con una conexión para monitoreo de los voltajes individuales de cada celda, esto facilita que el cargador que se utilice verifique el estado de la batería y permita una carga proporcional aumentando de esta forma la vida útil de la batería.

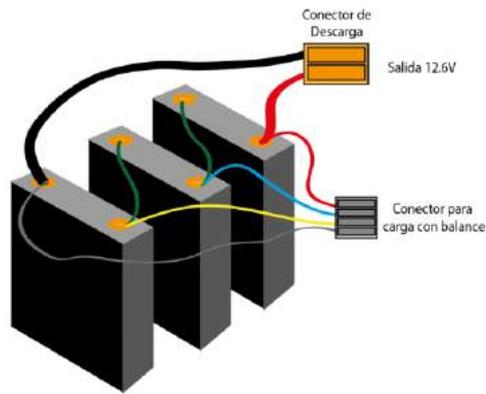


Figura 9-2. Disposición de celdas de Baterías Li-Po

Realizado por: Autores

En el gráfico que se muestra a continuación se ve como es el comportamiento del voltaje de una batería de 6 celdas a través del tiempo la cual va descargándose de forma constante a partir de un periodo de estabilización de la carga y al final un descenso del voltaje brusco, esto sucede cuando la batería se está quedando sin electrones y está llegando al valor del voltaje crítico, el descenso repentino es perjudicial para la vida útil de la batería por ello es la necesidad de no ocupar hasta la totalidad de su capacidad como fue mencionado anteriormente, algunos fabricantes recomiendan dejar hasta un 20% o 30% de su carga (Moore, 2008).

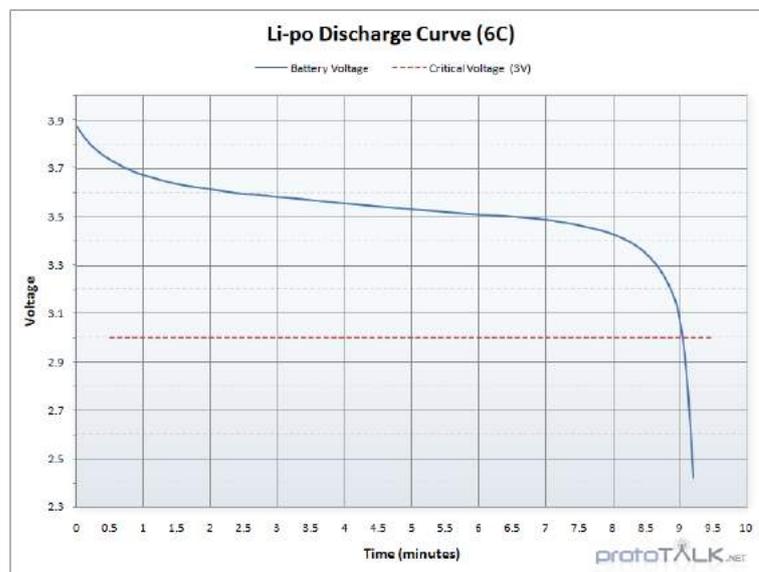


Gráfico 1-2. Curva de descarga de baterías Li-Po

Fuente: Moore, 2008

2.3.5. Sistema digital de transmisión de video first person view (FPV)

Una de las funciones más importantes en un vehículo no tripulado es el permitir al operador observar por donde se dirige y cuáles son los posibles obstáculos a los cuales debe enfrentarse y según ello tomar medidas preventivas para evitar colisiones o accidentes que puedan afectar a la seguridad

del vehículo, por tal motivo el sistema FPV es lo más idóneo, este sistema proviene del acrónimo First Person View o visión en primera persona, el cual está compuesto por 3 elementos principales:

- Cámara FPV
- Transmisor de Video (VTx)
- Receptor de Video (VRx)

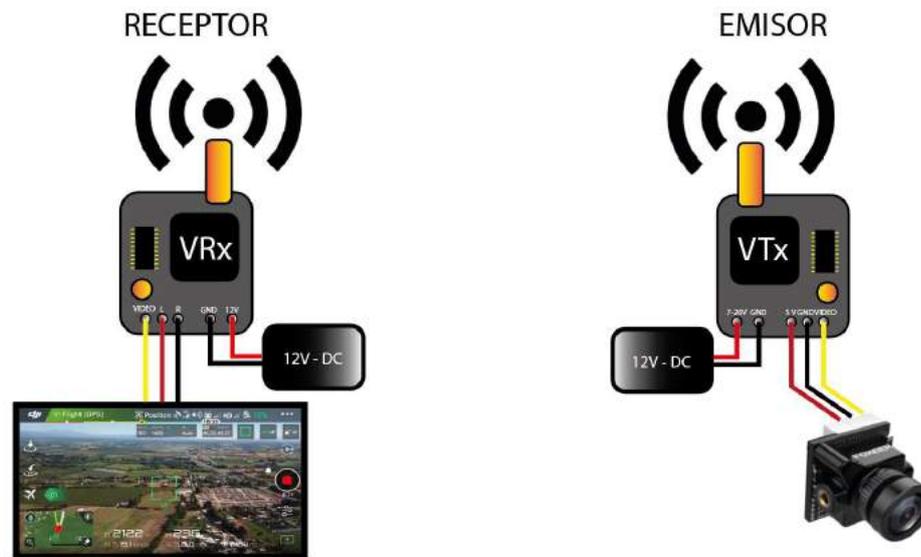


Figura 10-2. Sistema FPV

Realizado por: Autores

Es necesario mencionar que en cuanto a calidad de imagen se refiere, el sistema FPV no es la mejor opción, debido a que es un sistema de transmisión inalámbrica de señal analógica ya que utiliza un sistema TVL (Líneas de Televisión) disponible en dos formatos PAL para Europa y NTSC para América, dicho factor de TVL es importante en una cámara de FPV ya que mientras más elevado sea, mejor será la imagen esto se debe a que captura mayor cantidad de información, sin embargo no llega a tener una alta definición, Las señales de FPV son enviadas por medio de ondas a través diferentes frecuencias; este sistema presta la mayor ventaja al ser un equipo cuyo peso y espacio es reducido en comparación a otros sistemas de video en HD (*High Definition*).

El elemento intermediario que permite la comunicación inalámbrica entre el vehículo no tripulado y el usuario es el video transmisor (VTx) el cual consta con ciertas características que deben ser evaluadas, el primer dato importante es la frecuencia a la que trabaja, ya que de ello depende el alcance que va a tener para la comunicación y la penetración a través de obstáculos presentes en el camino de las ondas, esto quiere decir que mientras más baja sea la frecuencia mayor será el alcance entre la comunicación y atravesará con mayor facilidad los obstáculos, la frecuencia normalizada globalmente es de 5.8GHz pero existen transmisores que trabajan a 1.3Ghz los cuales

requiere de una licencia de radioaficionado (DDC, 2017). El segundo dato importante en los VTX es la potencia de trabajo, debido a que mientras mayor sea la potencia aumenta la cantidad de información permitida de transferencia y el rango de alcance de comunicación, adicional a ello una potencia superior brinda la facilidad de interactuar en un mayor número de canales dando la seguridad de evitar conflictos de superposición de señal.

El último factor importante para la transmisión de señal en los VTX es el tipo de polarización en las antenas FPV.

2.3.5.1. Tipos de polarización en antenas FPV

Las antenas usadas en sistemas FPV se clasifican de acuerdo con su tipo de polarización: lineal y circular. El término polarización hace referencia a la forma en que la señal de radio viaja a través del espacio.

- *Polarización lineal*

La señal que ha sido polarizada de forma lineal oscila de manera horizontal o vertical en un plano mientras esta se propaga. El tipo de polarización lineal es utilizada en antenas básicas tipo s debido a su simplicidad y fácil construcción.

Para asegurar una buena recepción y emisión de ondas al utilizar antenas polarizadas linealmente, estas deben alinearse con un mismo ángulo respecto al suelo garantizando así la máxima superposición de radiación.

Cuando el ángulo formado por las antenas de recepción y emisión es 90 respecto una con otra, se produce la menor cantidad de superposición de ondas, dando como resultado la pérdida de intensidad de señal y a este fenómeno se lo denomina polarización cruzada (Sáez, 2017).

- *Polarización circular*

Cuando se polariza una antena de forma circular la señal se transmite en planos horizontales y verticales con un desplazamiento de fase generalmente de 90 grados. Las antenas polarizadas de forma circular se subdividen en dos grupos.

- *Antena forma de trébol*

Las antenas en forma de trébol son usadas mayoritariamente en transmisores debido a su mayor alcance y penetración de la señal, este tipo de antenas suele ser más frágil y menos resistente a golpes.

- *Antena plana cortada*

La antena plana cortada es utilizada comúnmente como una antena receptora debido a su diseño poco aerodinámico por lo que en un sistema FPV de vuelo se lo utiliza únicamente en vuelos recreativos.

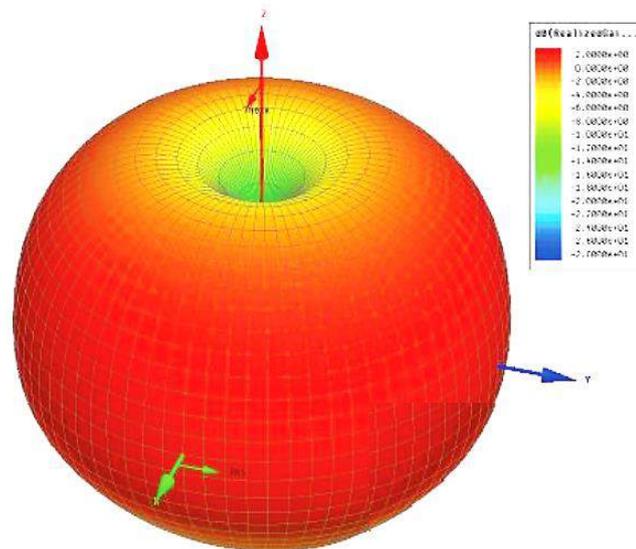


Figura 11-2. Patrón de radiación

Realizado por: Autores

2.4. Diseño mecánico de elementos de máquinas

Una máquina debe ser creada para satisfacer adecuadamente una necesidad, debido a ello la resistencia de los materiales es un factor vital, ya que mediante esta propiedad mecánica se determina la geometría y las dimensiones del elemento mecánico, adicional es necesario prever las circunstancias críticas a las cuales estará sometido. Cabe recalcar que los principios de diseño mecánico son universales, pero están sujetos a suposiciones o rangos de operatividad.

2.4.1. Etapas diseño

En el desarrollo de un conjunto mecánico, es necesario pasar por un proceso en donde se analizan los requerimientos del consumidor y el ingeniero es el encargado de transformar las necesidades en variables operativas para obtener mejores resultados y generar un producto final.

Para el diseño funcional, también llamado ingenieril se parte del reconocimiento de las necesidades que deben ser satisfechas por la máquina o el elemento, posterior a ello se define el problema que se requiere solucionar, lo cual permite replantear las necesidades o pasar a la fase de síntesis, en esta fase se concentran los puntos claves que facilitan la solución del problema antes planteado y por consiguiente para solucionar las necesidades iniciales.

En la fase de análisis y optimización se plantean las diferentes opciones que pueden resolver el problema inicial, de esta forma se identifican las opciones más adecuadas las cuales se evalúan mediante métodos ponderativos. Finalmente se presentan los resultados obtenidos mediante los métodos antes mencionados y se plasma todo este proceso en un diseño conceptual, el cual facilita la visualización y posterior construcción del producto final.

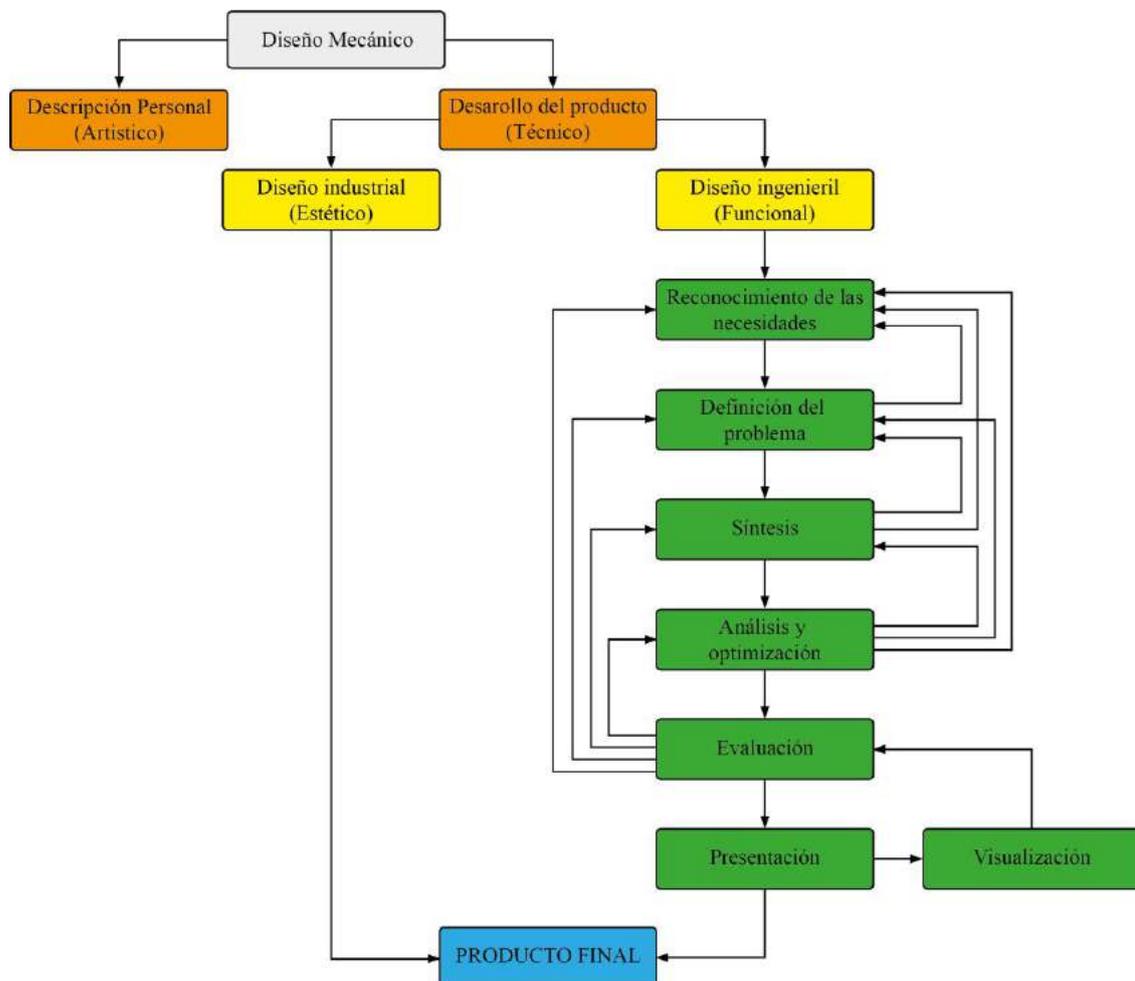


Gráfico 2-2. Proceso de diseño

Realizado por: Autores

2.4.2. Teorías de falla

Las fallas de un elemento hacen referencia a la pérdida parcial o total de su funcionalidad, las teorías de fallas se basan en la comparación del esfuerzo que actúa sobre el elemento a diseñar contra el esfuerzo resultante de un ensayo uniaxial de tracción o compresión. En un ensayo uniaxial la deformación que sufre una probeta en la dirección axial positiva es mayor, lo cual facilita la determinación del comportamiento de la elongación a medida que aumenta el esfuerzo, concluyendo con el esfuerzo máximo de tracción S_{ut} límite donde falla el elemento.

A través del tiempo se han desarrollado y probado varias hipótesis las cuales son ampliamente aceptadas en la actualidad debido a que no existe una teoría universal de falla.

2.4.2.1. Teoría del esfuerzo cortante máximo para materiales dúctiles

La teoría del esfuerzo cortante máximo es también llamada teoría de Tresca o Guest, la cual dicta, que la fluencia comienza cuando el esfuerzo principal máximo en un elemento es igual a la resistencia de fluencia del material (Shigley, 2008).

Muchas teorías de fallas se basan en la observación de las probetas sometidas a ensayos de tensión, durante dicha prueba se presentan líneas de desplazamiento denominadas líneas de Lüder, las cuales se encuentran aproximadamente a 45° . Debido a esto se concluye que el esfuerzo cortante máximo se encuentra a 45° del eje de tensión y es ahí cuando el mecanismo falla.

Teniendo en cuenta que un esfuerzo de tensión simple σ , se lo representa como: $\sigma = \frac{P}{A}$, conociendo que el esfuerzo cortante máximo ocurre a 45° de la superficie de tensión es $\tau_{max} = \frac{\sigma}{2}$, por tanto, se puede concluir que el esfuerzo cortante máximo cuando ocurre la fluencia del elemento es:

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{2}$$

Si se observa el círculo de Mohr de esfuerzos, se puede decir que el esfuerzo cortante máximo es igual a la diferencia entre los esfuerzos normales 1 y 3, por tanto, se expresa como:

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \geq \frac{S_y}{2}$$

De acuerdo con la teoría del cortante máximo, es posible determinar el valor de resistencia a la fluencia cortante, siendo la siguiente:

$$S_{sy} = 0.5S_y$$

Para obtener mejores resultados en el diseño se añade un factor de seguridad en la ecuación inicial, dando como resultado:

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{2n}$$

2.4.2.2. Teoría de la energía de distorsión para materiales dúctiles

La teoría de energía de distorsión (TED) se dio a conocer por primera vez al momento de comprobar que los materiales dúctiles sometidos a esfuerzos hidrostáticos presentaban una mayor resistencia a la fluencia que los valores presentados en ensayos de tracción simples. Por lo que se

postuló que la fluencia no ocurre únicamente por fenómenos de compresión o tensión, sino que dicho efecto está estrechamente ligada a la distorsión angular del elemento sometido a esfuerzos.

La teoría de energía de distorsión, también llamada teoría de Von Mises – Hencky, dicta que la fluencia inicia cuando la energía de distorsión por unidad de volumen iguala a la energía de distorsión por unidad de volumen en un ensayo de tracción simple.

$$U = Uv - Ud$$

Donde:

U : Energía de deformación.

Uv : Energía de deformación por unidad de volumen.

Ud : Energía de distorsión.

De esta afirmación general se puede despejar la energía de distorsión y compararla con la energía producida en un ensayo de tracción.

$$Ud = U - Uv$$

$$Ud = \frac{1 + \nu}{3E} Sy^2$$

Si se encuentra en un caso generalizado de esfuerzo se puede predecir que la fluencia puede ser expresada de la siguiente forma:

$$\left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \geq Sy$$

Si se considera el esfuerzo plano, donde σ_A y σ_B son los esfuerzos principales y son diferentes de cero, obteniendo el esfuerzo de Von Mises de la siguiente manera:

$$\sigma' = (\sigma_A^2 - \sigma_A\sigma_B + \sigma_B^2)^{\frac{1}{2}}$$

Si se escribe el esfuerzo de Von Mises con unas componentes tridimensionales (x, y, z), dicho esfuerzo se representa como:

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2) \right]^{\frac{1}{2}}$$

Esta ecuación también puede ser expresada para un esfuerzo plano:

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{\frac{1}{2}}$$

Si se considera el efecto de un esfuerzo cortante puro, es decir que $\sigma_x = \sigma_y = 0$, es posible determinar el valor de la fluencia, de la siguiente forma:

$$(3\tau_{xy}^2)^{\frac{1}{2}} = Sy \quad \therefore \quad \tau_{xy} = \frac{Sy}{\sqrt{3}} = 0.577Sy$$

Por lo que la resistencia a la fluencia cortante de acuerdo con la teoría de energía de distorsión se expresa como:

$$Ssy = 0.577Sy$$

Como se observa, los valores de resistencia a la fluencia cortante son en principio muy similares, pero al momento de compararlos numéricamente, la teoría de energía de distorsión es aproximadamente un 15% mayor que la teoría de cortante máximo, como se muestra en la Figura 12-2.

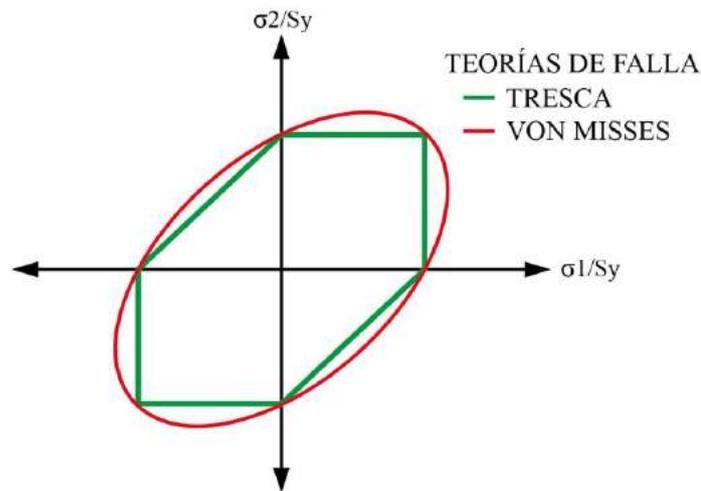


Figura 12-2. Representación Gráfica de teorías de falla

Realizado por: Autores

Debido a los valores diferentes de fluencia por esfuerzo cortante máximo se considera que la teoría del cortante máximo es más conservadora respecto a la teoría de energía de distorsión.

2.4.3. Fatiga

La fatiga es un efecto de estrés mecánico, en donde un elemento de máquina es sometido a una fluctuación de los valores de cargas a medida que transcurre el tiempo, dichas cargas son capaces de generar esfuerzos cíclicos que dan como resultado una falla por daño acumulado.

Previa a la falla de un elemento sometido a cargas estáticas, se observan grandes deformaciones, lo cual es un indicativo visual de su posible falla, pero los estudios realizados a elementos de máquinas bajo la acción de esfuerzos fluctuantes, han determinado que el esfuerzo máximo al que fueron sometidos está por debajo del esfuerzo último de tracción S_{ut} y muchos de los casos estuvo por debajo del esfuerzo límite de fluencia S_y por tal motivo la fatiga no muestra una advertencia clara de su posible falla, por lo que al presentarse de manera inesperada se considera muy peligrosa.

La falla por fatiga se presenta en tres etapas las cuales son:

- **Etapa I:** Generación de grietas micrométricas causadas por la deformación plástica repetitiva, estas grietas se propagan entre 2 a 5 granos de su estructura metalográfica por lo que hace compleja su detección.
- **Etapa II:** Transformación de las pequeñas grietas en macro grietas conocidas como líneas de playa las cuales se forman debido al rozamiento de las capas fracturadas.
- **Etapa III:** Producción de la falla debido a que la sección restante que no ha sido afectada por las grietas no logra tolerar las cargas a las cuales es sometida.

Como se mencionó la falla por fatiga se origina por la propagación de grietas, las cuales se inician en una discontinuidad del material. Dichas discontinuidades surgen debido a parámetros como: cambios de secciones bruscos los cuales concentran esfuerzos, fricción entre elementos ya sea por giro o deslizamiento como en cojinetes, acabado superficial del elemento, composición del material después de su manufactura ya sea laminado en frío, forjado, fundido, etc.

Como se ha mencionado, la falla por fatiga se produce al someter a un elemento a esfuerzos fluctuantes, dichos esfuerzos generalmente adoptan un patrón de onda sinusoidal debido a la rotación de los elementos a analizarse, de acuerdo con los estudios realizados, la fatiga no se relaciona con el tipo de onda que el esfuerzo genere, sino que este efecto depende en su mayoría de los picos máximos y mínimos de esfuerzos. Es necesario caracterizar los esfuerzos presentes por lo que se los expresa matemáticamente, de la siguiente manera:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad ; \quad \sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

Donde:

σ_a : Esfuerzo amplitud

σ_m : Esfuerzo medio

σ_{max} : Esfuerzo máximo

σ_{min} : Esfuerzo mínimo

Para obtener un valor aproximado de límite de resistencia a fatiga, se han realizado numerosos ensayos los cuales sugieren que la resistencia a fatiga está entre 40% y 60% del límite último de tracción en aceros, por lo que puede presentarse un método básico para la estimación del límite de fatiga en función al límite máximo de tracción del material a utilizarse, de la siguiente forma:

$$Se' = \begin{cases} 0.5Sut & Sut \leq 1400MPa \\ 700MPa & Sut > 1400MPa \end{cases}$$

Como se mencionó anteriormente, el límite de fatiga real está en función de varios factores esenciales denominados coeficientes de Marin, los cuales se expresan a continuación:

$$Se = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * Se'$$

Donde:

Se : Límite de resistencia a la fatiga.

k_a : Factor de modificación de la condición superficial.

k_b : Factor de modificación de tamaño.

k_c : Factor de modificación de la carga.

k_d : Factor de modificación de la temperatura.

k_e : Factor de confiabilidad.

k_f : Factor de modificación de efectos varios.

Se' : Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

2.4.3.1. Criterios de falla por fatiga

Las teorías de falla más utilizadas por diferentes autores para el diseño mecánico se las expresa a continuación:

Soderberg

$$\frac{\sigma_a}{Se} + \frac{\sigma_m}{Sy} = \frac{1}{n}$$

Goodman Modificado

$$\frac{\sigma_a}{Se} + \frac{\sigma_m}{Sut} = \frac{1}{n}$$

Gerber

$$\frac{n\sigma_a}{Se} + \left(\frac{n\sigma_m}{Sut}\right)^2 = 1$$

ASME – Elíptica

$$\left(\frac{n\sigma_a}{Se}\right)^2 + \left(\frac{n\sigma_m}{Sy}\right)^2 = 1$$

Fluencia estática de Langer

$$\sigma_a + \sigma_m = \frac{Sy}{n}$$

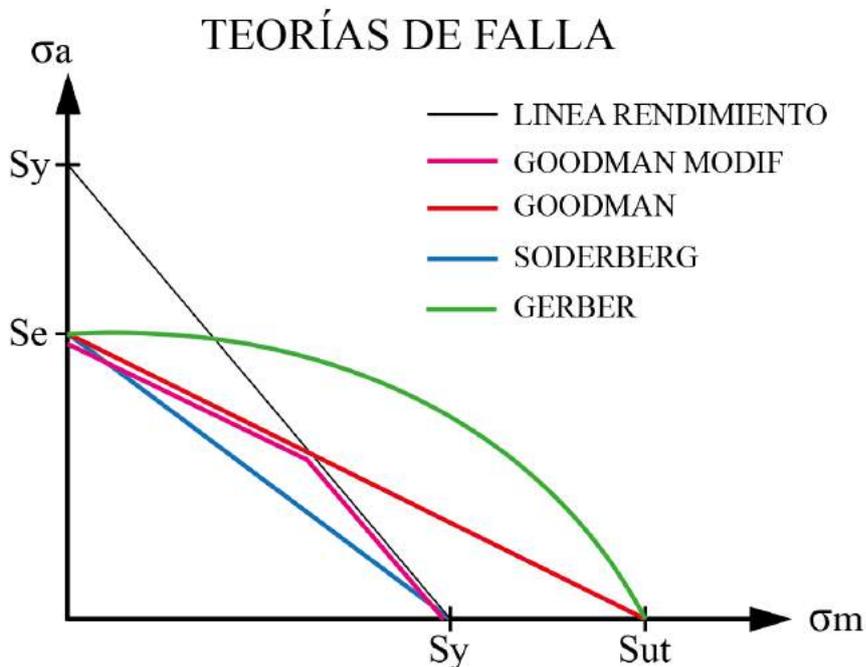


Gráfico 3-2. Teorías de falla a fatiga

Realizado por: Autores

2.4.3.2. Fatiga con esfuerzos combinados

En el caso de que se presenten diferentes esfuerzos en un mismo sistema se recurre a la utilización de un esfuerzo equivalente en donde integren a los demás en uno solo y el análisis pase a ser lo más completo posible.

$$\sigma_{a_{eq}} = \sqrt{(k_{fa}\sigma_{a_a} + k_{ff}\sigma_{a_f})^2 + 3(k_{ft}\tau_{a_t})^2}$$

Donde:

$\sigma_{a_{eq}}$: Esfuerzo amplitud equivalente.

k_{fa} : Factor de concentración de esfuerzos por carga axial

.

σ_{a_a} : Esfuerzo amplitud a carga axial.

k_{ff} : Factor de concentración de esfuerzos por flexión.

σ_{a_f} : Esfuerzo amplitud a flexión.

k_{ft} : Factor de concentración de esfuerzos por torsión.

τ_{a_t} : Esfuerzo amplitud por torsión.

$$\sigma_{m_{eq}} = \sqrt{(\sigma_{m_a} + \sigma_{m_f})^2 + 3(\tau_{m_t})^2}$$

$\sigma_{m_{eq}}$: Esfuerzo medio equivalente.

σ_{m_a} : Esfuerzo medio a carga axial.

σ_{m_f} : Esfuerzo medio a flexión.

τ_{m_t} : Esfuerzo medio por torsión.

2.4.3.3. Teorías de falla con esfuerzos combinados

Implementando los esfuerzos equivalentes a las teorías de falla antes mencionadas tenemos como resultado:

Soderberg:

$$\frac{\sigma_{a_{eq}}}{Se} + \frac{\sigma_{m_{eq}}}{Sy} = \frac{1}{n}$$

Goodman:

$$\frac{\sigma_{a_{eq}}}{Se} + \frac{\sigma_{m_{eq}}}{Sut} = \frac{1}{n}$$

2.5. Sistema de estabilización

Un sistema de estabilización es un mecanismo cuyo objetivo principal es asegurar que el vehículo no tripulado equilibre su posición y distribución de fuerzas para poder superar obstáculos

presentes en el camino, este sistema evita posibles accidentes de caídas protegiendo de esta forma el armazón principal, lugar donde se encuentra ubicada toda la electrónica de control, la estabilización es obtenida gracias a la compensación de diferentes movimientos en distintos ejes.

Los drones utilizan el sistema de estabilización regulando la velocidad de los rotores, permitiendo de esta forma mantener un mismo nivel de vuelo al ser pilotados. Para los vehículos terrestres es distinto ya que se debe asegurar los mayores puntos de contacto con el suelo, para ello se han desarrollado varios mecanismos los cuales son:

- Barra diferencial de estabilización
- Estabilización por engranajes
- Estabilización electrónica por servomotores
- Estabilización por amortiguamiento

Cada una de ellas será detallada a continuación.

2.5.1. Barra diferencial de estabilización

Una barra de estabilización diferencial es un sistema mecánico muy simple que se basa en una barra que atraviesa de un extremo al otro con un pivote en el centro, por medio de la rotación replica los movimientos de un lado hacia el otro de forma proporcional. Dicho sistema es muy utilizado en los proyectos de exploración en la NASA.

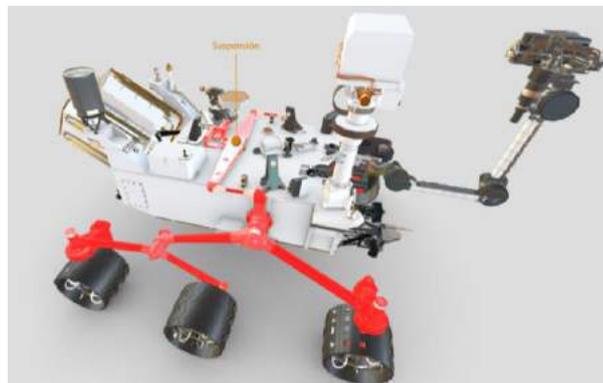


Figura 13-2. Barra diferencial de estabilización en el *Curiosity*

Fuente: NASA, 2018a

La barra de estabilización es el vínculo entre el cuerpo del vehículo y los neumáticos, este otorga el equilibrio o balanceo hacia arriba o abajo en función de las posiciones que tengan las ruedas. Este sistema brinda la seguridad a todo el equipo ya que permite suavizar los movimientos bruscos que se producen repentinamente al transitar por territorios irregulares. Este sistema de estabilización de barra diferencial trabaja de forma compensatoria, eso quiere decir que si un lado sube un número de grados determinados, por consiguiente, el otro lado también lo hace, pero en

sentido contrario permitiendo de esta forma igualar la carga de peso en las seis ruedas (NASA, 2018b).



Figura 14-2. Sistema de suspensión diferencial

Fuente: NASA, 2018b

2.5.2. *Estabilización por engranajes*

Es un mecanismo de estabilización diferencial mecánico basado en un brazo basculante que transfiere el movimiento y la potencia por medio de engranajes cónicos que tiene las mismas características de módulo, ángulo de presión y número de dientes, de esta forma la relación establecida es de 1:1. Este mecanismo presenta la gran ventaja de tolerar mayores valores de carga debido a que los esfuerzos producidos son distribuidos hacia los dientes de los engranajes cónicos aumentando el área de contacto y resistencia.

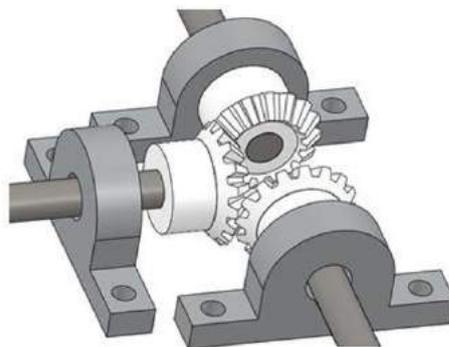


Figura 15-2. Sistema de estabilización por engranes

Fuente: Quezada, 2014

Este mecanismo trabaja por compensación de movimientos, el cual utiliza tres engranajes cónicos, dos de ellos son dedicados para el movimiento hacia arriba o abajo de los pares de neumáticos, el engranaje central permite la transferencia del movimiento y otorga la inclinación según el ángulo de giro que tengan los engranajes laterales, es decir que si un lado del vehículo se levanta 20

grados el otro lado realizará el mismo movimiento en sentido contrario y el eje central de apoyo estará a 10 grados de inclinación. Este sistema es utilizado para suavizar los movimientos bruscos que se producen repentinamente al transitar sobre terrenos irregulares o con presencia de suelos rocosos (Quezada, 2014).

2.5.3. Estabilización electrónica por servomotores

Es un sistema de estabilización electrónico altamente sensible y preciso que detecta los cambios de movimiento en tiempo real por medio de un módulo IMU o de acelerómetros, este módulo hace la función de un giroscopio permitiendo detectar la inclinación que tiene el eje principal, además de ello el módulo envía impulsos eléctricos para establecer los ángulos de inclinación que tienen en el espacio, aparte trabaja con una tarjeta de procesamiento la cual se encarga de recibir la información por parte del módulo IMU y establecer los movimientos que se necesite para reajustar el ángulo del eje principal (Ferreño, 2017). Generalmente este sistema trabaja con servomotores los cuales son los encargados de proporcionar los movimientos para que se estabilice el sistema en un rango de 90 grados.



Figura 16-2. Sistema de estabilización por servomotores

Fuente: DJI, 2019

Estos sistemas no son considerados para ser utilizados en vehículos, debido a que estos sistemas trabajan con bajos valores de cargas en peso, esto permite amplificar la precisión de los movimientos. Uno de los usos más importantes que se le ha dado a este sistema de estabilización es en la construcción de Gimbal en donde se montan las cámaras para rodajes de películas, permitiendo mantener siempre un mismo ángulo de visión a pesar de generarse movimientos bruscos (DJI, 2019).

2.5.4. Estabilización por amortiguadores

Este sistema es el resultado de combinar el sistema de estabilización y el sistema de suspensión de un vehículo, el cual realiza la función de absorber los movimientos bruscos que se generan al

transitar por un terreno cuya geometría es muy irregular o también al intentar superar obstáculos, esto es posible por medio de un conjunto de amortiguadores los cuales reajustan su fuerza a medida que se muevan los pares de ruedas equilibrando la carga del peso del armazón.

El principio de funcionamiento consiste en nivelar el centro de gravedad del armazón eso quiere decir que las fuerzas de reacción en los puntos de apoyo van a ser iguales permitiendo comprimir o traccionar los muelles otorgando de esta forma el movimiento para que el armazón se estabilice. Adicional a ello es necesario mencionar que los amortiguadores portan una cámara de fluido lo cual permite generar un movimiento amortiguado al realizar los cambios de posición.

2.6. Sistema de suspensión

2.6.1. Oscilación no amortiguada

Mediante el estudio de la cinemática y dinámica se sabe que la oscilación no amortiguada está gobernada idealmente por la Ley de Hooke (Åström et al., 1989). Es conocido que esta ley es aplicada en muelles mecánicos y el modelo matemático el cual describe dicha oscilación en una sola dimensión es la siguiente:

$$F = -kx$$

Donde:

x : la deformación del sistema.

k : la constante elástica del resorte.

Si se reemplaza el valor de fuerza mediante la segunda ley de Newton, la cual indica que la fuerza es igual a la masa por la aceleración del sistema se obtiene la siguiente expresión:

$$ma = -kx$$

Ahora bien, si se conoce que la aceleración es la segunda derivada de la posición respecto al tiempo se la puede expresar de la siguiente manera:

$$a = \ddot{x} = -\frac{k}{m}x$$

2.6.2. Amortiguamiento

La descripción realizada anteriormente con la ley de Hooke no toma en cuenta el rozamiento, por lo que no se considera una descripción cercana a la realidad. Al tomar en cuenta el efecto del rozamiento, los estudios realizados demuestran que gracias a dicho efecto el sistema llega a detenerse en la posición de equilibrio. La disminución progresiva de la amplitud del sistema en

oscilación es generada por el rozamiento entre superficies, el cual se denomina rozamiento seco, o también puede ser generado por la fricción de un fluido (aire o líquido) rodeando al oscilador, el cual se denomina rozamiento viscoso (William et al., 2009).

El rozamiento viscoso ha sido un modelo con diversas aplicaciones, el cual representa adecuadamente el funcionamiento de un amortiguador mecánico. Los amortiguadores son dispositivos que se encuentran típicamente en los sistemas de suspensión de un automóvil (Åström et al., 1989).

Las fuerzas de rozamiento que experimenta un sistema oscilador se oponen siempre a la fuerza producida por el resorte. La fuerza ejercida por el rozamiento es proporcional a la velocidad de oscilación del sistema, por tanto, es posible describir la fuerza de fricción de la siguiente forma:

$$F = -\gamma v$$

Conociendo que la velocidad, se define como la primera derivada de la posición del oscilador en función del tiempo se obtiene:

$$F = -\gamma \dot{x}$$

2.6.3. *Oscilador amortiguado*

Una vez conocido los dos modelos matemáticos que describen el movimiento de un oscilador armónico mediante amortiguamiento viscoso unidimensional se puede expresar la segunda ley de Newton de la siguiente manera:

$$ma = -kx - \gamma v$$

Transportando los términos al primer miembro de la igualdad y reemplazando la velocidad y aceleración con sus respectivas derivadas se obtiene la siguiente expresión:

$$m\ddot{x} + \gamma\dot{x} + kx = 0$$

Si esta expresión se la divide para la masa del sistema oscilador, la expresión puede ser descrita como:

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$$

Las constante ω_0 representa la frecuencia natural del oscilador si el sistema no estuviera sometido a rozamiento, y la constante β mide la magnitud de la fricción, estas dos constantes se miden con una misma magnitud, la cual es el inverso del tiempo, es decir, en el sistema internacional se lo mide en s^{-1} (Rodríguez, 2013).

Las constantes antes mencionadas describen el comportamiento del sistema de acuerdo con sus valores relativos entre sí, pudiendo ser los siguientes casos:

- Si $\beta > \omega_0$ si las dos soluciones son reales se presenta un caso sobreamortiguado
- Si $\beta = \omega_0$ existe una doble solución real y a este caso se lo denomina amortiguamiento crítico.
- Si $\beta < \omega_0$ si las dos soluciones son complejas se presenta un caso subamortiguado.

2.6.3.1. Caso sobreamortiguado

Como se expresó anteriormente, para que se considere un caso sobre amortiguado $\beta > \omega_0$, se resuelve la ecuación diferencial considerando unas condiciones iniciales las cuales son:

$$x(t = 0) = x_0$$

$$\dot{x}(t = 0) = v_0$$

Esta ecuación diferencial es considerada lineal y para conseguir su solución se propone una solución exponencial. De la siguiente manera:

$$x = e^{\lambda t}$$

Al derivar esta función se obtiene lo siguiente:

$$\dot{x} = \lambda e^{\lambda t}$$

$$\ddot{x} = \lambda^2 e^{\lambda t}$$

Al sustituir estos valores en la ecuación diferencial inicial del movimiento de amortiguamiento real se obtiene:

$$(\lambda^2 + 2\lambda\beta + \omega_0^2)e^{\lambda t} = 0$$

De esta forma se reduce a una ecuación normal donde se precisa obtener los valores de λ ya que existen dos valores al ser una ecuación de segundo grado y la solución se expresa de la siguiente manera:

$$x(t) = c_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 e^{\lambda_2 t}$$

En la ecuación antes descrita, las dos constantes c_1 y c_2 son valores que se calculan a partir de las condiciones iniciales antes mencionadas y una vez reemplazados los valores de estas constantes se calculan los valores de las dos soluciones de la ecuación de segundo grado, siendo las siguientes:

$$\lambda_1 = -\beta + \sqrt{\beta^2 - \omega_0^2}$$

$$\lambda_2 = -\beta - \sqrt{\beta^2 - \omega_0^2}$$

Como se ha mencionado, en el caso sobreamortiguado $\beta > \omega_0$ las dos soluciones dentro de la raíz serán reales y también son negativas (Willam et al., 2009). Esto quiere decir que una de las dos curvas caerá en un tiempo diferente que la otra y la solución combinada de las dos curvas es la suma de las dos gráficas, de la siguiente forma:

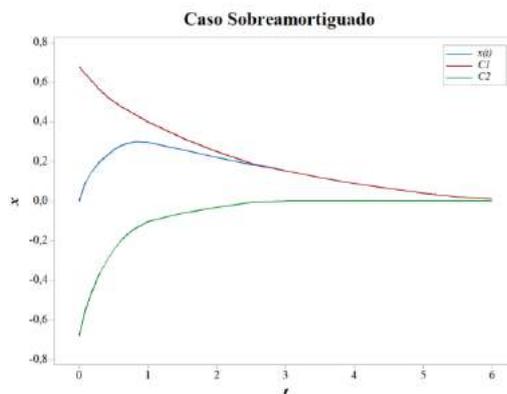


Gráfico 4-2. Curvas de un movimiento Sobreamortiguado

Realizado por: Autores

2.6.3.2. Caso subamortiguado

Este caso es lo contrario a lo expuesto en el sobreamortiguado debido a que el rozamiento que presenta es débil en comparación a la fuerza del resorte.

Para la solución de este caso es necesario realizar un arreglo matemático que es el siguiente:

$$\omega = \sqrt{-\beta^2 + \omega_0^2}$$

Y las soluciones de la ecuación de segundo grado estarían expresadas de la siguiente manera:

$$\lambda_1 = -\beta + i\omega$$

$$\lambda_2 = -\beta - i\omega$$

Como se puede observar las soluciones a las cuales se llega en un caso subamortiguado son imaginarias. Esta solución es muy similar a la que se obtiene en un oscilador sin rozamiento tomando una forma sinusoidal, pero disminuyendo su amplitud en forma exponencial, de la siguiente manera:

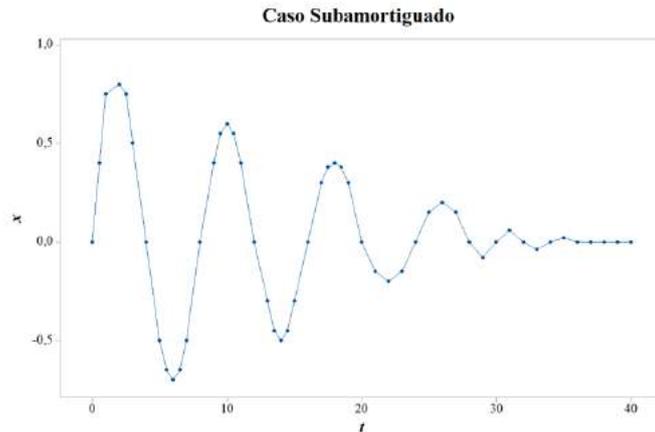


Gráfico 5-2. Curvas de un movimiento Subamortiguado

Realizado por: Autores

2.6.3.3. Amortiguamiento crítico

Como se mencionó anteriormente, para que este escenario se cumpla es necesario que el valor de la constante de rozamiento y la constante de oscilación tengan el mismo valor, ya que la mínima diferencia haría que esta oscilación se comporte como alguno de los dos casos descritos anteriormente.

Al representar gráficamente este escenario se comporta de manera muy similar a un caso sobreamortiguado debido a que presenta un decaimiento exponencial.

Este tipo de amortiguamiento posee una propiedad única desde el punto de vista técnico, debido a que es el que regresa a su estado de equilibrio de forma más rápida, ya que si la oscilación del resorte es mayor, el sistema viene y va hasta llegar al equilibrio y si la oscilación por el resorte es menor, la fuerza de fricción disminuye la velocidad del movimiento por lo que también tarda más en llegar al equilibrio (Åström et al., 1989).

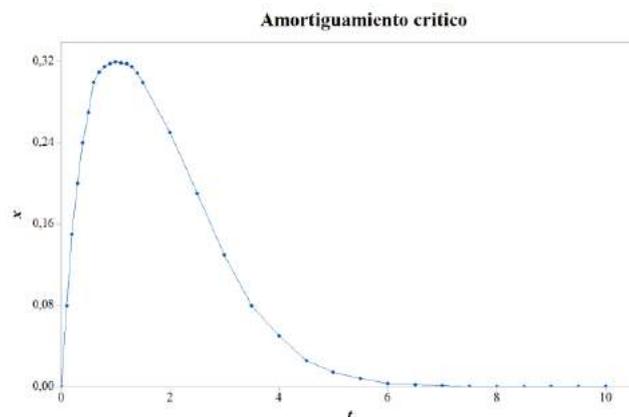


Gráfico 6-2. Curvas de un movimiento amortiguado críticamente

Realizado por: Autores

2.6.4. Sistemas masa-amortiguador-resorte por función de transferencia

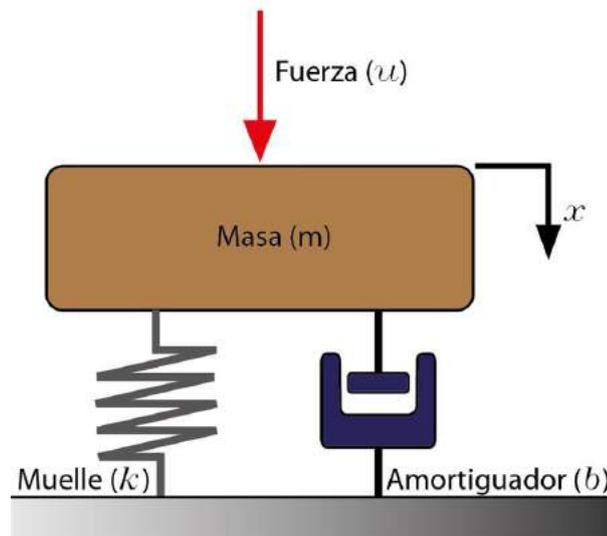


Figura 17-2. Sistema masa, muelle y amortiguador

Realizado por: Autores

Como se ha mencionado anteriormente, cada elemento que conforma un sistema de amortiguamiento tiene un modelo matemático que describe su movimiento. A continuación, se aplica la segunda ley de Newton, la cual dicta que la sumatoria de fuerzas en un sistema es igual a la masa por su aceleración, de la siguiente manera:

$$\sum F = m\ddot{x}$$

$$u - b\dot{x} - kx = m\ddot{x}$$

$$u - m\ddot{x} - b\dot{x} - kx = 0$$

Donde:

u : Fuerza externa aplicada al sistema

m : Masa del sistema

b : Constante del amortiguador de fricción.

k : Constante del resorte.

Reubicando los términos de una mejor forma, es posible plantear la ecuación diferencial ordinaria que describa el movimiento del sistema masa-resorte-amortiguador, expresado a continuación:

$$u = m\ddot{x} + b\dot{x} + kx$$

Para facilitar la resolución de la ecuación diferencial planteada se puede expresar dicha ecuación en función de la transformada de Laplace, de la siguiente forma:

$$m[X(s)s^2 - x(0)s - \dot{x}(0)] + b[X(s)s - x(0)] + kX(s) = U(s)$$

Teniendo en cuenta las siguientes condiciones iniciales.

$$x(t = 0) = x_0$$

$$\dot{x}(t = 0) = v_0$$

Una vez reemplazadas dichas condiciones se obtiene la siguiente ecuación:

$$mX(s)s^2 + bX(s)s + kX(s) = U(s)$$

$$X(s)[ms^2 + bs + k] = U(s)$$

Se ubica al desplazamiento como primer miembro en la ecuación mostrada anteriormente, el cual representa la salida del sistema; al otro lado de la igualdad se ubica la fuerza externa aplicada. Para refinar a la función de transferencia es necesario relacionar la entrada y la salida, obteniendo la siguiente expresión:

$$\frac{X(s)}{U(s)} = \frac{1}{ms^2 + bs + k}$$

Para poder observar de manera gráfica la respuesta que tiene un sistema de amortiguamiento como se ha indicado anteriormente es posible valerse de softwares matemáticos que permitan la resolución de ecuaciones diferenciales planteadas mediante la transformación a una función de transferencia.

2.7. Estudio de la cinemática

La cinemática es la rama de la física que estudia el movimiento de los cuerpos en el espacio, pero en la robótica la cinemática representa el movimiento de un sistema electromecánico (Carranza, 2010). Para lograr determinar las interrogantes que implican a la locomoción de un vehículo, la cinemática implementa un extenso análisis para representar matemáticamente la posición, velocidad, aceleración y ángulo de dirección, en función del tiempo.

Para el estudio de la cinemática, hay que tener en cuenta que es complicado determinar de forma directa el desplazamiento de un vehículo, ya que el movimiento es dependiente de la forma de activar o restringir los movimientos de cada neumático, por otra parte, se encuentra involucrado la geometría del vehículo tomando de referencia al centro de rotación; y a su vez de como se comporte el vehículo en el transcurso del tiempo.

Para determinar fácilmente el centro de rotación, se requiere buscar la intersección de las diagonales trazadas entre los centros de los extremos en los neumáticos, así como se indica en la Figura 18-2 (Wang, Li, 2016).

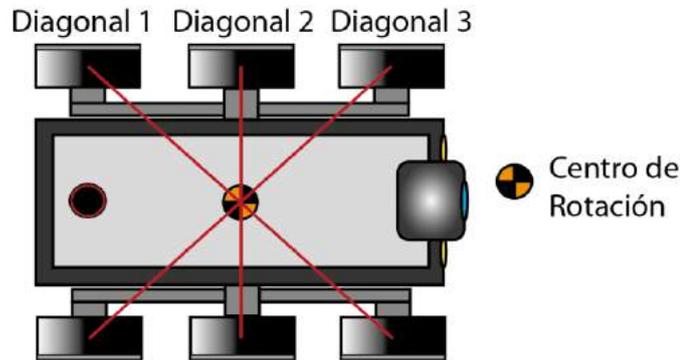


Figura 18-2. Centro de Rotación del Vehículo

Realizado por: Autores

En primera instancia, es necesario establecer cuáles son las dimensiones principales que tiene el vehículo, se define a la variable a como la distancia horizontal entre uno de los extremos y el centro de rotación o también la distancia entre ejes de los neumáticos; la variable b se define como la distancia vertical entre el centro del juego de neumáticos y el centro de rotación y finalmente a la variable R que define al radio de neumático (Tzafestas, 2013). Así como se muestra en le Figura 19-2.

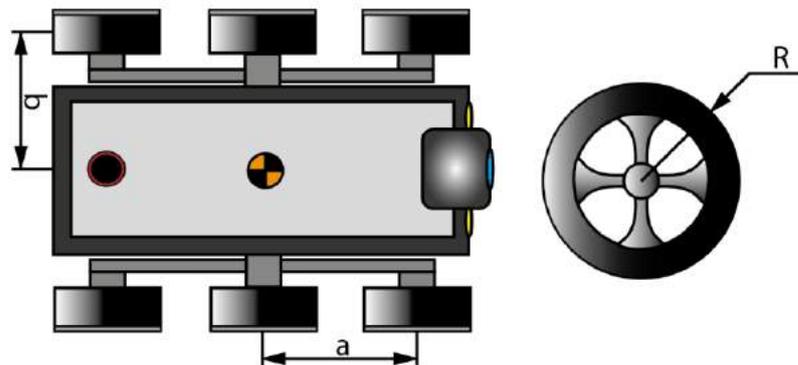


Figura 19-2. Dimensiones del Vehículo explorador

Realizado por: Autores

El vehículo a estudiarse concuerda con el modelo de un robot omnidireccional, el cual consta de dos movimientos, el desplazamiento frontal y el desplazamiento lateral, por ende, para determinar la posición (x_c, y_c) en un plano de referencia, es necesario realizar un análisis de las velocidades frontal y lateral, considerando que la velocidad es la primera derivada de la posición se puede expresar a la velocidad como (\dot{x}_c, \dot{y}_c) (González et al., 2015).

