

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

"Diseño y Construcción de Robot Remolcador para Avionetas"

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Jonathan Javier Freire Fernández

Juan Andrés Rubio Segovia

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco la colaboración del ingeniero Medardo Marcial quien sirvió de guía en el proceso de diseño estático y dinámico y al ingeniero Eduardo Orces quien dio soporte en el área de control del robot. Al señor Wilfrido Angamarca Camacho y a su empresa Techconstruye,S:A, donde realizamos la construcción del prototipo de robot remolcador. Finalmente agradecer el apoyo brindado por el Tecnólogo Héctor Rubio y el Ing. Santiago Rubio, compañeros del club Robota, por el soporte brindado en el área de la electrónica; y las instalaciones de dicho club.

-Jonathan Javier Freire Fernández-

Agradezco la colaboración de mi familia, maestros y a las personas más allegadas a mí. Con su motivación dan energía a este proyecto.

-Juan Andrés Rubio Segovia-

## DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Jonathan Javier Freire Fernández

Juan Andrés Rubio Segovia

Jonathan Roberto León Torres

Ángel Diego Ramírez Mosquera

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".



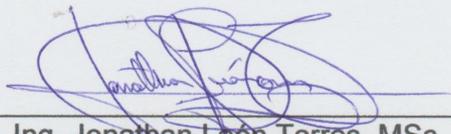
---

Jonathan Javier Freire Fernández



---

Juan Andrés Rubio Segovia



---

Ing. Jonathan León Torres, MSc

## RESUMEN

En la industria aeronáutica, en especial en la aviación menor, se utiliza elemento humano o maquinaria con el fin de remolcar avionetas. Así mismo, existen en el mercado internacional robots diseñados para cumplir el objetivo antes mencionado.

Por otro lado, el país impulsa el desarrollo de productos diseñados y construidos dentro del territorio nacional. Por este motivo se propone desarrollar un robot remolcador para avionetas con elementos mecánicos y electrónicos disponibles dentro del mercado nacional. Haciendo uso del talento humano para el diseño mecánico y del sistema de control.

El proceso de diseño se inició reconociendo las cargas que el robot remolcador debía resistir. Para ello, se hizo una observación del tipo de avionetas que poseen las diferentes empresas que brindan servicio de taxi aéreo y de fumigación, donde aportaron con la información del peso de cada una de las avionetas y se seleccionó la de mayor peso. Con este valor y con información del reglamento de transporte aéreo, se realizó el diseño del robot incluyendo el cálculo estático de la estructura, dimensionamiento de ejes y sistema de transmisión. Además, se realizó el proceso de selección materiales, tales como: el perfil estructural de acero, piñones, cadenas, motores de corriente continua. Se llevó a cabo también la selección del sistema de comunicación y de control del robot remolcador.

Finalmente, para comprobar que el diseño propuesto cumple el objetivo planteado, se construyó un prototipo, el que fue sometido a pruebas con una avioneta ligera. En este prototipo, tanto los elementos mecánicos como el sistema de control, fueron construidos por mano de obra calificada, cumpliendo el objetivo de utilizar productos que existen en el mercado ecuatoriano y con talento humano nacional.

## ***ABSTRACT***

At the aeronautics industry, especially in the minor aviation they use human elements or machines for towing aircraft as their main objective. In the same way, there are many robots for doing the same activity.

In another hand, in Ecuador wants to promote the national products, for these reason this investigation proposes making a tugboat robot for aircraft. In this robot is going to use mechanic and electric pieces or elements done in the country. Likewise, the project would implement national workers.

The design process was started first with weight able for taking by the robot. For doing that, we took a look on the aircrafts belonged to the transportation enterprises, for example air taxi and fumigation; we chose the high weight. So, with this value and information about air transport rules we made the robot design, adding static calculation of the structure, sizing and transmission system axes. Besides, we selected materials: sprockets, chains, DC motors and steel section structural. Also, carried out the selection of the communication system and the tugboat robot control.

Finally, for verifying that the design was not wrong, we made a prototype. It was proved many times with a light aircraft. In this prototype we use only national workers and elements; they were right selected. So with it, the project got its objective. It was use existing products and Ecuadorian workers.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XII
1. Introducción .....	1
1.1. Descripción del problema.....	1
1.2. Objetivos .....	1
1.2.1. Objetivo General .....	1
1.2.2. Objetivos Específicos.....	1
1.3. Marco teórico .....	2
1.3.1. Alternativas de remolque. ....	2
1.3.2. Clasificación de los Robots Móviles.....	5
1.3.2.1. Por el tipo de locomoción: .....	6
1.3.3. Tele-operación .....	9
CAPÍTULO 2.....	14
2. Metodología del Diseño .....	14
2.1. Elementos mecánicos .....	20
2.1.1. Motor Eléctrico de corriente continua (DC) .....	20
2.1.2. Motor de arranque .....	20
2.1.3. Catalina y cadena .....	22

2.1.4.	Chumaceras.....	23
2.1.5.	Rueda o garrucha. ....	24
2.1.6.	Rueda o garrucha. ....	24
2.1.7.	Eje de transmisión de movimiento. ....	25
2.1.8.	Acero ASTM 500.....	25
2.2.	Elementos electrónicos. ....	26
2.2.1.	Control de los motores.....	26
2.2.2.	Comunicación con el robot ....	28
2.3.	Comandos del sistema.....	30
2.3.1.	Comandos individuales para cada motor.....	30
2.3.2.	Comandos direccionales.....	30
2.4.	Análisis cinemático.....	32
2.4.1.	Adelante.....	33
2.4.2.	Atrás ....	34
2.4.3.	Giro anti horario ....	35
2.4.4.	Giro horario.....	36
	.....	36
	Figura 2.23.-Movimiento "Giro horario " del robot .....	36
2.4.5.	Curva a la izquierda.....	37
2.4.6.	Curva a la derecha.....	38
2.4.7.	Curva a la izquierda hacia atrás.....	39
2.4.8.	Curva a la derecha hacia atrás .....	40
2.5.	Cálculo, dimensionamiento y selección de elementos. ....	41
2.5.1.	Cálculo de cargas. ....	41
2.5.2.	Fuerza para mover el sistema.....	43
2.5.3.	Cálculo de la potencia.....	47
2.5.4.	Mecanismo de transmisión de movimiento. ....	50

2.5.4.1. Selección de cadena .....	52
2.5.4.2. Selección de catalina .....	54
2.5.5. Cálculo de diseño de eje.....	54
Selección de rodamientos.....	63
2.5.6.....	63
2.5.7. Diseño de plancha para soporte del tren delantero de la avioneta .....	66
2.5.7.1. Cálculo de soldadura entre la plancha y la estructura.....	69
2.5.8. Diseño de Estructura del Robot .....	72
2.5.9. Cálculo de trampa de tren delantero:.....	80
3. Resultados .....	91
3.1. Características del robot. ....	91
3.2. Modelo en 3D.....	92
3.3. Prototipo.....	93
3.4. Costos de construcción de prototipo .....	94
4. Discusión y Conclusiones .....	99
4.1. Conclusiones.....	99
4.2. Discusión.....	99
4.3. Recomendaciones.....	100
Bibliografía.....	103
APÉNDICES.....	107
1. Heramientas utilizadas para contrucción del prototipo.....	107
2. Construcción del prototipo del robot .....	108

## **ABREVIATURAS**

AC: Corriente alterna

DC: Corriente continua.

DAC: Dirección de aviación civil.

rpm: revoluciones por minuto.

ASTM: American Society for Testing Materials

AISI: American Iron and Steel Institute

SMAW: Shielded Metal Arc Welding

## SIMBOLOGÍA

N: Newton.

KN: Kilo Newton.

Nm: Newton por metro

Kg: Kilogramo.

m: Metro.

mm: Milímetro.

h: Hora.

Hp: Horse power.

W: Watts.

KW: Kilo Watts.

Pa: Pascales.

MPa: Mega Pascal.

rpm: Revoluciones por minuto.

M: Momento.

I: Momento de inercia.

$\sigma$ : Esfuerzo axial.

$\tau$ : Esfuerzo cortante

T: Torque

\$: Dólares.

%: Porcentaje.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.-Tractor remolcador .....	2
Figura 1.2.-Tirón motorizado .....	3
Figura 1.3.-Tirón sin motor .....	3
Figura 1.4.-Piloto remolcando avioneta .....	4
Figura 1.5.-Diagrama de locomoción diferencial. ....	6
Figura 1.6.-Diagrama de locomoción síncrona.....	7
Figura 1.7.-Diagrama de locomoción triciclo.....	8
Figura 1.8.-Diagrama de locomoción Ackerman.....	9
Figura 1.9 Control remoto por radiofrecuencia .....	10
Figura 1.10 Conexión infrarroja .....	11
Figura 1.11.-Mando de radio frecuencia.....	11
Figura 1.12.-Cable ATP usado en conexiones de Ethernet.....	12
Figura 1.13.-Adaptador arduino a conexiones Bluetooth hc-05.....	13
Figura 1.14.-Adaptador Arduino de conexión wifi: esp8266 .....	13
Figura 2.1.-Proceso de diseño.....	14
Figura 2.2.-Proceso de diseño.....	17
Figura 2.3.-Motor de corriente continua.....	20
Figura 2.4.-Motor de arranque.....	21
Figura 2.5.-Cadena y Catalina.....	22
Figura 2.6.-Chumacera.....	23
Figura 2.7.-Rueda o Garrucha.....	24
Figura 2.8.-Mecanismo eje, catalina y cadena .....	24
Figura 2.9.-Eje con chaveta.....	25
Figura 2.10.-Tubo cuadrado de acero ASTM 500 .....	26
Figura 2.11.-Listado de tarjetas de 2 canales.....	27
Figura 2.12.-Roboteq's HDC24xx .....	27
Figura 2.13.-HDC24xx Datasheet.....	28
Figura 2.14 Diagrama de bloques del sistema de control del remolcador .....	28
Figura 2.15.-Control remoto futaba T18SZ.....	29
Figura 2.16.-Módulo receptor de control remoto.....	29
Figura 2.17.-Equema del arreglo de control .....	30

Figura 2.18.-Control remoto futaba T3PV.....	31
Figura 2.19.-Modelo del Remolcador .....	32
Figura 2.20.-Movimiento "adelante" del robot.....	33
Figura 2.21.-Movimiento "atras" del robot.....	34
Figura 2.22.-Movimiento "Giro anti horario" del robot.....	35
Figura 2.23.-Movimiento "Giro horario " del robot.....	36
Figura 2.24.-Movimiento "Giro horario " del robot.....	37
Figura 2.25.-Movimiento "Curva a la derecha " del robot .....	38
Figura 2.26.-Movimiento "Curva a la izquierda hacia atrás" del robot .....	39
Figura 2.27.-Movimiento "Curva a la derecha hacia atrás" del robot.....	40
Figura 2.28.-Plano esquemático de avioneta Rockwell Turbo Commander 690b .....	42
Figura 2.29.-Esquema de rodadura.....	45
Figura 2.30.-Esquema de fuerzas que actúa sobre la avioneta.....	46
Figura 2.31.-Esquema de transmisión de movimiento.....	47
Figura 2.32.-Motor NPC T74 .....	49
Figura 2.33.-características de rendimiento del motor NPC T74 .....	49
Figura 2.34.-Esquema de rueda del robot.....	50
Figura 2.35.-Esquema de transmisión de movimiento.....	52
Figura 2.36.-Diagrama de cuerpo libre de eje de rueda .....	55
Figura 2.37.-Diagrama de Cuerpo Libre del Eje .....	55
Figura 2.38.-Diagrama de Cortante .....	56
Figura 2.39.-Diagrama de Momento flector .....	56
Figura 2.40.-Diagrama de Cuerpo Libre del Eje .....	56
Figura 2.41.-Diagrama de Cortante .....	57
Figura 2.42.-Diagrama de Momento flector .....	57
Figura 2.43.-propiedades mecánicas del acero AISI 3140 .....	58
Figura 2.44.-Esquema de fuerza radial y fuerza axial en rodamiento de bolas y rodillo .....	63
Figura 2.45.-Condiciones de carga y giro .....	64
Figura 2.46.-Rodamiento de una hilera de rodillos cilíndricos .....	65
Figura 2.47.- Diagrama de cortante y momento flector .....	66
Figura 2.48.-Sección transversal de plancha de acero.....	67
Figura 2.49.-Soldadura en la plancha de acero.....	69
Figura 2.50.- Vista transversal de la plancha de acero. ....	69

Figura 2.51.- Modelo de Viga crítica.....	72
Figura 2.52.-Diagrama de cortante.....	72
Figura 2.53.-Diagrama de momento flector.....	72
Figura 2.54.-Perfil cuadrado de tubo estructural.....	73
Figura 2.55.-Tubo cuadrado de 50x50x3 mm.....	74
Figura 2.56.-Relevancia baja en perfil estructural.....	75
Figura 2.57.-Relevancia alta en perfil estructural.....	75
Figura 2.58.-Apoyo fijo en estructura.....	76
Figura 2.59.-Aplicación de fuerza sobre la estructura.....	76
Figura 2.60.-Deformación total de la estructura.....	77
Figura 2.61.-Esfuerzo máximo.....	77
Figura 2.62 Diagrama del proceso de diseño de la rampa.....	80
Figura 2.63 Esquema de mecanismo de 4 barras articuladas.....	81
Figura 2.64 Características de neumático 5.00.....	82
Figura 2.65 Modelo 3D seguro de tren delantero.....	82
Figura 2.66 Posicion inicial del mecanismo.....	83
Figura 2.67 Posicion final del mecanismo.....	84
Figura 2.68 Elementos a simular en el programa Ansys.....	85
Figura 2.69 Resultado de la simulacion. Reacciones vs tiempo en la junta Bastidor-Actuador.....	86
Figura 2.70 Resultado de la simulacion. Reacciones vs tiempo en la junta Actuador-Biela.....	86
Figura 2.71 Resultado de la simulacion. Reacciones vs tiempo en la junta Biela-Rampa.....	87
Figura 2.72 Resultado de la simulacion. Reacciones vs tiempo en la junta Rampa-Bastidor.....	87
Figura 2.73Carga aplicada sobre la viga.....	88
Figura 2.74Diagrama de cortante.....	88
Figura 2.75 Diagrama de momento flector.....	88
Figura 2.76.-Minima seccion transversal de la biela.....	90
Figura 3.1.-Modelo en 3D del robot remolcador para avionetas.....	92
Figura 3.2.-Avioneta Cessna 150.....	93
Figura 3.3.- Esquema de sistema de control de robot remolcador.....	95

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.-Ventajas y desventajas de locomoción diferencial .....	7
Tabla 1.2.-Ventajas y desventajas de locomoción síncrona .....	7
Tabla 1.3.-Ventajas y desventajas de locomoción tipo triciclo.....	8
Tabla 1.4.-Ventajas y desventajas de locomoción Ackerman.....	9
Tabla 2.1.- Matriz de selección del modelo de locomoción .....	15
Tabla 2.2.-matriz de selección sistema de transmisión .....	18
Tabla 2.3.-matriz de selección sistema de comunicación del robot.....	19
Tabla 2.4 movimientos del robot a diferentes señales de entrada.....	31
Tabla 2.5.-Rendimientos de sistemas de transmisión de potencia.....	48
Tabla 3.1.-Costo de elementos mecánicos.....	94
Tabla 3.2.-Costo de elementos eléctricos y electrónicos.....	96
Tabla 3.3.-Tabla de precio de mano de obra en taller .....	96
Tabla 3.4.-Tabla de precio final .....	98

# ÍNDICE DE PLANOS

- 1.0 Robot Remolcador.
  - 1.1 Sistema de transmisión-Explosionado.
    - 1.1.4 Eje.
  - 1.2 Seguro-Explosionado.
    - 1.2.1 Pasador.
    - 1.2.2 Barra posterior.
    - 1.2.3 Rodillo.
    - 1.2.4 Barra cilíndrica.
    - 1.2.5 Trampa.
    - 1.2.6 Base circular.
    - 1.2.7 Barra delantera.
    - 1.2.8 Biela.
  - 1.3 Chasis.
    - 1.3.1 Estructura.
    - 1.3.2 Plancha.
    - 1.3.3 Soporte para batería.
    - 1.3.4 Apoyo para motores DC.
- 2.0 Plano de montaje.

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1.Descripción del problema

En la industria aeronáutica ecuatoriana, dentro del área de operaciones se utilizan tractores u otro tipo de maquinarias, para remolcar las avionetas desde la pista hasta el hangar y viceversa. Por otro lado, con el desarrollo tecnológico surgieron propuestas más económicas que cumplen con el mismo objetivo. Ahora bien, se conoce que en otros países se han optado por el uso de robots móviles con la finalidad de cumplir la misión de remolcar las avionetas, embarcaciones y automotores.

Los beneficios del uso del robot se focalizan en: mayor eficiencia en tiempos de operación, facilidad en el manejo y bajo costo de mantenimiento en relación con las otras alternativas de traslado de avionetas.

Cabe mencionar que en nuestro país ya se ha incursionado en el área de la robótica, pero sin aplicaciones en la industria aeronáutica, con estos antecedentes se propone el diseño de un robot y la construcción de un prototipo con elementos y dispositivos existentes en el mercado local, a fin de garantizar su operatividad.

### 1.2.Objetivos

A continuación, se presentan los objetivos con los que cumple este documento. Detallando el objetivo general del mismo y detallando los objetivos específicos que nos planteamos para conseguir el objetivo general.

#### 1.2.1. Objetivo General

- Diseñar el sistema mecánico y de control para un robot remolcador de avionetas; a partir de insumos existentes en el mercado local, garantizando su operación y mantenimiento.

#### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Reconocer las cargas estáticas que van a actuar sobre el robot y los factores de influencia para el diseño.

- Realizar un diseño de forma y posterior modelo en 3D evidenciando la estructura del robot.
- Determinar los elementos clave para la transmisión de movimiento y el sistema de comunicación, garantizando el diseño final.
- Analizar la dinámica del conjunto robot-avioneta, identificando su correcta movilidad.
- Identificar los materiales disponibles en el mercado local, garantizando la operación del equipo.

### **1.3.Marco teórico**

A continuación, se proporciona la información necesaria para comprender la situación actual del remolcado de avionetas, además de conceptos indispensables para el desarrollo de un robot.

#### **1.3.1. Alternativas de remolque.**

Actualmente, se utilizan diversas máquinas para trasladar una avioneta desde el hangar hacia la pista de rodaje y viceversa. Las alternativas empleadas actualmente, incluyen:

- Tractor remolcador. - El tractor, véase en la Figura 1.1, es un vehículo dotado de motor con la función de halar de la avioneta para llevarla a su destino en el hangar.



**Figura 1.1.-Tractor remolcador**

Fuente: (AERO SPECIALTIES, 2016)

- Tirón motorizado. - Es un dispositivo dotado por un motor de combustión interna de dos tiempos. Este dispositivo mecánico tiene como objetivo empujar o halar una avioneta y ser posicionado por el operador, véase Figura 1.2.



**Figura 1.2.-Tirón motorizado**

Fuente: (Red Box International, 2012)

- Tirón sin motor. - Consiste en una pequeña armadura de la cual el operador debe halar, para poder mover la avioneta. El uso del dispositivo se verá limitado a la condición física del operador. En la Figura 1.3 se puede observar un operador halando la avioneta-



**Figura 1.3.-Tirón sin motor**

Fuente: (Minimax Aircraft Tug LLC , 2016 )

- Fuerza humana. - Para avionetas sumamente ligeras una persona podrá actuar de remolcador, sin embargo, para pesos mayores, se requerirá de más personas, véase en Figura 1.4. Las limitantes de esta opción resultan ser: la condición física del encargado del remolque, o la necesidad de mucho personal.



**Figura 1.4.-Piloto remolcando avioneta**

Fuente: (Pingston, 2005)

### 1.3.2. Clasificación de los Robots Móviles

Riccillo (2012), señala que la robótica, es la ciencia que estudia el diseño y la implementación de robots; uniendo múltiples disciplinas como: la mecánica, la electrónica, la informática, la ingeniería de control, entre otras (Riccillo, 2012, pág. 6)., señala que la robótica, es la ciencia que estudia el diseño y la implementación de robots; uniendo múltiples disciplinas como: la mecánica, la electrónica, la informática la ingeniería de control, entre otras.

La palabra robot fue introducida por primera vez en el año de 1921, cuando el escritor de origen checo Karel Capek (1890-1938) estrena en el teatro nacional de Praga la obra *Rossum's Universal Robot*(R.U.R.). Su origen es de la palabra eslava *robot* que se refiere al trabajo realizado de manera forzada (Riccillo, 2012, pág. 6).

La clasificación general de los robots basados en su uso y tipo de movimiento que emplea, es:

1. Androides: robots con forma humana. Su mayor limitación es la estabilidad.
2. Móviles: se desplazan mediante una plataforma estos robots aseguran el transporte de piezas de un punto a otro.
3. Zoomórficos: es un sistema de locomoción imitando a los animales.
4. Poli-articulados: mueven sus extremidades con pocos grados de libertad. Su principal utilidad es industrial, para desplazar elementos que requieren cuidados.  
(All on Robots, s.f.)

Un robot móvil, es una máquina automática que es capaz de trasladarse en cualquier ambiente dado. Los robots móviles tienen la capacidad de moverse en su entorno y no se fijan a una ubicación física.

A los robots móviles se los puede clasificar de la siguiente manera: por el tipo de locomoción, su autonomía, y el medio de comunicación con el operador (Escuela de ingeniería industriales, 2001).

### 1.3.2.1. Por el tipo de locomoción:

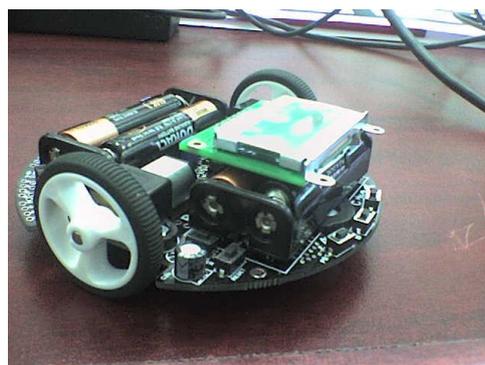
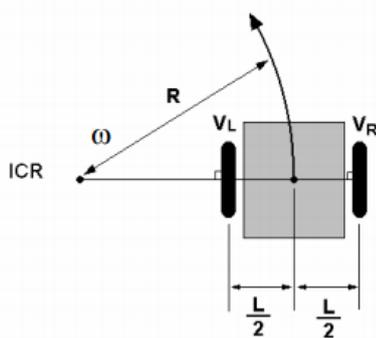
Existe diferente tipo de ruedas que son usadas para mover un robot.

- La rueda motriz proporciona fuerza tracción al robot.
- La rueda directriz se encarga de dar la orientación.
- La rueda fija gira en torno a su eje sin tracción motriz.
- Ruedas locas o ruedas de castor son orientables no controladas.

Según los tipos de ruedas y su posición/orientación se clasifican en:

- Diferencial.
- Síncrona.
- Triciclo.
- Omnidireccionales.
- Ackerman.

En **locomoción diferencial** no hay ruedas directrices, como se observa en la Figura 1.5. Para realizar el cambio de dirección del robot se modifica la velocidad relativa de las ruedas a izquierda y derecha (Automatización y Robótica Industrial 5 Ing Industrial). El problema con la locomoción diferencial es que los neumáticos se deforman; por eso es importante conocer las siguientes ventajas y desventajas, véase tabla 1.1.



**Figura 1.5.-Diagrama de locomoción diferencial.**

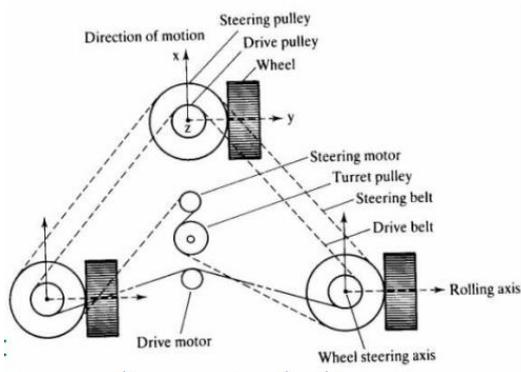
Fuente: (Automatización y Robótica Industrial 5 Ing Industrial)

**Tabla 1.1.-Ventajas y desventajas de locomoción diferencial**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño simple</li> <li>• Sistema barato</li> <li>• Fácil de implementar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere control de precisión para trayectorias rectas.</li> <li>• Deformación y desgaste de los neumáticos.</li> </ul>

Fuente: (Automatización y Robótica Industrial 5 Ing Industrial)

**Locomoción síncrona** tiene las siguientes ventajas y desventajas, véase tabla 1.2. En la Figura 1.6 se observa un esquema que representa el tipo de locomoción síncrona.



**Figura 1.6.-Diagrama de locomoción síncrona**

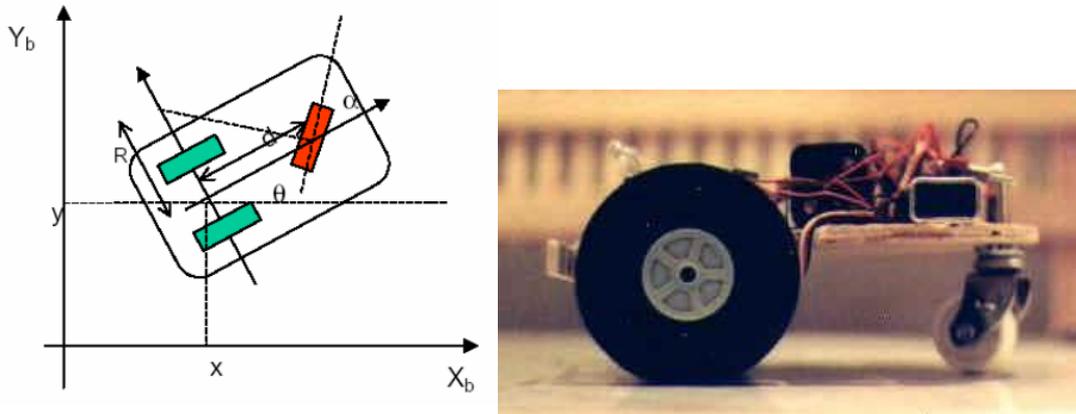
Fuente: (Automatización y Robótica Industrial 5 Ing Industrial)

**Tabla 1.2.-Ventajas y desventajas de locomoción síncrona**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motores separados para traslación y rotación simplifican el control.</li> <li>• El control en línea recta está garantizado mecánicamente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño complejo y difícil implementación.</li> </ul>

Fuente: (Automatización y Robótica Industrial 5 Ing Industrial)

Locomoción **tipo triciclo** tiene las siguientes ventajas y desventajas, véase tabla 1.3. A continuación se observa un esquema del movimiento de un robot tipo triciclo dentro del plano en 2D Y vs X, véase Figura 1.7.



**Figura 1.7.-Diagrama de locomoción triciclo.**

Fuente: (Automatización y Robótica Industrial 5 Ing Industrial)

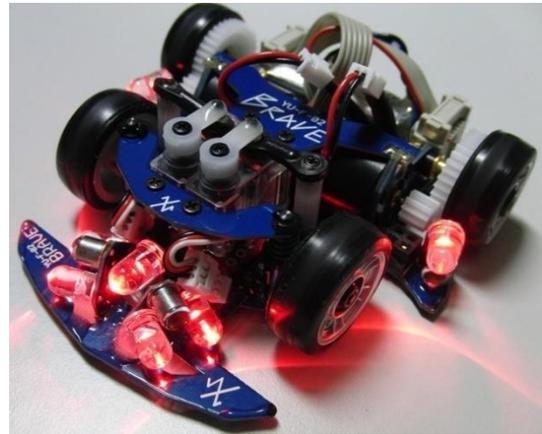
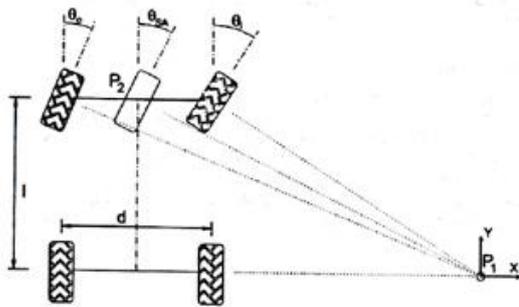
**Tabla 1.3.-Ventajas y desventajas de locomoción tipo triciclo**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>No hay deslizamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se requiere guiado no holónomo (Propiedad de los sistemas mecánicos que implica que todas las restricciones pueden expresarse en función de los valores de sus grados de libertad.).</li> </ul>

Fuente: (Automatización y Robótica Industrial 5 Ing Industrial)

Una restricción holonoma es una Propiedad de los sistemas mecánicos que implica que todas las restricciones pueden expresarse en función de los valores de sus grados de libertad.).

**Locomoción Ackerman** tiene las siguientes ventajas y desventaja, véase tabla 1.4. A continuación, en la Figura 1.8 se observa el esquema de este tipo de locomoción, se puede ver que el movimiento se produce por un mecanismo de cuatro barras articuladas



**Figura 1.8.-Diagrama de locomoción Ackerman**

Fuente: (Automatización y Robótica Industrial 5 Ing Industrial)

**Tabla 1.4.-Ventajas y desventajas de locomoción Ackerman**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil de implementar</li> <li>• Un sistema simple de cuatro barras controla la dirección.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Restricciones no holónomas.</li> </ul>

Fuente: (Automatización y Robótica Industrial 5 Ing Industrial)

### 1.3.3. Tele-operación

Un robot móvil también es controlado por un operador de forma directa; esto quiere decir, que por medio de dispositivo, palanca o celular pueden controlar todos los movimientos que ejecuta el robot.

La tecnología ha ido cambiando en el transcurso de estos últimos veinte años, en sus inicios los robots eran controlados por medio de cables y después dio un salto al uso de la radiofrecuencia, esto lo pudimos ver desde juguetes hasta aplicaciones en la robótica a cortas distancias como se observa en la Figura 1.9



**Figura 1.9 Control remoto por radiofrecuencia**

Fuente (MercadoLibre Ecuador S.A, 2016)

### **Comunicación con el robot:**

Los métodos más comunes de comunicación con un robot suelen ser:

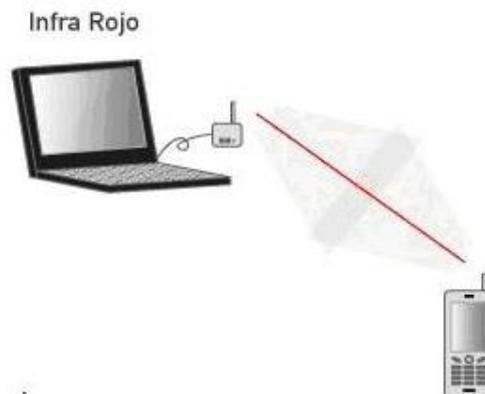
- Infrarrojos.
- Radio frecuencia
- Ethernet (por cable)
- Bluetooth
- Wifi
- Conexión a internet.

### **Infrarrojos**

La mayoría de mandos a distancia para aparatos domésticos utilizan diodos de emisión de luz infrarroja para emitir un rayo de luz que alcance el dispositivo. Esta luz es invisible para el ojo humano, pero transporta señales que pueden ser detectadas por el aparato.

El control remoto, envía pulsos de luz infrarroja mediante los diodos emisores, LEDS, representando códigos específicos. Estos códigos corresponden a un comando determinado, como encender, apagar, regular el volumen, etc. Luego, el sensor infrarrojo en la televisión decodifica los pulsos de luz en datos que el aparato puede identificar para luego realizar las acciones.

Este tipo de controles tienen ciertas desventajas: sólo funcionan en un rango de 10 metros, es necesario que se dirija la emisión al receptor y además, en el trayecto del control al aparato, no se debe encontrar ningún obstáculo ya que la luz infrarroja no puede atravesar objetos sólidos, véase Figura 1.10.



**Figura 1.10 Conexión infrarroja**

Fuente: (Barrientos, 2013)

### **Radio frecuencia**

Aunque se emplea la palabra radio, las transmisiones de televisión, radio, radar y telefonía móvil están incluidas en esta clase de emisiones de radiofrecuencia. Otros usos son audio, vídeo, radionavegación, servicios de emergencia y transmisión de datos por radio digital; tanto en el ámbito civil como militar. También son usadas por los radioaficionados, véase Figura 1.11.



**Figura 1.11.-Mando de radio frecuencia.**

Fuente: (ECOMMERCE, 2016)

## **Ethernet (por cable)**

Ethernet es un estándar de redes de área local para computadores, con acceso al medio por detección de la onda portadora y con detección de colisiones. Su nombre viene del concepto físico de ether. Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI, véase Figura 1.12.

En este caso básicamente conectaríamos el robot a una red local y a su vez a una computadora que sería la que controlaría el robot.



**Figura 1.12.-Cable ATP usado en conexiones de Ethernet**

Fuente: (Rexel Company, 2015)

## **Bluetooth**

Bluetooth es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2,4 GHz. Los principales objetivos que se pretenden conseguir con esta norma son:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles.
- Eliminar los cables y conectores entre éstos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales.

Los dispositivos que con mayor frecuencia utilizan esta tecnología pertenecen a sectores de las telecomunicaciones y la informática personal, como PDA, teléfonos móviles, computadoras portátiles, ordenadores personales, impresoras o cámaras digitales. En la Figura 1.13, se observa un módulo Bluetooth que se puede adaptar a un controlador Arduino.



**Figura 1.13.-Adaptador arduino a conexiones Bluetooth hc-05**

Fuente: (Maker Media, Inc, 2004-2016)

## **Wifi**

El wifi es un mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica. Los dispositivos habilitados con wifi pueden conectarse a internet a través de un punto de acceso de red inalámbrica. Dicho punto de acceso tiene un alcance de unos veinte metros en interiores, distancia que es mayor al aire libre. A continuación, se observa en la Figura 1.14, un módulo que se puede conectar a un controlador Arduino



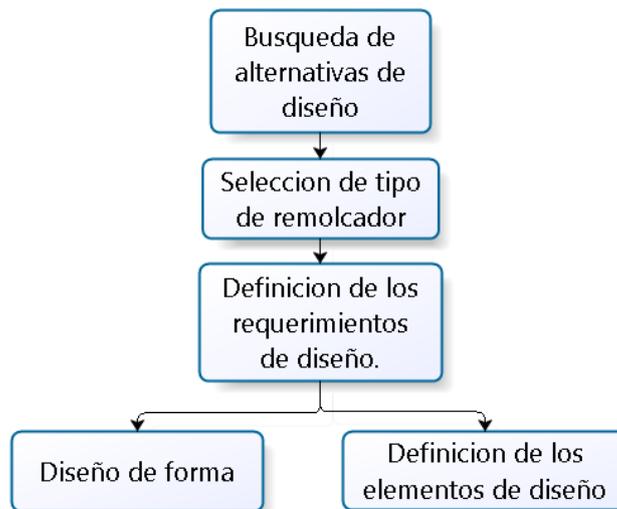
**Figura 1.14.-Adaptador Arduino de conexión wifi: esp8266**

Fuente: (©Promete, s.f.)

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

Como se indica el diagrama de la Figura 2.1. Para dar inicio con el proceso de diseño, se realiza un proceso de selección, en que se definen las características básicas con las que cumple el robot.



**Figura 2.1.-Proceso de diseño**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Se inició el diseño eligiendo el sistema de locomoción más adecuado y conveniente para las aplicaciones que tendrá el robot. La selección se realizará tomando en cuenta las alternativas mostradas en la sección 3 del capítulo 1 de este documento.

Los criterios de selección, tomados en cuenta, fueron: Operación, costo, mantenimiento, confiabilidad y costo energético. Los mismos son ponderados en una escala del uno al cuatro, siendo 1 el valor asignado a una característica de poca importancia y 4 la mayor importancia para el criterio de selección.

**Sencillez:** se valora la sencillez del diseño. Un diseño más sencillo implica: mantenimiento, reparación y operación. Por lo general un diseño más sencillo y con menos piezas; tiene menos probabilidades de fallar.

**Costo:** en costo se tomó en cuenta el valor de implementación del mecanismo. Este aspecto resulta ser de real importancia ya que, dependiendo del costo de fabricación del robot, se definirá el costo de venta. A su vez del costo de venta dependerá su éxito en el mercado.

**Control:** Se preferirá emplear un sistema fácil y cómodo de controlar. Con esto se facilita el proceso de programación y además brinda facilidad al usuario al momento de controlar el robot.

**Manufactura:** En este criterio se valorará la facilidad de fabricación del mismo y la existencia en el país de los elementos necesarios para la construcción del mismo.

Cada alternativa a su vez será calificada con valores del 1 al 4 en cada criterio, siendo 4 el que represente mayor conveniencia.

Como podemos ver en la matriz de decisión mostrada en la tabla 2.1.; La alternativa más conveniente resulta ser la locomoción diferencial.

**Tabla 2.1.- Matriz de selección del modelo de locomoción**

Locomocion	Criterios de selección (Ponderacion del criterio)				
	Sencillez (4)	Costo (2)	Control (3)	Manufactura (3)	Total
Difertencial	4	3	4	4	46
Sincrona	3	2	3	3	34
Triciclo	3	3	4	4	42
Omnidireccional	4	1	3	2	33
Ackerman	3	3	4	4	42

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Ya seleccionado el modelo del robot, es necesario definir los requerimientos básicos del remolcador.

