

**SISTEMA MOTRIZ DE UN PARAMOTOR  
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO**

**HARBIN YOBANY MORENO SALAZAR  
ERICK MAURICIO CURCIO DIAZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA  
2.005**

**SISTEMA MOTRIZ DE UN PARAMOTOR. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN  
DE UN PROTOTIPO**

**HARBIN YOBANY MORENO SALAZAR  
ERICK MAURICIO CURCIO DIAZ**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director  
JORGE ENRIQUE MENESES FLOREZ  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA  
2005**

*“No se evoluciona mecánicamente,  
La evolución del hombre es la evolución de la conciencia  
y la conciencia no puede evolucionar inconcientemente!  
La evolución del hombre es la evolución de su voluntad  
y la voluntad no puede evolucionar involuntariamente!  
La evolución del hombre es la evolución de su poder de hacer  
y hacer no puede ser el resultado de lo que suceda”.*

*Georges Ivanovich Gurdjieff.*

## DEDICATORIA

*A mi madre por su colaboración.  
A Dios por la ayuda incondicional.*

*Harbin*

## DEDICATORIA

*A mi padre y a mi madre por  
su inagotable fe en mí.*

*Erick*

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su agradecimiento a:

Jorge Enrique Meneses, Ingeniero mecánico, director de este proyecto, por su colaboración a nuestra formación profesional.

A MOTOCLINIC, y a todas las personas que apoyaron y contribuyeron al logro de esta meta ya fuese con su experiencia, enseñanza, confianza o amistad.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	23
<b>1. OBJETIVOS</b> .....	25
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	25
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	25
<b>2. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN</b> .....	29
2.1 PROPUESTA 1 (MOTOR EN POSICIÓN NORMAL) .....	29
2.1.1 Ventajas .....	30
2.1.2 Desventajas .....	30
2.2 PROPUESTA 2 (MOTOR INVERTIDO CON SOPORTE SUPERIOR)... ..	30
2.2.1 Ventajas .....	31
2.2.2 Desventajas .....	31
2.3 PROPUESTA 3 (MOTOR INVERTIDO CON SOPORTE SUPERIOR RÍGIDO).....	31
2.3.1 Ventajas .....	32
2.3.2 Desventajas .....	32
2.4 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA SELECCIONADA.....	32
<b>3. CONCEPTO GENERAL DE DISEÑO DEL PARAMOTOR</b> .....	34
3.1 SISTEMAS DEL PARAMOTOR.....	35
3.1.1 Sistema motriz. ....	36
3.1.2 Sistema estructural. ....	37
3.1.3 Sistema de transmisión.....	38
3.1.4 Sistema externo. ....	39
3.1.5 Sistema de escape. ....	39
3.2 CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO GENERAL.....	40

	Pág.
<b>4. SISTEMA MOTRIZ .....</b>	<b>43</b>
4.1 CONDICIONES Y MODIFICACIONES DEL MOTOR.....	43
4.2 CURVAS DEL MOTOR.....	44
4.2.1 Potencia vs. Revoluciones .....	44
4.3 IMPLICACIONES DEL MOTOR INVERTIDO .....	45
<b>5. SISTEMA ESTRUCTURAL .....</b>	<b>46</b>
5.1 PARTES DEL SISTEMA ESTRUCTURAL.....	47
5.2 PLACA QUE SOSTIENE EL MOTOR DE ARRANQUE .....	47
5.2.1 Diseño de la placa. ....	48
5.2.2 Análisis de esfuerzos. ....	48
5.3 SOPORTE SUPERIOR.....	49
5.3.1 Diseño del soporte superior. ....	50
5.3.2 Análisis de esfuerzos. ....	52
5.4 CARCASAS .....	53
5.4.1 Diseño de carcasas. ....	55
5.4.2 Análisis de esfuerzos. ....	59
<b>6. SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....</b>	<b>61</b>
6.1 PARTES DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN .....	62
6.2 TAMAÑO DE LA HÉLICE .....	62
6.3 REDUCCIÓN .....	65
6.3.1 Transmisión flexible. ....	66
6.3.2 Selección de la correa. ....	67
6.3.3 Cálculo de la correa. ....	67
6.3.4 Cálculo del número de correas. ....	70
6.3.5 Diseño de las poleas.....	71
6.3.6 Análisis de esfuerzos de las poleas. ....	72
6.4 CINTA DE ARRANQUE.....	76
6.4.1 Diseño de la cinta de arranque. ....	77

6.4.2 Cálculo del número de dientes.....	77
6.4.3 Análisis de esfuerzos.....	78
6.4.5 Tratamiento térmico.....	79
6.5 ACOPLA DE POLEA CONDUCTORA.....	80
6.5.1 Diseño del acople de polea conductora.....	81
6.5.2 Análisis de esfuerzos.....	81
6.6 ACOPLA DE LA HÉLICE.....	83
6.6.1 Diseño del acople de la hélice.....	84
6.6.2 Análisis de esfuerzos.....	84
6.7 EJE DE LA POLEA CONDUCTADA.....	86
6.7.1 Diseño del eje de la polea conducida.....	87
6.7.2 Fuerzas presentes en el eje.....	87
6.7.3 Diámetro de entalladura dispuesto por los rodamientos.....	88
6.7.4 Análisis estructural.....	89
<b>7. SISTEMA EXTERNO.....</b>	<b>91</b>
7.1 PARTES DEL SISTEMA EXTERNO.....	91
7.2 CHASIS.....	91
7.2.1 Diseño del chasis.....	92
7.2.2 Análisis estructural del chasis.....	93
7.3 PLACA DE SOPORTE.....	95
7.3.1 Diseño de los espárragos.....	95
<b>8. SISTEMA DE ESCAPE.....</b>	<b>97</b>
8.1 DISEÑO DEL EXHOSTO.....	97
8.1.1 Velocidad de los gases de escape.....	97
8.1.2 Calculo de la temperatura de salida de los gases.....	98
8.1.3 Longitud del Tubo de Escape.....	99
8.1.4 Diámetro del Tubo de Escape.....	100
8.1.5 Coeficientes para calcular la cámara de expansión del escape.....	100
<b>9. ELEMENTOS SELECCIONADOS.....</b>	<b>103</b>
9.1 DEPOSITO DE COMBUSTIBLE.....	103

	Pág.
9. 2 CARBURADOR .....	104
9.2.1 Diámetro del difusor.....	104
<b>10. FABRICACIÓN</b> .....	<b>107</b>
10.1 FUNDICIÓN DE LOS MOLDES.....	107
10.2 MECANIZADO .....	109
10.2.1 Labores a realizar. ....	109
10.2.2 Tipo de sujeción.....	110
10.2.3 Diagrama final.....	112
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>116</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>118</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>119</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>121</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características del sistema motriz. ....	26
Tabla 2. Partes a mecanizar .....	27
Tabla 3. Software CAD, CAM, CAE. ....	28
Tabla 4. Características del motor. ....	44
Tabla 5. Datos de potencia vs. Revoluciones .....	44
Tabla 6. Evolución del diseño del soporte superior.....	51
Tabla 7. Evolución del diseño de las carcasas. ....	56
Tabla 8. Reducción de la guía mundial de aviación ultraligera. ....	63
Tabla 9. Características de engranajes, cadenas, poleas. ....	66
Tabla 10. Tabla de selección del perfil de la correa.....	69
Tabla 11. Tabla de soluciones de números de dientes para la cinta. ....	78
Tabla 12. Características del rodamiento SKF 6004.....	89
Tabla 13. Características de las hélices según su tamaño. ....	129
Tabla 14. Propiedades mecánicas para acero 1045 (SAE J1397).....	132
Tabla 15. Propiedades mecánicas para acero 8620 (SAE J1397).....	132
Tabla 16. Propiedades mecánicas para acero 1020 según SAE J1397 .	133
Tabla 17. Factores de servicios $K_s$ para transmisiones de banda.....	134
Tabla 18. Características de los diferentes tipos de rodamiento.....	135
Tabla 19. Características de rodamientos rígidos de bolas. ....	136
Tabla 20. Porcentaje de mezcla de aceite y combustible. ....	138
Tabla 21. Especificaciones de los tornillos. ....	139
Tabla 22. Datos de pruebas.....	141

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Partes del paramotor .....	26
Figura 2. Dimensiones del paramotor .....	26
Figura 3. Motor en posición normal.....	29
Figura 4. Motor invertido con soporte superior.....	30
Figura 5. Motor invertido con soporte superior rígido.....	31
Figura 6. Diseño general del paramotor.....	34
Figura 7. Sistemas del prototipo. ....	35
Figura 8. Conjunto sistema motriz. ....	36
Figura 9. Conjunto sistema estructural. ....	37
Figura 10. Conjunto sistema de transmisión.....	38
Figura 11. Conjunto del sistema externo. ....	39
Figura 12. Conjunto sistema de escape.....	40
Figura 13. Sistema motriz. ....	43
Figura 14. Gráfica de potencia del motor.....	45
Figura 15. Sistema estructural .....	46
Figura 16. Placa motor de arranque .....	47
Figura 17. Fuerzas en la placa motor de arranque .....	48
Figura 18. Análisis de esfuerzos de la placa motor de arranque. ....	49
Figura 19. Soporte superior. ....	49
Figura 20. Cargas existentes en el soporte superior.....	52
Figura 21. Análisis de esfuerzos del soporte superior .....	53
Figura 22. Carcasas.....	53
Figura 23. Carcasa delantera.....	57
Figura 24. Carcasa trasera. ....	58
Figura 25. Fuerzas sobre las carcasas .....	59

	Pág.
Figura 26. Análisis de esfuerzos de las carcasas .....	60
Figura 27. Sistema de transmisión.....	61
Figura 28. Partes de la reducción .....	63
Figura 29. Montaje poleas-correa .....	68
Figura 30. Tensión de la correa .....	71
Figura 31. Detalle de las ranuras de las poleas.....	71
Figura 32. Poleas conductora y conducida .....	72
Figura 33. Fuerzas existentes en la polea conductora.....	72
Figura 34. Fuerzas (polea conductora y polea conducida) .....	74
Figura 35. Análisis de esfuerzos (polea conductora).....	74
Figura 36. Análisis de esfuerzos (polea conducida).....	75
Figura 37. Cinta de arranque .....	76
Figura 38. Forma de la Cinta de arranque .....	78
Figura 39. Análisis de esfuerzos de la Cinta de arranque.....	79
Figura 40. Acople de polea conductora .....	80
Figura 41. Diseño y montaje del acople de polea reductora.....	81
Figura 42. Cargas presentes en el acople de la polea conductora.....	82
Figura 43. Análisis de esfuerzos del acople de la polea conductora.....	83
Figura 44. Acople de la hélice.....	83
Figura 45. Diseño del Acople de la hélice.....	84
Figura 46. Fuerzas presentes en el acople de la hélice.....	84
Figura 47. Análisis de esfuerzos del acople de la hélice.....	85
Figura 48. Eje de la polea conducida.....	86
Figura 49. Fuerzas sobre el eje de la polea conducida.....	87
Figura 50. Rodamientos SKF 6004.....	88
Figura 51. Análisis de esfuerzos del eje de la polea conducida.....	90
Figura 52. Montaje del eje .....	90

Pág.

Figura 53.	Sistema externo.....	91
Figura 54.	Chasis.....	92
Figura 55.	Partes del chasis.....	93
Figura 56.	Fuerzas presentes en el chasis. ....	94
Figura 57.	Análisis de esfuerzos del chasis. ....	94
Figura 58.	Análisis de la placa de soporte .....	95
Figura 59.	Análisis de los espárragos .....	96
Figura 60.	Cámara de Expansión de un escape de dos etapas .....	101
Figura 61.	Exhosto.....	102
Figura 62.	Tanque de combustible.....	104
Figura 63.	Rendimiento vs velocidad. ....	105
Figura 64.	Carburador Walbro 32. ....	106
Figura 65.	Moldes de madera .....	107
Figura 66.	Elementos para fundición de moldes. ....	108
Figura 67.	Llenado de moldes.....	108
Figura 68.	Anclaje con uñas.....	110
Figura 69.	Agarre con arandela y tornillo en el centro de pieza.....	111
Figura 70.	Agarre con uñas a los extremos de la barra circular en el centro de las carcasas .....	111
Figura 71.	Diagrama final (mecanizado de la carcasa trasera).....	112
Figura 72.	Fabricación de la base superior.....	113
Figura 73.	Fabricación de las carcasas. ....	114
Figura 74.	Partes de un paramotor .....	122
Figura 75.	Vela de un paramotor. ....	125
Figura 76.	Esquema de un motor dos tiempos. ....	127
Figura 77.	Motor de arranque. ....	130
Figura 78.	Circuito eléctrico. ....	140

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Paramotor.....	121
Anexo B. Funcionamiento de un motor 2 tiempos .....	127
Anexo C. Helice .....	129
Anexo D. Motor de arranque.....	130
Anexo E. Propiedades de los materiales utilizados .....	132
Anexo F. Factores de servicio para bandas.....	134
Anexo G. Tablas para la selección de los rodamientos .....	135
Anexo H. Características y cantidad de aceite.....	137
Anexo I. Tornillos .....	139
Anexo J. Circuito electrico.....	140
Anexo K. Pruebas .....	141
Anexo L. Planos.....	141