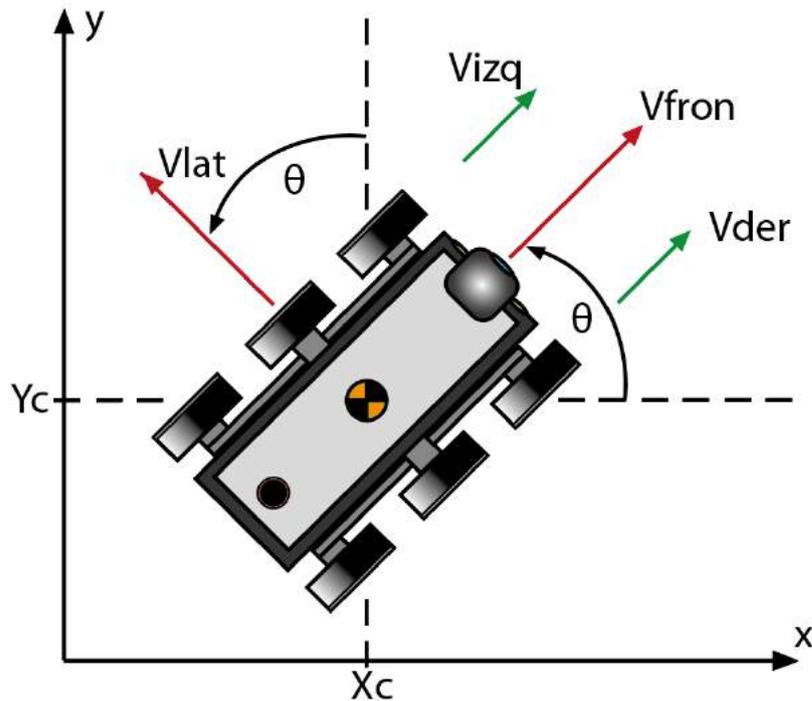


Figura 20-2. Posicionamiento del vehículo en un plano de referencia

Realizado por: Autores

Si se considera que las velocidades frontal y lateral son perpendiculares entre sí y comparten un ángulo θ , se requiere descomponer la velocidad del vehículo en los ejes x e y , dando como resultado las siguientes ecuaciones:

$$\dot{x}_c = V_{fron} \cos \theta - V_{lat} \sin \theta$$

$$\dot{y}_c = V_{fron} \sin \theta + V_{lat} \cos \theta$$

Y para determinar la velocidad angular es necesario derivar el desplazamiento angular.

$$\omega = \dot{\theta}$$

Si se expresa en forma matricial se tiene:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_c \\ \dot{y}_c \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{fron} \\ V_{lat} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}$$

Pero ahora, hay que considerar el hecho de que los robots omnidireccionales constan con un mecanismo incorporado en sus neumáticos, el cual les permite generar los movimientos laterales, pero el vehículo a construirse no consta con dicho mecanismo, por ende, la velocidad lateral es suprimida de las ecuaciones mostradas anteriormente, dando como resultado la siguiente matriz:

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x}_c \\ \dot{y}_c \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{fron} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}$$

Hay que tener en cuenta que cada lado del vehículo comparte un grupo de motores, los cuales replican sus movimientos entre sí y entre sus lados la locomoción puede ser proporcional o diferencial, por otra parte, las velocidades angulares de los grupos de neumáticos pueden ser distintas o iguales. Para determinar la velocidad lineal de cada lado se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$V_{der} = R * \omega_{der} \quad ; \quad V_{izq} = R * \omega_{izq}$$

Entonces la velocidad frontal de todo el vehículo se expresa como:

$$V_{fron} = \frac{V_{der} + V_{izq}}{2}$$

Y la velocidad angular del vehículo será expresada de la siguiente forma:

$$\omega_{veh} = \frac{V_{der} - V_{izq}}{2b}$$

La orientación que adquiere el vehículo en un instante de tiempo se determina con:

$$\theta = \theta_o + \omega * t$$

Para determinar las velocidades angulares de cada neumático se utiliza la siguiente matriz (Tzafestas, 2013).

$$\begin{bmatrix} V_{izq1} \\ V_{izq2} \\ V_{izq3} \\ V_{der1} \\ V_{der2} \\ V_{der3} \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} 1 & -(a+b) \\ 1 & -(a+b) \\ 1 & -(a+b) \\ 1 & (a+b) \\ 1 & (a+b) \\ 1 & (a+b) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{fron} \\ \omega_{veh} \end{bmatrix}$$

Con la ayuda de la matriz anterior se puede expresar las distintas variables tratadas anteriormente en función de la geometría del vehículo

Para determinar las velocidades lineales de cada lado del vehículo se define por:

$$V_{izq} = \frac{V_{fron} - (a+b)\omega_{veh}}{R} \quad V_{der} = \frac{V_{fron} + (a+b)\omega_{veh}}{R}$$

La velocidad angular se expresa de la siguiente forma:

$$\omega_{veh} = \frac{V_{fron} - V_{izq} * R}{(a+b)} = \frac{V_{der} * R - V_{fron}}{(a+b)}$$

Si se reemplaza la ecuación utilizada para determinar la velocidad frontal, entrega una ecuación en función de las velocidades y se geometría.

$$\omega_{veh} = \frac{V_{der}(2R - 1) - V_{izq}}{2(a + b)} = \frac{V_{der} + V_{izq}(1 - 2R)}{2(a + b)}$$

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Proceso del despliegue de la casa de la calidad

El QFD, también llamado despliegue de la función de la calidad por sus siglas en inglés se basa en un método de gestión neta de la calidad de diferentes tipos de productos, los cuales convierte los requerimientos del usuario en nuevos retos ingenieriles y que al momento de ser implementados aseguran una mejora significativa en las características técnicas y de operatividad del producto.

3.1.1. *Identificación de necesidades*

El proyecto denominado como “diseño y construcción de un prototipo de vehículo explorador terrestre” se dirige fundamentalmente hacia la exploración de terrenos irregulares, teniendo en cuenta este campo de aplicación se identifican las necesidades por parte de los usuarios. Las mismas que se mencionan a continuación:

- Estabilidad
- Compacto
- Buen rango de control
- Visión en tiempo real
- Buena autonomía
- Ligero para su transporte
- Control intuitivo
- Resistencia a la corrosión.
- Bajo costo de reparación.
- Útil en terrenos irregulares

Estas necesidades expuestas anteriormente deben ser agrupadas en tres categorías: **básica (B)**, **unidireccional (O)**, y **estimulan (E)**

Tabla 1-3. Voz del Usuario

Desempeño	Estabilidad	B
	Buen rango de control	B
	Autonomía	O
	Desplazamiento en terreno irregular	E
Usabilidad	Dimensiones	O
	Control intuitivo	E
	Visión en tiempo real	B
Costos	Costo de operación	O
	Costo de mantenimiento	O
Diseño	Apariencia estética	E
	Materiales resistentes	B
	Diseño optimizado	B

Realizado por: Autores

3.1.2. *Evaluación del usuario*

1. **Diseño propio:** La puntuación de esta evaluación utiliza valores bajos, debido a que no se tiene un diseño preliminar
2. **Competencia:** En la Tabla 1-3 se presenta la comparativa entre dos modelos de vehículos exploradores terrestres, tomando en cuenta que también son considerados como prototipos.
3. **Importancia:** las necesidades expuestas anteriormente son evaluadas de acuerdo con su importancia. En la Tabla 1-3, se muestra un modelo de encuesta aplicado en el club aeroespacial de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
4. **Evaluación:** la encuesta realizada en el club aeroespacial es evaluada y sus resultados se muestran en la Tabla 1-3.

3.1.3. *Análisis de competitividad*

Un estudio profundo de los prototipos de vehículos exploradores terrestres ha dado como resultado que dichos prototipos presentan falencias en el ámbito mecánico respecto a su diseño, esto se debe a que estos prototipos se han concentrado en la parte electrónica, por tanto el diseño propuesto posee sistemas de amortiguación los cuales permiten que el vehículo pueda transitar en terrenos poco accesibles y a su vez permita la absorción de impactos moderados, siendo estas características las que marcan la diferencia con otros modelos.

Para un correcto análisis de competitividad es necesario calcular un índice de mejora el cual se expresa de la siguiente manera:

$$IM = \frac{\text{Objetivo}}{\text{diseño propio}}$$

Otro factor importante es el factor de venta, el cual tiene 3 criterios de ponderación, con los cuales es posible evaluar el peso de cada una de las características que presenta el vehículo explorador.

Tabla 2-3. Ponderación para el factor de venta

Factor de Venta (FV)		
Factor	Equivalencia	Símbolo
Fuerte	1,5	●
Posible	1,2	●
Ninguno	1	

Realizado por: Autores

El valor de las ponderaciones se determina mediante:

$$Ponderación = I * IM * FV$$

Donde:

I: Importancia.

IM: Índice de mejora.

FV: Factor de venta.

La ponderación expresada en porcentaje está dada por:

$$\%Ponderacion = \left(\frac{P_i}{\sum P_i} \right) * 100$$

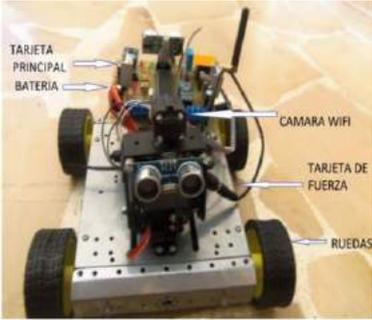
Donde:

P_i : Cada ponderación.

$\sum P_i$: Total de ponderaciones.

Las necesidades de los usuarios se traducen en términos técnicos para poder así exponer las alternativas de solución después de analizar dichos requerimientos.

Tabla 3-3. Contraste entre competencias de mercado

EXPLORADOR UPS		ROBOT MOVIL TIPO ORUGA ESPOCH		
	CARACTERÍSTICAS		CARACTERÍSTICAS	
	Sensores de proximidad		Tracción por orugas	
	Cámara wifi		Suspensión interconectada	
	Estructura metálica		Módulos RF 2.4GHz	
	Módulos RF		Baterías recarables 17Ah	
	Programación PIC		Cámara GoPro Hero 3	
	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
	Potencia (W)	12	Potencia (KW)	1.56
	Peso neto (g)	1300	Peso neto (kg)	60
	Velocidad máxima (m/s)	10	Velocidad máxima (rpm)	680
Largo (cm)	20	Largo (cm)	90	
Ancho (cm)	20.6	Ancho (cm)	60	
Altura (cm)	15	Altura (cm)	20	
Acero, plástico, caucho		Acero, plástico y caucho		

Realizado por: Autores

Tabla 4-3. Resultado de encuesta

	Referencia	Muy Importante	Importante	Relativamente Importante	Poco Importante	Nada Importante	Total, Encuestados	Promedio de Importancia	Promedio Aproximado
		5	4	3	2	1			
Pregunta 1	Estabilidad	11	9	4	1	0	25	4,20	4
Pregunta 2	Rango de control	8	8	6	2	1	25	3,80	4
Pregunta 3	Visión en tiempo real	15	9	1	0	0	25	4,56	5
Pregunta 4	Buena autonomía	12	10	3	0	0	25	4,36	4
Pregunta 5	Peso ligero	8	5	10	1	1	25	3,72	4
Pregunta 6	Control intuitivo	10	10	5	0	0	25	4,20	4
Pregunta 7	Resistencia a la corrosión	20	3	2	0	0	25	4,72	5
Pregunta 8	Terrenos irregulares	5	8	8	2	2	25	3,48	3

Realizado por: Autores

3.1.4. Correlaciones

A continuación, se evalúan las correlaciones entre la voz del usuario con la voz del ingeniero, tomando en cuenta las siguientes ponderaciones:

Tabla 5-3. Calificación para correlaciones

Factor de Incidencia	
Fuerte =9	⊙
Medio=3	○
Bajo=1	▽

Realizado por: Autores

3.1.5. Evaluación técnica

- 1. Referencia competitiva:** evalúa de manera simultánea los requerimientos técnicos propuestos por parte del ingeniero comparando el diseño propio con el de la competencia.
- 2. Incidencia:** establece el grado de importancia que presenta cada una de las características técnicas mencionadas por parte del ingeniero, y se lo determina con la siguiente expresión:

$$Incidencia = \sum Correlaciones_{demanda} / * Ponderación$$

- 3. Especificaciones técnicas:** corresponden a las soluciones que pueden ser medidas al momento de incorporarlas al diseño.
- 4. Compromisos técnicos:** para poder completar la casa de la calidad es necesario evaluar los compromisos existentes con las características técnicas ya a los cuales se los deberá presentar mayor atención y mejorarlos para poder así ganar mercado. Para esto se emplean las relaciones **negativas, positivas y sin correlación**, y estas se expresan de la siguiente forma:

Tabla 6-3. Compromisos técnicos

⊙	Muy Positiva
○	Positiva
×	Negativa
✖	Muy negativa

Realizado por: Autores

3.2. Despliegue de la casa de la calidad

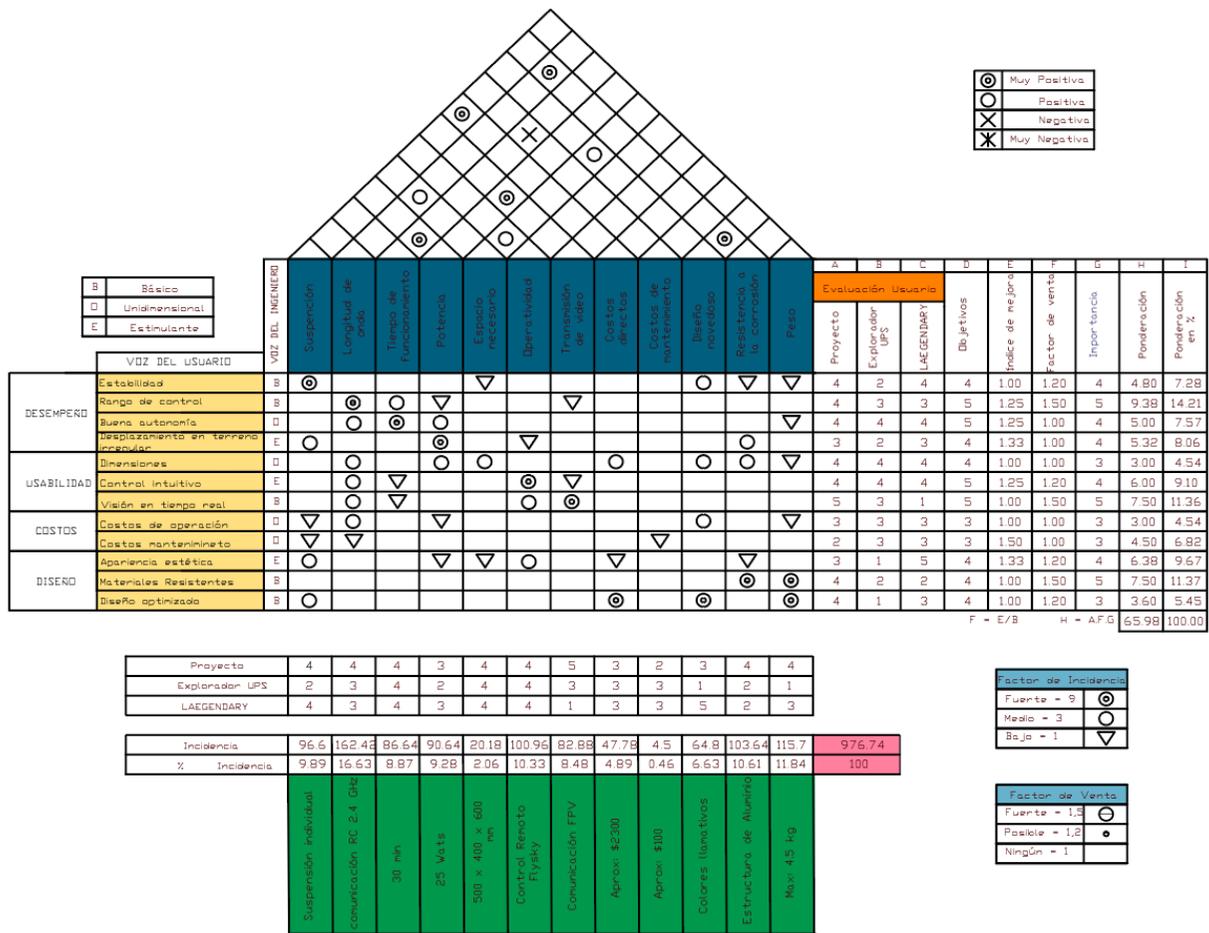


Figura 1-3. Casa de la Calidad

Realizado por: Autores

3.3. Análisis funcional / modular

3.3.1. Matriz morfológica

Para la elaboración de la matriz morfológica se toma en cuenta las posibles soluciones para cada una de las funciones de la estructura modular, generando así una variedad de alternativas para cada una de ellas, con el fin de obtener una única solución para el diseño, cumpliendo con la voz del usuario y haciendo que su experiencia con el equipo sea satisfactoria.

Tabla 7-3. Matriz morfológica

Matriz Morfológica				
Función	Componente			
Resistencia a ambientes corrosivos	Metacrilato	Policloruro de Vinilo	Aluminio	Fibras sintéticas
Comunicación entre usuario y vehículo explorador	Radio Frecuencia	Bluetooth	Infrarrojo	WIFI
Estabilización del vehículo explorador	Barra	Engranajes	Amortiguadores	Servomotores
Otorgar Movimiento y Rotación	Motor Brushless	Motor DC	Motor PAP	Motor Combustión

Realizado por: Autores

3.3.2. Análisis funcional

En el análisis funcional se determina cuáles son las funciones críticas del vehículo explorador terrestre, posterior a ello se enlistan las posibles alternativas para cada una de estas funciones, a continuación, se describen los criterios ponderativos de cada módulo en un rango jerárquico y finalmente se evalúan todas las opciones para seleccionar cual es la mejor y se ajusta al objetivo principal planteado en cada módulo.

3.3.2.1. Análisis funcional de materiales

A. Opciones de Diseño

- **Aluminio:** Es uno de los materiales más utilizados en la industria aeroespacial debido a elevada resistencia mecánica, baja densidad y su tolerancia en ambientes corrosivos, adicional a ellos, es un buen material de conducción térmica y eléctrica que es sencillo de mecanizar o conformar.
- **Metacrilato:** El polimetilmetacrilato es un polímero sintético proveniente de la polimerización del metacrilato de metilo y recientemente ha sido utilizado en la ingeniería por su alta resistencia y flexibilidad, además, al tener una base polimérica presenta un bajo peso, por otra parte, es translúcido, pero puede adquirir cualquier color al ser tratado con tintes.
- **Fibras sintéticas:** Las fibras sintéticas comprenden a un conjunto de materiales los cuales deben pasar por un proceso de moldeo para establecer su geometría, difícilmente tienen un espesor homogéneo lo que lo vuelve inestable en sus propiedades, en cuanto a sus propiedades mecánicas son buenas, aparte brinda flexibilidad y resistencia a la corrosión, adicional a ello no es un conductor eléctrico.
- **Policloruro de Vinilo:** También conocido por sus siglas PVC, resulta como producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo y es considerado como uno de los polímeros más versátiles debido a sus variadas formas de procesamiento, las cuales son: suspensión, emulsión, masa y solución. Las propiedades mecánicas más representativas del policloruro de vinilo son la ductilidad, baja densidad, tenacidad y resistencia en ambientes agresivos, por esta razón son muy utilizados para instalaciones de trasiego de agua potable. Generalmente en el ámbito industrial es apreciado como un material altamente resistente y flexible.

B. Criterios de Valoración

- **Propiedades mecánicas:** Este criterio hace referencia a las propiedades mecánicas que tienen los diferentes materiales a evaluar, en donde el objetivo que se busca es tener el mayor módulo de rigidez asegurando la tenacidad del material, otro punto fundamental es considerar la resistencia del material al exponerse en ambientes corrosivos.

- **Peso:** El criterio peso está marcado por la propiedad física de la densidad, en este caso lo que se busca es que el material del cual se va a construir el vehículo no tenga un peso superior al establecido.
- **Costo:** Por el proceso de mecanizado y manufactura de ciertos elementos el trabajar en algunos materiales se vuelve costoso, por ende, lo deseado es un material sencillo de mecanizar y a su vez no sea muy costoso de adquirir.

C. Desarrollo del Método ordinal corregido de criterios ponderados

Se define el grado de eficiencia de las soluciones en función del criterio ponderativo para los materiales en la Tabla 8-3.

Tabla 8-3. Criterios de valoración para cada solución - Materiales

Solución	Prop. Mec	Peso	Costo
Solución A: Aluminio	5	3	3
Solución B: Metacrilato	3	4	2
Solución C: Fibras Sintéticas	3	4	1
Solución D: Policloruro de Vinilo (PVC)	4	5	5

Realizado por: Autores

A continuación, se establece jerárquicamente los criterios de ponderación según su importancia

Tabla 9-3. Criterios de valoración - Materiales

Propiedades Mecánicas	1
Peso	2
Costo	1

Realizado por: Autores

Posteriormente se determina el mejor material mediante el siguiente procedimiento:

1. Evaluar la importancia entre criterio ponderativos

Tabla 10-3. Evaluación de criterios ponderativos - Materiales

Criterio	Prop. Mec	Peso	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Propiedades Mecánicas	-	1	0,5	2,5	0,454545455
Peso	0	-	0	1	0,181818182
Costo	0,5	1	-	2	0,363636364
			Total	5,5	1

Realizado por: Autores

2. Evaluación de la mejor solución según el criterio “Propiedades Mecánicas”

Tabla 11-3. Evaluación del criterio Propiedades Físicas del material

Propiedades M.	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	1	1	1	4	0,4
B	0	-	0,5	0	1,5	0,15
C	0	0,5	-	0	1,5	0,15
D	0	1	1	-	3	0,3
Total					10	1

Realizado por: Autores

3. Evaluación de la mejor solución según el criterio “Peso”

Tabla 12-3. Evaluación del criterio Peso del material

Peso	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	0	0	0	1	0,1
B	1	-	0,5	0	2,5	0,25
C	1	0,5	-	0	2,5	0,25
D	1	1	1	-	4	0,4
Total					10	1

Realizado por: Autores

4. Evaluación de la mejor solución según el criterio “Costo”

Tabla 13-3. Evaluación del criterio Costo del material

Costo	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	1	1	0	3	0,3
B	0	-	1	0	2	0,2
C	0	0	-	0	1	0,1
D	1	1	1	-	4	0,4
Total					10	1

Realizado por: Autores

5. Establecer los resultados de las evaluaciones anteriores

Tabla 14-3. Tabla de Conclusiones - Materiales

	Prop. Mec.	Peso	Costo	Σ	Prioridad
A	0,181818182	0,018181818	0,10909091	0,30909091	2
B	0,068181818	0,045454545	0,07272727	0,18636364	3
C	0,068181818	0,045454545	0,03636364	0,15	4
D	0,136363636	0,072727273	0,14545455	0,35454545	1

Realizado por: Autores

Se establece como mejor opción a la solución D correspondiente al Policloruro de Vinilo, siendo el mejor material en cuanto a propiedades físicas y mecánicas.

3.3.2.2. Análisis funcional de comunicación

A. Opciones de Diseño

- **Radio frecuencia 2.4GHz:** La frecuencia de 2.4GHz es ocupada ampliamente en el mundo del aeromodelismo debido a la poca interferencia que presenta y debido a su frecuencia relativamente menor la distancia de comunicación puede superar los 300 metros en un ambiente con obstáculos moderados. Al ser aplicados en la mayoría de los dispositivos de control por radiofrecuencia el costo de esta opción es menor que la mayoría de las demás opciones.
- **Infrarrojo:** El sistema de comunicación por infrarrojo posee un ancho de banda muy grande debido a la utilización de un espectro de luz, estos sistemas son inmunes a interferencias y ruidos de tipo radioeléctrico. El sistema infrarrojo no es capaz de atravesar paredes por lo que es muy poco útil ambientes con obstáculos moderados. A pesar de ser inmunes a las interferencias radioeléctricas sufre una especie de degradación debido al ruido infrarrojo emitido por el sol y por otro tipo de fuentes de luz fluorescente e incandescente.
- **Bluetooth:** Es un sistema que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos por medio de un enlace de radiofrecuencia. Los dispositivos con una mayor frecuencia utilizan esta tecnología en el ámbito de las telecomunicaciones y la informática a nivel personal. Este tipo de comunicación requieren un bajo consumo de energía, pero con un alcance corto de emisión debido a sus transceptores de bajo costo. Debido a la potencia y alcance necesarios para el vehículo explorador se requeriría de un dispositivo **Clase 1** con una potencia aproximada de 100 mW para lograr un alcance promedio de 100 metros.
- **Wifi:** Este tipo de comunicación inalámbrica permite conectar dispositivos electrónicos a internet mediante radiofrecuencias para la transmisión de datos. Para que este sistema funcione es necesario que un equipo esté conectado a internet y que conste de una antena con la cual puede redistribuir esta señal de manera inalámbrica en un rango de cobertura.

B. Criterios de Valoración

- **Distancia máxima:** Es el apartado con mayor importancia dentro de este análisis funcional debido a que es necesario que el vehículo explorador tenga un rango de señal

mínimo de 50 metros, por tal motivo en la **Tabla 16-3** se lo ha valorado con 1 en el rango jerárquico.

- **Costo:** El valor de todo el sistema de comunicación debe ser accesible para evitar encarecer los costos de fabricación del vehículo explorador.
- **Interferencia:** Es necesario que el vehículo explorador no presente interferencias dentro del rango delimitado por los 50 metros para evitar los conflictos que puedan presentarse al momento de emitir señales.
- **Ancho de banda:** Las señales enviadas por el emisor tienen que ser las suficientes para poder controlar el vehículo de forma óptima y con funciones tales como el giro en órbita y horizontal de la cámara, por tales motivos es necesario implementar un sistema con un ancho de banda moderado, su nivel de importancia se presenta en la **Tabla 16-3**.
- **Peso:** El apartado de peso es exclusivo para el receptor de señal, ya que dicho dispositivo deberá estar integrado en el vehículo explorador, al reducir el peso de los componentes del vehículo la potencia requerida para ponerlo en marcha también disminuye aumentando así su eficiencia en el consumo de energía.

C. Desarrollo del Método ordinal corregido de criterios ponderados

Se define el grado de eficiencia de las soluciones en función del criterio ponderativo para el sistema de comunicación en la Tabla 15-3.

Tabla 15-3. Criterios de valoración para cada solución – comunicación

Solución	Distancia	Costo	Interferencia	Ancho de banda	Peso
Solución A: RF 2,4GHz	5	4	3	3	5
Solución B: Infrarrojo	1	5	4	2	4
Solución C: Bluetooth	3	3	4	4	3
Solución D: 2 Wifi	2	4	3	5	4

Realizado por: Autores

A continuación, se establece jerárquicamente los criterios de ponderación según su importancia

Tabla 16-3. Criterios de valoración –comunicación

Distancia	1
Costo	2
Interferencia	3
Ancho de banda	3
Peso	4

Realizado por: Autores

Posteriormente se determina el sistema de comunicación óptimo mediante el siguiente procedimiento:

1. Evaluar la importancia entre criterios ponderativos

Tabla 17-3. Evaluación de criterios ponderativos – comunicación

Criterio	Distancia	Costo	Interferencia	Ancho de banda	eso	$\Sigma+1$	Ponderación
Distancia	-	1	1	1	1	5	0,333333333
Costo	0	-	1	1	1	4	0,266666667
Interferencia	0	0	-	0,5	1	2,5	0,166666667
Ancho de banda	0	0	0,5	-	1	2,5	0,166666667
Peso	0	0	0	0	-	1	0,066666667
Total						15	1

Realizado por: Autores

2. Evaluación de la mejor solución según el criterio “Distancia máxima”

Tabla 18-3. Evaluación del criterio distancia máxima de comunicación

Distancia	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	1	1	1	4	0,4
B	0	-	0	0	1	0,1
C	0	1	-	1	3	0,3
D	0	1	0	-	2	0,2
Total					10	1

Realizado por: Autores

3. Evaluación de la mejor solución según el criterio “Costo”

Tabla 19-3. Evaluación del criterio costo del sistema de comunicación

Costo	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	0	1	0,5	2,5	0,25
B	1	-	1	1	4	0,4
C	0	0	-	0	1	0,1
D	0,5	0	1	-	2,5	0,25
Total					10	1

Realizado por: Autores

4. Evaluación de la mejor solución según el criterio “Interferencia”

Tabla 20-3. Evaluación del criterio interferencia en comunicación

Interferencia	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	0	0	0,5	1,5	0,15
B	1	-	0,5	1	3,5	0,35
C	1	0,5	-	1	3,5	0,35
D	0,5	0	0	-	1,5	0,15
Total					10	1

Realizado por: Autores

5. Evaluación de la mejor solución según el criterio “Ancho de banda”

Tabla 21-3. Evaluación del criterio ancho de banda

Ancho de banda	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	1	0	0	2	0,2
B	0	-	0	0	1	0,1
C	1	1	-	0	3	0,3
D	1	1	1	-	4	0,4
Total					10	1

Realizado por: Autores

6. Evaluación de la mejor solución según el criterio “Peso”

Tabla 22-3. Evaluación del criterio peso del sistema de comunicación

Peso	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	1	1	1	4	0,4
B	0	-	1	0,5	2,5	0,25
C	0	0	-	0	1	0,1
D	0	0,5	1	-	2,5	0,25
Total					10	1

Realizado por: Autores

7. Establecer los resultados de las evaluaciones anteriores

Tabla 23-3. Tabla de Conclusiones – sistema de comunicación

	Distancia	Costo	Interferencia	Ancho de banda	Peso	Σ	Prioridad
A	0,13333333	0,06666667	0,025	0,03333333	0,02666667	0,285	1
B	0,03333333	0,10666667	0,05833333	0,01666667	0,01666667	0,23166667	4
C	0,1	0,02666667	0,05833333	0,05	0,00666667	0,24166667	3
D	0,06666667	0,06666667	0,025	0,06666667	0,01666667	0,24166667	2

Realizado por: Autores

Se establece como mejor opción a la solución A, la cual corresponde a la radiofrecuencia de 2.4GHz debido a su gran alcance, su ancho de banda moderado y la ligereza del receptor de señales.

3.3.2.3. Análisis funcional del sistema de estabilización

A. Opciones de Diseño

- **Barra de estabilización:** Es un sistema de estabilización diferencial mecánico comprendido por una barra que interconecta entre pares de neumáticos permitiendo otorga movimientos contrarios por medio de pivoteo en un punto de anclaje ubicado en el centro del armazón, este sistema comprende un mecanismo bastante simple pero efectivo, la única desventaja es que los movimientos no son amortiguados.

- **Estabilización por engranajes:** Es un mecanismo diferencial que consta de un conjunto de tres engranajes cónicos con el mismo módulo, ángulo de corte y número de dientes, los cuales permiten transferir el movimiento manteniendo una relación de transmisión 1:1, este mecanismo presenta una mayor resistencia mecánica puesto a que tiene una mayor área de distribución de carga, pero su amortiguación no es tan buena puesto a que su velocidad de respuesta es inmediata.
- **Estabilización por amortiguadores:** Es un sistema independiente resultado de la combinación de un sistema de estabilización y suspensión común en un vehículo, este mecanismo permite disminuir la velocidad de reacción debido a que los movimientos pasan por un proceso de amortiguamiento; los amortiguadores absorben los movimientos bruscos y los transforma en movimientos suavizados, por otra parte al estar anclado en puntos estratégicos del armazón el efecto de la gravedad se encarga de distribuir de forma homogénea la carga del peso y reducir el efecto de la reacción transmitida a la estructura.
- **Sistema de Servomotores:** Es un mecanismo bastante complejo ya que involucra de la ayuda de un sistema electrónico conformado por acelerómetros, los cuales determinan la inclinación de un eje principal, además lo posicionan en el espacio por medio de impulsos eléctricos y a través de una tarjeta de procesamiento de información determina los movimientos necesarios para estabilizar el sistema, para otorgar dichos movimientos se apoya de un mecanismo de poleas controlado por servomotores. Este sistema es limitado para una inclinación de 90 grados, pero es bastante preciso y sus movimientos no son bruscos.

B. Criterios de Valoración

- **Capacidad de suspensión:** Este criterio se debe establecer como la capacidad de carga máxima disponible, es decir, la resistencia a la tracción o compresión de todo el sistema de estabilización ante todas las reacciones que se presente en la estructura del vehículo, por otra parte, también interviene la capacidad de transmisión de potencia en caso de tener un sistema interconectado o diferencial.
- **Velocidad de respuesta:** La velocidad de respuesta define qué tan rápido es la reacción del sistema en cuanto se produce un cambio brusco de posición en los neumáticos, se trata de obtener una velocidad de respuesta baja, ya que con ello el movimiento pasa por un proceso de amortiguación y los cambios de posición no son tan bruscos algo necesario para evitar inconvenientes con los componentes electrónicos.

- **Precisión:** Este criterio evalúa qué tan precisos son los movimientos al presentarse un cambio brusco de la posición de los neumáticos, debido que cada sistema al ser intervenido por elementos mecánicos o electrónicos no tienen la misma precisión y la inclinación es fluctuante, como objetivo es tratar de que la distribución de los ángulos sea lo más exacta posible, de esta forma se asegura la proporción homogénea del peso en los puntos de apoyo.
- **Costo:** Al intervenir todo un sistema es necesario el apoyo de diferentes elementos electrónicos y mecánicos para establecer los movimientos adecuados, por ello incrementa el costo y lo que se desea es que sea lo más bajo posible y omitir el uso de elementos electrónicos.
- **Peso:** Al definir que el objetivo es un bajo peso, se debe considerar que todo el sistema debe estar conformado por materiales compuestos, esto quiere decir que la coraza este elaborada de polímero e internamente tenga una estructura metálica, de esta forma se conserva la resistencia mecánica con un bajo peso.

C. Desarrollo del Método ordinal corregido de criterios ponderados

Se define el grado de eficiencia de las soluciones en función del criterio ponderativo para los Sistemas de estabilización en la Tabla 24-3.

Tabla 24-3. Criterios de valoración para cada solución – Sistema de estabilización

Solución	Capacidad	Velocidad	Precisión	Peso	Costo
Solución A: Barra de Estabilización	3	3	3	4	3
Solución B: Estabilización por engranes	4	4	3	2	2
Solución C: Estabilización por Suspensión	4	5	4	3	3
Solución D: Estabilización por Servomotor	2	4	4	1	1

Realizado por: Autores

A continuación, se establece jerárquicamente los criterios de ponderación según su importancia

Tabla 25-3. Criterios de valoración - Sistema de estabilización

Potencia Transmitida (Resistencia)	1
Velocidad para estabilizar	3
Precisión de Movimientos	2
Peso (liviano)	3
Costo (Bajo)	4

Realizado por: Autores

Posteriormente se determina el mejor sistema mediante el siguiente procedimiento:

1. Evaluar la importancia entre criterio ponderativos

Tabla 26-3. Evaluación de criterios ponderativos - Sistema de estabilización

Criterio	Capacidad	Velocidad	Precisión	Peso	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Capacidad	-	1	0,5	1	1	4,5	0,3
Velocidad	0	-	0	0,5	1	2,5	0,166666667
Precisión	0,5	1	-	1	1	4,5	0,3
Peso (liviano)	0	0,5	0	-	0,5	2	0,133333333
Costo (Bajo)	0	0	0	0,5	-	1,5	0,1
Total						15	1

Realizado por: Autores

2. Evaluación de la mejor solución según el criterio “Capacidad”

Tabla 27-3. Evaluación del criterio Capacidad de suspensión

Capacidad	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	0	0	1	2	0,2
B	1	-	0,5	1	3,5	0,35
C	1	0,5	-	1	3,5	0,35
D	0	0	0	-	1	0,1
Total					10	1

Realizado por: Autores

3. Evaluación de la mejor solución según el criterio “Velocidad”

Tabla 28-3. Evaluación del criterio Velocidad de amortiguación

Velocidad	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	0	0	0	1	0,1
B	1	-	0	0,5	2,5	0,25
C	1	1	-	1	4	0,4
D	1	0,5	0	-	2,5	0,25
Total					10	1

Realizado por: Autores

4. Evaluación de la mejor solución según el criterio “Precisión”

Tabla 29-3. Evaluación del criterio Precisión de movimiento

Precisión	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	0,5	0	0	1,5	0,15
B	0,5	-	0	0	1,5	0,15
C	1	1	-	0,5	3,5	0,35
D	1	1	0,5	-	3,5	0,35
Total					10	1

Realizado por: Autores

5. Evaluación de la mejor solución según el criterio “Peso”

Tabla 30-3. Evaluación del criterio Peso del sistema

Peso	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	1	1	1	4	0,4
B	0	-	0	1	2	0,2
C	0	1	-	1	3	0,3
D	0	0	0	-	1	0,1
Total					10	1

Realizado por: Autores

6. Evaluación de la mejor solución según el criterio “Costo”

Tabla 31-3. Evaluación del criterio Costo del sistema

Costo	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	1	0,5	1	3,5	0,35
B	0	-	0	1	2	0,2
C	0,5	1	-	1	3,5	0,35
D	0	0	0	-	1	0,1
Total					10	1

Realizado por: Autores

7. Establecer los resultados de las evaluaciones anteriores

Tabla 32-3. Tabla de Conclusiones – Sistema de estabilización

	Capacidad	Velocidad	Precisión	Peso	Costo	Σ	Prioridad
A	0,06	0,016666667	0,045	0,053333333	0,035	0,21	3
B	0,105	0,041666667	0,045	0,026666667	0,02	0,238333333	2
C	0,105	0,066666667	0,105	0,04	0,035	0,351666667	1
D	0,03	0,041666667	0,105	0,013333333	0,01	0,2	4

Realizado por: Autores

Se establece como mejor opción a la solución C correspondiente al Sistema de estabilización por suspensión, debido a que presta la ventaja de permitir amortiguar los movimientos bruscos y a su vez conservar la estabilidad del almacén.

3.3.2.4. Análisis funcional del sistema motriz

A. Opciones de Diseño

- **Motorreductores DC:** Un motor de corriente continua es una máquina la cual convierte la energía eléctrica en energía mecánica gracias a la acción de un campo magnético. El inconveniente principal que presentan estos motores es el desgaste de las escobillas. Debido a sus diversas aplicaciones, los motores DC poseen un amplio rango de potencia y velocidad al contar con reductores mecánicos aumentando su torque, pero disminuyendo su velocidad angular de salida.
- **Motor libre de escobillas:** Debido a que las escobillas producen rozamiento disminuyen el rendimiento, además producen calor y ruido, por lo que los motores sin escobillas o Brushless poseen una mayor ventaja respecto a los motores DC convencionales, este tipo de motor son mucho más costosos que un motor DC y para su correcto funcionamiento en el mundo del aeromodelismo se precisa la utilización de controles electrónicos de velocidad.
- **Motor paso a paso:** Este tipo de motor convierte pulsos electromagnéticos en desplazamientos angulares lo que permite que gire una cantidad de radianes por cada paso dependiendo de sus entradas de control, la ventaja que poseen estos motores es su capacidad de permanecer enclavados en una posición si una o más de sus bobinas están energizadas o libres de corriente.
- **Motor de combustión interna:** Este tipo de motor transforma la energía química de un combustible en energía mecánica, el tipo de motor de combustión interna para aeromodelismo posee un elevado costo de adquisición y también un elevado costo de mantenimiento, es mucho más pesado que un motor eléctrico, pero con un mayor rango de potencia de salida.

B. Criterios de Valoración

- **Potencia:** La potencia que entregan los motores debe ser la suficiente para poder mover el vehículo explorador y poder transitar en terrenos irregulares con relativa facilidad. Este apartado es el de mayor importancia en este análisis funcional modular, por tal motivo en la tabla 34-3 se lo asigna con el valor de mayor rango jerárquico para la selección.

- **Velocidad máxima:** la velocidad máxima de operación del vehículo explorador no representa un factor de importancia debido a que al ser un dispositivo de exploración debe permitir ver con una calidad definida y esto se lograría conseguir a velocidades bajas.
- **Alimentación:** La alimentación en los motores eléctricos hace referencia a los valores de voltaje y corriente que requieren para su correcto funcionamiento, y en el caso de los motores de combustión interna el tipo de combustible requerido para la puesta en marcha de dichos motores.
- **Costo:** El valor de todo el sistema motriz debe ser accesible para evitar encarecer los costos de fabricación del vehículo explorador.
- **Peso:** Debido a que los motores estarán integrados en el vehículo explorador, en lo posible, el peso de estos debe ser reducido ya que de esta forma el peso total se verá aligerado, necesitando menos potencia para la puesta en marcha del vehículo.

C. Desarrollo del Método ordinal corregido de criterios ponderados

Se define el grado de eficiencia de las soluciones en función del criterio ponderativo para el sistema de comunicación en la Tabla 33-3.

Tabla 33-3. Criterios de valoración para cada solución – sistema motriz

Solución	Potencia	Velocidad	Alimentación	Costo	Peso
Solución A: Motor DC Reductor	5	5	5	5	5
Solución B: Motor Brushless	3	4	4	2	5
Solución C: Motor PAP	3	3	4	3	4
Solución D: Motor Combustión Interna	5	3	1	2	3

Realizado por: Autores

A continuación, se establece jerárquicamente los criterios de ponderación según su importancia

Tabla 34-3. Criterios de valoración – sistema motriz

Potencia	1
Velocidad (baja)	3
Alimentación	4
Costo	3
Peso (liviano)	2

Realizado por: Autores

Posteriormente se determina el mejor sistema motriz mediante el siguiente procedimiento:

1. Evaluar la importancia entre criterio ponderativos

Tabla 35-3. Evaluación de criterios ponderativos - Sistema motriz

Criterio	Potencia	Velocidad	Alimentación	Costo	Peso	$\Sigma+1$	Ponderación
Potencia	-	1	0,5	1	0,5	4	0,266666667
Velocidad	0	-	1	0,5	0	2,5	0,166666667
Alimentación	0,5	0	-	0	0	1,5	0,1
Costo	0	0,5	1	-	0,5	3	0,2
Peso (liviano)	0,5	1	1	0,5	-	4	0,266666667
Total						15	1

Realizado por: Autores

2. Evaluación de la mejor solución según el criterio “Potencia”

Tabla 36-3. Evaluación del criterio Potencia

Potencia	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	1	1	0,5	3,5	0,35
B	0	-	0,5	0	1,5	0,15
C	0	0,5	-	0	1,5	0,15
D	0,5	1	1	-	3,5	0,35
Total					10	1

Realizado por: Autores

3. Evaluación de la mejor solución según el criterio “Velocidad”

Tabla 37-3. Evaluación del criterio velocidad

Velocidad	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	1	1	1	4	0,4
B	0	-	1	0	2	0,2
C	0	0	-	0,5	1,5	0,15
D	0	1	0,5	-	2,5	0,25
Total					10	1

Realizado por: Autores

4. Evaluación de la mejor solución según el criterio “Alimentación”

Tabla 38-3. Evaluación del criterio alimentación

Alimentación	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	1	1	1	4	0,4
B	0	-	0,5	1	2,5	0,25
C	0	0,5	-	1	2,5	0,25
D	0	0	0	-	1	0,1
Total					10	1

Realizado por: Autores

5. Evaluación de la mejor solución según el criterio “Costo”

Tabla 39-3. Evaluación del criterio costo del sistema motriz

Costo	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	1	1	1	4	0,4
B	0	-	0	0,5	1,5	0,15
C	0	1	-	1	3	0,3
D	0	0,5	0	-	1,5	0,15
Total					10	1

Realizado por: Autores

6. Evaluación de la mejor solución según el criterio “Peso”

Tabla 40-3. Evaluación del criterio peso del sistema

Peso	A	B	C	D	$\Sigma+1$	Ponderación
A	-	0,5	1	1	3,5	0,35
B	0,5	-	1	1	3,5	0,35
C	0	0	-	1	2	0,2
D	0	0	0	-	1	0,1
Total					10	1

Realizado por: Autores

7. Establecer los resultados de las evaluaciones anteriores.

Tabla 41-3. Tabla de Conclusiones – Sistema motriz

	Potencia	Velocidad	Alimentación	Costo	Peso	Σ	Prioridad
A	0,093333333	0,066666667	0,04	0,08	0,093333333	0,373333333	1
B	0,04	0,033333333	0,025	0,03	0,093333333	0,221666667	2
C	0,04	0,025	0,025	0,06	0,053333333	0,203333333	3
D	0,093333333	0,041666667	0,01	0,03	0,026666667	0,201666667	4

Realizado por: Autores

Se establece como mejor opción a la solución A, la cual corresponde a los motorreductores de corriente continua debido a su potencia y bajo costo. también ha sido considerado como la opción más favorable debido a la sencillez de su alimentación.

3.4. Diseño conceptual

Gracias a los resultados obtenidos por medio de la matriz morfológica, se llega a la conclusión de las siguientes partes :

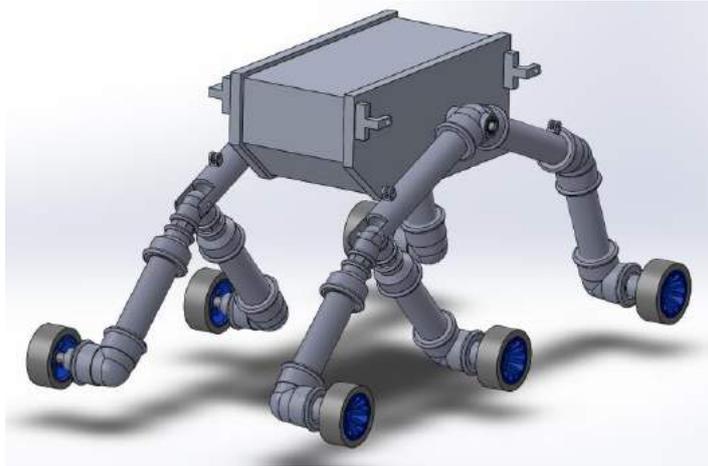


Figura 2-3. Vista isométrica del vehículo explorador terrestre
Realizado por: Autores

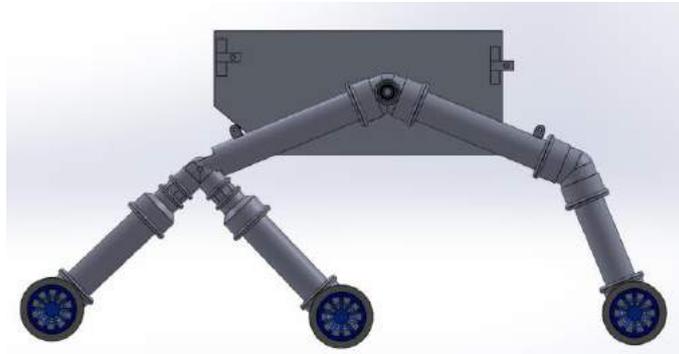


Figura 3-3. Vista lateral del vehículo explorador terrestre
Realizado por: Autores

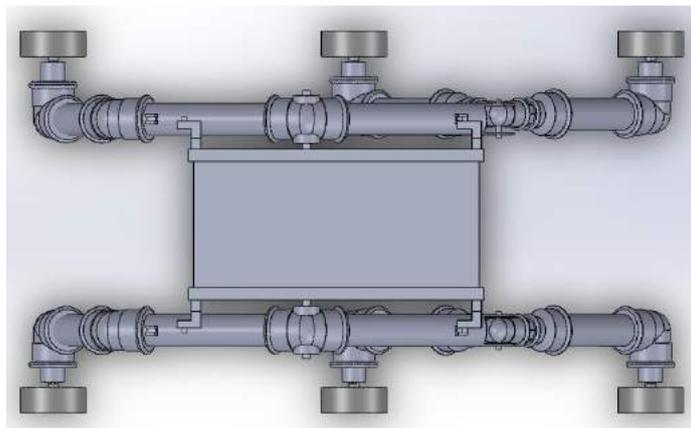


Figura 4-3. Vista superior del vehículo explorador terrestre
Realizado por: Autores

3.5. Análisis PERT – CPM

El termino PERT es el acrónimo en ingles de la técnica de revisión y evaluación de proyectos, esta técnica es una forma visual de representar las actividades que conforman un proyecto y la

relación que tienen entre sí. La representación visual por parte del diagrama PERT está acompañada también por el método de la ruta crítico, denominado CPM.

Para la correcta ejecución de la técnica PERT es necesario realizar pasos fundamentales en la planeación del proyecto, las cuales son:

- Definir el proyecto con todas las actividades o partes principales.
- Establecer relaciones entre las actividades, decidiendo las correlaciones entre cada actividad antes y después de su ejecución.
- Trazar el diagrama conectando las actividades en base a las relaciones definidas anteriormente.
- Definir tiempo y costos estimados para cada actividad.
- Identificar la trayectoria que involucra la mayor cantidad de tiempo, siendo esta ruta la que determinara la duración del proyecto.

3.5.1. Identificación de actividades para la construcción del vehículo

Las actividades necesarias para la ejecución de este trabajo se encuentran enlistadas en la Tabla 42-3 en donde se asigna una letra para facilitar su comprensión por otra parte se identifican, las relaciones que tienen entre actividades y finalmente se define el tiempo promedio necesario para su ejecución.

Tabla 42-3. Actividades y correlaciones

ACTIVIDAD	DESCRIPCION	REQUISITOS	TIEMPO ESTIMADO (SEMANAS)
A	Diseño electrónico	-	3
B	Electrónica de potencia	A	2
C	Electrónica de control	A	2
D	Prediseño mecánico	B, C	2
E	Placa PCB	C	0,5
F	Cálculo de esfuerzos	D	6
G	Modelado cámara	D, E	1
H	Impresión 3D	G	0,2
I	Modelado CAD	F	3
J	Modelo CAM	I	2
K	Mecanizado de armazón	F	2
L	Mecanizado general	J	2
M	Ensamble mecánico	L, H, K	3
N	Ensamble electrónico	H	0,8
O	Ensamble general	N, M	4
P	Control de calidad	O	2

Realizado por: Autores

Para una fácil comprensión de los diferentes ámbitos que conforman la construcción del vehículo explorador se han designados varios colores, siendo los siguientes:

Azul: Parte electrónica del proyecto.

Amarillo: Parte mecánica del proyecto.

Verde: Unión de las partes mecánicas y electrónicas del proyecto.

Magenta: Inicio y fin del diagrama.

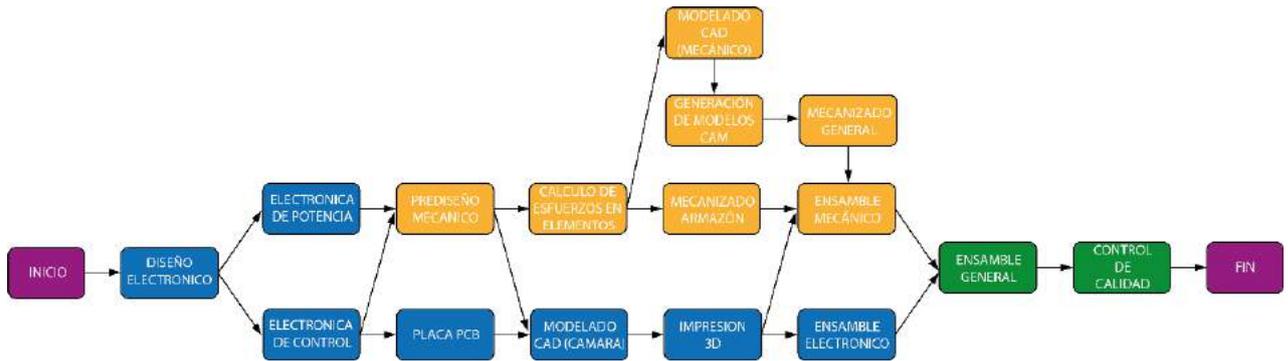


Figura 5-3. Diagrama PERT - CPM

Realizado por: Autores

Utilizando el método del camino crítico, el tiempo estimado de la culminación del proyecto da un total de 29 semanas, y gracias al diagrama PERT se observa la ruta crítica, siendo las actividades importantes en función del tiempo las siguientes:

A, B/C, D, F, I, J, L, M, O, P.