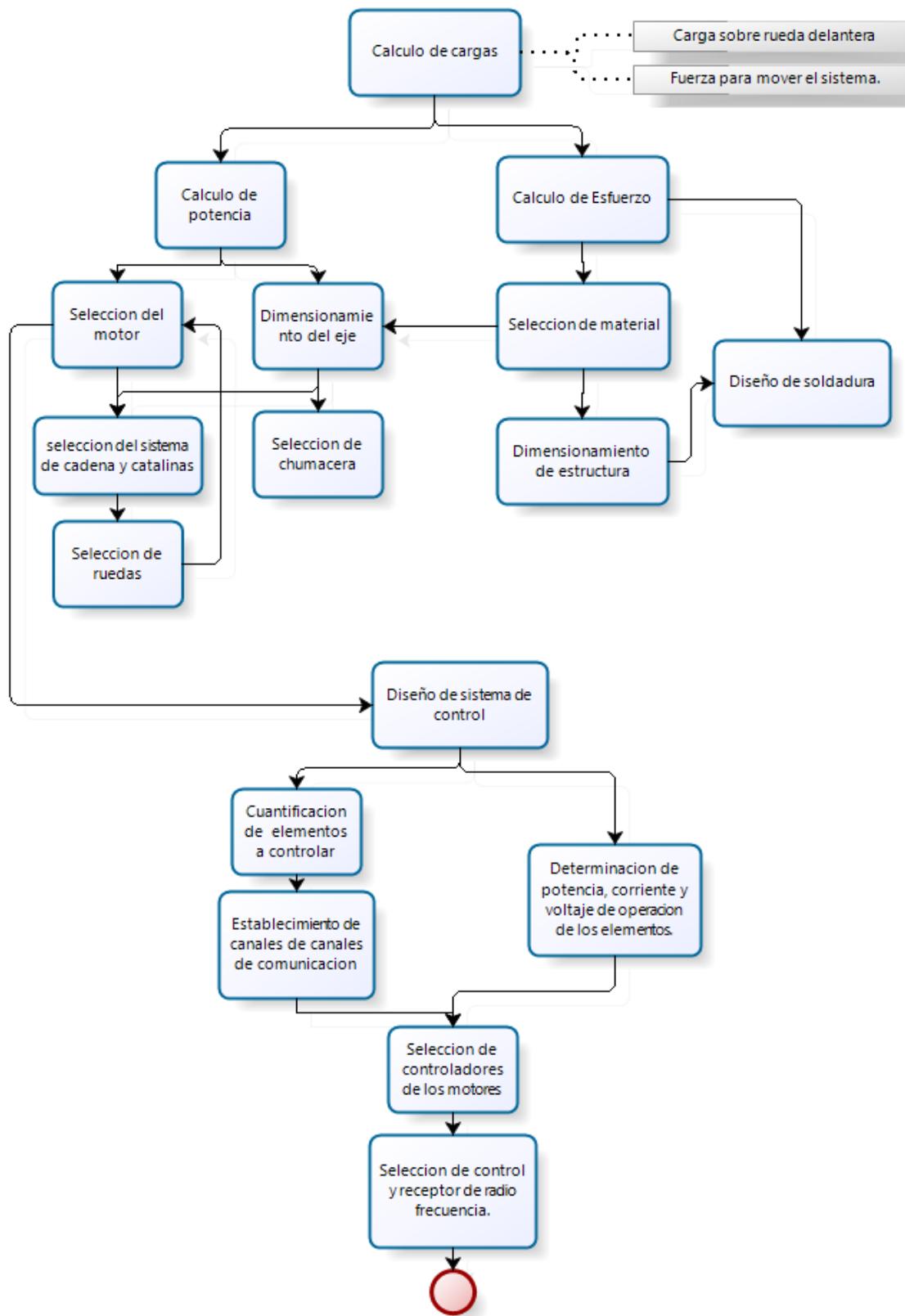
- El robot será un vehículo móvil.
- El diseño se movilizará empleando 4 ruedas, en pro de un diseño más sencillo y fiable; además de brindar estabilidad.
- Se empleará locomoción diferencial, debido a que es resultado de la matriz de decisión, además de ser fácil de implementar y de controlar.
- Se emplearán 2 motores, debido a que el modelo seleccionado fue el modelo de locomoción diferencial.
- El robot deberá tener un soporte y un fijador donde esté ubicada la rueda delantera de la avioneta.
- Se procurará que las cargas a las que se someta el robot debido al peso de la avioneta, estén dentro del área comprendida por las ruedas para de esta forma garantizar estabilidad.

Forma de la estructura:

- Para cumplir con estos propósitos se llegó a la conclusión de que la forma del robot debía poseer una cavidad, de esta forma se garantiza que el peso de la avioneta recaiga siempre en el centro de gravedad del robot.
- En ambos costados del robot se dispondrán las ruedas del mismo y por ende también el sistema de transmisión.
- Se aprovechará la parte delantera del robot para colocar motores, sistema de control y sistema de comunicación.

Basados en estos puntos se realizó el diseño de forma y definimos los elementos que requerirá el mismo.

Con esta información, podemos ahora realizar un diagrama del proceso de diseño. Diagrama en la Figura 2.2.



**Figura 2.2.-Proceso de diseño.**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

## Sistema de transmisión

Varias alternativas fueron planteadas al momento de elegir el sistema de transmisión: los parámetros elegidos de selección tomados en consideración fueron: costo, mantenimiento, facilidad de reemplazo, espacio ocupado y confiabilidad. Dándole mayor peso a los criterios de mantenimiento espacio y confiabilidad.

Las alternativas tomadas en cuenta fueron: caja reductora; sistema de cadena y catalina y sistema de bandas, véase Tabla 2.2.

**Tabla 2.2.-matriz de selección sistema de transmisión**

Alternativas	CRITERIOS DE SELECCION (PONDERACION DEL CRITERIO)					Total
	BAJO COSTO (2)	MANTENIMIENTO(3)	FACILIDAD DE REEMPLAZO (2)	ESPACIO OCUPADO (3)	CONFIABILIDAD (3)	
CAJA REDUCTORA	2	4	2	2	4	37
SISTEMA DE CADENA Y CATALINA	4	3	3	3	4	41
SISTEMAS DE BANDAS	4	3	3	3	3	38

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Se determinó que la mejor alternativa era la implementación de un sistema de cadena y catalina. El mismo resulta ser la mejor opción en costo facilidad de reemplazo, espacio y confiabilidad; aun cuando no resulta ser la mejor opción en mantenimiento, el mismo tiene requerimientos de mantenimiento admisibles.

Se seleccionó el equipo de control remoto por radio frecuencia, véase Tabla 2.3; ya que, es una opción económica de poco mantenimiento y de fácil operación; esto quiere decir, que no se requiere que el operador reciba gran capacitación para poder manejar el robot.

Con respecto a mantenimiento, se debe tener presente el cambio de baterías cada cierto tiempo de trabajo y en uno de los objetivos consta que en el país si hay disponibilidad de comprar baterías y de repuestos electrónicos para equipos de radiofrecuencia.

**Tabla 2.3.-matriz de selección sistema de comunicación del robot**

Alternativas	CRITERIOS DE SELECCION (PONDERACION DEL CRITERIO)				
	ALCANCE (2)	BAJO COSTO (4)	MANTENIMIENTO (3)	SEGURIDAD (4)	TOTAL
RADIO FRECUENCIA	4	3	4	3	44
CABLE	2	1	3	4	33
WIFI	2	4	4	1	36
BLUETOOTH	1	4	4	1	34

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Existen algunas opciones para el diseño mecánico del robot de las cuales, unas son más eficientes que las otras, pero se seleccionó los que son de bajo costo de mantenimiento y construcción. Adicionalmente que se puedan fabricar u obtener fácilmente en el mercado ecuatoriano como, por ejemplo: el motor eléctrico de corriente continua. Este tipo de motor aplicada a la robótica son de alto costo en el país, debido a las restricciones que se ejercen actualmente en el país, pero una alternativa es el uso de un motor de arranque para auto de acuerdo a la potencia mecánica requerida para movilizar la avioneta y el robot.

Una vez determinadas las características generales, se fijó el proceso de diseño como se puede ver en el diagrama indicado en la Figura 2.1.

## **2.1.Elementos mecánicos**

Se detallan los diferentes elementos mecánicos que conforman parte importante en el diseño.

### **2.1.1. Motor Eléctrico de corriente continua (DC)**

Un motor de corriente continua convierte la energía eléctrica en energía mecánica. Este tipo de motor posee imanes, sean permanentes o bobinas electromagnéticas que producen un campo magnético. La corriente pasa a través de la armadura conocida como bobina ubicada entre los polos norte y sur del imán, el campo generado por la armadura interactúa con el campo del imán y genera torsión. El colector conecta la fuente de energía estacionaria a través del uso de escobillas, los motores DC operan con una velocidad fija o un voltaje fijo (Hughes, 1993).

Este tipo de motores tiene varias aplicaciones tanto en la industria como en el hogar, al nivel industrial podemos observar en la figura 2.3 se utilizan motores DC para las áreas de automatización y control de procesos.



**Figura 2.3.-Motor de corriente continua**

Fuente: ( Global Equipment Company Inc., 2016 )

### **2.1.2. Motor de arranque**

Un motor de arranque es un motor eléctrico auxiliar que se alimenta de una batería en el vehículo para que pueda arrancar. En los motores de arranque moderno poseen un sistema de electroimán que funciona con corriente continua con un solenoide. Cuando se aplica corriente de la batería al solenoide mediante un conmutador de llave (Neiman) el solenoide produce un efecto palanca sobre

el piñón de arrastre del motor de arranque y el piñón se acopla a la corona del motor de arranque en el volante del motor.

Los motores de arranque modernos son casi todos motoredutores, permiten un menor consumo de corriente, además de un peso y de una ocupación de espacio de un 40%. La energía cinética almacenada por el inducido del motoreductor permite una mayor velocidad instantánea y por lo tanto mayor facilidad de arranque en frío, esto permite ahorrar batería (Euro4x4parts.com, 2000-2016). Véase Figura 2.4



Figura 2.4.-Motor de arranque

Fuente: (Euro4x4parts.com, 2000-2016)

### 2.1.3. Catalina y cadena

Permiten transmitir un movimiento giratorio entre dos ejes paralelos modificando la velocidad. Se emplea en reemplazo de los reductores de velocidad por poleas cuando lo importante es evitar el deslizamiento entre la rueda conductora y el mecanismo de transmisión, este mecanismo se emplea mucho en: bicicletas, motos, motores de automóvil, puertas elevables, entre otras más aplicaciones.

Las cadenas empleadas en esta transmisión suelen tener la libertad de movimiento solo en una dirección y tienen que engranar de manera muy precisa con los dientes de los piñones. Las partes básicas de una cadena son: placa lateral, rodillo y pasador.

Este sistema brinda beneficios importantes con respecto al sistema correa-polea, pues al emplear cadenas que engranan en los dientes, los piñones evita el deslizamiento que se produce entre la correa y la polea. Tenemos como gran ventaja de mantener la relación de transmisión constante, pues no existe deslizamiento, transmitiendo grandes potencias entre los ejes, en caso de que hablemos de motos y bicicletas; esto quiere decir que posee una mayor eficiencia mecánica. Además, no requiere estar la cadena muy tensa como es en el caso de las bandas.

Este sistema tiene una desventaja de ser más costoso con respecto al sistema correa-polea, es más ruidoso, no permite la inversión del sentido de giro ni la transmisión entre ejes cruzados y por último necesita lubricación (engrase) (CEJAROSU, 2005). Véase Figura 2.5



**Figura 2.5.-Cadena y Catalina**

Fuente: (CEJAROSU, 2005)

#### **2.1.4. Chumaceras.**

Una chumacera, es un rodamiento montado que se utiliza para dar apoyo a un eje de rotación, este tipo de cojinete se coloca generalmente en una línea paralela en el eje del árbol. Las chumaceras se encuentran en varios sistemas de transporte y son a menudo auto-lubricantes.

Hay dos tipos básicos de rodamientos de chumacera de acuerdo a su uso, las chumaceras hidrodinámicas que se utilizan a bajas velocidades y eventualmente eliminan el contacto de metal a metal. Por otro lado, tenemos las chumaceras hidrostáticas que no tienen ningún contacto metal a metal y son capaces de soportar cargas pesadas y velocidades diferentes y tienen un bajo coeficiente de fricción (Hanz, 2011). Véase figura 2.6.



**Figura 2.6.-Chumacera**

Fuente: ( Baldor Electric Company, 2001-2014 )

### 2.1.5. Rueda o garrucha.

A la garrucha se la define como un mecanismo para mover o levantar objetos pesados que consiste en una rueda suspendida que gira alrededor de un eje. En el mercado ecuatoriano se lo conoce como ruedas locas, véase Figura 2.7

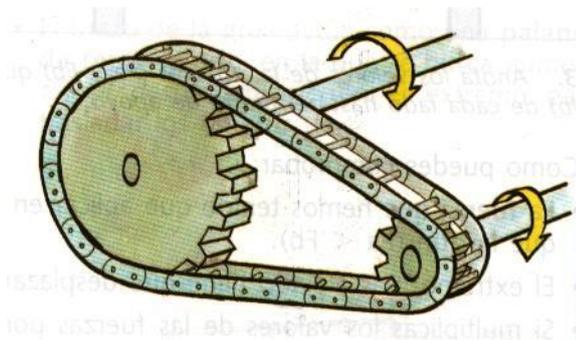


**Figura 2.7.-Rueda o Garrucha**

Fuente: (RUEDAS Y GARRUCHAS, 2014)

### 2.1.6. Rueda o garrucha.

Es un elemento mecánico para guiar el movimiento de una pieza como un engranaje o una rueda. Para nuestro diseño vamos a usar ejes en las cuatro ruedas y en el mecanismo de reductor de velocidad catalina-cadena. Véase Figura 2.8



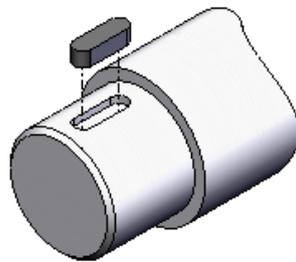
**Figura 2.8.-Mecanismo eje, catalina y cadena**

Fuente: (lesbarajoaragon, 2014)

### 2.1.7. Eje de transmisión de movimiento.

Es una pieza de acero, que reposa parcialmente sobre una encajadura en un eje llamada caja de cuña o chavetero; esta pieza penetra el eje por el resto de su longitud dentro de un alojamiento del cubo llamado cuñera.

Se utilizan para fijar el eje a partes de máquinas, tales como: engranajes, manubrios, ruedas y entre otros. Cuando las fuerzas relativas no son grandes se emplea una cuña redonda, una cuña de silleta o una cuña plana. Para trabajo pesado se usa cuñas rectangulares. Estas deben tener una resistencia y tenacidad mayores a las de las piezas de máquinas que van a unir, de tal forma que no se deformen (Hall, 1988). Véase figura 2.9.



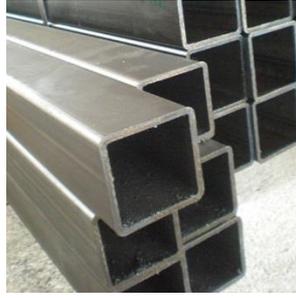
**Figura 2.9.-Eje con chaveta**

Fuente: (Borowski~commonswiki, 2006)

### 2.1.8. Acero ASTM 500

Este acero se lo conoce en el mercado ecuatoriano como acero estructural, es un acero laminado en frío y sus propiedades mecánicas juegan un papel importante en el comportamiento de miembros estructurales y el diseñador debe estar familiarizado con dichas propiedades.

Vamos a hacer uso de perfiles estructurales con este material para el chasis del robot remolcador ya que existe en el mercado y resiste a las cargas de trabajo que va a ser expuesta. Véase Figura 2.10.



**Figura 2.10.-Tubo cuadrado de acero ASTM 500**

Fuente: (Dipac® Manta S.A., 2016)

## **2.2.Elementos electrónicos.**

El control del robot es efectuado por el operador, por lo que el robot no necesita disponer de sensores. Sin embargo, es importante definir la forma en que el operador controla el movimiento y funcionamiento del robot. Para esto necesitaremos definir:

- Control de los motores
- Comunicación con el robot

### **2.2.1. Control de los motores**

Para el correcto control de los motores; cada motor es controlado de manera individual, por lo que cada cual tiene un canal de comunicación independiente. Es necesario contar con un controlador para cada motor.

Para seleccionar el controlador del robot, es importante tomar en cuenta el valor del voltaje y del amperaje que demanda el motor eléctrico; esto lo podremos conocer a partir de la potencia de trabajo, la misma que ya ha sido calculada y es de  $1.9\text{ KW}$ .

Las baterías con las que va a trabajar el robot remolcador, va a ser de  $24\text{V}$  y que el valor del amperaje que opera los motores eléctricos de  $117.29\text{ A}$ .

Con estos valores se busca un controlador de motores que soporte la potencia y amperajes de operación; además pueda trabajar al voltaje de operación ( $24\text{V}$ ).

Name	Motor Type	Ch	Amps/Ch	Volts	Enc	USB	CAN	Cooling	Stock	Price	Info
<a href="#">HBL2360</a>	Brushless DC	2	75	60	Yes	Yes	Yes	Heatsink Extrusion	Yes	\$650	<a href="#">Info</a>
<a href="#">HDC2450</a>	Brushed DC	2	150	50	Yes	Yes	Yes	Heatsink Extrusion	Yes	\$645	<a href="#">Info</a>
<a href="#">HDC2472</a>	Brushed DC	2	120	72	Yes	Yes	Yes	Heatsink Extrusion	Yes	\$795	<a href="#">Info</a>
<a href="#">MDC2230</a>	Brushed DC	2	60	30	Yes	Yes	Yes	Conduction plate	OEM	\$275	<a href="#">Info</a>
<a href="#">SDC2130</a>	Brushed DC	2	20	30	Yes	Yes	Yes	Conduction plate	OEM	\$175	<a href="#">Info</a>
<a href="#">SDC2160</a>	Brushed DC	2	20	60	Yes	Yes	Yes	Conduction plate	Yes	\$225	<a href="#">Info</a>
<a href="#">MDC2460</a>	Brushed DC	2	60	60	Yes	Yes	Yes	Conduction plate	Yes	\$395	<a href="#">Info</a>
<a href="#">FBL2360</a>	Brushless DC	2	60	60	Yes	Yes	Yes	Conduction plate	Yes	\$595	<a href="#">Info</a>
<a href="#">XDC2460</a>	Brushed DC	2	150	60	Yes	Yes	Yes	Heatsink Extrusion	Yes	\$495	<a href="#">Info</a>
<a href="#">HBL2372</a>	Brushless DC	2	75	72	Yes	Yes	Yes	Heatsink Extrusion	Yes	\$700	<a href="#">Info</a>
<a href="#">HDC2460</a>	Brushed DC	2	150	60	Yes	Yes	Yes	Heatsink Extrusion	Yes	\$660	<a href="#">Info</a>

**Figura 2.11.-Listado de tarjetas de 2 canales**

Fuente: (RobotShop inc, 2016)

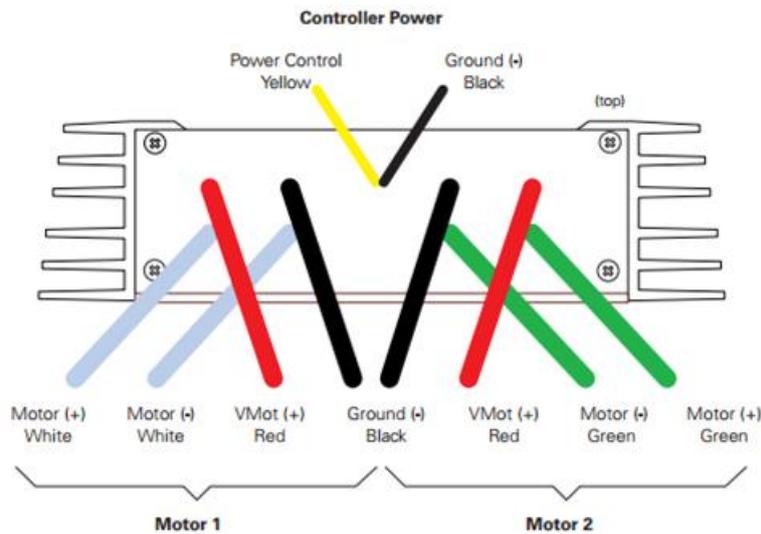
Buscando entre diferentes proveedores y filtrando en base a las características anteriormente descritas en la Figura 2.11, la Roboteq's HDC24xx cumple con los requerimientos que demanda el robot remolcador, véase Figura 2.12.



**Figura 2.12.-Roboteq's HDC24xx**

Fuente: (RobotShop inc, 2016).

Este controlador tiene la facilidad que presenta 2 canales de comunicación; es decir, que empleando esta tarjeta se controla ambos motores, véase Figura 2.13.

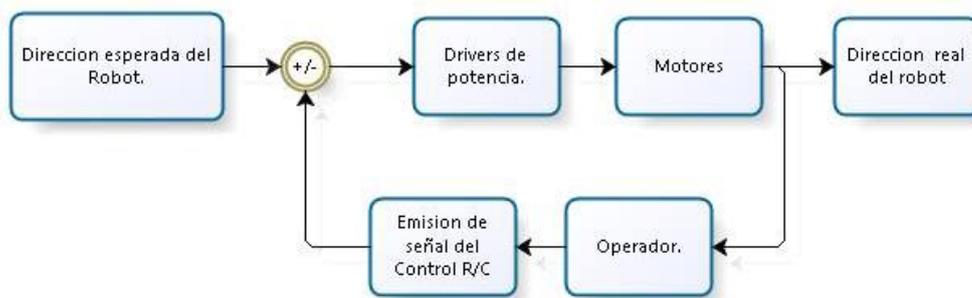


**Figura 2.13.-HDC24xx Datasheet**

Fuente: (RobotShop inc, 2016).

Ya seleccionado el controlador de los motores se precede a elegir el tipo de comunicación.

Quedando establecido el sistema de control, tal como se indica en la Figura 2.14.



**Figura 2.14 Diagrama de bloques del sistema de control del remolcador**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

### 2.2.2. Comunicación con el robot

Consta con un control de radio frecuencia y de un receptor para estas señales. El único parámetro de importancia en este aspecto será la cantidad de canales

que disponga dicho control. Sin embargo, a la gran cantidad de controles existentes en el mercado, incluimos como criterios de selección el precio de los mismos y la ergonomía, dando una mayor prioridad al precio y seguido a la ergonomía.

En cuestión de ergonomía se optará por un control tipo mando diferencial, ante la segunda opción que consiste en un mango tipo Volante. Basado en esto se seleccionó el control Futaba T18SZ De 4 canales, véase Figura 2.15.



**Figura 2.15.-Control remoto futaba T18SZ**

Fuente: (Fast Lad Performance, 2016)

El receptor deberá presentar también un mínimo de 2 canales, en base a esta restricción, costo y confiabilidad se optó por seleccionar un receptor Traxxas Receiver Micro TQ 2.4GHz (3CH) TRA6519 el mismo que posee 3 canales de comunicación, véase Figura 2.16



**Figura 2.16.-Módulo receptor de control remoto**

Fuente: (Hobby, 2016)

### 2.3. Comandos del sistema.

El remolcador puede ser controlado con los siguientes arreglos de comandos:

- Comandos individuales para cada motor.
- Comandos direccionales.

#### 2.3.1. Comandos individuales para cada motor.

La única consideración en este arreglo es que el control tendrá asignado un canal a cada motor, de esta forma la operación del robot resulta sencilla. Simplemente controlando la velocidad de cada motor de forma separada, véase Figura 2.17.



**Figura 2.17.-Equema del arreglo de control**

Fuente: (Fast Lad Performance, 2016)

#### 2.3.2. Comandos direccionales.

En este arreglo de los comandos se implementa un dispositivo de control en el que el operador indica direcciones (adelante, atrás, izquierda y derecha) y una tarjeta controladora convierte estas señales en movimientos predefinidos a realizar por el robot.

En este caso el control empleado sería un Futaba T3PV de 2 canales. Y se emplearía una tarjeta controladora arduino uno.



**Figura 2.18.-Control remoto futaba T3PV**

Fuente: (Carolinass RC Racers, 2004)

Las señales de entrada para “X” y “Y” (siendo “X” la coordenada en el giro de la rueda y “Y” la coordenada en el avance de las ruedas) se indican en la tabla 2.4 donde M1 indica el motor ubicado en la parte izquierda del robot y M2 el motor ubicado en la parte derecha del mismo.

**Tabla 2.4 movimientos del robot a diferentes señales de entrada**

“Y”	“X”	Voltaje M1	Voltaje M2	Movimiento.	Símbolo
Adelante		12	12	Adelante	
Atrás		-12	-12	Atrás	
	Izquierda	-12	12	Giro anti horario	
	Derecha	12	-12	Giro horario	
Adelante	Izquierda	0	12	Curva a la izquierda	
Adelante	Derecha	12	0	Curva a la derecha	
Atrás	Izquierda	-0	-12	Curva a la izquierda hacia atrás	
Atrás	Derecha	-12	-0	Curva a la derecha hacia atrás	

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

El código empleado para convertir las indicaciones del operador en las señales que necesitaran los motores se indica en el apéndice C.

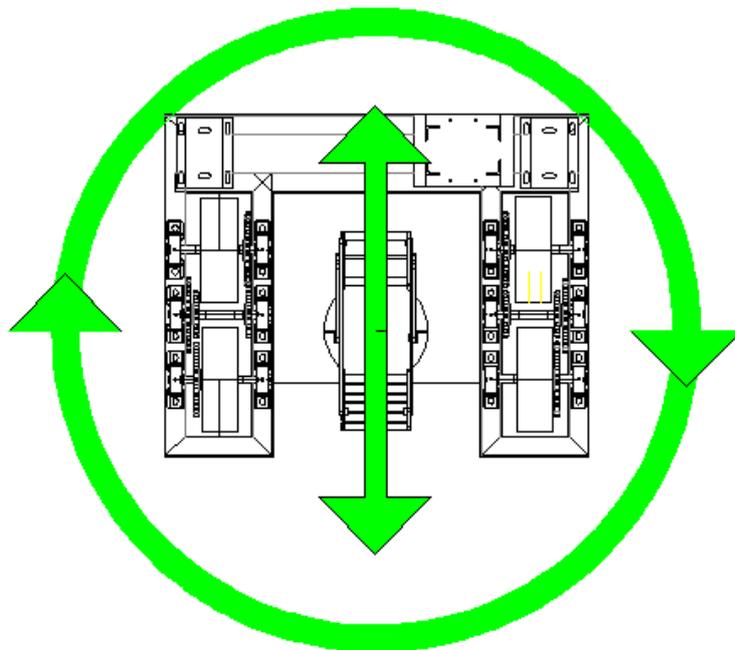
De las alternativas mostradas se eligió el modelo por comandos direccionales, para dar mayor facilidad de trabajo al operador del robot.

## 2.4. Análisis cinemático.

Ya definido el control del robot, se analizó los movimientos del mismo, indicando si amerita donde se ubica el centro de giro.

Un cuerpo que se mueve en un plano como es el caso del remolcador puede poseer 3 grados de libertad de movimiento, dos de desplazamiento en los ejes que conforman el plano y uno de rotación en dirección perpendicular al plano.

El robot diseñado en este documento, sin embargo, posee únicamente 2 grados de libertad, dichos grados de libertad del robot son mostrados en la Figura 2.19 los mismos que representan avance en la dirección tangencial de las ruedas y rotación al eje del plano de la horizontal, véase Figura 2.19



**Figura 2.19.-Modelo del Remolcador**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

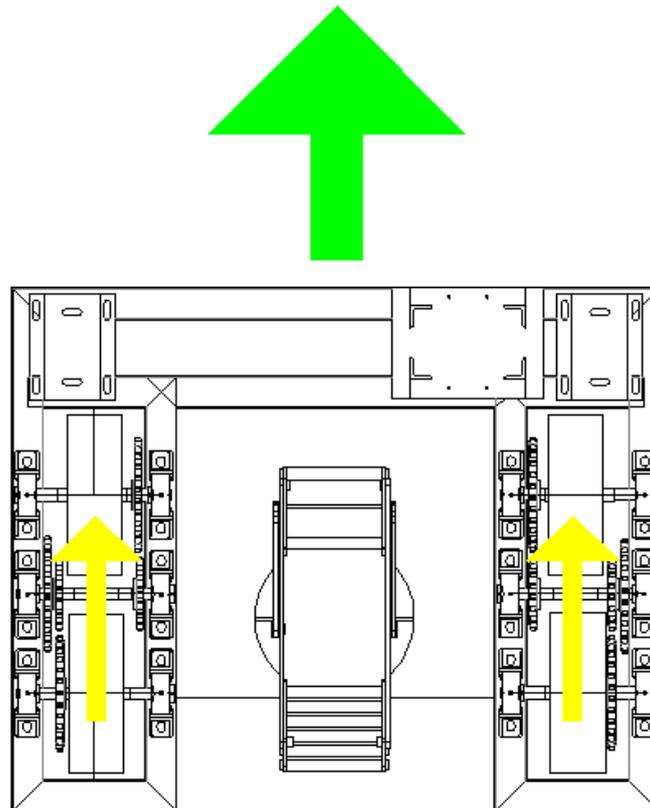
El mismo es capaz de realizar los 8 movimientos indicados anteriormente en la tabla 2.4. A continuación se explican dichos movimientos indicando la velocidad de cada costado del robot y el movimiento consecuente:

Los voltajes de entrada indicados en la tabla 2.4, conlleva a tener velocidades de 3km/h para las entradas de 12 voltios y de 0km/h para las entradas de 0

voltios. En esta sección se representarán las velocidades de 3km/h con una saeta amarilla. El movimiento resultante en el robot se representa a su vez con el color verde, este puede representar rotación o movimiento en una sola dirección. En caso de que el movimiento sea algún giro. Se muestra el centro de rotación con las siglas CR.

#### 2.4.1. Adelante

Ambos costados tienen la misma dirección de avance a la parte frontal del robot, resultando en el avance del robot (véase figura 2.20). La importancia de este movimiento radica en que gracias al mismo se podrá realizar la mayor parte del proceso de traslación. Para facilidad del operario la traslación se dará en línea recta solo recurriendo a giros en caso de ser necesario.



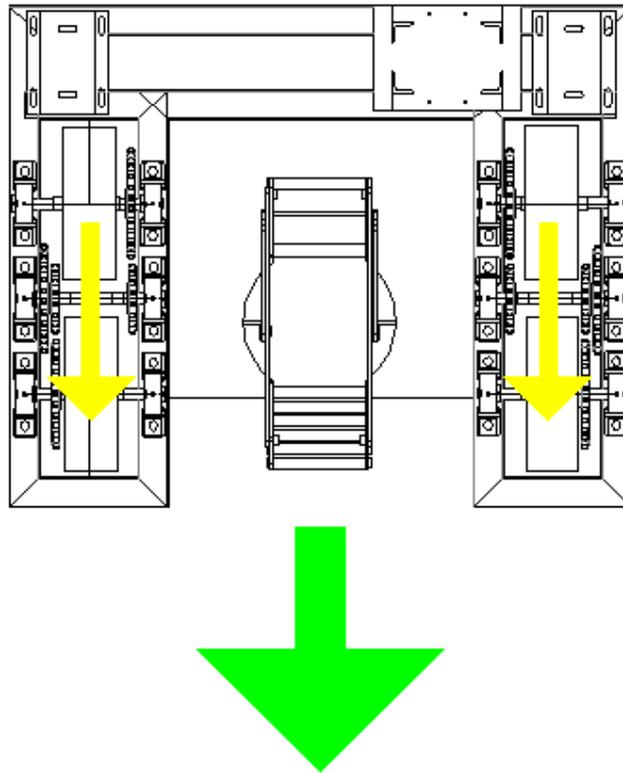
**Figura 2.20.-Movimiento “adelante” del robot**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

### 2.4.2. Atrás

Ambos costados tienen la misma dirección de avance a la parte posterior del robot, resultando en el retroceso del robot (véase Figura 2.21).



**Figura 2.21.-Movimiento "atras" del robot**

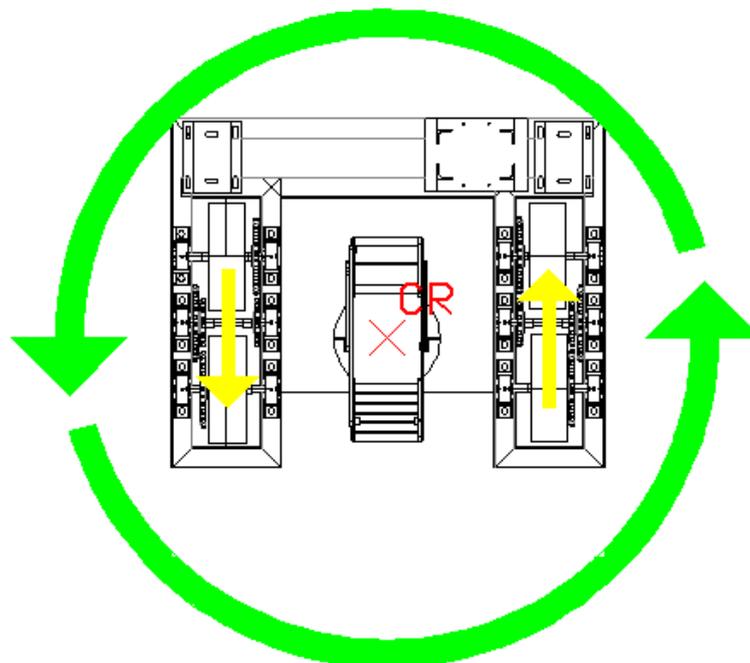
Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Este movimiento resulta fundamental en el proceso de anclaje del tren delantero del mismo. Con este movimiento se permite al tren delantero, subir por la rampa del seguro del robot.

### 2.4.3. Giro anti horario

En este caso las ruedas del lado izquierdo se dirigen hacia atrás y las del lado derecho hacia delante, resultando en un giro anti horario respecto al centro del robot (véase Figura 2.22). Este giro sobre su propio eje permite la correcta alineación del robot respecto al tren delantero durante el proceso de acople. Además, permite mayor maniobrabilidad durante el remolcado del robot. De esta forma el robot podrá moverse con mayor libertad en pista y maniobrar con precisión en espacios cerrados, como lo sería en el hangar.



**Figura 2.22.-Movimiento "Giro anti horario" del robot**

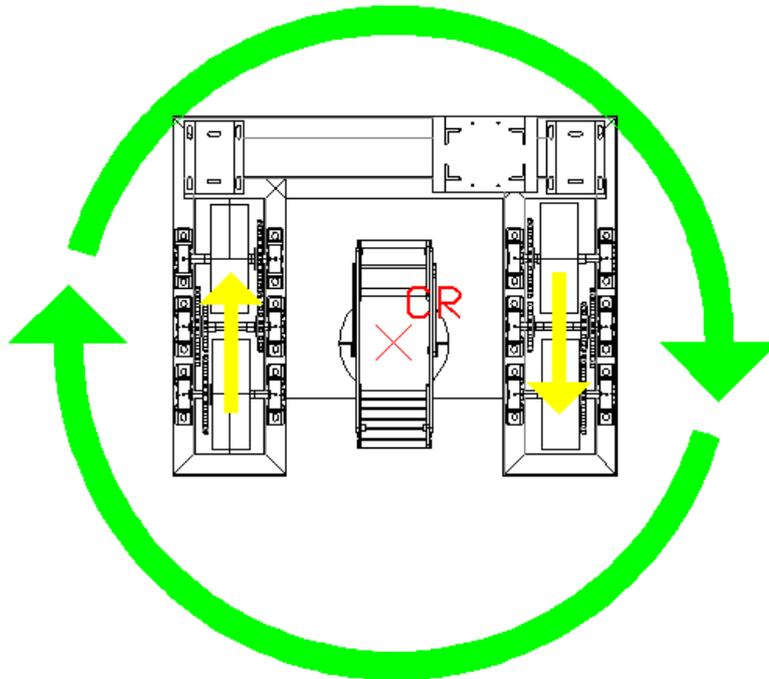
Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Este giro sobre su propio eje permite la correcta alineación del robot respecto al tren delantero durante el proceso de acople. Además, permite mayor maniobrabilidad durante el remolcado del robot. De esta forma el robot podrá moverse con mayor libertad en pista y maniobrar con precisión en espacios cerrados, como lo sería en el hangar.

#### 2.4.4. Giro horario.

En este caso las ruedas del lado izquierdo se dirigen hacia delante y las del lado derecho hacia atrás, resultando en un giro horario respecto al centro del robot. (véase Figura 2.23).



**Figura 2.23.-Movimiento "Giro horario " del robot**

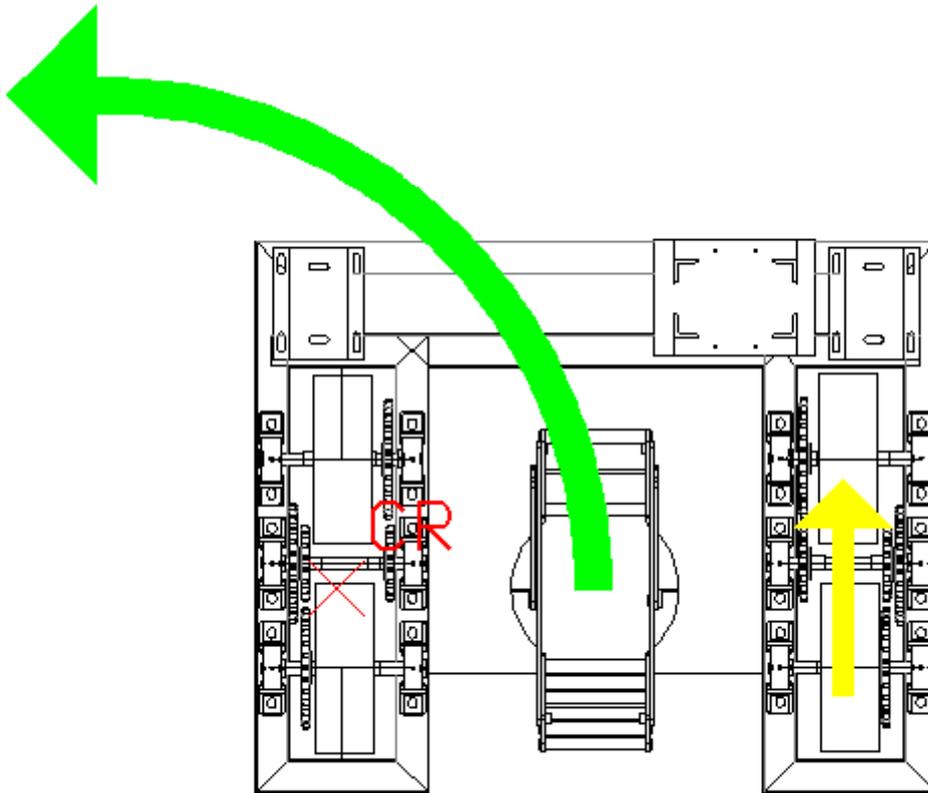
Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Este giro sobre su propio eje permite la correcta alineación del robot respecto al tren delantero durante el proceso de acople. Además, permite mayor maniobrabilidad durante el remolcado del robot. De esta forma el robot podrá moverse con mayor libertad en pista y maniobrar con precisión en espacios cerrados, como lo sería en el hangar.

### 2.4.5. Curva a la izquierda

En este caso únicamente se mueven las ruedas del lado derecho hacia delante, resultando en un giro en sentido anti horario respecto al punto medio entre las ruedas del lado izquierdo del robot, (véase Figura 2.24).