## NOMENCLATURA O GLOSARIO

### NOTACION

$a_o$	Velocidad de los gases
$a_r$	Ancho del rodamiento
bar	Bares
<i>BMEP</i>	Presión de los gases en las carcasas
C	Distancia que le hace falta al pistón para llegar a la culata en mm
c	Distancia entre centros de las poleas
<i>cil</i>	Diámetro del pistón
D	Diámetro de la polea conducida
$D_e$	Diámetro mayor del eje
$D_h$	Diámetro de la hélice
d	Diámetro de la polea conductora
$d_c$	Distancia entre centros de los engranajes
$d_e$	Diámetro menor del eje
$d_{p1}$	Diámetro de paso motor de arranque
$d_{p2}$	Diámetro de paso cinta motor de arranque
E	Distancia desde la parte de la lumbrera hasta el borde superior del cilindro
EXD	Diámetro del tubo en mm
Ft	Resultante de pesos de polea conductora y cinta de arranque
Fr	Resultante de las fuerzas en x del acople de la polea conductora
$g_e$	Consumo específico
$g_n$	Consumo a mayor potencia
He	Alto de la lumbrera de escape del cilindro
Hp	Potencia de diseño del motor
in	Pulgadas

$^{\circ}\text{K}$	Grados de temperatura en Kelvin
$k_w$	Potencia del motor en (kw)
kw	kilowatios
kwh	kilowatios hora
L	longitud de la correa
$L_c=$	El doble de la carrera del pistón en mm
$L_p=$	Longitud de paso (o efectiva) de la banda
$L_t =$	Longitud del tubo en mm
m	Relación de velocidades
$m_a$	Modulo de los engranajes de arranque
$m_r$	Masa del rodamiento
N	Factor de seguridad
$N_e$	Potencia del motor
$N_{e_{max}}$	Potencia máxima del motor
$n_1$	Velocidad de giro del motor (rpm)
$n_2$	Velocidad de giro de la hélice (rpm)
Pot.	Potencia
R	La mitad de la carrera del pistón en mm
rpm	Revoluciones por minuto
svcc	Cilindrada del motor
$T_{p1}$	Torque producido por las fuerzas presentes en la polea conductora
$V_{tip}$	Velocidad en la punta de la hélice
$v_l$	Velocidad de la correa
W	Ancho de la lumbrera de escape del cilindro.

## LETRAS GRIEGAS

$\theta_l$	Ángulo de abrasé de la polea grande
$\theta_s$	Ángulo de abrasé de la polea menor

$\theta_{ep}$  Duración del escape en grados.

$\pi$  3,1416

## RESUMEN

**TITULO:**

SISTEMA MOTRIZ DE UN PARAMOTOR. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO.\*

**AUTORES:** HARBIN YOBANY MORENO S.  
ERICK MAURICIO CURCIO DIAZ. \*\*

**PALABRAS CLAVES:**

Sistema motriz, paramotor, prototipo, motor de dos tiempos, Aviación ultraligera.

**CONTENIDO:**

Este proyecto nace con la idea de desarrollar capacidades en el área del diseño y de manufactura, para la creación de pequeñas empresas.

Se desarrolla un prototipo del sistema motriz de un paramotor, medio de aviación ultraligera. Para este propósito se parte del cilindro y culata de un motor de motocicleta Yamaha de referencia DT 175 cc, diseñando y adaptando los elementos necesarios para su funcionamiento. El bajo peso, resistencia, la estética y facilidad de fabricación, son los aspectos que se tienen en cuenta para el diseño de los elementos faltantes. El sistema motriz del paramotor diseñado cuenta, con una hélice de 110 cm una reducción de tipo flexible, y encendido eléctrico por medio de un motor de arranque, chasis de tipo tubular, y tanque de combustible.

El paramotor cuenta con un peso de 30kg, una potencia de 14Hp, y un empuje de 35kg, y su capacidad es de un pasajero.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de ingenierías Físico – Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Jorge Meneses

## ABSTRACT

**TITLE:** PARAGLIDER MOTOR SYSTEM. PROTOTYPE DESIGN AND CONSTRUCTION \*

**AUTHORS:** HARBIN YOBANY MORENO S.  
ERICK MAURICIO CURCIO DIAZ. \*\*

**KEY WORDS:** motor system, paraglider, ultra light flying systems, two-stroke engines, prototype.

### DESCRIPTION:

This project takes place in order to develop abilities in the areas of design and manufacture, for the creation of small industries.

A paraglider (ultra-light aviation device) motor system prototype is developed. For this purpose, the cylinder and culata of a Yamaha DT 125 motorcycle are used as star point, designing and adapting the necessary elements for its functioning. Low weight, resistance, aesthetics and manufacturability, are the issues to have in mind for the design of the elements involved in this project.

The motor system of the designed paraglider has a fan with 110 cm, a flexible type transmission and electric ignition by means of an electric start motor, tubular type structure frame and fuel tank.

The paraglider weights 30 kg, has a power output of 14 HP, a push force of 35 kg and can carry 1 passenger.

---

\* Degree Work

\*\*Physical – Mechanical Sciences Faculty, Mechanical Engineering, Eng. Jorge Meneses.

## INTRODUCCIÓN

Siguiendo el objetivo de contribuir con la misión de la Universidad Industrial de Santander, de ser fuente de desarrollo regional y personal, este trabajo de grado da inicio al proceso de investigación en la línea de diseño en el campo de la aviación experimental, con proyección a la creación de industria para fomentar nuevas fuentes de empleo.

El interés de los autores es la adaptación de un motor que se utiliza comúnmente en el medio como herramienta de transporte terrestre, a un dispositivo de aviación ligera (paramotor), con lo cual se pretende mejorar en gran medida su sencillez de construcción y mantenimiento, haciéndolo atractivo por su facilidad de manejo y bajo precio en referencia a los existentes en el mercado internacional.

Al igual que los ultraligeros motorizados, que surgieron a partir del ala delta hace casi tres décadas, el paramotor nace del parapente y de la idea de motorizar una aeronave concebida para la práctica del vuelo libre, dándole mayor libertad e independencia.

El paramotor consta de un ala que le proporciona la sustentación necesaria para volar; a esta se le suma un pequeño motor, logrando el empuje necesario para mantener una tasa de caída cero o una ganancia de altura que permita vuelos de mayor duración y distancia. Esto lo convierte en la aeronave ligera con motor más simple y fácil de pilotar que existe.

Cualquier campo o camino despejado sirve como pista de despegue para el paramotor, posee un vuelo suave, permite el contacto entre el piloto y el medio y goza de una gran visibilidad; es el complemento perfecto para un

viaje, o para llevarlo en vacaciones. Fue creado para disfrutar de los paisajes con la perspectiva de las aves. Se puede considerar como un avión portátil que se carga en el maletero de un vehículo, y se guarda en el garaje de una casa.

También está el hecho de poder despegar con los pies, convirtiendo al paramotor en una aeronave todo-terreno (para playas, praderas, nevados, sembrados e incluso sirve para salir de la azotea de un gran edificio o de la plaza de un pequeño pueblo).

Debido al radio de giro tan reducido y a su velocidad mínima de vuelo, puede aterrizar prácticamente en cualquier sitio. La perfecta visibilidad que ofrece, los diferentes lugares que se pueden conocer, además del sinnúmero de experiencias y sensaciones que se experimenta lo convierte en el complemento perfecto entre diversión y transporte.

## **1. OBJETIVOS**

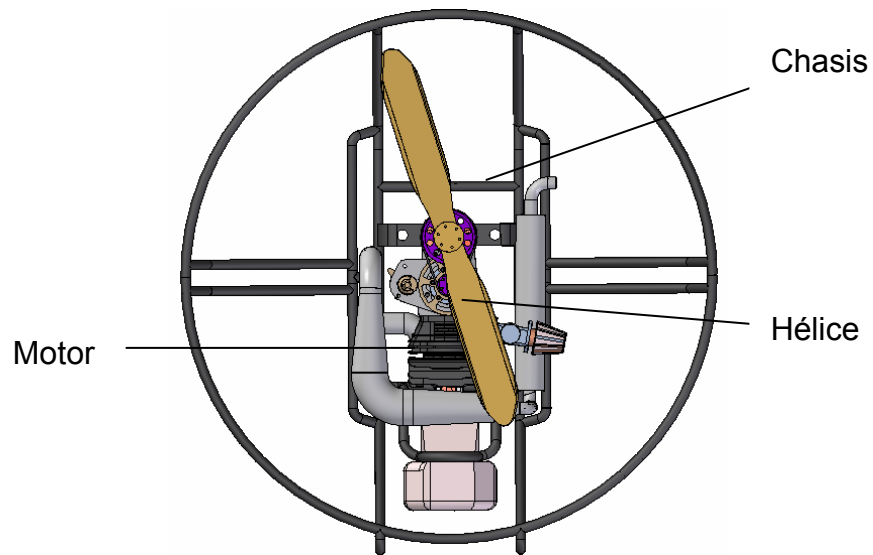
### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

- Contribuir con la misión de la Universidad, de atender y dar solución a diferentes necesidades de todas las comunidades.
- Contribuir al desarrollo de nuevas fuentes económicas con la creación de pequeñas industrias.
- Participar en la tecnificación, investigación y fabricación de elementos de aviación.
- Dar inicio a las líneas de investigación relacionadas con el diseño aeromotriz, mediante el desarrollo de proyectos que integren áreas de conocimiento de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Metalúrgica.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

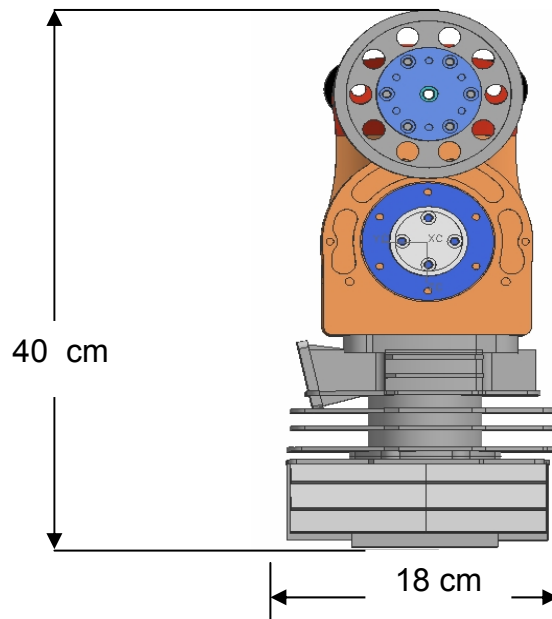
- Diseñar el sistema motriz de un paramotor (ver anexo A) con las siguientes características:

Figura 1. Partes del paramotor



Fuente: autores

Figura 2. Dimensiones del paramotor



Fuente: autores

Tabla 1. Características del sistema motriz.

Motor	2 Tiempos
Cilindrada	175 c.c
Potencia	14 Hp
Reductora	2.5 a 1
Anclaje de silla medio	Si
Arranque	Eléctrico
Empuje	35Kg
Chasis	Tubular
Dimensiones parte motriz	40 x18 cm.
Peso aproximado	30 Kg.
Capacidad	1 persona
Peso piloto	70 – 80 Kg.
Hélice	Madera, tipo Bipala
Transmisión	Flexible-Correa.

Fuente: autores

- Manufacturar en un centro de mecanizado (CNC) las siguientes partes:

Tabla 2. Partes a mecanizar

Parte	Material
Carcasa delantera	aluminio
Carcasa trasera	aluminio
Poleas	aluminio
Cinta arranque	Acero 8620
Base superior	aluminio

Fuente: autores

- Utilizar herramientas modernas para el diseño y manufactura:

Tabla 3. Software CAD, CAM, CAE.

CAD	Unigraphics
	Solid edge
CAM	Unigraphics
	Master Cam
CAE	Unigraphics
	Cosmos

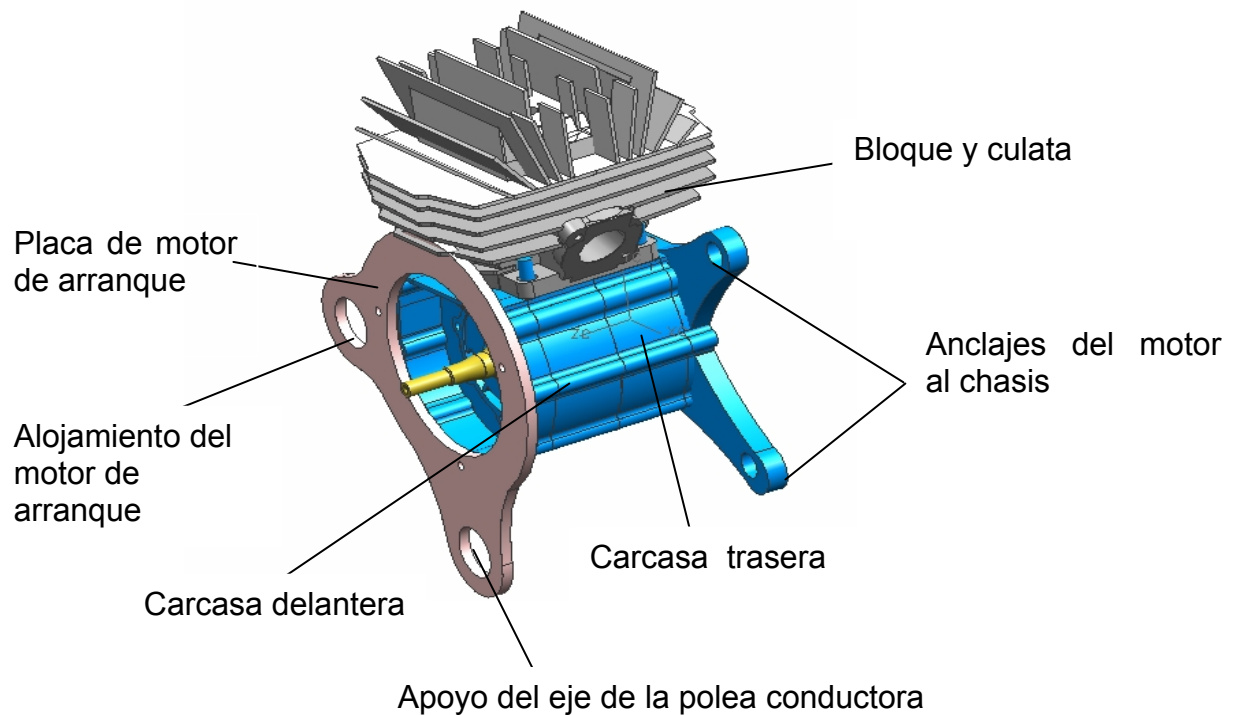
Fuente: autores

## 2. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

En la búsqueda de un óptimo diseño, y de fabricar un prototipo del sistema motriz de un paramotor, que compita con los modelos importados en calidad y precio, se analizaron diferentes alternativas:

### 2.1 PROPUESTA 1 (MOTOR EN POSICIÓN NORMAL)

Figura 3. Motor en posición normal.