Es notorio que dentro de las actividades de la ruta crítica existe una mayor presencia del ámbito mecánico debido a la complejidad que representa su diseño y ejecución.

3.6. Diseño electrónico

3.6.1. Diseño de la electrónica de potencia

Debido a que el vehículo explorador debe ser alimentado con una fuente adecuada, da lugar a la electrónica de potencia, la cual es la encargada de proporcionar los parámetros necesarios de voltaje e intensidad para que cada uno de los distintos elementos eléctricos y electrónicos funcionen de manera óptima.

La forma más eficiente y sencilla de controlar de manera adecuada el voltaje es por medio de reguladores LM78XX los cuales transforman un voltaje de corriente continua superior a un voltaje de corriente continua con un valor constante. Debido a que los elementos electrónicos de control

funcionan con un voltaje nominal de 5V se ha utilizado el regulador LM7805, el cual requiere los siguientes parámetros para su correcto funcionamiento:

Tabla 43-3. Propiedades del Regulador LM7805

SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
V_i	Voltaje de ingreso	7 - 25	V
V_o	Voltaje de salida	$5 \pm 4\%$	V
I_o	Corriente de salida	1.5	A
I_c	Corriente de consumo	500	mA

Realizado por: TEXAS INSTRUMENTS, 2003

Una vez establecidos los parámetros básicos de funcionamiento, se define el circuito de conexión del regulador, debido a que es necesario refinar la señal de voltaje de salida ya que dicha señal presenta fluctuaciones, para dicho propósito se precisa la ayuda de capacitores, los cuales complementan los vacíos y fluctuaciones de la señal. La Figura 6-3 muestra la conexión que recomienda el fabricante.

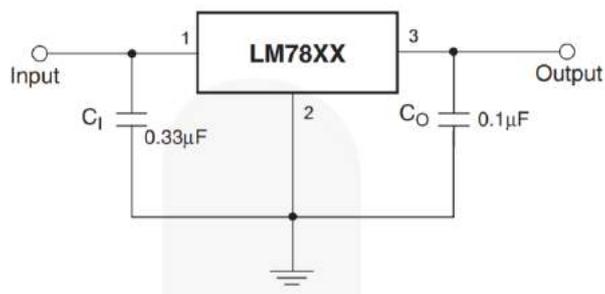


Figura 6-3. Conexión del Regulador LM7805

Realizado por: Fairchild, 2014

Para la validación del circuito se comprueba su funcionamiento en el Software Proteus 8, el cual muestra valores de voltaje de ingreso y de salida en tiempo real dando los siguientes resultados:

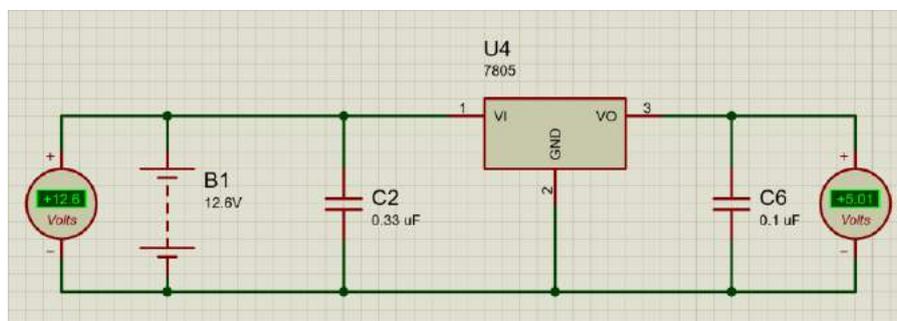


Figura 7-3. Comprobación en Proteus 8 del Regulador LM7805

Realizado por: Autores

Finalmente, ya comprobado mediante Software *Proteus 8* su correcta labor, se procede a la construcción de la fuente Reguladora de Voltaje.

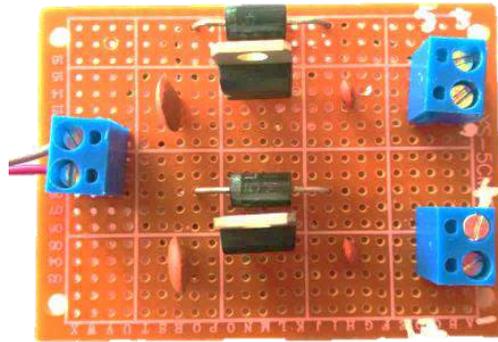


Figura 8-3. Fuente reguladora de Voltaje
Realizado por: Autores

Un parámetro importante para la construcción de la fuente reguladora de voltaje es la seguridad, por lo que es necesario proteger el circuito en el caso de que se alimente inadecuadamente con una polaridad invertida, para ello se añaden diodos unidireccionales al ingreso y a la salida del regulador, dichos diodos evitaran el paso de corriente eléctrica cuando la polaridad de alimentación no sea la adecuada.

3.6.2. *Diseño de la electrónica de control*

Para la distribución de las señales de salida generadas por el receptor de radio frecuencia es necesario establecer un circuito el cual permita compartir la señal en diferentes puntos de salida, debido a que para una misma señal es necesario conectar varios elementos que repliquen las órdenes enviadas por el control, siendo el caso de los motores que se requiere replicar la señal a los tres módulos L298N para generar los movimientos del vehículo, por cuestiones de facilidad se opta por la fabricación de una PCB denominada *Placa Madre*, la cual será la encargada de contener al limitador de Voltaje así como también las pistas de distribución de voltaje y señal hacia los diferentes puertos de salida. Por tal motivo, se ha optado por el uso del software *Proteus 8*, el cual permite la construcción de un modelo PCB a partir de un circuito establecido, la mayor ventaja que proporciona dicho paquete informático es su amplia librería de componentes electrónicos manufacturados con dimensiones estandarizadas, facilitando así el proceso de construcción al momento de incorporar los elementos electrónicos.

Para el proceso de Diseño se analiza dos parámetros principales, la primera es la cantidad de salidas con un voltaje determinado para alimentar los componentes electrónicos que no mantiene una conexión con el receptor de radiofrecuencia y la segunda es la cantidad de salidas de conexión cuya señal requieren subdividirse en varias, se debe tener en cuenta que el circuito debe mantener

una tierra común entre todos los dispositivos que se conecten y más aún cuando se agreguen otros elementos cuya alimentación es independiente siendo este el caso de los módulos L298N que es alimentado de forma independiente con una batería Li-Po de 3 celdas.

Conforme a lo antes mencionado se muestra el diagrama de las conexiones resumidas realizadas en Proteus

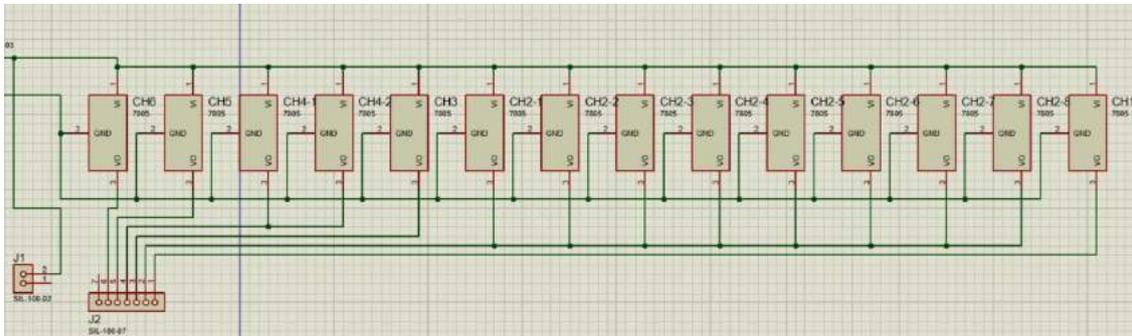


Figura 9-3. Distribución de señales en Proteus

Realizado por: Autores

Concluido el diseño del circuito base se pasa a la parte de PCB, en donde se incorporan los diferentes elementos electrónicos previamente enlazados en el circuito principal con el propósito de distribuir y optimizar el espacio requerido procurando evitar interferencias entre las conexiones, obteniendo como resultado la figura que se muestra a continuación.

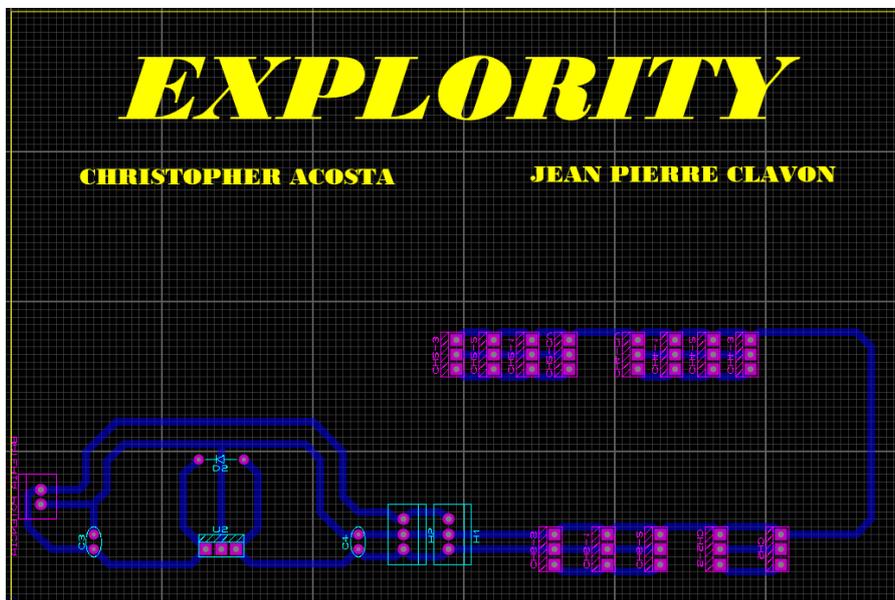


Figura 10-3. PCB de la Placa Madre

Realizado por: Autores

Finalizada la parte concerniente al modelado, se genera el documento portador de las capas requeridas para la impresión y su posterior fabricación, dando como resultado la siguiente figura:

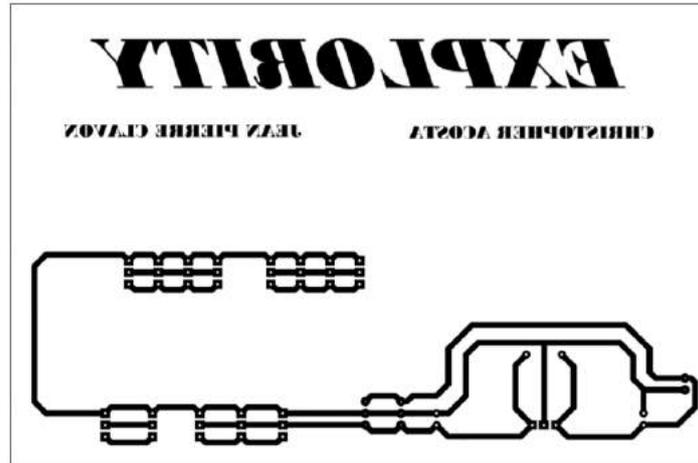


Figura 11-3. PCB de la Placa Madre para impresión
Realizado por: Autores

Cabe recalcar que para la impresión es necesario realizar el reflejo de la pista en el eje vertical, invirtiendo así la imagen, ya que esta será transferida a una placa de cobre conservando de esta forma las propiedades de la imagen base.

3.6.3. *Proceso de fabricación de la placa madre*

Concerniente a la parte de la fabricación de la Placa Madre se han tomado en consideración dos métodos de manufactura, la primera es la impresión de la PCB por mecanizado de la placa de cobre la cual presenta un costo bastante elevado en comparación de la segunda opción, siendo esta el método de sublimación o también conocido como de la plancha, dicho método consiste en impregnar la tinta de una impresión láser con la imagen del circuito a realizar sobre la placa de cobre mediante la aplicación de calor de forma constante.

Como se mencionó, el diseño de las pistas para la placa madre ha sido impreso sobre papel fotográfico el cual permite separar las distintas capas de color de tinta colocadas en la imagen, una vez tratada la superficie de la placa con un agente extractor de esmalte se añade calor entre la impresión y la placa de cobre hasta que la tinta se adhiera al cobre como se muestra en la Figura 12-3.

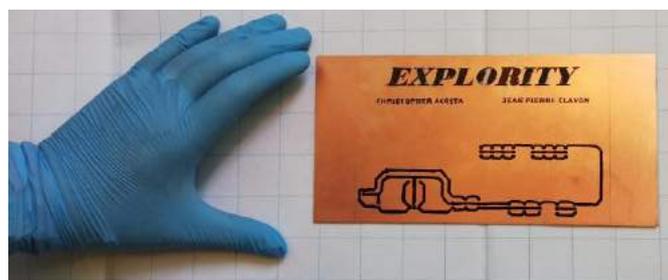


Figura 12-3. Placa previa al baño químico
Realizado por: Autores

Con el propósito de evitar dejar espacios sin la suficiente tinta se remarcan las pistas con la ayuda de un rotulador permanente, una vez seca la tinta se sumerge la placa de cobre en un baño químico de ácido férrico y se la mantiene en agitación constante, gracias a este proceso químico se remueve el cobre que no se encuentra afectado por la tinta, dejando solamente las pistas deseadas como se muestra en la Figura 13-3.

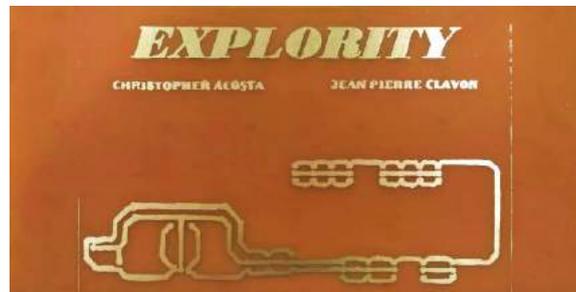


Figura 13-3. Resultado del baño químico
Realizado por: Autores

Para concluir con la fabricación de la Placa Madre es necesario lavar con abundante agua y alcohol eliminando de esta forma los rastros de la tinta, solo resta realizar las perforaciones necesarias para colocar los componentes electrónicos que lo van a conformar.

3.6.4. Ensamble de los componentes

Una vez añadido el circuito limitador de voltaje y los terminales de conexión en la placa madre, se realiza la conexión basándose en el diagrama de la Figura 14-3. En este diagrama se observan los canales del receptor de radiofrecuencia que requieren la distribución de su señal y los demás componentes electrónicos.

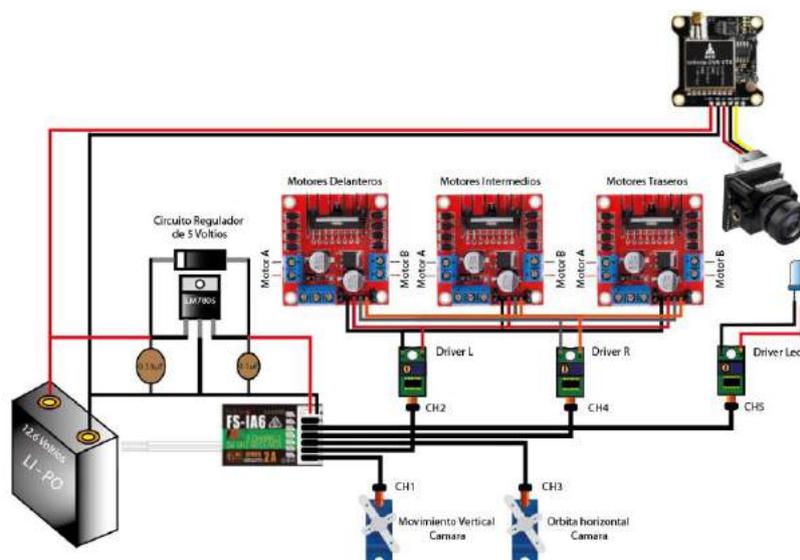


Figura 14-3. Diagrama total de conexiones
Realizado por: Autores

El resultado físico del montaje de los componentes electrónicos se muestra en la Figura 15-3.

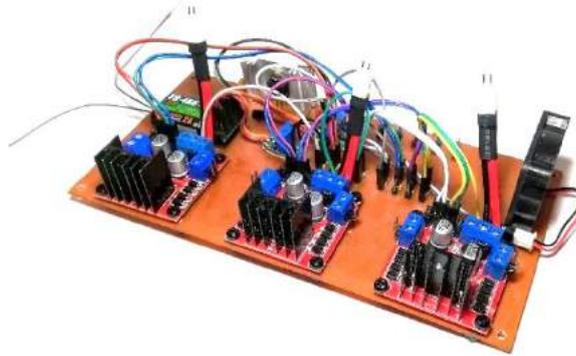


Figura 15-3. Montaje de los componentes electrónicos
Realizado por: Autores

3.6.5. Asignación de canales y programación interna

Los canales han sido asignados de tal forma que, al controlar al vehículo explorador, este presente una forma intuitiva y sencilla, por tal motivo se asigna al análogo del lado izquierdo del mando (canales 2 y 4) para el movimiento del vehículo explorador y el análogo derecho del mando (canales 1 y 3) para los movimientos de la cámara. A continuación, se enlistan los canales y su asignación.

- Canal 1: órbita horizontal de cámara.
- Canal 2: hilera izquierda de motores.
- Canal 3: movimiento vertical de cámara.
- Canal 4: hilera derecha de motores.
- Canal 5: iluminación led.

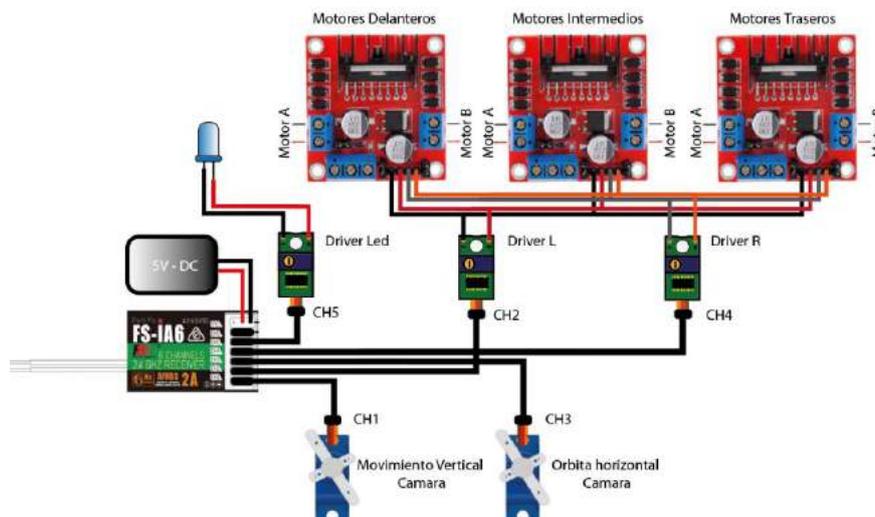


Figura 16-3. Diagrama de distribución de canales
Realizado por: Autores

Debido a que los canales 2 y 4 están asignados para las hileras de motores izquierda (L) y derecha (R) respectivamente, es necesario realizar una programación interna en el control de radio frecuencia para lograr que el manejo del vehículo explorador sea sencillo e intuitivo, por tanto, se realizan mezclas de canales de la siguiente manera:

- Mezcla 1

Esta mezcla asigna al canal 2 como el canal maestro y como canal esclavo al canal 4 en una proporción de 1:1, esto quiere decir que cuando se active el canal 2 (hilera de motores L), el canal 4 (hilera de motores R) también se activaría con el mismo valor de voltaje provocando así el movimiento hacia adelante o hacia atrás del vehículo.



Figura 17-3. Configuración Mix #1

Realizado por: Autores

- Mezcla 2

Esta mezcla asigna al canal 4 como canal maestro y como canal esclavo el canal 2 en una proporción de 1: -1, esto quiere decir que cuando se activa el canal 4 (hilera de motores R), el canal 2 (hilera de motores L) también se activara con el mismo valor absoluto de voltaje, pero con una polaridad invertida provocando así el giro en sentido horario o antihorario del vehículo explorador.

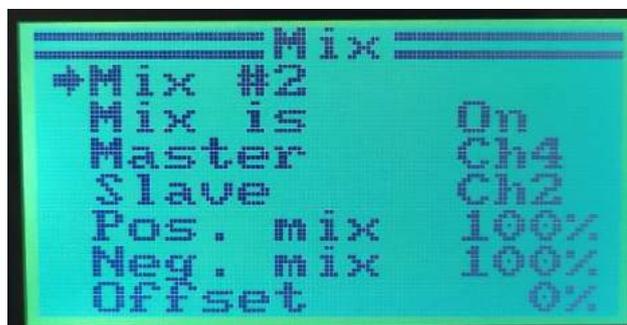


Figura 18-3. Configuración Mix #2

Realizado por: Autores

Es preciso recalcar que cuando las 2 mezclas de canales se encuentran activas la programación del control de radio frecuencias toma como prioridad la de mayor señal y la otra mezcla se activa proporcionalmente evitando así conflictos de movimiento.

Tabla 44-3. Movimientos con Activación de Mezclas

DIRECC.	DISPLAY	DIRECC.	DISPLAY
Adelante		Atrás	
Derecha		Izquierda	

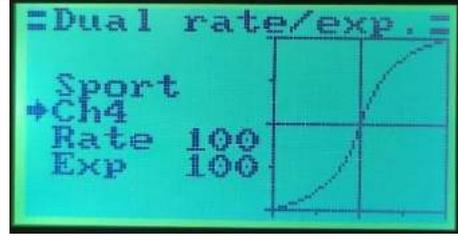
Realizado por: Autores

Se puede apreciar que al momento de activar el canal 2 en el análogo izquierdo de forma vertical también se activa el canal 4 gracias a la mezcla 1 antes mencionada

Se aprecia también en la Tabla 44-3 que para generar la rotación del vehículo explorador se activa el canal 4 y gracias a la mezcla 2 se activa el canal 2 con un mismo valor de voltaje con una polaridad invertida.

Una de las herramientas que proporciona el control de radio frecuencia es el cambio de modos de conducción mediante la modificación de la curva de respuesta de voltaje, pasando de una gráfica lineal a una curva exponencial, evitando así movimientos bruscos al momento de poner en marcha los motores del vehículo explorador como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 45-3. Modalidad de conducción

CANAL	NORMAL	SPORT
CH 2		
CH 4		

Realizado por: Autores

3.7. Diseño mecánico

3.7.1. Modelo de construcción

A través del proceso QFD se puede generar un modelado final estableciendo los materiales y la distribución de los diferentes componentes con el objetivo de establecer las dimensiones y el comportamiento por medio del software SolidWorks el cual se muestra en la siguiente figura:

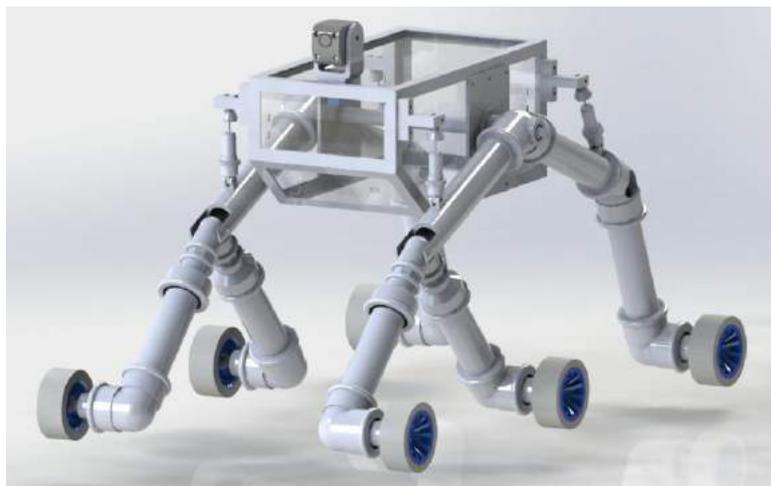


Figura 19-3. Modelado final del vehículo explorador

Realizado por: Autores

El modelo presentado, se ha sometido a un proceso de evaluación de resistencia mecánica virtual por medio del software MSC Adams, el cual permite confirmar el correcto funcionamiento y la total resistencia de los componentes estructurales del vehículo explorador.

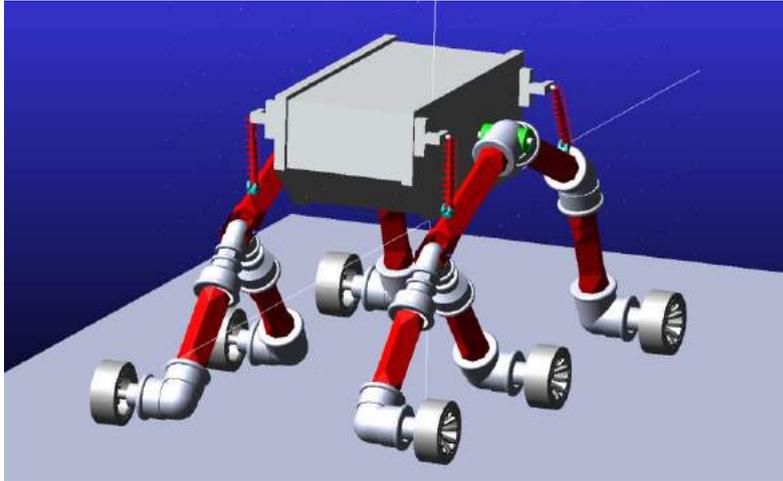


Figura 20-3. Modelo de estudio de esfuerzos en Adams
Realizado por: Autores

Concluido la etapa de modelado y evaluación de resistencia mecánica, se establece la planimetría y se procede al proceso constructivo.

3.7.2. Construcción del armazón

3.7.2.1. Construcción de la cubierta de acrílico

La estructura del armazón consiste en una cubierta de acrílico, el cual fue dimensionado y cortado a través de corte por láser y adherido con formol para asegurar las juntas. Con el objetivo de aumentar la resistencia mecánica en caso de que el vehículo tenga algún accidente, se ha optado por mejorar la estructura mediante perfilería de aluminio, la cual otorga una mayor resistencia en caso de impactos y asegura las uniones en la cubierta de acrílico.



Figura 21-3. Cubierta de acrílico con refuerzo de aluminio
Realizado por: Autores

3.7.2.2. Construcción de las bases de los rodamientos

La parte que asegura al armazón con el eje principal y que además es punto de apoyo para los laterales es la base de los rodamientos, el cual ha sido fabricado en plancha de aluminio de 10 mm a través de un proceso de tallado con la utilización de una fresadora CNC, se lleva a cabo las operaciones con precisión bajo una programación de movimientos. En las bases se talla el vaciado para el ingreso del rodamiento y se desbasta los extremos para el contacto con la perfilería instalada, como se muestra en la siguiente figura:



Figura 22-3. Mecanizado de la base de rodamiento

Realizado por: Autores

Después de un proceso de limpieza de aristas vivas, pulido e ingreso del rodamiento, se obtiene el siguiente resultado:



Figura 23-3. Base de Rodamiento

Realizado por: Autores

3.7.2.3. Fabricación de eje principal

Para la fabricación del eje principal, se ha pasado por un proceso de torneado en un eje de aluminio de ½ in, el cual se ha ajustado con precisión para los rodamientos.



Figura 24-3. Mecanizado del eje
Realizado por: Autores

3.7.3. Construcción de la estructura

3.7.3.1. Corte, cilindrado y refrentado de la tubería

Con las dimensiones establecidas en la planimetría, se realizan los respectivos cortes en la tubería de acuerdo con el número de eslabón al cual pertenece, para ello se mantiene una tolerancia de 3mm, para a continuación refrentar los extremos y otorgar la medida correcta, como se muestra en la siguiente figura:



Figura 25-3. Refrentado de la tubería
Realizado por: Autores

Para instalar los eslabones en los diferentes accesorios, se realiza un cilindrado en los extremos para ingresarlo por medio de ajuste a presión, esto permite que se mantenga la alineación entre los ejes de los diferentes elementos, por otra parte, facilita el proceso de instalación.



Figura 26-3. Cilindrado de la tubería
Realizado por: Autores

3.7.3.2. Mecanizado de los accesorios

Para el ingreso de los bocines en la articulación principal es necesario de un proceso de mecanizado, en primer lugar, un aplanamiento para evitar rozamientos con las bases de los rodamientos y finalmente un taladrado para que ingrese bajo presión del bocín portador de los rodamientos.



Figura 27-3. Mecanizado de articulación principal

Realizado por: Autores

3.7.3.3. Mecanizado del refuerzo del eslabón 3

Para mejorar la resistencia del eslabón 3, es necesario realizar un refuerzo elaborado en eje de aluminio de 1 ½ in, en primer lugar, se cilindra a el diámetro interno de la tubería a una profundidad de 20 mm.



Figura 28-3. Cilindrado del refuerzo eslabón 3

Realizado por: Autores

Concluido el proceso de cilindrado, se realiza el desbaste de la cavidad para el ingreso de la articulación delantera, este proceso es ejecutado por medio de una fresadora CNC la cual mediante un código de programación guía sus movimientos con alta precisión.



Figura 29-3. Ranurado del refuerzo

Realizado por: Autores

Para concluir, se realiza la perforación para el pasador que conecta a la articulación delantera con el eslabón 3, quedando de la siguiente forma:



Figura 30-3. Refuerzo de eslabón 3
Realizado por: Autores

3.7.3.4. *Ensamble de la articulación delantera*

La articulación delantera está conformada por los eslabones 1 y 2 que tienen la misma longitud, estos son acoplados en un extremo a codos de 90 grados a 1 in y al otro extremo es unido a un codo mecanizado de 90 grados de 1/2 in, todo es ensamblado por apriete bajo presión. Hay que tener en cuenta que en la salida de los codos donde van a ser colocados los motores, deben mantener una separación de 31 cm y tener paralelismo entre sus caras laterales.



Figura 31-3. Ensamble de articulación delantera
Realizado por: Autores

3.7.3.5. *Ensamble de la articulación principal*

El ensamble de la articulación principal está conformado por los eslabones 3, 4 y 5, unidos entre sí con codos de 135 grados a 1 in y en el extremo del eslabón 5 se ubica un codo de 90 grados a 1 in, y al extremo de la tubería 3 se ingresa el refuerzo de aluminio.



Figura 32-3. Ensamble de la articulación Principal
Realizado por: Autores

3.7.3.6. *Ensamble total del lateral*

Para concluir con la construcción de los laterales, se une la articulación delantera con la articulación principal, por medio de un pasador y se lo asegura con broches en los extremos.



Figura 33-3. Ensamble total lateral
Realizado por: Autores

3.7.4. *Ensamble general*

3.7.4.1. *Ensamble total del armazón*

El ensamble total del armazón consta de las bases laterales, las cuales portan el eje, dichas bases, al igual que los soportes de los amortiguadores se integran a la carcasa de acrílico reforzada con perfil de aluminio.

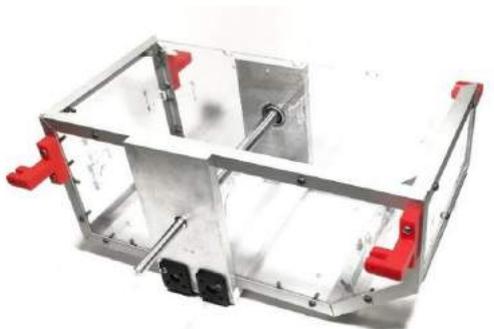


Figura 34-3. Ensamble total del armazón
Realizado por: Autores

3.7.4.2. *Ensamble de la electrónica*

Concluida la construcción del armazón, se procede a montar toda la parte electrónica de control y potencia, quedando de la siguiente forma:



Figura 35-3. Ensamble de la electrónica
Realizado por: Autores

3.7.4.3. *Ensamble final*

En el ensamble final se incorporan las estructuras laterales al ensamble total del armazón, el cual contiene todos los componentes electrónicos previamente ensamblados y finalmente se instalan los 6 motores para otorgar movimiento al vehículo explorador.



Figura 36-3. Ensamble final
Realizado por: Autores

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Coeficientes de seguridad de los elementos mecánicos

Para facilitar el proceso de identificación de los elementos analizados del vehículo explorador se utiliza una nomenclatura que especifica las propiedades de dichos elementos, se los detalla a continuación:

Tabla 1-4. Materiales y nomenclatura de los elementos del vehículo explorador

ELEMENTOS DEL VEHÍCULO EXPLORADOR TERRESTRE							
Nomenclatura	Eslb	Art_P	CM	Art	C45	BR	P
Nombre	Eslabón	Articulación principal	Codo del motor	Articulación	Codo de 135	Base del Resorte	Pasador
Material	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	PVC	Acero

Fuente: (Autores)

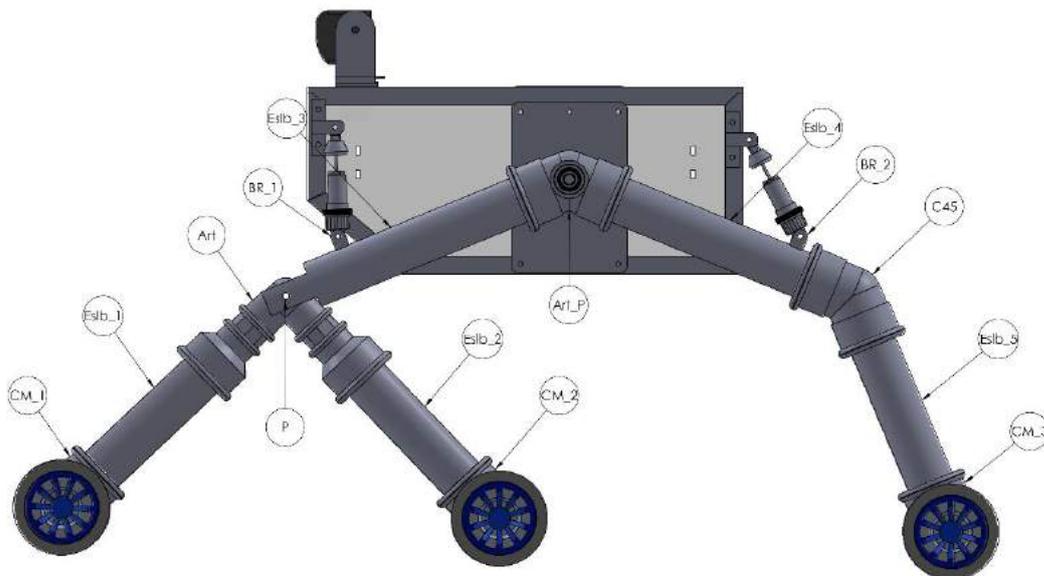


Figura 1-4. Nomenclatura de los elementos

Realizado por: Autores

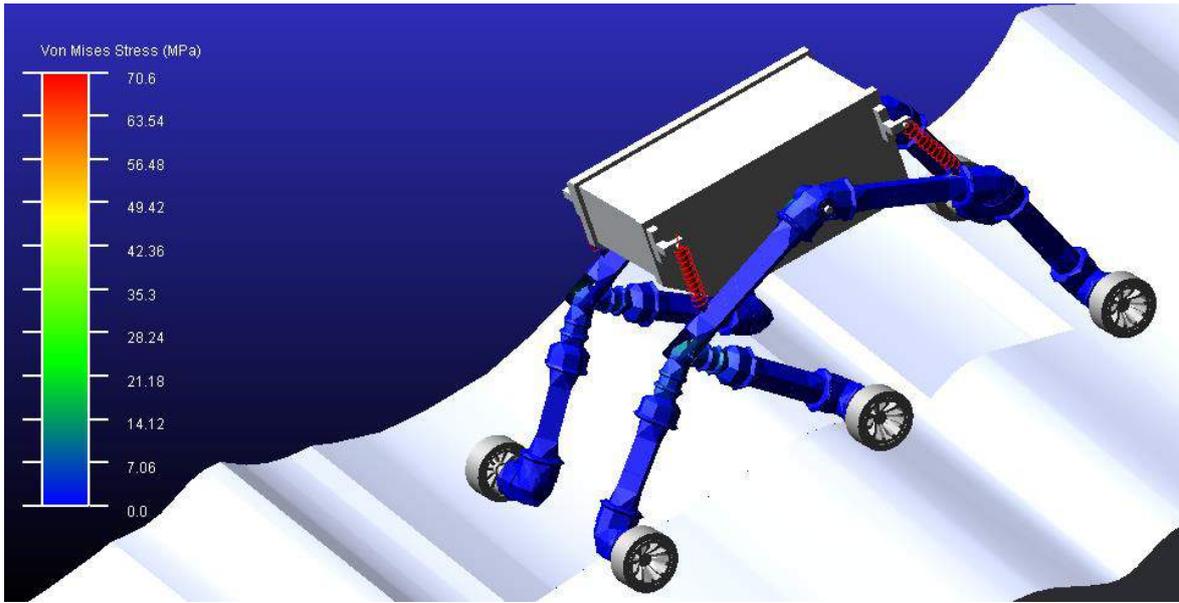


Figura 2-4. Análisis de Von Mises en MSC Adams

Realizado por: Autores

A continuación, se muestran las gráficas resultantes del comportamiento a esfuerzos de Von Mises de los diferentes elementos que componen al vehículo explorador terrestre.

Articulación principal:

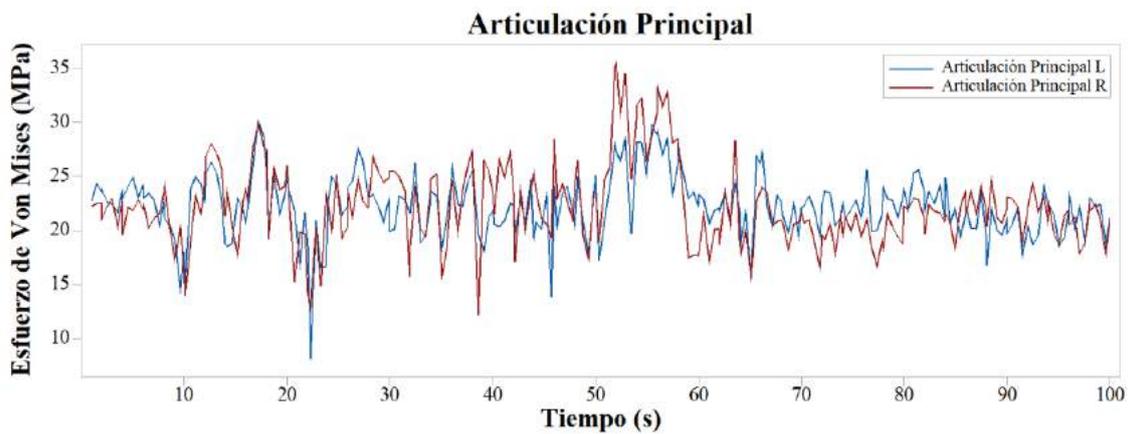


Gráfico 1-4. Esfuerzo Equivalente de articulaciones principales

Realizado por: Autores

- **Articulación frontal:**

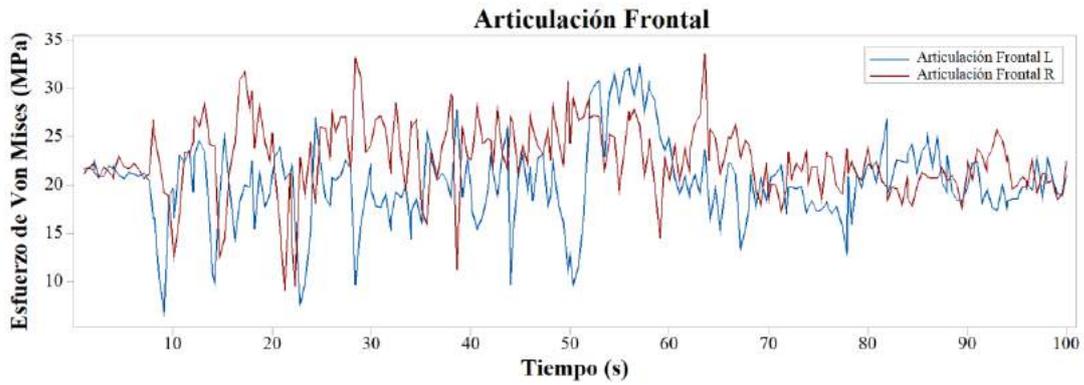


Gráfico 2-4. Esfuerzo Equivalente de articulaciones frontales

Realizado por: Autores

- **Bocín:**

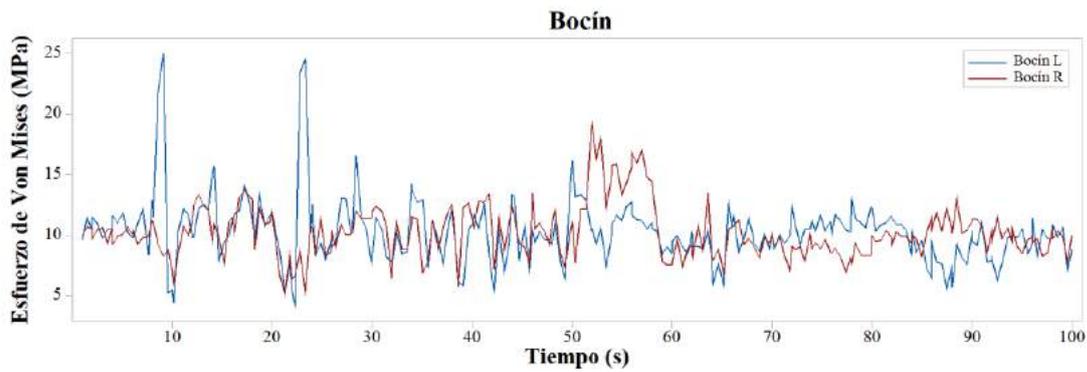


Gráfico 3-4. Esfuerzo Equivalente de Bocines

Realizado por: Autores

- **Base frontal del amortiguador:**

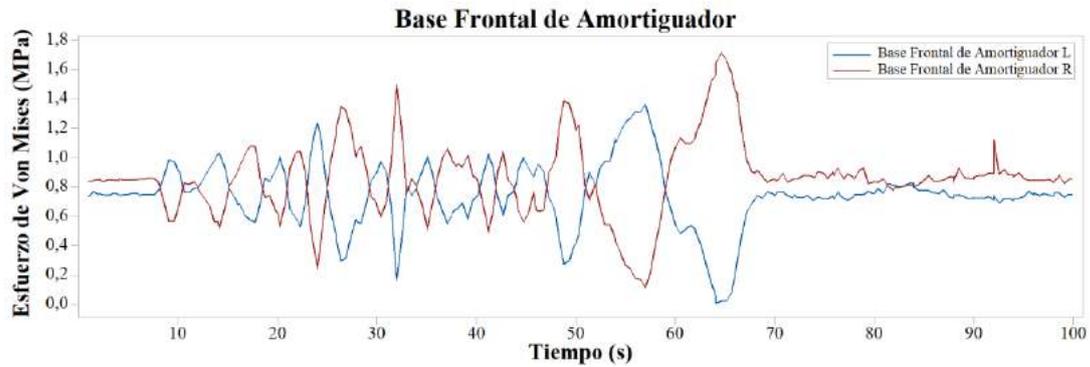


Gráfico 4-4. Esfuerzo Equivalente de bases frontales de amortiguadores

Realizado por: Autores

- **Base trasera del amortiguador:**

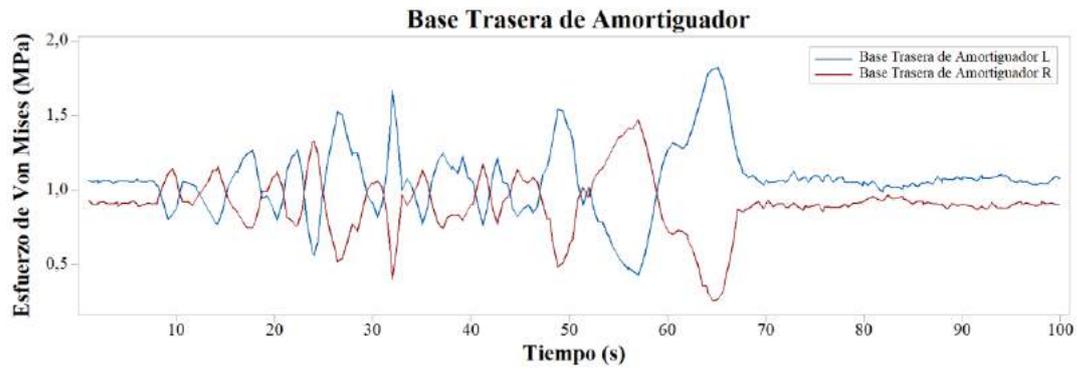


Gráfico 5-4. Esfuerzo Equivalente de bases traseras de amortiguadores

Realizado por: Autores

- **Codo de 135°:**

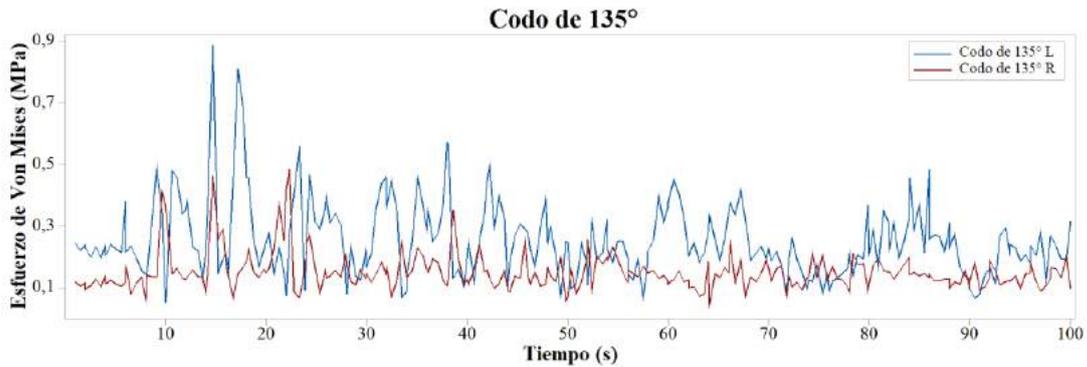


Gráfico 6-4. Esfuerzo Equivalente de codos de 135°

Realizado por: Autores

- **Codo delantero para el motor:**

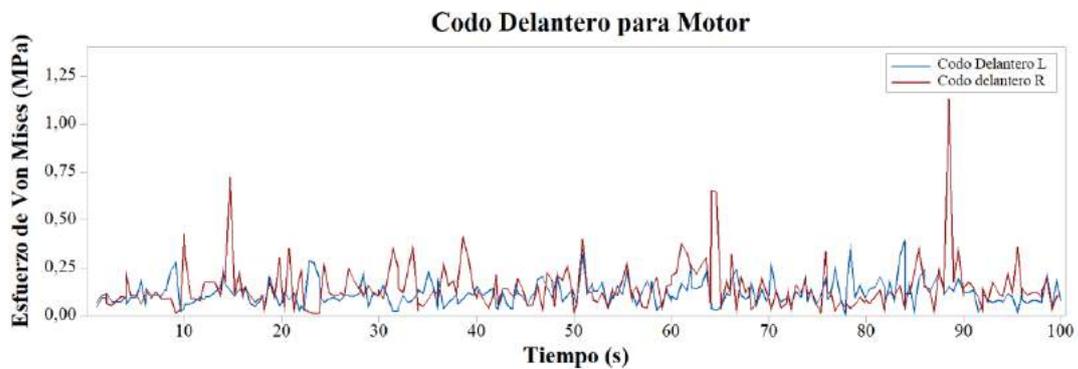


Gráfico 7-4. Esfuerzo Equivalente de Codos Delanteros

Realizado por: Autores

- **Codo intermedio para el motor:**

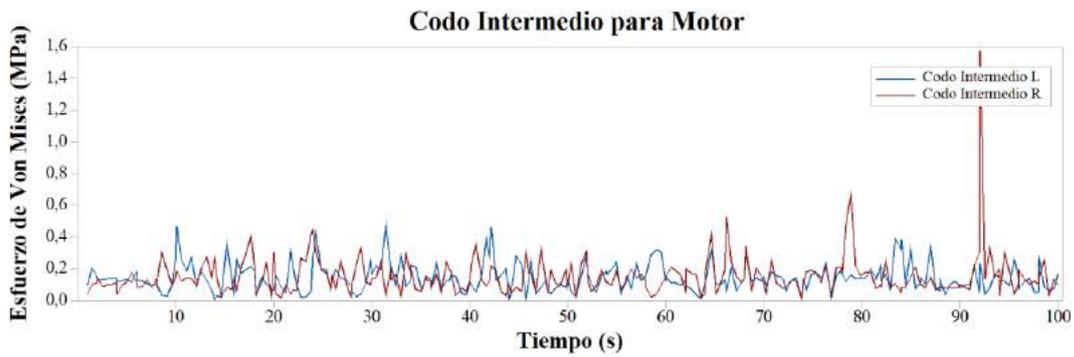


Gráfico 8-4. Esfuerzo Equivalente de Codos Intermedios

Realizado por: Autores

- **Codo trasero para el motor:**

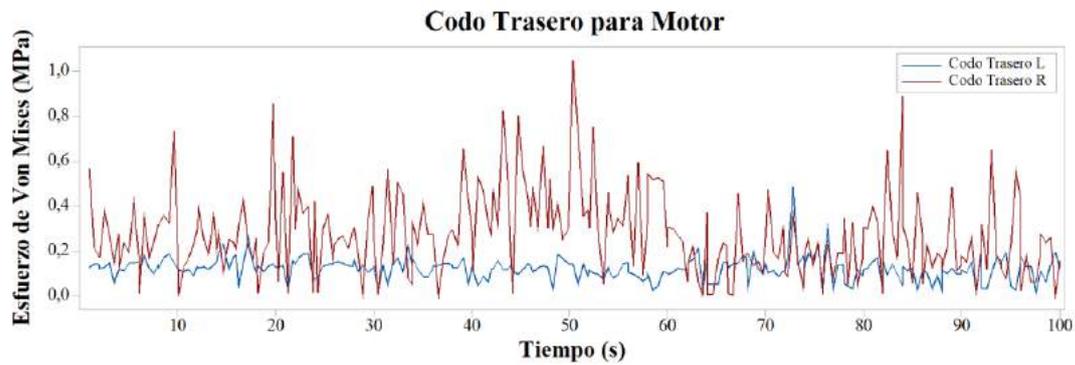


Gráfico 9-4. Esfuerzo Equivalente de Codos Traseros

Realizado por: Autores

- **Eslabón 1:**

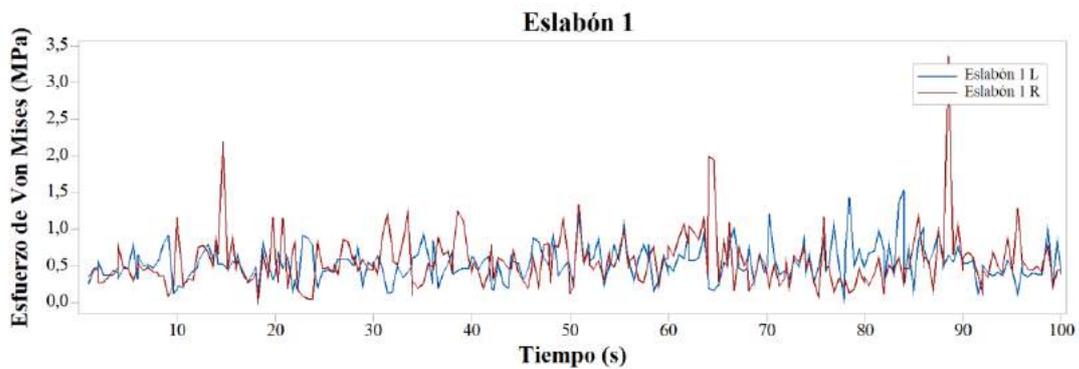


Gráfico 10-4. Esfuerzo Equivalente de Eslabones 1

Realizado por: Autores

- **Eslabón 2:**

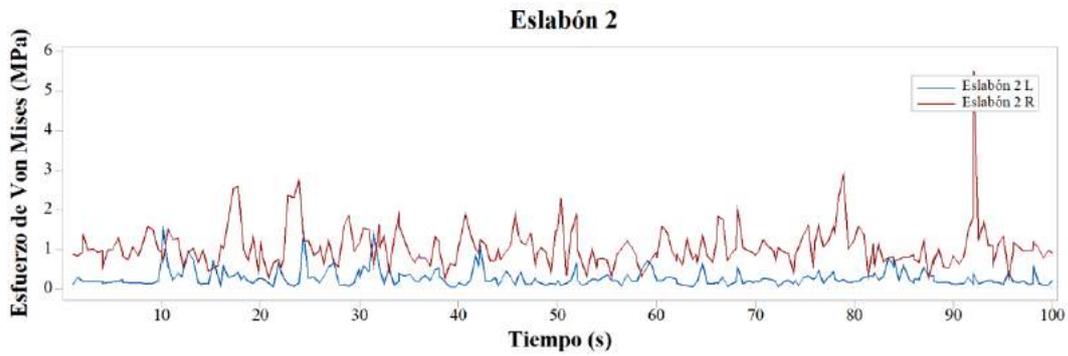


Gráfico 11-4. Esfuerzo Equivalente de Eslabones 2

Realizado por: Autores

- **Eslabón 3:**

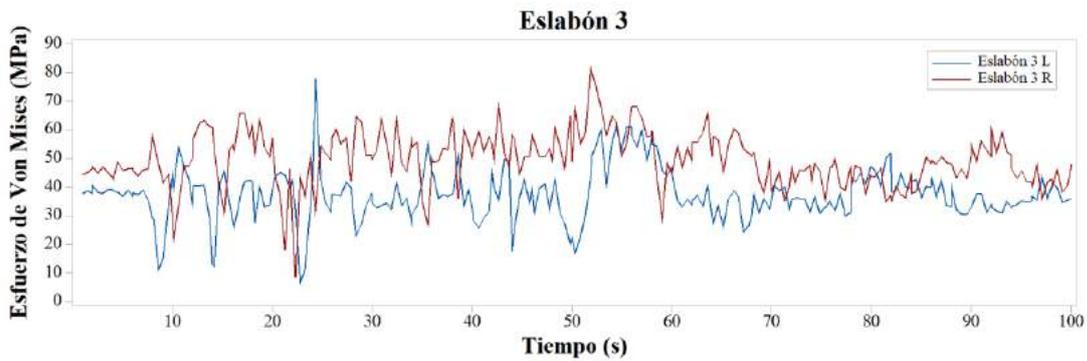


Gráfico 12-4. Esfuerzo Equivalente de Eslabones 3

Realizado por: Autores

- **Eslabón 4:**

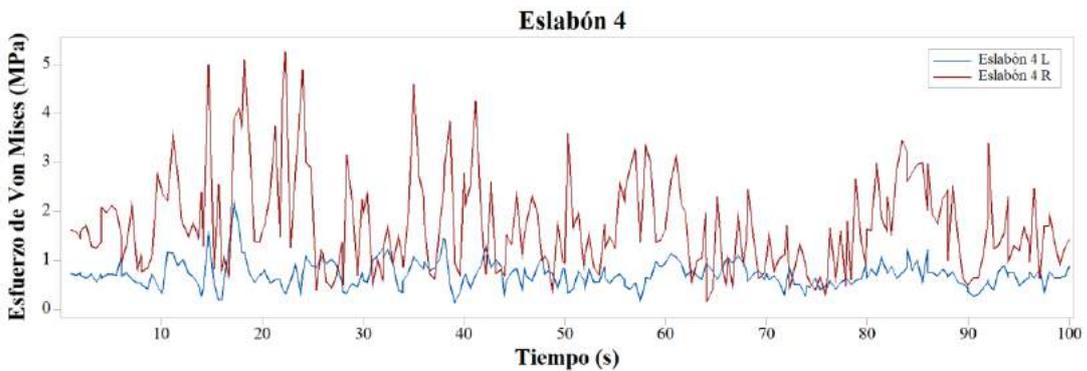


Gráfico 13-4. Esfuerzo Equivalente de Eslabones 4

Realizado por: Autores

- **Eslabón 5:**

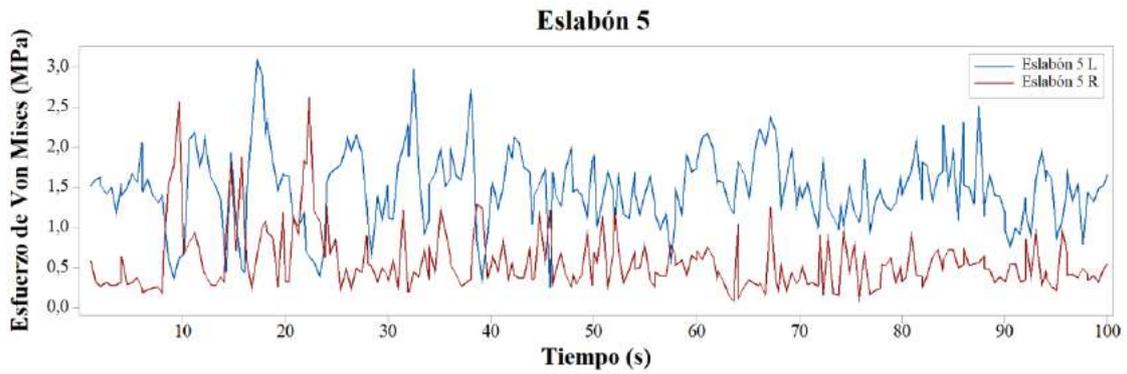


Gráfico 14-4. Esfuerzo Equivalente de Eslabones 5

Realizado por: Autores

- **Pasador:**

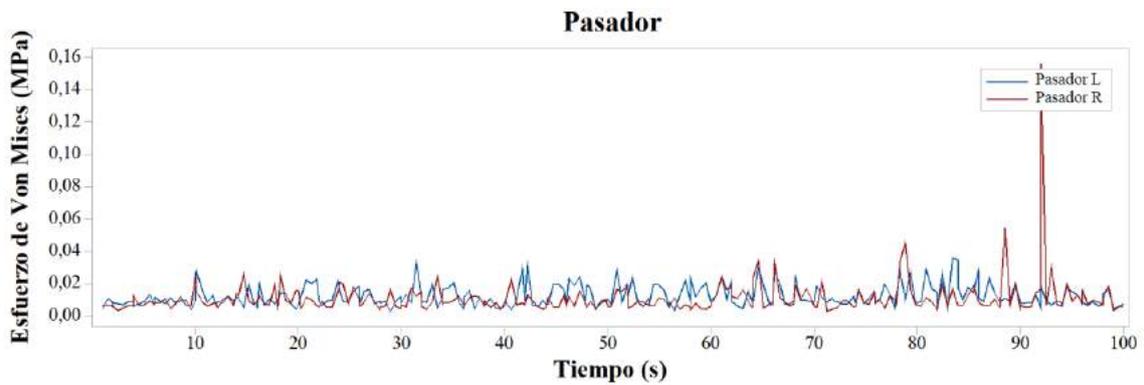


Gráfico 15-4. Esfuerzo Equivalente de Pasadores

Realizado por: Autores

En la siguiente tabla, se muestra los esfuerzos máximos y mínimos de cada elemento del vehículo explorador evaluado a partir de las gráficas mostradas anteriormente.