**Figura 2.24.-Movimiento "Giro horario " del robot**

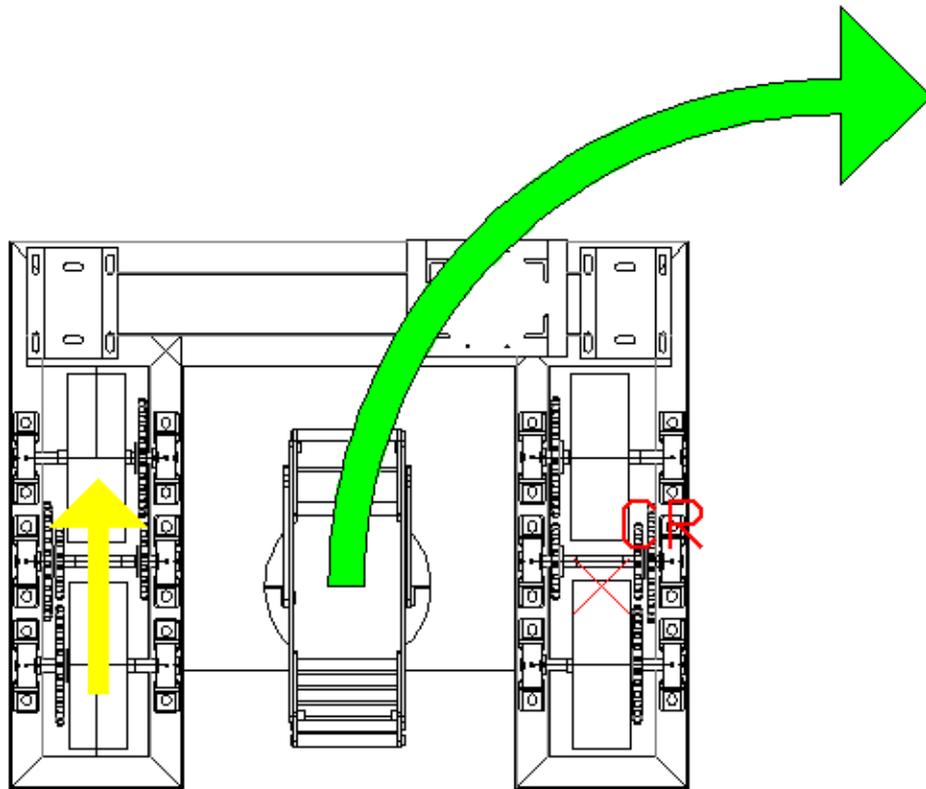
Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Este movimiento permite la alineación del robot respecto al tren delantero durante el proceso de acople. Pero principalmente contribuye a la maniobrabilidad durante el remolcado del robot. De esta forma el robot podrá moverse con mayor libertad en pista, con movimientos rápidos en giros que no necesitan tanta precisión de parte del operador.

#### 2.4.6. Curva a la derecha

En este caso únicamente se mueven las ruedas del lado izquierdo hacia delante, resultando en un giro en sentido horario respecto al punto medio entre las ruedas del lado derecho del robot (véase Figura 2.25).



**Figura 2.25.-Movimiento "Curva a la derecha " del robot**

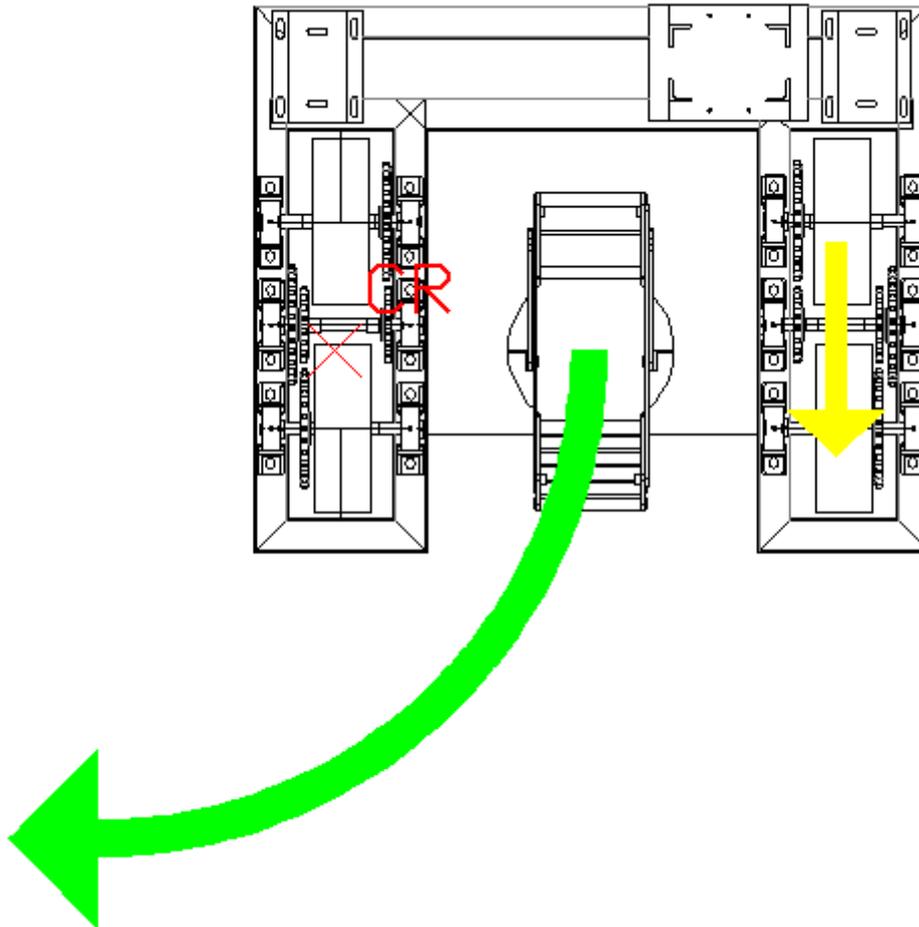
Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Este movimiento permite la alineación del robot respecto al tren delantero durante el proceso de acople. Pero principalmente contribuye a la maniobrabilidad durante el remolcado del robot. De esta forma el robot podrá moverse con mayor libertad en pista, con movimientos rápidos en giros que no necesitan tanta precisión de parte del operador.

### 2.4.7. Curva a la izquierda hacia atrás

En este caso únicamente se mueven las ruedas del lado derecho hacia atrás, resultando en un giro en sentido horario respecto al punto medio entre las ruedas del lado izquierdo del robot (véase Figura 2.26).



**Figura 2.26.-Movimiento “Curva a la izquierda hacia atrás” del robot**

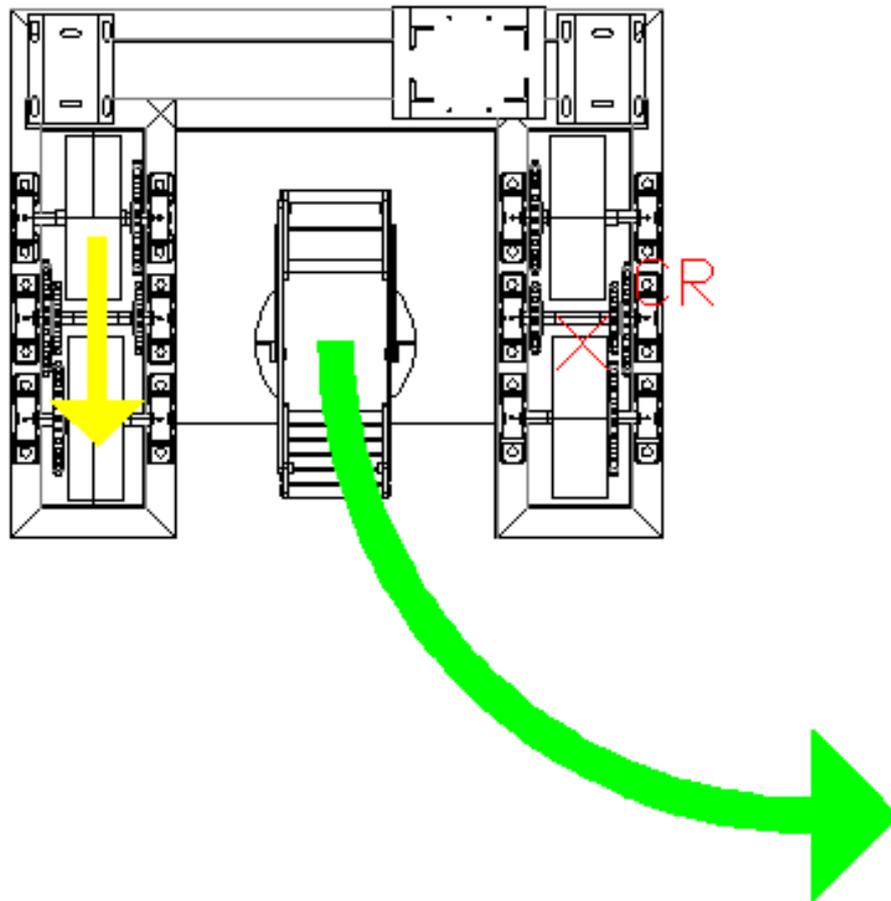
Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Este movimiento permite la alineación del robot respecto al tren delantero durante el proceso de acople. Pero principalmente contribuye a la maniobrabilidad durante el remolcado del robot. De esta forma el robot podrá moverse con mayor libertad en pista, con movimientos rápidos en giros que no necesitan tanta precisión de parte del operador.

#### 2.4.8. Curva a la derecha hacia atrás

En este caso únicamente se mueven las ruedas del lado izquierdo hacia atrás, resultando en un giro en sentido anti horario respecto al punto medio entre las ruedas del lado derecho del robot (véase Figura 2.27).



**Figura 2.27.-Movimiento “Curva a la derecha hacia atrás” del robot.**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Este movimiento permite la alineación del robot respecto al tren delantero durante el proceso de acople. Pero principalmente contribuye a la maniobrabilidad durante el remolcado del robot. De esta forma el robot podrá moverse con mayor libertad en pista, con movimientos rápidos en giros que no necesitan tanta precisión de parte del operador.

## 2.5. Cálculo, dimensionamiento y selección de elementos.

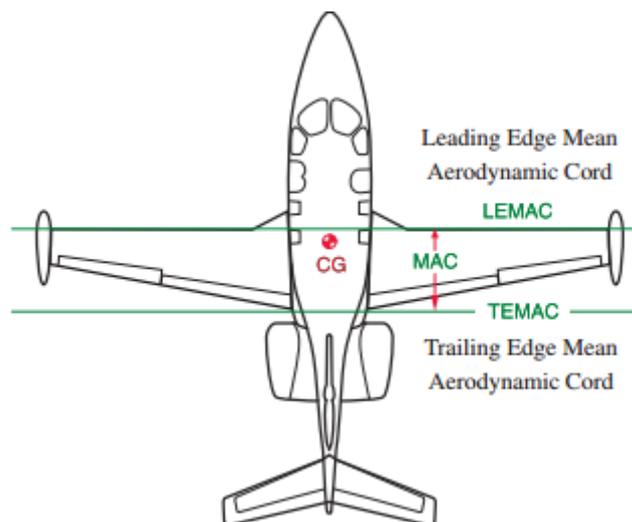
### 2.5.1. Cálculo de cargas.

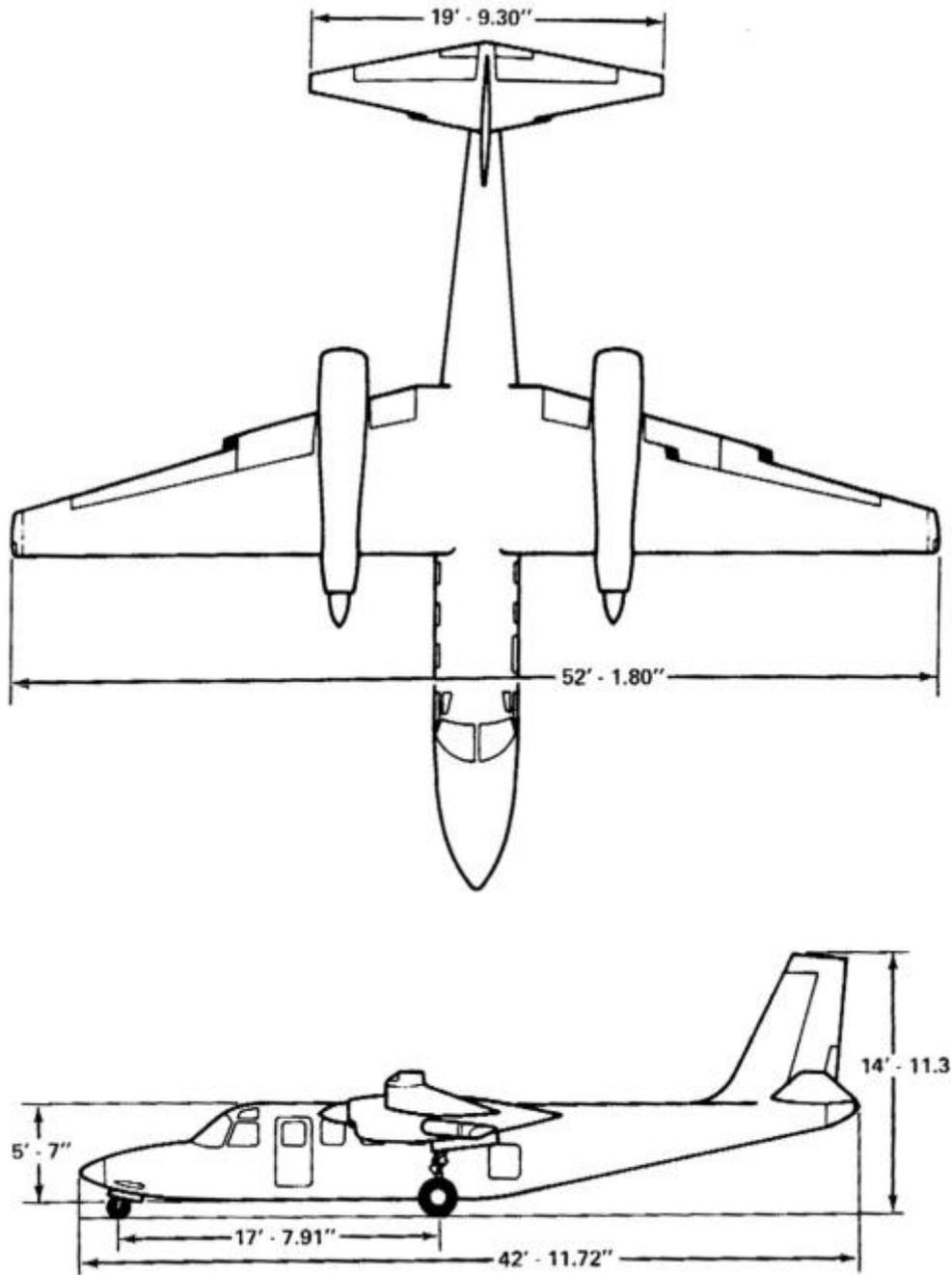
El robot deberá ser capaz de mover cualquier tipo de avioneta. Las mismas que distribuyen de forma diferente en peso que recae en cada rueda.

Como caso extremo, se ha considerado la avioneta Rockwell turbo Commander 690B, véase Figura 2.28, la misma que tiene un peso con carga de hasta 5 toneladas.

Se conoce que lo habitual en aviones o avionetas es colocar el centro de gravedad en la posición que representa el 27.4% del MAC (Mean Aerodynamic Cord) midiendo desde la parte frontal.

Ya que la avioneta tiene un MAC de 2900mm su CG estará ubicado a 794.6 mm del borde superior del ala.





**Figura 2.28.-Plano esquemático de avioneta Rockwell Turbo Commander 690b**

Fuente: Pilot operating handbook for Rockwell Turbo Commander 690b, 2014

Realizando una sumatoria de momentos en el punto A (rueda frontal):

$$\sum M_A = 0$$

$$R(5.300m) - 49000N(5.1554m) = 0'_2 \tag{1}$$

$$R'_2 = \frac{49000N(5.1554m)}{(5.300m)} = 47663.13N$$

Donde  $R_2$  representa la reacción que se ejerce en ambas ruedas trasera. Es decir que cada una de estas ruedas soportará 23831.57N ( $R_2$ ). Mientras que la llanta delantera por diagrama de cuerpo libre y sumatoria de fuerzas:

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ R_1 + R_2' - W &= 0 \\ R_1 &= W - R_2' \\ R_1 &= 49000N - 47663.13N \\ R_1 &= 1336.87N \end{aligned} \quad (2)$$

Tendrá un valor de 1336.87N

### 2.5.2. Fuerza para mover el sistema.

Los factores a tomar en cuenta para este cálculo serán resistencia al avance (o al movimiento) y aceleración deseada del sistema (avioneta- remolcador).

La **aceleración** del sistema al momento del arranque no será mayor a la propia aceleración de la avioneta, evitando así provocar fuerzas que causen algún daño en la avioneta.

La **resistencia al avance** no está definida únicamente por una sola fuerza. En vehículos con ruedas la resistencia al avance se debe principalmente a tres fuerzas: resistencia aerodinámica, resistencia de rodadura y resistencia de pendiente.

Por lo general la mayor de estas fuerzas suele ser la resistencia **aerodinámica**. El aire se opone a que el vehículo pase a través suyo en función de su forma exterior. La fuerza de la resistencia del aire depende del tamaño y forma del vehículo, de la velocidad de marcha, de la densidad del aire y de la dirección y fuerza del viento.

El cálculo de esta fuerza estará dado por la fórmula:

$$F_L = \frac{1}{2} * C_x * A * \rho * v^2 \quad (3)$$

Siendo:

- $C_x$ : coeficiente de resistencia aerodinámica
- A: superficie frontal del vehículo
- $\rho$ : densidad del aire.
- V: velocidad del vehículo
- Al aumentar la velocidad de marcha aumenta la resistencia aerodinámica al cuadrado.

Sin embargo, para el sistema esta fuerza se puede considerar despreciable, debido a:

- El cuerpo es una avioneta: los diseños de las mismas buscan reducir la resistencia aerodinámica favoreciendo fuerzas de sustentación. Esto implica un coeficiente de resistencia aerodinámica bajo.
- La velocidad de avance en el remolcado es baja: por reglamentos de la dirección de aviación civil (y por seguridad) la velocidad de rodaje debe ser una velocidad reducida. la misma que en aeropuertos ecuatorianos está establecida tácitamente en 10km/hr (2.78m/s).

Otra fuerza a tomar en cuenta será la **resistencia de pendiente**, esta dependerá de la inclinación del suelo y de la masa del vehículo. Es necesario por lo tanto una mayor fuerza a mayor pendiente.

La fuerza de resistencia de pendiente se calcula mediante la ecuación 4:

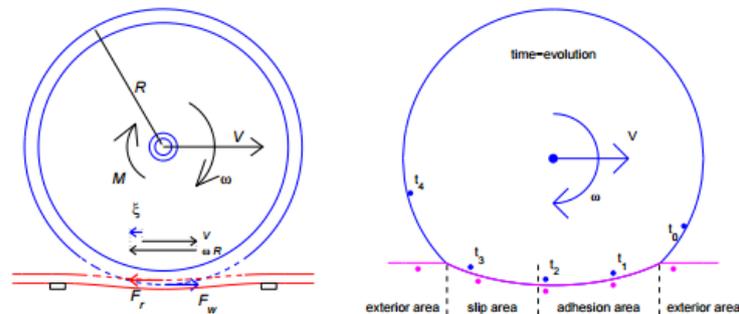
$$F_s = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad (4)$$

En casos de pendiente negativa (cuesta abajo) esta fuerza de pendiente o gravitatoria cambia de signo y deja de ser una fuerza de oposición al movimiento del vehículo para convertirse en un apoyo al esfuerzo motor del móvil.

Sin embargo, la aplicación de este robot está dirigida a su uso en hangares. Por lo que se considerara que no se presentaran pendientes que favorezcan o dificulten el avance (pendiente 0). Con lo que la resistencia a la pendiente será nula.

En la mayoría de los casos de movimientos de cuerpos, la fricción suele ser aquella que se opone al movimiento. Pero en cuerpos con ruedas la fricción es

más bien aquella que permite rodar al neumático y evita que el cuerpo patine. Bajo esta consideración la única fuerza que se da en las ruedas y a su vez se opone al movimiento es la **resistencia a la rodadura**.



**Figura 2.29.-Esquema de rodadura**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

La fórmula para calcular este valor es:

$$R_R = (f_o + f_v V^n)P \quad (5)$$

n: es un valor empírico que varía entre 2 y 2.5.

P: el peso del vehículo.

Sin embargo, para simplificación del proceso y debido a que en la mayoría de los casos resulta complicado conocer parámetros tan específicos del neumático. Se suele emplear la ecuación 4.6 en la que la rodadura está determinada por un coeficiente y por el peso del vehículo.

$$R_R = f_r P \quad (6)$$

Que para estos casos resulta ser 0.012 (Neumático- asfalto)

Cálculo de la resistencia al avance.

En una fase inicial del proceso de diseño se tomará únicamente en consideración a la avioneta. Esto debido a que no se cuenta con datos del remolcador debido precisamente a que este está siendo diseñado.

$$\sum F_x = ma$$

$$P - (R_R + R_a + R_p) = ma \quad (7)$$

Donde P será la fuerza impulsora y donde despreciamos la resistencia aerodinámica debido a que precisamente en aviones el coeficiente de resistencia aerodinámica es mínimo y a la baja velocidad a la que se moverá el avión para la que se tienen resistencias despreciables. Además, se despreciará la resistencia de pendiente debido a que el robot va a trabajar en un hangar donde el terreno es controlado y se tiene una pendiente de 0°.

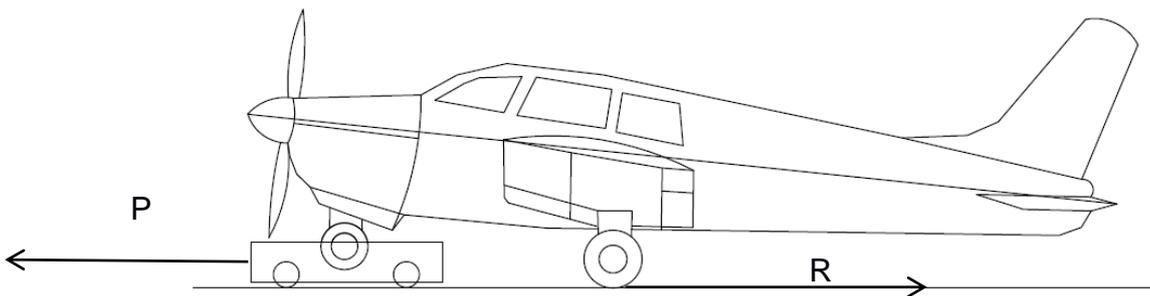
$$\begin{aligned}
 P - (R_R + R_{\text{a}} + R_{\text{p}}) &= ma \\
 P - R_R &= ma \\
 P &= ma + R_R \\
 P &= ma + f_r N
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Se calcula la normal:

$$\begin{aligned}
 \sum F_x &= 0 \\
 N - W &= 0 \\
 N &= W
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

Obteniendo:

$$\begin{aligned}
 P &= ma + f_r mg \\
 P &= 5000kg \frac{0.84m/s}{3s} + 0.012(5000kg)9.8m/s^2 = 1988N
 \end{aligned}
 \tag{10}$$



**Figura 2.30.-Esquema de fuerzas que actúa sobre la avioneta**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

### 2.5.3. Cálculo de la potencia

Basados en las cargas ya conocidas, procedemos a calcular por medio de la ecuación 11 la potencia necesaria para mover el robot:

$$P_o = P * V \quad (11)$$
$$P_o = 1988N * \frac{0.84m}{s} = 1669.92W = 1.135Hp$$

Dónde:

Po: es la potencia necesaria para mover el robot.

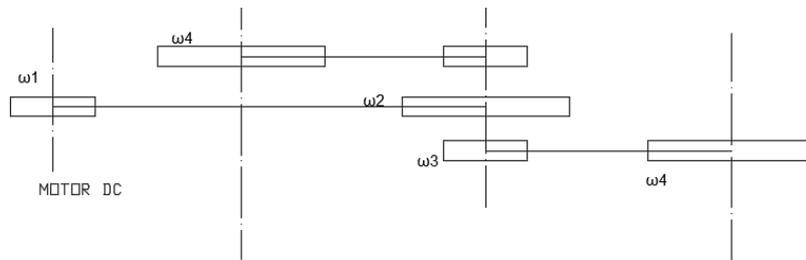
P: fuerza necesaria para mover el robot

V: velocidad a la que deseamos que se mueva el robot.

Cálculo para seleccionar motor:

Para una correcta selección del motor es necesario conocer la potencia que el mismo deberá realizar. Para esta selección no se deberá tomar en cuenta directamente la potencia calculada con la ecuación 4.11 ya que esta no toma en cuenta las posibles pérdidas que se tendrán por la transmisión mecánica.

La figura 2.20 nos muestra un esquema del sistema de transmisión que emplearemos, en el mismo notamos que el motor y cada rueda se conectan por un sistema de cadenas en 2 fases.



**Figura 2.31.-Esquema de transmisión de movimiento**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Vemos que el rendimiento de las cadenas es considerablemente alto variando entre 0.9 y 0.96 (tabla 2.5)

**Tabla 2.5.-Rendimientos de sistemas de transmisión de potencia**

Tipo de Transmisión	Condiciones particulares	Rendimiento ( $\eta$ )
Cable	Cojinetes de fundición o rodamientos	0,91 – 0,95
Correas trapezoidales	Tensión normal de correa	0,88 – 0,93
Bandas de Plástico	Tensión normal de la banda	0,81 – 0,85
Bandas de goma	Sobre rodillos con cojinetes de rodamientos y tensión normal de banda	0,81 – 0,85
Cadenas	Con cojinetes rodamientos	0,9 – 0,96
Transmisiones de 3 etapas a engranajes	Engranajes cilíndricos montados en carcasa total sobre rodamientos	0,94 – 0,97

Fuente: Universidad de Buenos Aires, 2012

De esto obtenemos que:

$$P_o = P_{mo} * \eta_1 * \eta_2 \quad (12)$$

Dónde:

- $P_{mo}$  es la potencia requerida del motor.
- $P_o$  la potencia requerida para mover el sistema.
- $\eta_1$  y  $\eta_2$  rendimiento de las cadenas.

$$P_{mo} = \frac{1669.92W}{0.92 * 0.92} = 1972.96Watts$$

Sin embargo, esta potencia debe ser suministrada por 2 motores (uno para cada lado del robot) por lo que en realidad la potencia necesaria de cada motor resulta ser 986.48Watts.

Seleccionamos el motor NPC T74 Motor (Véase Figura 2.32). El mismo presenta las características necesarias para funcionar ante los requerimientos planteados. Dichas características se detallan en la Figura 2.33.



**Figura 2.32.-Motor NPC T74.**

Fuente: Robot Market Place

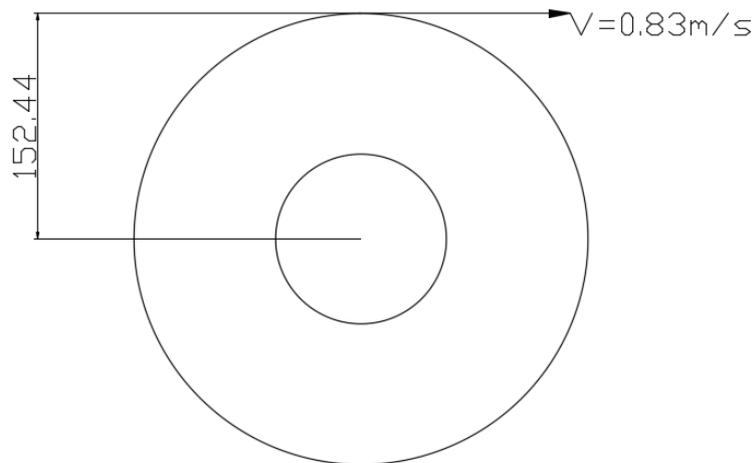
Dynamometer Test Results			
Torque in In-Lbs	Amps	RPM	HP
26	9.2	248	.11
101	18.5	235	.38
228	28.6	219	.80
301	43.3	205	.98
396	55.6	189	1.19
507	68.4	173	1.39
591	84.2	157	1.47
702	95.5	141	1.57
833	107.5	125	1.66
914	123.5	109	1.58
1030	135.4	93	1.53
1112	148.9	77	1.36
1214	161.6	59	1.13
1480	210	Stall	

**Figura 2.33.-características de rendimiento del motor NPC T74**

Fuente: Robot market place

#### 2.5.4. Mecanismo de transmisión de movimiento.

Para diseñar el sistema de transmisión de movimiento, se necesita la velocidad de rotación (rpm) que entrega el motor y la velocidad de rotación que necesitan las ruedas para mover el conjunto robot-avioneta. Como se mencionó en el cálculo para seleccionar el motor, véase ecuación 11, la velocidad de traslación del robot va a ser de 3Km/h y el diámetro comercial de la rueda es de 304.8mm. Véase Figura 2.23.



**Figura 2.34.-Esquema de rueda del robot**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Se desea obtener el valor de la velocidad angular de la rueda, se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$v = \omega r \quad (13)$$

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$\omega = \frac{0.83}{0.1524}$$

$$\omega = 5.44 \text{ rad/s}$$

Para fines de cálculo, se convierte este resultado por medio de la siguiente expresión:

$$5.44 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} \times \frac{60 \text{ s}}{\text{min}} = 52 \text{ rpm}$$

Como la relación de transmisión es pequeña, se puede seleccionar un sistema de reducción diferente a una caja reductora por engranajes. Se ha seleccionado un sistema de transmisión por catalina y cadena, donde es necesario obtener el número de dientes de las catalinas y por defecto seleccionar el tipo de cadena para el tipo de trabajo que se desea realizar.

Según fabricantes del sistema antes mencionado, indican que, para el piñón o catalina más pequeño, se elige una catalina que tenga 17 dientes, entonces la relación de transmisión estará dada de la siguiente manera.

Por el número de revoluciones por minuto

$$i = \frac{\text{rpmEntrada}}{\text{rpmSalida}} \quad (14)$$

$$i = \frac{141}{52}$$

$$i = 2.71$$

Se requieren dos etapas en la transmisión, ya que del motor debe repartir el movimiento a las dos ruedas con su respectiva reducción de velocidades. Para aquello, se procede por medio de la siguiente expresión:

$$i' = \sqrt{2.71}$$

$$i' = 1.64$$

Esto quiere decir, que por cada etapa se va a reducir la velocidad en 1.64 hasta llegar a obtener la velocidad deseada en la rueda. Una vez obtenido la relación de transmisión por cada etapa, se procede a obtener el número de dientes en la rueda conducida, recuerde que la rueda conductora tiene 17 dientes.

$$i' = \frac{\text{\#de dientes de rueda conducida}}{\text{\#de dientes de rueda conductora}} \quad (15)$$

$$i' = \frac{z2}{z1} = 1.64$$

$$z2 = 1.64 * z1$$

$$z2 = 1.64 * 17$$

$$z2 = 28 \text{ dientes}$$

En el mercado nacional, existe este tipo de catalina con este número de dientes, como la siguiente rueda se encuentra en el mismo eje que la primera rueda conducida, se toma el mismo número de dientes y se puede comprobar que la relación de transmisión se cumple por medio de la relación de velocidades.

$$i = \frac{rpmconductor}{rpmconducida} \quad (16)$$

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = 1.64$$

$$\frac{\omega_1}{1.64} = \omega_2$$

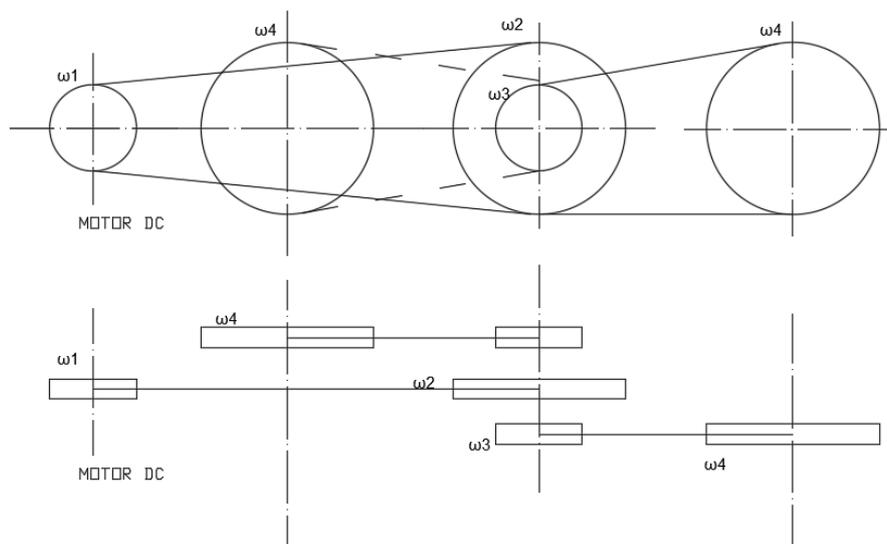
$$\omega_2 = \frac{141}{1.64} = 86rpm$$

$$\omega_2 = \omega_3$$

Y

$$\omega_4 = \frac{\omega_3}{1.64} = 52rpm$$

Se puede verificar que  $\omega_4$  es el valor de revoluciones por minuto requerida en la rueda como se puede observar en el esquema de la Figura 2.35.



**Figura 2.35.-Esquema de transmisión de movimiento**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

#### 2.5.4.1. Selección de cadena

Para seleccionar la cadena adecuada para cumplir el trabajo propuesto, el fabricante de las cadenas sugiere realizar el siguiente cálculo para obtener el

tipo de cadena. Como se observa en la Figura 2.16 que se requiere 3 cadenas para el sistema de transmisión de movimiento.

Potencia de selección:

$$Potselección = f1xf2xP \quad (17)$$

Factor de aplicación de carga  $f1$ :

$$f1 = 1$$

Factor de diente  $f2$ :

$$f2 = 1.27$$

Potencia a transmitir  $P$ :

$$P = 0.95KW$$

$$Potselección = 1x1.27x0.95$$

$$Potselección = 1.20KW$$

Con el valor de potencia de selección, se puede observar en el catálogo del fabricante, que la cadena que resiste este tipo de trabajo es: ANSI 60 con un paso de 19.05mm. (Renold plc., 2011) Indica que este tipo de cadena tiene 15000 horas de trabajo, véase en apéndice A

Para obtener la longitud de la cadena se usa la siguiente expresión en sistema inglés:

$$\frac{L}{P} = \frac{2C}{P} + \frac{N1 + N2}{2} + \frac{(N2 - N1)^2}{4\pi^2 \frac{C}{P}} \quad (18)$$

Donde:

L: longitud de la cadena.

P: número de paso.

N1: número de dientes de la rueda conductora.

N2: número de dientes de la rueda conducida.

C: distancia de centro a centro.

$$\frac{L}{0.75} = \frac{2x19.69}{0.75} + \frac{17 + 28}{2} + \frac{(28 - 17)^2}{4\pi^2 \frac{19.69}{0.75}}$$

$$L = 1430.78 \text{ mm}$$

Para la segunda y tercera cadena, solo varía el valor de la distancia entre centros, el valor de  $C = 9.84$  pulgadas.

$$\frac{L}{0.75} = \frac{2 \times 9.84}{0.75} + \frac{17 + 28}{2} + \frac{(28 - 17)^2}{4\pi^2 \frac{9.84}{0.75}}$$

$$L = 931.92 \text{ mm}$$

#### 2.5.4.2. Selección de catalina

Con los valores obtenidos en la selección de la cadena ahora se conoce el paso entre dientes. Esto quiere decir que se necesita una catalina de 17 dientes con número de paso de 19.05 mm y otra catalina de 28 dientes del mismo número de paso.

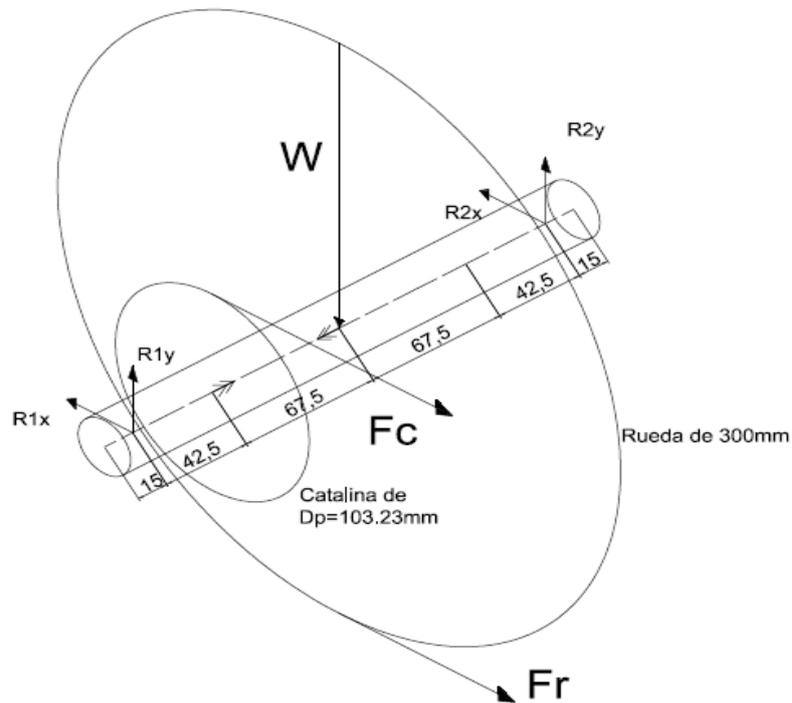
#### 2.5.5. Cálculo de diseño de eje

Para el diseño del eje será necesario encontrar aquellas cargas a las que estará sometido el mismo. Separando aquellas que actúan en el eje de las X y aquellas que actúan en el eje de las Y.

En el eje de las Y tenemos "P" que será un cuarto de la carga de la llanta delantera del avión fuerza que se manifestará en las 4 ruedas del robot. Además, existirán reacciones en ambas chumaceras ( $R_{1y}$  y  $R_{2y}$ ).

En el eje de las X tenemos "Fr" que representa la fuerza de fricción necesaria para mover el robot; "Fc" representa la fuerza que la cadena transmite al eje para moverlo, y finalmente existirán reacciones en ambas chumaceras ( $R_{1x}$  y  $R_{2x}$ ).

Tenemos además el torque presente entre la cadena y la rueda, véase el diagrama de cuerpo libre en la Figura 2.36.