Fuente: autores

El anclaje al chasis es bajo y se realiza mediante soporte tipo araña, que sale de la carcasa trasera; el eje de la polea conducida está soportado por una placa que se apoya en la carcasa delantera.

### 2.1.1 Ventajas

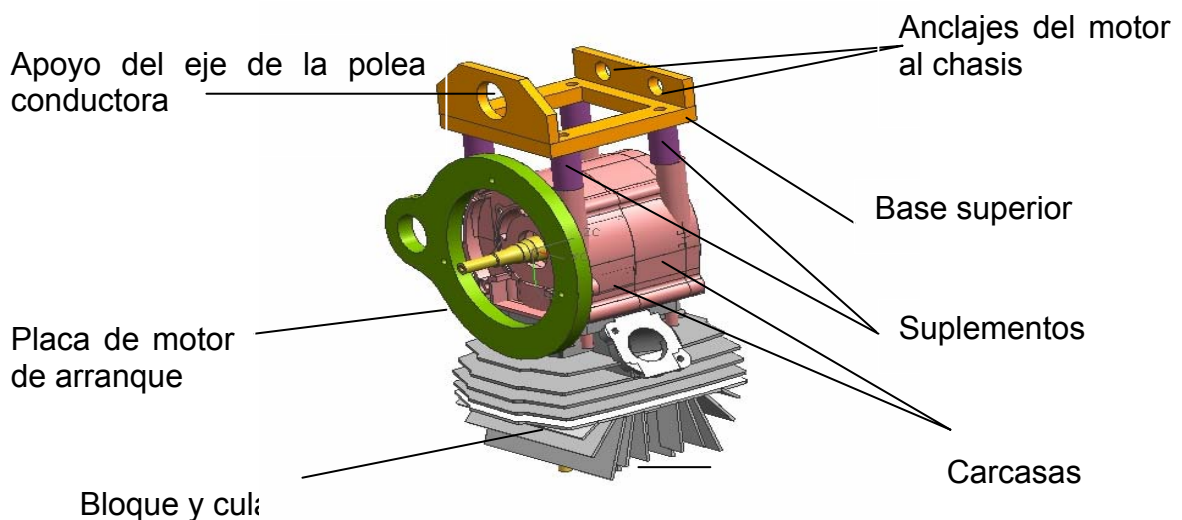
- Este sistema permite la utilización del depósito de combustible en la parte superior o inferior.
- Los cuatro puntos de anclaje al chasis proporcionan gran rigidez.
- Posee un único elemento que soporta el eje de la polea conductora y sirve de apoyo al motor de arranque.

### 2.1.2 Desventajas

- Su centro de gravedad es alto
- Implica la utilización de una hélice de menor diámetro que proporciona un menor empuje.
- El proceso de fundición de las carcasas es complicado.
- La distancia entre los centros de las poleas es fija.

## 2.2 PROPUESTA 2 (MOTOR INVERTIDO CON SOPORTE SUPERIOR)

Figura 4. Motor invertido con soporte superior.



Fuente: autores

Este diseño permite anclar el motor al chasis por medio de una base en la parte superior, la cual a su vez sirve de alojamiento al eje de la polea conducida, permitiendo un sistema más rígido.

### 2.2.1 Ventajas

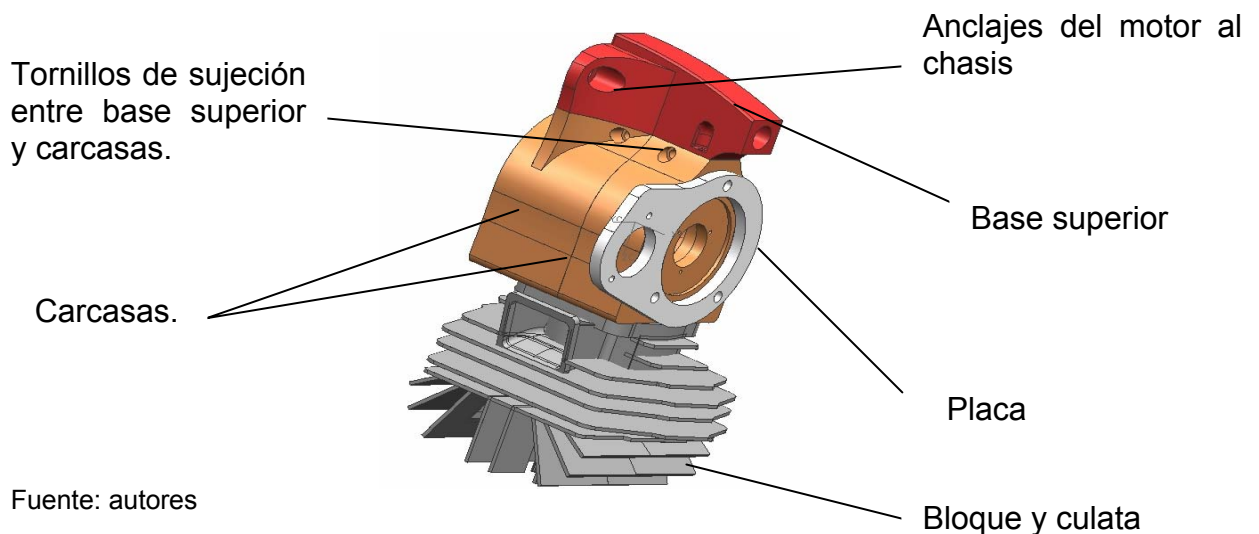
- Permite un anclaje al chasis alto.
- Bajo centro de gravedad.
- Permite la utilización de hélices de mayor diámetro.
- La distancia entre centros de las poleas se puede variar utilizando suplementos.

### 2.2.2 Desventajas

- El anclaje roscado de las carcasas a la base superior presenta problemas al estar sometido a tensión.
- Dificultad en la fabricación de la base superior y las carcasas.

## 2.3 PROPUESTA 3 (MOTOR INVERTIDO CON SOPORTE SUPERIOR RÍGIDO)

Figura 5. Motor invertido con soporte superior rígido.



A diferencia de la propuesta anterior en este sistema soluciona el problema de anclaje entre la base superior y las carcasas, haciendo el roscado por la parte lateral, se mantiene el concepto del anclaje al chasis y se proporciona una mejora en la forma.

### **2.3.1 Ventajas**

- Permite un anclaje al chasis alto.
- Bajo centro de gravedad.
- Permite la utilización de hélices de mayor diámetro.
- Se presenta una unión vertical roscada entre las carcasas y la base superior garantizando mayor rigidez.
- Facilita el proceso de fundición de las carcasas.
- El diseño de las carcasas permite el desarrollo de una base superior rígida.
- Los tornillos de acople de las carcasas y la base superior, quedan sometidos a esfuerzos cortantes y no atracción.
- La utilización del motor invertido implica ubicar el tanque de gasolina en la parte inferior, ayudando a distribuir el peso.

### **2.3.2 Desventajas**

- La distancia entre centros de las poleas es fija.
- Utilización de un carburador tipo membrana.

## **2.4 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA SELECCIONADA**

Después de haber analizado las propuestas anteriores, se concluyó que la mejor opción era la propuesta número tres, por su sencillez, facilidad en el diseño, fabricación y buena rigidez.

El conjunto de anclaje alto del sistema motriz al chasis, permite emplear hélices de mayor diámetro, logrando así mayor fuerza de empuje, manejo por pilotos de estatura y peso elevado, también proporciona una excelente estabilidad entre el sistema motriz y el chasis.

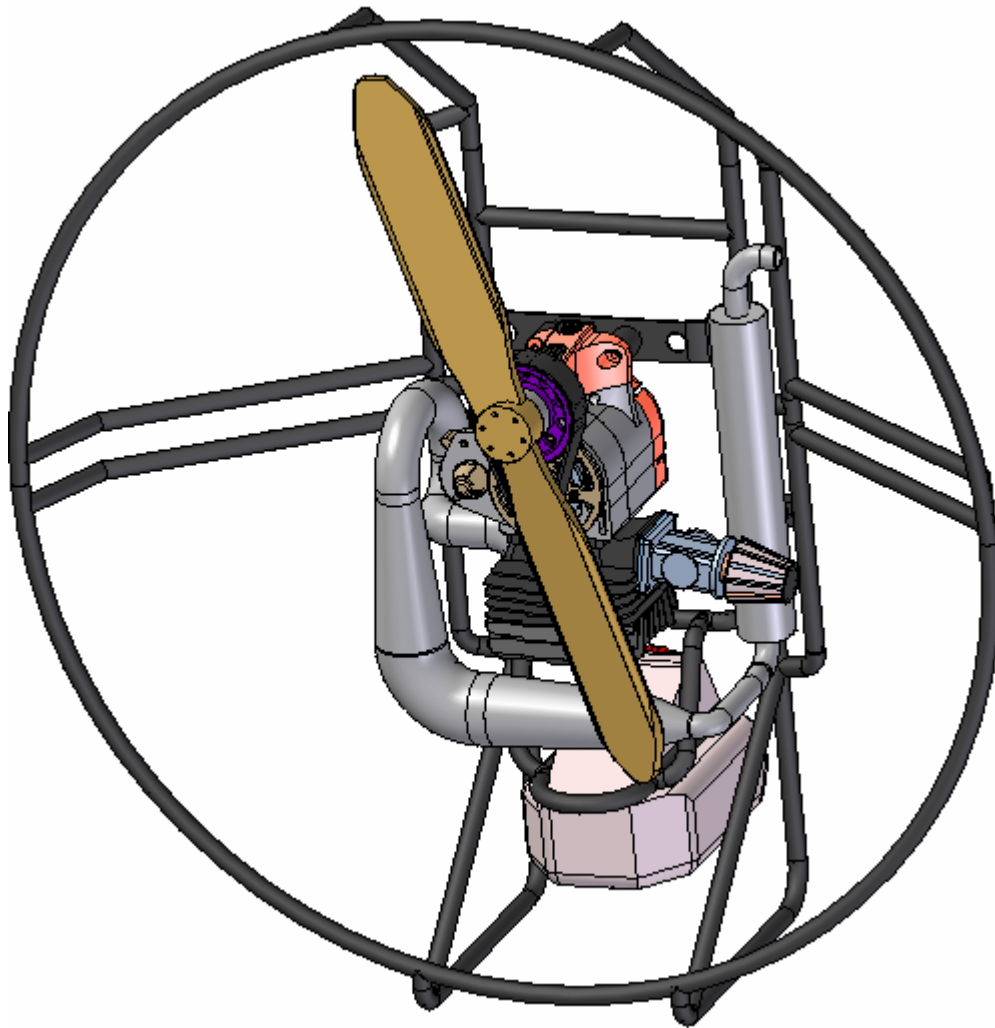
La fabricación, tanto en la fundición como en el mecanizado, se hace fácil y económica, ya que se parte de geometrías y superficies sencillas.

Las dimensiones de este diseño garantizan un menor peso, y de esta manera un mejor servicio del sistema motriz.