Tabla 2-4. Esfuerzos y coeficiente de seguridad del lado izquierdo

ELEMENTOS DEL LADO IZQUIERDO				
N	ELEMENTO	Esf_Max [MPa]	Esf_Min [MPa]	n
1	Art_L	32.3247	6.8552	1.03347755
2	Art_PL	30.1228	8.0753	1.13992183
3	Bocin_L	25.0134	4.1376	1.30606435
4	BR_1L	1.3615	0.0117	22.3369728
5	BR_2L	1.8198	0.4308	18.5791452
6	C45_L	0.8858	0.0492	35.0577802
7	CM_1L	0.388	0.0094	78.9245404
8	CM_2L	0.472	0.0091	64.7365602
9	CM_3L	0.4864	0.018	63.3168979
10	Eslb_1L	1.5261	0.042	20.0953701
11	Eslb_2L	1.4834	0.0366	20.6476915
12	Eslb_3L	77.8125	6.5418	1.30606435
13	Eslb_4L	2.1655	0.1256	14.3562938
14	Eslb_5L	3.0811	0.2497	10.1958996
15	P_L	0.0361	0.0026	6621.31492

Fuente: (Autores)

Tabla 3-4. Esfuerzos y coeficiente de seguridad del lado derecho

ELEMENTOS DEL LADO DERECHO				
N	ELEMENTO	Esf_Max [MPa]	Esf_Min [MPa]	n
1	Art_PR	35.5304	12.1423	1.00321705
2	Art_R	33.6304	9.0128	1.02098719
3	Bocin_R	19.1009	5.1256	1.79793353
4	BR_1R	1.7171	0.1143	18.1753856
5	BR_2R	1.4696	0.2593	22.3465664
6	C45_R	0.4856	0.0467	65.1407985
7	CM_1R	1.1302	0.0107	26.9186893
8	CM_2R	1.5717	0.0148	19.3566339
9	CM_3R	1.0468	0.0028	28.9765832
10	Eslb_1R	3.3652	0.0366	9.04623933
11	Eslb_2R	5.5127	0.262	5.61296315
12	Eslb_3R	81.6661	8.3121	1.79793353
13	Eslb_4R	5.2537	0.1638	5.84682298
14	Eslb_5R	2.6229	0.0846	11.7168687
15	P_R	0.1563	0.0029	1487.18952

Fuente: (Autores)

4.2. Resultados del estudio de la cinemática del vehículo explorador

El objetivo del estudio de la cinemática en el vehículo explorador es determinar cuál es su comportamiento a partir de establecer parámetros iniciales como las dimensiones y el voltaje de alimentación hacia los motores.

Las dimensiones generales del vehículo explorador se especifican a continuación:

Tabla 4-4. Dimensiones generales del vehículo explorador

CARACTERÍSTICA	NOMENCLATURA	VALOR
Radio de Neumáticos	R	0.034 m
Distancia entre neumáticos	a	0.31 m
Distancia entre conjunto de neumáticos	b	0.4 m

Fuente: (Autores)

Para determinar los valores iniciales del avance del vehículo es necesario conocer la función a la que se rige la rotación de los motores, para lo cual se realiza un proceso de regresión lineal comparando los datos de voltaje de entrada y las revoluciones del motor, dando como resultado el siguiente gráfico:

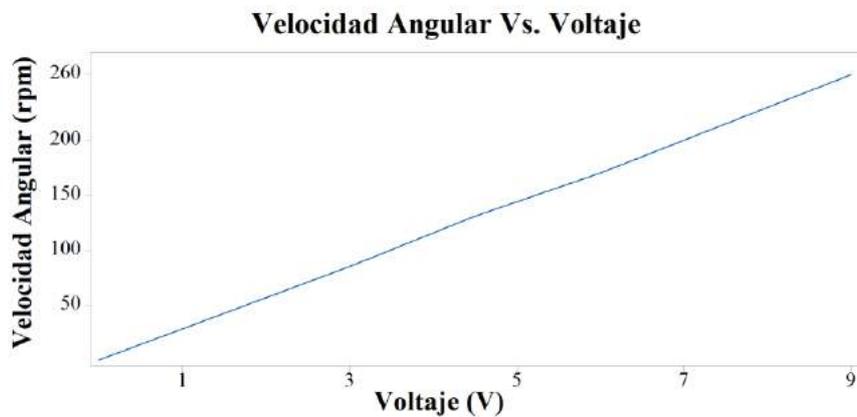


Gráfico 16-4. Revoluciones del motor en función del voltaje

Realizado por: Autores

Como resultado de la regresión lineal se obtuvo la siguiente función de primer grado:

$$RPM = 28.88888889 * Voltaje$$

Siendo conocidas las dimensiones y las velocidades a las que puede moverse el vehículo explorador se opta por la utilización de las diferentes matrices jacobianas del estudio de la cinemática para determinar cómo se generará el movimiento en diferentes situaciones consideradas críticas.

Esto se resume en la siguiente tabla:

Tabla 5-4. Comportamiento del vehículo a condiciones críticas

VOLTAJE		RPM		V_{fron} [m/s]	ω [rad/s]	θ [grados]	MOVIMIENTO
IZQ	DER	IZQ	DER				
9	9	260	260	0.925722635	0	0	Adelante
-9	-9	-260	-260	-0.925722635	0	0	Atrás
9	0	260	0	0.462861318	-1.157153294	-66.3	Adelante - Derecha
0	9	0	260	0.462861318	1.157153294	66.3	Adelante - Izquierda
-9	0	-260	0	-0.462861318	1.157153294	66.3	Atrás - Izquierda
0	-9	0	-260	-0.462861318	-1.157153294	-66.3	Atrás - Derecha
9	-9	260	-260	0	-2.314306588	-132.6	Orbita hacia la derecha
-9	9	-260	260	0	2.314306588	132.6	Orbita hacia la izquierda

Fuente: (Autores)

Los voltajes máximos que puede ser entregado al motor es de 9 voltios correspondiente a 260 revoluciones por minuto, las cuales pueden intercalarse con valores positivos y negativos dando diferentes movimientos acordes a la operación del mando.

4.3. Comportamiento del sistema de estabilización por amortiguadores

Para la evaluación de la función de transferencia es necesario obtener los datos del coeficiente de elasticidad (k) y del coeficiente de amortiguamiento (b) los cuales, a través de un proceso de aplicación de fuerzas controladas, obteniendo como resultado los siguientes coeficientes:

Tabla 6-4. Constantes del amortiguador

CONSTANTE	VALOR
Coficiente de elasticidad	0.72 N/mm
Coficiente de amortiguamiento	0.046 Ns/mm

Fuente: (Autores)

Con estas constantes obtenidas se ingresan los datos en la función de transferencia dando como resultado:

$$\frac{X(s)}{U(s)} = \frac{1}{0.046s + 0.72}$$

Para obtener resultados gráficos del comportamiento del desplazamiento del amortiguador, la herramienta Simulink del software Matlab es de mucha utilidad, debido a que permite ingresar la función de transferencia y evaluar a diferentes valores de fuerzas de la siguiente forma:

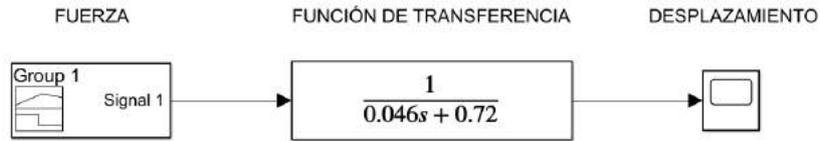


Figura 3-4. Función de transferencia

Realizado por: Autores

Los puntos críticos de evaluación de las fuerzas en la función de transferencia son cuando se aplica la fuerza de pretensión de 9.36 N y cuando el muelle es comprimido hasta su longitud sólida con una fuerza de 10.8 N por ende se ingresa una señal pulsátil con estas fuerzas de la siguiente forma:

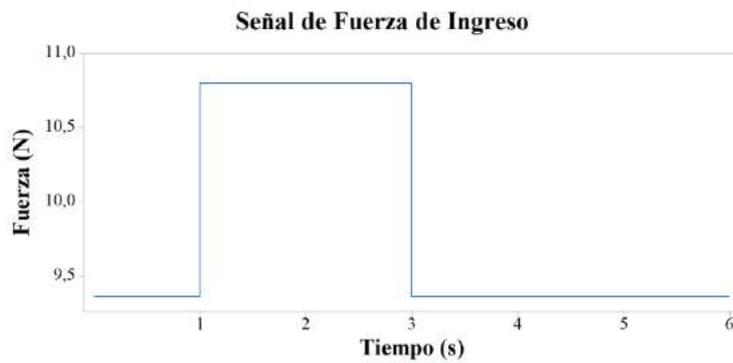


Gráfico 17-4. Señal pulsátil de las fuerzas

Realizado por: Autores

A lo cual otorga como resultado el gráfico del desplazamiento del muelle en un tiempo de evaluación de 4 segundos.

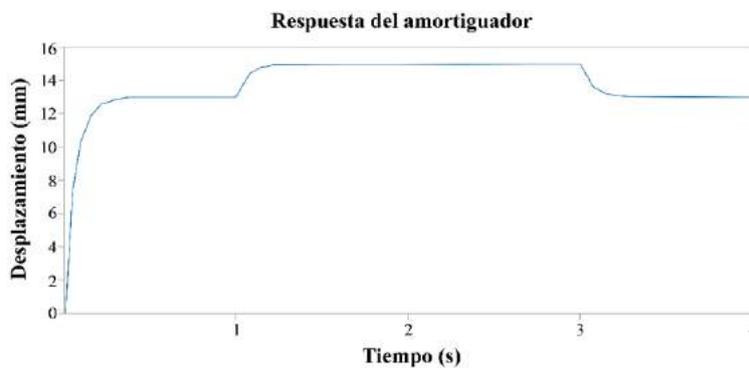


Gráfico 18-4. Respuesta del amortiguador

Realizado por: Autores

Se puede apreciar que en el intervalo de 0 a 1 segundos correspondiente a la pretensión, el desplazamiento es de 13 mm entre extremos del amortiguador y su movimiento encaja en un caso sobre amortiguado, en donde reduce la velocidad de desplazamiento del armazón; lo mismo

sucede cuando el amortiguador sube la fuerza a cuando el amortiguador se comprime en su totalidad dando un desplazamiento máximo de 15 mm, de igual forma disminuye la velocidad del desplazamiento para que el movimiento no sea brusco. Finalmente, al retirar dicha fuerza y regresar al estado de la pretensión el movimiento no es forzado y permite estabilizar de forma segura a todo el armazón.

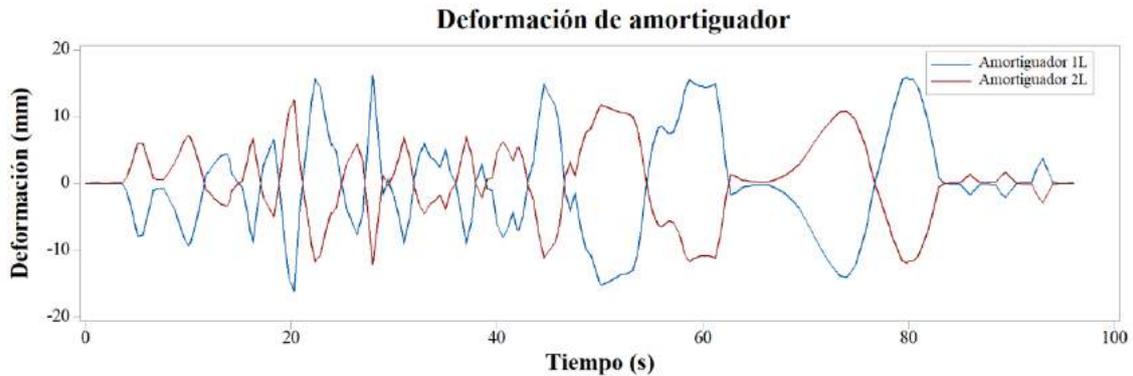


Gráfico 19-4. Deformación del amortiguador

Realizado por: Autores

Mediante el Gráfico 19-4 es posible apreciar la deformación que presentan los amortiguadores del lado izquierdo en el vehículo explorador, dichos amortiguadores poseen un comportamiento peculiar, ya que el valor de la deformación del amortiguador delantero, es simétrico a la deformación del amortiguador trasero en cualquier instante de tiempo, esto se debe a la compensación que tiene uno respecto del otro, al momento de estabilizar el sistema, es decir, cuando uno se contrae el otro se elonga provocando así el equilibrio deseado.

Este mismo fenómeno puede ser observado en los Gráficos: 4-4 y 5-4, en las cuales se muestra el valor de esfuerzo equivalente presente en las bases de los amortiguadores, debido a que el esfuerzo es expresado como una función de la carga aplicada al elemento, y la carga de un amortiguador a su vez es una función de la deformación que sufre el muelle del sistema de amortiguamiento.

4.4. Estudio de límites de locomoción

4.4.1. Obtención del toque y potencia máxima

Para obtener el dato de potencia máxima de consumo en las baterías, es necesario verificar como es el comportamiento de los motores a partir del voltaje máximo que pueden otorgar los controladores. En la siguiente tabla se muestra como es la distribución del voltaje a medida que aumenta su consumo de corriente y por ende la potencia generada:

Tabla 7-4. Potencia Eléctrica en un motor

VOLTAJE [V]	INTENSIDAD [i]	POTENCIA [W]
9	0.05	0.45
8.98	0.25	2.245
8.95	0.5	4.475
8.9	0.75	6.675
8.85	1	8.85

Fuente: (Autores)

Dicha tabla permite obtener la gráfica del comportamiento de la potencia en función de la corriente de la siguiente forma:

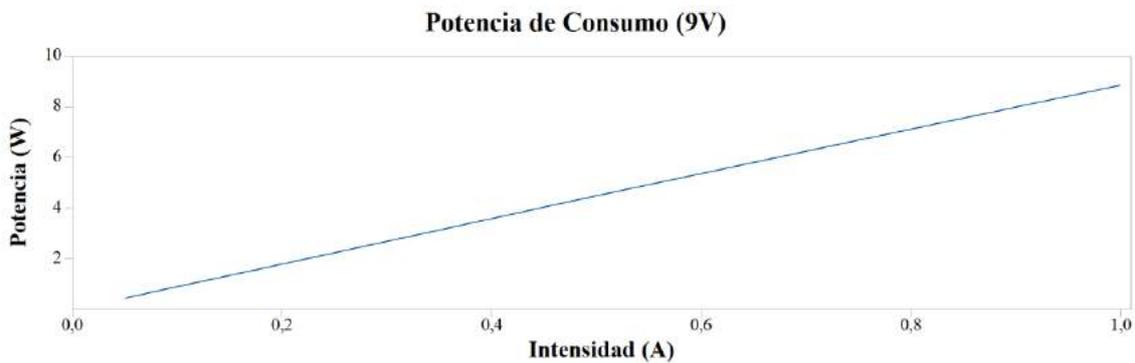


Gráfico 20-4. Potencia consumida a voltaje constante de 9V

Realizado por: Autores

Por medio de un proceso de regresión lineal se puede obtener la siguiente función:

$$Potencia = 8.84i + 0.0285$$

Con esta función lineal se puede verificar que la potencia de consumo del motor sin carga es de 0.45 W, por otra parte, al tener una carga elevada, la corriente aumenta hasta 1 A dando una potencia máxima de consumo de 8.85 W por cada motor.

Para el análisis del torque máximo que puede generar cada motor, es necesario partir del voltaje máximo que otorga el controlador y reducir las revoluciones con cargas externas a medida que incrementa la corriente de consumo. La ecuación necesaria para determinar el torque de un motor involucra la velocidad angular y la potencia eléctrica de consumo de la siguiente forma:

$$\tau = \frac{Potencia}{\omega}$$

Para ello se verifica el comportamiento de la potencia a medida que reduce la velocidad angular, manteniendo un voltaje base de 9 Voltios.

Tabla 8-4. Torque máximo en un motor

POTENCIA [W]	VELOCIDAD ANGULAR [rad/s]	TOQUE [Nm]
0.45	25.38365	0.01773
2.245	22.87425	0.09815
4.475	19.7375	0.22673
6.675	16.60075	0.40209
8.85	13.464	0.65731

Fuente: (Autores)

De la Tabla 8-4 se conserva el último dato correspondiente a una corriente de 1 A para ser aplicado en la ecuación anteriormente mencionada, permitiendo obtener un torque máximo en un solo motor de 0.65731 Nm, al disponer 6 motores que trabajan a la vez, el valor del torque máximo que tiene el vehículo explorador es de 3.94385 Nm.

4.4.2. Evaluación de potencia mecánica en casos básicos

- **Recta**

En una recta, la potencia mecánica consumida se obtiene al considerar una velocidad máxima imprimiendo un voltaje de 9 Voltios, dando como resultado el siguiente gráfico:

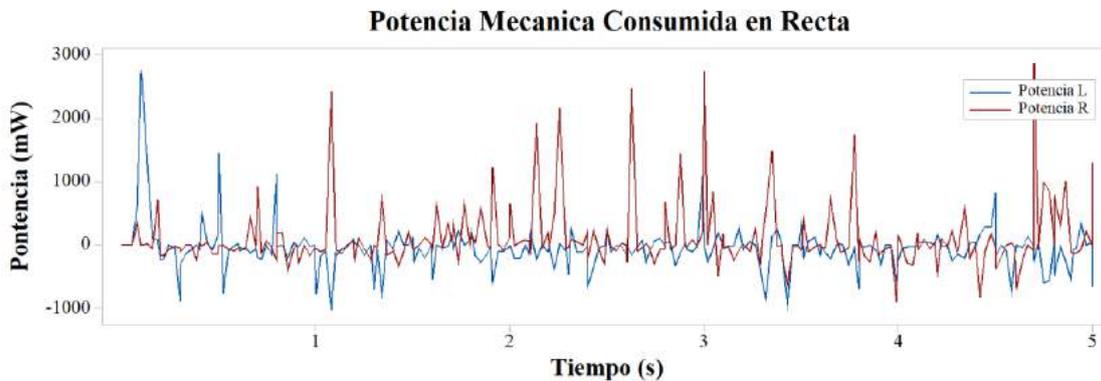


Gráfico 21-4. Consumo de potencia en recta

Realizado por: Autores

Se puede apreciar un consumo máximo de 2.8 Watios por cada motor.

- **Subida de pendiente**

La potencia mecánica consumida por el vehículo explorador en una pendiente ascendente se presenta en la siguiente Gráfico:

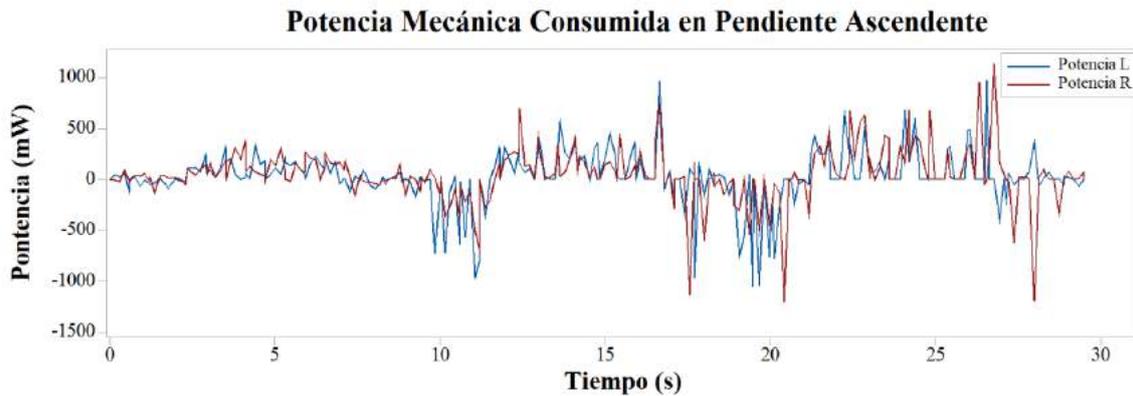


Gráfico 22-4. Consumo de potencia en pendiente positiva

Realizado por: Autores

Se puede verificar en el gráfico, que la potencia de consumo crece a medida que aumenta el valor de la pendiente.

- **Giro del vehículo**

Para otorgar el giro en el vehículo explorador, es necesario que los conjuntos de motores de cada lado adquieran velocidades angulares distintas, por lo que las potencias de consumo serán contrarias como se muestra en el Gráfico 23-4.

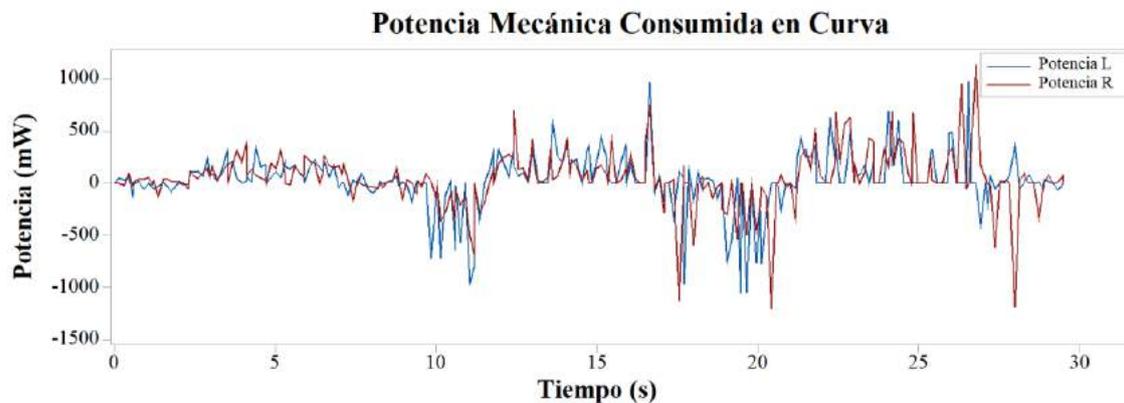


Gráfico 23-4. Consumo de potencia en giro del vehículo

Realizado por: Autores

4.4.3. Superación de obstáculos

La primera incógnita planteada, es saber que tan alto puede llegar a ser el obstáculo que puede superar el vehículo explorador, para tal interrogante se realiza de forma virtual un análisis en una pista donde se presentan obstáculos de diferentes radios, tanto que afecte a un solo conjunto de neumáticos como a su totalidad dando como resultado:

- **Obstáculos a 1 lado**

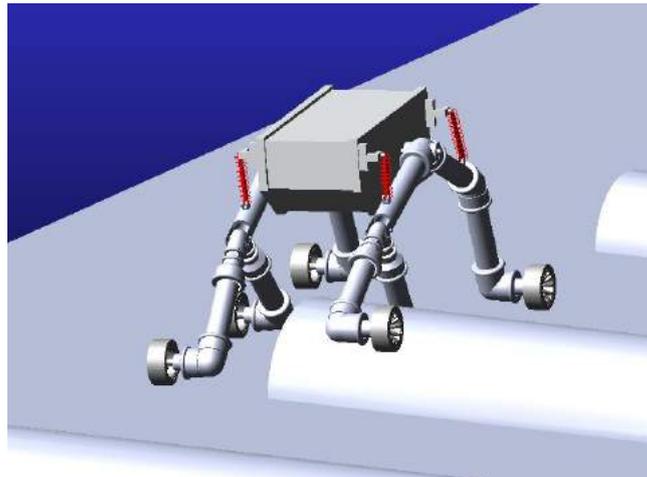


Figura 4-4. Análisis de obstáculos a un juego de neumáticos

Realizado por: Autores

A través de una evaluación visual, se concluye que a partir de un radio de 10cm, la dirección del vehículo cambia, desviando de su trayectoria, por otra parte, puede llegar a superar un obstáculo con radio máximo de 17.5 cm sin presentar contacto entre elementos del armazón.

- **Obstáculos a 2 lados**

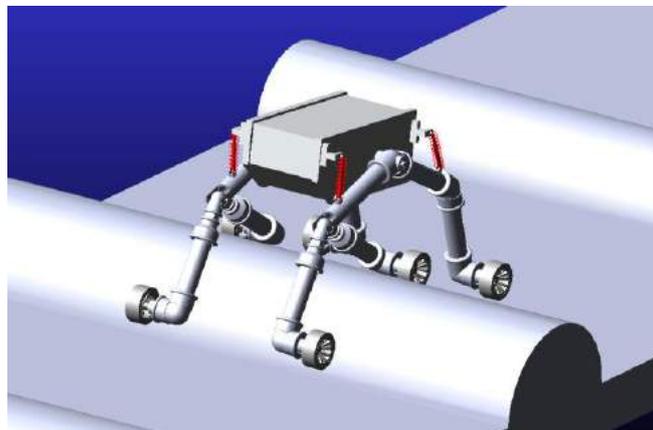


Figura 5-4. Análisis de obstáculos a ambos lados

Realizado por: Autores

En esta prueba, la dirección se mantiene constante sin presentar desviaciones en su trayectoria, pero el obstáculo de mayor altura que puede superar es la separación entre las tangentes de los neumáticos, dando como resultado una medida de 12.15 cm de radio, con este radio el vehículo no presenta contacto en el movimiento de las articulaciones con la estructura del tercer eslabón.

4.4.4. Planos inclinados

El vehículo explorador ha sido sometido de forma virtual a una prueba de funcionamiento con diferentes inclinaciones del terreno mediante el software MSC Adams, con el objetivo de establecer el valor máximo de pendiente a la cual el vehículo sufre deslizamiento. Para obtener dicho valor es necesario conocer los coeficientes de rozamiento entre el concreto y el caucho correspondiente a los neumáticos, los cuales son:

Tabla 9-4. Coeficientes de rozamiento

Coeficiente de rozamiento Dinámico	μ_d	0.8
Coeficiente de rozamiento Estático	μ_e	1

Fuente: (Autores)

Pendientes positivas

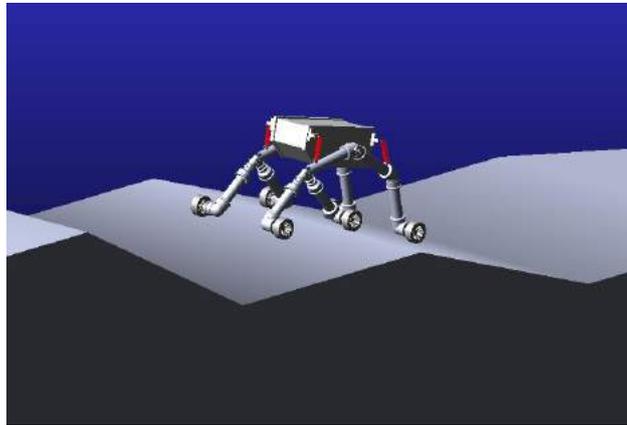


Figura 6-4. Análisis a pendientes positivas

Realizado por: Autores



Gráfico 24-4. Velocidad a diferentes ángulos en ascenso

Realizado por: Autores

Por medio del Gráfico 24-4, indica que hasta aproximadamente 30 grados de inclinación del terreno en que las ruedas tienen contacto, puede desplazarse de forma adecuada, por otra parte, si

se excede dicha inclinación el vehículo pierde fuerza de rozamiento y empieza a producir deslizamiento y dificultando su ascenso.

Pendientes negativas

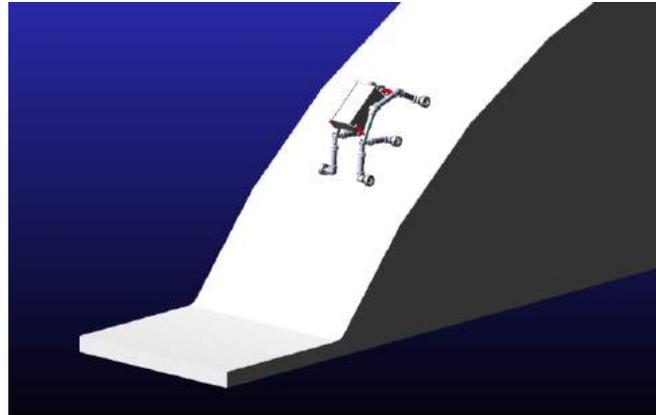


Figura 7-4. Análisis de plano inclinado en descenso

Realizado por: Autores

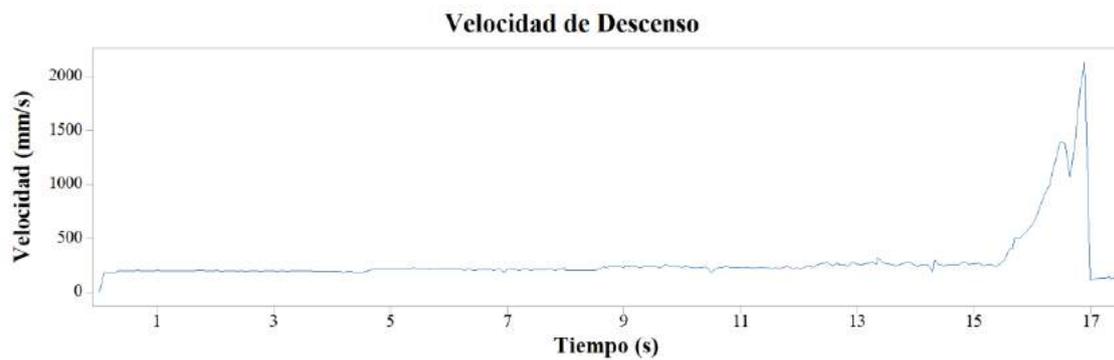


Gráfico 25-4. Velocidad a diferentes ángulos en descenso

Realizado por: Autores

A través del Gráfico 25-4, se puede apreciar que el incremento de la velocidad a medida que aumenta la inclinación del terreno es muy pequeño hasta llegar a los 40 grados; superado esta inclinación el vehículo incrementa su velocidad de forma repentina debido a que pierde rozamiento en los neumáticos y el efecto de la gravedad se suma al movimiento.

4.4.5. Deslizamiento y caída del vehículo

Un límite importante de locomoción es la inclinación de forma lateral, este estudio permite conocer el ángulo de inclinación máxima lateral del vehículo antes de que se produzca el deslizamiento o volcamiento, probando así su estabilidad.

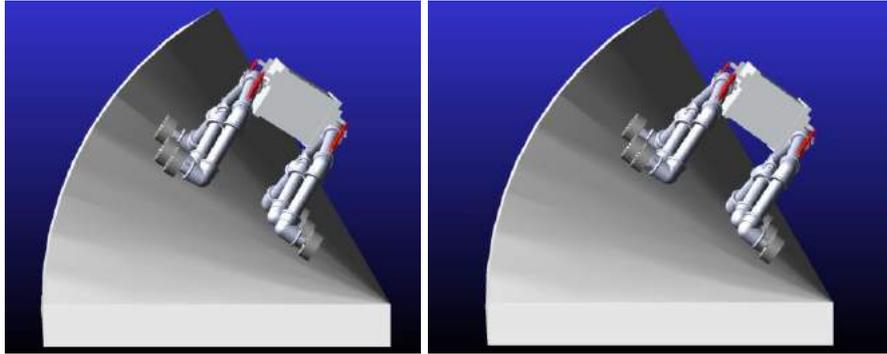


Figura 8-4. Posicionamiento del vehículo en un plano de referencia

Realizado por: Autores

Por medio del análisis del desplazamiento del vehículo explorador sobre una superficie en la que incrementa la inclinación se ha obtenido el siguiente gráfico:

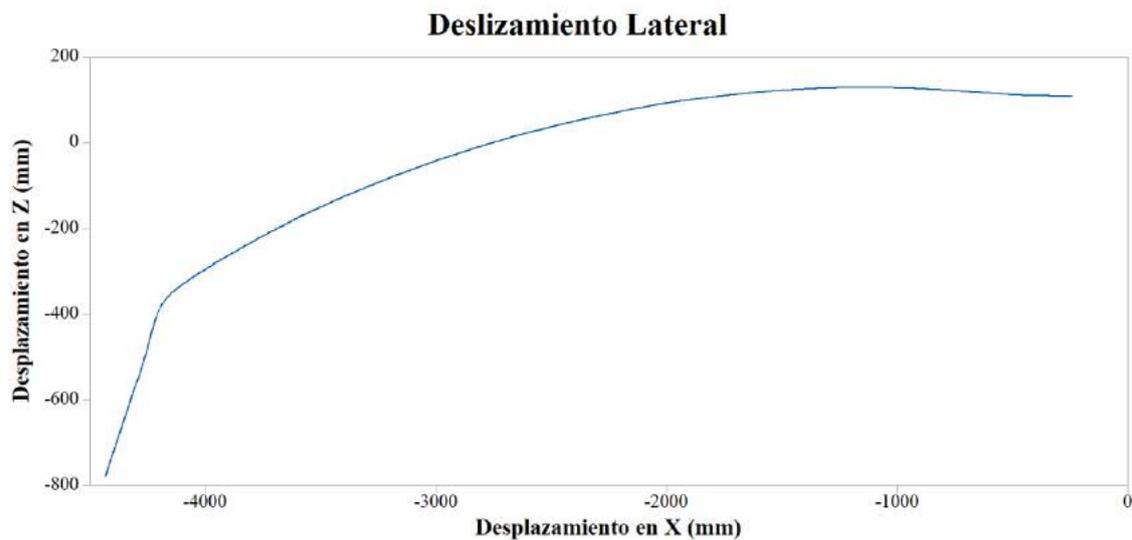


Gráfico 26-4. Deslizamiento lateral del vehículo explorador

Realizado por: Autores

En el Gráfico 26-4 se puede apreciar dos puntos de interés:

El primer punto se produce a los 1280 milímetros que corresponde a un ángulo de 16 grados de inclinación, en este punto existe deslizamiento lateral por efectos de pérdida de rozamiento en los neumáticos.

El segundo punto se produce a los 4160 milímetros que corresponde a un ángulo de 52 grados de inclinación, en este punto el efecto del peso y la pérdida de rozamiento contra la superficie de los neumáticos de un costado hace que se produzca el volcamiento del vehículo.

4.5. Pruebas de campo

Concluida la fase de construcción se realiza las pruebas necesarias para validar el correcto funcionamiento de los componentes del vehículo explorador, dichas pruebas evalúan diferentes parámetros en donde se obtuvo los siguientes resultados.

4.5.1. Rango de transmisión por radio frecuencia (RF)

La comunicación permitida entre el control y el receptor de radiofrecuencia alcanza una longitud lineal de 600 m, considerando un terreno con mediana presencia de vegetación. Cabe recalcar que este rango puede variar dependiendo de la cantidad de obstáculos que tenga que atravesar la onda de frecuencia, por tal motivo, se toma un rango de seguridad de 200 m para asegurar una distancia de comunicación de un radio de 400 m en cualquier tipo de terreno.



Figura 9-4. Medición satelital del rango de radiofrecuencia

Realizado por: Autores

4.5.2. Rango de transmisión de video first person view (FPV)

Bajo las condiciones de una antena polarizada en el transmisor *TS832*, un juego de antenas lineal y parabólica en el receptor de video *Makerfire*, se establece un rango de transmisión seguro y estable de video en longitud lineal de 400 m, considerando una zona urbana de poco tránsito vehicular y con ausencia de vegetación. La transmisión de video es en tiempo real y mantiene un tiempo de 0.1 segundo de retraso, siendo insignificante en consideración a la distancia de operación.



Figura 10-4. Medición satelital del rango de comunicación FPV

Realizado por: Autores

4.5.3. Autonomía del vehículo explorador

Si se mantiene condiciones de uso frecuente complementado con movimientos rápidos, el vehículo explorador tiene una autonomía base de 30 min, por otra parte, si cambian las condiciones a un uso limitado de transmisión de video y movimientos leves la autonomía aumenta a un tiempo base de 1 hora, este rango debe ser tomado muy en cuenta debido a la seguridad tanto del vehículo como a la de su fuente de alimentación, por otra parte se puede monitorear el descenso del voltaje de la batería principal que alimenta a la placa madre en la pantalla del receptor.



Figura 11-4. Revisión de autonomía del vehículo explorador

Realizado por: Autores

CONCLUSIONES

- Mediante el estudio bibliográfico, se concluyó que es posible implementar el uso del Software MSC Adams, mediante el cual se realizó el análisis dinámico, tanto de la cinemática, como de los esfuerzos equivalentes bajo la teoría de Von Mises presentes en los elementos mecánicos del vehículo explorador, siendo evaluados en condiciones críticas, dando como resultado valores de coeficientes de seguridad superiores a 1 mediante la teoría de Goodman para el diseño de elementos a fatiga, asegurando su correcto funcionamiento, así como también la resistencia en caso de volcamientos.
- El sistema de amortiguación permitió brindar la estabilidad necesaria para disminuir vibraciones presentes durante el movimiento, esto se ve reflejado en la transmisión de video en tiempo real, por otra parte, permitió salvaguardar las conexiones de los componentes electrónicos al momento de transitar sobre superficies no uniformes propensas a cambios bruscos de sección, equilibrando así la distribución de carga en los puntos de apoyo del armazón.
- Se implementó un sistema de transmisión de video en tiempo real mediante un equipo de visión en primera persona (FPV) lo que facilita su conexión y brinda una calidad de video de 1000 líneas de televisión con un balance de imagen automático. El rango de operatividad de este sistema fue de 200 metros con interferencia moderada en una zona urbana con un retraso de 100 milisegundos, por otra parte, este rango se vio incrementado a 400 metros en línea de vista directa.
- Se pudo concluir que para establecer la comunicación entre el usuario y el vehículo explorador se implementó un control por radio frecuencias (RF) a 2.4 GHz con señales PPM, esto permite establecer las conexiones con los distintos actuadores de forma precisa e inmediata con un retardo de 30 milisegundos en un rango de 300 metros sin pérdida de enlace en una zona urbana rodeada de edificaciones y un rango de 500 metros de enlace en línea directa con baja presencia de obstáculos.
- El vehículo explorador fue capaz de superar pendientes positivas y negativas hasta una inclinación máxima de 40 grados y una inclinación lateral máxima de 50 grados, al superar estos valores, el vehículo explorador presenta deslizamiento y volcamiento lateral respectivamente. La velocidad frontal máxima que alcanzó el vehículo explorador es de 0.926 m/s con un torque máximo de 3.94 Nm cuando operan los 6 motores a su carga máxima.
- El Vehículo explorador alcanzó una autonomía base de 30 minutos cuando las condiciones de terreno fueron demandantes, ya que involucra gran cantidad de movimientos y un consumo de potencia elevado, por otra parte, si se limita a transmisión de video con movimientos leves, la autonomía asciende hasta 1 hora.

RECOMENDACIONES

- Implementar una cátedra en donde involucre la enseñanza para la obtención de resultados por medio de software CAE de sistemas mecánicos en ambientes laborales reales.
- Se recomienda verificar constantemente el descenso del voltaje de las baterías procurando que no descienda del voltaje nominal, por otra parte, el proceso de carga debe ser balanceado y con un cargador adecuado para baterías Li-Po.
- Debido a la velocidad máxima que puede otorgar el vehículo explorador se recomienda controlarlo con movimientos leves y con la mayor precisión posible ya que la potencia otorgada puede generar deslizamientos en terrenos poco estables.
- Si se presentan inconvenientes en el uso y/o comportamiento del vehículo explorador se recomienda verificar el manual de usuario y mantenimiento presente en los anexos de este trabajo de titulación.
- El modelo puede prestarse a futuras mejoras por medio de la implementación de diferentes sensores que permitan monitorear en tiempo real las condiciones ambientales del ecosistema a explorarse.

GLOSARIO

CAD: Diseño asistidos por computadora (CAD), es una tecnología para el diseño y la documentación técnica, que reemplaza el diseño manual por un proceso automatizado (AUTODESK, 2017).

CAE: La ingeniería asistida por ordenador (CAE) consiste en el uso de software para simular el rendimiento con el objetivo de mejorar los diseños de los productos o de contribuir a la resolución de problemas de ingeniería para sectores muy diversos. Incluye la simulación, la validación y la optimización de productos, procesos y herramientas de fabricación (SIEMENS, 2018).

CAM: La fabricación asistida por ordenador (CAM) consiste en el uso de aplicaciones de software de control numérico (NC) con el objetivo de crear instrucciones detalladas (código G) que impulsen las máquinas-herramienta de control numérico por ordenador (CNC) para las piezas de fabricación. Las fabricantes de sectores muy diferentes dependen de las funciones de la CAM para fabricar piezas de alta calidad (SIEMENS, 2018).

QFD: El Despliegue de la Función de Calidad se puede definir como el proceso a partir del cual las necesidades de los clientes se convierten en “características de calidad”. Se desarrolla un diseño de calidad para el producto final haciendo un despliegue sistemático de la relación existente entre las necesidades y las características, empezando por la calidad de cada componente funcional y elementos esenciales de aseguramiento de la calidad a través de la fase de producción. La calidad total del producto se formará a partir de esta red de relaciones (AEC, 2019).

PERT CPM: Son dos métodos usados por la dirección para, con los medios disponibles, planificar el proyecto a fin de lograr su objetivo con éxito. Las técnicas de PERT y CPM preparan el plan mediante la representación gráfica de todas las operaciones que intervienen en el proyecto y las relacionan, coordinándolas de acuerdo con las exigencias tecnológicas (Rufino, D., 2013).

CNC: Se trata de un proceso en que se utiliza una computadora para controlar y monitorizar los movimientos de una máquina herramienta que está siendo operada mediante comandos programados en un medio de almacenaje (RECAM LASER, 2015).

Falla a fatiga: La falla por fatiga se debe a la formación y propagación de grietas. Por lo general, una grieta de fractura se inicia en una discontinuidad del material donde el esfuerzo cíclico es máximo (Shigley, 2008).

FPV: El acrónimo FPV hace referencia a las siglas en Inglés de “First Person View” o Visión en Primera Persona en español, hace referencia a volar u operar modelos desde la perspectiva del vehículo no tripulado en vez de la posición del operador en tierra (FPVMAX, 2013).

BIBLIOGRAFÍA

ALARCON, O. Controlador electrónico de velocidad para cuatro motores sin escobillas de un dron.(Proyecto de fin de grado). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. 2014.

AREVALO, M. "Control por voz de un robot explorador tipo oruga". *Jornadas de Ingeniería Eléctrica y Electrónica*, (2005), (Ecuador) pp. 1-7.

ÅSTRÖM, K.; & HANG, C.. "Towards intelligent PID control ". *Annual Review in Automatic Programming* [En línea]. Vol. 15, n° 2(1989), p. 53-58. doi: 10.1016/0066-4138(89)90010-4.

BARZALLO, D. "Análisis de la Innovación Tecnológica Avícola Ecuatoriano en el Contexto De Industria 4.0". *Investigación tecnológica ISTCT*, vol. 1, n° 2 (2019), (Ecuador) p. 9.

BORJA, R.; & BRAVO, H. Diseño e implementación de un robot móvil tipo oruga para exploración en terrenos irregulares. (Tesis de pregrado). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016.

BOWEN, A.; et al. " El vehículo robótico submarino híbrido Nereus para operaciones globales de ciencias oceánicas a 11,000 m de profundidad ". *OCÉANOS* [en línea], 2010 (Estados Unidos de América). [Consulta: 29 noviembre 2019]. Disponible en: https://www.bbc.com/mundo/ciencia_tecnologia/2009/06/090603_1541_nereus_robot_mar_mr

BRAVO, A.; et al. Economía circular y la industria 4.0 como estrategia del Comercio Internacional en el Ecuador.(Trabajo de fin de grado).(Ingeniería) Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Administrativas, Guayaquil, Ecuador. 2019.

CARRANZA, M. " Arquitecturas de Control de Alto Nivel ". *INAOE* [En línea]. 2010, (Mexico).[Consulta: 2 diciembre 2020]. Disponible en: <https://ccc.inaoep.mx/~emorales/Cursos/InteligenciaArtificial/Acetatos/control.pdf>

CEREZO, C.; & BRIONES, D. Sistema de visión en drones para la detección y seguimiento de buques en un ambiente simulado [En línea] (Tesis de pregrado). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaqui, Ecuador. 2018. Disponible en: https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10788/1/Tesis_Final.pdf

DDC. FPV 1era parte [En línea]. 2017, (Estados Unidos de América). [Consulta: 25 noviembre 2019]. Disponible en : <https://dronesdecarreras.com/fpv-y-eso-que-es-1era-parte/>

DJI. Estabilizador RONIN 2. [En línea]. 2019, (Estados Unidos de América). Disponible en : https://www.dji.com/ronin-2?site=brandsite&from=landing_page.

DOS, J.; et al. " Veículo terrestre não tripulado controlado remotamente para obtenção de dados de exploração ". *Mostra Nacional de Robótica*. (2016), (Brasil) pp. 1-4.

DYNAMICS, Boston. Legacy Robots [En línea]. 2019, (Estados Unidos de América). Disponible en: <https://www.bostondynamics.com/legacy>.

ERAZO, E. Vehículo explorador para el reconocimiento de artefactos explosivos. (Tesis de pregrado). (Ingeniería) Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia. 2009.

FAIRCHILD. "LM78XX / LM78XXA 3-Terminal 1 A Positive Voltage Regulator". *Descriptions Semiconductor*. n° 1 (2014), (Estados Unidos de América) p. 1-24.

FERREÑO, E. ¿Qué es un gimbal? ¿Para qué sirve?. *Profesional Review* [En línea], 2017. (Argentina). [Consulta: 28 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.profesionalreview.com/2017/10/26/que-es-un-gimbal-para-que-sirve/>

FLYSKY. FlySky FS-i6x Instruction Manual [En línea], 2018. (Estados Unidos de América). [Consulta: 8 noviembre 2019]. Disponible en: <https://files.banggood.com/2016/09/FS-i6X%20User%20manual.pdf>

FUENTES, A.; & PILCO, V. Diseño e implementación de un robot para servicio de mensajería interna (Tesis de pregrado). (Ingeniería) Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2014.

GONZÁLEZ, R.; et al. "Robots móviles con orugas. Historia, modelado, localización y control". *Revista Iberoamericana de Automatica e Informática Industrial* [En línea] . Vol. 12, n° 1, 2015, (España) p. 3-12. [Consulta: 12 noviembre 2019]. doi: 10.1016/j.riai.2014.11.001.