**Figura 2.36.-Diagrama de cuerpo libre de eje de rueda**

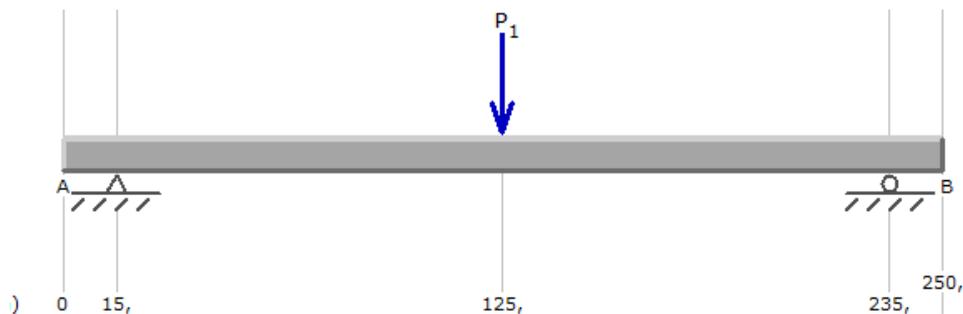
Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Para proseguir con el diseño del mismo debemos realizar un análisis en el plano X-Z y otro en él y-z. Para identificar en cada uno el punto o puntos que consideremos críticos.

En el plano Y-Z: la carga que actúa sobre la rueda es un cuarto de la carga ejercida del tren delantero de la avioneta. Y anteriormente se ha obtenido que la carga en la rueda delantera es de 16500N; es decir que en cada rueda tendremos 4125N.

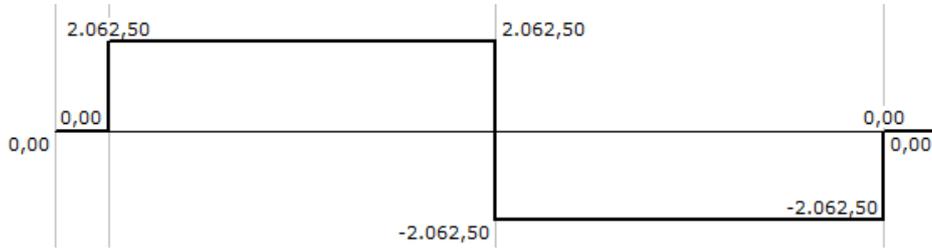
A partir del diagrama de cuerpo libre, véase Figura 2.36:



**Figura 2.37.-Diagrama de Cuerpo Libre del Eje**

Fuente: Freire-Rubio,2016

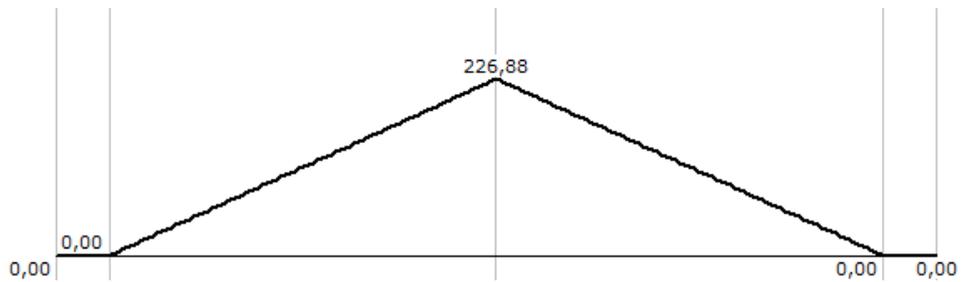
Elaboración Propia



**Figura 2.38.-Diagrama de Cortante**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia



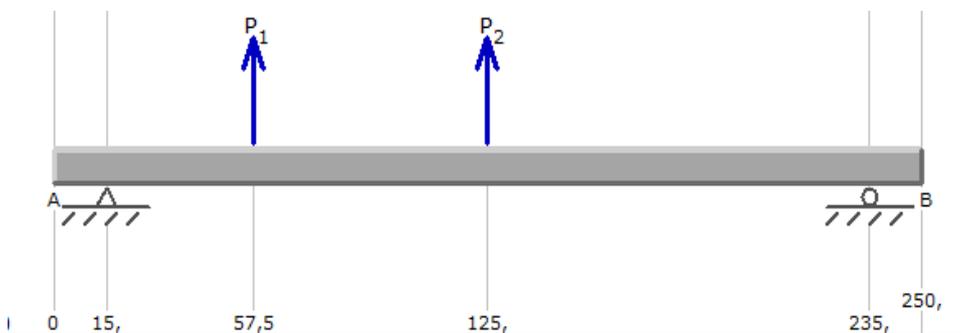
**Figura 2.39.-Diagrama de Momento flector**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

En el plano X-Z: se conoce la fuerza de tracción en la llanta, la misma que será un cuarto de la necesaria para mover la avioneta (debido a que esta tracción vendrá de las 4 ruedas). Además, se considera la fuerza que la cadena ejercerá en la catalina para mover el eje.

A partir del diagrama de cuerpo libre:



**Figura 2.40.-Diagrama de Cuerpo Libre del Eje**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

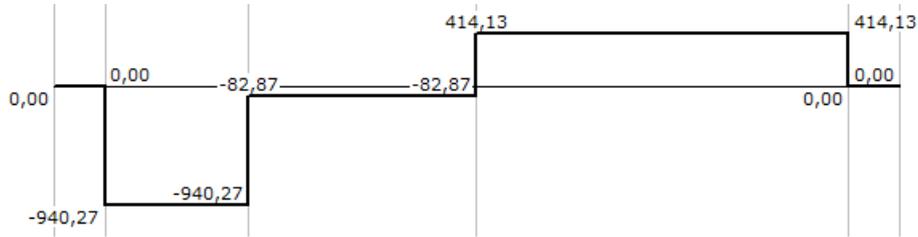


Figura 2.41.-Diagrama de Cortante

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

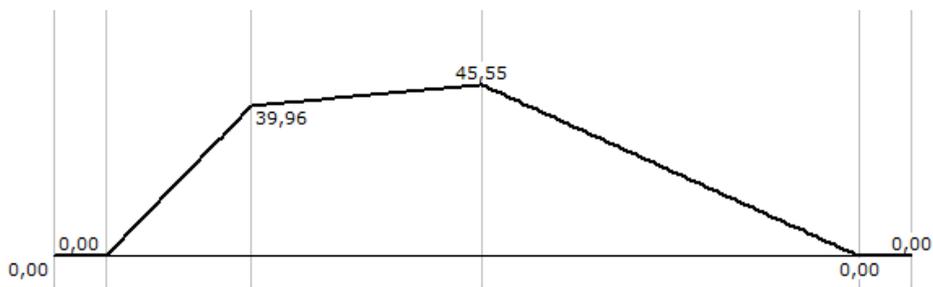


Figura 2.42.-Diagrama de Momento flector

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Considerando estos probables puntos críticos, calculamos:

Momento en la cadena:

$$M_c = \sqrt{M_{cx}^2 + M_{cy}^2} \quad (19)$$
$$\sqrt{87.66Nm^2 + 39.96Nm^2} = 96.34Nm$$

Momento en la rueda:

$$M_r = \sqrt{M_{rx}^2 + M_{ry}^2} \quad (20)$$
$$\sqrt{226.88Nm^2 + 45.55Nm^2} = 231.41Nm$$

Para obtener el valor del diámetro del eje de la rueda, se seleccionó el acero AISI 3140 el mismo que presenta las siguientes características, véase Figura 2.43:

Tipo de acero	Resistencia a la fluencia, Sy, (kpsi)	Resistencia a la fluencia, Sy, (Pa=N/m <sup>2</sup> )	Resistencia última, Su, (kpsi)	Resistencia última, Su, (Pa=N/m <sup>2</sup> )	Dureza Brinell, HB,	Limete de fatiga superficial (Pa=N/m <sup>2</sup> )	Limite de fatiga, Sf (Pa=N/m <sup>2</sup> )
AISI 1010 HR	26	181610000	47	328295000	95	195580000	164147500
AISI 3140 HR Recocido	64	447040000	96	670560000	197	480568000	335280000
AISI 4130 CD Recocido	87	607695000	98	684530000	201	491744000	342265000
AISI 8650 HR Recocido	58	405130000	99	691515000	197	480568000	345757500
AISI 5210 HR Recocido	81	565785000	100	698500000	192	466598000	349250000

**Figura 2.43.-propiedades mecánicas del acero AISI 3140.**

Fuente: Knowledge Based Engineering

Considerando: límite de fluencia  $S_y = 422.6$  MPa y resistencia última a la tracción  $S_{ut} = 689.5$  MPa.

De la tabla 7.1 del manual de Diseño Mecánico de Shigley se asume para cálculos adicionales que  $k_t = 2.2$  y  $k_{tf} = 3.0$  ya que el eje tiene cuñero.

Empleando la ecuación 21:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (21)$$

Donde:

$k_a$ : Factor de modificación de la condición superficial.

$k_b$ : Factor de modificación del tamaño.

$k_c$ : Factor de modificación de carga.

$k_d$ : Factor de modificación de temperatura.

$k_e$ : Factor de confiabilidad.

$k_f$ : Factor de modificación de efectos varios.

$S'_e$ : Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

$S_e$ : Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de maquina en la geometría y condición de uso.

Para cálculo de  $k_a$  se emplea la ecuación 22

$$k_a = a(S_{ut})^b \quad (22)$$

$$k_a = 4.5(689.5^{-0.2651}) = 0.79$$

Factor de forma  $k_b$ :

$$k_b = 0.9$$

Límite de fatiga  $Se'$ :

$$Se' = 0.504(689.5) = 347.50 \text{ Mpa}$$

Límite de fatiga real  $Se$ :

$$Se = (0.79)(0.9)(347.50)$$

$$Se = 247.07 \text{ Mpa}$$

Factor de seguridad  $n=1.5$

El valor del momento flector máximo alternante:

$$Ma = \frac{M_{\text{máx}} - M_{\text{min}}}{2} \quad (23)$$

$$Ma = \frac{231.41 - 0}{2}$$

$$Ma = 115.705 \text{ Nm}$$

El valor del torque medio por medio de la siguiente expresión:

$$Tm = \frac{T_{\text{máx}} + T_{\text{min}}}{2} \quad (24)$$

$$Tm = \frac{75.44 + 0}{2}$$

$$Tm = 37.72 \text{ Nm}$$

Los valores de momento flector alternante y torque medio en la siguiente expresión:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16(n)}{\pi} \left( \frac{2(kfMa)}{Se} + \frac{\sqrt{3(Kfs * Tm)^2}}{Sut} \right)} \quad (25)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16(1.5)}{\pi} \left( \frac{2(2.2)(115.705)}{(247.07 * 10^6)} + \frac{\sqrt{3(3 * 37.72)^2}}{(689.5 * 10^6)} \right)}$$

$$d = 26 \text{ mm}$$

Análisis por fatiga:

$$\sigma = \frac{M * \rho}{I} \quad (26)$$

$$\sigma = \frac{M * (\frac{d}{2})}{I}$$

Momento de Inercia  $I$  y Momento polar  $J$ :

$$J = \frac{\pi d^4}{32} = \frac{\pi 0.026^4}{32} = 4.48 * 10^{-08} m^4 \quad I = \frac{J}{2} = \frac{4.48 * 10^{-08}}{2} = 2.24 * 10^{-08} m^4$$

$$\sigma = \frac{231.41 * (0.013)}{2.24 * 10^{-08}}$$

$$\sigma = 134.30 MPa$$

$$\tau = \frac{T * \rho}{J} \quad (27)$$

$$\tau_{xy} = \frac{75.44 * 0.013}{4.48 * 10^{-08}}$$

$$\tau_{xy} = 21.9 MPa$$

Esfuerzos combinados:

$$\sigma a' = kf \sqrt{\sigma a^2 + 3 * \tau a_{xy}^2} \quad (28)$$

$$\sigma a = 0$$

$$\tau a_{xy} = \frac{\tau a_{xy \max} - \tau a_{xy \min}}{2}$$

$$\tau a_{xy} = \frac{21.9 - 0}{2}$$

$$\tau a_{xy} = 10.95 MPa$$

$$\sigma a' = 2.2 \sqrt{0 + 3 * 10.95^2}$$

$$\sigma a' = 41.66 MPa$$

Esfuerzos medios:

$$\sigma m' = \sqrt{\sigma m^2 + 3 * \tau mxy^2} \quad (29)$$

$$\sigma m = \frac{\sigma max + \sigma min}{2}$$

$$\sigma m = \frac{134.30 + 0}{2}$$

$$\sigma m = 67.15 \text{ Mpa}$$

$$\tau mxy = \frac{\tau mxy máx + \tau mxy min}{2}$$

$$\tau mxy = \frac{21.9 + 0}{2}$$

$$\tau mxy = 10.95 \text{ Mpa}$$

Esfuerzo combinado medio:

$$\sigma m' = \sqrt{67.15^2 + 3 * 10.95^2}$$

$$\sigma m' = 70 \text{ Mpa}$$

Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga

Factor de carga  $ka$ :

$$ka = 4.5(Sut^{-0.2651})$$

$$ka = 4.5(689.5^{-0.2651})$$

$$ka = 0.7974$$

Factor de forma  $kb$ :

$$kb = \frac{d^{-0.107}}{7.62}$$

$$kb = \left(\frac{26}{7.62}\right)^{-0.107}$$

$$kb = 0.88$$

Factor por carga combinada  $kc=0.577$

Factor de corrección para carga combinada  $Se'$ :

$$Ssu = 0.67(689.5)$$

$$Ssu = 461.96 \text{ MPa}$$

$$Se' = 0.504(461.96)$$

$$Se' = 232.83 \text{ Mpa}$$

Límite a la fatiga, véase Ec. 21  $S_e$ :

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * S_e'$$
$$S_e = (0.80)(0.87)(0.577)(232.83)$$
$$S_e = 93.50 \text{ MPa}$$

Criterio de falla por Goodman para cargas combinadas:

$$\frac{\sigma a'}{S_e} + \frac{\sigma m'}{S_{su}} = \frac{1}{n} \quad (30)$$

$$\frac{\sigma a'}{S_e} + \frac{\sigma m'}{S_{su}} = \frac{1}{n}$$
$$\frac{41.66}{93.50} + \frac{70}{461.96} = \frac{1}{n}$$
$$n = 1.67$$

De las cual la dimensión del eje es viable para la construcción del robot.

### 2.5.6. Selección de rodamientos

Para seleccionar los rodamientos de las chumaceras, se identifican las cargas que actúan sobre él y se elige la de mayor valor. En la siguiente expresión se calcula la magnitud de las reacciones del plano xy y yz.

$$RA = \sqrt{(R1x)^2 + (R2x)^2} \quad (31)$$

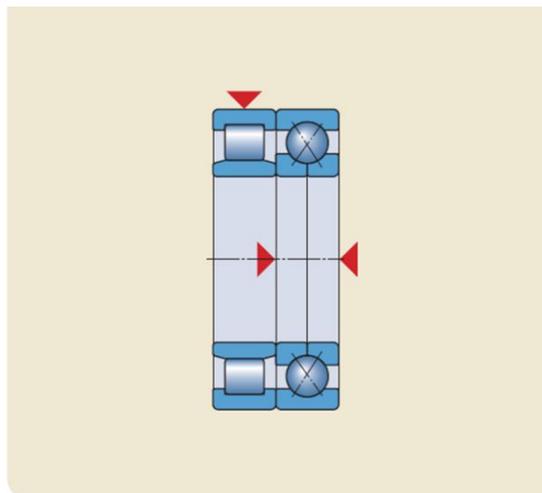
$$RA = \sqrt{(R1x)^2 + (R2x)^2}$$

$$RA = \sqrt{(2062.50)^2 + (940.27)^2} = 2266.71 \text{ N}$$

$$RB = \sqrt{(R1y)^2 + (R2y)^2}$$

$$RB = \sqrt{(2062.50)^2 + (414.13)^2} = 2103.66 \text{ N}$$

Según el catálogo de rodamientos de SKF, nos sugiere identificar el tipo de carga que está actuando sobre el rodamiento, existen dos tipos de carga que debe soportar, la primera es la fuerza axial y la segunda la fuerza radial. Para cada una de estas fuerzas, el fabricante recomienda utilizar rodamientos de bolas cuando se tiene fuerzas axiales y rodamiento de rodillos cuando la mayor parte de fuerzas son radiales; esta deferencia se debe a la superficie de contacto donde se ejercen las fuerzas antes mencionadas. Véase Figura 2.44.



**Figura 2.44.-Esquema de fuerza radial y fuerza axial en rodamiento de bolas y rodillo**

Fuente: Catálogo de rodamientos SKF

En el robot, la fuerza predominante que actúa sobre el rodamiento es del tipo radial; del cual, como primer paso en el proceso de selección, se elige un rodamiento de una hilera tipo rodillo cilíndrico. En dicho catálogo, nos da la sugerencia, sobre el tipo de ajustes y tolerancias al momento de montar el rodamiento, para mayor información véase la Figura 2.45

Condiciones de giro y carga				
Condiciones de funcionamiento	Ilustración esquemática	Condición de carga	Ejemplo	Ajustes recomendados
Aro interior rotativo		Carga rotativa en el aro interior	Ejes de transmisión por correa	Ajuste de interferencia para el aro interior
Aro exterior estacionario		Carga estacionaria en el aro exterior		Ajuste flojo para el aro exterior
Carga de sentido constante				

**Figura 2.45.-Condiciones de carga y giro**

Fuente: Catálogo de rodamientos SKF

Como siguiente paso, se procede a verificar si la carga de trabajo soporta el rodamiento; para ello, el fabricante muestra cómo se debe calcular la carga estática permisible como se muestra a continuación:

$$P_o = \text{carga dinámica equivalente del rodamiento}$$

Se lo considera como carga estática, cuando el eje rota menos que 10 rpm ( $N < 10$  rpm), los ejes de las ruedas del robot no giran más allá de 100 rpm por condición de diseño, pero aun así se lo considera como una carga dinámica. Como se asume que el rodamiento de rodillos no tiene jaula, sino que es un rodamiento libre, del cual la carga dinámica es equivalente a la fuerza radial.

$$P_o = Fr \tag{32}$$

En la siguiente expresión; el valor de la fuerza radial va a ser la reacción mayor que está actuando sobre los apoyos. Además, para obtener el valor de la carga de trabajo en la selección del rodamiento, la fuerza radial debe ser multiplicada por un factor de seguridad  $S_o$ . Este factor de seguridad está en función de las condiciones de trabajo a que va a estar sometido el rodamiento, Apéndice A tabla 11,

$$C_o = S_o * P_o$$

( 33)

Donde  $S_o$  va a ser igual a 1.5

$$C_o = 1.5 * 2.26KN$$

$$C_o = 3.40 KN$$

Con el valor obtenido de la carga estática permisible, se procede a buscar en el catálogo el tamaño del rodamiento. Para el robot remolcador, el valor del diámetro del eje es de 26mm, pero en el catálogo existe de diámetro interno las dimensiones entre 25mm y 30mm, del cual se elige el valor de 25mm, ya que también se observa la carga que va a resistir y el máximo de revoluciones por minuto que va a trabajar.

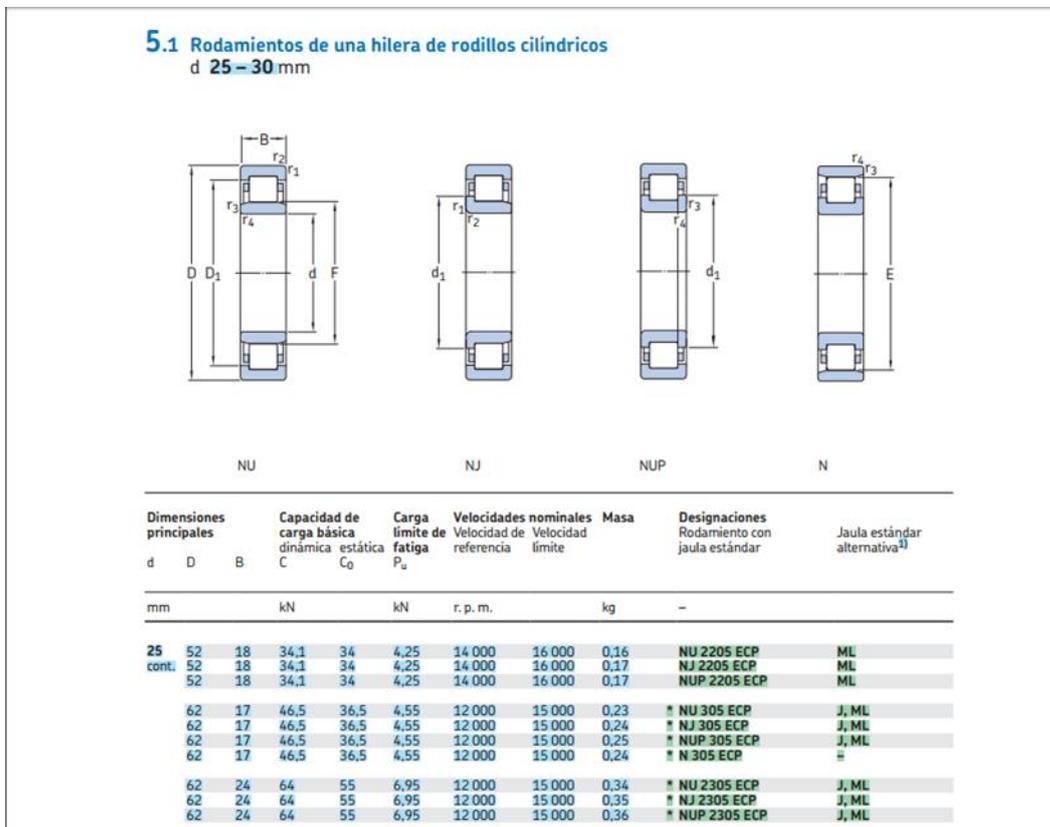
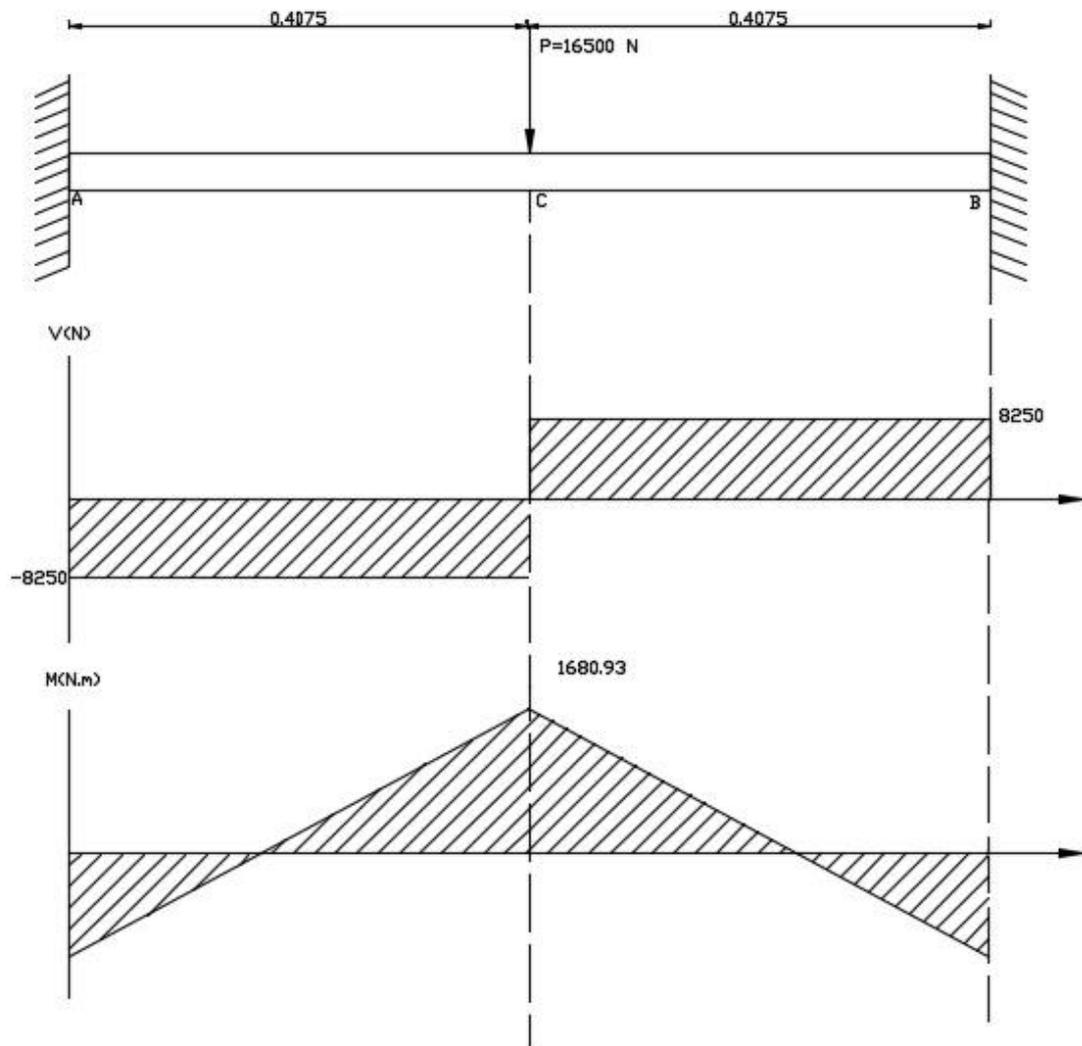


Figura 2.46.-Rodamiento de una hilera de rodillos cilíndricos

Fuente: Catálogo de rodamientos SKF

El rodamiento seleccionado es **NU2205 ECP** ya que sus características van con los requerimientos antes mencionados, véase Figura 2.46.

### 2.5.7. Diseño de plancha para soporte del tren delantero de la avioneta



**Figura 2.47.- Diagrama de cortante y momento flector**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

La plancha donde se apoya el tren delantero de la avioneta se ha considerado modelarla como una viga doblemente apoyada, véase Figura 2.47. Aunque, ésta plancha se encuentra soldada a la estructura por tres de sus caras laterales. Para poder resolver se ha tomado en cuenta que la fuerza que ejerce el tren delantero de la avioneta está situada en la mitad de la viga; según el Manual de Diseño Mecánico (Shigley, 2008) en la tabla A-9. El cortante y momento flector está dada por la siguiente expresión:

Cortante, véase Figura 2.47:

$$VAC = \frac{P}{2} \quad (34)$$

$$VAC = \frac{16500}{2} = 8250 \text{ N}$$

$$VCB = \frac{-P}{2}$$

$$VCB = \frac{-16500}{2} = -8250 \text{ N}$$

Momento Flector máximo, véase Figura 2.47:

$$MAC = \frac{-P}{8}(L - 4x) \quad (35)$$

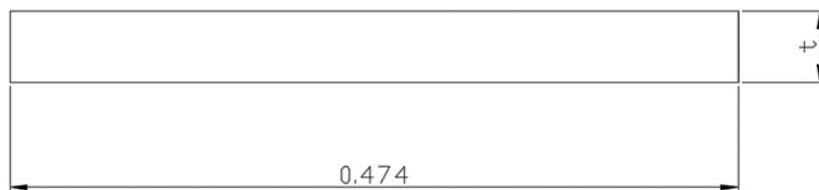
$$MAC = \frac{-16500}{8} \left( 0.815 - 4 \left( \frac{0.815}{2} \right) \right)$$

$$MAC = 1680.93 \text{ Nm}$$

Se debe obtener el espesor de la plancha, para ello lo obtiene de la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{M\rho}{I}$$

A continuación, se procede la sección transversal de la plancha:



**Figura 2.48.-Sección transversal de plancha de acero**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

El espesor de la plancha “t”, véase Figura 2.48, se encuentra por medio de la ecuación de Inercia y en la distancia del eje de la viga hacia la parte superior de la misma. De lo que se obtiene el valor del espesor de la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{M\rho}{I} \quad I = \frac{bh^3}{12} = \frac{0.474t^3}{12} \quad \rho = \frac{t}{2}$$

Tomando un factor de seguridad de 2 ya que la plancha va a estar sometida a flexión y como material, una plancha de acero A36 que existe en stock en el mercado ecuatoriano. El límite a la fluencia de este acero es:  $S_y=250$  MPa.

$$n\sigma = S_y$$

$$2 * \left( \frac{1680 * \frac{t}{2}}{\frac{0.474 * t^3}{12}} \right) = 250 * 10^6$$

$$t = \sqrt{\frac{12 * 1680.93}{0.474 * 250 * 10^6}}$$

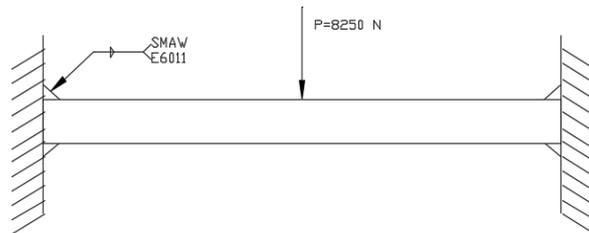
$$t = 13.04mm$$

Se selecciona una plancha de 15mm ya que es el valor de espesor más cercano a lo que hay en el mercado ecuatoriano.

### 2.5.7.1. Cálculo de soldadura entre la plancha y la estructura

Para el diseño de soldadura con el fin de unir la estructura con la plancha, se ha considerado no hacer un solo cordón, sino dos por cada lado de la plancha ya que al ser sometido a un flujo de calor constante la plancha se va a deformar debido a la presencia de esfuerzos térmicos.

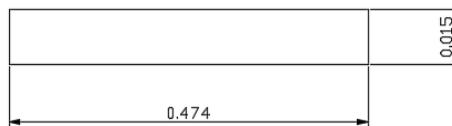
Los cordones de soldadura no soportarán toda la fuerza en la unión con la estructura, la plancha de acero va a tener apoyos donde una vez que la plancha se encuentre fija y estable se procederá a soldar, por este motivo también se decide no realizar un solo cordón a lo largo de la plancha. En la Figura 2.49 se observa que tipo soldadura se va a realizar.



**Figura 2.49.-Soldadura en la plancha de acero**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia



**Figura 2.50.- Vista transversal de la plancha de acero.**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

La unión entre la estructura y la plancha es tipo filete, según (Shigley, 2008) en la Tabla 9-6 nos sugiere utilizar un tamaño de soldadura de 6.35mm para espesores del material mayores a 12.7 mm. El tamaño mínimo de soldadura de filete será  $h=6.35\text{mm}$ .

El proceso de soldadura utilizado en este estudio es SMAW (Soldadura por Arco con Electrodo Revestido), para ello se elige el electrodo E6011 ( $S_y = 345 \text{ MPa}$  y  $S_{ut} = 427 \text{ MPa}$ ), este tipo de electrodo es utilizado para pases de raíz. Se puede decir que la soldadura entre estos elementos será garantizada ya que el material de la estructura es de acero al carbón.

Área de garganta:

$$A = 1.414h(b + d) \quad (36)$$

$$A = 1.414(0.00635)(0.4747 + 0.02)$$

$$A = 4.43 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

Segundo momento del área unitaria:

$$I_u = \frac{d^2}{6} (3b + d) \quad (37)$$

$$I_u = \frac{0.02^2}{6} (3(0.4747) + 0.02)$$

$$I_u = 9.61 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$I = 0.707hI_u \quad (38)$$

$$I = 0.707(0.00635)(9.61 * 10^{-5})$$

$$I = 4.31 * 10^{-7} \text{ m}^4$$

Esfuerzo cortante primario:

$$\tau' = \frac{V}{A} = \frac{8250}{4.43 * 10^{-3}}$$

$$\tau' = 1.85 \text{ MPa}$$

Esfuerzo cortante secundario:

$$\tau'' = \frac{M\rho}{I} = \frac{1680.93(0.01)}{4.31 * 10^{-7}}$$

$$\tau'' = 39 \text{ MPa}$$

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} \quad (39)$$

$$\tau = \sqrt{1.85^2 + 39^2}$$

$$\tau = 39.04 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{0.577Sy}{\tau} = \frac{0.577(345)}{39.04}$$

$$n = 5.09$$

De las cual la dimensión de la garganta del cordón de soldadura tipo filete es el adecuado para la construcción del robot.

## 2.5.8. Diseño de Estructura del Robot

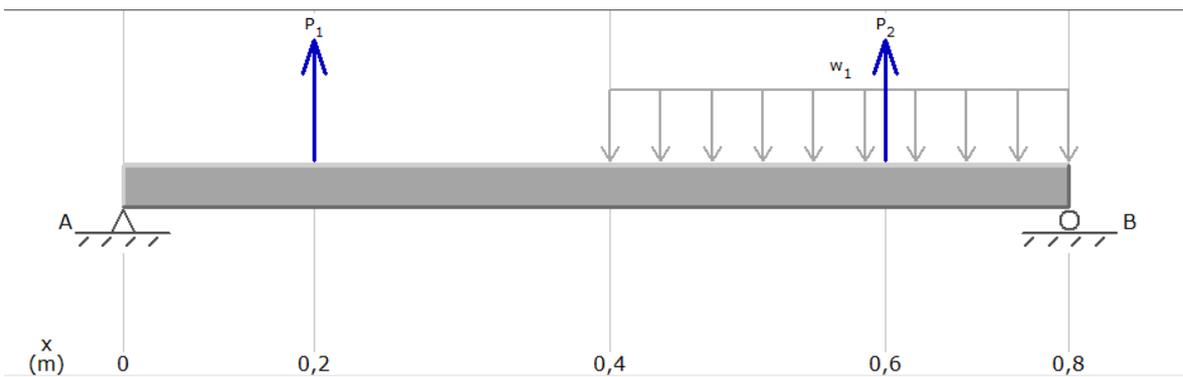


Figura 2.51.- Modelo de Viga crítica

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

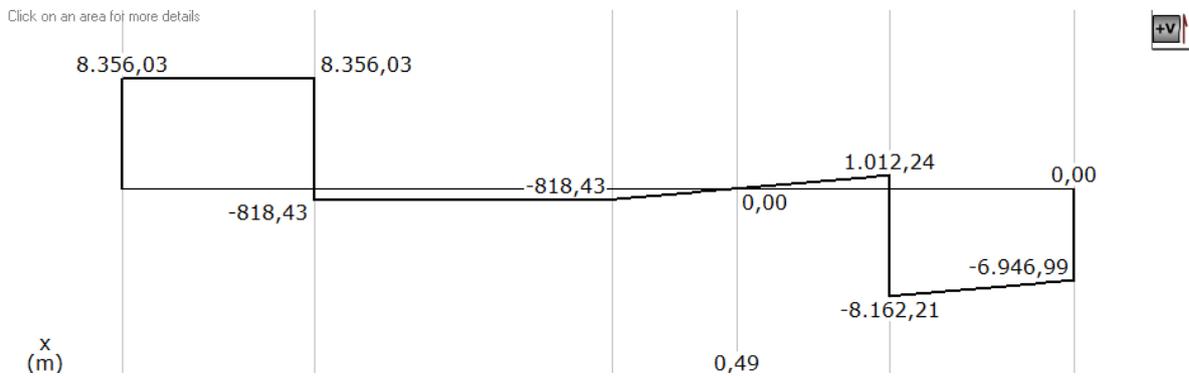


Figura 2.52.-Diagrama de cortante

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

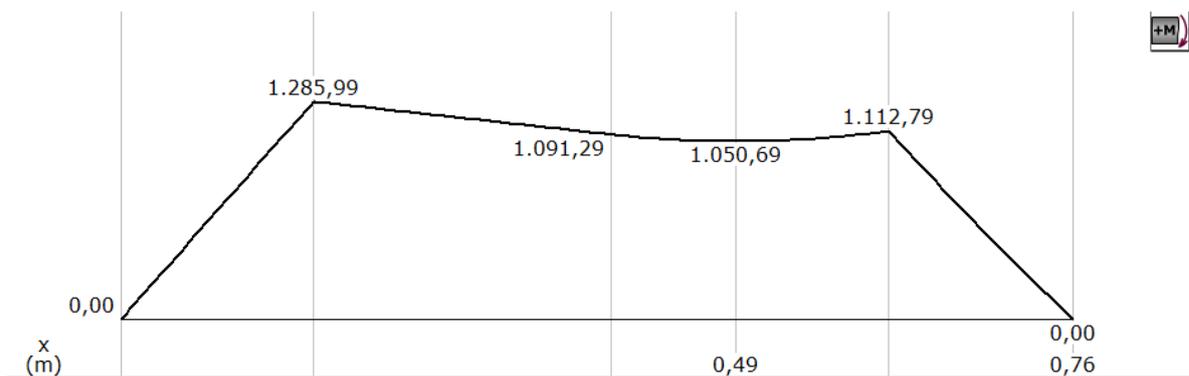


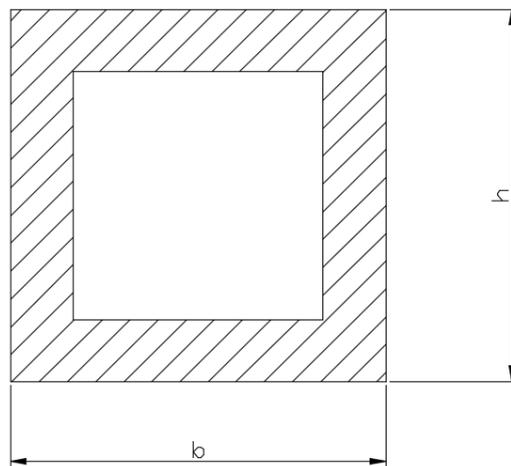
Figura 2.53.-Diagrama de momento flector

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Para seleccionar el perfil adecuado de la estructura, se obtiene el valor del momento de inercia en función del momento flector máximo, véase Figura 2.53. Una vez obtenido el momento flector, se elige el valor más cercano dentro del catálogo de un distribuidor de perfiles de acero en el país.

Se inicia; seleccionando la forma de perfil de un tubo cuadrado, ya que por su forma cerrada y bajo peso presentan un mejor comportamiento a esfuerzos de torsión y resistencia al pandeo. Véase Figura 2.54.