### 3. CONCEPTO GENERAL DE DISEÑO DEL PARAMOTOR

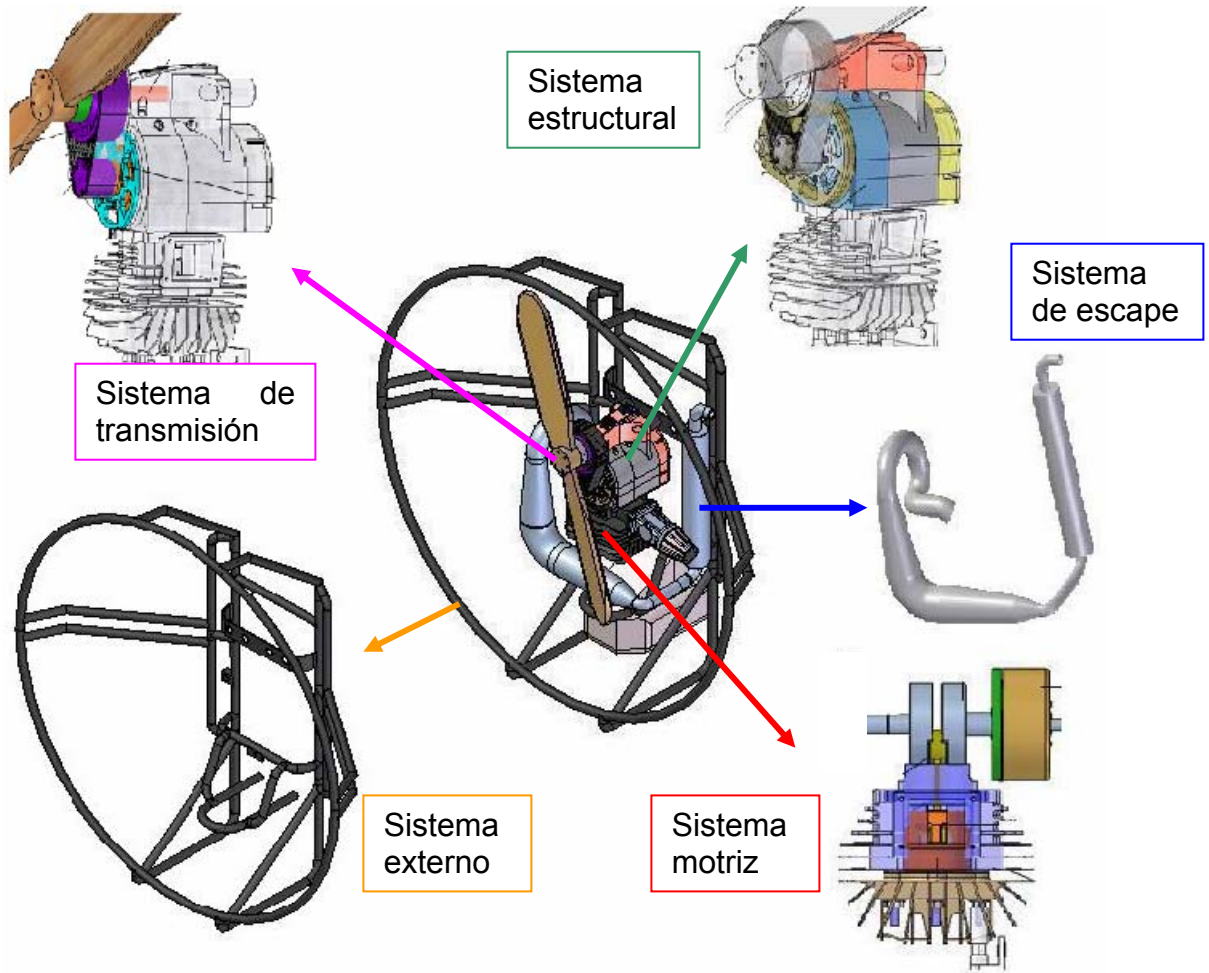
Con la propuesta seleccionada, motor invertido con soporte superior rígido, se diseñaron y desarrollaron los sistemas y subsistemas necesarios para el funcionamiento del paramotor, (ver detallas en planos 01-00-00-00).

Figura 6. Diseño general del paramotor.



Fuente: autores

Figura 7. Sistemas del prototipo.



Fuente: autores

### 3.1 SISTEMAS DEL PARAMOTOR

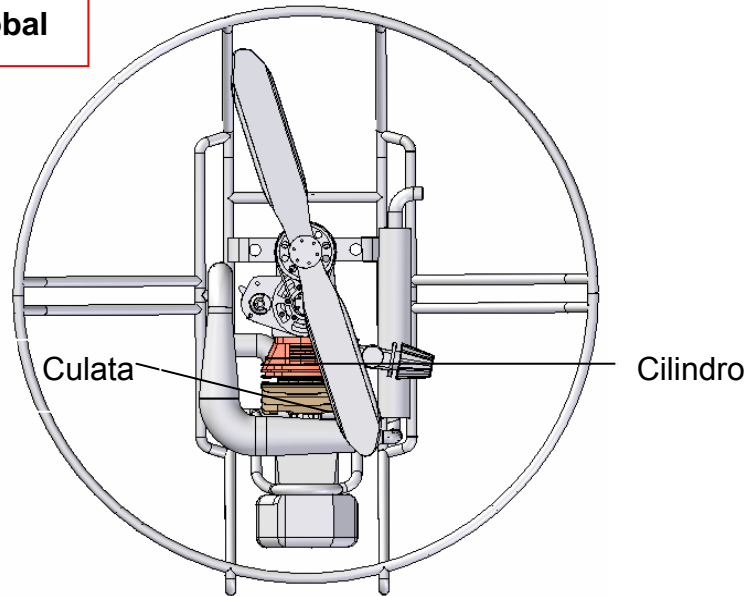
El paramotor diseñado consta de los siguientes sistemas:

- Sistema motriz
- Sistema estructural
- Sistema de transmisión
- Sistema externo
- Sistema de escape

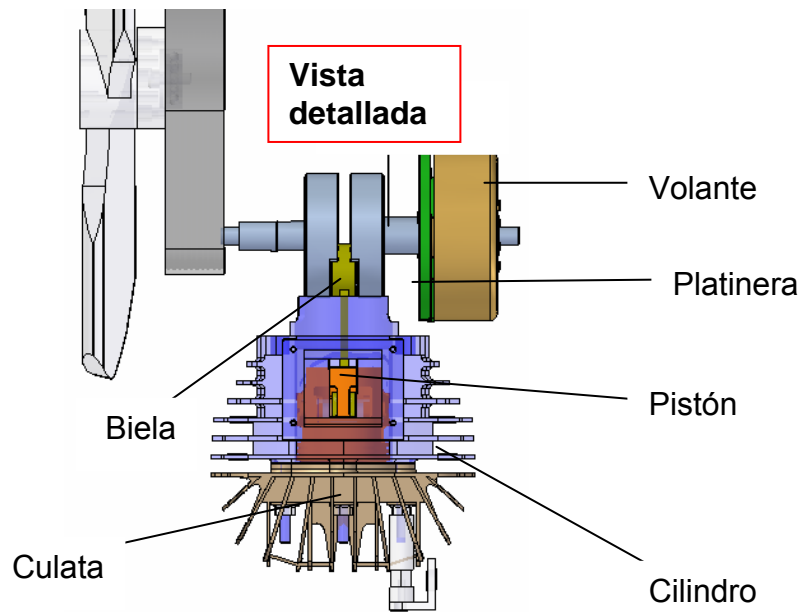
**3.1.1 Sistema motriz.** Es el sistema encargado de transformar la energía del combustible en energía mecánica, este sistema se profundiza en el capítulo 4.

Figura 8. Conjunto sistema motriz.

**Vista global**



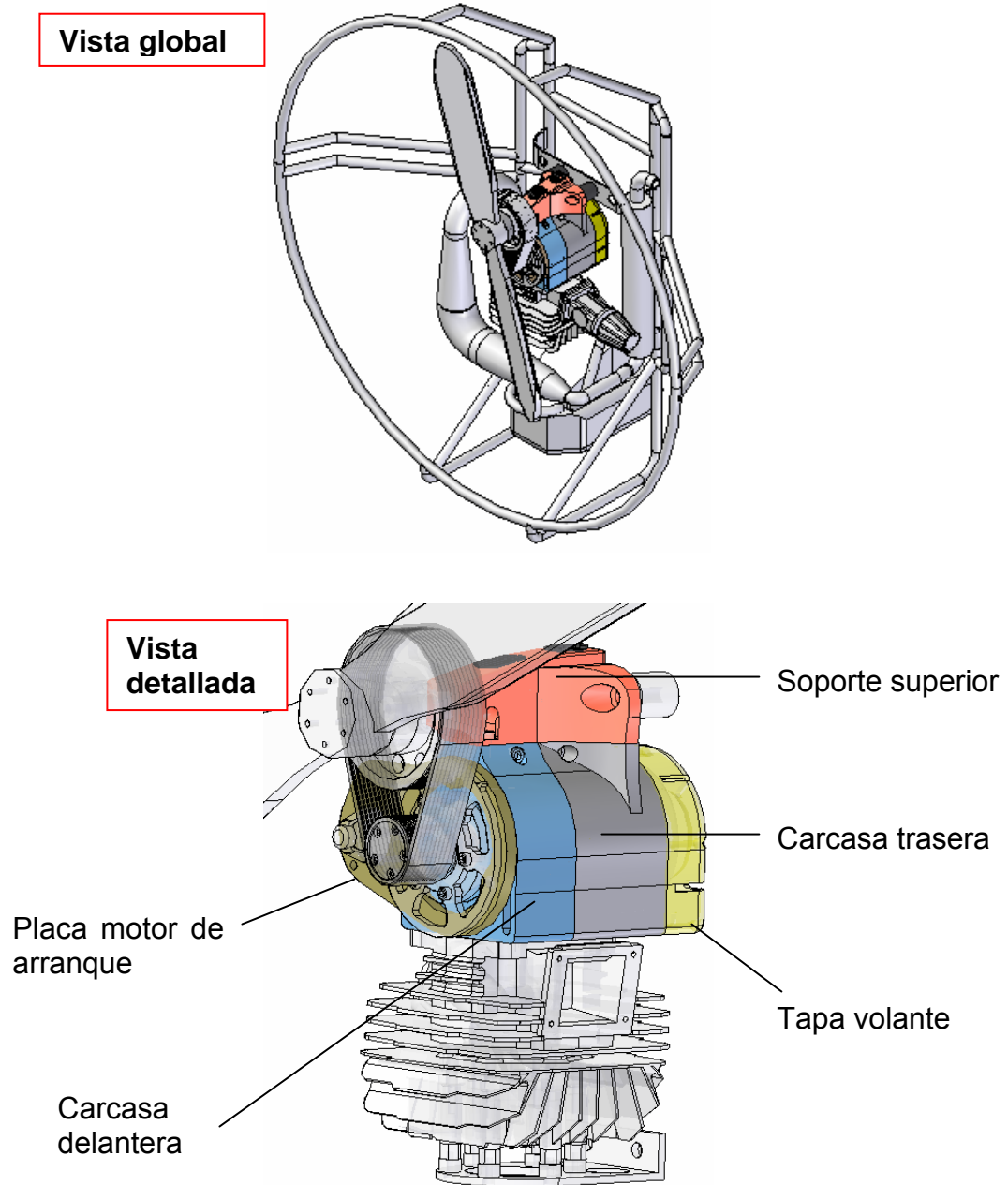
**Vista detallada**



Fuente: autores

**3.1.2 Sistema estructural.** Este sistema proporciona la estructura para los apoyos de los diferentes elementos, y da el cuerpo del motor, este sistema se profundiza en el capítulo 5.

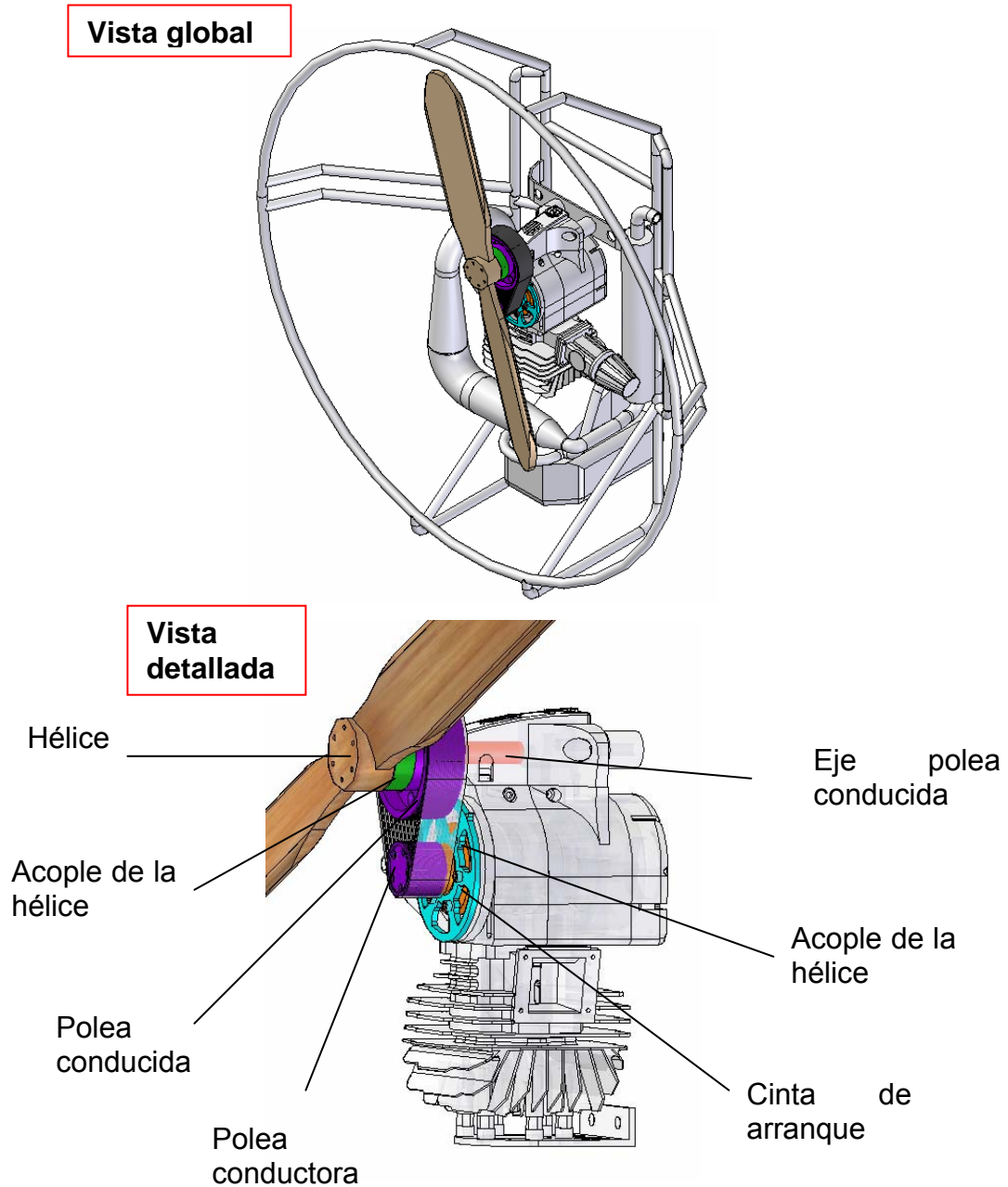
Figura 9. Conjunto sistema estructural.