GREICIUS, T. Mars Science Laboratory - Curiosity Rover [En línea]. 2015, (Estados Unidos de América). [Consulta: 18 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.jpl.nasa.gov/missions/mars-science-laboratory-curiosity-rover-msl/>

HUSACO, A.; & YACELGA, J. Diseño y construcción de un robot explorador de tubería interna horizontal (alcantarillado pluvial) para detección de daño dentro de la tubería (Tesis de pregrado). (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. 2015.

JARRÍN, S.; & CRUZ, I. Diseño e implementación de un robot hexápodo mediante arduino aplicado a la inspección de tuberías de alcantarillado en la ciudad de Riobamba (Tesis de

pregrado). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2015.

LÍSTSEVA, Marina. "Robots Rusos con inteligencia artificial pronto dominarán los mares y los campos de batalla". *Emerald Expert Briefings* [En línea]. 2018, (España). [Consulta: 11 noviembre 2019]. Disponible en : <https://es.rbth.com/tecnologias/81873-robots-rusos-inteligencia-artificial-pronto>

LÓPEZ, Juan; et al. "Diseño y prototipado de un robot explorador que soporte las actividades de los bomberos". *Memorias 4to. Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica y Automatización* . n° 7 (2015), (Ecuador) p. 142-152.

MÉNDEZ, Oswaldo; et al. *Análisis de Empleabilidad e Industria 4.0 en el Ecuador, como Estrategia para Mejorar los Programas Educativos*, 2019.

MOORE, Aaron. *Lithium Polymer (Lipo) Battery Guide*. Estados Unidos de América, 2008.

NASA. NASA - Soviet Union Lunar Rovers. 2010, (Estados Unidos de América). [Consulta: 5 diciembre 2019] Disponible en: https://www.nasa.gov/mission_pages/LRO/multimedia/lroimages/lroc-20100318.html

NASA. *Rover 3D* [En línea]. 2018^a, (Estados Unidos de América). [Consulta: 13 diciembre 2019] Disponible en : <https://mars.nasa.gov/msl/rover-3d/>

NASA. *Suspension - Rover* [en línea]. 2018^b, (Estados Unidos de América). [Consulta: 13 diciembre 2019]. Disponible en : <https://mars.nasa.gov/msl/rover-3d/>

QUEZADA, Diego. Diseño y Construcción De Un Robot Todo Terreno Utilizando El Sistema Rocker-Bogie Y Teleoperado Inalámbicamente Para El Laboratorio De Robotica De La Universidad De Las Fuerzas Armadas- ESPE (Tesis de pregrado). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica del Ejército, Quito, Ecuador. 2014.

QUIROZ, Astrid; et al. Campero explorador móvil controlado a distancia [En línea]. 2016, (Venezuela) . [Consulta: 5 noviembre 2019]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11912/3140>

REYES, Jose; et al. "Uso de software de código abierto para fusión de imágenes agrícolas multiespectrales adquiridas con drones". *17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Industry, Innovation, and Infrastructure for Sustainable Cities and Communities* [En línea]. 2019, (Venezuela). [Consulta: 6 noviembre 2019]. doi: 10.18687/LACCEI2019.1.1.254.

RIBEIRO, Ricardo; et al. " Robô explorador terrestre". *Mostra Nacional de Robótica*. (2015), (Brasil).

RINCON, P. Chang'e-4: Los hallazgos de la sonda china que confirman la teoría del gran impacto en la cara oculta de la Luna. *BBC News Mundo* [En línea]. 2019. [Consulta: 23 noviembre 2019]. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48290496>

RODRIGUEZ, N. *Aplicación de la Transformada de Laplace : Oscilador amortiguado, Forzado Senoidalmente*. Universidad Nacional del Sur, Bahía blanca, Argentina, 2013.

SÁEZ, Juan. *Diseño de antenas para drones en aplicaciones FPV*. Universitat Politècnica de Valencia, Valencia, España. 2017.

SÁNCHEZ, Luis. Desarrollo de una Plataforma Robótica Móvil para Búsqueda Posterior a un Sismo, y Mitigación de Incendios de baja escala (Tesis de maestría). (Maestría) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2017.

SHIGLEY, Joseph. *Diseño en ingeniería mecánica*. 8ª Edición, (2008). ISBN 978-0-07-312193-2, p. 257-278.

TEXAS INSTRUMENTS. "Series positive-voltage regulators". *Voltage Regulator and Function*. n°1, (2003), (Estados Unidos de América) p. 134-153.

TOTALMATERIAL. Propiedades de aceros al carbono [blog]. 2013. [Consulta: 7 de febrero 2020]. Disponible en : <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=Home&LN=ES>

TOTALMATERIAL. Propiedades de aleaciones de aluminio [blog]. 2017. [Consulta: 7 de febrero 2020]Disponible en: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=Home&LN=ES>

TOTALMATERIAL. Propiedades del PVC [blog]. 2018. [Consulta: 7 de febrero 2020] Disponible en : <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=Home&LN=ES>

TZAFESTAS, Spyros G. *Introduction to Mobile Robot Control*. 2013. ISBN 9780124170490.

WANG, Sunxin; & LI, Yan. "Dynamic Rocker-Bogie: Kinematical Analysis in a High-Speed Traversal Stability Enhancement ". *International Journal of Aerospace Engineering*. Vol.1, (2016), (Estados Unidos de América).

CHAVES, Jose; & QUINTERO, Andres. "Simulación De Un Sistema Masa Resorte Amortiguador Con Circuitos Electrónicos". *Scientia Et Technica*. Vol. 15, n° 42, (2009), (Peru), pp. 220-225.



Firmado electrónicamente por:
JHONATAN RODRIGO
PARREÑO UQUILLAS

ANEXOS

ANEXO A: MANUAL DE USUARIO Y MANTENIMIENTO



VEHÍCULO EXPLORADOR TERRESTRE
CONTROLADO DE FORMA
INALÁMBRICA

Este manual contiene información necesaria, por favor léalo antes de su operación.

ÍNDICE:

Especificaciones técnicas.....	2
Seguridad del vehículo	3
Diagrama de conexiones.....	4
Instrucciones del mando.....	5
Modo de operación.....	6
Instrucciones del sistema FPV.....	7
Mantenimiento del vehículo.....	8
Cargas de baterías LiPo.....	9
Problemas comunes.....	10

VEHICULO EXPLORADOR

Especificaciones Técnicas

Altura	360 mm
Ancho	340 mm
Profundidad	630 mm
Peso	6 kg
Pendiente máxima de operación	40 grados
Potencia máxima	54 W
Torque máximo	4 Nm

Mensaje para el Usuario:

Para asegurar que el vehículo explorador opere en condiciones óptimas por mucho tiempo se ha diseñado este manual de funcionamiento y mantenimiento. Contiene información precisa a cerca de como operar y cuidar el vehículo de manera correcta y segura. Por favor léalo a detalle.

SEGURIDAD DEL VEHÍCULO



Su seguridad y la seguridad de los demás es muy importante.

Se han incluido mensajes importantes dentro de este manual.

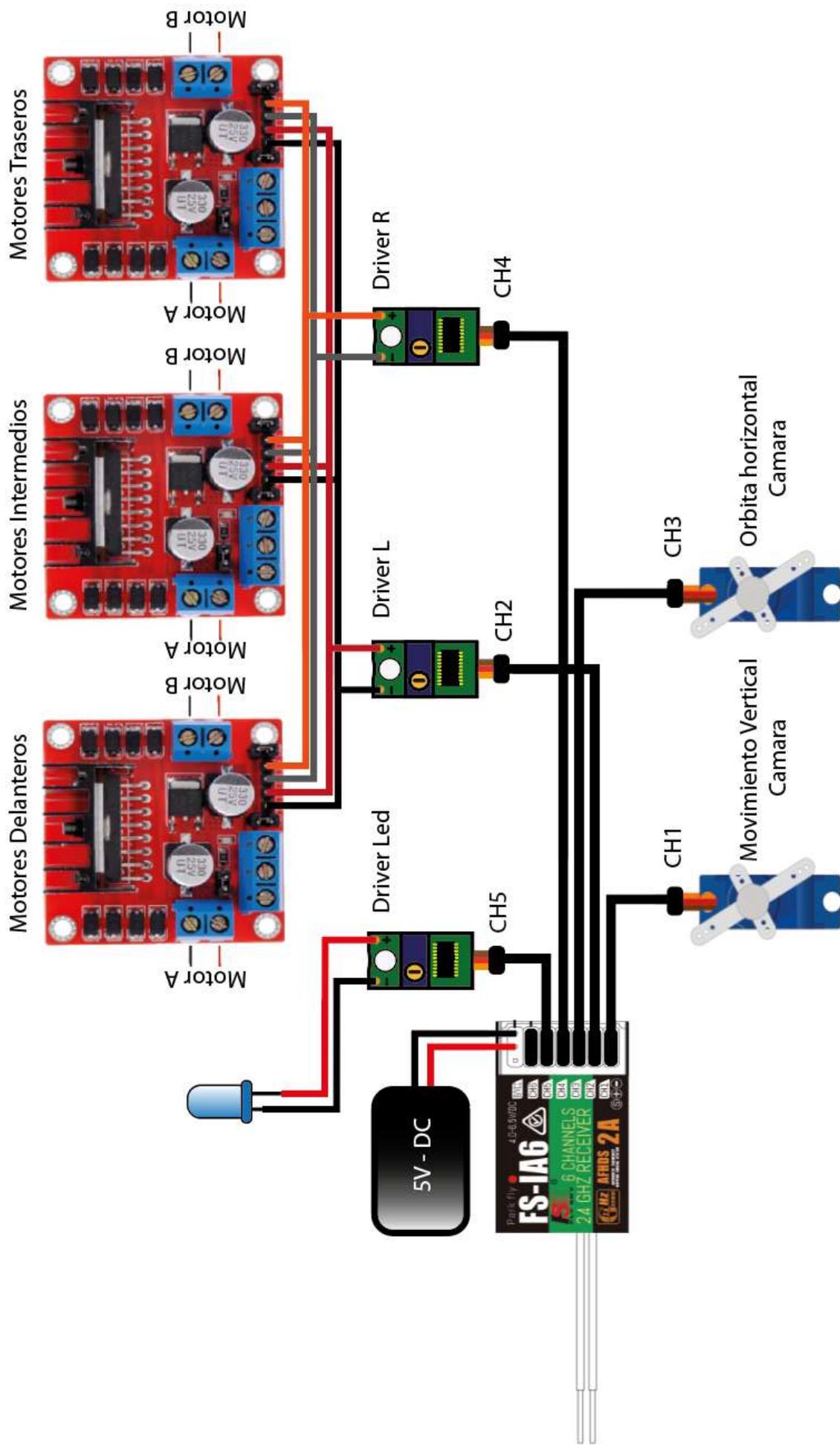
Lea y obedezca siempre todos los mensajes de seguridad proporcionados por el fabricante.

Instrucciones importantes de seguridad.

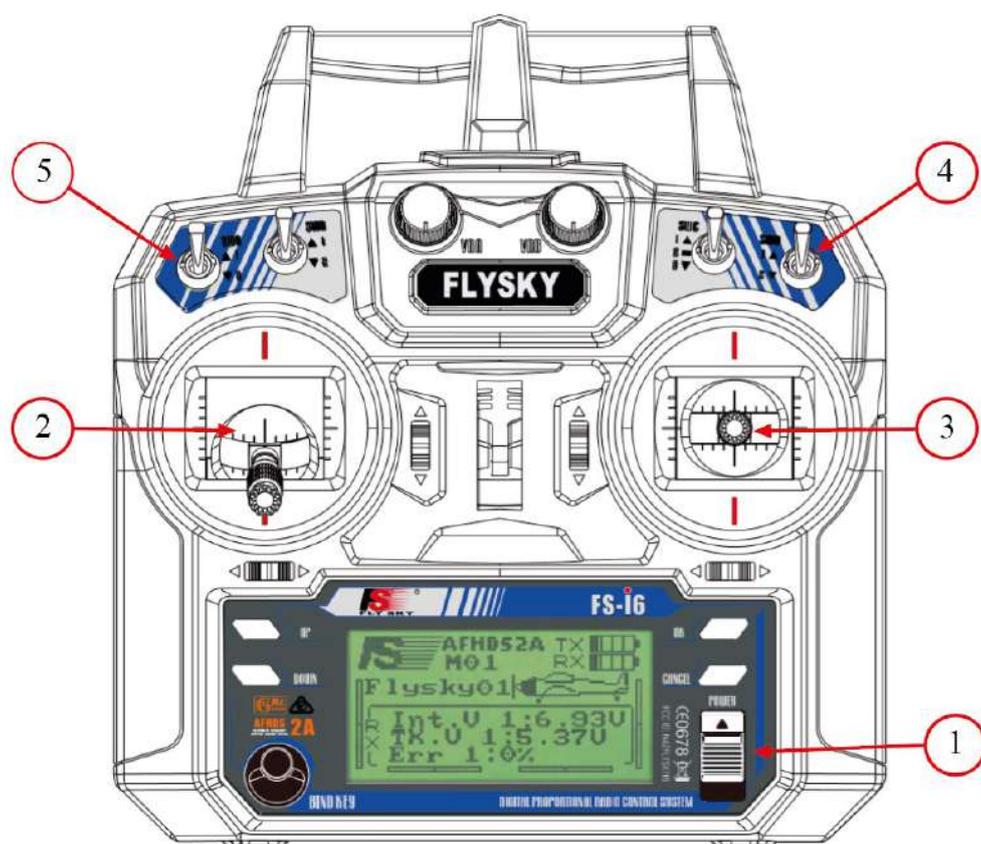
ADVERTENCIA: para reducir el riesgo de incendio, descargas eléctricas o lesiones a personas al operar el vehículo explorador siga las precauciones básicas, incluyendo las siguientes:

- Lea todas las instrucciones antes de operar el vehículo explorador.
- No limpie los componentes del vehículo con gasolina, solventes para lavar en seco u otras sustancias inflamables o explosivas ya que estas emanan vapores que podrían encenderse o causar una explosión.
- No permita que una persona no capacitada opere el vehículo. Es necesaria la supervisión de una persona con los conocimientos necesarios de pilotaje RC.
- No obstaculice los neumáticos con las manos mientras se opera el vehículo explorador.
- No almacene el vehículo donde pudiese estar sometido a la intemperie o a humedad.
- No trate de forzar los controles.
- No repare ni cambie pieza alguna del vehículo excepto cuando así se lo indique el manual de operación y mantenimiento o en instrucciones de reparación para ejecución del usuario publicadas, que usted entienda y para cuya ejecución cuente con las habilidades necesarias.

DRAGRAMA DE CONEXIONES



INSTRUCCIONES DEL MANDO



Más información sobre el
mando

Visite el sitio Web



Para adquirir el producto

1. Interruptor de encendido

Para encender el control de RC coloque el interruptor en su posición superior y verifique que exista conexión.

NOTA: No permita que las baterías se descarguen por completo, caso contrario puede provocar que el control se apague y deje al vehículo sin una señal que pueda interpretar.

2. Análogo izquierdo

Este análogo izquierdo se encarga del movimiento del vehículo explorador en las 4 direcciones

3. Análogo derecho.

El análogo derecho controla el movimiento de la cámara para la transmisión de video en tiempo real, con este análogo es posible controlar el movimiento vertical de la cámara y la órbita de giro.

4. SWD

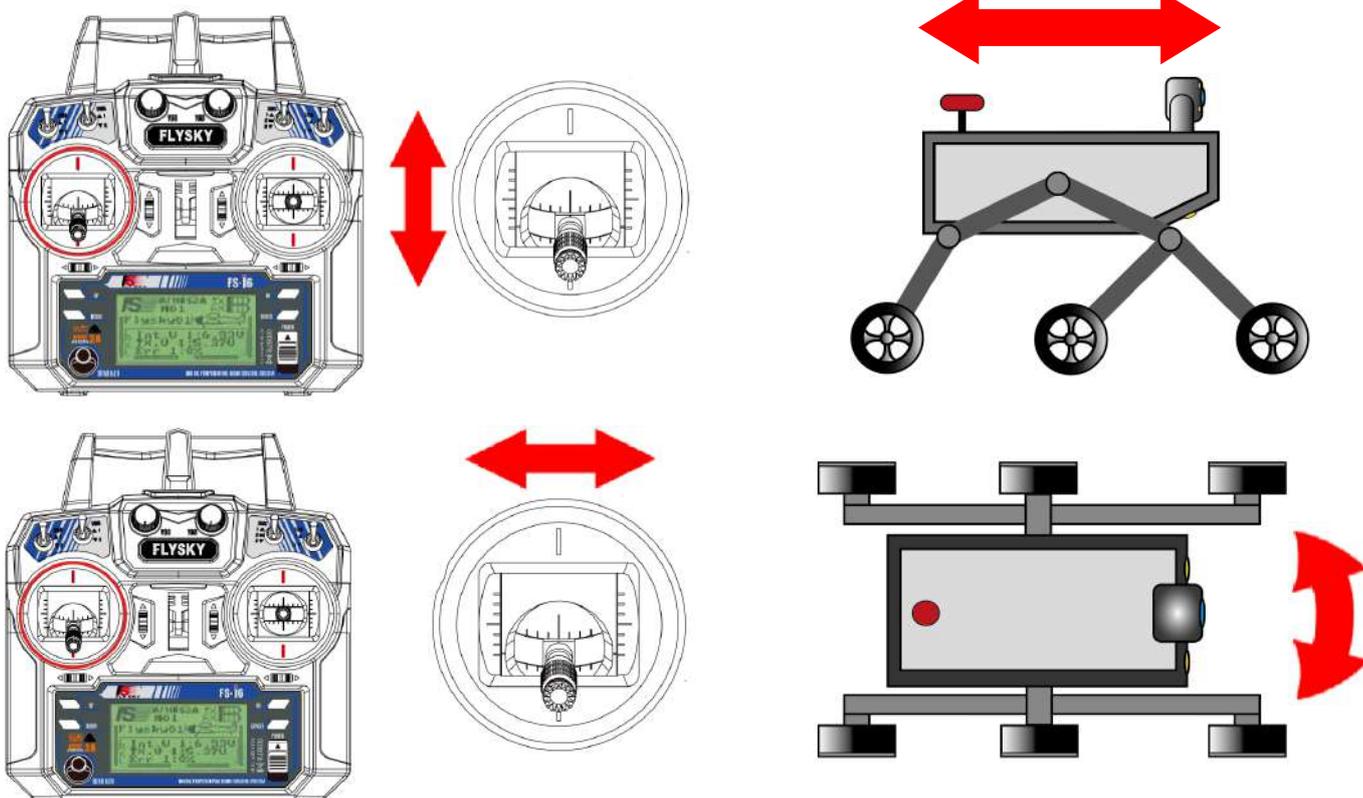
El interruptor *SWD* controla el encendido del sistema de luces LED incorporado en la cámara y en la parte frontal inferior del vehículo explorador. En la posición 1 las luces permanecen inactivas mientras en la posición 2 el conjunto de luces se enciende

5. SWA

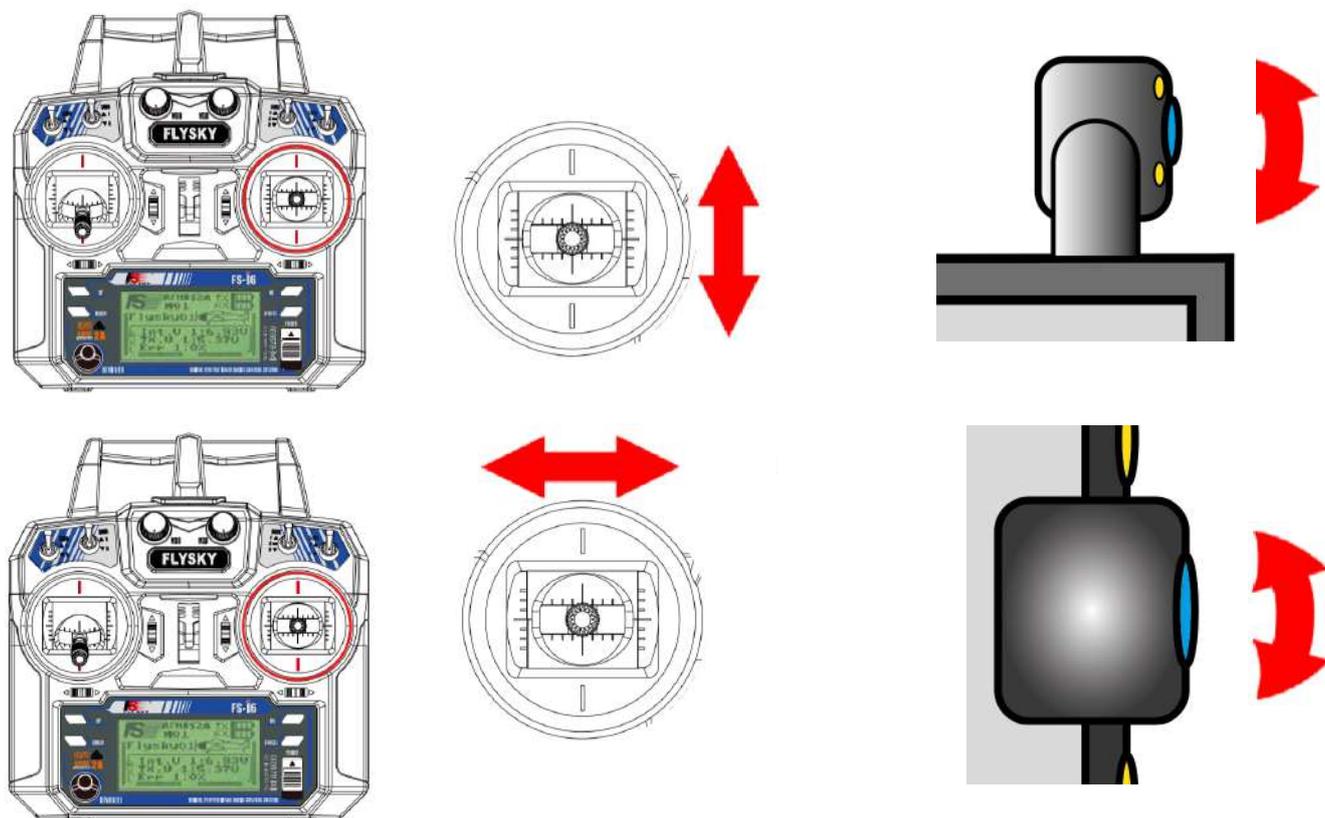
Este interruptor controla la respuesta de velocidad respecto al porcentaje de movimiento del análogo izquierdo, en la posición 1 el vehículo responde de manera más dócil para evitar acelerones bruscos y por consiguiente colisiones. En la posición 2 el vehículo posee movimientos más acelerados facilitando el movimiento más rápido del vehículo explorador, pero requiere de mayor precisión en los movimientos por parte del operario.

MODO DE OPERACIÓN

Movimiento del vehículo - Análogo izquierdo



Movimiento de la cámara - Análogo derecho



INSTRUCCIONES DEL SISTEMA FPV



Emisor de Video FPV

1. Chequeo del conector de la cámara

Revisar la conexión entre la cámara y el transmisor de video, el conector debe estar bien sujeto y los cables en su respectivo orden.

2. Conexión de la antena

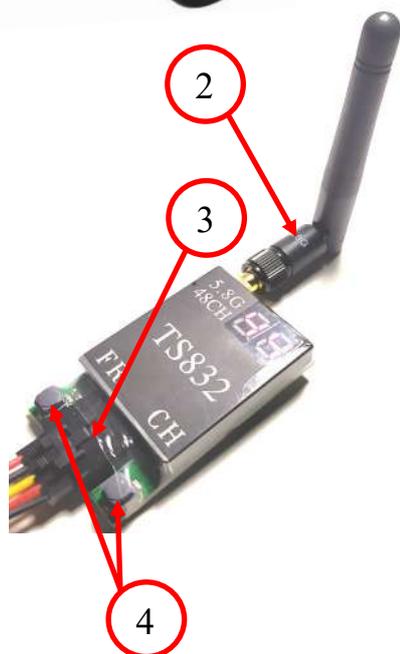
Previo al encendido, es necesario conectar la antena para canalizar el flujo de la frecuencia.

3. Conexión de alimentación y señal

Al conectar la alimentación, el transmisor se encenderá automáticamente y con ello se inicia la cámara y la transmisión de video.

4. Ajuste de Frecuencia

Para establecer un canal de comunicación personal, es necesario fijar una frecuencia.



Receptor de Video FPV

1. Conexión de las antenas

Antes de energizar el receptor, es necesario colocar las antenas en su posición.

NOTA: es recomendable utilizar varios tipos de antena para mejorar la recepción de la señal.

2. Encendido / Apagado

Para encender las gafas es necesario mantener presionado el botón de On.

3. Auto Sincronización

Al presionar el botón automáticamente busca la frecuencia a la que se encuentra el transmisor estableciendo la comunicación. Si no se encuentra es necesario realizar la búsqueda manualmente



MANTENIMIENTO DEL VEHÍCULO

Limpieza del vehículo.

Después de cada operación limpie los residuos de suciedad que se hayan acumulado en toda la estructura del vehículo, preste principal atención a los neumáticos y motores ya que si dicha suciedad se acumula puede ocasionar atrancamiento de los motores evitando que giren y generando desviación en la trayectoria deseada. Para obtener un mejor resultado siga las siguientes instrucciones:

1. Asegúrese que todos los sistemas se encuentren apagados.
2. Si existe suciedad en la estructura principal del vehículo retírela con un paño humedecido con agua tibia.
3. Verifique que no existan manchas en el lente de la cámara ya que esto afectara a la calidad de imagen que recibirá en su próxima operación.
4. Si existe suciedad en los motores retírelo con aerosol multiusos **WD-40** para evitar daños por humedad.
5. Si existe presencia de agua dentro de algún componente electrónico retírelo y déjelo secar.

NOTA: no rocíe agua a presión para quitar la suciedad acumulada en ninguno de los componentes electrónicos ni en su estructura principal ya que puede ocasionar daños irreversibles.

Cuidado durante largos periodos sin utilizar.

Verifique que las baterías estén cargadas, caso contrario antes de utilizar el vehículo estas deben estar cargadas en su totalidad.

Verifique que exista conexión entre el emisor y receptor de radio frecuencias caso contrario sigas las instrucciones de conexión.

Cuidado para el almacenamiento.

Para evitar daños en los componentes electrónicos debido a la humedad, almacene en un lugar fresco fuera de la intemperie ya que esto podría provocar cortocircuitos en los componentes internos del vehículo.

CARGA DE BATERÍAS LIPO

ADVERTENCIA



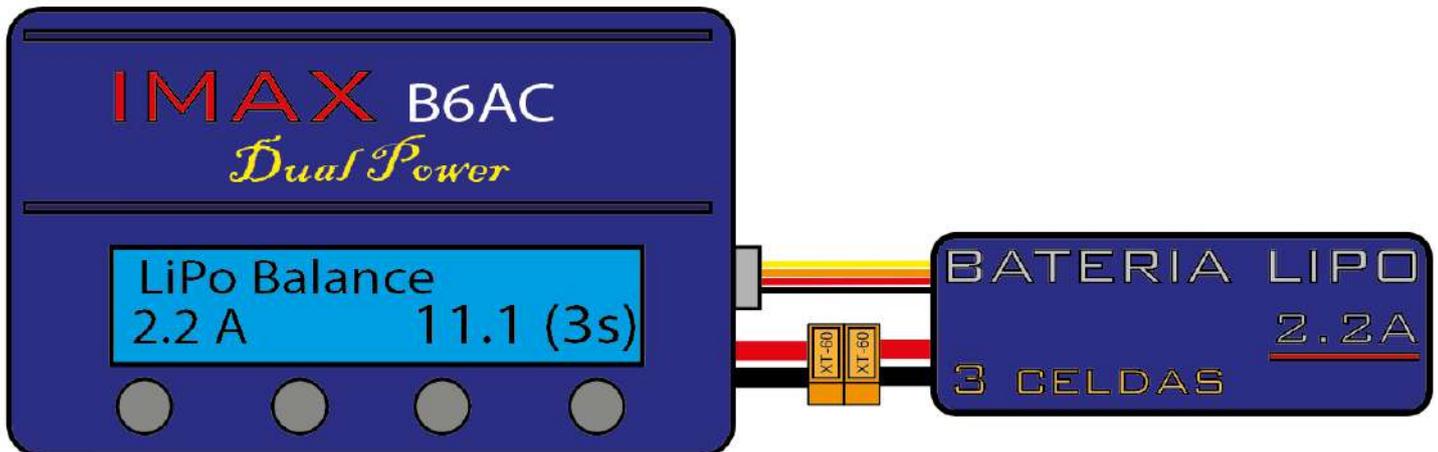
PELIGRO

CHOQUE ELECTRICO

Para un correcto funcionamiento de las baterías por largo tiempo siga las siguientes recomendaciones:

- No utilice un equipo diferente al proporcionado por el fabricante para recargar las baterías LiPo ya que pueden provocar su prematuro desgaste.
- No permita que las baterías bajen su voltaje nominal ya que estas podrían dejar de funcionar permanentemente.
- Al momento de conectar el cargador verifique que los datos para su carga sea el correcto, caso contrario las baterías no se cargaran.
- Programe siempre el cargador para una carga balanceada.

NOTA: Puede sufrir descargas eléctricas si toca los dos bordes de salida de la batería LiPo.



Mas información sobre el
cargador

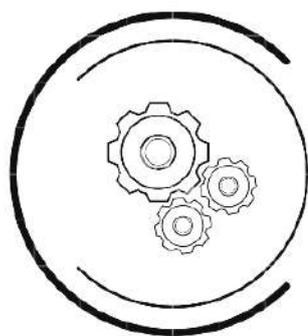
Visite el sitio Web



Para adquirir el producto

PROBLEMAS COMUNES

ANTES DE REEMPLAZAR ALGÚN COMPONENTE PRIMERO INTENTE LAS SOLUCIONES SUGERIDAS		
Sí experimenta lo siguiente	Causas posibles	Solución
VIBRACIÓN O DESEQUILIBRIO		
El vehículo tiene una ligera desviación	Los neumáticos no están alineados	Verifique la alineación de cada neumático de forma individual y corrija dicha desviación.
La cámara vibra mucho	El anclaje no está fijo	Ajuste los tornillos que sujetan el sistema de cámara con la base del motor.
El sistema de amortiguación es muy rígido	Precarga desigual	Verifique que la precarga de los 4 amortiguadores e igual gire el tornillo de precarga hasta su posición mínima y gire media vuelta en todos los amortiguadores.
Un motor no gira	Desconexión del motor	Si se verifica la desconexión de un motor lea la sección conexión de ruc.
RUIDOS		
Ruido en los motores	Suciedad acumulada	Limpie el reductor de velocidad del motor y su eje de salida.
Pitidos del control de RC	Batería baja	Cambie las baterías AA del control y verifique que exista conexión.
NO SE RECIBE SEÑAL DE VIDEO		
El emisor de video permanece apagado	Desconexión de la alimentación	Verifique que los cables de alimentación se encuentran conectados en la placa madre, revise la sección conexión.
Al momento de buscar automáticamente encuentra otra frecuencia	Frecuencias similares	Si presenta ruido excesivo en la frecuencia auto sintonizada cámbiela de manera manual.
Los elementos están prendidos, pero no se recibe señal de video	La cámara se encuentra desconectada	Verifique que exista continuidad entre los 3 cables desde la cámara al emisor de video, siga las instrucciones de la sección conexiones



EXPLORITY

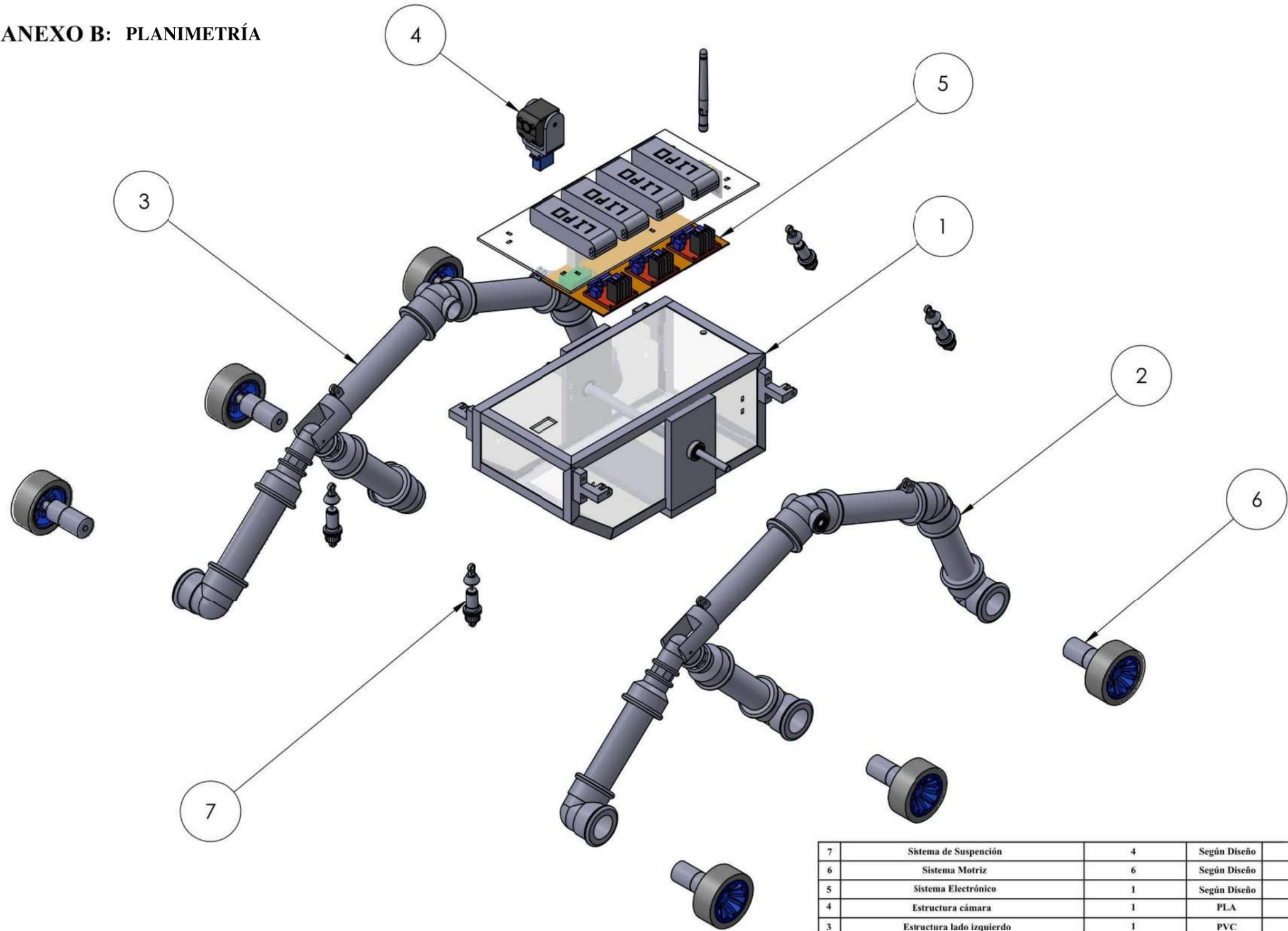
INGENIERIA **»»**

Christopher Acosta
+593998745465

Jean Pierre Clavón
+593986223047

ANEXO B: PLANIMETRÍA

A3 mm

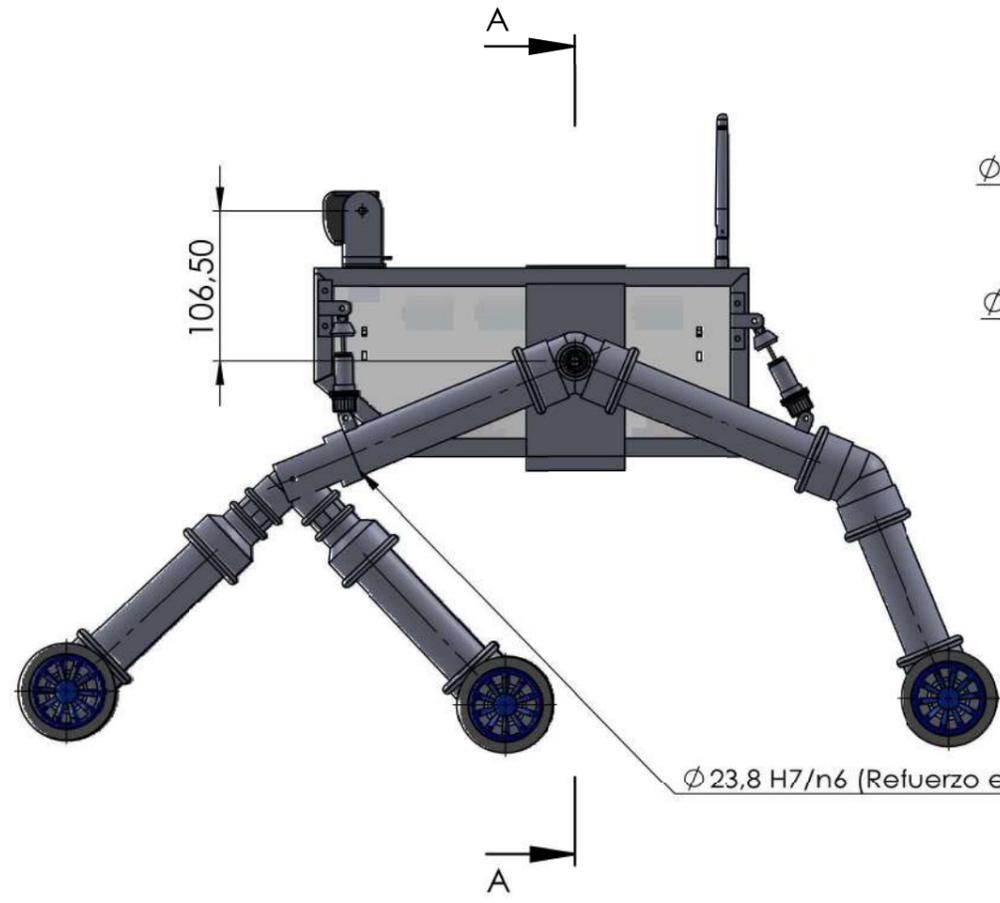


No. de pieza	Denominación	No. de Piezas/Dibujo	Material	No. del Modelo/semiproducto	Peso Kg/pz	Observaciones
7	Sistema de Suspensión	4	Según Diseño		0.02	
6	Sistema Motriz	6	Según Diseño		0.1	
5	Sistema Electrónico	1	Según Diseño		1.3	
4	Estructura cámara	1	PLA		0.2	
3	Estructura lado izquierdo	1	PVC		1.5	
2	Estructura lado derecho	1	PVC		1.5	
1	Armazon	1	Según Diseño		2	

Nº. Lámina: 1 de 29		Nº. Hojas: 1 de 2		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Email: Teléfonos:				Denominación: VEHÍCULO EXPLORADOR TERRESTRE											
Datos		Nombre		Firma		Fecha		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Proyectó		Sr. Acosta Christopher				2020/06/02		6		±0.1 [mm]		1:5			
Dibujó		Sr. Clavón Jean Pierre				2020/06/02									
Revisó		Ing. Escobar M.				2020/07/27									
Aprobó		Ing. Vera J.				2020/07/27									
Materiales: SEGÚN DISEÑO								ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY.							
Nombre de archivo: CORAZA ANALISIS ADAMS.sldasm															

MIGUEL ANGEL ESCOBAR
GUACHAMBALA

Firmado digitalmente por
MIGUEL ANGEL ESCOBAR
GUACHAMBALA
Fecha: 2020.08.13
12:59:13 -05'00'



$\Phi 26$ H7/k6 (Base rodamiento / Rodamiento BA8)

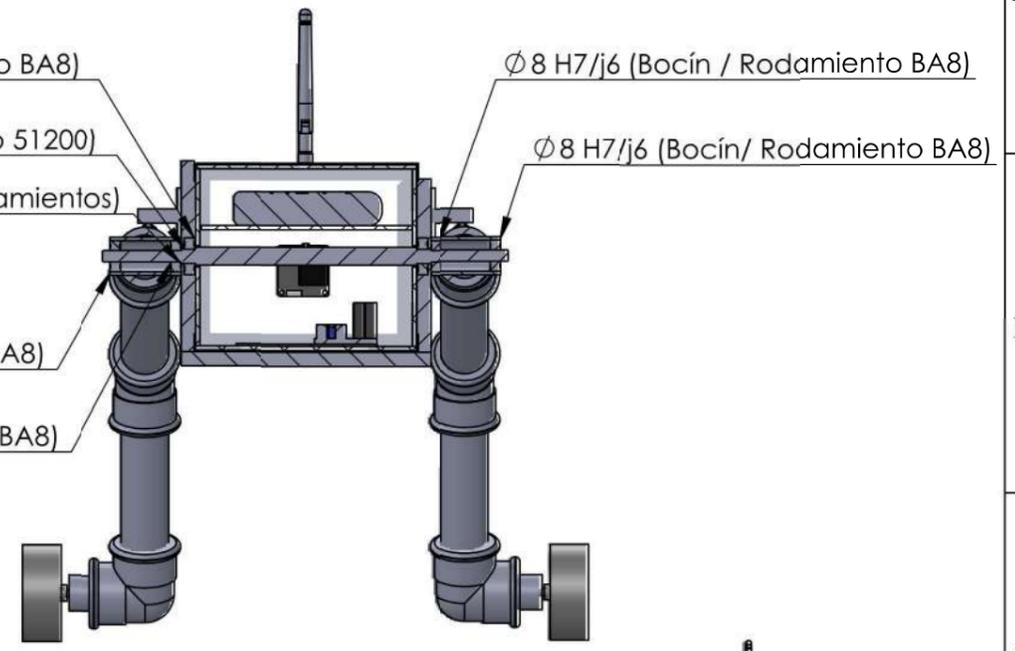
$\Phi 10$ H7/k6 (Eje principal / Rodamiento 51200)

$\Phi 11$ H8/d9 (Eje principal / Soporte de rodamientos)

$\Phi 8$ H7/j6 (Eje principal / Rodamiento BA8)

$\Phi 8$ H7/j6 (Eje principal / Rodamiento BA8)

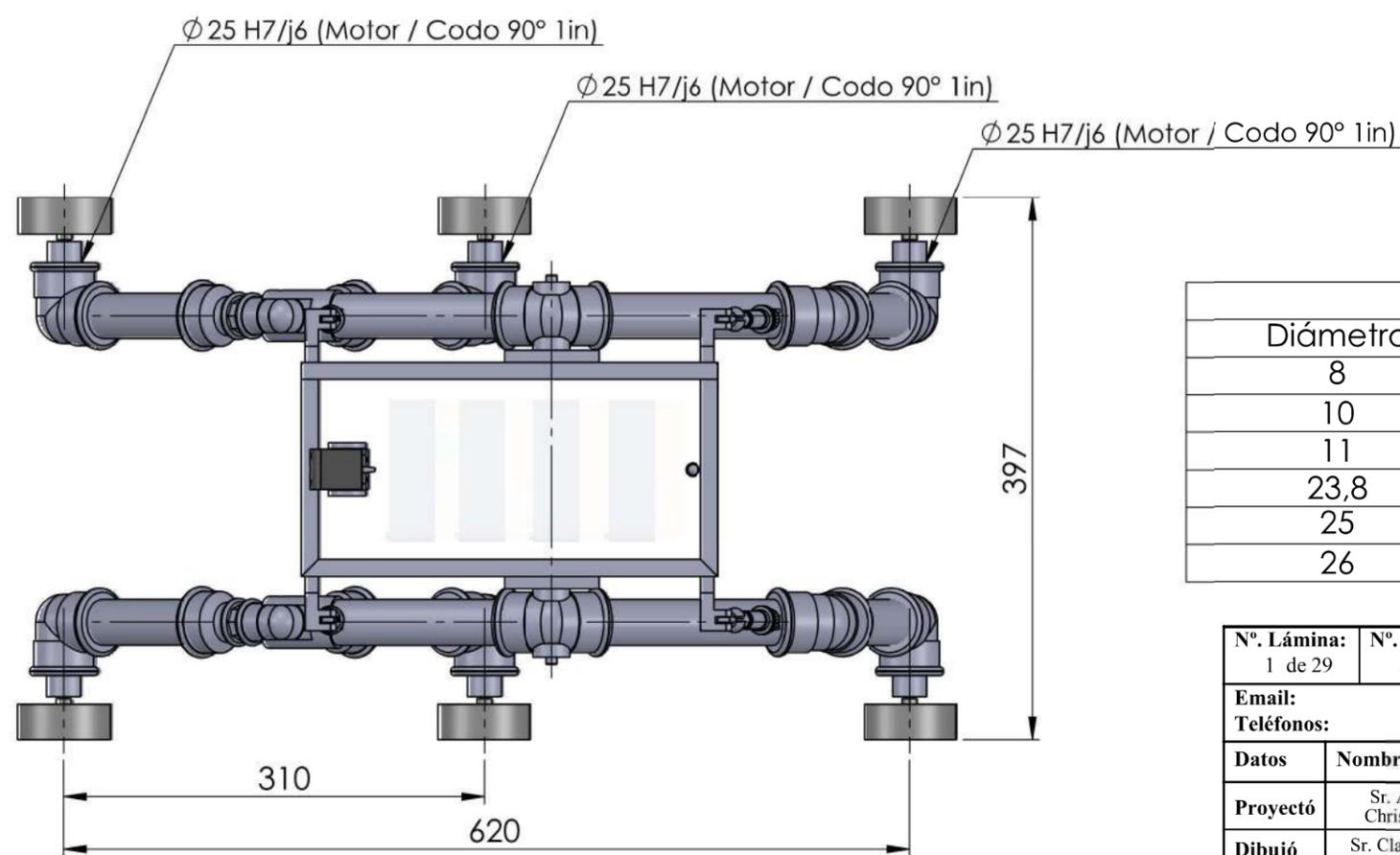
$\Phi 23,8$ H7/n6 (Refuerzo eslabón 3/ Eslabón 3)



$\Phi 8$ H7/j6 (Bocín / Rodamiento BA8)

$\Phi 8$ H7/j6 (Bocín/ Rodamiento BA8)

SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5



$\Phi 25$ H7/j6 (Motor / Codo 90° 1in)

$\Phi 25$ H7/j6 (Motor / Codo 90° 1in)

$\Phi 25$ H7/j6 (Motor / Codo 90° 1in)

397

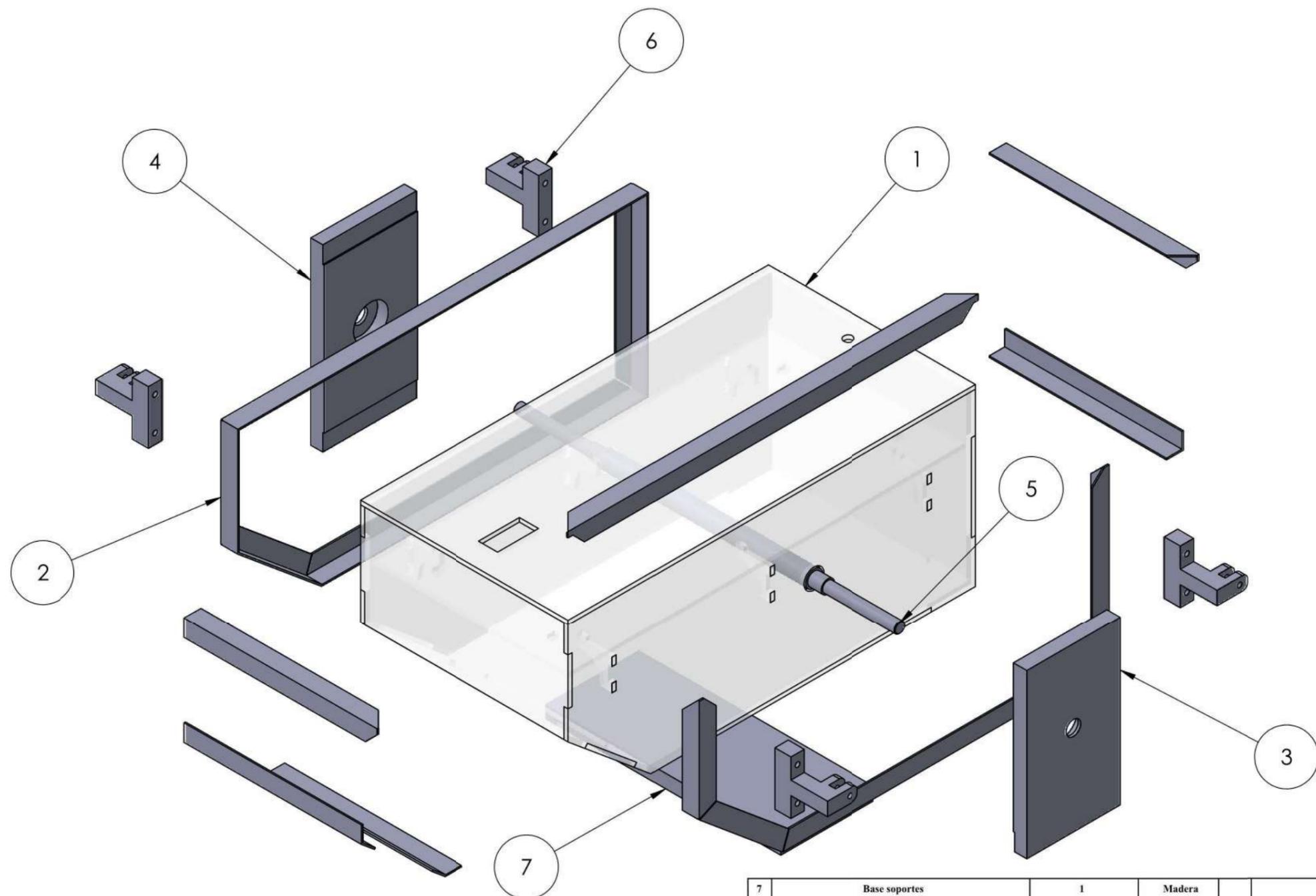
310

620

Ajustes Dimensionales del Vehículo Explorador

Diámetro	Ajuste	Valor máximo	Valor mínimo
8	H7 / j6	+0,025	+0
10	H7 / k6	+0,05	-0,01
11	H8 / d9	0,01	-0,01
23,8	H7 / n6	+0,01	-0,01
25	H7 / j6	+0,025	+0
26	H7 / k6	+0,05	-0,01

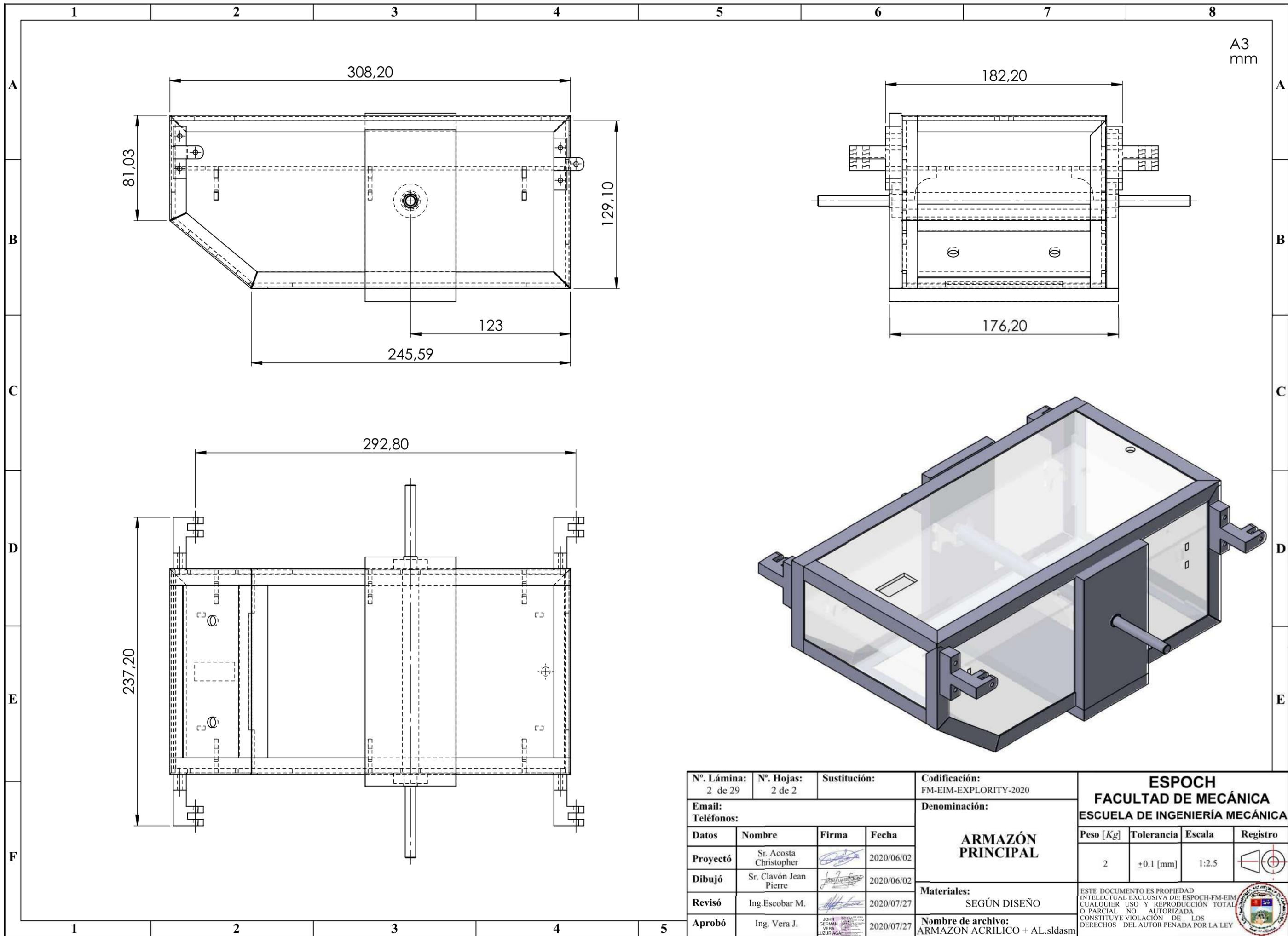
Nº. Lámina: 1 de 29		Nº. Hojas: 2 de 2		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Email: Teléfonos:				Denominación: VEHÍCULO EXPLORADOR TERRESTRE											
Dato		Nombre		Firma		Fecha		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Proyectó		Sr. Acosta Christopher				2020/06/02		6		±0.1 [mm]		1:5			
Dibujó		Sr. Clavón Jean Pierre				2020/06/02		Materiales: SEGÚN DISEÑO		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Revisó		Ing. Escobar M.				2020/07/27									
Aprobó		Ing. Vera J.				2020/07/27		Nombre de archivo: CORAZA ANALISIS ADAMS.sldasm							