**Figura 2.54.-Perfil cuadrado de tubo estructural**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Se deja la ecuación de esfuerzo por flexión en función del momento de inercia, como se ve en la siguiente expresión.

$$I = \frac{bh^3}{12}; b = h$$

$$I = \frac{h^4}{12}$$

$$h = \sqrt[4]{12I}$$

Se reemplaza el valor de  $h$  dentro de la ecuación de esfuerzo por flexión ( $\sigma$ ) para finalmente obtener el valor del momento de inercia. Se utiliza un factor de seguridad ( $n$ ) igual a 2 y el valor del límite a la fluencia del acero ( $S_y$ ) ASTM 500 grado A, disponible en el mercado ecuatoriano.

$$n\sigma = S_y$$

$$n\left(\frac{M\rho}{I}\right) = S_y$$

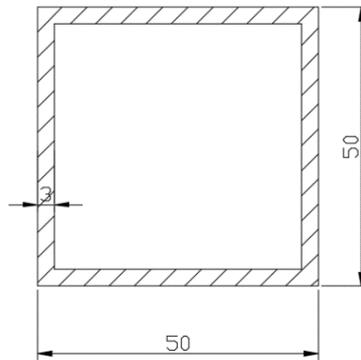
$$n \left( \frac{M \frac{h}{2}}{I} \right) = S_y$$

$$2 \left( \frac{1285.99 \frac{\sqrt[4]{12I}}{2}}{I} \right) = 270 * 10^6$$

$$I = 1.833 * 10^{-7}$$

$$I = 18.33 \text{ cm}^4$$

El valor más cercano al resultado dentro del catálogo de aceros, es  $19.50 \text{ cm}^4$  que corresponde a un tubo cuadrado de dimensiones de 50x50 mm y 3mm de espesor. Véase Figura 2.55.



**Figura 2.55.-Tubo cuadrado de 50x50x3 mm**

Fuente: Freire-Rubio,2016

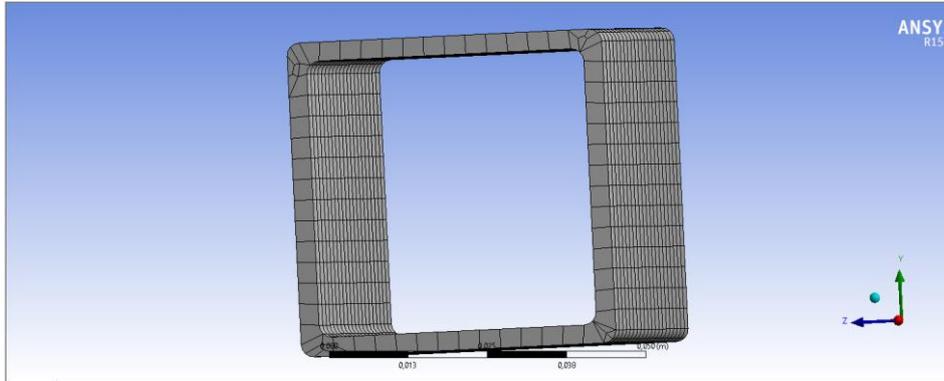
Elaboración Propia

Una vez seleccionado el perfil, se necesita saber si nuestra estructura va a resistir la carga ejercida por el peso del avión. Para ello, se recurre al método de elementos finitos con el fin observar si el modelo va a resistir o va a fallar.

Existen algunos programas que tienen la capacidad de resolver el sistema de ecuaciones generadas por el método de elementos finitos, donde el resultado es expresado mediante colores en las zonas donde se ha efectuado el análisis. La diferencia entre un programa y otro es por el número de elementos o ecuaciones que pueden resolver y por defecto en la precisión de sus resultados.

Para el análisis de la estructura del robot remolcador, se debe seleccionar un tipo de malla con relevancia alta, esto quiere decir, que debe tener un gran

número de elementos, ya que debe cubrir la mayor cantidad de superficie en el perfil estructural. En el caso del tubo estructural cuadrado debe cubrir la superficie del espesor; con menor relevancia se forman geometrías irregulares que al final de nuestro resultado puede ser incorrecto. Véase Figura 2.56.

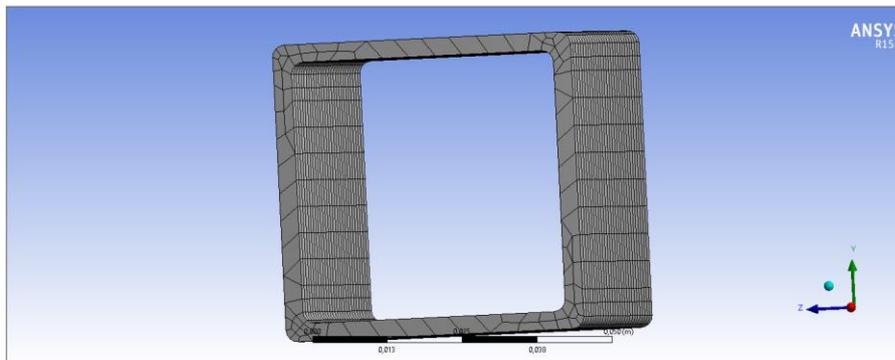


**Figura 2.56.-Relevancia baja en perfil estructural**

. Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Al aumentar la relevancia, los elementos cubren la mayor parte de la superficie del espesor y en especial la zona de las esquinas del perfil, que han sido suavizadas en su geometría para disminuir el porcentaje de error al momento de generar las ecuaciones. Véase Figura 2.57.



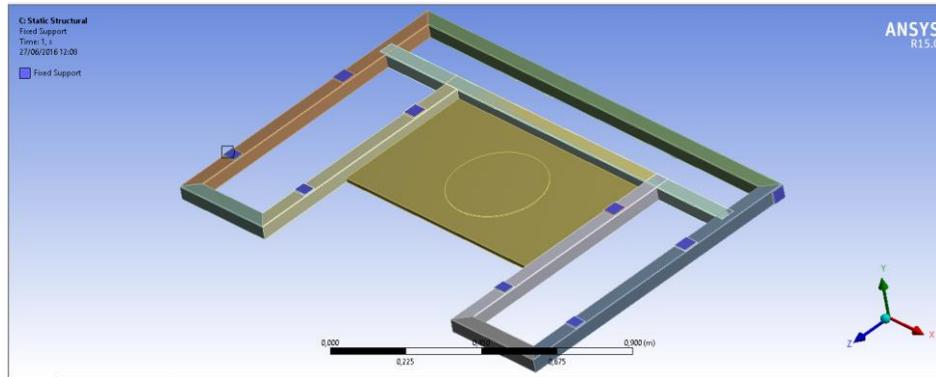
**Figura 2.57.-Relevancia alta en perfil estructural**

. Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Una vez generada la malla, se procede a ubicar los apoyos en la estructura. En el análisis se selecciona la opción de *fixed support*, esto quiere decir, que el programa simula como una viga empotrada. Sobre la estructura, se ubican estos

apoyos en cada zona, donde van apoyadas las ruedas, tanto en las ruedas principales como en la rueda locas, véase Figura 2.58.

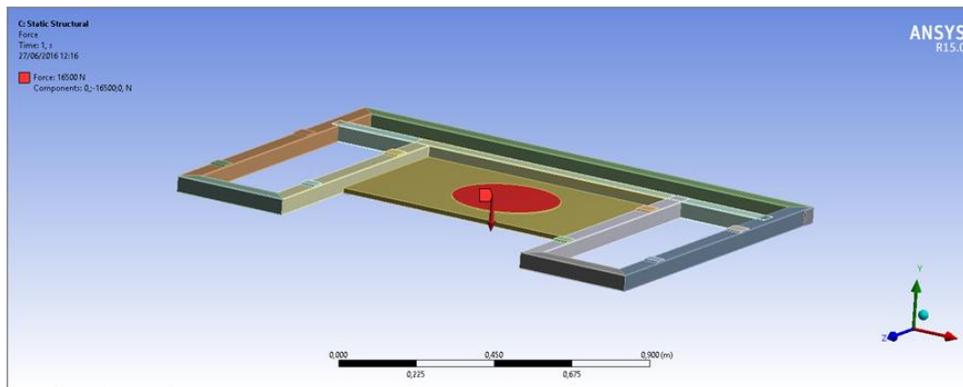


**Figura 2.58.-Apoyo fijo en estructura**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Como siguiente paso, se aplica la carga sobre el centro de masa de la estructura, este se encuentra localizado en la mitad de la plancha de acero. Para el análisis utiliza el valor de 16500 N, que corresponde a la carga ejercida por el tren delantero. Véase Figura 2.59.

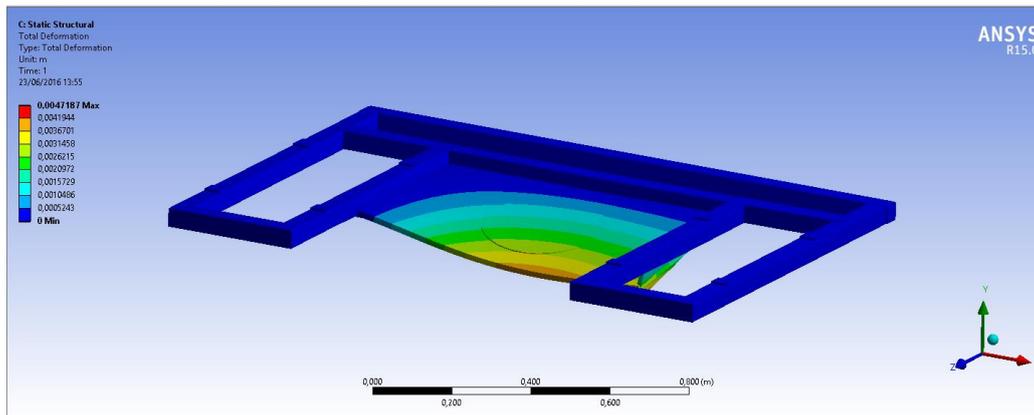


**Figura 2.59.-Aplicación de fuerza sobre la estructura**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Se desea conocer el valor del esfuerzo y deformación total y verificar si la selección del perfil anteriormente calculado resiste la carga ejercida por el tren delantero de la avioneta. En la Figura 2.60. Se observa la deformación total de la estructura.



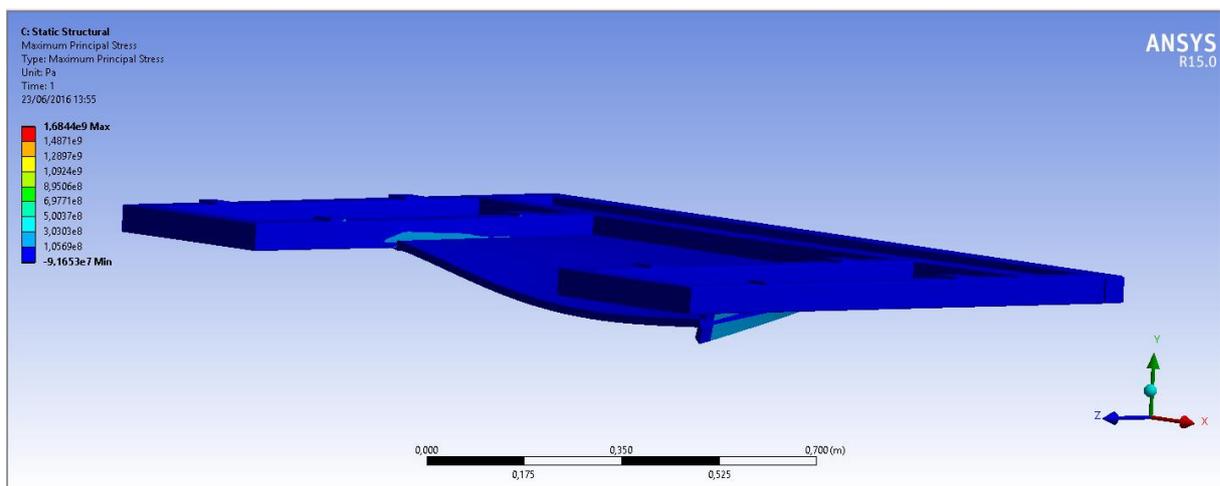
**Figura 2.60.-Deformación total de la estructura**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

También es muy importante observar los esfuerzos producidos por la carga y ver las zonas que están sometidas a esfuerzos altos para después corregir o reforzar dichas áreas, para que la estructura no falle. Como en la mayoría de los casos, las máquinas o el robot no va a encontrarse sin movimiento o un estado estático, sino que siempre va a estar en movimiento. Para ello, se certifica nuestro modelo por medio de la teoría de falla de Goodman.

Para realizar dicho análisis; se toma el valor del máximo esfuerzo, observando el color correspondiente que muestra el programa, y se reemplaza en la expresión de la teoría de falla antes mencionado. En la Figura 2.61 se observa el valor del esfuerzo máximo según la expresión para esfuerzos de Von-Mises.



**Figura 2.61.-Esfuerzo máximo**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Análisis por fatiga:

$$Se = ka * kb * kc * kd * ke * Se'$$

$$Se' = 0.504 * Sut$$

$$Se' = 0.504 * 310$$

$$Se' = 156.24$$

Factor de carga  $ka$ :

$$ka = a(Sut)^b$$

Tabla 7-5. (Shigley, 2008):

$$ka = 56.1(310)^{-0.719}$$

$$ka = 0.91$$

$$\left. \begin{array}{l} a= 56.1 \\ b=0.71 \end{array} \right\}$$

Factor de tamaño  $kb$ :

$$kb = 1.24(de)^{-0.107}$$

Donde  $de$ :

$$de = 0.808\sqrt{h * b}$$

Del perfil estructural sabemos que  $h=b=50\text{mm}$ :

$$de = 0.808\sqrt{50 * 50}$$

$$de = 40.4 \text{ mm}$$

$$kb = 1.24(40.4)^{-0.107}$$

$$kb = 0.83$$

Factor de carga  $kc$  por flexión,  $kc = 1$

Factor de temperatura  $kd$  a temperatura ambiente,  $kd = 1$

Factor de efectos diversos  $ke = 1$

$$Se = 0.91 * 0.83 * 156.24$$

$$Se = 118 \text{ MPa}$$

Del resultado del programa se obtiene el valor del esfuerzo máximo:

$$\sigma_{\text{máx}} = 105.69 \text{ Mpa}$$

Los esfuerzos medios y alternantes son:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2}$$

$$\sigma_a = \frac{105.69 - 0}{2}$$

$$\sigma_a = 52.84 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_a = \sigma_m = 52.84 \text{ Mpa}$$

Aplicando Goodman:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

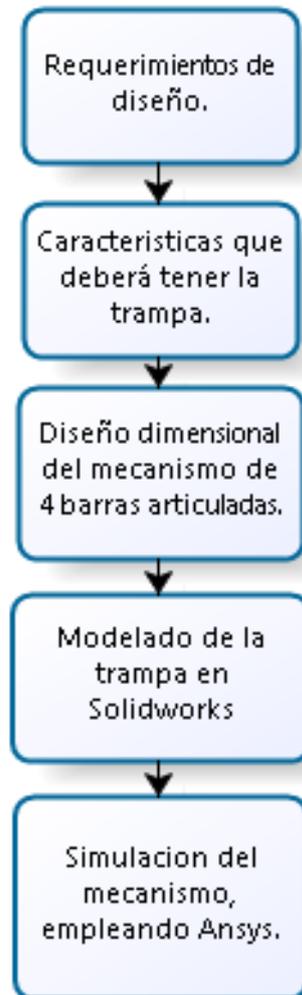
$$\frac{52.84}{118} + \frac{52.84}{310} = \frac{1}{n}$$

$$n = 1.61$$

El valor del factor de seguridad del diseño es viable para el robot.

### 2.5.9. Cálculo de trampa de tren delantero:

Para el diseño del seguro se siguió el proceso de diseño de la Figura 2. 62.



**Figura 2.62 Diagrama del proceso de diseño de la trampa.**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

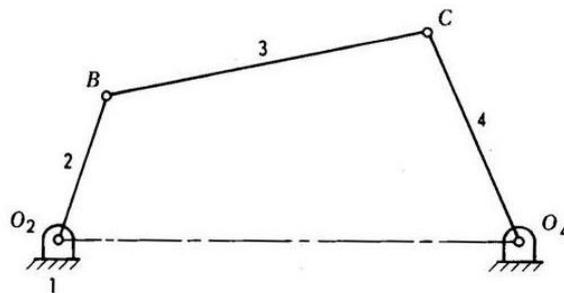
Las características que cumple el seguro de la rueda incluyen.

- Facilidad para el ingreso de la rueda delantera, por lo que se emplea una rampa.
- Trabamamiento del mecanismo, evitando que la rueda se separe del robot.
- Capacidad de desanclar la rueda.
- La base es rotatoria, para evitar que los giros del robot comprometan la integridad de la rueda delantera.

Para cumplir con estas características se recurre al mecanismo de 4 barras articuladas ejemplificado en la figura 2.63

Donde:

- El elemento 1 es la base rotatoria ejerciendo la función de “bastidor”
- El elemento 2 es la “rampa de acceso” de la rueda.
- El elemento 3 será la “biela” simplemente ejercerá la función de completar el mecanismo y de fijar el ancho del mecanismo.
- El elemento 4 es el “actuador” de cierre del mecanismo. El cual será impulsado por la fuerza que ejercerá la rueda delantera.



**Figura 2.63 Esquema de mecanismo de 4 barras articuladas.**

Fuente: (naveenagrawa, 2009)

Para el dimensionamiento inicial de este mecanismo se tendrá en cuenta:

- Dimensiones de la rueda.
- Estado inicial (el momento en que la rampa se encuentre en contacto con el suelo)
- Estado final (momento en que el mecanismo se encuentra asegurado)
- Esfuerzos ejercidos en los mecanismos.

Size	SERVICE RATING				INFLATED DIMENSIONS						Static Loaded Radius (In)	Flat Tire Radius (In)
	Rated Load (Lbs)	Rated Inflation (PSI)	Maximum Braking Load (Lbs)	Maximum Bottoming Load (Lbs)	Outside Diameter		Section Width		Shoulder			
					Max	Min	Max	Min	Diameter Max	Width Max		
5.00-4	1200	55	1740	3200	13.25	12.7	5.05	4.75	11.6	4.3	5.2	3.80
5.00-4	2550	115	3700	6900	13.25	12.7	5.05	4.75	11.6	4.3	5.2	4.00
5.00-4.5	1650	78	2390	4500	13.45	12.95	5.3	5	13.2	3.6	5.3	4.00
5.00-5	800	31	1160	2200	14.2	13.65	4.95	4.65	12.55	4.2	5.7	4.30
5.00-5	800	31	1160	2200	14.2	13.65	4.95	4.65	12.55	4.2	5.7	4.30
5.00-5	1285	50	1860	3500	14.2	13.65	4.95	4.65	12.55	4.2	5.7	4.30

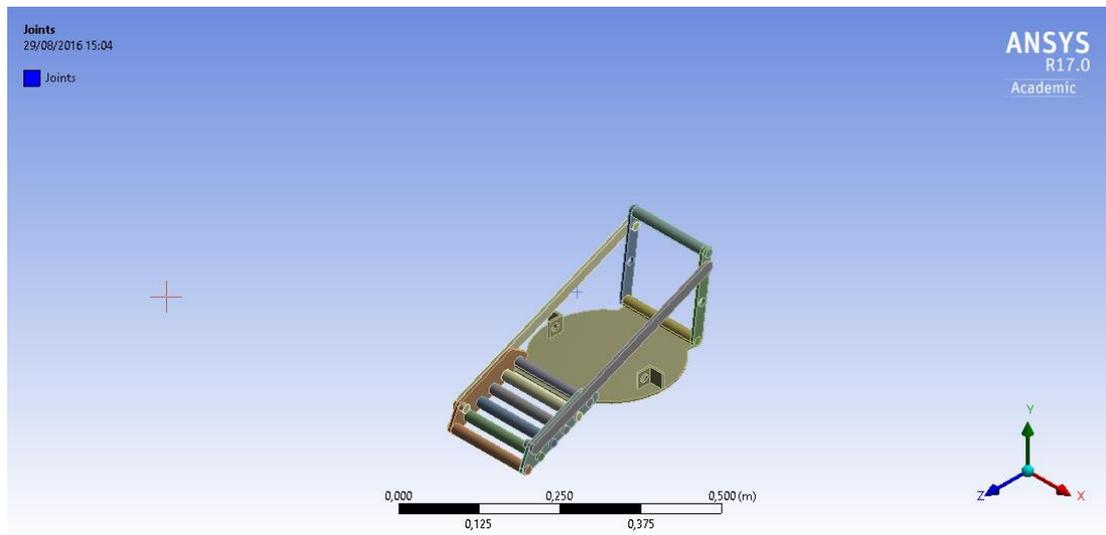
**Figura 2.64 Características de neumático 5.00.**

Fuente: (The Goodyear Tire & Rubber Company, 2016)

Las dimensiones consideradas para el diseño son las del neumático 5.00-5 (The Goodyear Tire & Rubber Company, 2016) las mismas que son:

- Diámetro de 14.2inch.
- Ancho de la rueda de 5.05inch.

Se realizó un modelo 3D (véase figura 2.65) del mecanismo definiendo las dimensiones de la base rotatoria, permitiendo que la misma pueda girar en el espacio definido para la placa-base de la rueda.



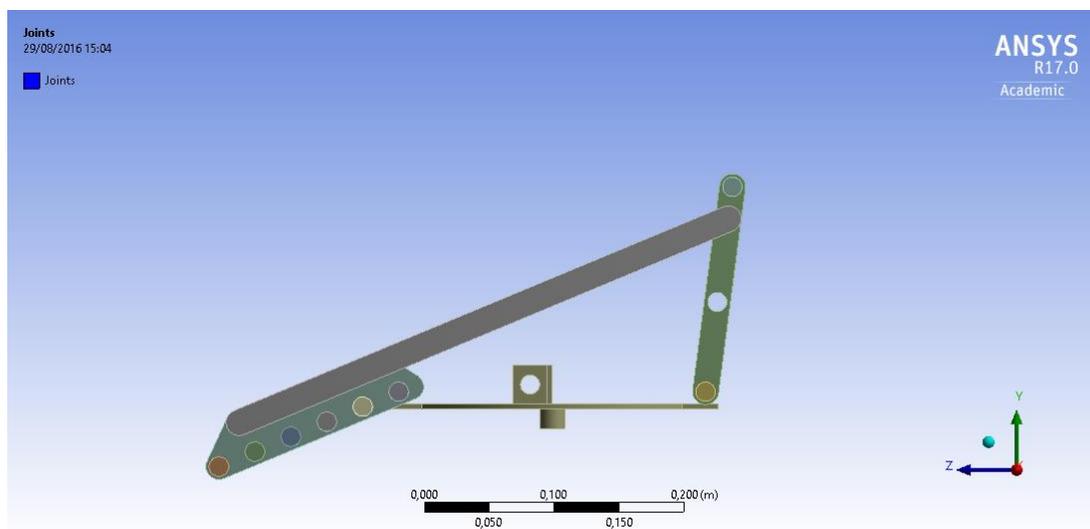
**Figura 2.65 Modelo 3D seguro de tren delantero.**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

- La rampa tendrá una dimensión de 160mm para tener un ángulo de  $30^\circ$  cuando se encuentre en su posición inicial y procurando que en su posición final la misma no se encuentre a menos de 45 grados con respecto a la horizontal, de esta forma asegurando que las fuerzas ejercidas no permitan que la rueda salga del seguro.
- El actuador tendrá una dimensión de 135 procurando que, tanto en su posición inicial como en la final, la misma no se encuentre a menos de 45 grados con respecto a la horizontal, de esta forma asegurando que las fuerzas ejercidas no permitan que la rueda salga del seguro.
- La biela se dimensionó a partir de las medidas de los otros elementos, esto se realizó colocando los elementos en posición inicial: es decir rampa a la altura del piso y actuador a  $90^\circ$  con la horizontal. Se modeló la biela y se colocó en posición final procurando paralelismo entre la biela y la base; y simetría en los respecto a la vertical.

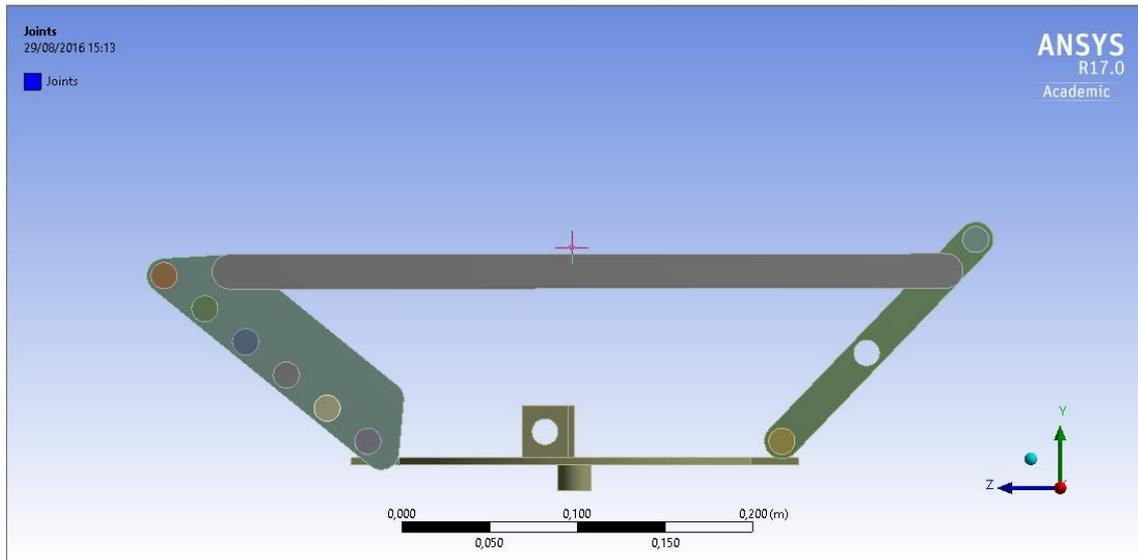
Realizando un modelo inicial con estas consideraciones, se obtuvo el siguiente modelo en 3D, véase Figura 2.66.



**Figura 2.66 Posición inicial del mecanismo.**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia



**Figura 2.67 Posición final del mecanismo.**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Finalmente se dimensionó el seguro con un perfil rectangular y colocando una corredera en su interior como se observa en la Figura 2.67. El largo de esta corredera se define considerando la posición inicial del mecanismo y la posición final.

Conociendo las longitudes de los diferentes elementos se procede a dimensionar los perfiles. Para lo cual procedimos a realizar una simulación empleando el programa Ansys.

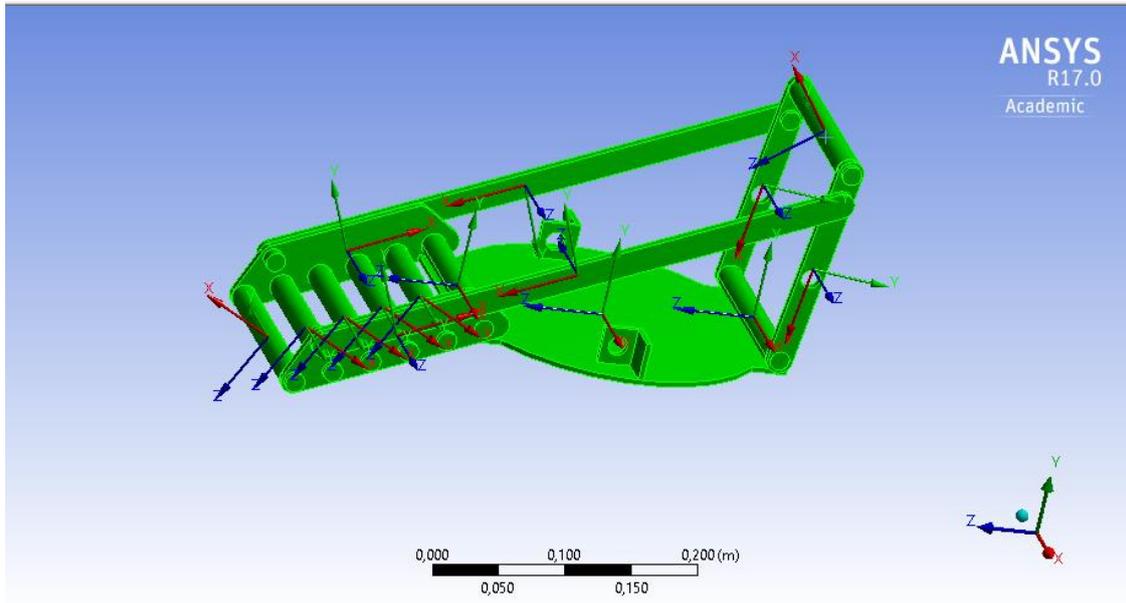
Empleando el programa Ansys, Workbench 17 se realizó la simulación de movimiento del mecanismo. Aplicando las condiciones del sistema entre las cuales se incluye:

- Peso de la rueda delantera de la avioneta sobre la base (16333N).
- Fuerza que ejerce la rueda delantera de la avioneta en la parte delantera del seguro (1988N).
- Velocidad estimada de la rueda delantera al momento del acople al robot (1.5Km/h-0.42m/s).

Sin embargo, para esta simulación el software nos pide ingresar la velocidad angular de la biela conductora. Con los valores de Velocidad tangencial y radio (0.145m), y empleando la ecuación 40:

$$w = \frac{V}{r} \quad (40)$$

Obteniendo una velocidad angular de 3.09rad/s.



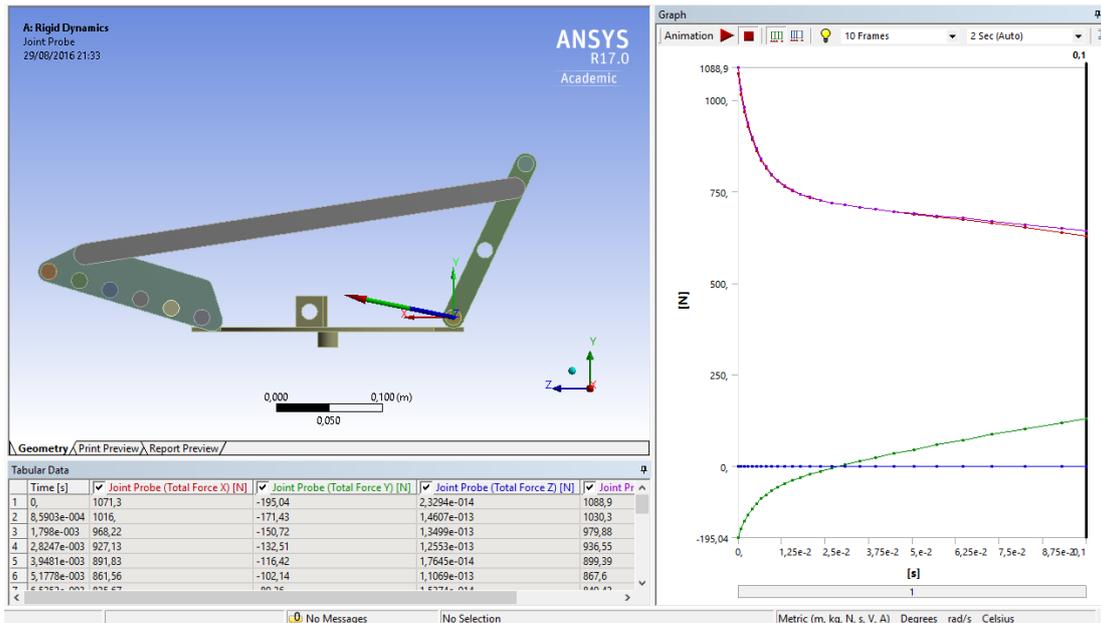
**Figura 2.68 Elementos a simular en el programa Ansys.**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Con estos parámetros se realizó una simulación para determinar las reacciones en las diferentes juntas, véase Figura 2.68.

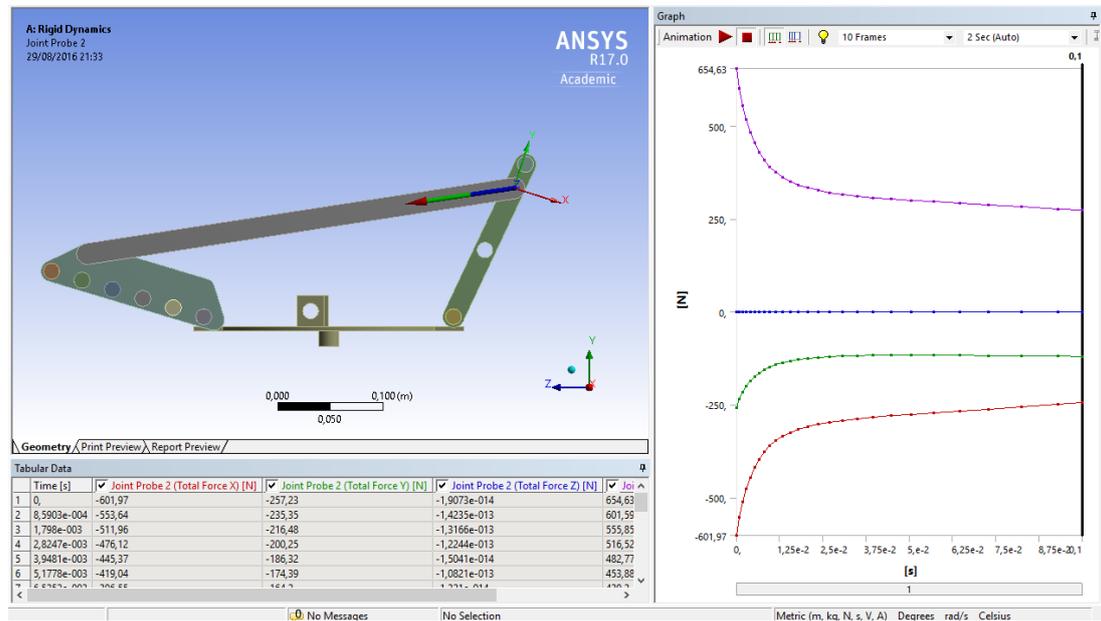
Dichos resultados se pueden observar en el siguiente capítulo. De estos resultados se puede notar las reacciones en las juntas. Se selecciona la junta que presente la mayor reacción; esto nos servirá para el dimensionamiento de los ejes transversales y a para fines de normalización del diseño, se empleara el mismo perfil para todas las juntas.



**Figura 2.69 Resultado de la simulacion. Reacciones vs tiempo en la junta Bastidor-Actuador.**

Fuente: Freire-Rubio,2016

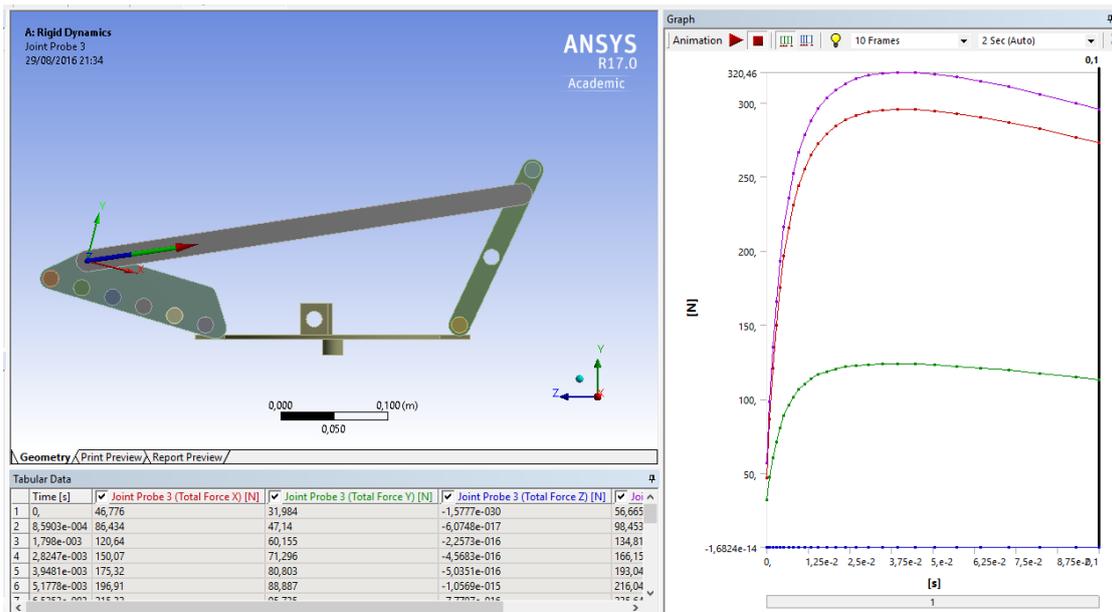
Elaboración Propia



**Figura 2.70 Resultado de la simulacion. Reacciones vs tiempo en la junta Actuador-Biela.**

Fuente: Freire-Rubio,2016

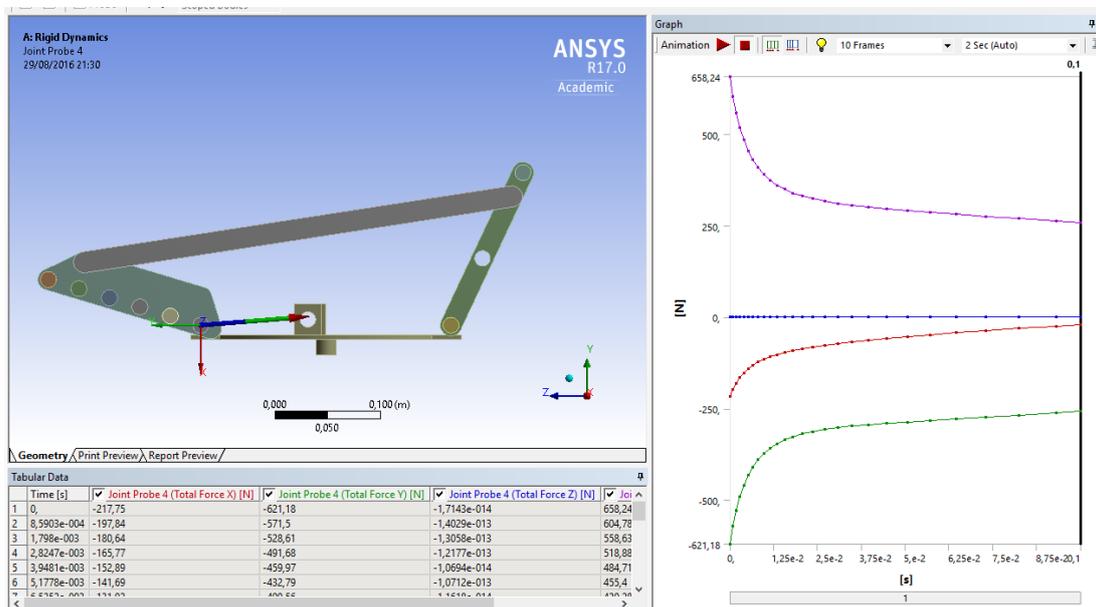
Elaboración Propia



**Figura 2.71 Resultado de la simulacion. Reacciones vs tiempo en la junta Biela-Rampa.**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

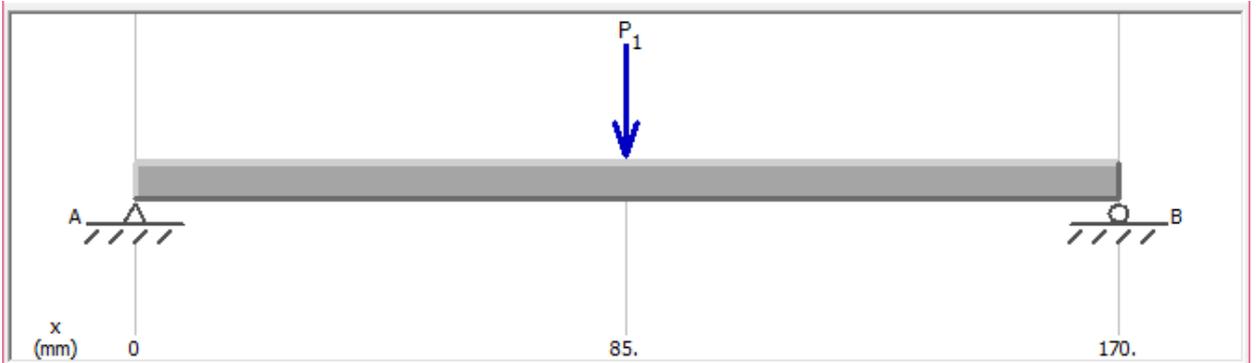


**Figura 2.72 Resultado de la simulacion. Reacciones vs tiempo en la junta Rampa-Bastidor.**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

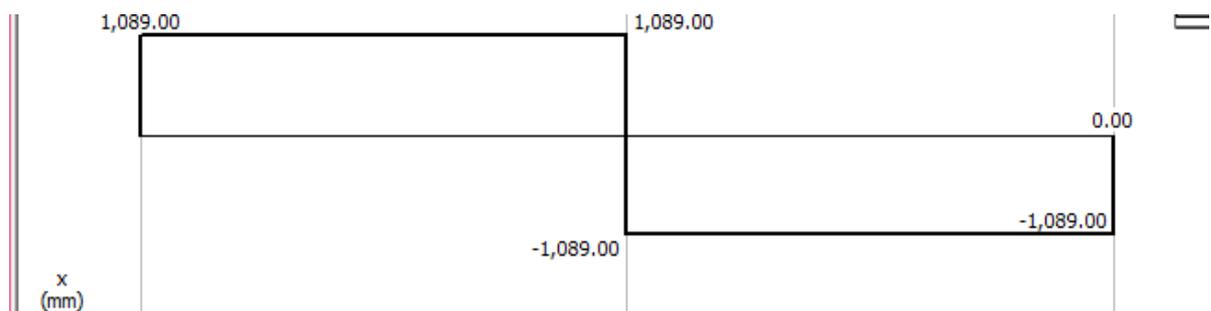
De esta simulación, se determinó que la mayor fuerza se encuentra en la junta entre la base giratoria y el actuador, véase Figura 2.71. Y se realizó los diagramas de esfuerzo cortante (véase Figura 2.74) y de momento flector (véase Figura 2.75).