Fuente: autores

**3.1.3 Sistema de transmisión.** En este sistema, están presentes los elementos que permiten adaptar la hélice al sistema motriz del motor, y de transmitir la potencia del motor a la hélice, (detalles en el capítulo 6).

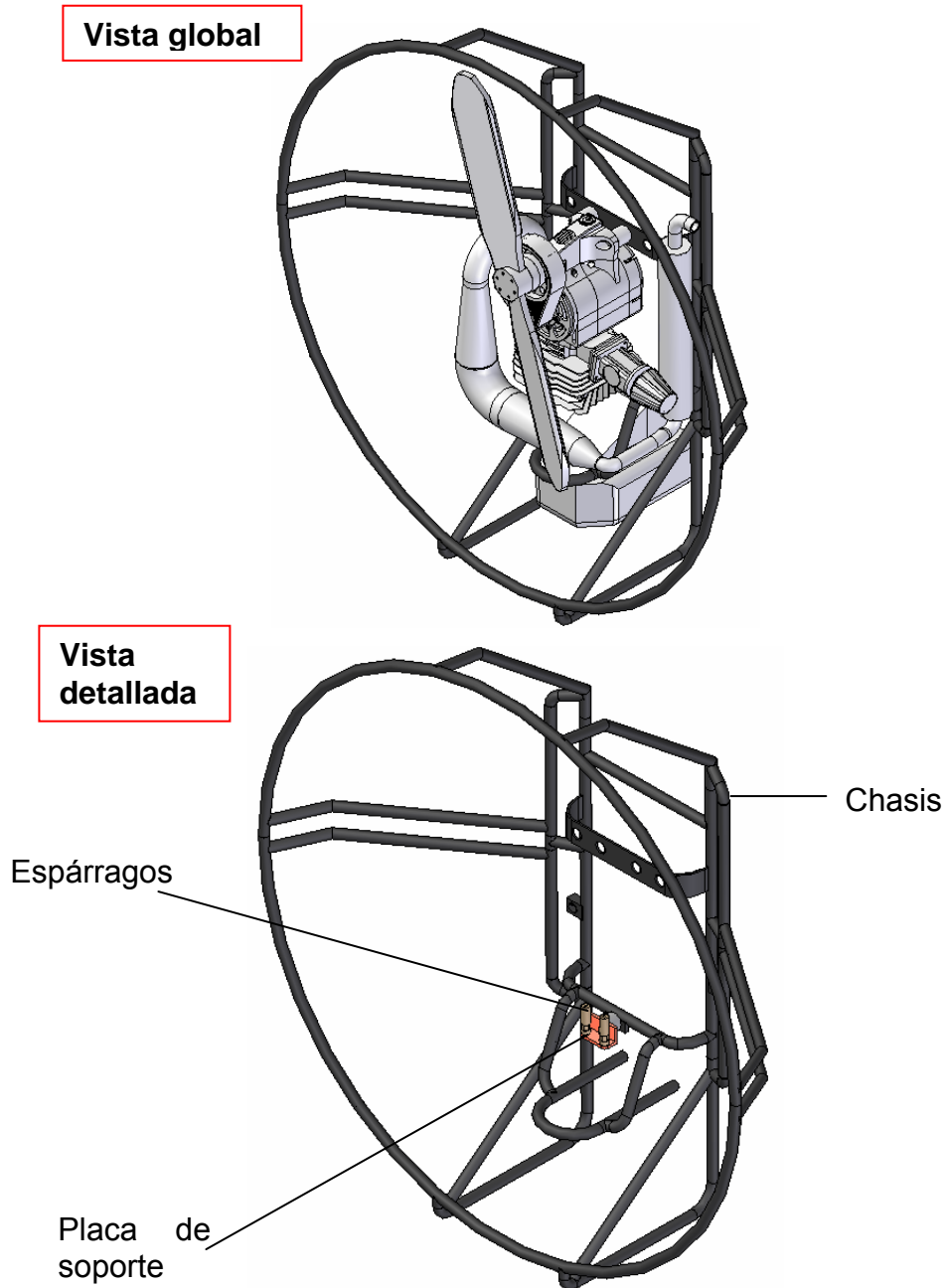
Figura 10. Conjunto sistema de transmisión.



Fuente: autores

**3.1.4 Sistema externo.** Este sistema proporciona el soporte al motor y demás elementos del prototipo, (detalles en el capítulo 7).

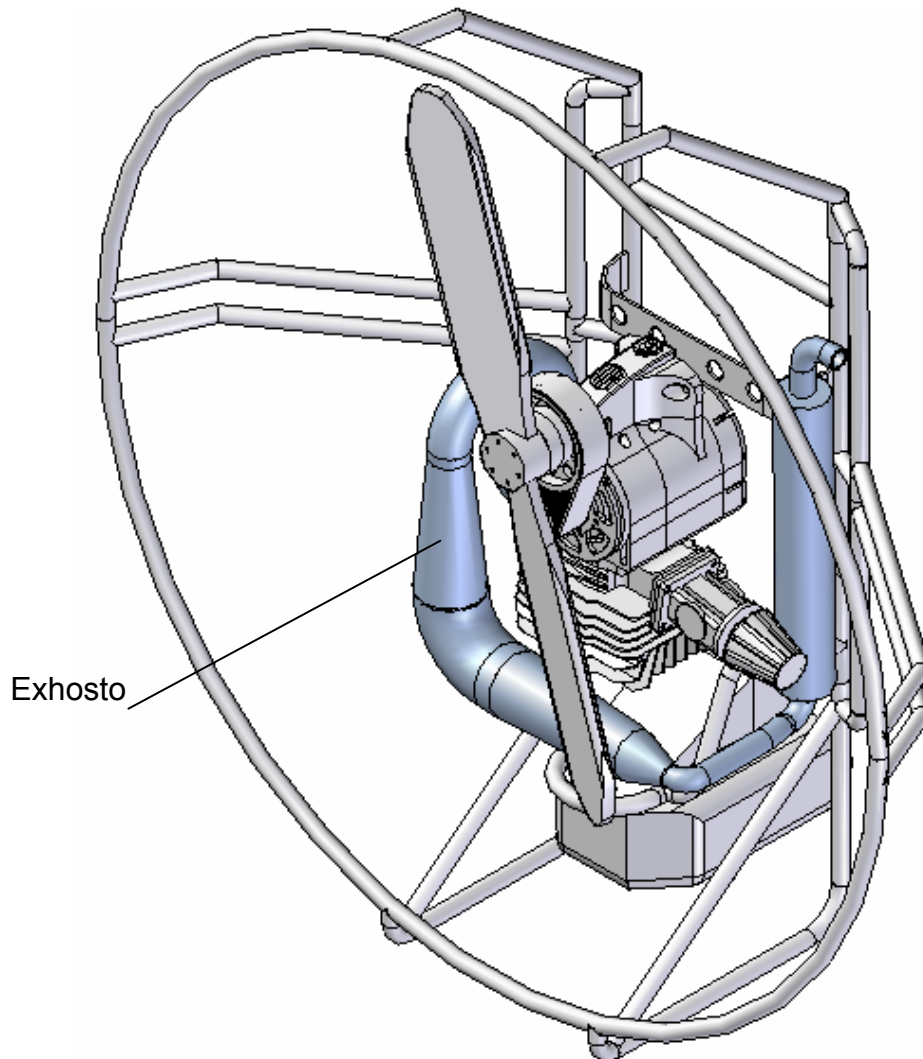
Figura 11. Conjunto del sistema externo.



Fuente: autores

**3.1.5 Sistema de escape.** Este sistema permite evacuar los gases de combustión producidos por el motor, (detalles en el capítulo 8).

Figura 12. Conjunto sistema de escape.



Fuente: autores

## 3.2 CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO GENERAL

El paramotor se desarrolló con la idea principal del motor invertido, por lo tanto rige el diseño y ubicación de piezas presentes en este proyecto.

El paramotor diseñado cuenta con:

- Las carcasas: contienen el cigüeñal y los demás elementos necesarios para el funcionamiento del paramotor; su desarrollo está ligado a la forma de la base superior que permite acoplar el sistema motriz al chasis.
- Una reducción: permite adecuar las revoluciones del motor a las revoluciones requeridas por la hélice; esta reducción es de tipo flexible (poleas) por su sencillez y bajo peso.
- Una hélice: tipo bi-pala de 110 cm de diámetro (fabricada en madera por su bajo costo), este tamaño proporciona el empuje necesario al paramotor.
- Un motor de arranque: tipo MITSUBA SM-5219; este motor proporciona el torque necesario dando un fácil y rápido encendido. Para emplear este sistema de arranque se diseñó una placa que sostiene el motor de arranque, y un piñón que transmite el torque de este al cigüeñal para iniciar la combustión del motor.
- Un bastidor: protege la hélice de cualquier golpe en el momento de despegar o aterrizar; esta estructura presenta la ventaja de ser desarmable para un fácil transporte.
- Un sistema de escape: diseñado con el fin de disminuir el ruido causado por los gases de combustión, procurando evitar la pérdida de potencia del motor.
- Un tanque de combustible: ubicado en la parte inferior del sistema motriz, que permite bajar el centro de gravedad proporcionando maniobrabilidad al paramotor; esta posición del tanque implica la utilización de un carburador de

tipo membrana, que cumple la función de bomba, impulsando la mezcla del tanque de combustible al carburador.

➤ El anclaje del sistema motriz al chasis se hace mediante dos elementos (la base superior y la platina inferior), que proporcionan estabilidad en el paramotor tanto en vuelo como en tierra.

Para la identificación de las diferentes partes se dividió el paramotor en diferentes sistemas, según el funcionamiento y la aplicación.

El diseño de las diferentes piezas se hizo mediante las herramientas CAD, Solid Edge, y Unigraphics.

El bajo peso, simplicidad, y funcionalidad, fueron los aspectos tenidos en cuenta para la realización del diseño.

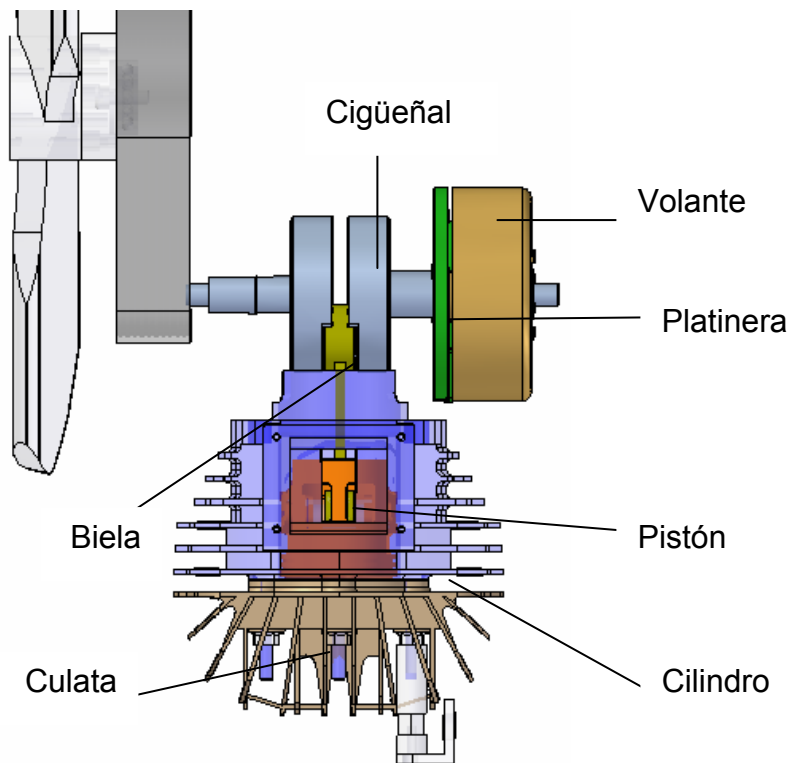
El análisis de esfuerzos de las piezas, se realizó con la herramienta CAE del software Unigraphics; para este paso se consideraron las fuerzas que actúan sobre las piezas y el tipo de material; con los datos arrojados por el análisis estructural se encontró el factor de seguridad. Para asegurar un buen diseño se tomó un valor de factor de seguridad entre 2 y 9 usado para elementos de aviación aplicable al paramotor. La fabricación de los elementos se hizo cuando el diseño y el análisis estructural estuvieron totalmente definidos.

## 4. SISTEMA MOTRIZ

### 4.1 CONDICIONES Y MODIFICACIONES DEL MOTOR

Para el desarrollo del sistema motriz del paramotor se partió de la culata y el bloque o cilindro de una motocicleta Yamaha DT 175 c.c. para posteriormente desarrollar las carcasas o cárter, y la adaptación del sistema motriz a una hélice que proporciona el empuje. Las carcasas poseen detalles para la adecuación del sistema de reducción, y facilitar el anclaje al chasis; con estos requisitos se desarrolló una forma simple, respetando la carrera del pistón que no afectara el funcionamiento del motor y así originar una estructura simple pero rígida.