No. de pieza	Denominación	No. de Piezas/Dibujo	Material	No. del Modelo/semiproducto	Peso Kg/pz	Observaciones
7	Base soportes	1	Madera		0.25	
6	Soporte amortiguador	4	PLA		0.015	
5	Eje principal	1	Aluminio		0.2	
4	Soporte de rodamiento derecho	1	Aluminio		0.3	
3	Soporte de rodamiento izquierdo	1	Aluminio		0.29	
2	Estructura de Aluminio	1	Aluminio		0.2	
1	Armazón acrílico	1	Acrílico		0.7	

Nº. Lámina: 2 de 29		Nº. Hojas: 1 de 2		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Email: Teléfonos:				Denominación: ARMAZÓN PRINCIPAL											
Datos		Nombre		Firma		Fecha		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Proyectó		Sr. Acosta Christopher				2020/06/02		2		±0.1 [mm]		1:2.5			
Dibujó		Sr. Clavón Jean Pierre				2020/06/02									
Revisó		Ing. Escobar M.				2020/07/27									
Aprobó		Ing. Vera J.				2020/07/27									
Materiales: SEGÚN DISEÑO								Nombre de archivo: ARMAZON ACRILICO + AL.sldasm				ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			

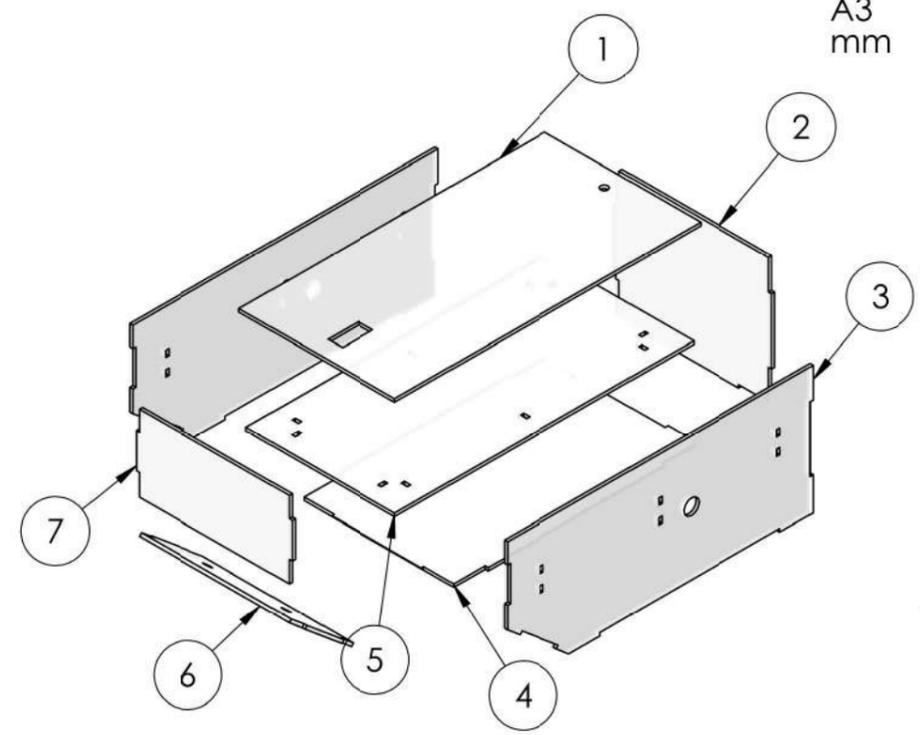
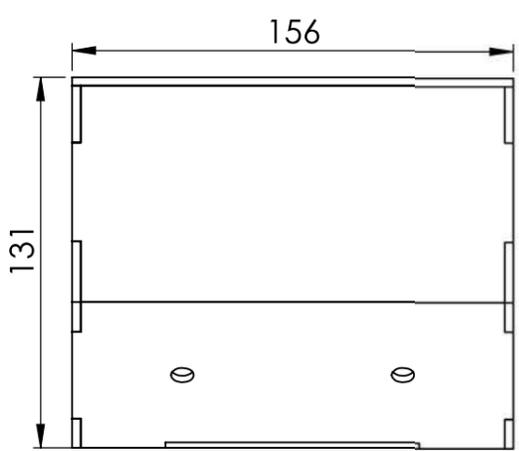
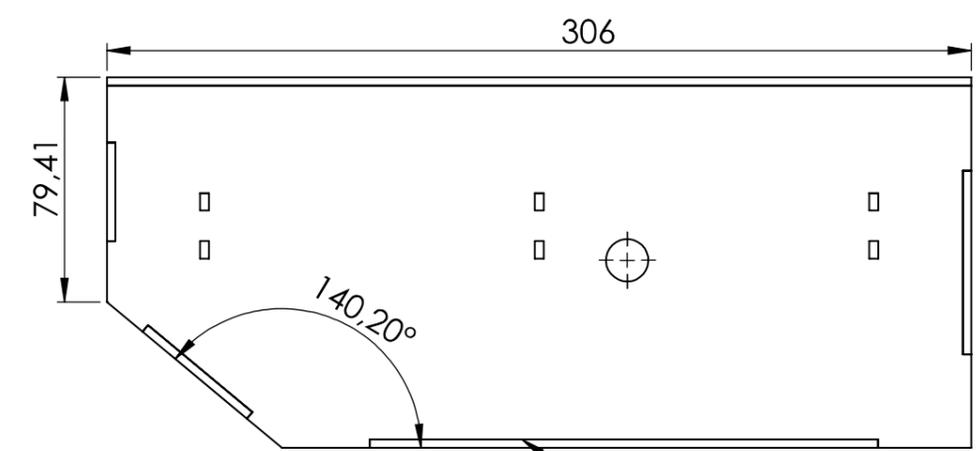




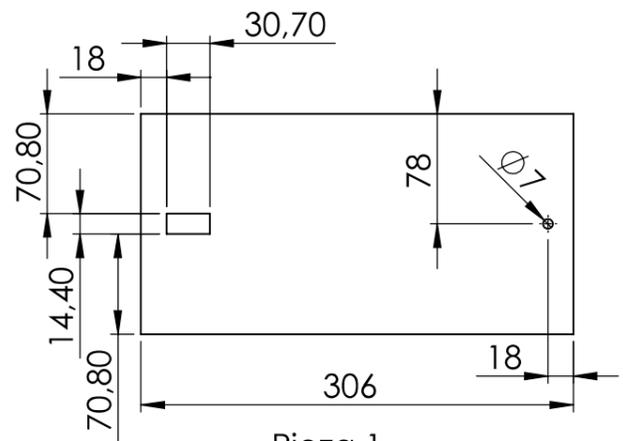
Nº. Lámina: 2 de 29		Nº. Hojas: 2 de 2		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA									
Email: Teléfonos:				Denominación: ARMAZÓN PRINCIPAL								Peso [Kg]		Tolerancia		Escala	
Proyectó		Nombre		Firma		Fecha		Materiales: SEGÚN DISEÑO Nombre de archivo: ARMAZON ACRILICO + AL.sldasm				±0.1 [mm]		1:2.5			
Dibujó		Sr. Acosta Christopher				2020/06/02						2					
Revisó		Sr. Clavón Jean Pierre				2020/06/02											
Aprobó		Ing. Escobar M.				2020/07/27											
		Ing. Vera J.				2020/07/27		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY									

COORTE LASER

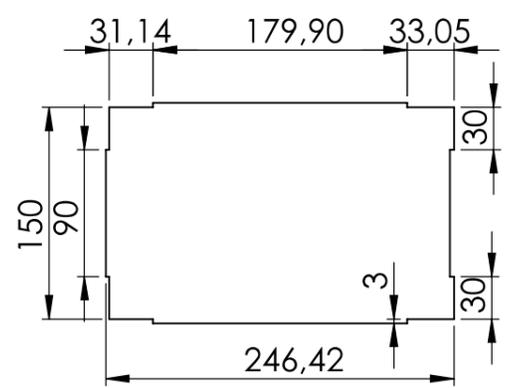
A3 mm



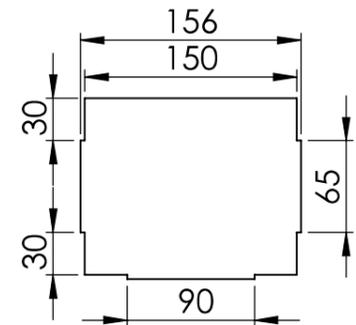
Los componentes son unidos por medio de Formaldehido (Methanal)



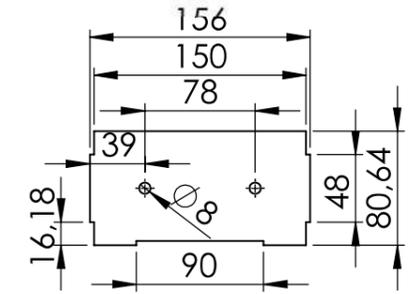
Pieza 1 Escala 1:5



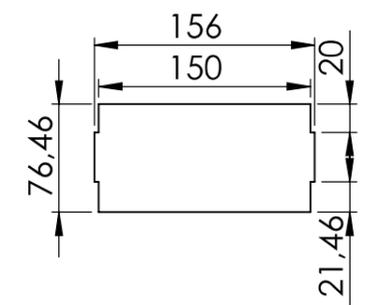
Pieza 4 Escala 1:5



Pieza 2 Escala 1:5

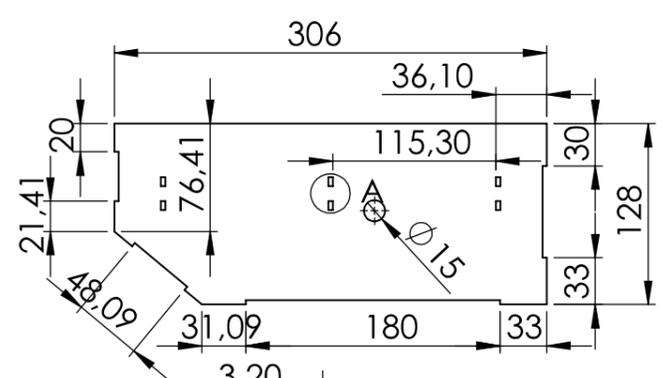


Pieza 6 Escala 1:5

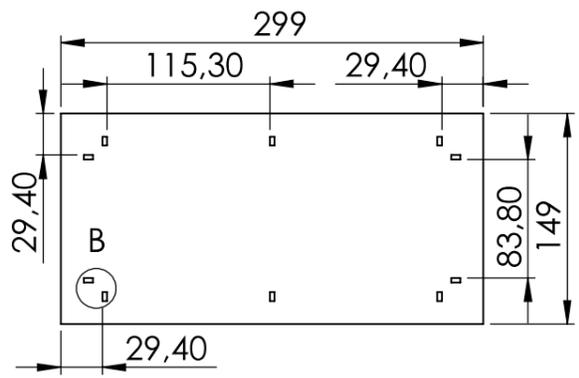


Pieza 7 Escala 1:5

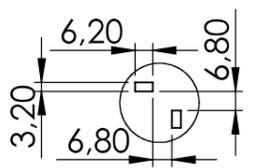
NOTA: Todos los elementos tienen un espesor de 3mm



Pieza 3 Escala 1:5



Pieza 5 Escala 1:5

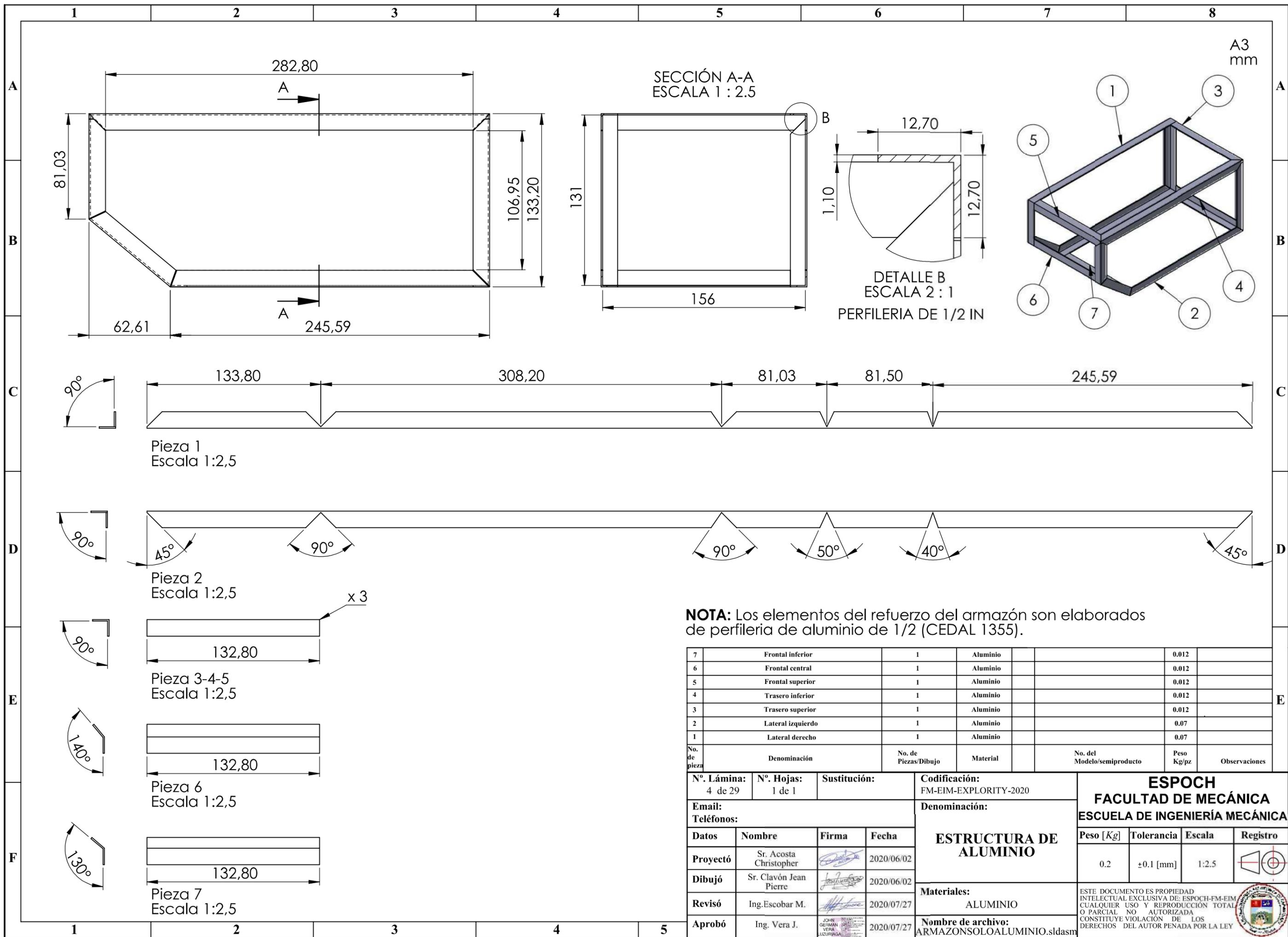


DETALLE B ESCALA 1:2.5

DETALLE A ESCALA 1:2.5

No. de pieza	Denominación	No. de Piezas/Dibujo	Material	No. del Modelo/semiproducto	Peso Kg/pz	Observaciones
7	Tapa frontal superior	1	Acrílico		0.03	
6	Tapa frontal inferior	1	Acrílico		0.03	
5	Base baterías	1	Acrílico		0.07	
4	Tapa base	1	Acrílico		0.1	
3	Tapa lateral	2	Acrílico		0.135	
2	Tapa trasera	1	Acrílico		0.06	
1	Tapa superior	1	Acrílico		0.14	

Nº. Lámina: 3 de 29	Nº. Hojas: 1 de 1	Sustitución:	Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA																					
Email:	Denominación: ARMAZÓN ACRÍLICO																								
Teléfonos:			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Peso [Kg]</th> <th>Tolerancia</th> <th>Escala</th> <th>Registro</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.7</td> <td>±0.1 [mm]</td> <td>1:2.5</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro	0.7	±0.1 [mm]	1:2.5													
Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro																						
0.7	±0.1 [mm]	1:2.5																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Datos</th> <th>Nombre</th> <th>Firma</th> <th>Fecha</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Proyectó</td> <td>Sr. Acosta Christopher</td> <td></td> <td>2020/06/02</td> </tr> <tr> <td>Dibujó</td> <td>Sr. Clavón Jean Pierre</td> <td></td> <td>2020/06/02</td> </tr> <tr> <td>Revisó</td> <td>Ing. Escobar M.</td> <td></td> <td>2020/07/27</td> </tr> <tr> <td>Aprobó</td> <td>Ing. Vera J.</td> <td></td> <td>2020/07/27</td> </tr> </tbody> </table>			Datos	Nombre	Firma	Fecha	Proyectó	Sr. Acosta Christopher		2020/06/02	Dibujó	Sr. Clavón Jean Pierre		2020/06/02	Revisó	Ing. Escobar M.		2020/07/27	Aprobó	Ing. Vera J.		2020/07/27	Materiales: ACRÍLICO		
Datos	Nombre	Firma	Fecha																						
Proyectó	Sr. Acosta Christopher		2020/06/02																						
Dibujó	Sr. Clavón Jean Pierre		2020/06/02																						
Revisó	Ing. Escobar M.		2020/07/27																						
Aprobó	Ing. Vera J.		2020/07/27																						
Nombre de archivo: ARMAZON SOLO ACRILICO.sldasm			ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY																						



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2.5

DETALLE B
ESCALA 2 : 1
PERFILERIA DE 1/2 IN

Pieza 1
Escala 1:2,5

Pieza 2
Escala 1:2,5

Pieza 3-4-5
Escala 1:2,5

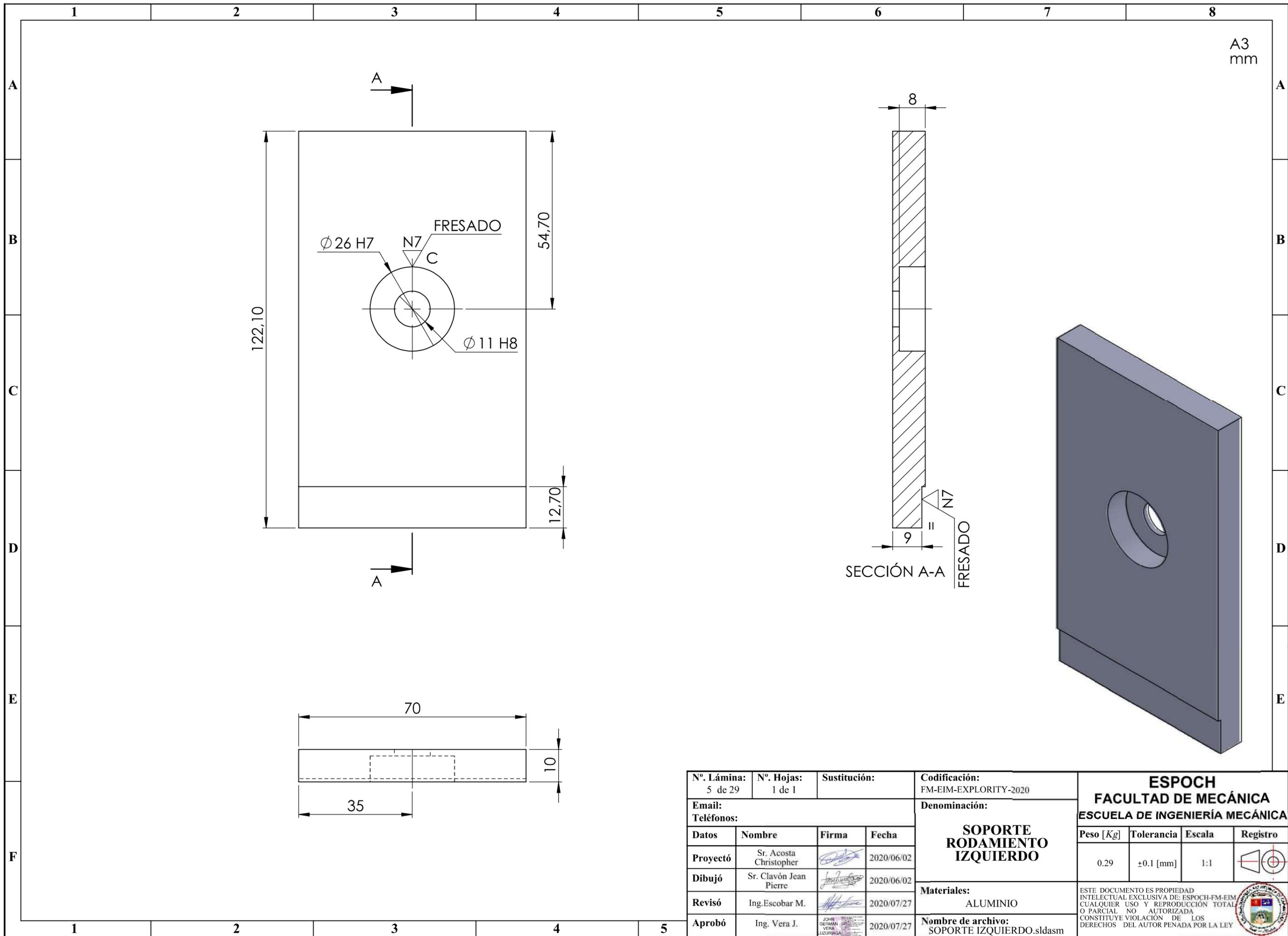
Pieza 6
Escala 1:2,5

Pieza 7
Escala 1:2,5

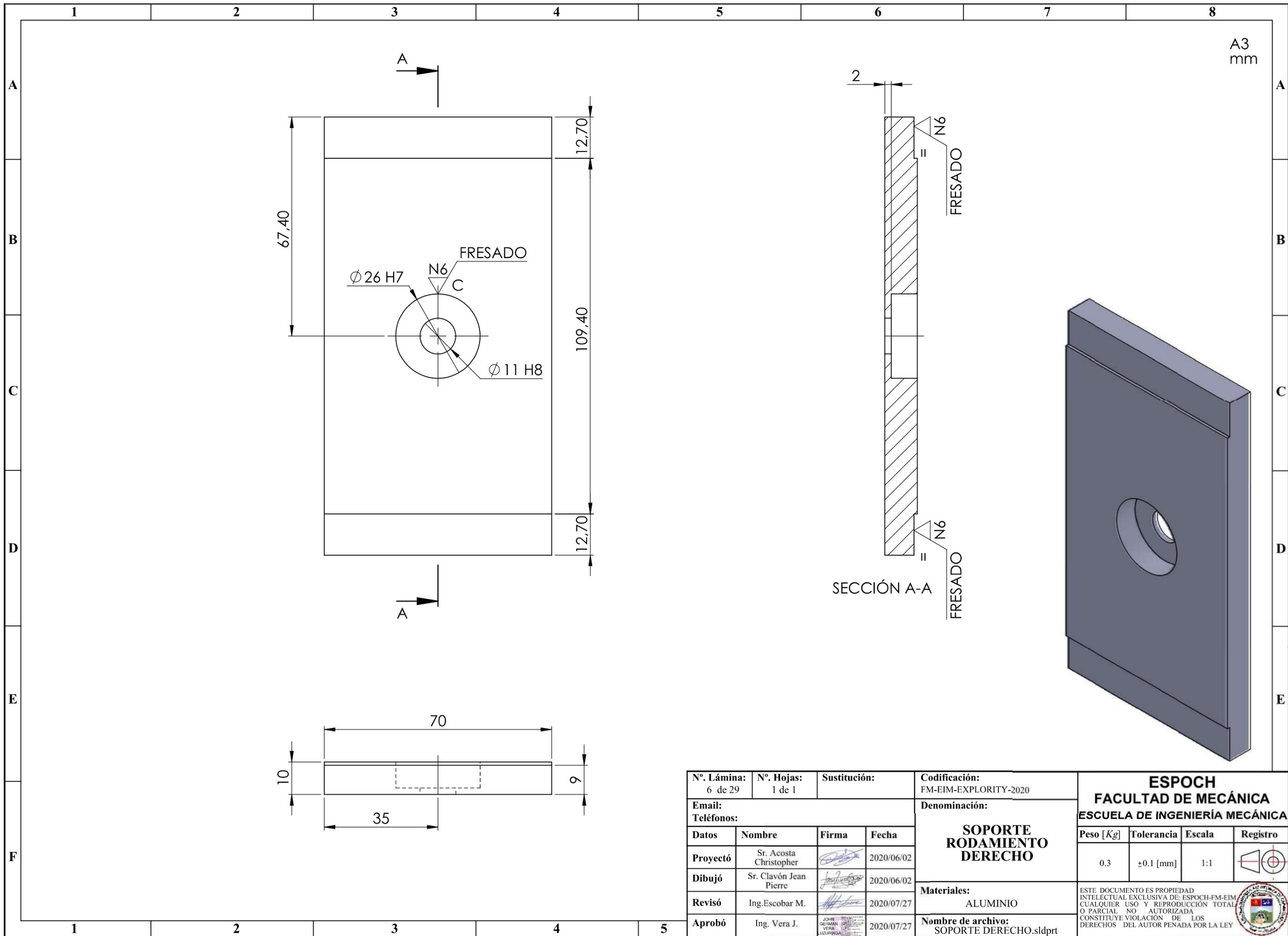
NOTA: Los elementos del refuerzo del armazón son elaborados de perfilera de aluminio de 1/2 (CEDAL 1355).

No. de pieza	Denominación	No. de Piezas/Dibujo	Material	No. del Modelo/semiproducto	Peso Kg/pz	Observaciones
7	Frontal inferior	1	Aluminio		0.012	
6	Frontal central	1	Aluminio		0.012	
5	Frontal superior	1	Aluminio		0.012	
4	Trasero inferior	1	Aluminio		0.012	
3	Trasero superior	1	Aluminio		0.012	
2	Lateral izquierdo	1	Aluminio		0.07	
1	Lateral derecho	1	Aluminio		0.07	

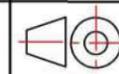
Nº. Lámina: 4 de 29	Nº. Hojas: 1 de 1	Sustitución:	Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
Email: Teléfonos:			Denominación: ESTRUCTURA DE ALUMINIO				Peso [Kg]	Tolerancia
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ALUMINIO			ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY	
Proyectó	Sr. Acosta Christopher		2020/06/02	Nombre de archivo: ARMAZONSOLOALUMINIO.sldasm				
Dibujó	Sr. Clavón Jean Pierre		2020/06/02					
Revisó	Ing. Escobar M.		2020/07/27					
Aprobó	Ing. Vera J.		2020/07/27					

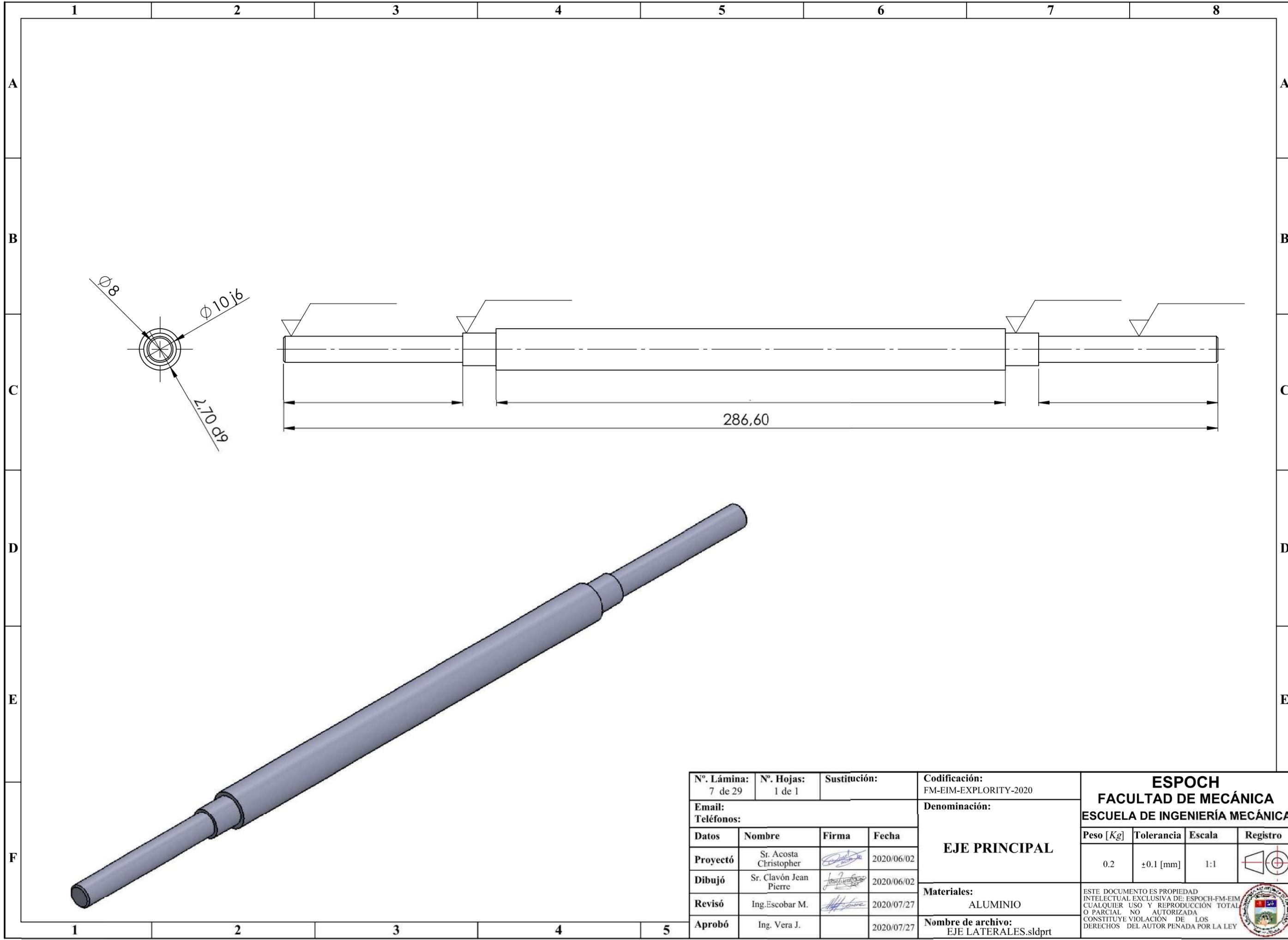


Nº. Lámina: 5 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfonos:						Denominación: SOPORTE RODAMIENTO IZQUIERDO					
Datos	Nombre	Firma	Fecha			Materiales: ALUMINIO		0.29	±0.1 [mm]	1:1	
Proyectó	Sr. Acosta Christopher		2020/06/02			Nombre de archivo: SOPORTE IZQUIERDO.sldasm		<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small>			
Dibujó	Sr. Clavón Jean Pierre		2020/06/02								
Revisó	Ing. Escobar M.		2020/07/27								
Aprobó	Ing. Vera J.		2020/07/27								



A3 mm

Nº. Lámina: 6 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfonos:				Denominación: SOPORTE RODAMIENTO DERECHO							
Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro		<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small> 			
0.3		±0.1 [mm]		1:1							
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: ALUMINIO		Nombre de archivo: SOPORTE DERECHO.sldprt					
Proyectó	Sr. Acosta Christopher		2020/06/02								
Dibujó	Sr. Clavón Jean Pierre		2020/06/02								
Revisó	Ing. Escobar M.		2020/07/27								
Aprobó	Ing. Vera J.		2020/07/27								



Nº. Lámina: 7 de 29	Nº. Hojas: 1 de 1	Sustitución:	
Email:		Fecha:	
Teléfonos:		Proyectó Sr. Acosta Christopher <i>[Signature]</i> 2020/06/02	
Datos	Nombre	Firma	Fecha
Proyectó	Sr. Acosta Christopher	<i>[Signature]</i>	2020/06/02
Dibujó	Sr. Clavón Jean Pierre	<i>[Signature]</i>	2020/06/02
Revisó	Ing. Escobar M.	<i>[Signature]</i>	2020/07/27
Aprobó	Ing. Vera J.		2020/07/27

Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020	Denominación: EJE PRINCIPAL
Materiales: ALUMINIO	
Nombre de archivo: EJE LATERALES.sldprt	

ESPOCH
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
0.2	±0.1 [mm]	1:1	

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY.



1

2

3

4

N9  IMPRESO 3D

A4
mm

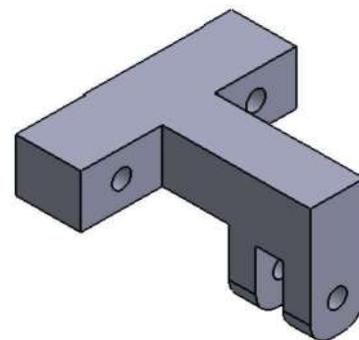
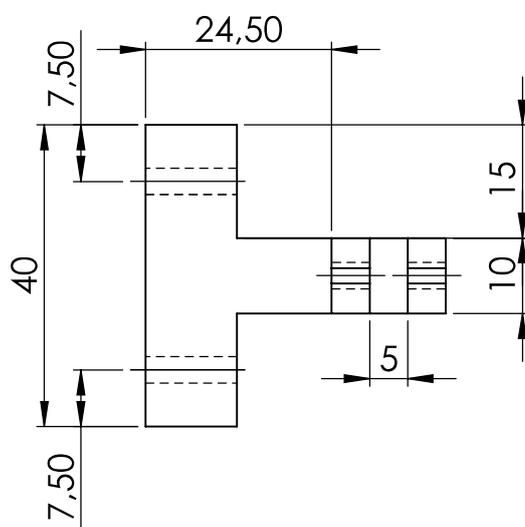
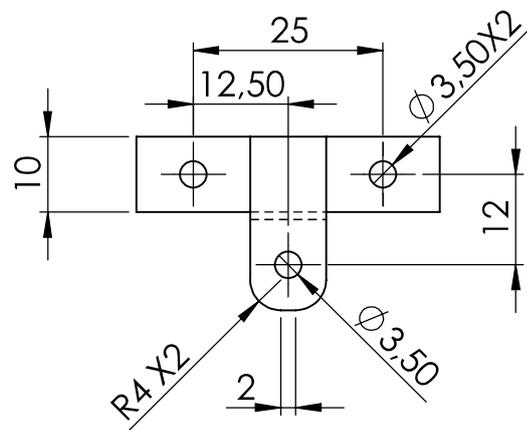
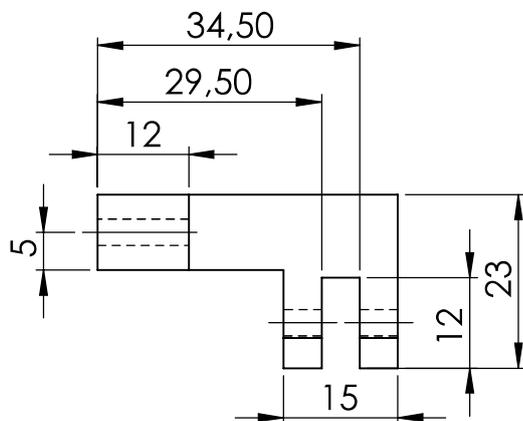
A

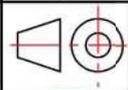
B

C

D

E



Nº. Lámina: 8 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Email: Teléfonos:						Denominación: SOPORTE AMORTIGUADOR						Peso [Kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		0.015		±0.1 [mm]		1:1			
Proyectó		Sr. Acosta Christopher				2020/06/02		Materiales: PLA		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Dibujó		Sr. Clavón Jean Pierre				2020/06/02									
Revisó		Ing. Escobar M.				2020/07/27									
Aprobó		Ing. Vera J.		 <small>JOHN GERMAN VERA LUZURIGA</small>		2020/07/27		Nombre de archivo: soporte suspension delantera.sldprt							

1

2

3

4

A4
mm

A

69,99

176,20

B

PINTADO/
PLATEADO

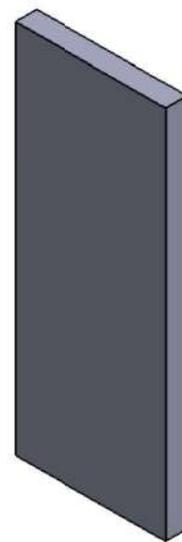
N7

10

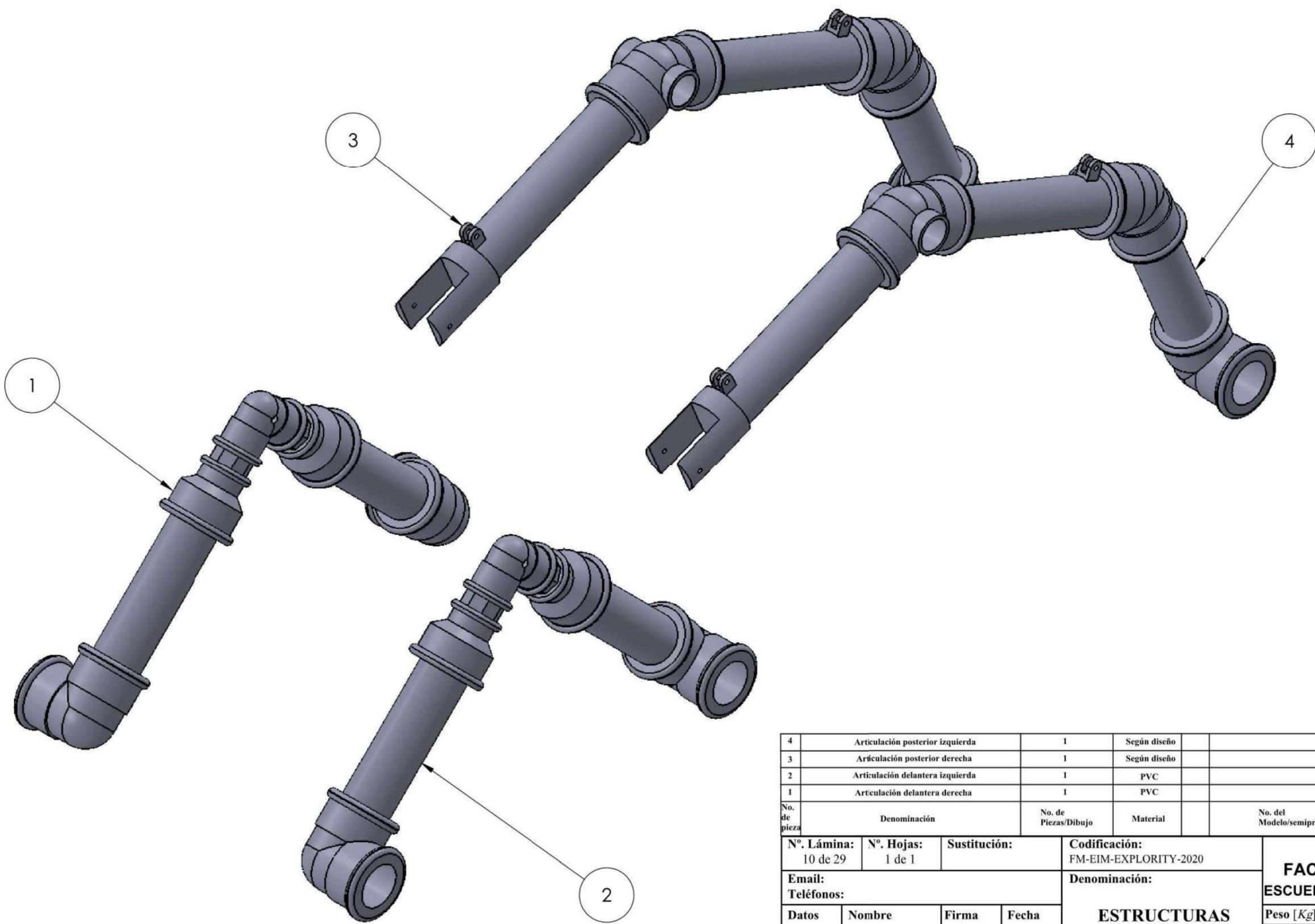
C

D

E



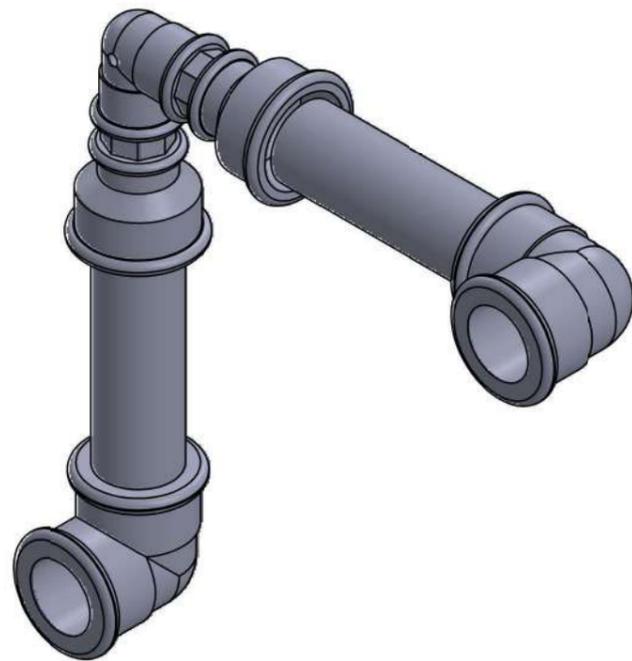
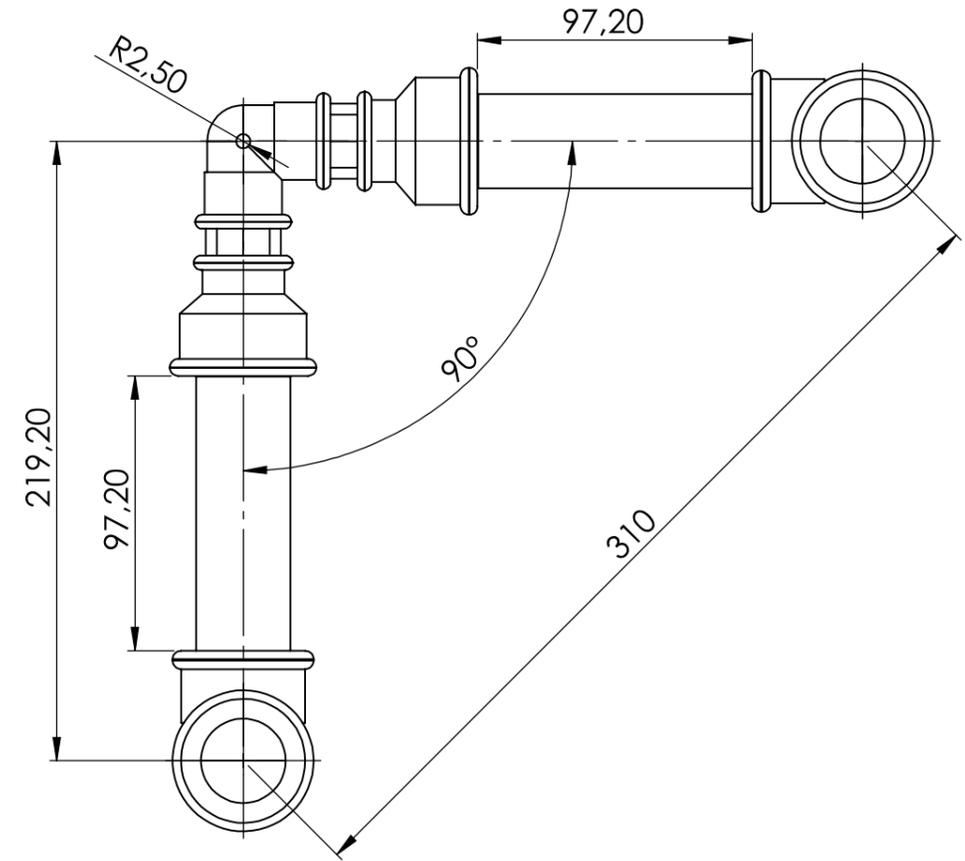
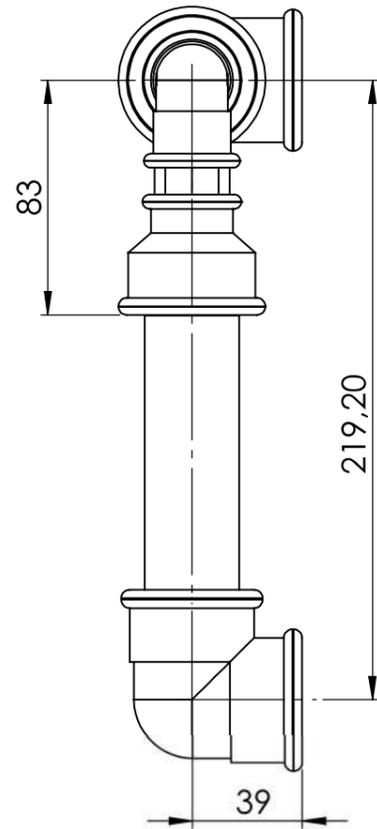
Nº. Lámina: 9 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Email: Teléfonos:						Denominación: BASE SOPORTES						Peso [Kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		0.25		±0.1 [mm]		1:2.5			
Proyectó		Sr. Acosta Christopher				2020/06/02		MATERIALES: MADERA		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Dibujó		Sr. Clavón Jean Pierre				2020/06/02									
Revisó		Ing. Escobar M.				2020/07/27		Nombre de archivo: BASE_SOPORTES.sldprt							
Aprobó		Ing. Vera J.				2020/07/27									



4	Articulación posterior izquierda	1	Según diseño		0.9
3	Articulación posterior derecha	1	Según diseño		0.9
2	Articulación delantera izquierda	1	PVC		0.6
1	Articulación delantera derecha	1	PVC		0.6
No. de pieza	Denominación	No. de Piezas/Dibujo	Material	No. del Modelo/semiproducto	Peso Kg/pz

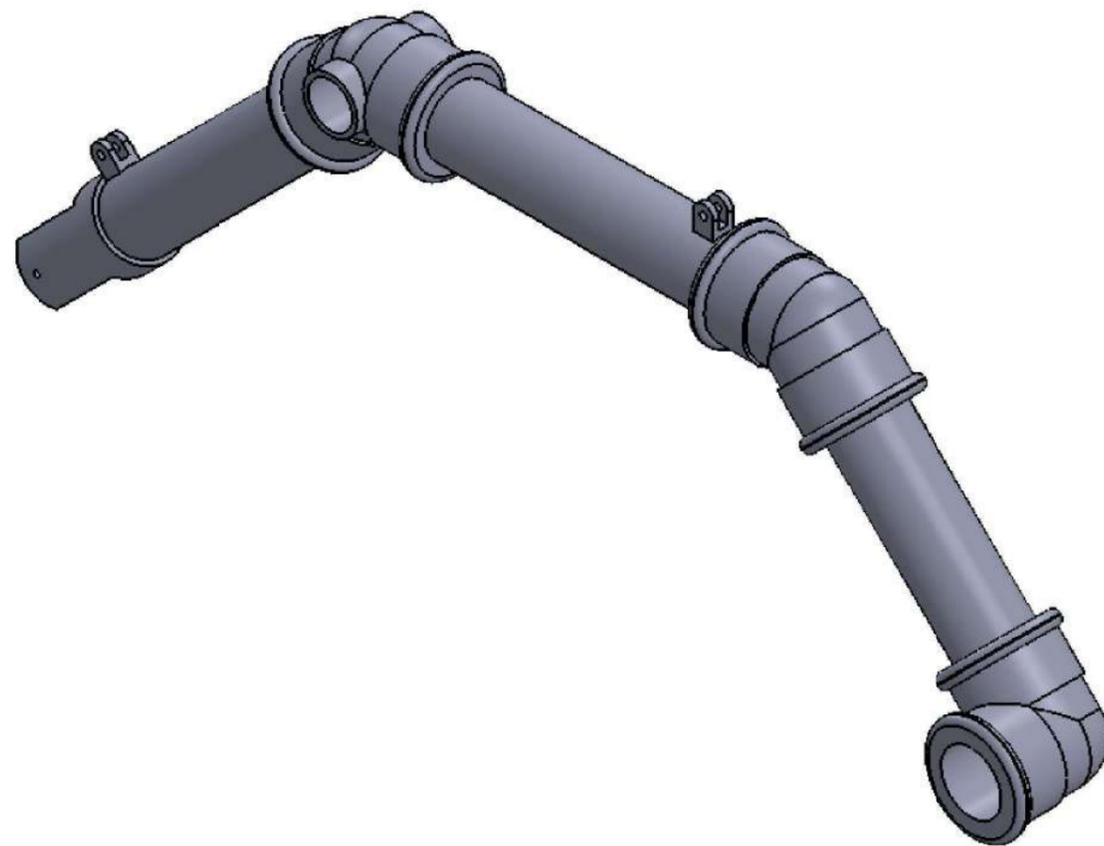
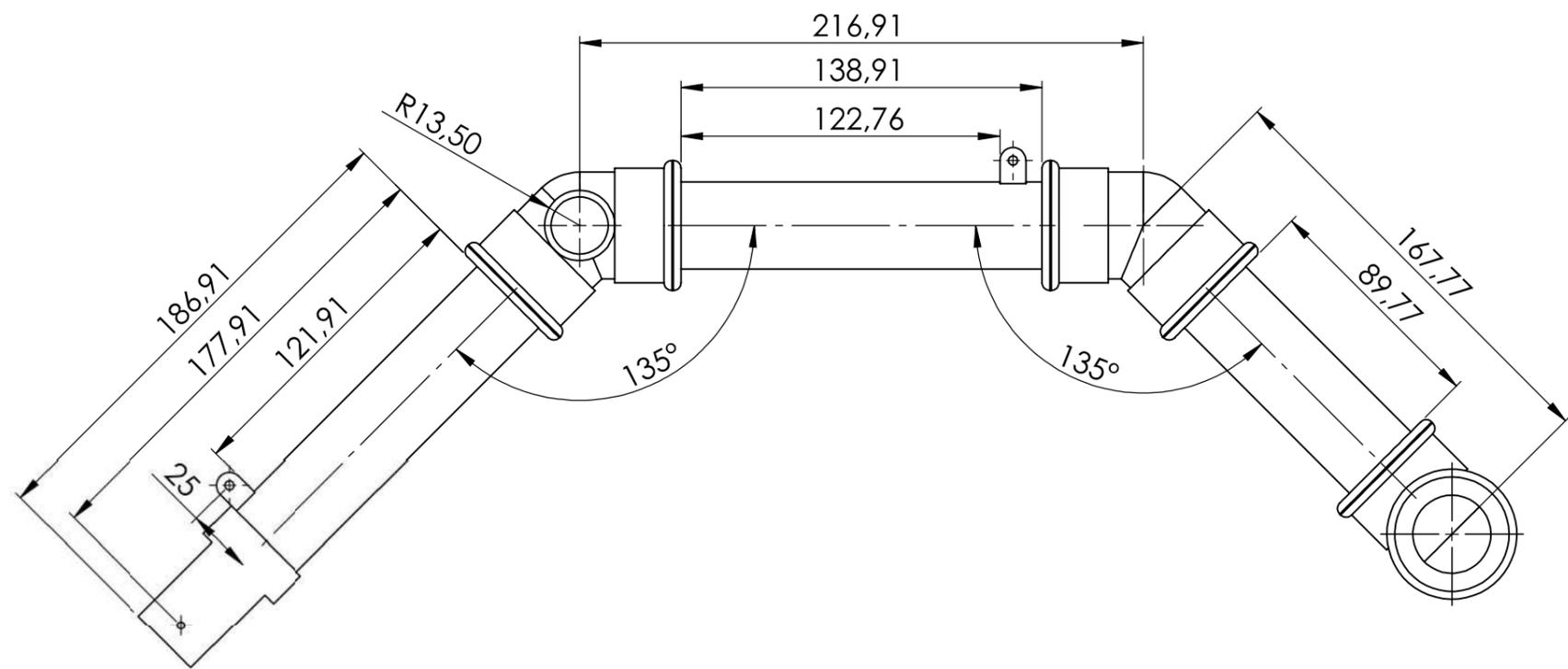
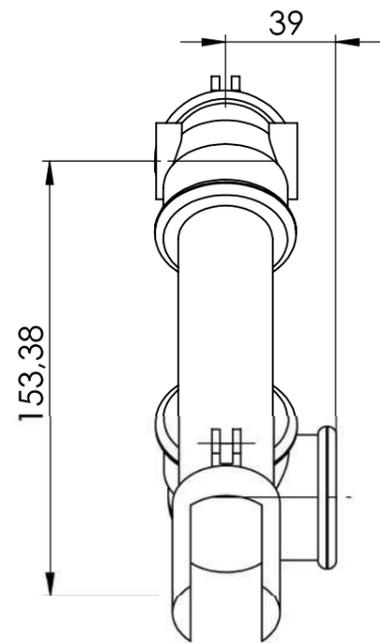
Nº. Lámina: 10 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfonos:				Denominación: ESTRUCTURAS LATERALES							
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: SEGÚN DISEÑO				3	±0.1 [mm]	1:2.5	
Proyectó	Sr. Acosta Christopher		2020/06/02								
Dibujó	Sr. Clavón Jean Pierre		2020/06/02								
Revisó	Ing. Escobar M.		2020/07/27								
Aprobó	Ing. Vera J.		2020/07/27	Nombre de archivo: ESTRUCTURA LATERALES.sldasm				ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			