**Figura 2.73** Carga aplicada sobre la viga

Fuente: Freire-Rubio,2016

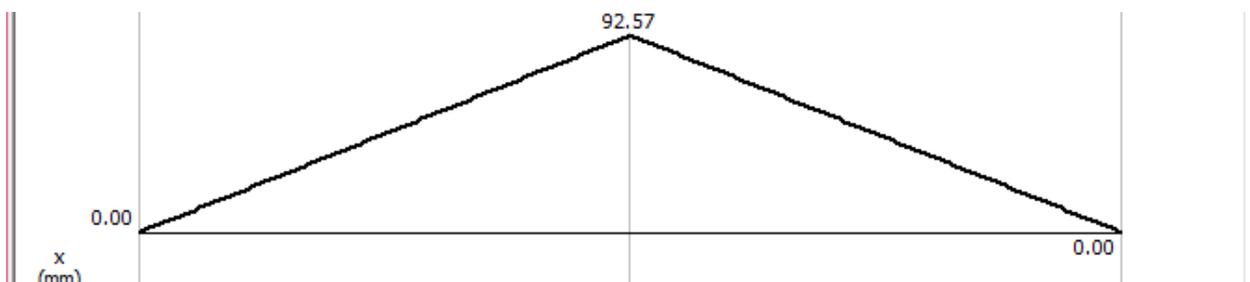
Elaboración Propia



**Figura 2.74** Diagrama de cortante

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia



**Figura 2.75** Diagrama de momento flector

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Desarrollando la ecuación 26 obtenemos:

$$\sigma = \frac{M * \left(\frac{d}{2}\right)}{I}$$

Donde sustituyendo la inercia se tiene:

$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

Se obtiene:

$$\sigma = \frac{M * \left(\frac{d}{2}\right)}{\frac{\pi d^4}{64}} = \frac{32M}{\pi d^3}$$

Para un diseño con un factor de seguridad de 2

$$\eta = \frac{S}{\sigma}$$

Se tiene:

$$\eta = \frac{S\pi d^3}{32M}$$
$$d = \sqrt[3]{\frac{32M\eta}{S\pi}}$$

Donde:

- S es la resistencia de acero empleado en la fabricación 422.6 MPa
- M es el momento, el mismo que se obtiene en el diagrama de momento flector (véase figura 2.62), con un valor de 92.57Nm

Se obtiene un diámetro mínimo de 16 mm

Sin embargo, se emplean cilindros de diámetro de que se encuentra con mayor facilidad en el mercado.

Además, se dimensiona también la biela por ser el elemento sometido a mayores esfuerzos y se considerara su dimensión mínima, la misma para el resto de elementos que conforman el mecanismo de cuatro barras articuladas.

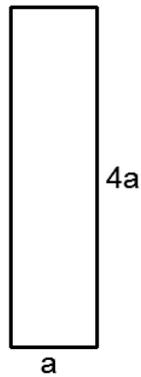
Para ello se toma en cuenta la mayor fuerza que experimenta la biela durante el proceso de anclaje del tren delantero (véase figura 2.71) el mismo que es de un valor de 654N

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A}$$

Para un diseño con un factor de seguridad de 2

$$\eta = \frac{s}{\frac{F_a}{A}} = \frac{As}{F_a}$$

Asumiendo un perfil rectangular con las características mostradas en la figura 2.63



**Figura 2.76.-Minima seccion transversal de la biela.**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Se obtiene:

$$\eta = \frac{4a^2s}{F_a}$$

$$a = \sqrt{\frac{\eta F_a}{4s}}$$

Lo que resulta en un espesor de 1.13 mm, sin embargo, se opta por un perfil mayor por facilidad de compra en el mercado.

# CAPÍTULO 3

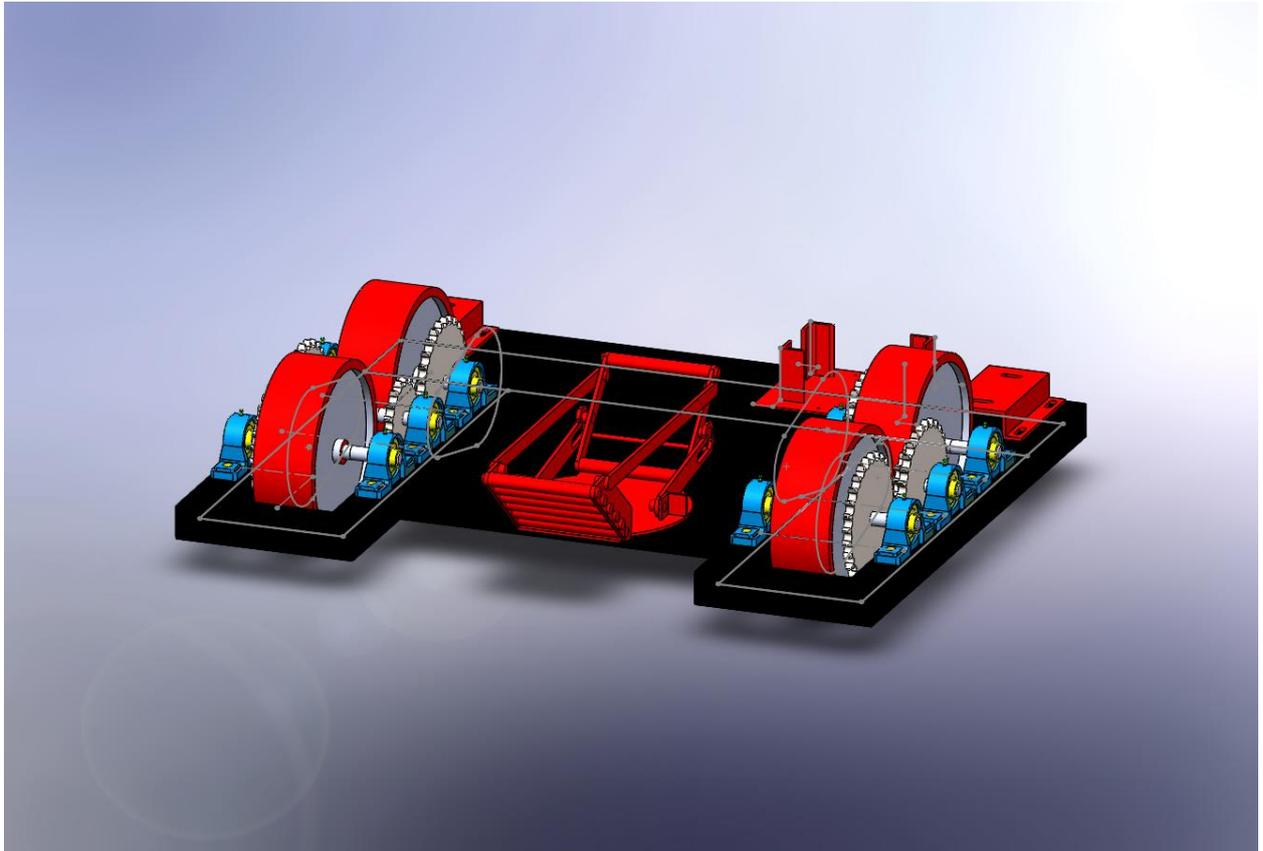
## 3. RESULTADOS

### 3.1. Características del robot.

- Dimensiones: 830mm de largo, 1016mm de ancho y 254 mm de alto.
- Motores DC de 12/24 V.
- Estructura de acero estructural grado A.
- Baja necesidad de mantenimiento.
- Facilidad de operación.
- Control remoto ergonómico.
- Seguro térmico para alta tensión.
- Capacidad de carga máximo 5000 Kilogramos.
- Protección anticorrosiva.
- Ruedas de hierro fundido con cubierta de caucho y de fácil reemplazo.
- Velocidad máxima de remolque 3Km/h (0.83m/s).
- Batería para driver de potencia: 12V, 40Amph.
- Batería para sistema de control: 12V.
- Batería para control remoto: 1.5V.
- Potencia máxima: 1.9 KW.

### 3.2. Modelo en 3D.

Se realizó un modelo 3D con todos los componentes mecánicos que posee el robot remolcador. En la Figura 3.1 se observa la forma que va a tener el robot, con este modelo se logró construir el prototipo. En la sección de apéndice de planos se puede observar las medidas y más detalles de cada uno de los componentes.



**Figura 3.1.-Modelo en 3D del robot remolcador para avionetas**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

### 3.3. Prototipo

En base a los resultados obtenidos en el capítulo 2, se procedió a construir un prototipo del robot remolcador. Este modelo fue construido con otros materiales y dimensiones, véase Apéndice A, con el fin de poder remolcar hasta una avioneta Cessna 150, como se observa en la Figura 3.1



**Figura 3.2.-Avioneta Cessna 150**

Fuente: (Mata Mission Aviation Training Academy, 2014)

En el Apéndice B se puede ver el proceso detallado de la construcción del prototipo; este proceso de fabricación es similar al de la construcción del diseño real del robot remolcador

### 3.4. Costos de construcción de prototipo

Para poder construir el prototipo del robot remolcador se ha utilizado materiales disponibles en el mercado, tanto con los elementos mecánicos y los elementos de control. Se ha consultado con algunos proveedores y se ha elegido la mejor oferta, en esta selección se ha considerado la disponibilidad en el mercado en un tiempo de dos meses y en la calidad del producto; esto se ha revisado cuidadosamente con catálogos y referencia de otros países por medio de sus páginas web.

A continuación, en la Tabla 3.1, se observa el precio y las cantidades que se requieren para la construcción del robot remolcador. Estos precios son referenciales, ya que están expuestos a cambios debido a la oferta y la demanda, pero adicional, están expuestos a cambios debido a políticas de estado.

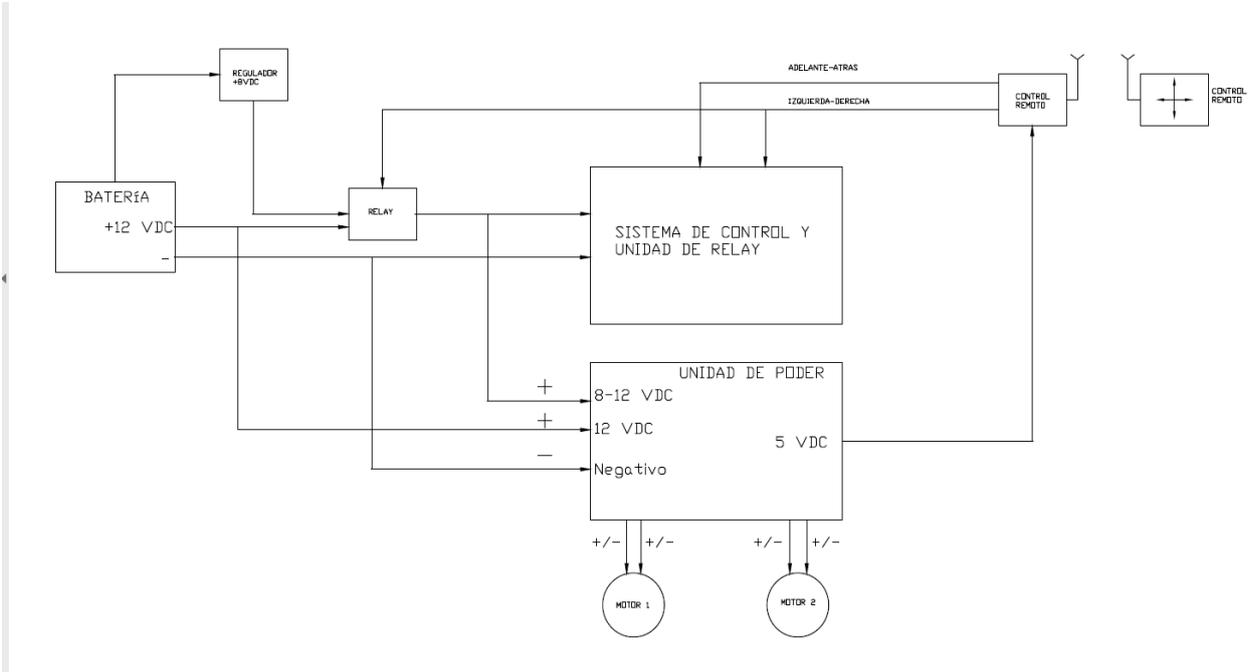
**Tabla 3.1.-Costo de elementos mecánicos**

Cotizaciones y costos de elaboracion del robot.				
Elemento	Precio unitario		Cantidad	Precio
Control RC de 2 canales	\$ 90,00	unidad	1	\$ 90,00
Receptor RC	\$ 10,00	unidad	1	\$ 10,00
Driver roboteq	\$ 520,00	unidad	1	\$ 520,00
Motores	\$ 460,00	unidad	2	\$ 920,00
Bateria 24GPS3 BOSCH	\$ 95,04	unidad	1	\$ 95,04
Chumacera de piso UCP205 SNR industrial	\$ 25,65	unidad	6	\$ 153,90
LLantas diametro 8 in	\$ 32,00	unidad	4	\$ 128,00
tubo cuadrado ast500(50mm)	\$ 24,84	6m	1	\$ 24,84
ruedas locas	\$ 22,45	unidad	1	\$ 22,45
Cadenas ANSI 60	\$ 20,00	metro	4	\$ 80,00
Piñon 0601B18H	\$ 19,29	unidad	4	\$ 77,16
Piñon 0601B28H	\$ 38,00	unidad	4	\$ 152,00
			<b>Total</b>	<b>\$ 2.273,39</b>

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Para el desarrollo del sistema de control, se ha tomado la opción de diseñar y construir el driver de potencia, el circuito de control de los motores y adaptar el sistema de comunicación por medio de radiofrecuencia, véase la Figura 3.11



**Figura 3.3.- Esquema de sistema de control de robot remolcador**

Fuente: Freire-Rubio,2016  
Elaboración Propia

En la Tabla 3.2 se muestra detallado cada uno de los elementos electrónicos que componen el sistema de control del robot remolcador, algunos de estos elementos son complicados de encontrar y eso ha involucrado el aumento de su precio. Esto ha repercutido en el tipo de tecnología con respecto al diseño electrónico; esto quiere decir, que, si el robot tuviese elementos electrónicos de última generación, estos ocuparían un menor espacio dentro del chasis del robot. Además, los tiempos de respuestas al momento de ejecutar las señales serían en corto tiempo.

**Tabla 3.2.-Costo de elementos eléctricos y electrónicos**

Costo de material eléctrico y electrónico				
Elemento	Precio Unitario(\$)	Cantidad	Precio(\$)	
Batería de 12 VDC para auto	85	Unidad	1	85
Relay de 12 VDC-100Amp	5,75	Unidad	6	34,5
Transistor regulador de poder PT4500	150	Unidad	1	150
Transistor NPN	3,5	Unidad	6	21
Relay 12VDC sw.on/off	2	Unidad	4	8
Transistores Drive para relay	2	Unidad	8	16
Microprocesador F887	5,6	Unidad	1	5,6
Resistencia de 1KOHM	0,1	Unidad	20	2
Interruptor on/off	5	Unidad	1	5
Terminales para cables	0,1	Unidad	50	5
Regleta para conexiones	3	Unidad	3	9
Accesorios electrónicos	10	Unidad	1	10
			Total	351,1

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Para el proceso de construcción de los elementos mecánicos, véase Apéndice C., se escogió un taller metalmecánico que posea máquinas y herramientas en buen estado para poder construir tanto el chasis y mecanizar los diferentes elementos móviles. Se tomó en cuenta el tiempo y mano de obra disponible, tal como se puede observar en la tabla 3.3

**Tabla 3.3.-Tabla de precio de mano de obra en taller**

Actividad	Tiempo de trabajo(min)	Precio (\$)
Revisión de planos	20	0.0
Recepción de materiales	30	0.0
Construcción de estructura con tubo cuadrado de 50x2mm y soldadura SMAW electrodo 6011x1/8"	240	130.0
Construcción de bocines para acoplar eje de	480	32.0

diámetro 19.05mm a ruedas		
Construcción de bocines de diámetro 19.05 mm para piñones	180	65.0
Eje de diámetro 19.05mm mecanizado en torno	90	75.0
Construcción de soportes para chumacera de piso	60	60.0
Construcción de bases para motor de corriente continua	40	58.0
Construcción de seguro para tren delantero de avioneta	4320	180.0
Ensamblaje de todos los elementos mecánicos (chumaceras, piñones, cadenas, motores)	480	30.0
Proceso de pintura	60	20
	Total	650

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

En el proceso de construcción del sistema de control se ha empleado el total de 60 horas en la fase de diseño de los controladores y en el proceso de montaje de los elementos electrónicos, de las cual, 25 horas en la fase de simulación y 35 horas en el montaje de los elementos. Para el desarrollo del sistema de control del robot remolcador se ha pedido de colaboración de un Ingeniero en Electrónica y Automatización y de un Tecnólogo Electrónico; en conjunto, el precio impuesto por ellos es de \$ 10 la hora, que multiplicado por las horas de trabajo antes mencionado da un total de \$600.

Para obtener el precio por realizar el diseño mecánico del robot remolcador, se tomó en cuenta el tiempo y los recursos utilizados; esto quiere decir, el tiempo que se necesitó

para realizar los cálculos y las simulaciones respectivas por medio de programas destinados para ingeniería. En el mercado laboral en el área de Ingeniería Mecánica se estima cobrar este rubro sumando el total de costos en materiales y mano de obra para luego multiplicarlo por el 17% así, obteniendo un valor de \$566.86.

En la tabla 3.4 se puede observar el precio total del robot remolcador

**Tabla 3.4.-Tabla de precio final**

Actividad	Precio (\$)
Elementos mecánicos	2273.39
Elementos electrónicos	351.1
Costo de construcción en taller	650.0
Costo de construcción del sistema de control	600.0
Costo por diseño mecánico	566.86
Total	4441.35

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Con este valor final, el robot remolcador tiene un precio módico; ya que, otros remolcadores similares tienen precios elevados fuera del país. Eso sin considerar impuestos por importación y venta dentro del territorio nacional.

El precio del robot remolcador puede estar expuesto a cambios, debido a variación de políticas tributarias y restricciones de importación.

# CAPÍTULO 4

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Conclusiones

1. El diseño realizado es capaz de remolcar avionetas de hasta 5 Ton; siendo estas las de mayor peso. Además, por diseño es capaz de acoplarse a la rueda guía de la cualquier avioneta. Tenga esta una disposición de rueda delantera única o rueda trasera única. Con estas características el robot es capaz de trabajar con cualquier tipo de avioneta.
2. Se comprueba el diseño mecánico y del sistema de control, con la construcción de un prototipo del robot remolcador. Este, nos permite aplicar los diferentes procesos de manufactura que se pueden realizar en un taller metalmecánico.
3. Además, con este prototipo se puede visualizar si las dimensiones son las adecuados para el modelo propuesto al emplearlo remolcando una avioneta ligera
4. Es factible construir y ensamblar los elementos mecánicos en talleres con mano de obra calificada y con máquinas-herramienta en buen estado. Abriendo así un nuevo campo de trabajo en talleres metalmecánico, con apertura a futuros proyectos destinados a robots industriales y ayudando a cumplir el objetivo 10 (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013). De las cual, el índice 10.1.a indica lo siguiente: “Impulsar y fortalecer las industrias estratégicas claves y sus encadenamientos productivos”.

### 4.2. Discusión

1. El tipo de locomoción diferencial permite una programación poco complicada del microcontrolador, véase Apéndice C. Además, facilita la operación del robot, con el control remoto ya que, con solo cuatro botones se controla los ocho movimientos requeridos para la movilización del remolcador.
2. El diseño del robot remolcador impide volcamientos y tiene estabilidad ya que su centro de masa está situado en el área comprendida entre las cuatro ruedas y la placa principal, véase Apéndice de planos.
3. El prototipo de robot remolcador posee una batería de 12 Voltios para 40 Amperio hora para el circuito de potencia, una batería de 12 Voltios para 2 Amperio hora

con el fin de evitar que las corrientes de Histéresis producida por el movimiento rotatorio del motor dejen pegados los Relay de control de movimiento. Finalmente se requiere de dos pilas de 1.5 Voltios para el manejo del control remoto.

4. El circuito del sistema de control y driver de potencia es capaz de resistir hasta 300 Amperios, con un tiempo de trabajo de aproximadamente una hora. Después de este tiempo el voltaje disminuirá y por requerimientos de potencia la corriente aumentará, lo que puede provocar daños en la electrónica del robot.
5. El circuito del sistema de control y driver de potencia es capaz de resistir hasta 100 Amperios, con un tiempo de trabajo de aproximadamente una hora. Después de este tiempo el voltaje disminuirá y por requerimientos de potencia la corriente aumentará, lo que puede provocar daños en la electrónica del robot.
6. El uso de radiofrecuencia evita el uso de cableado para controlar el robot remolcador. Además, en la actualidad este tipo de tecnología es más barata y se la puede encontrar en el mercado con facilidad.
7. En el prototipo, el alcance máximo del sistema de comunicación es de tres metros. Esta distancia puede aumentar cambiando el modulo receptor por uno de mayor potencia.

### **4.3.Recomendaciones.**

Entre los cambios que podemos realizar en diseño del robot, tenemos:

1. Se puede fabricar diferentes seguros para ruedas, a fin de aumentar la versatilidad del robot. Modificando el seguro a uno de simple sujeción se podría por ejemplo acoplar la rueda de la base móvil de un bote. De esta forma el remolcador podría ser usado en puertos o varaderos.
2. En caso de resultar conveniente se puede sacrificar el alcance del control con el propósito de reducir costos, reemplazando la comunicación por radiofrecuencia por una comunicación directa mediante cable UTP. Esta opción puede ser considerada, en hangares que trabajen con avionetas muy ligeras en donde no se corra riesgo de lesiones del operador, por impacto con la avioneta.
3. Pintado del robot con pintura electrostática. Con esto se asegura mayor durabilidad tanto en el ámbito de lo estético, como en el ámbito de la integridad de la estructura. Un pintado adecuado garantiza protección al metal, impidiendo oxidación.

4. Se puede cambiar las ruedas de hierro fundido, por neumáticos. Con esto se aligerar el peso del robot-. Pero principalmente se logra abaratar el costo final del robot. Esto es aplicable en hangares donde se trabaje con avionetas ligeras.
5. Si el trabajo de remolcado es frecuente, se debe inspeccionar la alineación de los ejes y chumaceras para evitar que el robot en el momento de trasladarse no vaya en diferentes direcciones.
6. La lubricación de las chumaceras y cadenas es importante para disminuir el desgaste por fricción y a la vez protege contra la corrosión.
7. El robot posee un sistema de transmisión de movimiento adaptable a motores de diferente velocidad de trabajo. Para ello se debe reemplazar la catalina conducida, a una con el número de dientes apropiado para mantener la velocidad del robot
8. El robot remolcador no debe ser operado por personal en estado etílico o que se encuentre bajo influencia de sustancias psicotrópicas.
9. Este diseño no debe ser utilizado con fines de dañar la propiedad privada ni atentar contra la vida de seres vivos.
10. Tener en cuenta que después de cada operación hay que recargar las baterías para evitar que los motores se quemen por bajo voltaje.
11. Con una conexión en paralelo entre dos baterías de 12 Voltios, aumenta el tiempo de trabajo para los motores DC.
12. Al conectar dos baterías de 12 Voltios para que sumen a 24 Voltios, aumentan las revoluciones por minuto de los motores DC.
13. En el caso de que el robot remolcador se quede atascado por un obstáculo, apagarlo y procede a empujar con ayuda de dos o más operadores.
14. El traslado del robot remolcado de un hangar a otro se lo debe hacer de forma horizontal y no vertical. Por dos razones: la primera por facilidad y disminuir el esfuerzo por quienes lo trasladan y la segunda para evitar que se deflacten los ejes.
15. El robot remolcador debe operar en terrenos asfaltados y nivelados para evitar colapsos en baches y por efecto daños en las estructuras.
16. El operador debe poseer todo el equipo de protección personas en el proceso de remolcado.
17. Para mantenimiento o reemplazo de los componentes del sistema de control debe ser por personal especializado para evitar daños al equipo y al operador.

18. Otra alternativa de control del robot, sería la automatización empleando sensores de proximidad o mediante la implementación de un programa de localización y control en el hangar,

# BIBLIOGRAFÍA

1. Baldor Electric Company. (2001-2014 ). *BALDOR*. Obtenido de <http://www.baldor.com/brands/baldor-dodge/products/mounted-bearings>
2. Global Equipment Company Inc. ( 2016 ). *globalindustrial.com*.
3. ©Promete. (s.f.). *Prometec*. Obtenido de Conectado Arduino a las redfes WiFi: <http://www.prometec.net/arduino-wifi/>
4. AERO SPECIALTIES. (2016). *AERO SPECIALTIES*. Obtenido de <http://www.aerospecialties.com/aviation-ground-support-equipment-gse-products/rental-gse/rental-tug-tech-ma-50-tow-tug-8519-5000-dbp/>
5. All on Robots. (s.f.). *allonrobots*. Obtenido de Types of robots: <http://www.allonrobots.com/types-of-robots.html>
6. Arnal, P., & Laguna, A. (2005). *Tractores y motores agrícolas*. Madrid: Grupo mindi prensa.
7. Automatización y Robótica Industrial 5 Ing Industrial. (s.f.). Obtenido de Sistemas de Locomoción para Robots Móviles: [http://www.esi2.us.es/~vivas/ayr2iaei/LOC\\_MOV.pdf](http://www.esi2.us.es/~vivas/ayr2iaei/LOC_MOV.pdf)
8. Automatización y Robótica Industrial 5 Ing Industrial. (s.f.). <http://www.esi2.us.es/>. Obtenido de Sistemas de I.
9. Barrientos, J. S. (27 de noviembre de 2013). *Temas 3 período*. Obtenido de Actividad No.4 Telecomunicaciones: <http://3poeriodotema.blogspot.com/>
10. Borowski~commonswiki. (1 de Marzo de 2006). *Wikimedia*. Obtenido de Part of a shaft with a mounted feather key: <https://commons.wikimedia.org/wiki/User:Borowski~commonswiki#/media/File:FeatherKeyMounted.png>
11. BricoGeek. (2005-2016). *Blog BricoGeek*. Obtenido de <http://blog.bricogeek.com/noticias/diy/video-hexapod-phoenix-el-robot-arana/>
12. Carolinas RC Racers. (2004). *Carolinas RC Racers*. Obtenido de Futaba T3PV radio: <http://www.carolinasrcracers.com/futaba-t3pv-radio/>
13. CEJAROSU. (2005). *Cadena-Piñón*. Obtenido de [http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec\\_cadena-pinon.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_cadena-pinon.htm)

14. DIARIO ABC, S.L. (s.f.). *ABC*. Obtenido de <http://www.abc.es/ciencia/20131007/abci-increible-carrera-guepardo-robotico-201310071715.html>
15. DIARIO ABC, S.L. (s.f.). *ABC*. Obtenido de La increíble carrera del guepardo robótico del Pentágono: <http://www.abc.es/ciencia/20131007/abci-increible-carrera-guepardo-robotico-201310071715.html>
16. Dipac® Manta S.A. (2016). *Dipac productos de acero*. Obtenido de <http://www.dipacmanta.com/>
17. ECOMMERCE. (2016). *Kit's Modelismo*. Obtenido de <http://www.kitsmodelismo.es/es/294-emisoras-rc-de-modelismo-y-radio-control>
18. Euro4x4parts.com. (2000-2016). *euro 4x4 parts*. Obtenido de Motor de arranque / Alternador: [http://www.euro4x4parts.com/es/mecanica4x4\\_arranque\\_alternador.html](http://www.euro4x4parts.com/es/mecanica4x4_arranque_alternador.html)
19. Fast Lad Performance. (2016). *Fast Load Performance*. Obtenido de Futaba T18SZ Mode 2 Super Combo P-CB18SZ/LUK: [http://www.fast-lad.co.uk/store/futaba\\_t18sz\\_mode\\_super\\_combo\\_p-cb18sz/luk-p-33635.html](http://www.fast-lad.co.uk/store/futaba_t18sz_mode_super_combo_p-cb18sz/luk-p-33635.html)
20. Fundamentos del KBE (Knowledge Based Engineering) . (s.f.). *Materiales para ingeniería*.
21. Hall, A. (1988). *Teoría y problemas de diseño de máquinas*. México: McGraw Hill.
22. Hanz, W. (2011). *eHow en español*. Obtenido de [http://www.ehowenespanol.com/chumacera-sobre\\_544770/](http://www.ehowenespanol.com/chumacera-sobre_544770/)
23. Hobby, A. (2016). *Abell Hobby*. Obtenido de Traxxas Receiver Micro TQ 2.4GHz (3CH) (TRA6519: <http://www.abellhobby.com/Traxxas-Receiver-Micro-TQ-2-4GHz-3CH-TRA6519-p/tra6519.htm>
24. Hughes, A. (1993). *Fundamentals, types and applications*. Boston: Newnes.
25. Maker Media, Inc. (2004-2016). *Make*. Obtenido de <http://makezine.com/projects/connect-an-arduino-to-a-7-bluetooth-serial-module/>
26. Mata Mission Aviation Training Academy. (09 de Mayo de 2014). *Cessna 150*. Obtenido de Checklist Card: <http://www.mata-usa.org/cessna-150/>
27. MercadoLibre Ecuador S.A. (2016). *Mercado Libre*. Obtenido de Radio Futaba 8j S-fhss 8 Canais Com Receptor: [http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-682885756-radio-futaba-8j-s-fhss-8-canais-com-receptor-\\_JM](http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-682885756-radio-futaba-8j-s-fhss-8-canais-com-receptor-_JM)
28. Minimax Aircraft Tug LLC . (2016 ). Obtenido de <http://www.minimaxtugs.com/>

29. naveenagrawa. (7 de 28 de 2009). *brighthubengineering*. Obtenido de <http://www.brighthubengineering.com/machine-design/6716-kinematics-design-of-mechanisms-kinematic-inversion/>
30. Oliver., L. M. (2016). *Aprende Robotica*. Obtenido de Locomocion oruga.: <http://www.aprenderobotica.com/group/arqueologiarobotica/forum/topics/base-movillocomocion>
31. Pingston, y. A. (Julio de 2005). *wikimedia*. Obtenido de <https://commons.wikimedia.org>
32. Red Box International. (2012). Obtenido de <http://www.redboxaviation.com/moving-equipment-tug703.html>
33. Renold plc. (2011). *Selector Chain*. Obtenido de <http://www.renoldchainselector.com/ChainSelector>
34. Rexel Company. (2015). *Rexel*. Obtenido de <https://www.rexelusa.com/connection-cables/allen-bradley/1585j-m8rb-2m5/allen-bradley-1585j-m8rb-2m5-cable-ethernet-8-conductor-rj45-straight-male-yellow-shielded/product/46578;jsessionid=BD407C8ED316505851E8791E84326B7E.hybris2>
35. Riccillo, M. (2012). Robótica: Entrá al mundo de la inteligencia artificial. *Conectados*, 3.
36. RobotShop inc. (2016). *Robotshop*. Obtenido de RoboteQ HDC2450 2 x 120A, 10V-50V Regenerative Robot Controller: <http://www.robotshop.com/en/roboteq-hdc2450-2-x-150a-10v-50v-regenerative-robot-controller-.html>
37. RUEDAS Y GARRUCHAS. (2014). *Ruedas y garruchas*. Obtenido de <http://ruedasygarruchas.com/>
38. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). *Buen Vivir Plan Nacional*. Obtenido de Objetivo 10: <http://www.buenvivir.gob.ec/objetivo-10.-impulsar-la-transformacion-de-la-matriz-productiva#tabs2>
39. Shigley. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México: McGraw-Hill Interamericana.
40. Suárez, J. (Diciembre de 2001). *Escuela de ingeniería industriales*. Obtenido de Robot móvil para transporte automatizado: <http://eii.unex.es/profesores/jisuarez/descargas/otras/Robotmov.pdf>

41. The Goodyear Tire & Rubber Company. (2016). *Goodyearaviation*. Obtenido de Catalogo de Neumaticos :  
[https://www.goodyearaviation.com/resources/pdf/databook\\_7\\_2016.pdf](https://www.goodyearaviation.com/resources/pdf/databook_7_2016.pdf)
42. The Goodyear Tire & Rubber Company. (2016). *Goodyearaviation*. Obtenido de Catalogo de productos :  
[https://www.goodyearaviation.com/resources/pdf/databook\\_7\\_2016.pdf](https://www.goodyearaviation.com/resources/pdf/databook_7_2016.pdf)
43. (s.f.). Obtenido de  
<http://www.iesbajoaragon.com/~tecnologia/Meca/TRMOVI2.htm>

# APÉNDICES

## A. Materiales empleados en el prototipo

- Tubo cuadrado de 50x2 mm en acero estructural (ASTM500) Grado A
- Platinas de acero AISI A36 de dimensiones: 30x6mm y 25x6mm.
- Acero para transmisión AISI 1018, 19.05 mm de diámetro.
- Cadenas de acero número ANSI 35.
- Piñones y catalinas de acero, dimensiones véase en Apéndice de planos
- Chumaceras con base de hierro fundido para eje de 19.05 mm de diámetro.
- Pernos de acero Grado 4.6.
- Electrodo para soldadura tipo SMAW E6011.
- Pintura con anticorrosivo.

## B. Proceso de construcción:

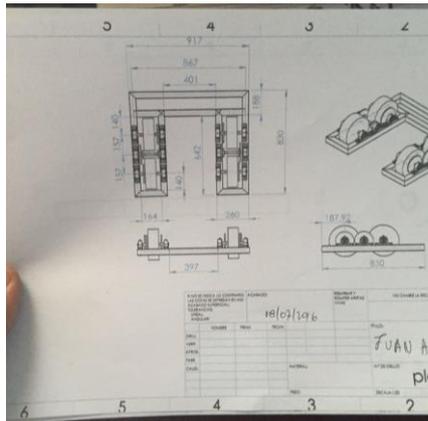
### 1. HERAMIENTAS UTILIZADAS PARA CONTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

- Torno.
- Fresadora con fresa cilíndrica.
- Taladro de banco.
- Amoladora.
- Máquina para soldadura tipo SMAW.
- Llave boca corona de 14mm y 16mm.
- Martillo para remaches.
- Cepillo para acero.
- Compresor de aire.
- Pistola para pintura
- Brocas de acuerdo al diámetro del perno o pasador.

## 2. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DEL ROBOT

La construcción del prototipo se llevó a cabo en un taller metal mecánico, con mano de obra especializada.

Se inició el proceso con la entrega de los planos, para mayor detalle véase Apéndice de planos y materiales necesarios para la construcción.



**Figura B1. Entrega de planos.**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Tras una breve explicación de lo que se deseaba construir. Se procedió al mecanizado de los ejes y bocines necesarios para el acople de las catalinas al eje (véase figura B1).



**Figura B2. Acople bocín-piñón.**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Se procedió con la construcción del chasis, para el cual empleamos tubo cuadrado de 50X2mm de acero ASTM500 grado A. Además de brindar la resistencia estructural para las cargas antes mencionadas, contribuyó con la altura del robot. Se realizaron los cortes de acuerdo a las medidas especificadas en el plano (véase figura B1). Se procedió a unir

cada uno de estos cortes con soldadura SMAW con electrodo 6011 de diámetro 1/8" (véase figura B3).