Figura 13. Sistema motriz.



Fuente: autores

Tabla 4. Características del motor.

Motor	2 tiempos
Cilindrada	175 cc
Diámetro por carrera	66 x 50 mm
Relación de compresión	6.7 : 1
Potencia máxima	17 Hp a 7000 rpm
Par motor máximo	19 N-m(1649lb-in) a 5500rpm

Fuente. [www.incolmotos.com](http://www.incolmotos.com)

## 4.2 CURVAS DEL MOTOR

Con los datos anteriores se elaboraron curvas referentes al funcionamiento del motor; para tal propósito se partió de fórmulas empíricas desarrolladas en la investigación de los motores 2T.

**4.2.1 Potencia vs. Revoluciones.** Para la realización de esta curva se tomó la siguiente fórmula empírica:

$$N_e = N_{e_{max}} \frac{n_i}{n_1} \left[ 1 + \frac{n_i}{n_1} - \left( \frac{n_i}{n_1} \right)^2 \right] \quad (1)$$

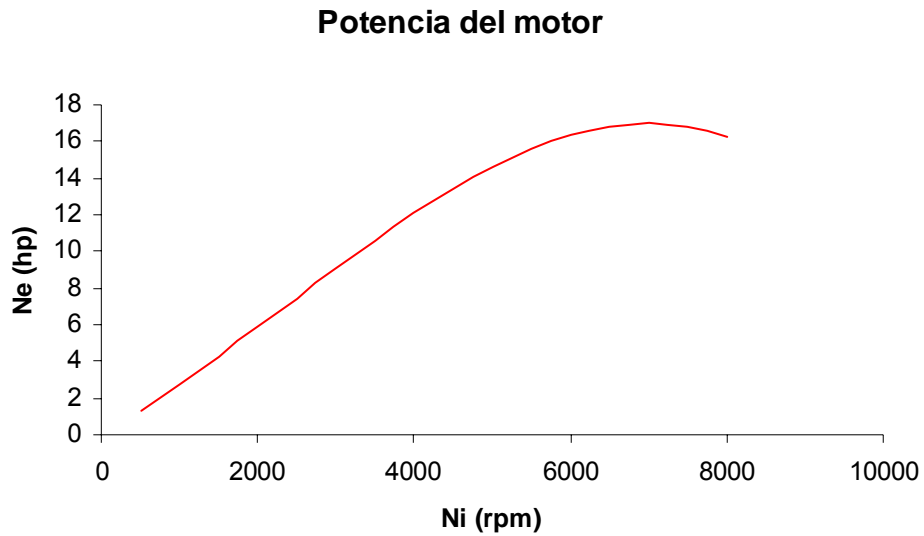
Donde  $N_{e_{max}}$  es la potencia que entrega el motor=17hp (tabla 4), y  $n_1$  son las revoluciones del motor=7000rpm (tabla 4). Tomando valores para  $n_i$  se tiene:

Tabla 5. Datos de potencia vs. Revoluciones

$n_i$ (rpm)	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	7500	8000
$N_e$ (hp)	2.7	5.9	9.1	12.1	14.6	16.4	17	16.8	16.3

Fuente: autores

Figura 14. Gráfica de potencia del motor



Fuente: autores

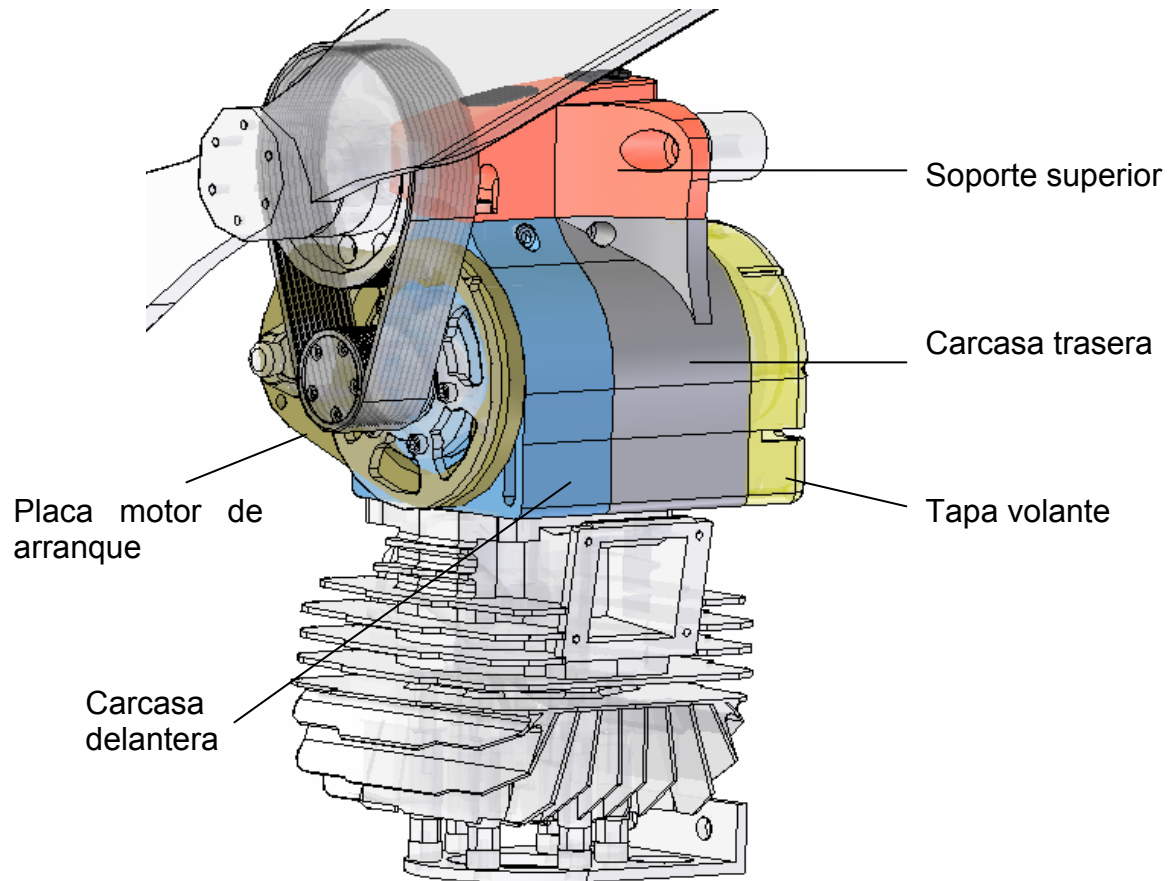
Esta gráfica concuerda con los datos que suministra el fabricante; la máxima potencia (17 hp) se adquiere con 7000 rpm.

### 4.3 IMPLICACIONES DEL MOTOR INVERTIDO

El motor está diseñado para trabajar en posición tal que la culata está arriba del cilindro, en el diseño del paramotor, se invierte esta posición, quedando la culata abajo del cilindro. El funcionamiento del motor de dos tiempos no es afectado, debido a la posición de las lumbreras y a que la lubricación se hace por medio de la mezcla gasolina-aceite.

## 5. SISTEMA ESTRUCTURAL

Figura 15. Sistema estructural



Fuente: autores

Este sistema proporciona la estructura para los apoyos de los diferentes elementos, y es el que da el cuerpo del motor. (ver plano 01-01-00-00).

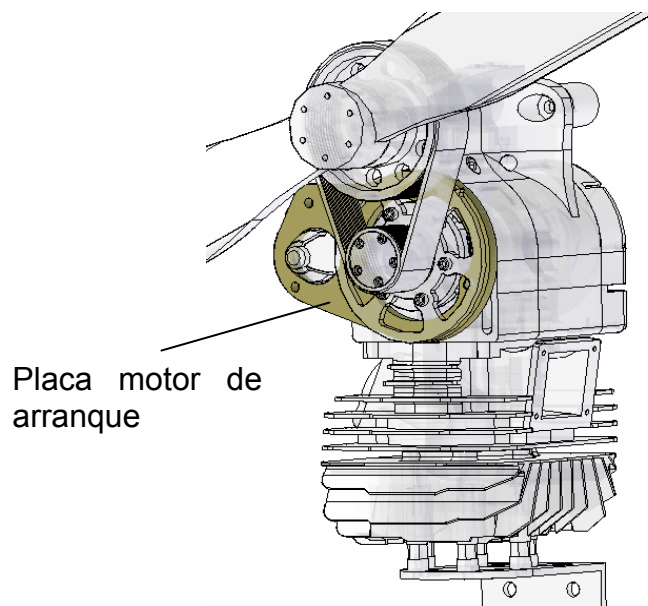
## 5.1 PARTES DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

Partes que se diseñaron:

- Placa motor de arranque.
- Soporte superior.
- Carcasas.

## 5.2 PLACA QUE SOSTIENE EL MOTOR DE ARRANQUE

Figura 16. Placa motor de arranque



Fuente: autores

Con el sistema de encendido empleado (motor de arranque eléctrico) se hizo necesario el desarrollo de una placa que de soporte y resistencia a las fuerzas desarrolladas por el motor de arranque. Se diseñó una placa que servía para sostener el motor de arranque y el eje de la polea conducida con todos los elementos presentes en este eje, pero, esto implicaba una placa de mayor diámetro, un gran espesor, una distancia fija entre los centros de las

poleas, y el rápido desajuste del eje. La placa evoluciono a un diseño que solo contiene el motor de arranque, dando como resultado una pieza mas versátil, simple y de menor peso.

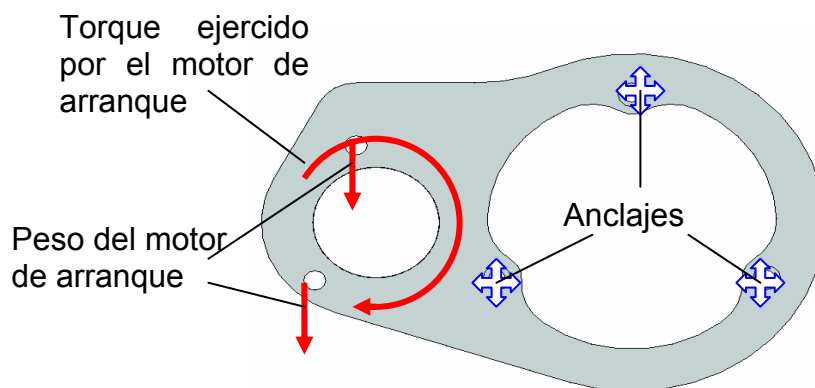
**5.2.1 Diseño de la placa.** Los factores tenidos en cuenta fueron:

- Espesor; para garantizar la resistencia y la distancia necesaria y el correcto engrane del motor de arranque y la cinta de arranque.
- Puntos de apoyo o de unión de la placa con la carcasa delantera
- La distancia que existe entre los centros del motor de arranque y la cinta de arranque.
- El material para la fabricación.

Por factores de peso, y los valores de las fuerzas que presento la placa, se decidió hacerla en aluminio, con un espesor de 8mm, y pesando 290gr. (detalles en el plano 01-01-01-00).

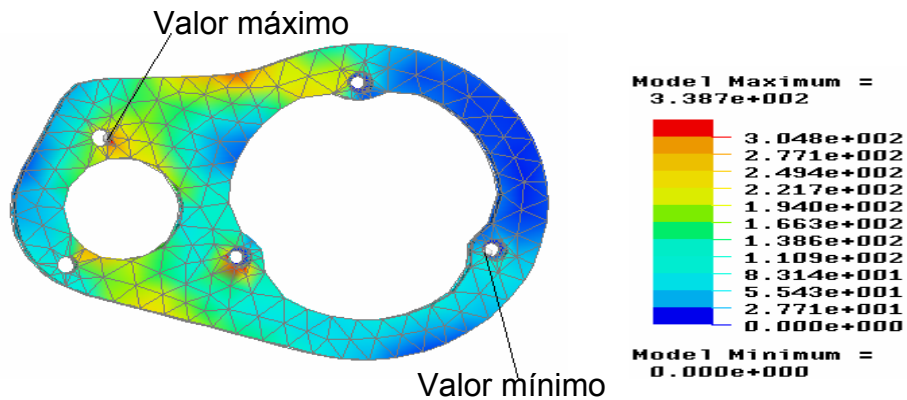
**5.2.2 Análisis de esfuerzos.** Las fuerzas que presenta la placa son; el peso del motor de arranque, y el torque que este ejerce sobre la cinta (ver anexo).

Figura 17. Fuerzas en la placa motor de arranque



Fuente: autores

Figura 18. Análisis de esfuerzos de la placa motor de arranque.