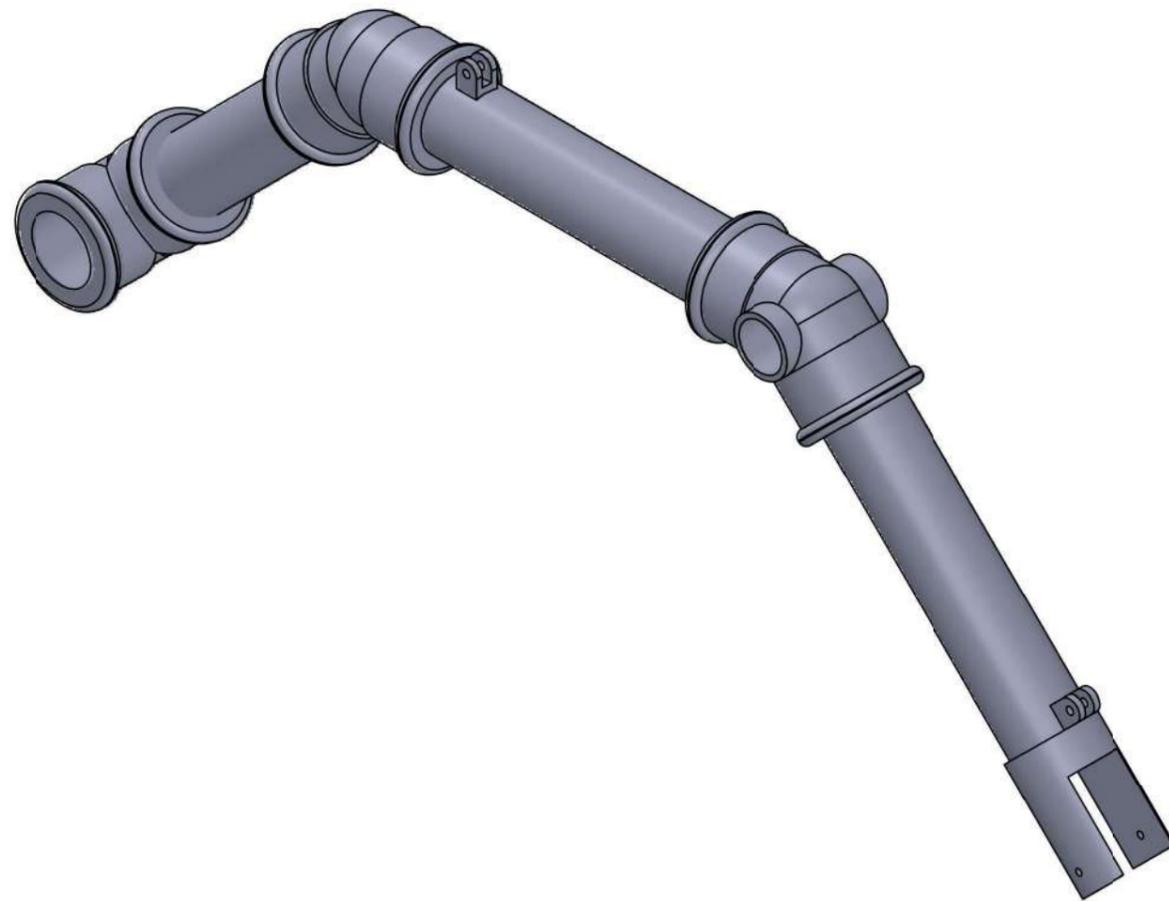
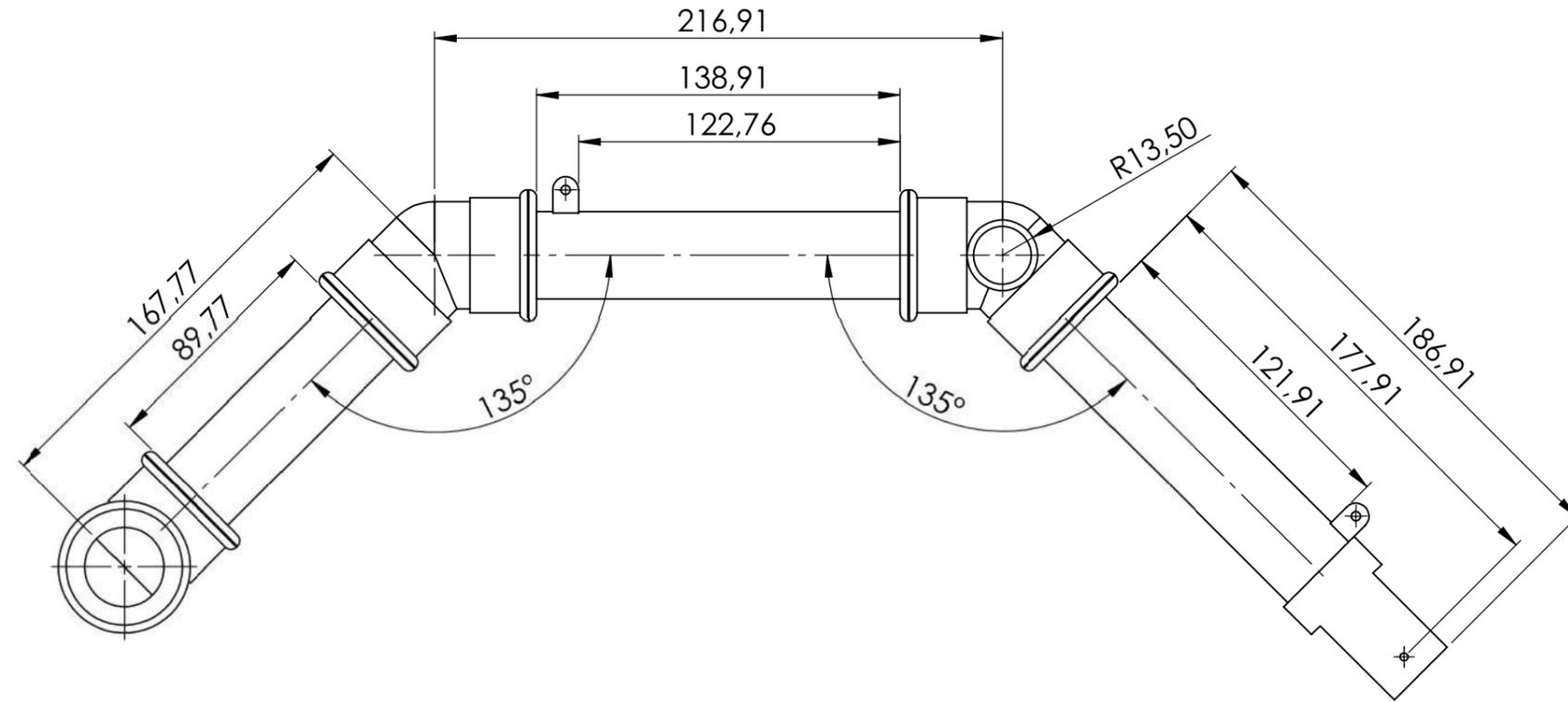
Nº. Lámina: 11 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Email: Teléfonos:				Denominación: DIMENSIONES DE LA ARTICULACIÓN DELANTERA								Peso [Kg]		Tolerancia	
Proyectó		Sr. Acosta Christopher		Firma		Fecha		Materiales: PVC		±0.1 [mm]		1:2.5			
Dibujó		Sr. Clavón Jean Pierre		Firma		Fecha		Nombre de archivo: ARTICULADO DELANTERO.sldasm		0.6		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Revisó		Ing. Escobar M.		Firma		Fecha									
Aprobó		Ing. Vera J.		Firma		Fecha									

A3
mm

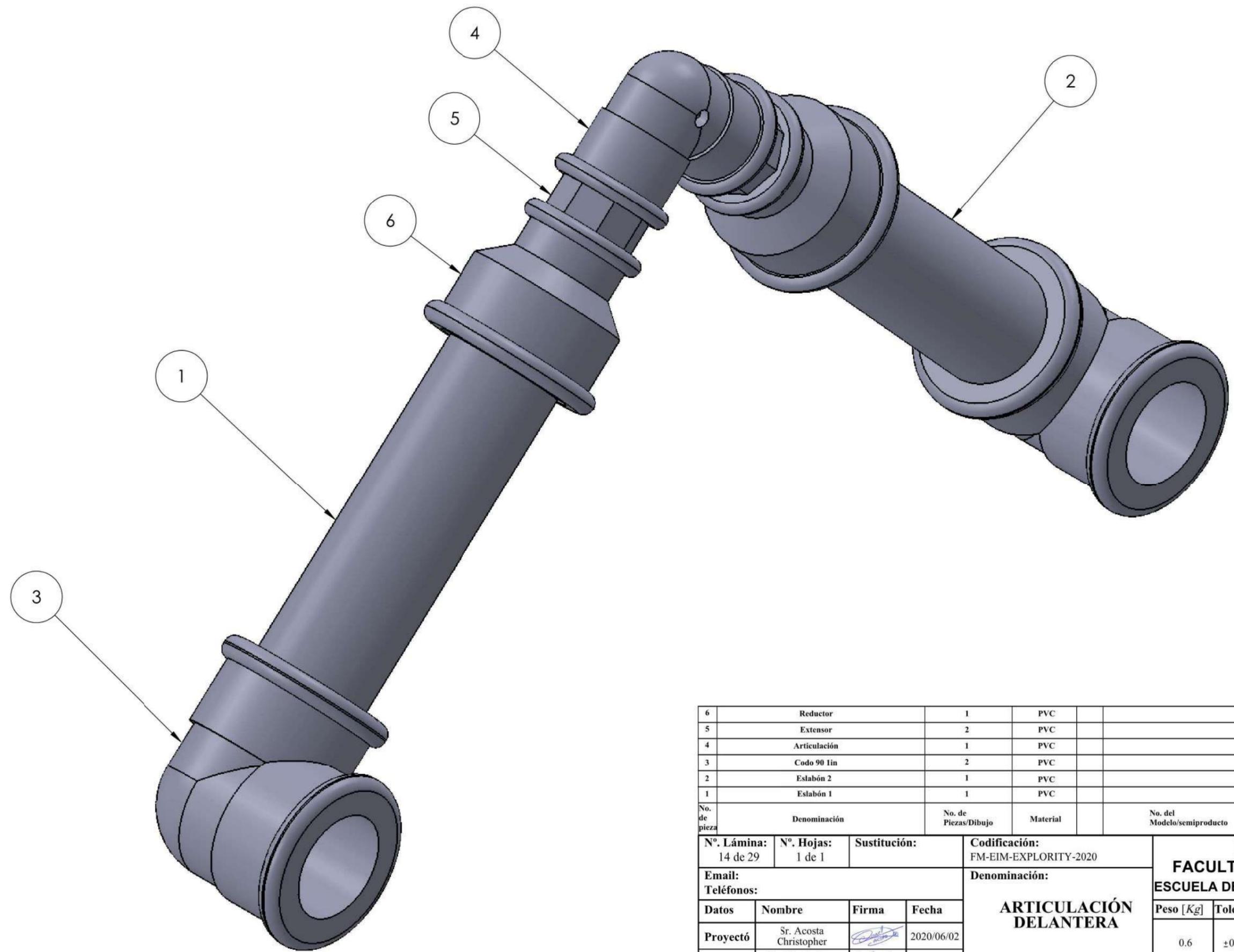


N°. Lámina: 12 de 29		N°. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfonos:				Denominación: DIMENSIONES DE LA ARTICULACIÓN TRASERA DERECHA							
Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro					
0.9		±0.1 [mm]		1:2.5							
Proyectó		Sr. Acosta Christopher		Firma		Fecha		Materiales: SEGÚN EL DISEÑO Nombre de archivo: SUB_TRASERO_DER.sldasm			
Dibujó		Sr. Clavón Jean Pierre		Firma		Fecha					
Revisó		Ing. Escobar M.		Firma		Fecha					
Aprobó		Ing. Vera J.		Firma		Fecha					
ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY											

A3
mm



Nº. Lámina: 13 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Email:		Teléfonos:		Denominación: DIMENSIONES DE LA ARTICULACIÓN TRASERA IZQUIERDA		Peso [Kg]						Tolerancia		Escala	
Proyectó		Sr. Acosta Christopher		Firma		Fecha		0.9		±0.1 [mm]		1:2.5			
Dibujó		Sr. Clavón Jean Pierre		Firma		Fecha		Materiales: SEGÚN EL DISEÑO		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Revisó		Ing. Escobar M.		Firma		Fecha		Nombre de archivo: SUB_TRASERO_IQZ.sldasm							
Aprobó		Ing. Vera J.		Firma		Fecha									



No. de pieza	Denominación	No. de Piezas/Dibujo	Material	No. del Modelo/semiproducto	Peso Kg/pz	Observaciones
6	Reductor	1	PVC		0.1	Reducción de 1 a 1/2 in
5	Extensor	2	PVC		0.1	Neplo corrido de 1/2 in
4	Articulación	1	PVC		0.1	Codo 90° de 1/2in
3	Codo 90 1in	2	PVC		0.09	Codo 90° de 1in
2	Eslabón 2	1	PVC		0.16	Tubería de 1in CW
1	Eslabón 1	1	PVC		0.16	Tubería de 1in CW

Nº. Lámina: 14 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfonos:				Denominación: ARTICULACIÓN DELANTERA							
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: PVC				0.6	±0.1 [mm]	1:1	
Proyectó	Sr. Acosta Christopher		2020/06/02								
Dibujó	Sr. Clavón Jean Pierre		2020/06/02								
Revisó	Ing. Escobar M.		2020/07/27								
Aprobó	Ing. Vera J.		2020/07/27	Nombre de archivo: SUB_DELANTERO.sldasm				ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY.			

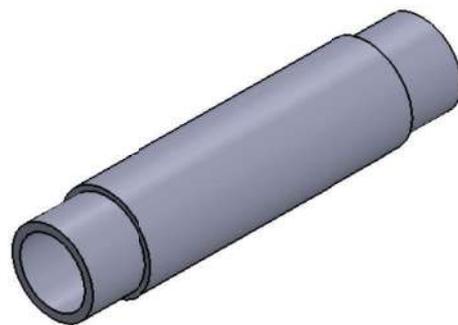
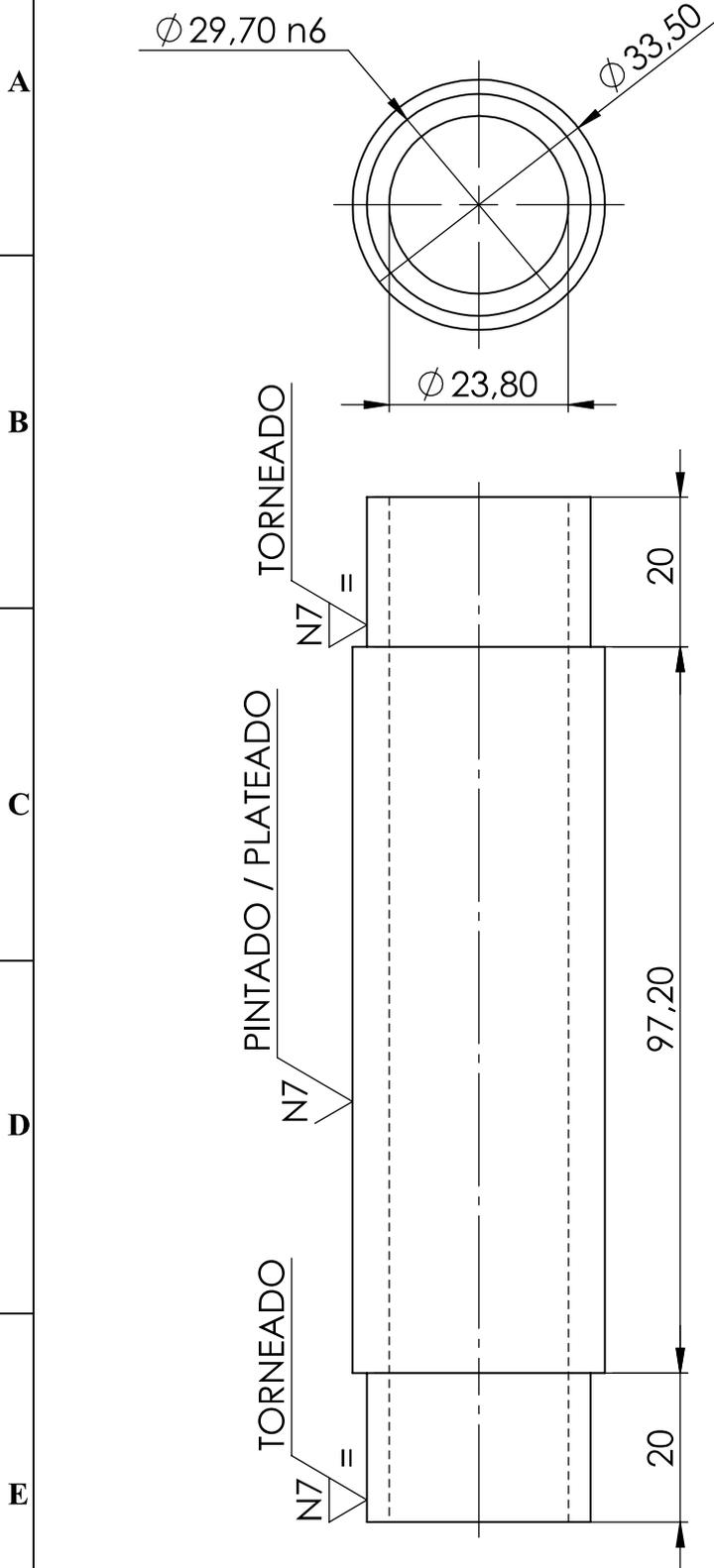


1

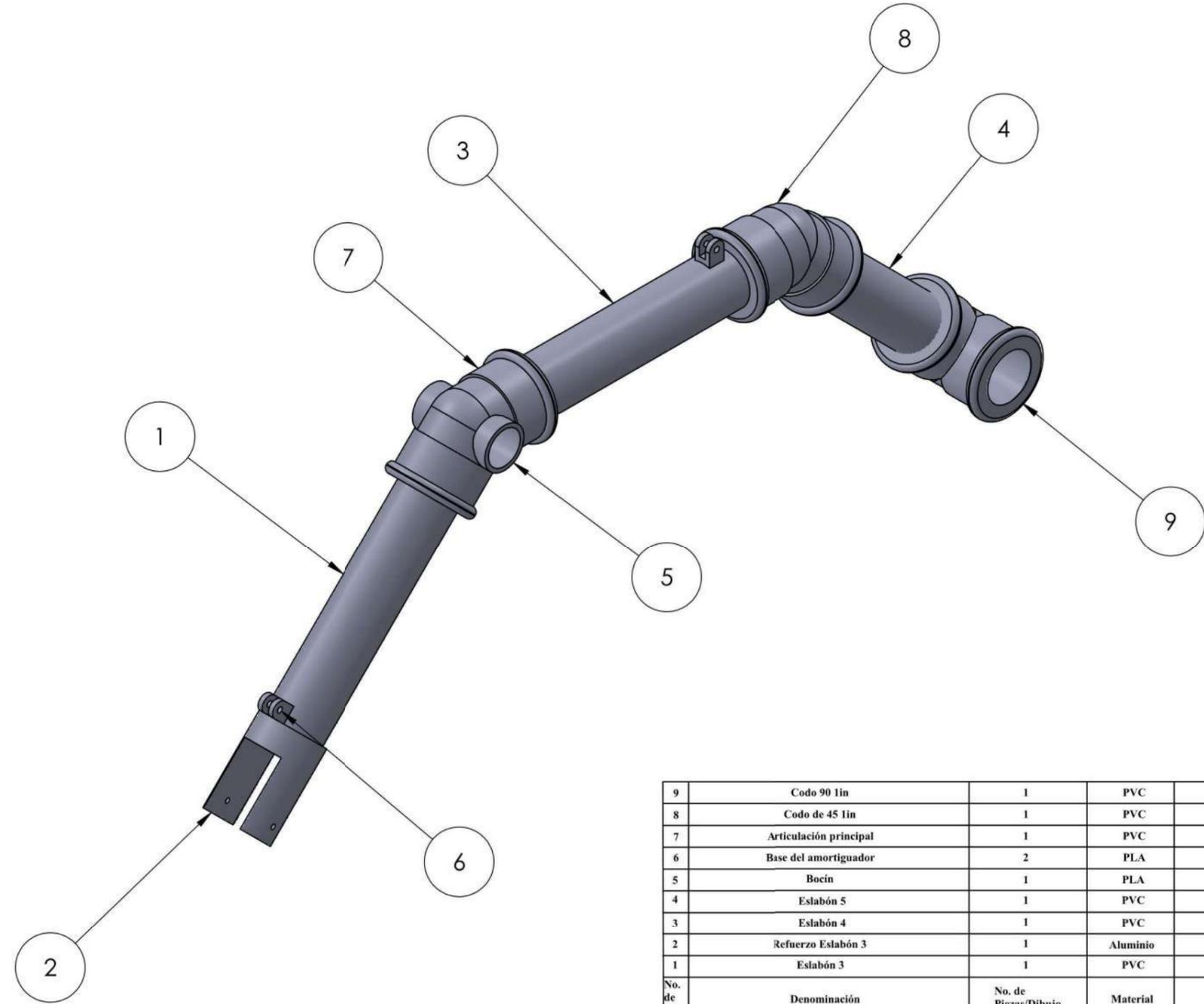
2

3

4

A4
mm

Nº. Lámina: 15 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA											
Email: Teléfonos:						ESLABÓN 1 Y 2				Denominación:		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre		Firma						Fecha		0.16		±0.1 [mm]		1:1			
Proyectó		Sr. Acosta Christopher				2020/06/02		Materiales: PVC		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY									
Dibujó		Sr. Clavón Jean Pierre				2020/06/02													
Revisó		Ing. Escobar M.				2020/07/27													
Aprobó		Ing. Vera J.				2020/07/27		Nombre de archivo: ESLB_1_2.sldprt											

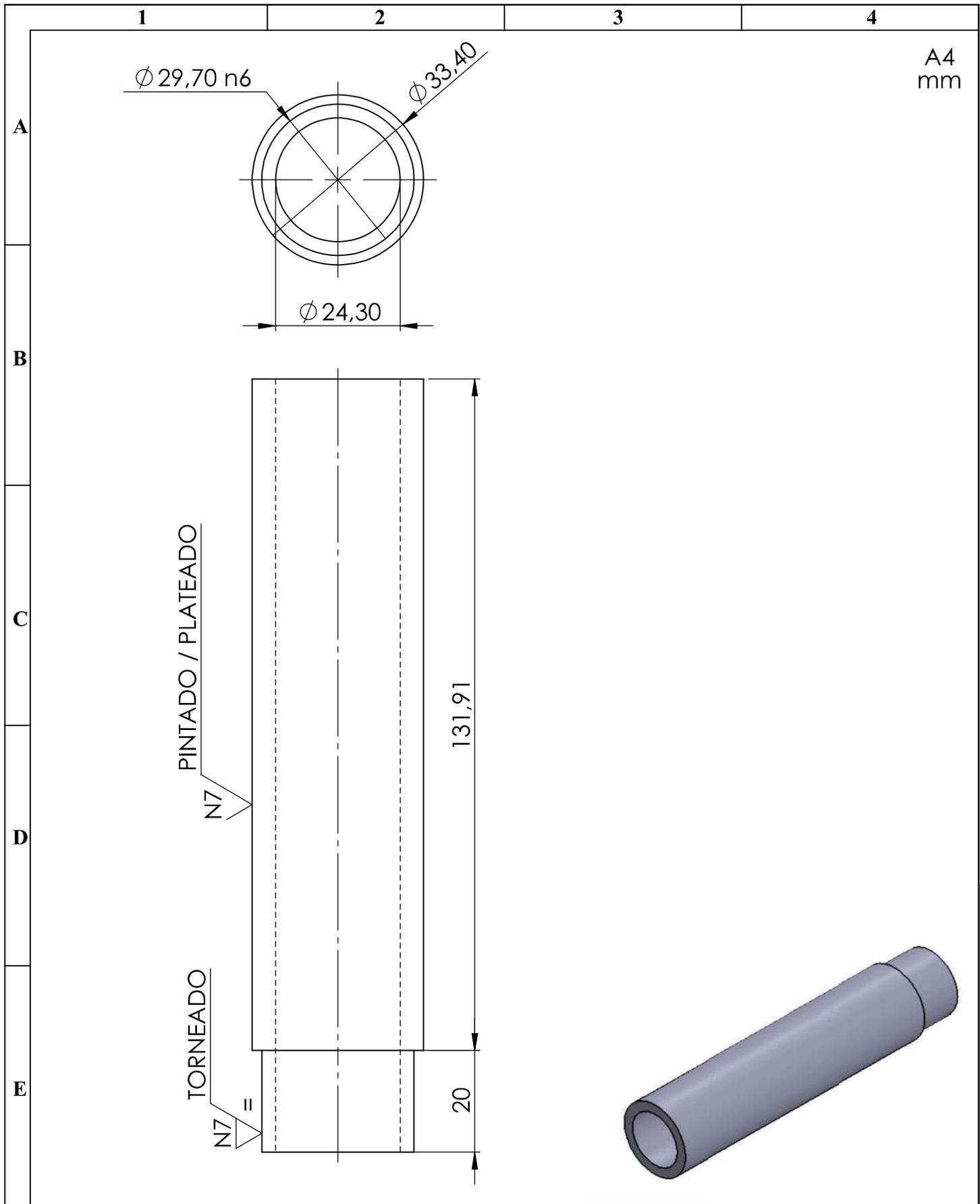


No. de pieza	Denominación	No. de Piezas/Dibujo	Material	No. del Modelo/semiproducto	Peso Kg/pz	Observaciones
9	Codo 90 1in	1	PVC		0.09	Codo 90° de 1in
8	Codo de 45 1in	1	PVC		0.09	Codo 45° de 1in
7	Articulación principal	1	PVC		0.09	Codo 45° de 1in
6	Base del amortiguador	2	PLA		0.01	
5	Bocín	1	PLA		0.02	
4	Eslabón 5	1	PVC		0.16	Tubería de 1in CW
3	Eslabón 4	1	PVC		0.18	Tubería de 1in CW
2	Refuerzo Eslabón 3	1	Aluminio		0.1	
1	Eslabón 3	1	PVC		0.16	Tubería de 1in CW

Nº. Lámina: 16 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Email: Teléfonos:				Denominación: ARTICULACIÓN TRASERA											
Datos		Nombre		Firma		Fecha		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Proyectó		Sr. Acosta Christopher				2020/06/02		0.9		±0.1 [mm]		1:2.5			
Dibujó		Sr. Clavón Jean Pierre				2020/06/02									
Revisó		Ing. Escobar M.				2020/07/27									
Aprobó		Ing. Vera J.				2020/07/27		Materiales: SEGÚN DISEÑO							
								Nombre de archivo: SUB_TRASERO.sldasm							

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY





A4 mm

Nº. Lámina: 17 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Email: Teléfonos:						Denominación: ESLABÓN 3						Peso [Kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		0.16		±0.1 [mm]		1:1			
Proyectó		Sr. Acosta Christopher				2020/06/02		Materiales: PVC		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Dibujó		Sr. Clavón Jean Pierre				2020/06/02									
Revisó		Ing. Escobar M.				2020/07/27									
Aprobó		Ing. Vera J.				2020/07/27		Nombre de archivo: ESLB_3.sldprt							

1

2

3

4

A4
mm

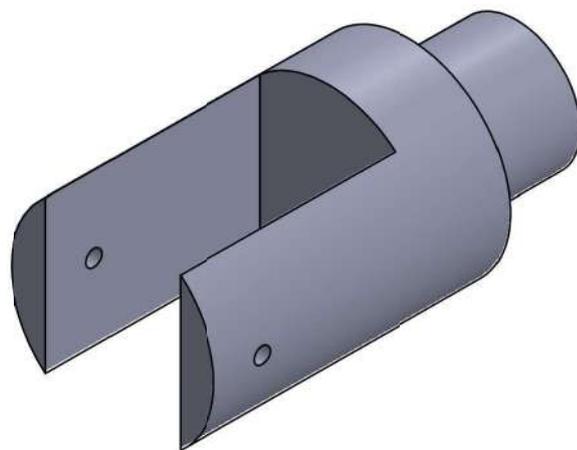
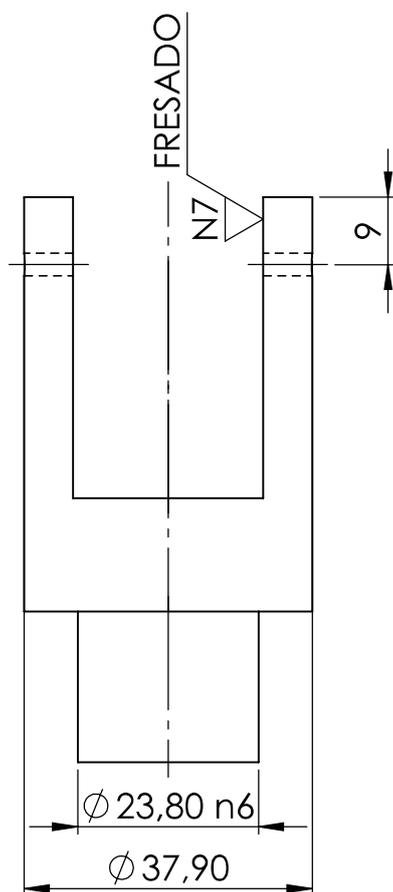
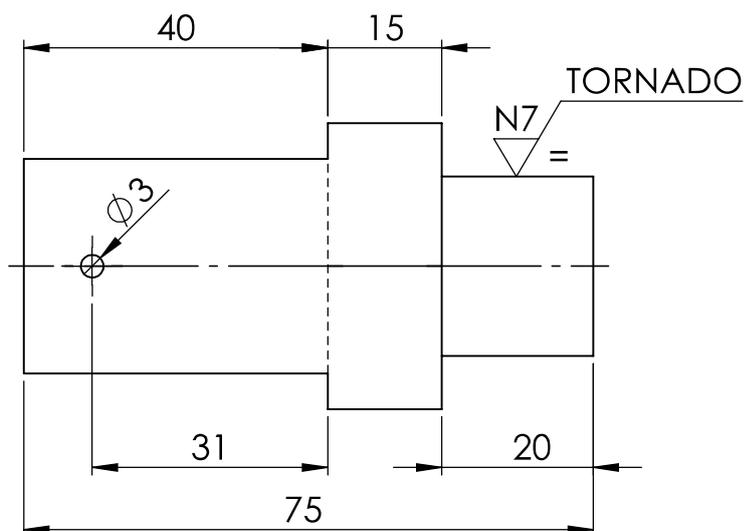
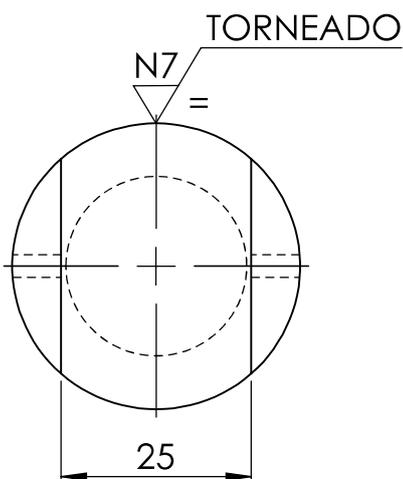
A

B

C

D

E



Nº. Lámina: 18 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Email: Teléfonos:						Denominación: REFUERZO ESLABÓN 3						Peso [Kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		0.1		±0.1 [mm]		1:1			
Proyectó		Sr. Acosta Christopher				2020/06/02		Materiales: ALUMINIO		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Dibujó		Sr. Clavón Jean Pierre				2020/06/02									
Revisó		Ing. Escobar M.				2020/07/27		Nombre de archivo: REFUERZO ESLB 3.sldprt							
Aprobó		Ing. Vera J.				2020/07/27									

1

2

3

4

A4
mm

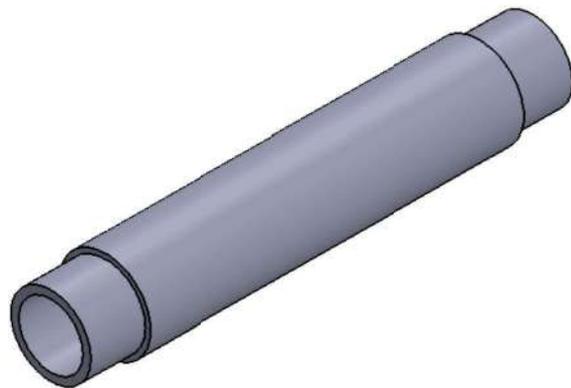
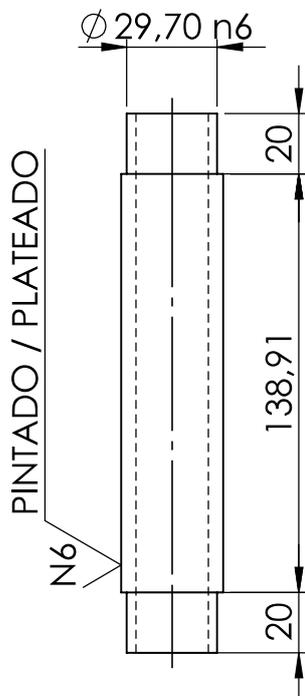
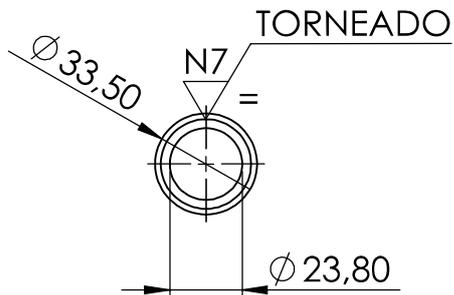
A

B

C

D

E



Nº. Lámina: 19 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfonos:						Denominación: ESLABÓN 4					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: PVC		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Proyectó	Sr. Acosta Christopher		2020/06/02								
Dibujó	Sr. Clavón Jean Pierre		2020/06/02								
Revisó	Ing. Escobar M.		2020/07/27	Nombre de archivo: ESLB_4.sldprt							
Aprobó	Ing. Vera J.		2020/07/27								

1

2

3

4

A4
mm

A

 $\phi 29,70$ n6 $\phi 33,50$

B

 $\phi 23,80$

C

TORNEADO

N7

20

D

PINTADO / PLATEADO

N7

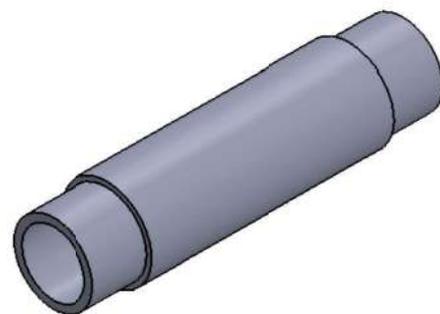
89,77

E

TORNEADO

N7

20



Nº. Lámina: 20 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfonos:						Denominación: ESLABÓN 5					
Datos	Nombre	Firma	Fecha					0.16	±0.1 [mm]	1:1	
Proyectó	Sr. Acosta Christopher		2020/06/02								
Dibujó	Sr. Clavón Jean Pierre		2020/06/02								
Revisó	Ing. Escobar M.		2020/07/27			Materiales: PVC		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Aprobó	Ing. Vera J.		2020/07/27	JOHN GERMAN VERA LUZURRAGA		Nombre de archivo: ESLB_5.sldprt					

1

2

3

4

IMPRESO 3D

A4
mm

N9



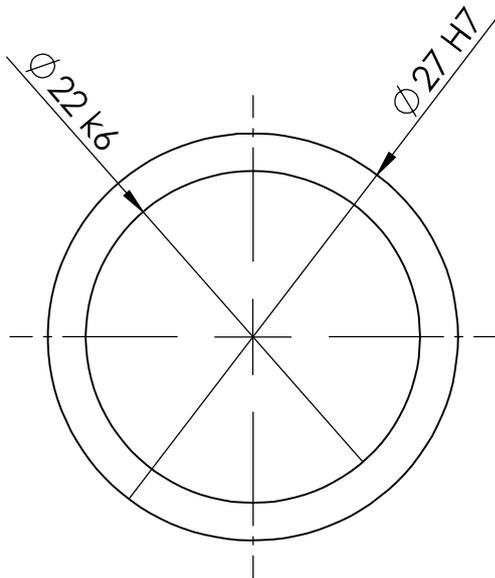
A

B

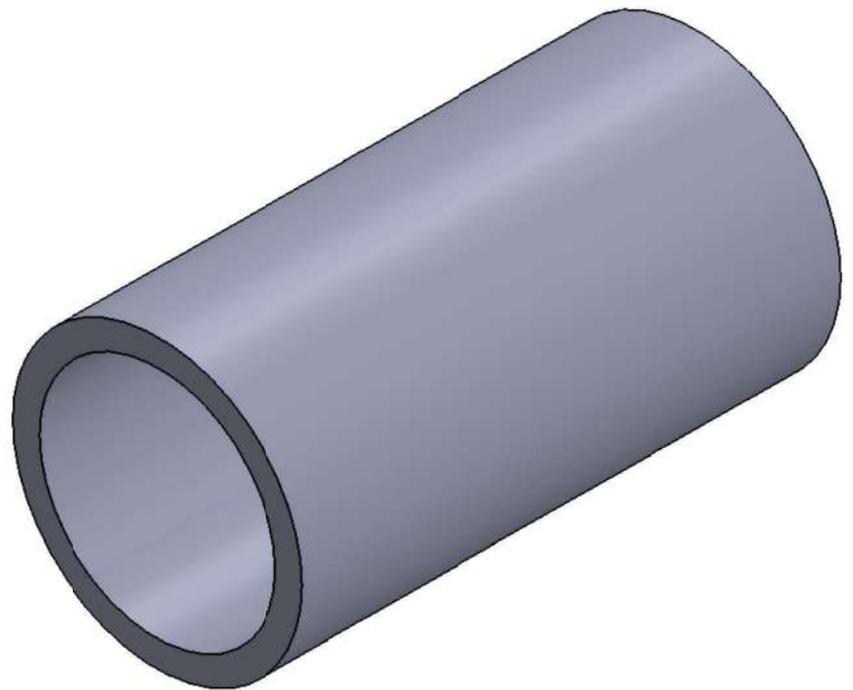
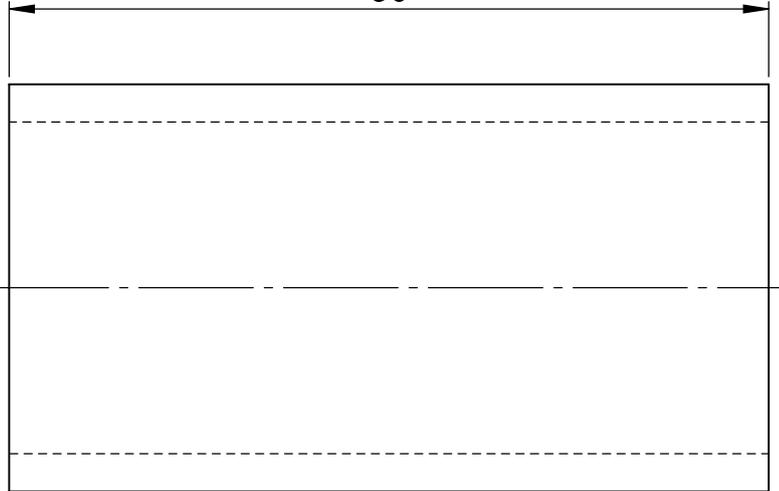
C

D

E



50



Nº. Lámina: 21 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
Email: Teléfonos:				Denominación:									
Datos		Nombre		Firma		Fecha		BOCÍN		Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Proyectó		Sr. Acosta Christopher				2020/06/02				0.02	±0.1 [mm]	2:1	
Dibujó		Sr. Clavón Jean Pierre				2020/06/02		Materiales: PLA		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Revisó		Ing. Escobar M.				2020/07/27							
Aprobó		Ing. Vera J.		 <small>JOHN GERMAN VERA LUZURIGA</small>		2020/07/27		Nombre de archivo: BOCIN LATERALES.sldprt					

IMPRESO 3D
N9

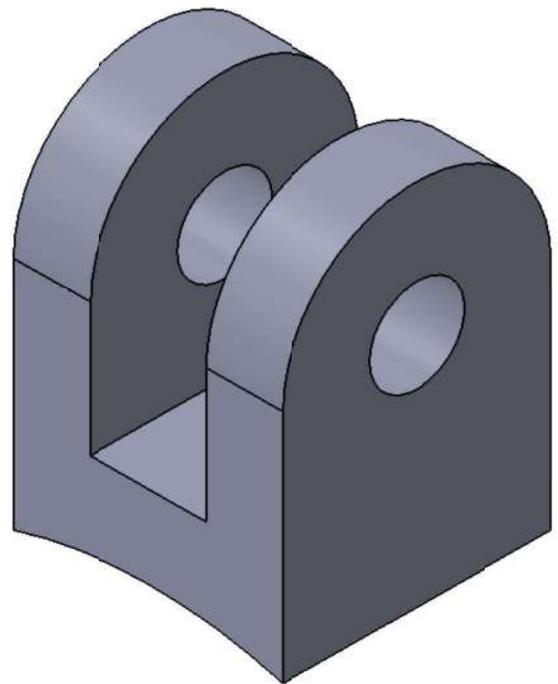
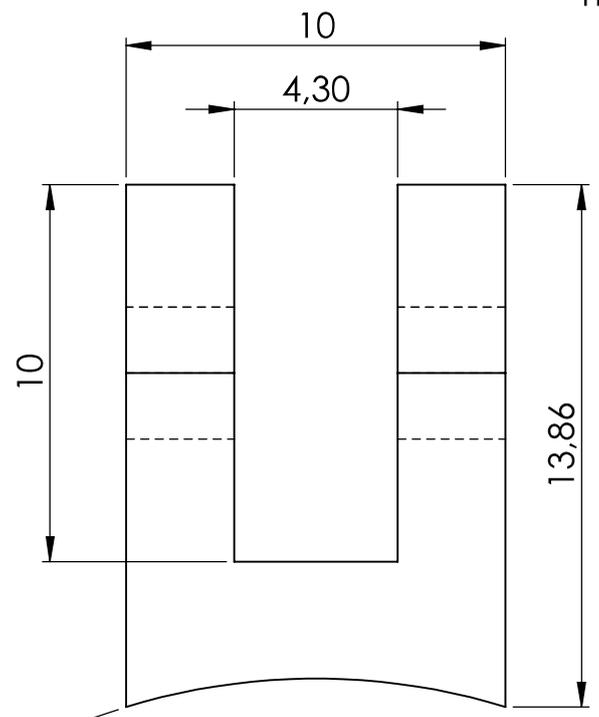
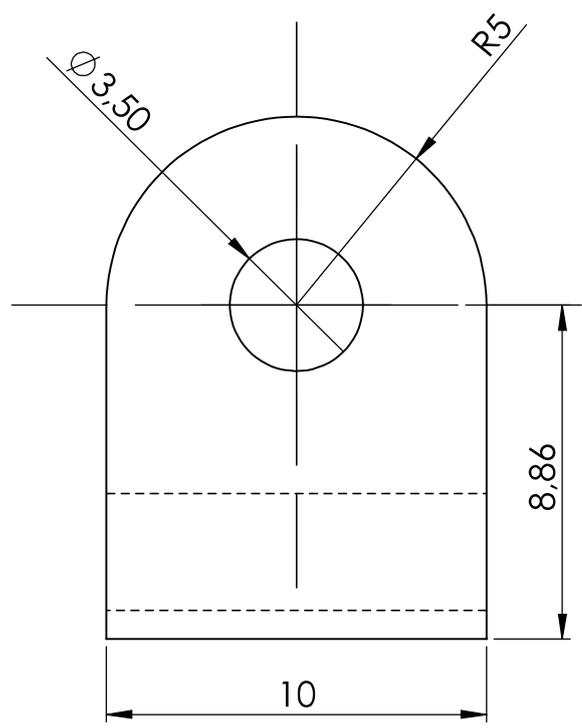
A

B

C

D

E



R16.90

Nº. Lámina: 22 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Email: Teléfonos:				Denominación: BASE AMORTIGUADOR								Peso [Kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		0.01		±0.1 [mm]		5:1			
Proyectó		Sr. Acosta Christopher				2020/06/02		Materiales: PLA		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Dibujó		Sr. Clavón Jean Pierre				2020/06/02									
Revisó		Ing. Escobar M.				2020/07/27		Nombre de archivo: para tubería trasera.sldprt							
Aprobó		Ing. Vera J.				2020/07/27									

1

2

3

4

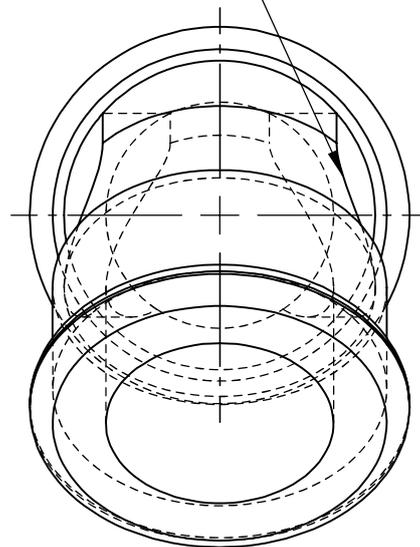
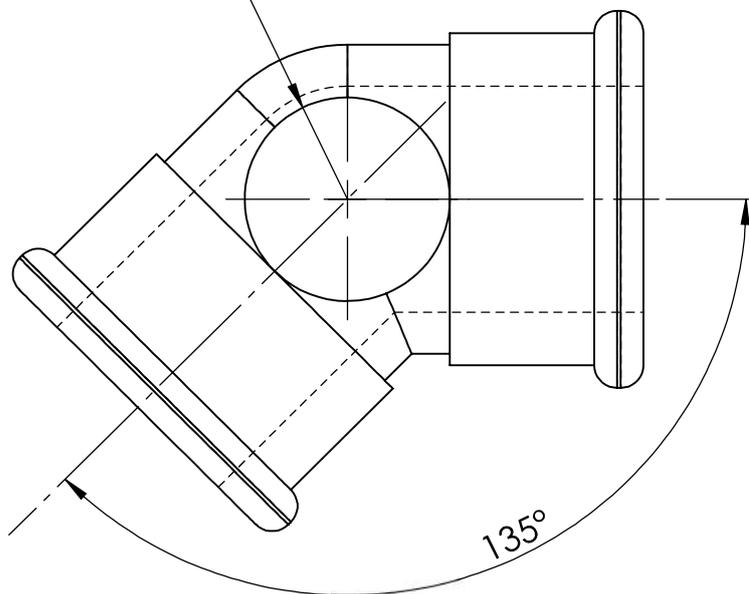
A4
mm