**Figura B3.- chasis del robot.**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Se realizó el corte una plancha de 6mm de espesor de acero A36, la misma que fue fijada mediante un proceso de soldadura tipo SMAW con electrodo 6011 y diámetro de 1". Esta placa se colocó en el interior de la estructura y es la base del seguro para el tren delantero. La misma se perforó con una broca de 20mm (véase figura B4), con el fin de acoplar el pin del rodamiento para el seguro del tren de la rueda delantera (véase Figura 2.65).



**Figura B4.- Bastidor con placa central soldada.**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

El ensamble de las chumaceras al bastidor fue un proceso de mucha precisión ya que los ejes deben quedar correctamente alineados, para que no existan desviaciones en el movimiento del robot. Para realizar este acople fue necesario soldar al bastidor platinas de 6mm, en las que se realizó un taladrado (véase figura B4) y roscado (empleando machuelo) para un perno de 7/16" de diámetro; esto con el fin de sujetar las chumaceras mediante pernos (véase figura B5).



**Figura B5.- Taladrado del chasis para colocación de chumaceras.**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia



**Figura B6.- Acople de chumaceras al bastidor**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Una vez finalizada la construcción del bastidor se procedió al acople de los diferentes elementos mecánicos del sistema de transmisión de movimiento:

- Ejes
- Piñones
- Catalinas
- Ruedas
- Cadenas

Se inició colocando los ejes por un lado de las chumaceras y acoplando cada uno de los elementos mecánicos (ruedas, piñones, catalinas) en orden especificado en el apéndice de planos. Para luego hacer llegar el eje a su posición final en la segunda chumacera (véase figura B7).



**Figura B7.- Montaje del sistema de transmisión.**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Para el acople del motor con el chasis, se construyó un soporte en planchas de acero A36 (véase apéndice A) y mecanizo un canal para cada perno, con el fin de templar las cadenas que se acoplaran con el mismo.

Para el montaje de las cadenas se colocó la misma en la respectiva unión entre catalinas; o entre catalina-motor, colocando el candado de la cadena en la posición correcta y dándole un templado inicial a la misma. Para el templado final de la cadena se fijó las chumaceras centrales y se desplazaron las chumaceras extremas (véase figura B8)



**Figura B8.- Montaje final del sistema de transmisión**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Para la construcción del seguro del tren delantero, se cortaron platinas de 6mm de espesor de acuerdo a lo establecido en los planos de construcción, véase apéndice de planos. Se mecanizaron los rodillos de acero AISI1018, véase apéndice de planos. Y se cortó una plancha de acero A36. Una vez con todos estos cortes realizados, se procedió a hacer los agujeros respectivos empleando un taladro de pedestal.

Para el seguro de fijación del mecanismo, se mecanizaron los canales para el pin del seguro (véase apéndice de planos) empleando una fresadora con fresa cilíndrica.

Para finalizar la construcción de la base giratoria se soldaron los ángulos, rodillos pivotes, y pin de acople al rodamiento axial en el agujero de la base mostrada en la figura B4.

Con todas las piezas construidas se procedió al ensamblado, en el que empleo la técnica de remachado en las articulaciones, para las partes móviles (véase Figura B9).



**Figura B9.- proceso de remachado en las uniones móviles del seguro del tren delantero.**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

Culminando así el ensamblado del seguro del tren delantero y el pintado del mismo (véase figura B10)



**Figura B10.- Seguro de tren delantero pintado.**

Fuente: Freire-Rubio,2016

Elaboración Propia

# RENOLD

## Chain Drive Calculation - 28-Jun-2016

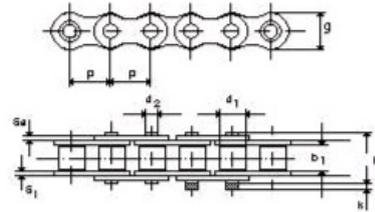
Company: Robot Remolcador  
Address: Guayaquil-Ecuador  
Contact: **Rubio-Freire**  
Materia Integradora

**Chain: ANSI 60 (ISO 606) Simplex Renold Synergy**

**Serial Number: GY60A1**

### Chain Data

Pitch:	$p = 19.050 \text{ mm}$	Height:	$g = 17.50 \text{ mm}$
ISO Breaking Load:	$F_b = 31300 \text{ N}$	Inner Plate Thickness:	$s_i = 2.40 \text{ mm}$
Inner Width:	$b_1 = 12.57 \text{ mm}$	Outer Plate Thickness:	$s_a = 2.40 \text{ mm}$
Roller Diameter:	$d_1 = 11.91 \text{ mm}$	Pin Length:	$l = 25.30 \text{ mm}$
Pin Diameter:	$d_2 = 5.94 \text{ mm}$	Connecting Pin Ext.:	$k = 2.50 \text{ mm}$
Mass:	$q = 1.47 \text{ kg/m}$	Bearing Area:	$f = 1.06 \text{ cm}^2$



### Loading Condition

Input Power:	$P = 1.70 \text{ kW}$	Input Speed:	$n_1 = 141.00 \text{ rpm}$
Torque:	$T = 115.14 \text{ Nm}$	Static Force:	$F = 2233 \text{ N}$
Chain Linear Velocity:	$v = 0.76 \text{ m/s}$	Centrifugal Force:	$F_f = 0.85 \text{ N}$
Bearing Pressure:	$P_r = 29.69 \text{ N/mm}^2$	Dynamic Force:	$F_d = 3146 \text{ N}$
Chain Safety Factors:	Static: 14.01 Dynamic: 9.95	Total Force:	$F_g = 3147.00 \text{ N}$

### Environment Conditions

Loading Classification:	Driving Machine: Smooth Running. Driven Machine: Moderate Shocks.
Service Conditions:	Inadequate lubrication (relative to lubrication).
Environment Condition:	Normal Environment. Outdoor Application.

### Expected Working Life of the Chain

Working Life: 19047 hours

This is within the range of its wear resistance, i.e. after this time 3% wear elongation will be reached.

### Chain Drive

Number of Links:	$X = 50$	
Chain Length:	$l = 952.50 \text{ mm}$ (Chain Tensioner Required)	
Centre Distance:	$a = 259.79 \text{ mm}$	
Ratio:	$i = 1.65$	
Number of Teeth:	Driving Sprocket (Z1): 17	Driven Sprocket (Z2): 28
Pitch Circle Diameter:	Driving Sprocket (Z1): 103.67 mm	Driven Sprocket (Z2): 170.14 mm
Recommended Lubrication:	Drip Lubrication	

**Only valid for the above Renold product number.**

► Piñones NK 60 ANSI (ASA) - Paso de 3/4"

Información general



CÓDIGO IBCA	No. de dientes	Pitch Diá. (P.C.D)	Exterior Diá. (OD)	Piñones simples TIPO B				Peso Aprox. (kg)	Materiales	
				Bore (OD)		EJE				
				Stock	Máx.	HD	HL			
NK - 60B10T	10	2,427	2,76	0,59	1,18	*1,929	1,260	0,49	SAE 1040	
NK - 60B11T	11	2,662	3,01	0,59	1,26	*2,008	1,260	0,60		
NK - 60B13T	13	2,898	3,25	0,59	1,26	2,008	1,260	0,69		
NK - 60B13T	13	3,134	3,49	0,59	1,38	2,244	1,260	0,81		
NK - 60B14T	14	3,371	3,74	0,67	1,57	2,241	1,260	0,96		
NK - 60B15T	15	3,607	3,98	0,67	1,77	2,677	1,260	1,10		
NK - 60B16T	16	3,844	4,22	0,67	1,89	2,874	1,260	1,30		
NK - 60B17T	17	4,082	4,46	0,67	1,89	2,874	1,260	1,40		
NK - 60B18T	18	4,319	4,70	0,67	2,17	3,268	1,575	2,00		
NK - 60B19T	19	4,557	4,95	0,67	2,17	3,268	1,575	2,10		
NK - 60B20T	20	4,794	5,19	0,67	2,17	3,268	1,575	2,20		
NK - 60B21T	21	5,032	5,43	0,67	2,17	3,268	1,575	2,30		
NK - 60B22T	22	5,270	5,67	0,67	2,17	3,268	1,575	2,50		
NK - 60B23T	23	5,507	5,91	0,67	2,17	3,268	1,575	2,50		
NK - 60B24T	24	5,746	6,15	0,67	2,17	3,268	1,575	2,60		
NK - 60B25T	25	5,984	6,39	0,67	2,17	3,268	1,575	2,70		
NK - 60B26T	26	6,222	6,63	0,67	2,17	3,268	1,575	2,90		
NK - 60B28T	28	6,698	7,11	0,83	2,17	3,268	1,575	3,10		
NK - 60B29T	29	6,937	7,32	0,83	2,17	3,268	1,575	3,30		
NK - 60B30T	30	7,175	7,59	0,83	2,17	3,268	1,575	3,40		
NK - 60B31T	31	7,413	7,80	0,83	2,17	3,268	1,575	3,64		Bajo acero al carbono SS41 (welded hub)
NK - 60B32T	32	7,652	8,07	0,83	2,17	3,268	1,575	3,80		
NK - 60B34T	34	8,128	8,50	0,83	2,17	3,268	1,575	4,15		
NK - 60B35T	35	8,367	8,78	0,83	2,17	3,268	1,575	4,33		
NK - 60B36T	36	8,605	9,02	0,83	2,17	3,268	1,575	4,52		
NK - 60B38T	38	9,082	9,49	0,83	2,17	3,268	1,575	4,90		
NK - 60B40T	40	9,559	9,98	0,83	2,17	3,268	1,575	5,30		
NK - 60B42T	42	10,036	10,46	0,91	2,48	3,661	1,772	6,40		
NK - 60B43T	43	10,275	10,71	0,91	2,48	3,661	1,772	6,60		
NK - 60B44T	44	10,513	10,94	0,91	2,48	3,661	1,772	6,88		
NK - 60B45T	45	10,752	11,18	0,91	2,48	3,661	1,772	7,10		
NK - 60B48T	48	11,467	11,89	0,91	2,48	3,661	1,772	7,85		
NK - 60B54T	54	12,899	13,33	0,91	2,48	3,661	1,772	9,50		
NK - 60B60T	60	14,330	14,76	0,91	2,48	3,661	1,772	11,30		
NK - 60B65T	65	15,524	15,94	1,02	2,95	4,213	1,772	13,50		



```
program ROBOT_REV0
```

```
' Declarations section
```

```
main:
```

```
' Main program
```

```
ANSEL = 0          ' Configure AN pins as digital I/O
```

```
ANSELH = 0
```

```
PORTA.0 = 1       ' INPUT ADVANCE
```

```
TRISA.0 = 1
```

```
PORTA.1 = 1       ' INPUT BACKWARD
```

```
TRISA.1 = 1
```

```
PORTA.2 = 1       ' INPUT LEFT - SIDE M1
```

```
TRISA.2 = 1
```

```
PORTA.3 = 1       ' INPUT RIGHT - SIDE M2
```

```
TRISA.3 = 1
```

```
PORTB.0 = 0
```

```
TRISB.0 = 0       ' PROOF LED
```

```
PORTD.0 = 0
```

```
TRISD.0 = 0       ' OUTPUT GO FORWARD M1
```

```
PORTD.1 = 0
```

```
TRISD.1 = 0       ' OUTPUT GO FORWARD M2
```

PORTD.2 = 0

TRISD.2 = 0 ' OUTPUT Turn M1

PORTD.3 = 0

TRISD.3 = 0 ' OUTPUT Turn M2

PORTD.4 = 0

TRISD.4 = 0 ' OUTPUT GO BACKWARD M1

PORTD.5 = 0

TRISD.5 = 0 ' OUTPUT GO BACKWARD M2

PORTB.0 = 1

while true

PORTB.0 = 0

PORTD.0 = 0

PORTD.1 = 0

PORTD.3 = 0

PORTD.2 = 0

PORTD.4 = 0

PORTD.5 = 0

'FORWARD M1 AND M2

WHILE ( PORTA.0 = 1 )and ( PORTA.1 = 0 )and ( PORTA.2 = 0 )and ( PORTA.3 = 0 )

PORTD.0 = 1 ' MOTOR 1

PORTD.1 = 1 ' MOTOR 2

wend

PORTD.0 = 0

PORTD.1 = 0

'BACKWARD M1 AND M2

WHILE ( PORTA.0 = 0 )and ( PORTA.1 = 1 )and ( PORTA.2 = 0 )and ( PORTA.3 = 0 )

PORTD.4 = 1 ' MOTOR 1

PORTD.5 = 1 ' MOTOR 2

wend

'PORTD.4 = 0

PORTD.5 = 0

'Turn RIGHT FORWARD

WHILE ( PORTA.0 = 0 )and ( PORTA.1 = 0 )and ( PORTA.2 = 1 )and ( PORTA.3 = 0 )

PORTD.0 = 1 'turn M1

PORTD.2 = 1 'Reduce Velocity M2

PORTD.1 = 1 'FORWARD M2

wend

PORTD.0 = 0

PORTD.2 = 0

PORTD.2 = 0

'Turn LEFT FORWARD

WHILE ( PORTA.0 = 0 )and ( PORTA.1 = 0 )and ( PORTA.2 = 0 )and ( PORTA.3 = 1 )

PORTD.1 = 1 'turn M2

PORTD.3 = 1 'Reduce Velocity M1

PORTD.0 = 1 'FORWARD M1

wend

PORTD.1 = 0

PORTD.3 = 0

PORTD.0 = 0

'Turn RIGHT BACKWARD

WHILE ( PORTA.0 = 0 )and ( PORTA.1 = 1 )and ( PORTA.2 = 1 )and ( PORTA.3 = 0 )

PORTD.4 = 1 'turn M1

PORTD.2 = 1 'Reduce Velocity M2

PORTD.5 = 1 'BACK M2

wend

PORTD.4 = 0

PORTD.2 = 0

PORTD.5 = 0

'Turn Left BACKWARD

WHILE ( PORTA.0 = 0 )and ( PORTA.1 = 1 )and ( PORTA.2 = 0 )and ( PORTA.3 = 1 )

PORTD.5 = 1 'turn M2

PORTD.3 = 1 'Reduce Velocity M1

PORTD.4 = 1 'BACK M1

wend

PORTD.5 = 0

PORTD.3 = 0

PORTD.4 = 0

'Rotary RIGHT

WHILE ( PORTA.0 = 1 )and ( PORTA.1 = 0 )and ( PORTA.2 = 1 )and ( PORTA.3 = 0 )

PORTD.0 = 1 'turn M1

PORTD.5 = 1 'Reduce Velocity M1

wend

'PORTD.0 = 0

PORTD.5 = 0

'Rotary Left

WHILE ( PORTA.0 = 1 )and ( PORTA.1 = 0 )and ( PORTA.2 = 0 )and ( PORTA.3 = 1 )

PORTD.1 = 1     'turn M2

PORTD.4 = 1     'Reduce Velocity M1

wend

PORTD.1 = 0

PORTD.4 = 0

wend

end.

**APÉNDICE C**  
**Planos Esquemáticos**

6 5 4 3 2 1

D

D

C

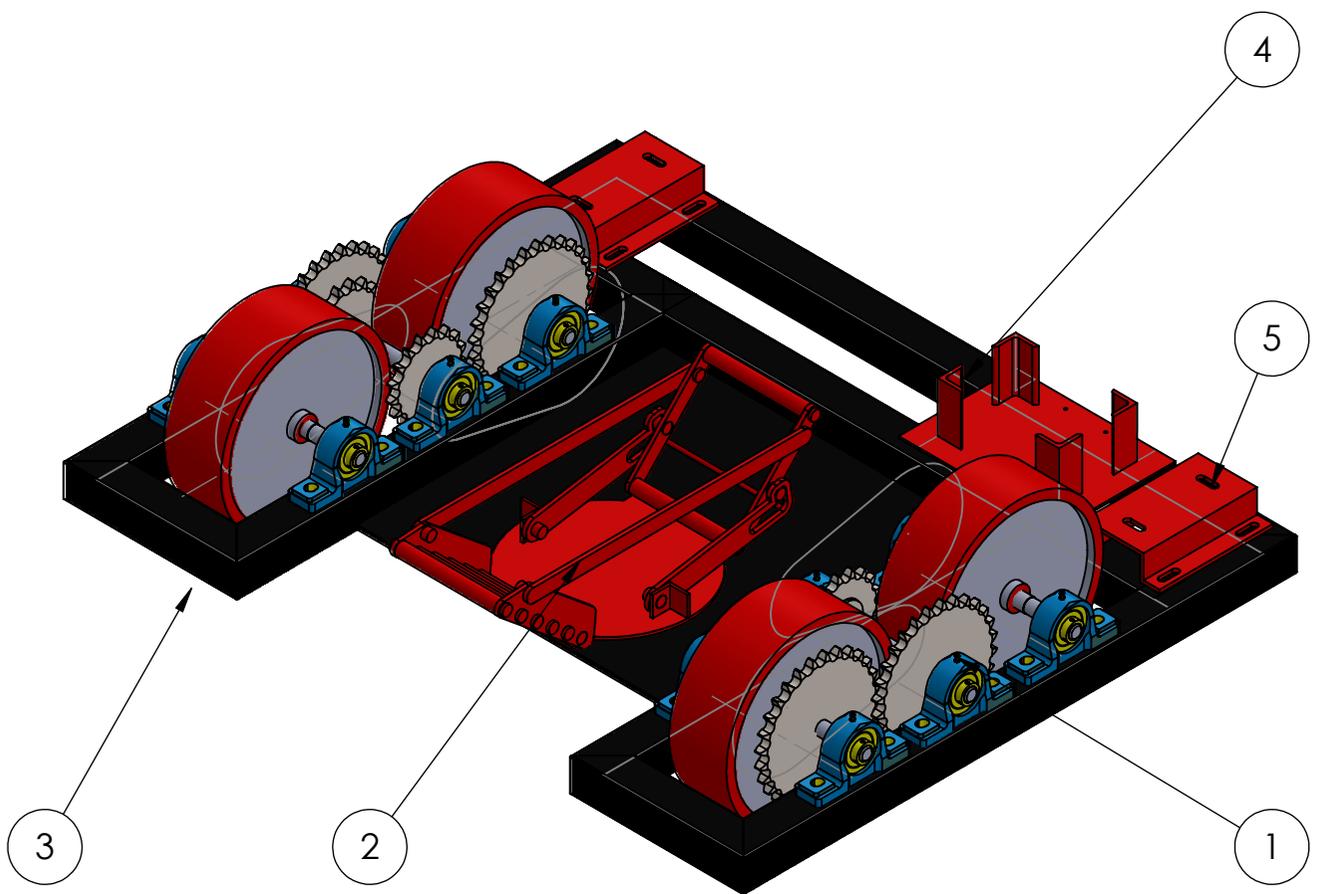
C

B

B

A

A

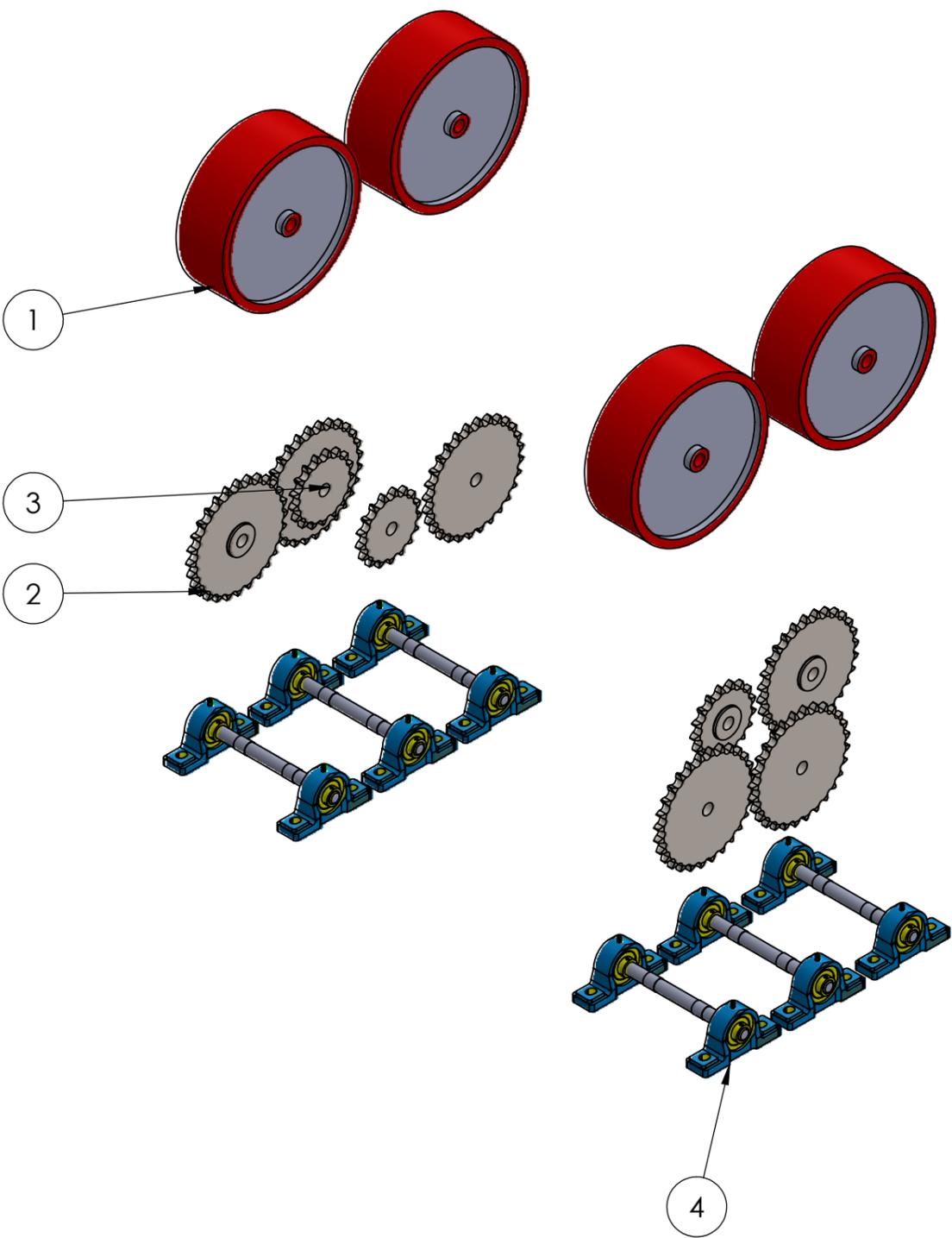


No.	Partes
1	Sistema de transmisión de movimiento
2	Seguro de tren delantero
3	Chasis
4	Apoyo de batería
5	Apoyo de motores DC

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
DIBUJ. FREIRE-RUBIO			FIRMA		FECHA		TÍTULO:				
VERIF.							PARTES DEL ROBOT REMOLCADOR				
APROB.											
FABR.											
CALID.							MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		
									Robot Remolcador		
							PESO:		ESCALA: 1:20		A4
									HOJA 1 DE 1		1.0

6 5 4 3 2 1

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	rueda	GARRUCHA	4
2	short pitch roller chain wheel_s_iso		6
3	short pitch roller chain wheel_s_iso		6
4	Ensamblaje de eje	EJE Y CHUMACERA	6



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ. FREIRE-RUBIO						COMPONENTES DEL SISTEMA DE TRANSMISION DE MOVIMIENTO			
VERIF.						N.º DE DIBUJO		A3	
APROB.						Sistema de transmisión-explorado		1.1	
FABR.						MATERIAL:			
CALID.						PESO:		ESCALA:1:10	
								HOJA 1 DE 1	

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

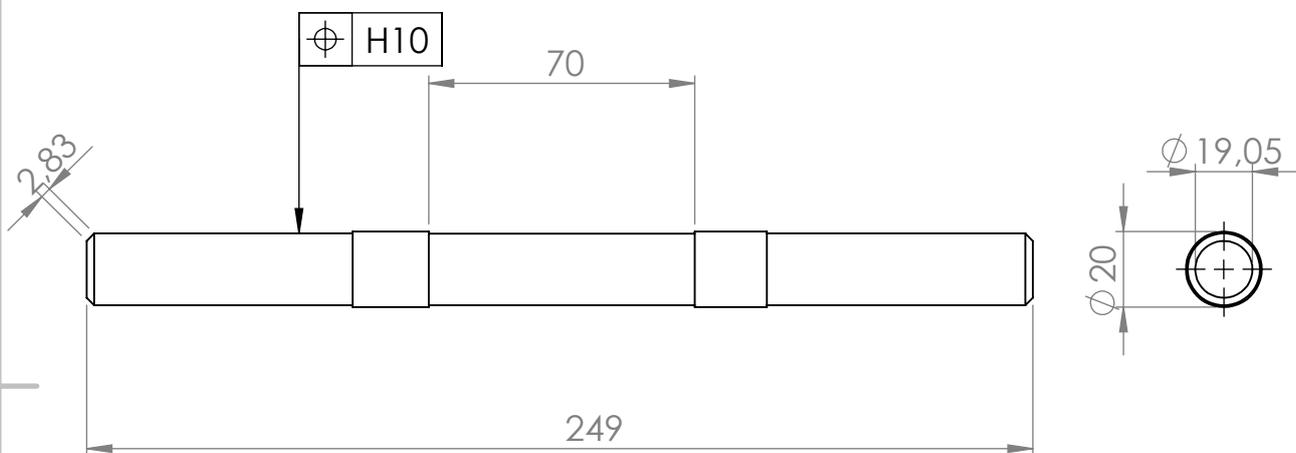
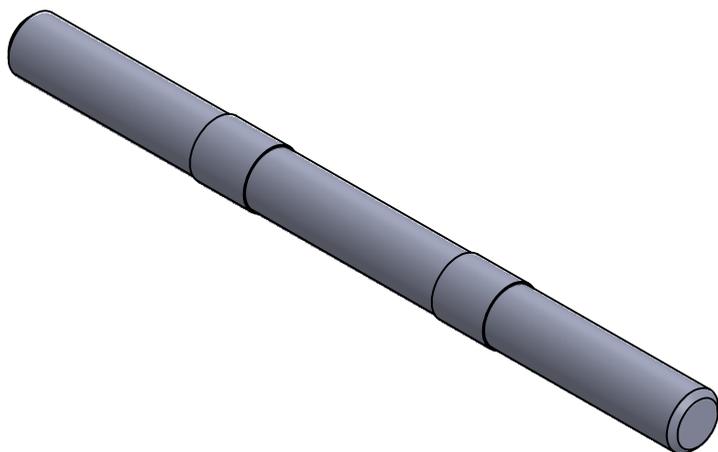
C

B

B

A

A



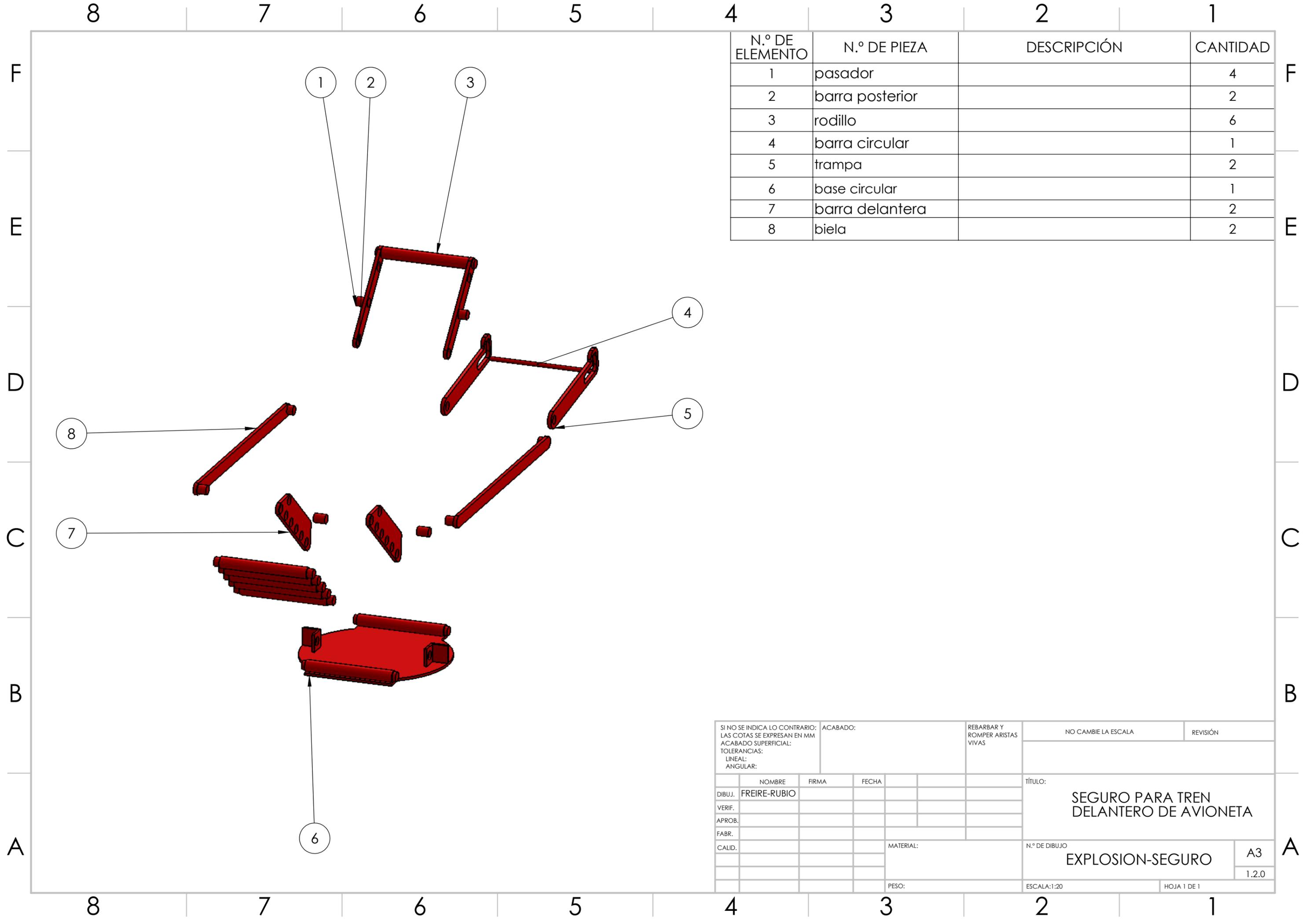
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
VERIF.	FREIRE-RUBIO			DIMENSIONES DE EJE	
APROB.					
FABR.					
CALID.					
MATERIAL:			N.º DE DIBUJO	EJE	
PESO:			ESCALA:1:5	A4	
				1.1.4	
				HOJA 1 DE 1	

4

3

2

1



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	pasador		4
2	barra posterior		2
3	rodillo		6
4	barra circular		1
5	trampa		2
6	base circular		1
7	barra delantera		2
8	biela		2

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO:	
DIBUJ. FREIRE-RUBIO				SEGURO PARA TREN DELANTERO DE AVIONETA	
VERIF.				N.º DE DIBUJO	
APROB.				EXPLOSION-SEGURO	
FABR.			MATERIAL:	A3	
CALID.				1.2.0	
			PESO:	ESCALA:1:20	HOJA 1 DE 1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

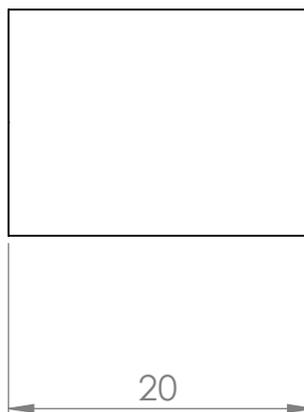
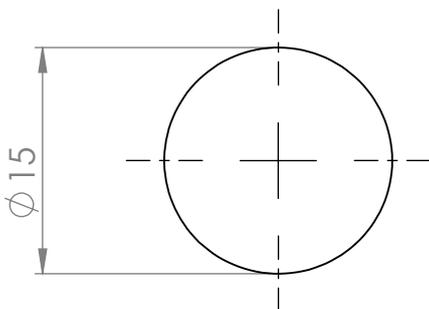
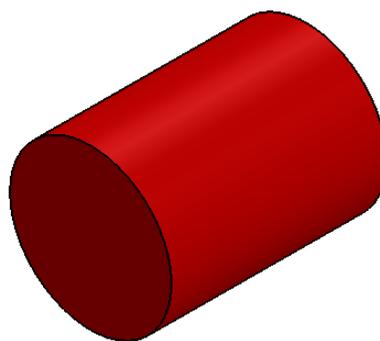
D

C

C

B

B



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
 ACABADO SUPERFICIAL:  
 TOLERANCIAS:  
 LINEAL:  
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y  
 ROMPER ARISTAS  
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.	FREIRE-RUBIO			
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CALID.				

TÍTULO:

DIMENSIONES DE PASADOR

MATERIAL:

AI SI 1018

N.º DE DIBUJO

PASADOR

A4

1.2.1

PESO:

ESCALA:2:1

HOJA 1 DE 1

4

3

2

1

A

A

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

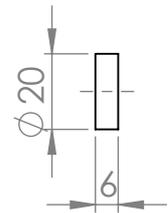
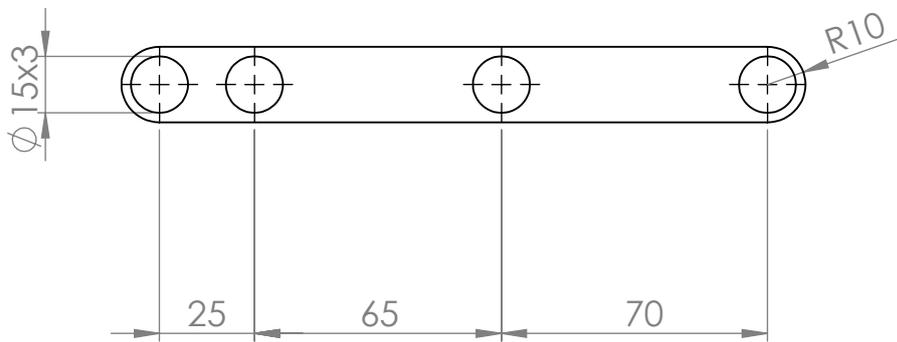
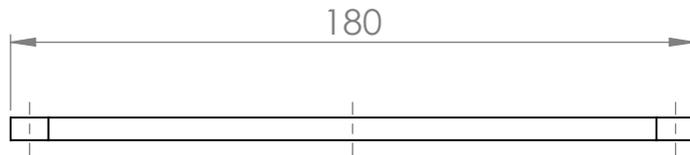
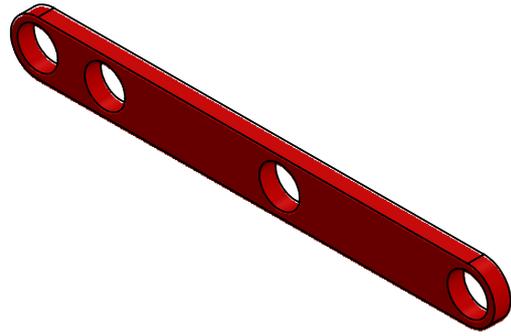
C

B

B

A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ. FREIRE-RUBIO		FIRMA		FECHA		TÍTULO: <b>DIMENSIONES DE BARRA POSTERIOR</b>			
VERIF.						N.º DE DIBUJO		A4	
APROB.						BARRA POSTERIOR		1.2.2	
FABR.						MATERIAL: <b>ACERO A36</b>		ESCALA:1:2	
CALID.						PESO:		HOJA 1 DE 1	

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

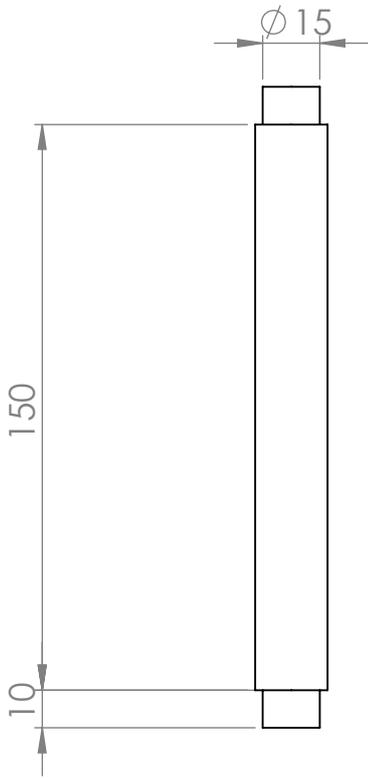
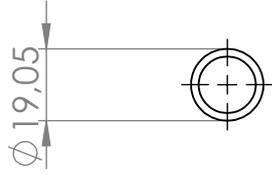
C

B

B

A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
 ACABADO SUPERFICIAL:  
 TOLERANCIAS:  
 LINEAL:  
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y  
 ROMPER ARISTAS  
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	FREIRE-RUBIO		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO: <b>DIMENSIONES DE RODILLO</b>	
MATERIAL: <b>AISI 1018</b>	N.º DE DIBUJO <b>RODILLO</b>
PESO:	ESCALA:1:2
	HOJA 1 DE 1

A4  
 1.2.3

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

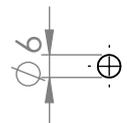
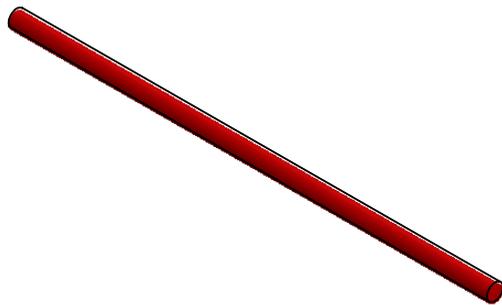
C

B

B

A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
VERIF.	FREIRE-RUBIO			DIMENSIONES DE BARRA CIRCULAR	
APROB.				N.º DE DIBUJO	
FABR.				BARRA CIRCULAR	
CALID.			MATERIAL:	A4	
			AISI 1018	1.2.4	
			PESO:	ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

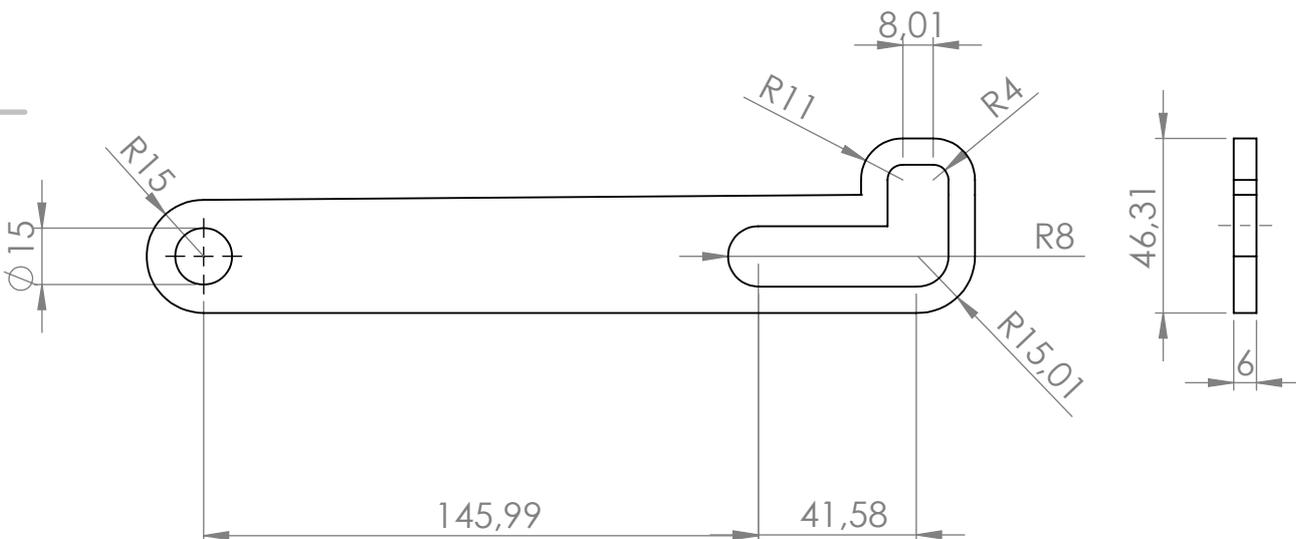
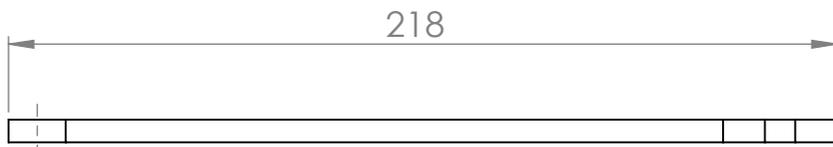
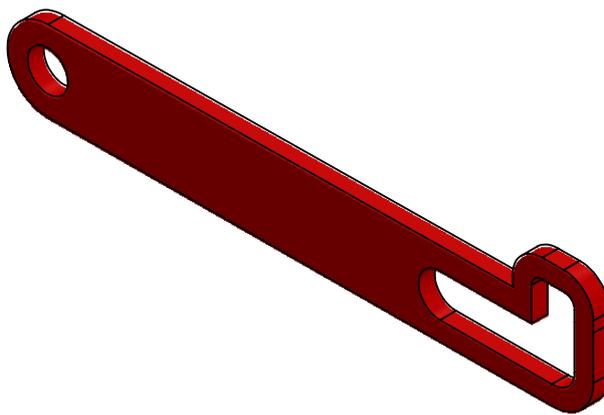
C

B

B

A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
 ACABADO SUPERFICIAL:  
 TOLERANCIAS:  
 LINEAL:  
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y  
 ROMPER ARISTAS  
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.	FREIRE-RUBIO			
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CALID.				