Fuente: autores

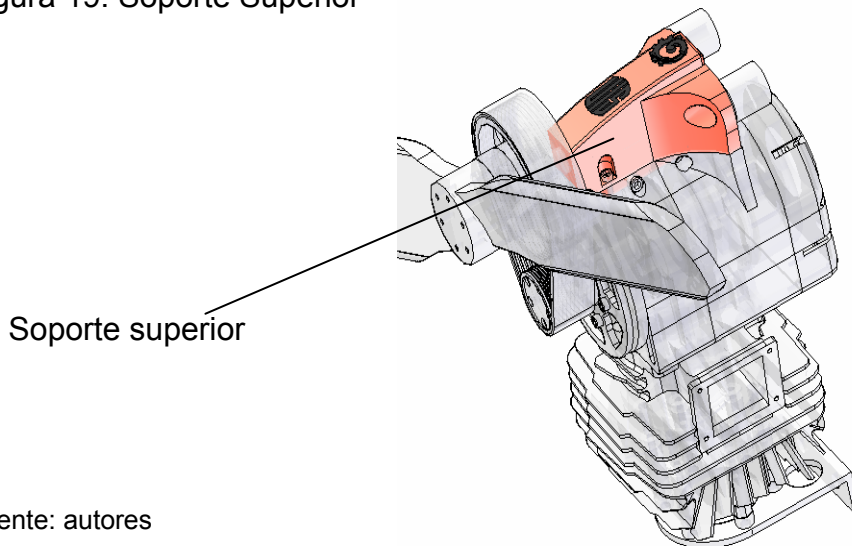
Teniendo en cuenta que el material de fabricación es aluminio  $\sigma_f = 14223$  psi y la ecuación (19) el factor de seguridad da:

$$N = \frac{14223}{3387} = 4$$

La fabricación de la placa en su totalidad se hizo en el centro de mecanizado que se encuentra en el laboratorio FMS, de ingeniería mecánica.

### 5.3 SOPORTE SUPERIOR

Figura 19. Soporte Superior



Fuente: autores

Es una de la pieza de mayor importancia del prototipo, ya que esta da el acople del motor al chasis, y sostiene el eje de la polea conducida. La característica primordial es el de soportar el peso del motor. Para su desarrollo se estudio el material a utilizar y la forma, la cual esta ligada al diseño de las carcasas.

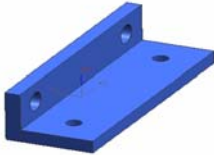
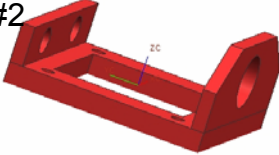
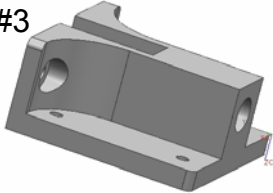
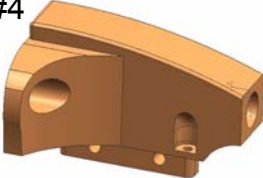
Buscando la mejor opción se presentaron las siguientes características para el diseño de la base superior:

- Bajo peso
- Alta resistencia a la fatiga, tracción
- Dar simultáneamente el anclaje del motor al chasis y el anclaje al eje de la polea conducida
- Asegurar la concentricidad de los centros de las poleas
- Proporcionar el mejor anclaje de la parte motriz al chasis
- Tener forma simple
- Poseer una estética agradable.

**5.3.1 Diseño del soporte superior.** El soporte superior es uno de los elementos mas visibles del prototipo, su forma se diseño paralelamente con las carcasas, y estos son los elementos que le dan cuerpo al motor, por eso fue importante desarrollar un diseño que cumpla con los requisitos mencionados con anterioridad.

El diseño del soporte superior se inicio con diferentes alternativas de diseño, con sus respectivas ventajas y desventajas.

Tabla 6. Evolución del diseño del soporte superior.

Figura	Ventajas	Desventajas
<p>#1</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Simplicidad en el diseño.</li> <li>▪ Bajo peso.</li> <li>▪ Con ayuda de suplementos se puede variar los centros de las poleas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Se requiere otro elemento para sostener el eje de la polea conducida</li> <li>▪ Baja resistencia</li> </ul>
<p>#2</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Combina el anclaje del motor con el soporte del eje de la polea conducida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Poca resistencia a las cargas presentes</li> </ul>
<p>#3</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mayor resistencia a las fuerzas presentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Como los anteriores presenta el problema de las roscas soportan todo el peso del motor</li> </ul>
<p>#4</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Los tornillos soportan en mayor parte el esfuerzo a cortante y no las carcasas</li> <li>▪ Muy buena estética</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mayor peso en consideración a los demás diseños</li> </ul>

Fuente: autores

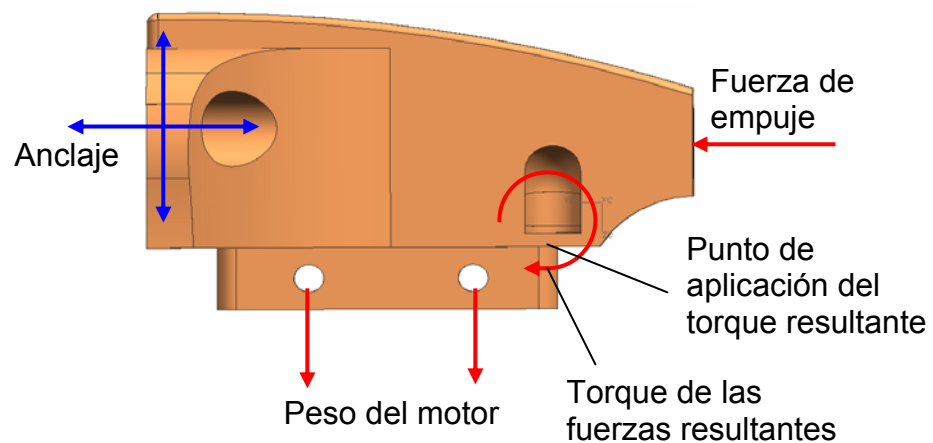
Los primeros diseños presentan la desventaja que el peso del motor es soportado por los hilos de las roscas de las carcasas, en cambio la opción # 4 la fuerza del peso se aplica en forma cortante a los tornillos, asegurando una mayor resistencia, además el área de empotramiento del eje es mayor y por consiguiente se obtiene una mayor resistencia .

De acuerdo con las ventajas y desventajas de los diferentes diseños se concluyo fabricar la opción # 4, por versatilidad, y confiabilidad.

**5.3.2 Análisis de esfuerzos.** El material a utilizar es el aluminio, por su bajo peso. Para el análisis estructural se tomo en cuenta el peso del motor, la fuerza de empuje que proporciona la hélice, el torque producido por los pesos, y las fuerzas existentes en los elementos que soporta el eje de la polea conducida  $F_{radial} = 555\text{lb}$  (capitulo 6).

El peso del motor es de aproximadamente 30kg, la fuerza de empuje es de 35kg.

Figura 19. Cargas existentes en el soporte superior



Fuente: autores

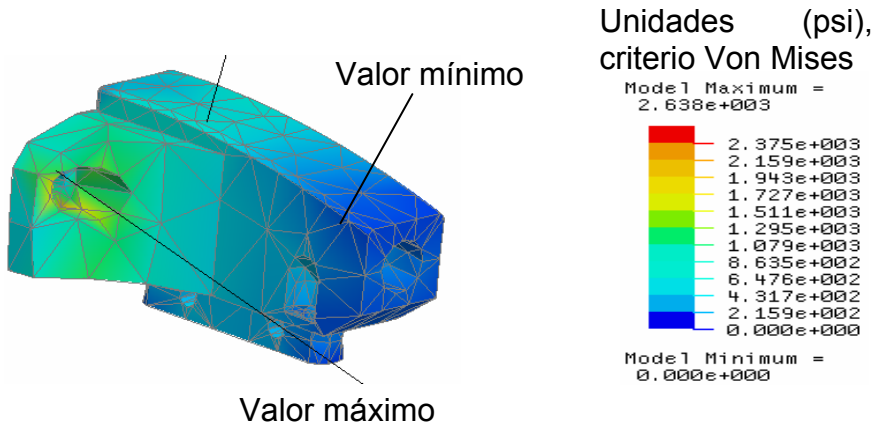
El torque de las fuerzas resultantes es:

$$T = F_{radial} \times dx \quad (25)$$

Donde dx es la distancia del punto de aplicación de la  $F_{radial}$ , al punto de aplicación del torque resultante,  $dx = 0,6 \text{ in}$  (ver plano 01-01-02-00).

$$T = 555 \times 0.6 = 333 \text{ lb-in.}$$

Figura 20. Análisis de esfuerzos del soporte superior



Fuente: autores

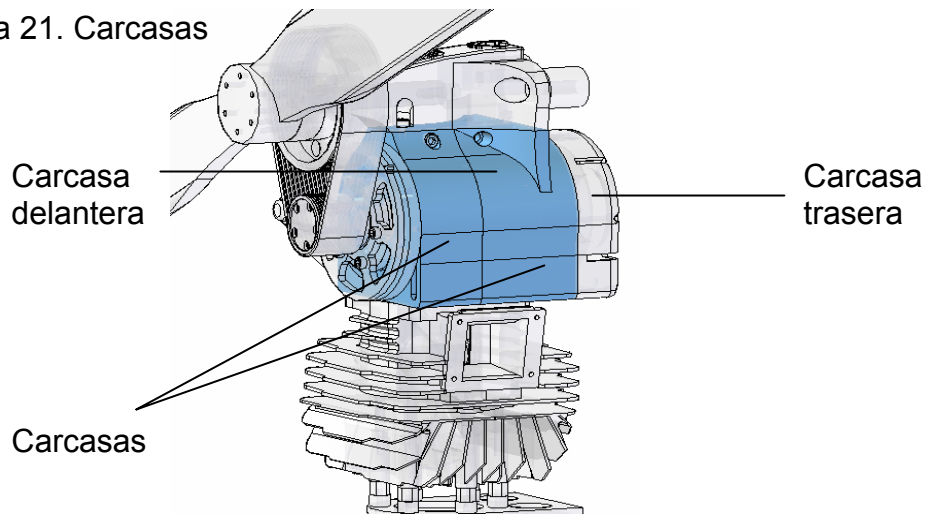
Teniendo presente que el material de fabricación fue el aluminio, con  $\sigma_f = 14223$  psi y la ecuación (19) el factor de seguridad da:

$$N = \frac{14223}{2638} = 5$$

El factor de seguridad es optimo para piezas de aviación, por la tanto se procede a la fabricación, la cual se realizo en la sala FMS, con la ayuda de el centro de mecanizado.

## 5.4 CARCASAS

Figura 21. Carcasas



Fuente: autores

Las carcasas son los elementos que hacen la función de carter en los motores convencionales, es allí donde se aloja el cigüeñal y todos sus componentes, se compone de dos partes, carcasa delantera y carcasa trasera, y en estas dos partes se acoplan en la base superior, la cual sirve para dar soporte al motor con el chasis.

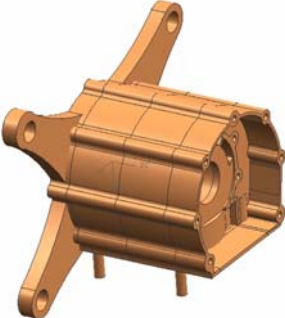

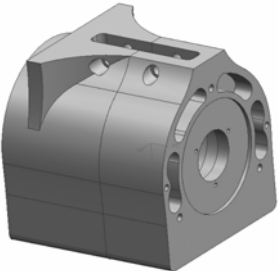
Para el diseño de las carcasas fue vital preservar la distancia de la carrera del pistón para no afectar el desempeño del sistema de potencia, y mantener un diseño acorde con la forma del soporte superior.

Las características primordiales tomadas en cuenta para el desarrollo de las carcasas fueron:

- Sencillez para su fabricación
- Concordancia en las dimensiones para respetar la carrera del pistón,
- Resistencia para las fuerzas presentes
- Capacidad de albergar todos los elementos necesarios para el funcionamiento del motor
- Buena hermeticidad en el acoplamiento

**5.4.1 Diseño de carcasas.** Con los parámetros anteriores se procedió a diseñar las carcasas.

**Tabla 7.** Evolución del diseño de las carcasas.

Figura	Ventajas	Desventajas
<p>#1</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gran rigidez al anclaje.</li> <li>▪ Un solo elemento para soportar el eje de la polea conducida y el motor de arranque</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ centro de gravedad alto</li> <li>▪ utilización de hélice de menor diámetro</li> <li>▪ Dificultad en el proceso de fundición de las carcasas</li> <li>▪ Distancia entre los centros de las poleas fija.</li> </ul>
<p>#2</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anclaje al chasis alto.</li> <li>▪ Centro de gravedad bajo</li> <li>▪ Utilización de hélice de mayor diámetro.</li> <li>▪ La distancia entre centros de las poleas se puede variar utilizando suplementos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El anclaje roscado de las carcasas a la base superior presenta problemas al estar sometido a tensión.</li> <li>▪ Difícil fabricación de la base superior y carcasas</li> </ul>
<p>#3</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anclaje al chasis alto.</li> <li>▪ centro de gravedad bajo</li> <li>▪ Utilización de hélices de mayor diámetro.</li> <li>▪ Fácil proceso de fundición</li> <li>▪ Los tornillos se someten a cortante y no las roscas a tensión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La distancia entre centros de las poleas es fija.</li> </ul>

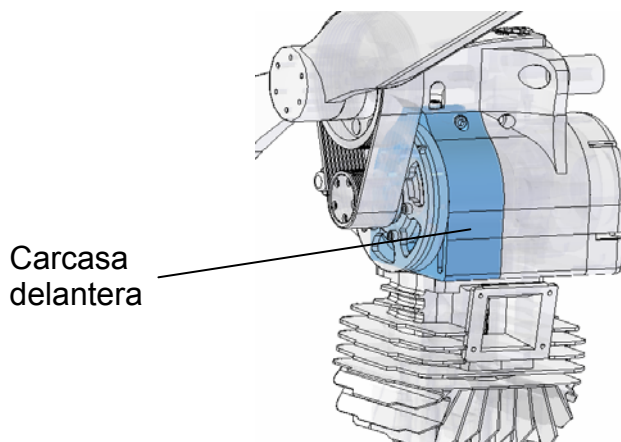
Fuente: autores

Por sus características, de resistencia y estética del diseño, se eligió la opción # 3.