A

R13,50 H7

PERFORADO POR TODO

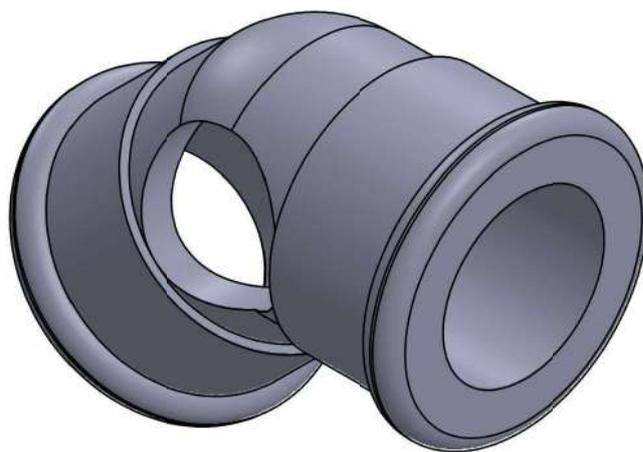
B



C

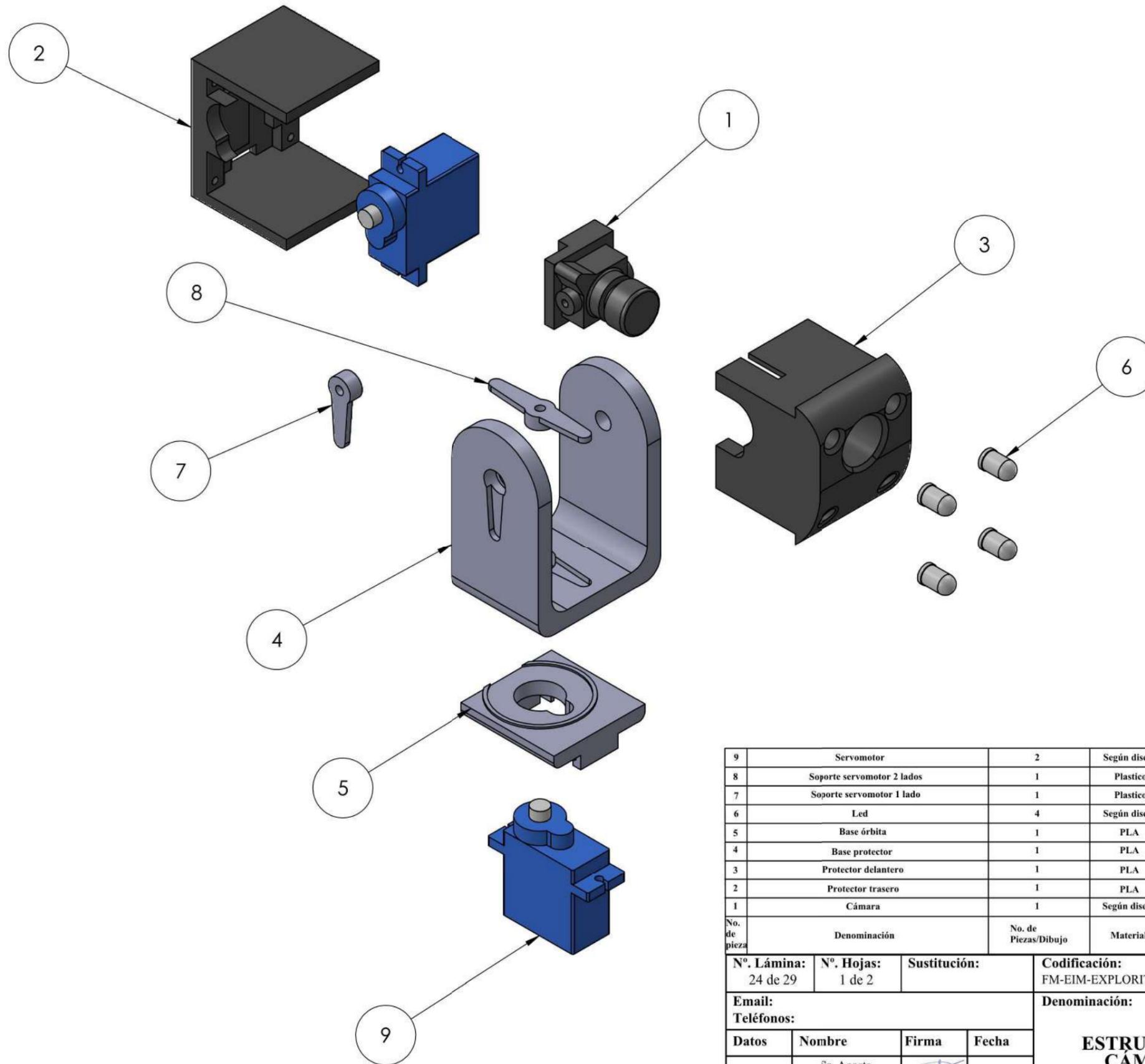
D

E



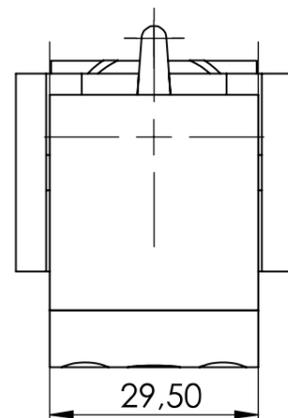
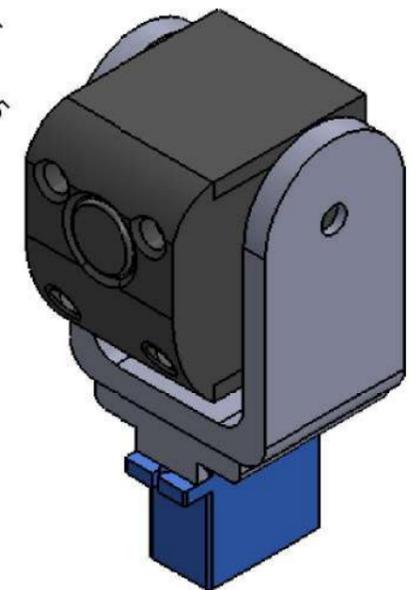
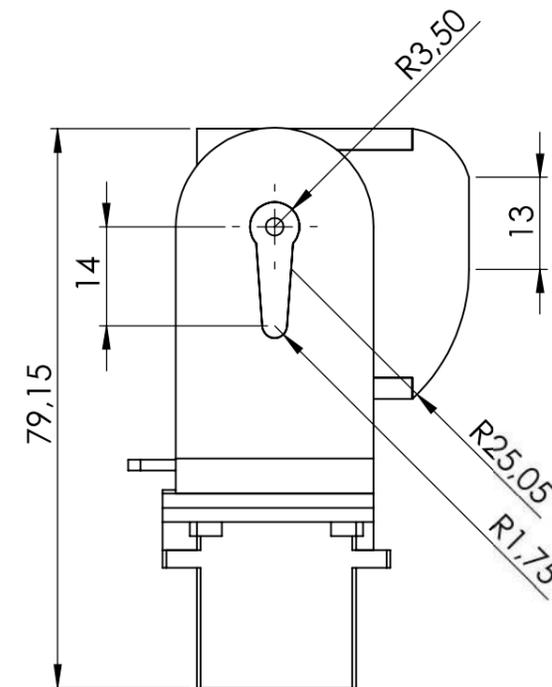
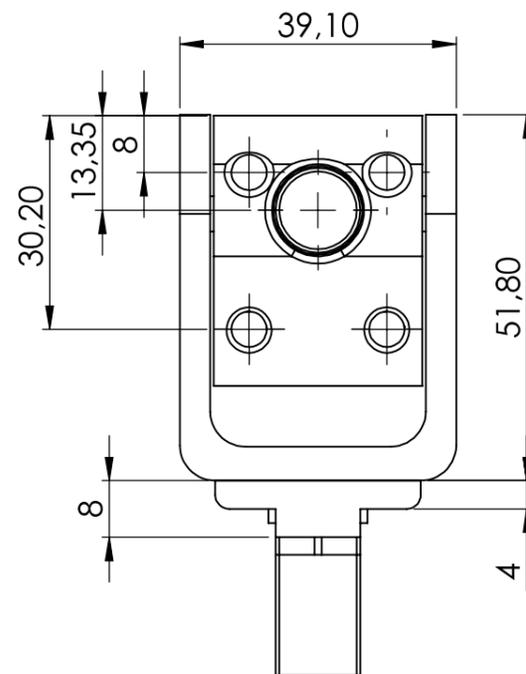
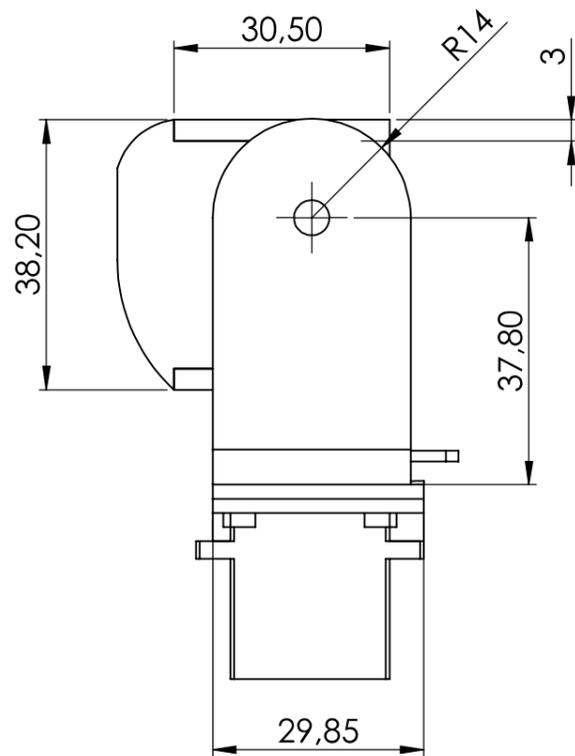
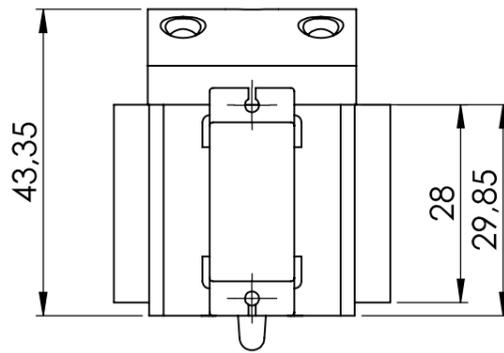
Nº. Lámina: 23 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfonos:				Denominación: ARTICULACIÓN PRINCIPAL							
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: PVC				0.09	±0.1 [mm]	1:1	
Proyectó	Sr. Acosta Christopher		2020/06/02								
Dibujó	Sr. Clavón Jean Pierre		2020/06/02								
Revisó	Ing. Escobar M.		2020/07/27								
Aprobó	Ing. Vera J.		2020/07/27	Nombre de archivo: CODO 135 PERFORADO.sldprt				ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			





No. de pieza	Denominación	No. de Piezas/Dibujo	Material	No. del Modelo/semiproducto	Peso Kg/pz	Observaciones
9	Servomotor	2	Según diseño		0.01	Microservo 9g
8	Soporte servomotor 2 lados	1	Plastico		0.001	
7	Soporte servomotor 1 lado	1	Plastico		0.001	
6	Led	4	Según diseño		0.001	Led blanco HB
5	Base órbita	1	PLA		0.03	
4	Base protector	1	PLA		0.03	
3	Protector delantero	1	PLA		0.04	
2	Protector trasero	1	PLA		0.04	
1	Cámara	1	Según diseño		0.006	Foxeer Predator V3

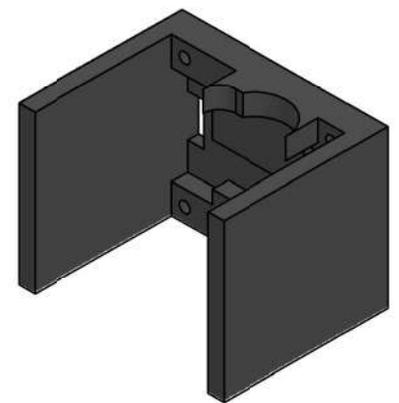
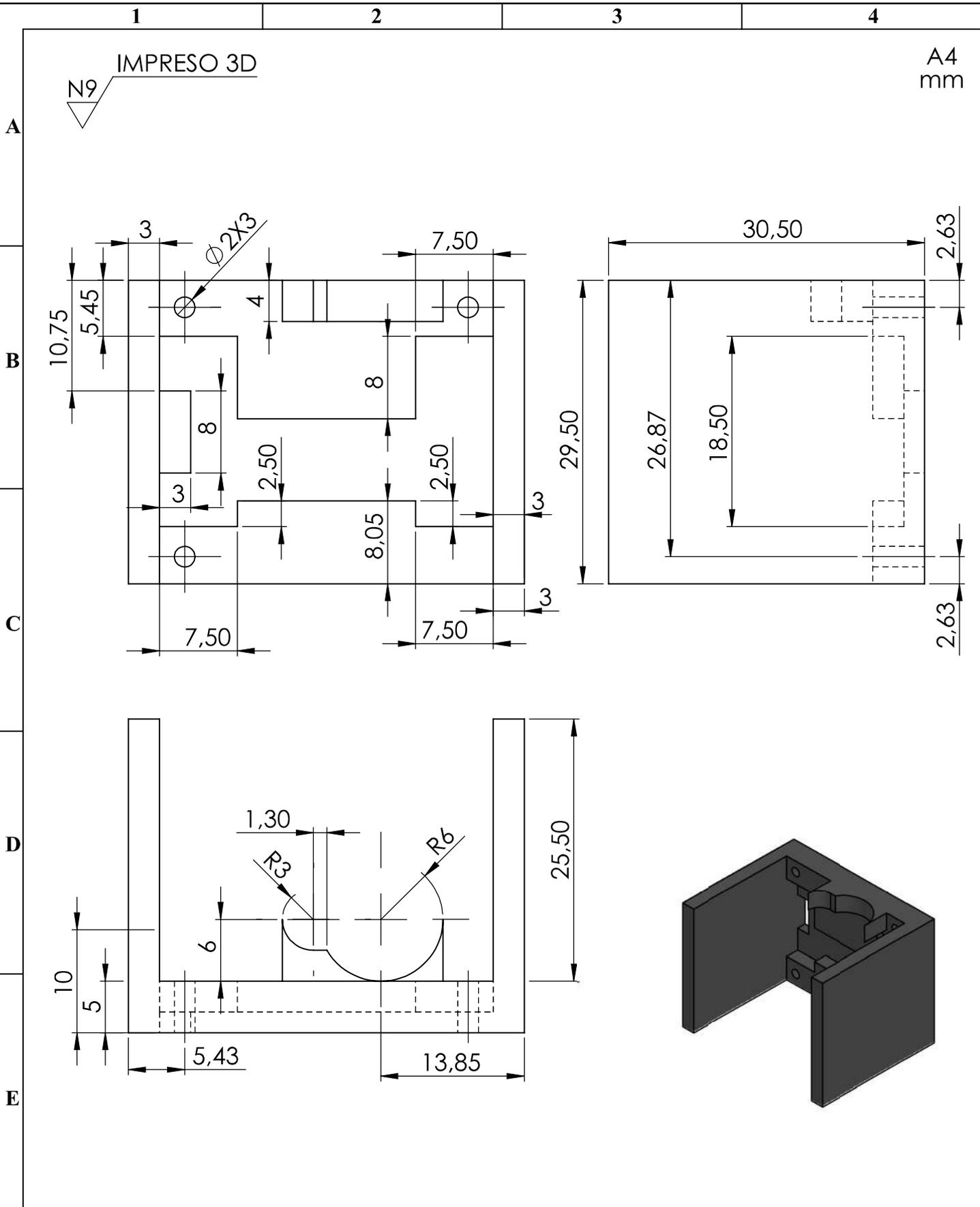
Nº. Lámina: 24 de 29		Nº. Hojas: 1 de 2		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfonos:				Denominación: ESTRUCTURA CÁMARA							
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: SEGÚN EL DISEÑO Nombre de archivo: ARMAZON CAMARA.sldasm				ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Proyectó	Sr. Acosta Christopher		2020/06/02								
Dibujó	Sr. Clavón Jean Pierre		2020/06/02								
Revisó	Ing. Escobar M.		2020/07/27								
Aprobó	Ing. Vera J.		2020/07/27	JOHN GERMAN VERA LUZURRAGA							



Nº. Lámina: 24 de 29		Nº. Hojas: 2 de 2		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfonos:				Denominación: ESTRUCTURA CÁMARA							
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: SEGUN EL DISEÑO Nombre de archivo: ARMAZON CAMARA.sldasm				0.2	±0.1 [mm]	1:1	
Proyectó	Sr. Acosta Christopher		2020/06/02								
Dibujó	Sr. Clavón Jean Pierre		2020/06/02								
Revisó	Ing. Escobar M.		2020/07/27								
Aprobó	Ing. Vera J.		2020/07/27	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY							

IMPRESO 3D

A4
mm



Nº. Lámina: 25 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfonos:						Denominación: PROTECTOR TRASERO					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: PLA		Nombre de archivo: PROTECTOR CAMARA 2.sldprt		0.04	±0.1 [mm]	2:1	
Proyectó	Sr. Acosta Christopher		2020/06/02								
Dibujó	Sr. Clavón Jean Pierre		2020/06/02								
Revisó	Ing. Escobar M.		2020/07/27								
Aprobó	Ing. Vera J.	 JOHN GERMAN VERA LUZURIGA	2020/07/27					ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			



1

2

3

4

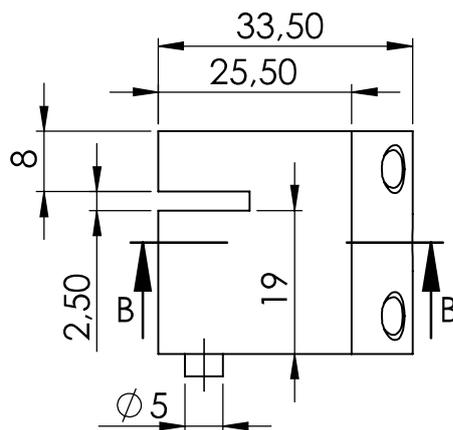
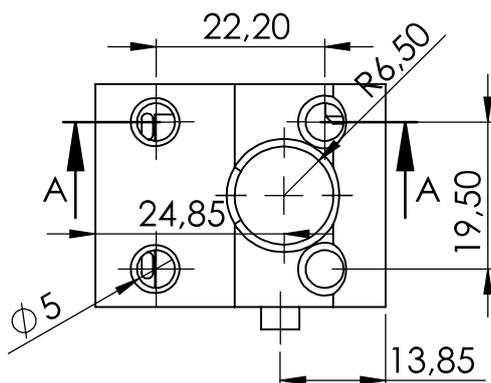
A4
mm

IMPRESO 3D



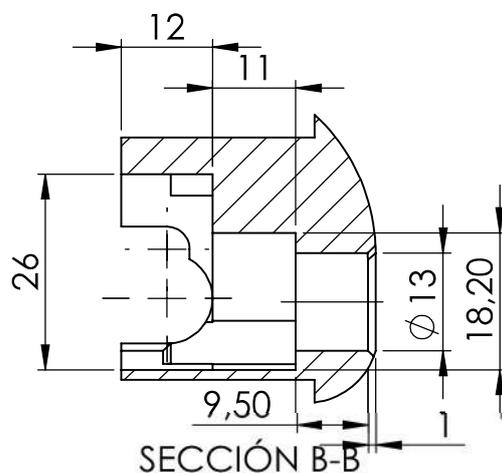
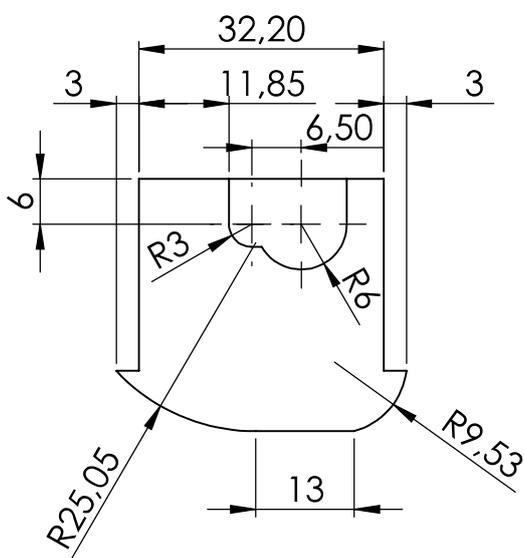
A

B

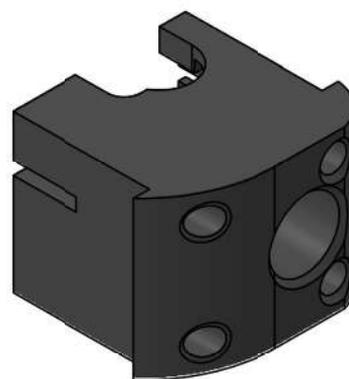
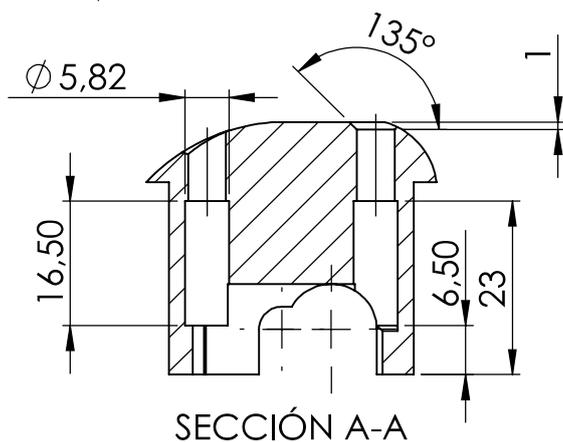


C

D



E



Nº. Lámina: 26 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA									
Email: Teléfonos:						Denominación: PROTECTOR DELANTERO						Peso [Kg]		Tolerancia		Escala	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		Materiales: PLA		0.04		±0.1 [mm]		1:1			
Proyectó		Sr. Acosta Christopher				2020/06/02											
Dibujó		Sr. Clavón Jean Pierre				2020/06/02											
Revisó		Ing. Escobar M.				2020/07/27											
Aprobó		Ing. Vera J.				2020/07/27		Nombre de archivo: PROTECTOR CAMARA1.sldprt		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY							



1

2

3

4

IMPRESO 3D

N9

A4
mm

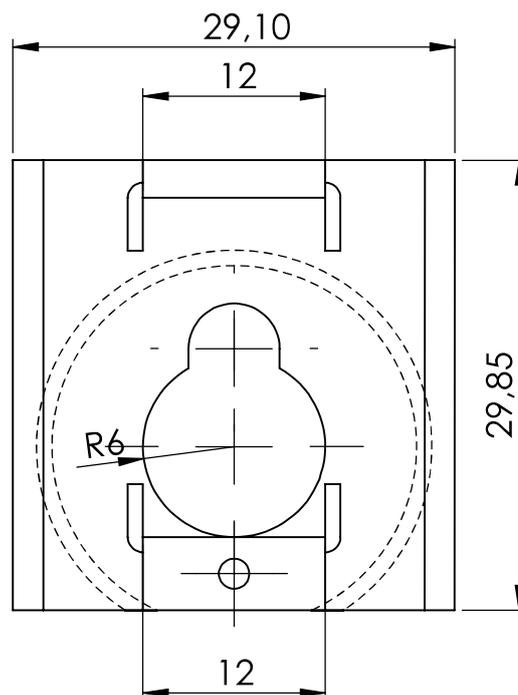
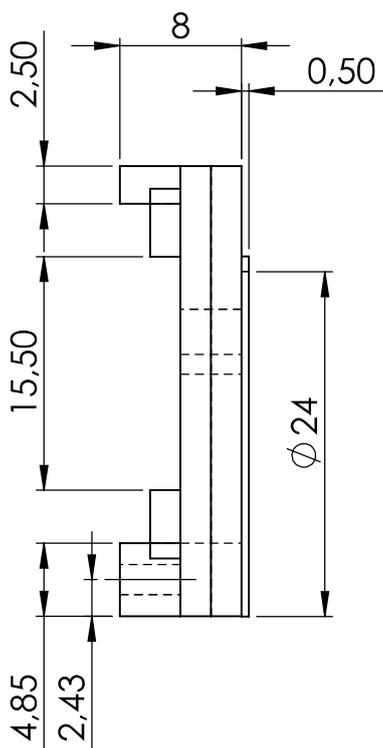
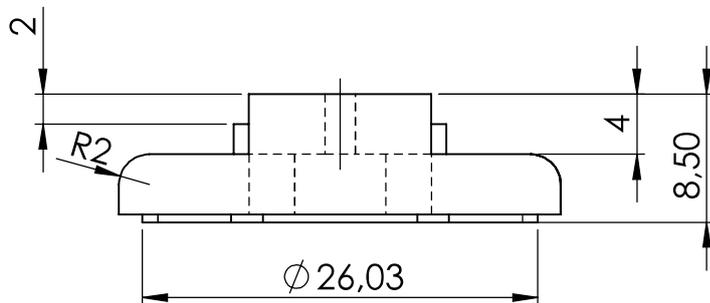
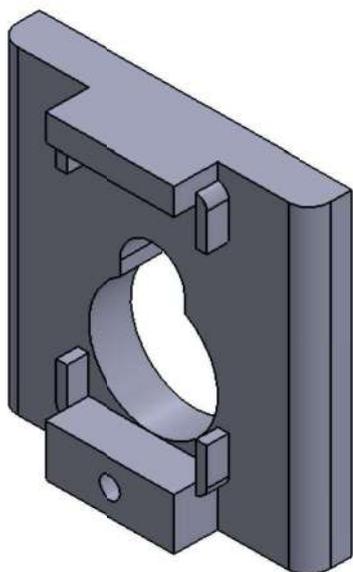
A

B

C

D

E



Nº. Lámina: 27 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Email: Teléfonos:						Denominación: BASE ÓRBITA						Peso [Kg]		Tolerancia	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		0.03		±0.1 [mm]		2:1			
Proyectó		Sr. Acosta Christopher				2020/06/02		Materiales: PLA		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Dibujó		Sr. Clavón Jean Pierre				2020/06/02									
Revisó		Ing. Escobar M.				2020/07/27									
Aprobó		Ing. Vera J.				2020/07/27		Nombre de archivo: BASE SERVO ORBITA.sldprt							

1

2

3

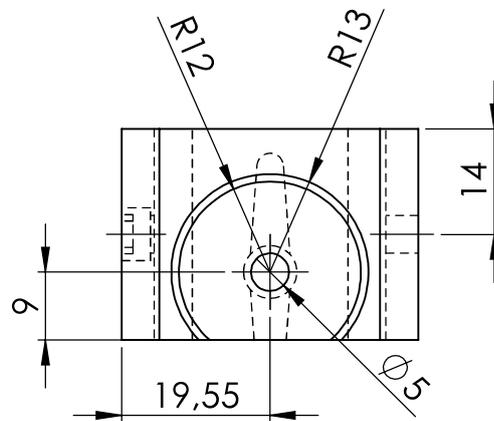
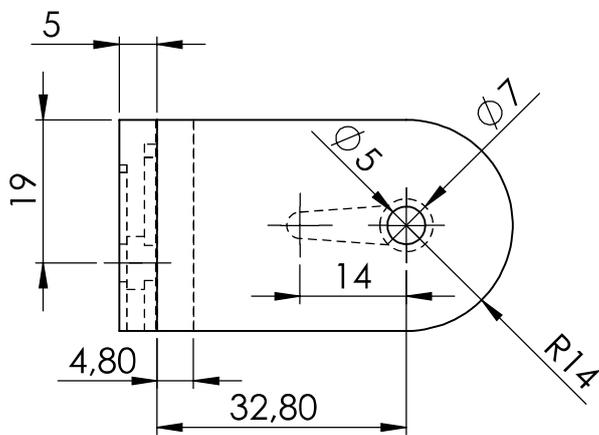
4

A4 mm

N9 IMPRESO 3D

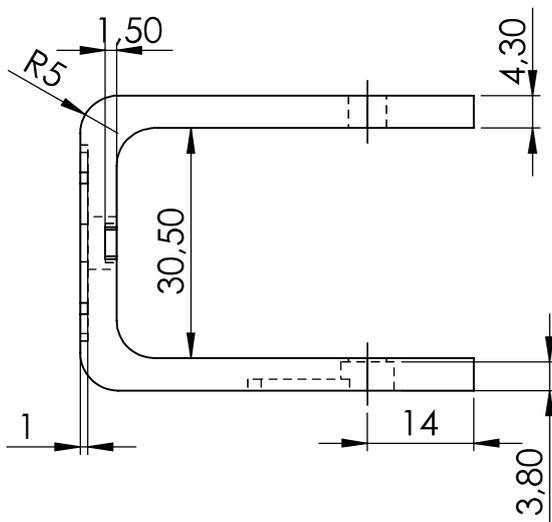
A

B

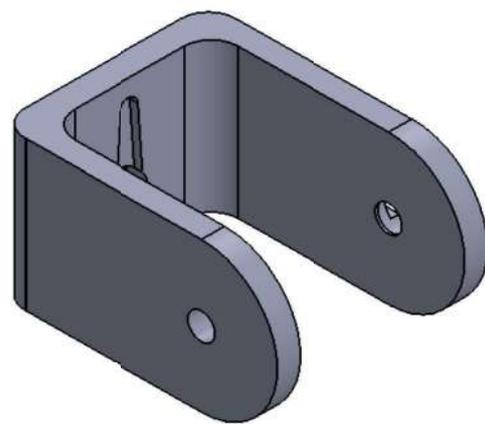


C

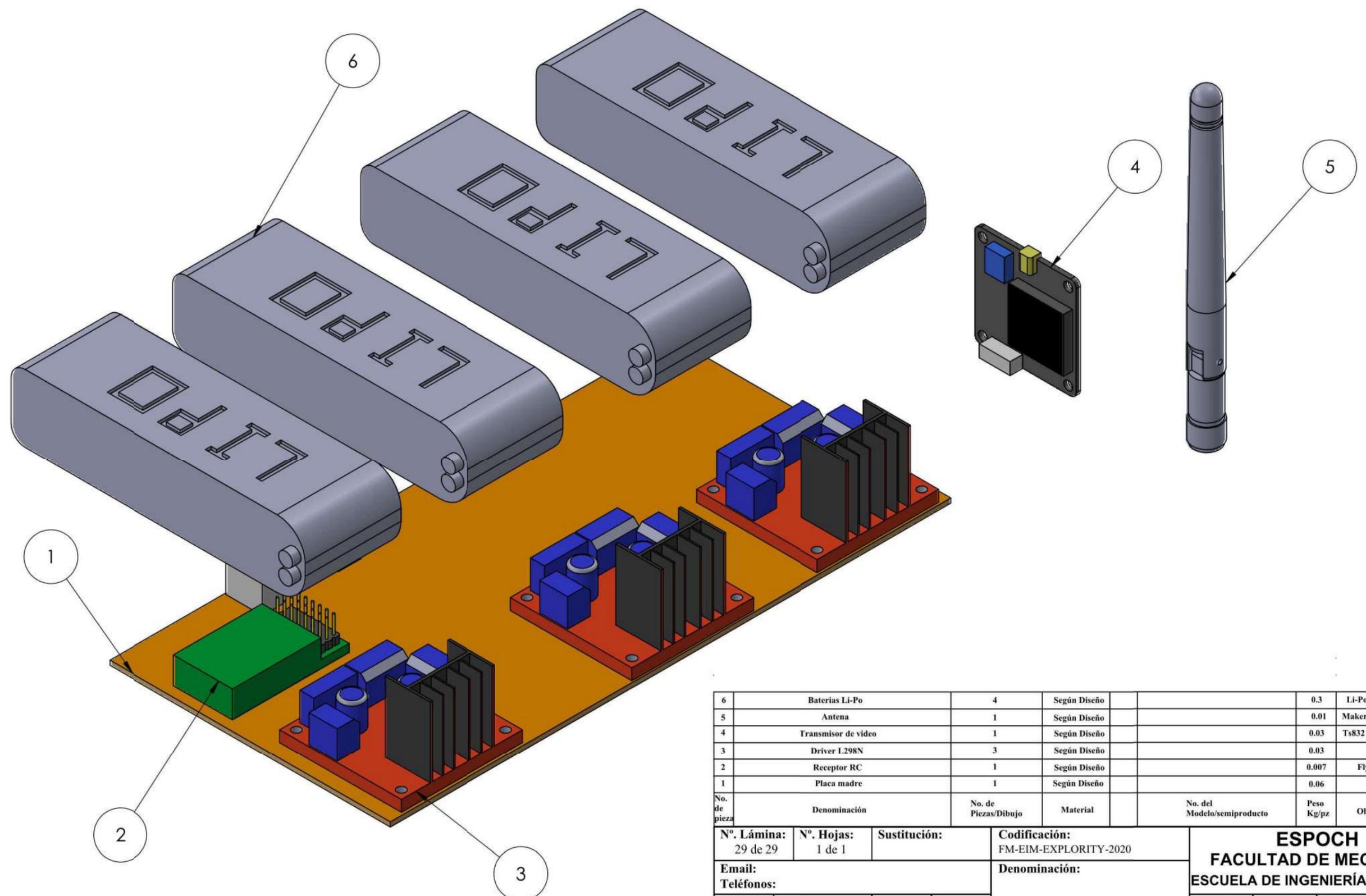
D



E



Nº. Lámina: 28 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA											
Email: Teléfonos:						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		BASE PROTECTOR				0.03		±0.1 [mm]		1:1			
Proyectó		Sr. Acosta Christopher				2020/06/02						Materiales:		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Dibujó		Sr. Clavón Jean Pierre				2020/06/02						PLA							
Revisó		Ing. Escobar M.				2020/07/27						Nombre de archivo: BASE ORBITA.sldprt							
Aprobó		Ing. Vera J.		 <small>JOHN GERMAN VERA LUZURRAGA</small>		2020/07/27													



No. de pieza	Denominación	No. de Piezas/Dibujo	Material	No. del Modelo/semiproducto	Peso Kg/pz	Observaciones
6	Baterías Li-Po	4	Según Diseño		0.3	Li-Po 3s 2200 mAh
5	Antena	1	Según Diseño		0.01	Makerfire polarizada
4	Transmisor de vídeo	1	Según Diseño		0.03	Ts832 5.8 GHz 32CH
3	Driver L298N	3	Según Diseño		0.03	L298N
2	Receptor RC	1	Según Diseño		0.007	Flysky FS-IA6
1	Placa madre	1	Según Diseño		0.06	

Nº. Lámina: 29 de 29		Nº. Hojas: 1 de 1		Sustitución:		Codificación: FM-EIM-EXPLORITY-2020		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Email: Teléfonos:				Denominación: SISTEMA ELECTRONICO							
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: SEGÚN DISEÑO Nombre de archivo: ELECTRONICA.sldasm				Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Proyectó	Sr. Acosta Christopher		2020/06/02					1.3	±0.1 [mm]	1:5	
Dibujó	Sr. Clavón Jean Pierre		2020/06/02					ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESPOCH-FM-EIM. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY.			
Revisó	Ing. Escobar M.		2020/07/27								
Aprobó	Ing. Vera J.		2020/07/27								



Quito – Ecuador

NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA

NTE INEN 2497
Primera revisión

**TUBERÍA PLÁSTICA. TUBOS DE PVC RÍGIDO UNIÓN POR ROSCA,
PARA CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE A PRESIÓN. CÉDULA 80.
REQUISITOS**

PLASTIC PIPES. RIGID PVC PIPES THREADED CONNECTIONS FOR CONDUCTING POTABLE
WATER UNDER PRESSURE. SCHEDULE 80. REQUIREMENTS

Norma Técnica Ecuatoriana	TUBERÍA PLÁSTICA. TUBOS DE PVC RÍGIDO UNIÓN POR ROSCA, PARA CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE A PRESIÓN. CÉDULA 80. REQUISITOS.	NTE INEN 2497:2015 Primera revisión
--	---	--

1. OBJETO

Esta norma establece los requisitos para los tubos de PVC rígido, en cédula 80, producidos por extrusión para ser utilizados en el transporte de agua potable a presión.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma se aplica a tubos de PVC rígido, unión por rosca, que serán utilizados en transporte de agua potable a presión hasta temperaturas de 45 °C.

Esta norma se aplica a tubos a ser utilizados en instalaciones empotradas y aislados de la luz solar.

3. REFERENCIAS NORMATIVAS

Los siguientes documentos, en su totalidad o en parte, son referidos y son indispensables para su aplicación. Para referencias fechadas, solamente aplica la edición citada. Para referencias sin fecha, aplica la última edición del documento de referencia (incluyendo cualquier enmienda).

NTE INEN 1333 *Tubería plástica. tubería de cloruro de polivinilo. Terminología*

NTE INEN 503 *Tubería plástica. Determinación de la resistencia a la presión hidrostática interior sostenida*

NTE INEN 504 *Tubería plástica. Determinación de la resistencia al impacto*

NTE INEN 507 *Tubería plástica. Determinación de la fusión adecuada en tubería extruida y accesorios moldeados de Poli (Cloruro de Vinilo) (PVC) Por inmersión en acetona.*

NTE INEN 499 *Tubería plástica. Determinación de las dimensiones*

NTE INEN 1372 *Tubos y accesorios plásticos para conducir agua potable. Requisitos bromatológicos y organolépticos*

NTE INEN 117 *Roscas ASA (American Standards Association) para tuberías y accesorios. especificaciones*

NTE INEN-ISO 2859-1 *Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 1. Programas de muestreo clasificados por el nivel aceptable de calidad (AQL) para inspección lote a lote*

NTE INEN-ISO 2507-1 *Tuberías y accesorios termoplásticos. Temperatura de ablandamiento VICAT. Parte 1: Métodos de análisis*

ISO 9852 *Unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U) pipes. Dichloromethane resistance at specified temperature (DCMT). Test method*

ASTM F 412 *Standard Terminology Relating to Plastic Piping Systems*

ASTM D 1785 *Standard Specification for Poly(Vinyl Chloride) (PVC) Plastic Pipe, Schedules 40, 80, and 120*

4. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 1333 y las que a continuación se detallan:

4.1 Cédula. Clasificación de tubos originada por la industria de tuberías de hierro y adoptada para tubos de PVC.

NOTA Esta clasificación está definida en la norma ASTM F412 y es utilizada en la norma ASTM D1785 para tubos de PVC, la que establece los requisitos para las cédulas 40, 80 y 120. Los números 40, 80 y 120 son números preferidos originados en las normas ANSI para tubos de hierro.

4.2 Ecuación de esfuerzo. Ecuación que establece la relación entre esfuerzo, presión nominal y dimensiones del tubo.

$$\sigma_s = (PN / 2e) (DE - e)$$

donde

σ_s es el esfuerzo hidrostático de diseño en MPa

PN es la presión nominal en MPa

DE es el diámetro externo promedio en mm

e es el espesor mínimo de pared en mm

5. REQUISITOS

5.1 Material

5.1.1 Composición

El material de los tubos debe componerse substancialmente de cloruro de polivinilo al cual se pueden añadir aquellos aditivos necesarios para facilitar el procesamiento de este polímero, y la producción de tubos inocuos, durables, con buen terminado, en su superficie, con buena resistencia mecánica y opacidad, capaz de cumplir los requisitos de esta norma.

5.1.2 Material recuperado

El fabricante podrá usar su propio material recuperado limpio, siempre y cuando este provenga de su proceso de extrusión de tubos de PVC y que el producto final cumpla con todos los requerimientos de esta norma.

5.1.3 Utilización de aditivos

Ningún aditivo deberá utilizarse, individualmente o como conjunto, en cantidad suficiente para producir tóxicos peligrosos, daño en las propiedades químicas y físicas del producto, no deben propiciar el crecimiento microbiano ni dar lugar a olores o sabores extraños, turbiedad y color.

5.2 Presentación

Los tubos podrán suministrarse con sus extremos lisos o roscados.

5.3 Requisitos del roscado

El tipo de rosca será a elección del usuario.

NOTA Para la selección del tipo de rosca podrá considerarse lo establecido en la NTE INEN 117.

5.4 Aspecto visual

5.4.1 Homogeneidad

Los tubos deben ser homogéneos a través de su pared y uniformes en color, opacidad y densidad.

5.4.2 Aspecto superficial

La superficie interna y externa del tubo, a simple vista, debe ser uniforme y estar exenta de grietas, fisuras, perforaciones, rugosidades, protuberancias o incrustaciones de material extraño.

5.4.3 Color

Los tubos deben ser de color gris. El tono será a elección del fabricante.

5.5 Bromatológicos y organolépticos

Los tubos de PVC para su uso en el transporte de agua potable deben cumplir con los requisitos de la NTE INEN 1372, además de los establecidos en esta norma.

5.6 Dimensiones y tolerancias

5.6.1 Diámetro

Las dimensiones del diámetro externo promedio, las tolerancias y el máximo ovalamiento, medidas de acuerdo con la NTE INEN 499, deben ser los establecidos en la tabla 1. El ovalamiento máximo aplicará a los tubos, previo al roscado y al transporte.

TABLA 1. Diámetro nominal externo, tolerancias y ovalamiento para tubos de PVC cédula 80.

Diámetro nominal externo del tubo DNE ^a (mm)	Tolerancias de diámetro externo (mm)	Ovalamiento máximo (mm) (diámetro máximo menos diámetro mínimo)	Denominación de la rosca
21,34	± 0,1	0,41	1/2
26,67	± 0,1	0,51	3/4
33,4	± 0,13	0,51	1
42,16	± 0,13	0,61	1 1/4
48,26	± 0,15	0,61	1 1/2
60,32	± 0,15	0,61	2
73,02	± 0,18	0,76	2 1/2
88,9	± 0,2	0,76	3
114,3	± 0,23	0,76	4
141,3	± 0,25	1,52	5
168,28	± 0,28	1,78	6
219,08	± 0,38	3,81	8
^a El diámetro nominal externo DNE equivale al diámetro exterior promedio			

5.6.2 Espesor de pared

Los espesores mínimos de pared, medidos de acuerdo con la NTE INEN 499, deben ser los establecidos en la tabla 2. Los valores se obtienen aplicando la ecuación de esfuerzo dada en 4.2 con un esfuerzo hidrostático de diseño σ_s de 13,834 MPa.

5.6.3 Longitud de los tubos

La longitud estándar de los tubos de PVC será de 6 m y sus extremos podrán ser lisos o roscados. La longitud de los tubos también podrá establecerse por acuerdo entre fabricante y comprador.

TABLA 2. Espesores de pared y tolerancias para tubos de PVC, Cédula 80

Diámetro nominal externo del tubo DNE (mm)	Espesor de pared ^a mm	
	Mínimo	Tolerancia
21,34	3,73	+ 0,51
26,67	3,91	+ 0,51
33,4	4,55	+ 0,53
42,16	4,85	+ 0,58
48,26	5,08	+ 0,61
60,32	5,54	+ 0,66
73,02	7,01	+ 0,84
88,9	7,62	+ 0,91
114,3	8,56	+ 1,02
141,3	9,52	+ 1,14
168,28	10,97	+ 1,32
219,08	12,7	+ 1,52

^a El mínimo es el menor espesor de pared del tubo en cualquier sección transversal. El espesor de pared máximo permitido, en cualquier sección transversal, es el mínimo espesor de pared más la tolerancia establecida. Las tolerancias son únicamente positivas

5.7 Mecánicos

5.7.1 Presión hidrostática interior sostenida

El fabricante podrá optar por uno de los siguientes ensayos:

a) Ensayo con probeta roscada

Se utiliza una probeta con al menos una junta o unión roscada, en cualquier parte de su longitud o extremos. La rosca debe ser del tipo y del diámetro correspondiente a la del tubo.

b) Ensayo con probeta sin roscar

Se utiliza una probeta sin rosca, con extremos lisos.

En cualquiera de los casos, a) o b), la probeta no debe fallar cuando se ensaye conforme a lo establecido en la NTE INEN 503 y a las condiciones de ensayo dadas en la tabla 3, donde a cada diámetro nominal de tubo le corresponde un valor de presión nominal y un valor de presión mínima de ensayo, según el método aplicado.

Se considerará falla cualquier fisura o rotura al interior o exterior de la probeta ensayada, verificada a simple vista.

5.7.2 Resistencia al impacto

El ensayo de impacto debe realizarse como lo establece la NTE INEN 504, bajo las condiciones de la tabla 4, con un percutor tipo A.

TABLA 3. Ensayos de presión hidrostática interior sostenida. Requisitos

Tiempo de ensayo												1 h		
Temperatura de ensayo												20 °C ± 2 °C		
Esfuerzo hidrostático de diseño recomendado por el PPI ^a σ_s												14 MPa		
Esfuerzo inducido en la pared por presión hidrostática interior sostenida, σ												42 MPa		
Diámetro nominal externo del tubo DNE (mm)	21,34	26,67	33,4	42,16	48,26	60,32	73,02	88,9	114,30	141,3	168,28	219,08		
Presión nominal del tubo, MPa	2,9	2,34	2,21	1,79	1,65	1,38	1,45	1,31	1,10	0,97	0,97	0,83		
Probeta roscada														
Coeficiente de ensayo $f = \sigma/\sigma_s$												3,0		
Presión mínima de ensayo, MPa	8,7	7,02	6,63	5,37	4,95	4,14	4,35	3,93	3,3	2,91	2,91	2,49		
Probeta sin roscar														
Coeficiente de ensayo $f = 2 \sigma/\sigma_s$												6,0		
Presión mínima de ensayo, MPa	17,4	14,04	13,26	10,74	9,9	8,28	8,7	7,86	6,6	5,82	5,82	4,98		
^a PPI Plastics Pipe Institute, ASTM D 1785														

TABLA 4. Condiciones para el ensayo de impacto

Diámetro nominal externo del tubo DNE (mm)	Masa del percutor kg	Altura de caída (mm)
21,34	1,00	2 000 ± 0,1
26,67	1,10	
33,40	1,25	
42,16	1,38	
48,26	1,50	
60,32	1,75	
73,02	2,00	
88,90	2,25	
114,30	2,75	
141,30	3,25	
168,28	3,75	
219,0	4,00	

NOTA Se puede utilizar diferentes masas de percutor y alturas de caída siempre y cuando la energía de impacto sea equivalente

5.7.3 Resistencia al aplastamiento

No deben existir evidencias de corte, agrietamiento o rotura cuando el tubo sea ensayado de conformidad a lo que establece 6.2. El blanqueamiento lateral por fatiga de material no se considera falla.

5.7.4 Temperatura de ablandamiento VICAT

El ensayo a la temperatura de ablandamiento VICAT debe realizarse de acuerdo con la NTE INEN-ISO 2507-1. La temperatura de ablandamiento VICAT no debe ser menor a 79 °C.

5.7.5 Determinación de la calidad de extrusión por inmersión en solvente

Para determinar la calidad de extrusión el fabricante podrá optar por uno de los siguientes ensayos:

5.7.5.1 Resistencia a la acetona

La determinación de la calidad de extrusión por inmersión en acetona, de tubos de (PVC) rígido, debe hacerse de acuerdo a la NTE INEN 507. La probeta, después del ensayo, no debe presentar signos de desintegración o exfoliación en más de un 10% de su superficie interior y en más de un 10% de su superficie exterior; el ablandamiento o hinchazón no deben considerarse como fallas de probeta.

5.7.5.2 Resistencia al diclorometano

La determinación de la calidad de los tubos de PVC por inmersión en diclorometano debe efectuarse de acuerdo con lo establecido en la norma ISO 9852. Si el PVC no ha sido adecuadamente plastificado ocurrirá blanqueamiento de la superficie y en el peor de los casos se producirá exfoliación o desintegración, en cualquier caso se considerará como falla de probeta. El ablandamiento o hinchazón no debe considerarse como falla.

5.7.6 Determinación de la calidad de extrusión por calentamiento

Para determinar la calidad de extrusión por calentamiento el fabricante podrá optar por uno de los métodos de ensayo descritos en 6.3.

Luego del ensayo las probetas no deben presentar ampollas o fisuras.

6. MÉTODOS DE ENSAYO

6.1 Condiciones de ensayo

Los ensayos se deben realizar a temperatura ambiente, a menos que se establezca lo contrario en el método de ensayo específico.

6.2 Ensayo de aplastamiento

Aplastar tres probetas de 50 mm de largo, entre placas paralelas con una presión adecuada hasta que la distancia entre las placas sea igual al 40% del diámetro externo del tubo o hasta que las paredes del mismo se topen, lo que ocurra primero. La carga se debe aplicar de manera uniforme de tal manera que el ensayo se complete entre 2 a 5 min. Al remover la probeta se deberá revisar evidencias de cortes, grietas o roturas.

6.3 Ensayos para determinar la calidad de extrusión por calentamiento

La probeta debe ser de 200 mm de longitud, libre de defectos y cuyos extremos tendrán un corte perpendicular al eje del tubo.

Acondicionar la probeta de ensayo a temperatura ambiente durante 2 horas + 0,1 horas.

6.3.3 Método por introducción en horno

El horno debe ser controlado termostáticamente, apto para operar a 150 °C + 4 °C y capaz de equilibrar la temperatura de ensayo luego de 15 minutos después de introducir las probetas.

Llevar al horno a una temperatura de 150 °C + 2 °C e introducir las probetas.

Las probetas se pueden suspender o colocar sobre una base de talco, material refractario o similar, sin que estas toquen las paredes o el fondo del horno.

Mantener las probetas en el horno por el tiempo establecido en la tabla 5.

TABLA 5. Tiempo en horno

Tiempo min	Espesor del tubo mm
60	< 8
120	> 8

El tiempo estipulado debe medirse después que la temperatura del horno haya alcanzado $150\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Retirar la probeta del horno y evaluar su aspecto superficial.

6.3.4 Método de baño a temperatura constante

El baño debe ser controlado termostáticamente, apto para conseguir $150\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante el ensayo y en todos los puntos del medio de transferencia.

El material de transferencia utilizado en el baño debe ser químicamente inerte y estable a la temperatura de ensayo; su capacidad calorífica será suficiente para evitar el descenso de temperatura al sumergir la probeta.

Llevar el baño temperado a $150\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Colocar las probetas dentro del baño sin que estas toquen las paredes del recipiente del baño.

Mantener las probetas en el baño por 30 minutos contados desde el momento en que el baño alcanzó la temperatura de $150\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Retirar la probeta del baño y evaluar su aspecto superficial.

7. INSPECCIÓN

El muestreo y la aceptación o rechazo se debe efectuar de acuerdo con la NTE INEN-ISO 2859-1.

8 MARCADO ETIQUETADO Y EMBALAJE

Los tubos deben ser marcados de forma legible, indeleble y continúa de tal forma que por cada 3 m exista por lo menos una leyenda completa.

El rotulado debe indicar al menos la siguiente información:

- a) Tipo de tubo: "Roscable"
- b) El nombre del fabricante y/o marca registrada
- c) Diámetro nominal externo, en mm
- d) Espesor nominal, en mm
- e) Denominación de la rosca
- f) Material de fabricación: PVC o uPVC

- g) La presión nominal (PN), en MPa
- h) El lote de producción
- i) El número de la presente norma
- j) La Leyenda: Industria Ecuatoriana

PROYECTO A2

AÉNDICE Z

BIBLIOGRAFÍA

ASTM D 1785 *Standard Specifications for Poly (Vinyl Chloride) (PVC) Plastic Pipe, Schedules 40, 80 and 120*

ASTM F 412 *Standard Terminology Relating to Plastic Piping Systems*

NTE INEN 501 *Plásticos. Ambientes normalizados y procedimientos para el acondicionamiento y ensayo de materiales plásticos*

NTE INEN-ISO 2505 *Tubos de material termoplástico retracción longitudinal métodos de ensayo y parámetros*

ISO 2507-2 *Thermoplastics pipes and fittings. Vicat softening temperature. Part 2: Test conditions for unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U) or chlorinated poly(vinyl chloride) (PVC-C) pipes and fittings and for high impact resistance poly (vinyl chloride) (PVC-HI) pipes*

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: TÍTULO: TUBERÍA PLÁSTICA. TUBOS DE PVC RÍGIDO Código ICS:
NTE INEN UNIÓN POR ROSCA, PARA CONDUCCIÓN DE AGUA 23.040.20
2497 POTABLE A PRESIÓN. CÉDULA 80. REQUISITOS
Primera
revisión

ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio:	REVISIÓN: La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma Oficialización con el Carácter de por Resolución No. publicado en el Registro Oficial No. Fecha de iniciación del estudio: 2015-04-13
--	--

Fechas de consulta pública:

Comité Técnico de:
Fecha de iniciación:
Integrantes del Comité:

Fecha de aprobación:

NOMBRES:

INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

Otros trámites: Esta NTE INEN 2497 (Primera revisión), reemplaza a la NTE INEN 2497:2009

La Subsecretaría de la Calidad del Ministerio de Industrias y Productividad aprobó este proyecto de norma

Oficializada como:
No.

Por Resolución No.

Registro Oficial

PROYECTO A2

Servicio Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891
Dirección Ejecutiva: E-Mail: direccion@normalizacion.gob.ec
Dirección de Normalización: E-Mail: consultanormalizacion@normalizacion.gob.ec
Dirección Zonal Guayas: E-Mail: inenguayas@normalizacion.gob.ec
Dirección Zonal Azuay: E-Mail: inencuenca@normalizacion.gob.ec
Dirección Zonal Chimborazo: E-Mail: inenriobamba@normalizacion.gob.ec
[URL:www.normalizacion.gob.ec](http://www.normalizacion.gob.ec)

ANEXO D: ESPECIFICACIONES DE LA CÁMARA



**PREDATOR
MICRO V3**

New increase:
4:3 / 16:9 (Switchable)
PAL 50fps / NTSC 60fps (Switchable)
Upgrade harness to video & OSD separated

SIZE	COLOUR	WEIGHT
18.6×19.0mm	black / red blue / purple	5.5g (without bracket)

 Super WDR Function	 1000TVL	 5-40V input	 Low latency	 No Jello
 OSD	 4:3 / 16:9 (Switchable)	 NTSC / PAL (Switchable)	 Seven Languages	 Image Flip

ANEXO E: ESPECIFICACIONES DEL TRANSMISOR

5.8Ghz 32CH AW 600mW Transmitter (TS832)

Origen China

Proveedor GetFPV Manuals LLC

SKU FPV-1583



El transmisor TS832 brinda unos 600mW de poder ultra limpio a 5.8GHz! Un must have para aquellos buscando video de largo alcance. El TS832 transmite un rango completo de 32 canales y utiliza una interfaz fácil de usar de 2 botones. Tambien viene preparado con un harness pre-wired y solo pesa 21g.

Features

- 32 canales: Cubre las bandas A, B, E y F bands
- Dos botones de switching para banda y canal
- Display de dos digitos para banda y canal
- Memoria power off para recordar la banda y canal seleccionado
- Señales de salida duales independientes de video y audio



Especificaciones TX TS832

- Alimentación de entrada: 7.4-16V (3S Lipo / -12v suggested)
- Salida 12v (coincide con el voltaje de entrada)
- Potencia de transmisión: 600mA
- Gain de la antena: 2db
- Corriente operacional: 220mA at 12V
- Ancho de banda de Video: 8M
- Ancho de banda de Audio : 6.5M
- Peso: 22g
- Formato de video soportado: NTSC/PAL
- Conexión de antena: SMA (no RP-SMA)

Tabla de Frecuencias

FR \ CH		CH							
		CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	CH6	CH7	CH8
FR	FR1 or (A)	5865M	5845M	5825M	5805M	5785M	5765M	5745M	5725M
	FR2 or (B)	5733M	5752M	5771M	5790M	5809M	5828M	5847M	5866M
	FR3 or (E)	5705M	5685M	5665M	5645M	5885M	5905M	5925M	5945M
	FR4 or (F)	5740M	5760M	5780M	5800M	5820M	5840M	5860M	5880M

ANEXO F: FOTOS DE PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