TÍTULO:

DIMENSIONES DE LA TRAMPA

N.º DE DIBUJO

TRAMPA

A4  
 1.2.5

MATERIAL:

A 36

PESO:

ESCALA:1:2

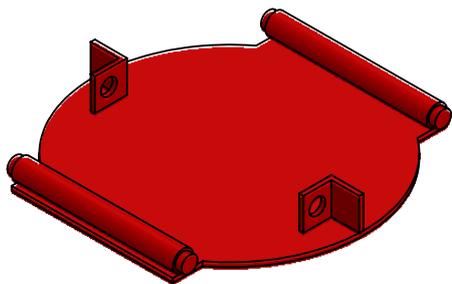
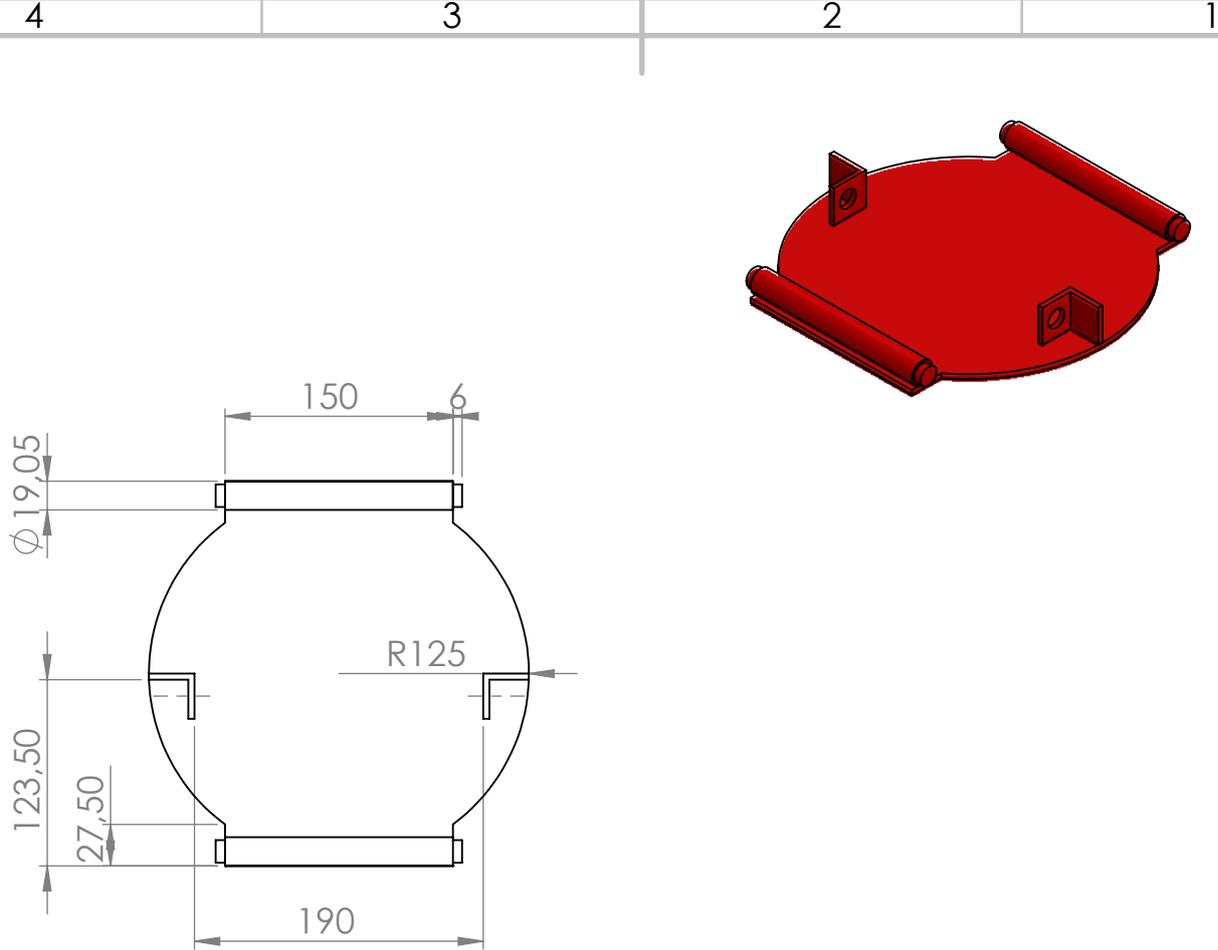
HOJA 1 DE 1

4

3

2

1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
 ACABADO SUPERFICIAL:  
 TOLERANCIAS:  
 LINEAL:  
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y  
 ROMPER ARISTAS  
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	FREIRE-RUBIO		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO: <b>DIMENSIONS DE BASE CIRCULAR</b>	
N.º DE DIBUJO <b>BASE CIRCULAR</b>	A4 1.2.6
PESO:	ESCALA:1:5
HOJA 1 DE 1	

A

A

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

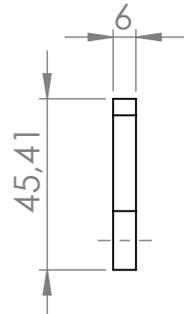
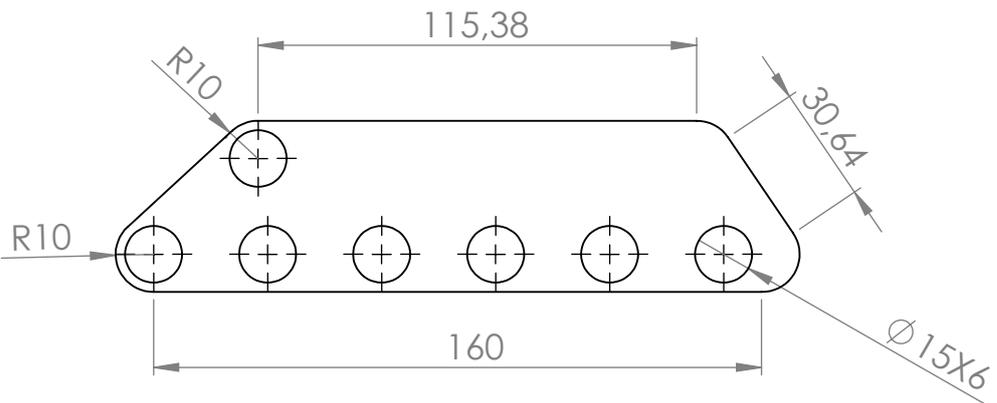
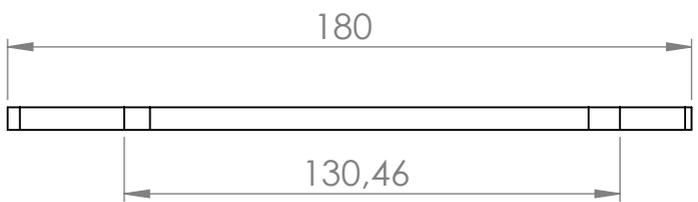
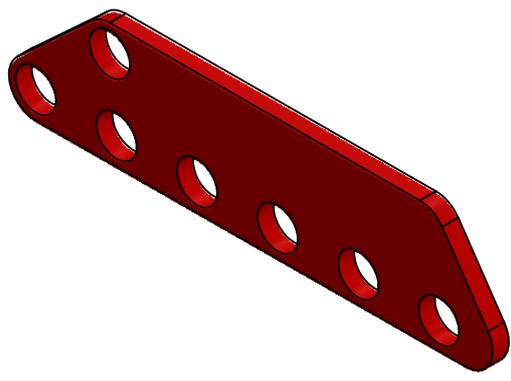
C

B

B

A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ. FREIRE-RUBIO		FIRMA		FECHA		TÍTULO: <b>DIMENSIONES DE BARRA DELANTERA</b>			
VERIF.						N.º DE DIBUJO		A4	
APROB.						<b>BARRA DELANTERA</b>		1.2.7	
FABR.						MATERIAL: <b>A 36</b>		ESCALA:1:2	
CALID.						PESO:		HOJA 1 DE 1	

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

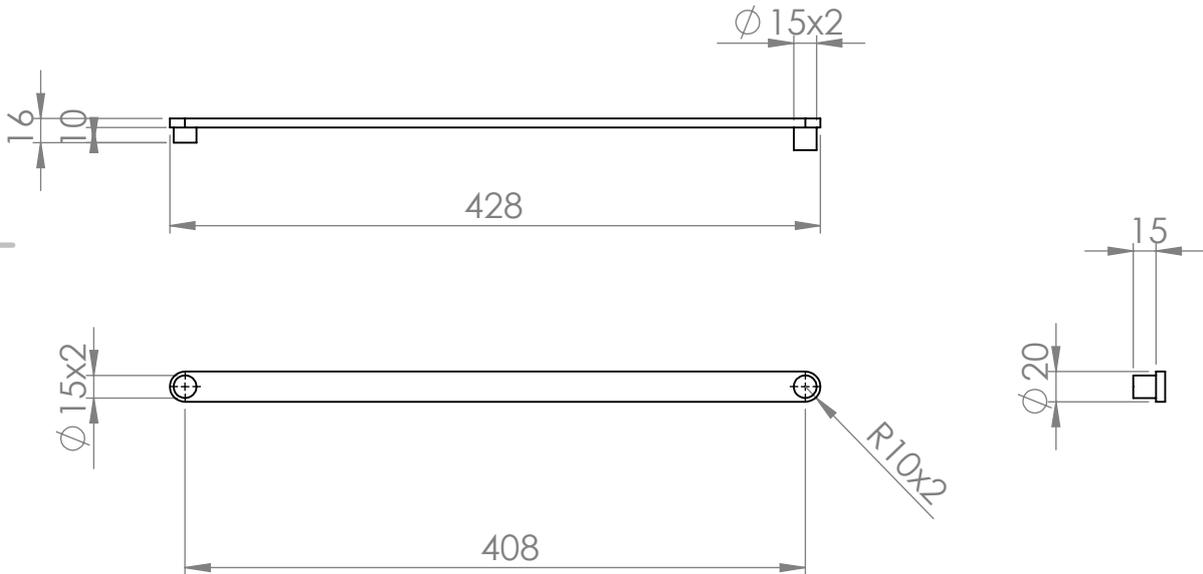
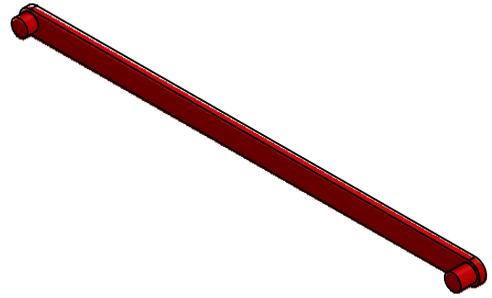
C

B

B

A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ. FREIRE-RUBIO		FIRMA		FECHA		TÍTULO: <b>DIMENSIONES DE BARRA BIELA</b>			
VERIF.						N.º DE DIBUJO <b>BIELA</b>			
APROB.									
FABR.						A4 1.2.8			
CALID.				MATERIAL:					
				PESO:		ESCALA:1:5		HOJA 1 DE 1	

4

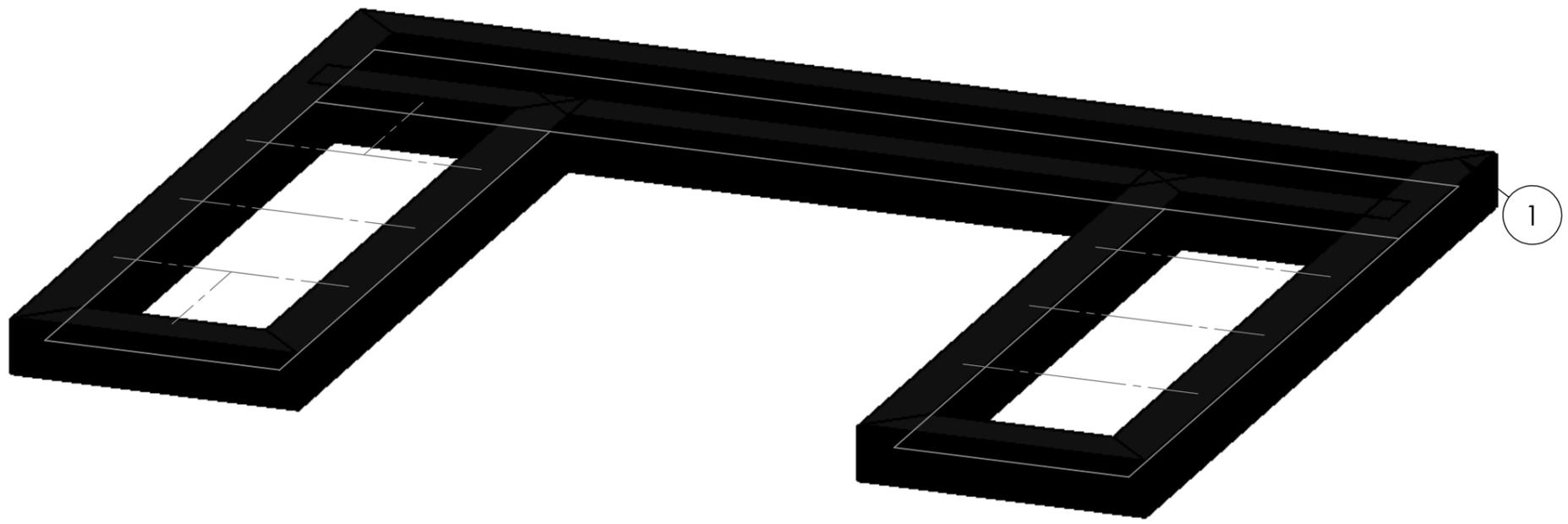
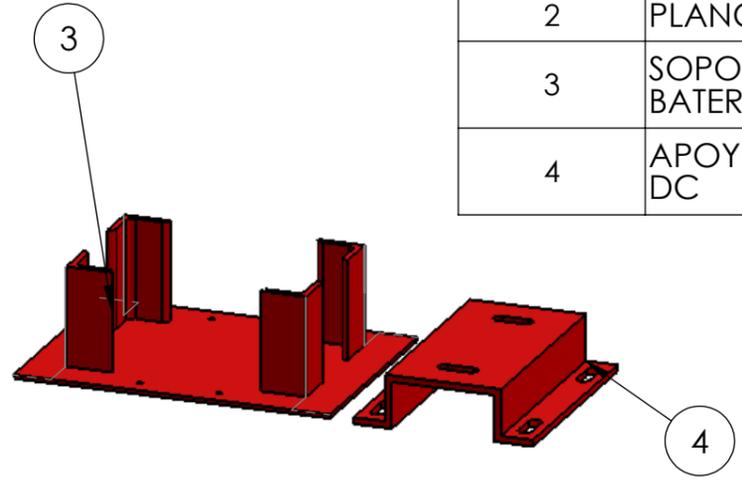
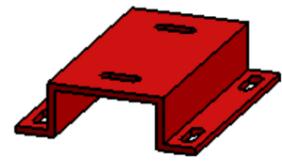
3

2

1

8 7 6 5 4 3 2 1

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	ESTRUCTURA		1
2	PLANCHA		1
3	SOPORTE DE BATERÍA		1
4	APOYOS DE MOTOR DC		2



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE	FIRMA	FECHA		TÍTULO: <b>COMPONENTES ESTRUCTURALES DEL ROBOT</b>	
DIBUJ. FREIRE-RUBIO				N.º DE DIBUJO <b>CHASIS</b>	
VERIF.				A3 1.3.0	
APROB.				ESCALA:1:10	
FABR.			MATERIAL:	HOJA 1 DE 1	
CALID.			PESO:		

8 7 6 5 4 3 2 1

F  
E  
D  
C  
B  
A

F  
E  
D  
C  
B  
A

2

1

4

3

4

3

2

1

F

F

E

E

D

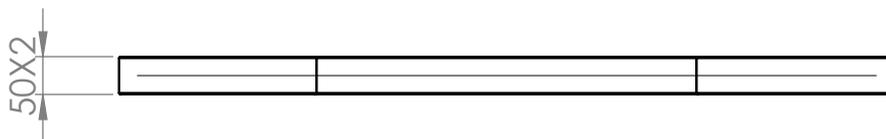
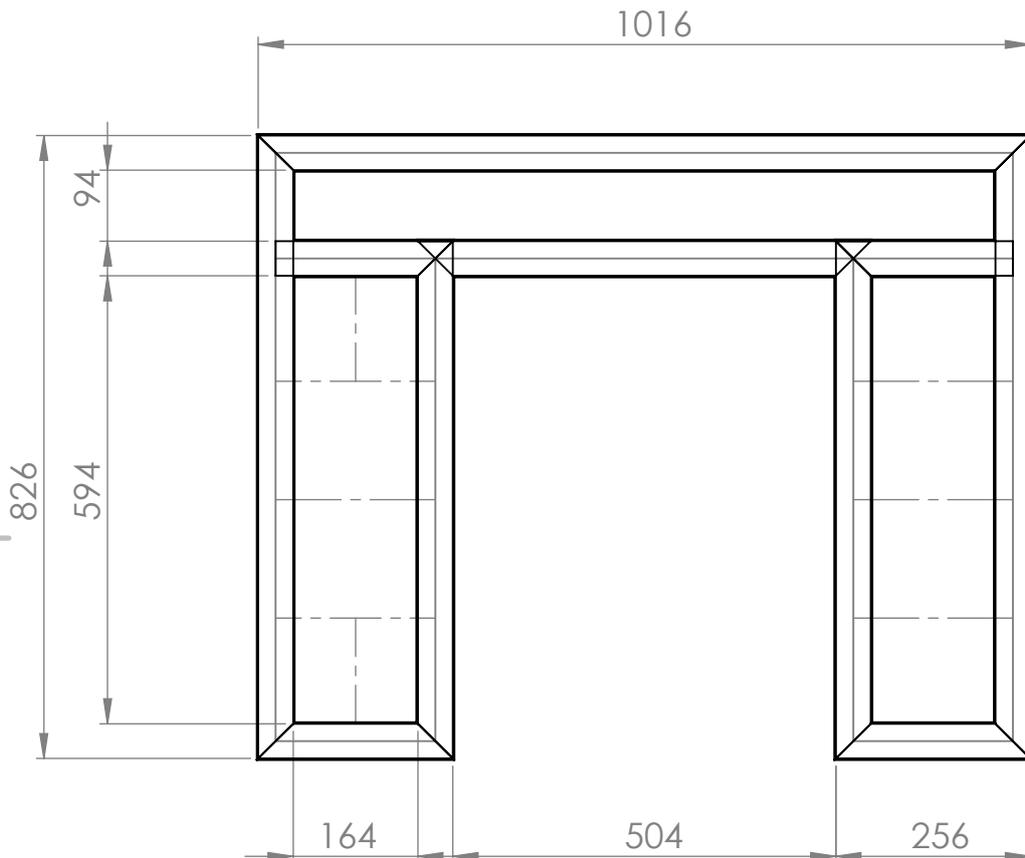
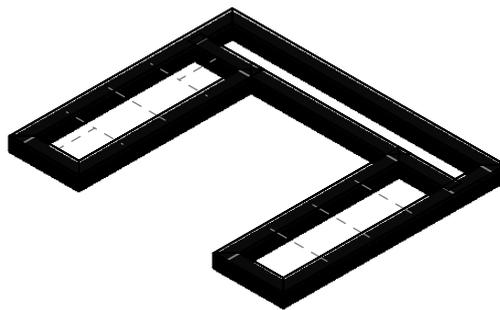
D

C

C

B

B



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
 ACABADO SUPERFICIAL:  
 TOLERANCIAS:  
 LINEAL:  
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	FREIRE-RUBIO		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:

DIMENSIONES DE ESTRUCTURA

N.º DE DIBUJO

ESTRUCTURA

A4  
1.3.1

MATERIAL: TUBO 50X2  
ASTM 500 A

PESO:

ESCALA:1:20

HOJA 1 DE 1

4

3

2

1

A

A

4

3

2

1

F

F

E

E

D

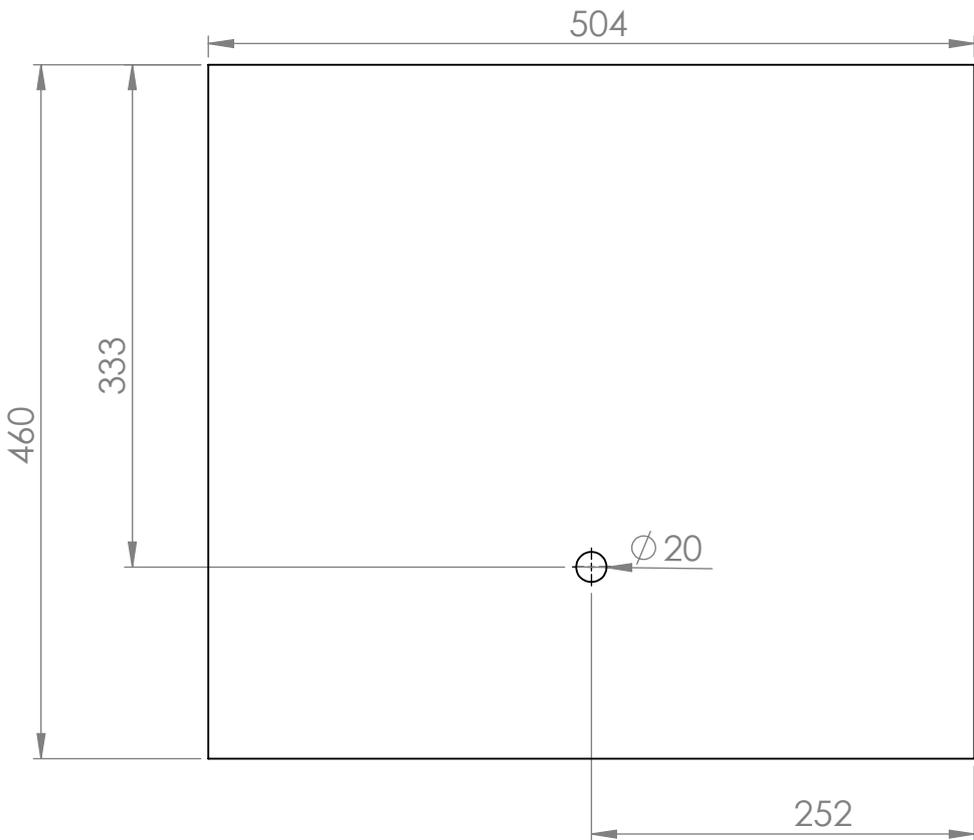
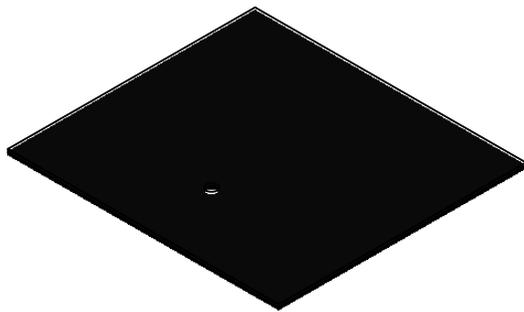
D

C

C

B

B



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
 ACABADO SUPERFICIAL:  
 TOLERANCIAS:  
 LINEAL:  
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	FREIRE-RUBIO		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:  
**DIMENSIONES DE PLANCHA DE SOPORTE**

N.º DE DIBUJO  
**PLANCHA**

MATERIAL:  
**A 36**

ESCALA:1:10

HOJA 1 DE 1

A4  
 1.3.2

4

3

2

1

A

A

4

3

2

1

F

F

E

E

D

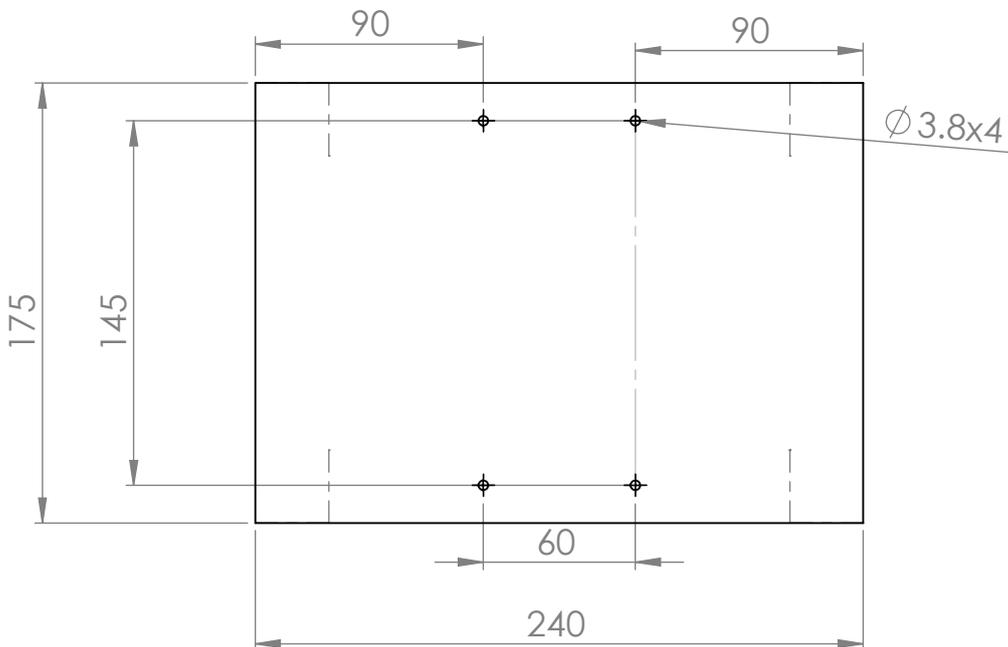
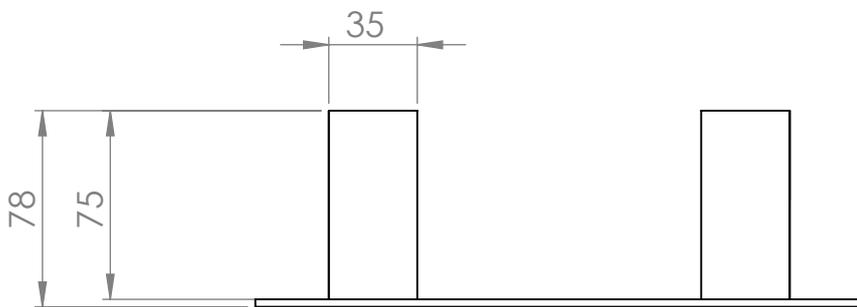
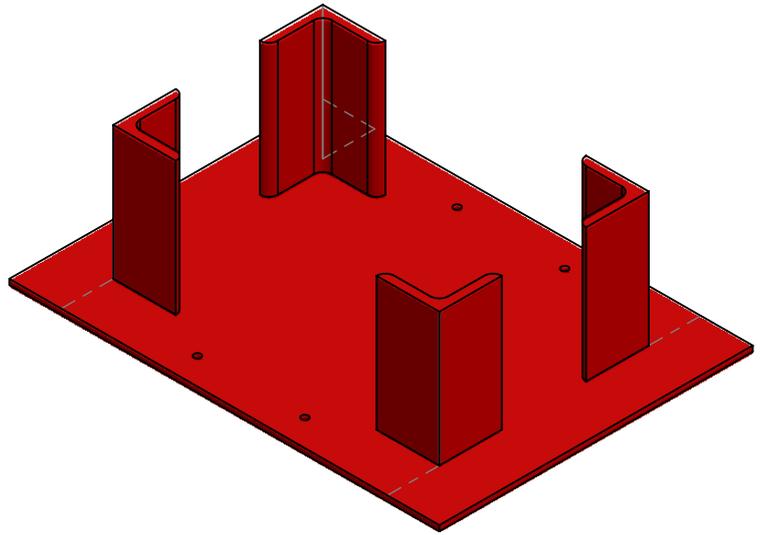
D

C

C

B

B



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
---	----------	---------------------------------	---------------------	----------

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	FREIRE-RUBIO		
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO: <b>DIMENSIONES DE SOPORTE PARA BATERÍA</b>
N.º DE DIBUJO <b>SOPORTE PARA BATERÍA</b>
A4 1.3.3
MATERIAL: <b>A 36</b>
PESO:
ESCALA:1:5
HOJA 1 DE 1

4

3

2

1

A

A

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

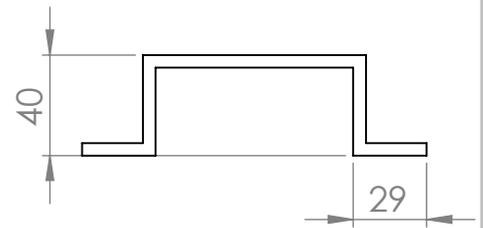
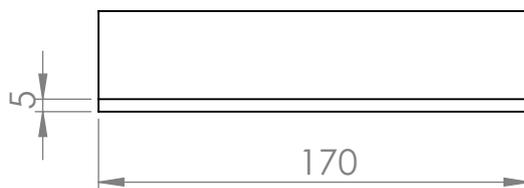
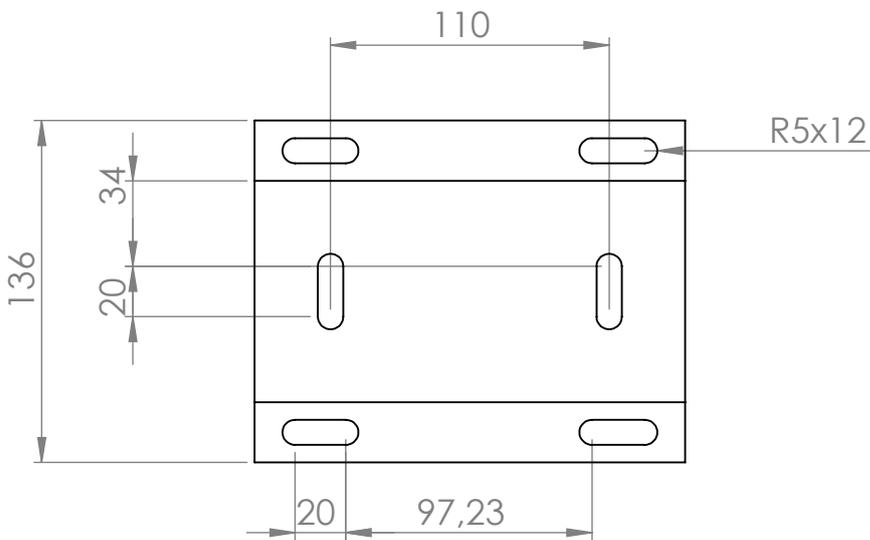
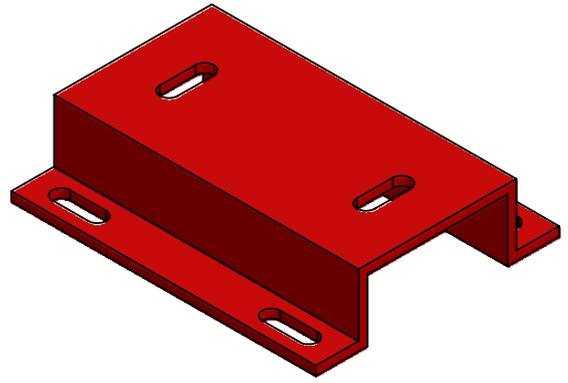
C

B

B

A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
ACABADO SUPERFICIAL:  
TOLERANCIAS:  
LINEAL:  
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	
DIBUJ.	FREIRE-RUBIO			
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CALID.				

TÍTULO:

DIMENSIONES DE  
APOYO DE MOTOR  
DC

N.º DE DIBUJO

APOYO DE MOTOR

A4

1.3.4

MATERIAL:

A 36

PESO:

ESCALA:1:5

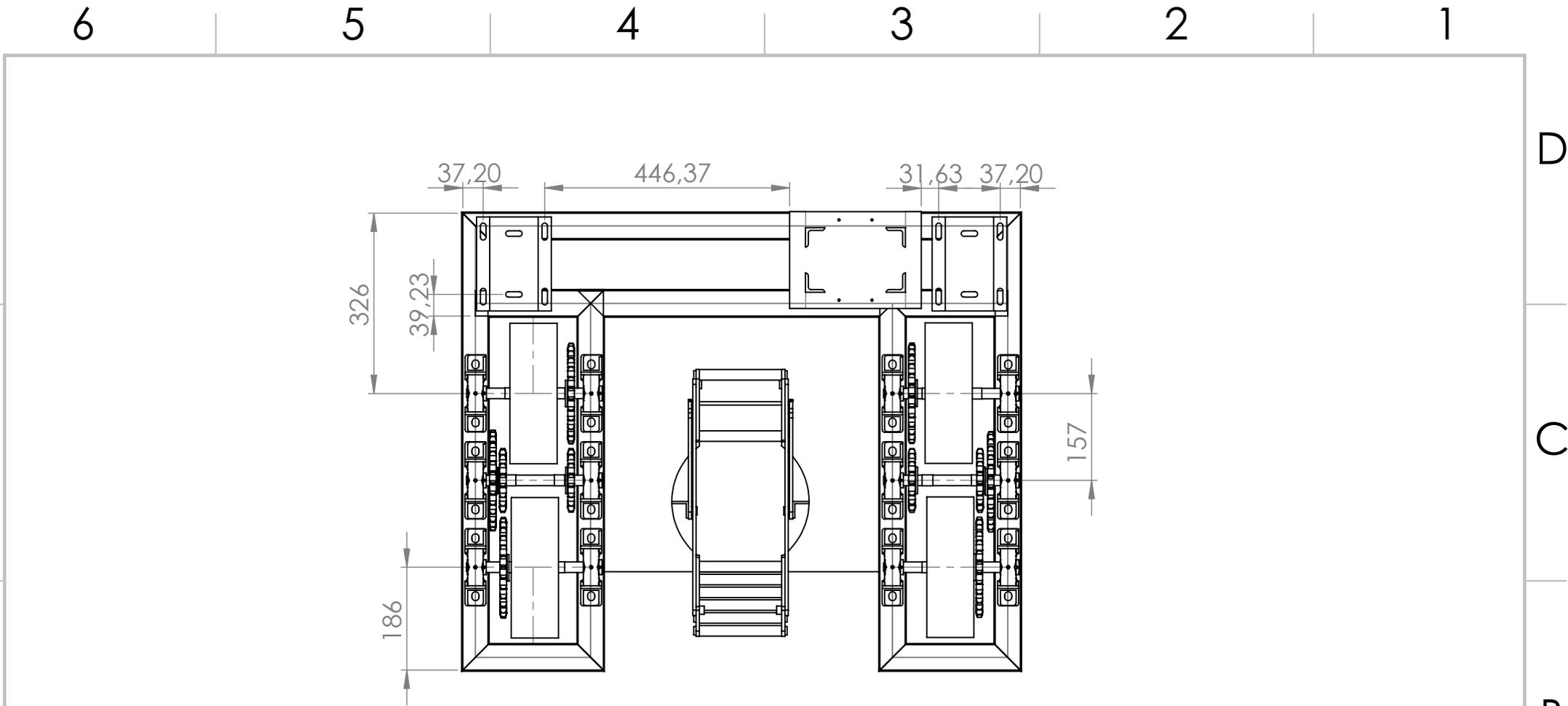
HOJA 1 DE 1

4

3

2

1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
							TÍTULO: <b>MONTAJE DE COMPONENTES DEL ROBOT</b>				
							N.º DE DIBUJO		A4		
							PLANO DE MONTAJE		2.0		
					PESO:		ESCALA: 1:20		HOJA 1 DE 1		

	NOMBRE	FIRMA	FECHA		
DIBUJ.	FREIRE-RUBIO				
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.					

TÍTULO: <b>MONTAJE DE COMPONENTES DEL ROBOT</b>	
N.º DE DIBUJO	A4
PLANO DE MONTAJE	2.0
ESCALA: 1:20	HOJA 1 DE 1