La carcasa se divide en dos partes carcasa delantera y carcasa trasera, esto se realizo por que cada carcasa posee diferentes elementos acoplados a ellas.

- **Carcasa delantera (lado de la hélice).** En esta carcasa esta la salida de potencia del motor el cual se hace por medio del eje del cigüeñal, por esta razón en este lado lleva diferentes elementos para transmitir la potencia del motor a la hélice, (ver plano 01-01-05-00).

Figura 22. Carcasa delantera.



Fuente: autores

Elementos acoplados a la carcasa delantera:

- Acople de la polea conductora
- Polea conductora
- Cinta de arranque
- Placa que sostiene el motor de arranque

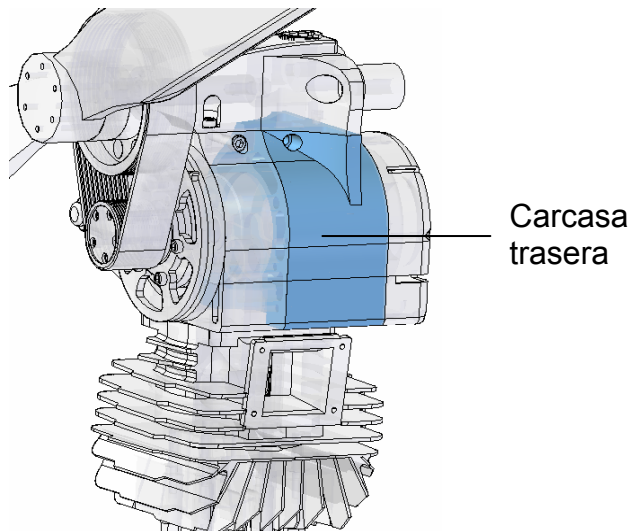
A cada uno de estos elementos se le proporciono un buen acoplamiento en la carcasa delantera, específicamente a la placa que sostiene el motor de arranque, y el acople de la polea conductora.

Con estos requerimientos se diseño la carcasa delantera, teniendo como factor importante su bajo peso, sin sacrificar la resistencia.

**Carcasa trasera (lado del volante).** En esta carcasa esta el sistema de control de funcionamiento eléctrico del motor, (ver plano 01-01-04-00), los elementos acoplados son:

- Volante
- Platinera
- Tapa posterior

**Figura 23.** Carcasa trasera.



Fuente: autores

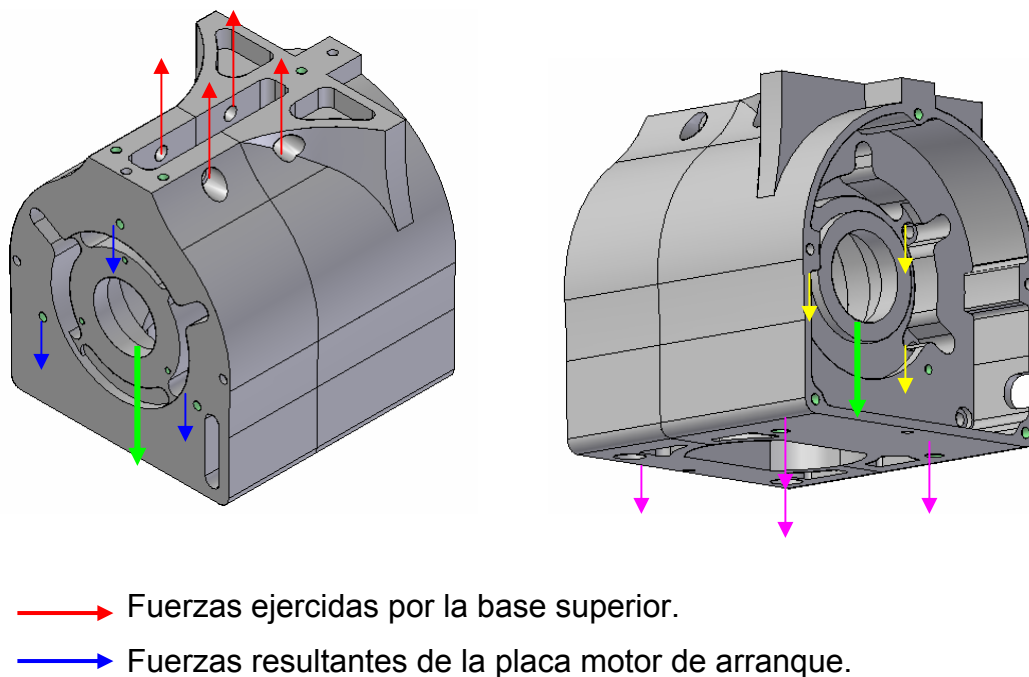
Fue importante la ubicación de los tornillos que dan sujeción a la platinera, ya que estos sirven para dar el respectivo ajuste a los tiempos del motor.

**5.4.2 Análisis de esfuerzos.** Las carcasas fueron analizadas como recipientes de pared delgada.

Cuando la pared del recipiente es delgada, la distribución del esfuerzo no varía de manera significativa, por lo tanto se supone constante. Con esta suposición, y las fuerzas a las que esta sometida cada carcasa por acción de los elementos acoplados a estas, se realizó el análisis estructural y de esfuerzos.

Las carcasas fueron hechas de aluminio, y se estimó que la presión de los gases en las carcasas es de aproximadamente 2 bares y la temperatura es de 90°C.

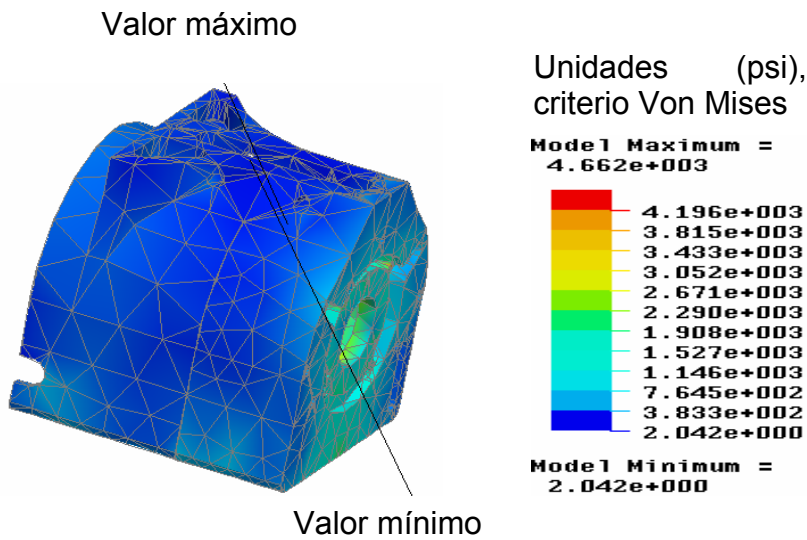
Figura 24. Fuerzas sobre las carcasas



- Peso del motor.
- Peso del volante.
- Resultante de las fuerzas provenientes del cigüeñal y los elementos acoplados a este.

Fuente: autores

Figura 25. Análisis de esfuerzos de las carcasas.



Fuente: autores

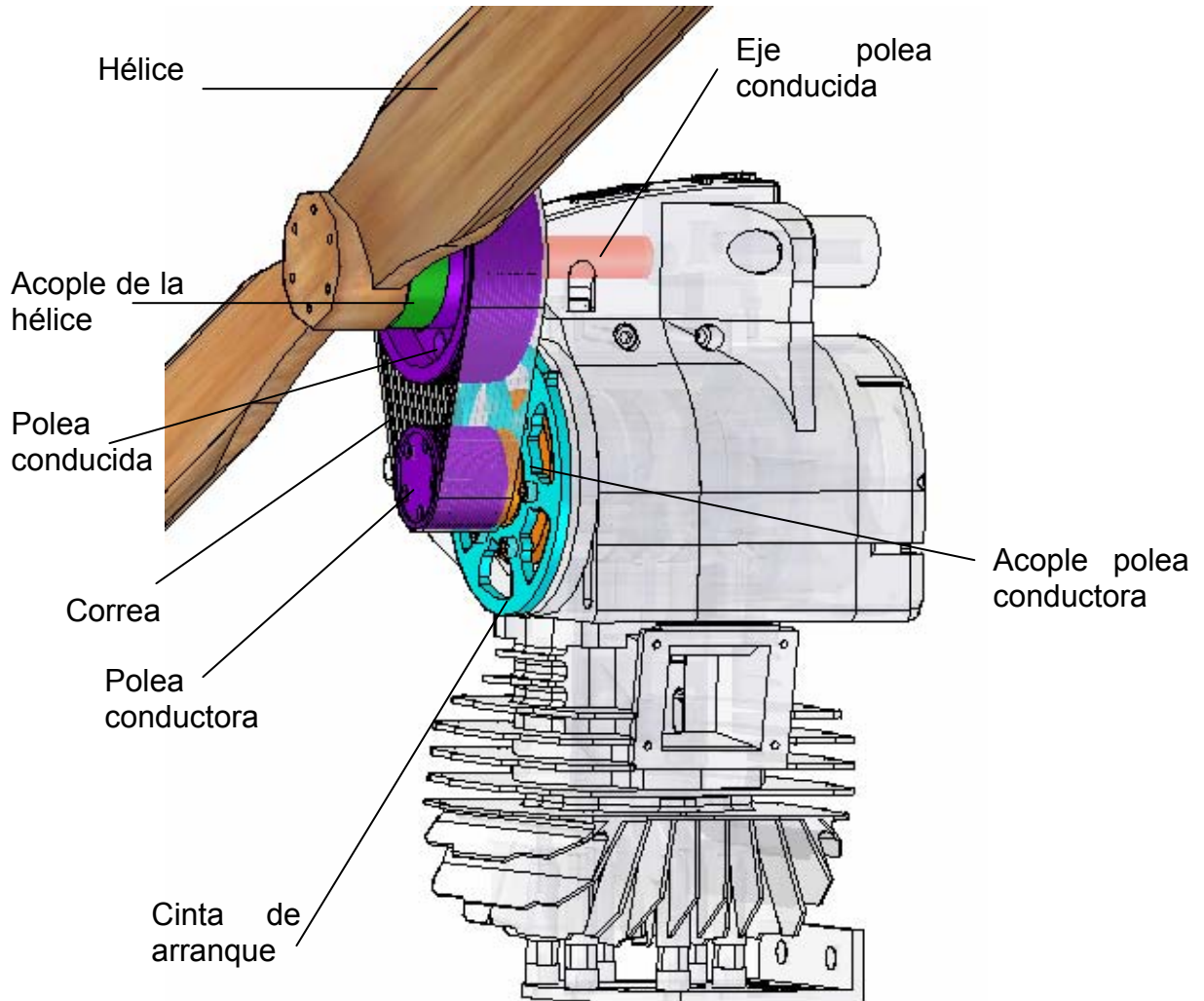
Con  $\sigma_f = 14223$  psi y la ecuación (19) el factor de seguridad da:

$$N = \frac{14223}{4662} = 3$$

La fabricación de la carcasa delantera y trasera se hizo en el centro de mecanizado que se encuentra en la sala FMS, en la escuela de ingeniería mecánica.

## 6. SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Figura 26. Sistema de transmisión.



Fuente: autores

En este sistema, están presentes los elementos que permiten adaptar la hélice al sistema motriz del motor, y de transmitir la potencia del motor a la hélice, (detalles en el plano 01-02-00-00).

## 6.1 PARTES DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Partes que se seleccionaron:

- Hélice.

Partes que se diseñaron:

- Reducción
- Cinta de arranque
- Acople de p Polea conductora
- Acople de la hélice
- Eje de p Polea conducida

## 6.2 TAMAÑO DE LA HÉLICE

La elección de la hélice es un aspecto importante para obtener el óptimo funcionamiento del motor, de ésta se obtendrán menores distancias de descolaje, mayor ascenso, alta velocidad, y consumo moderado.

Las características de las hélices se listan con respecto a su diámetro y velocidad de giro (ver anexo C), estos son los factores determinantes para escoger correctamente la hélice.

Debido a las pérdidas, la eficiencia de la hélice es menor que 1, y esta dada por:

$$n_{pr} = \frac{TxV_{\infty}}{P} \quad (3)$$

Para hallar el tamaño de la hélice, se tomo las siguientes relaciones empíricas del diámetro de la hélice en función a la potencia del motor:

$$2\text{-aspas} = D = 22 \cdot H_p^{1/4} \quad (4)$$

$$3\text{-aspas} = D = 18 \cdot H_p^{1/4} \quad (5)$$

Donde, D esta dado en pulgadas, y Hp es la potencia de diseño del motor dada en caballos de potencia (Tabla 1).

En este proyecto, se eligió una hélice de 2 aspas, que es más económica y cumple con las exigencias de empuje que requiere el paramotor.

$$D = 22 \cdot H_p^{1/4}$$

$$D = 22 \cdot 14^{1/4}$$

$$D = 42.5 \text{ pulg.} = 108 \text{ cm}$$

En el mercado no hay hélices con ese diámetro por lo que se escogió una con un valor aproximado, hélice de tipo bi pala de 110cm de diámetro. Para el cálculo de la velocidad de giro de la hélice, se parte de las revoluciones de giro del motor, con la restricción de que la velocidad de giro de la hélice no debe superar la velocidad del sonido (a nivel del mar es 340.46 m/s) por efectos de ruido, y de su conservación (anexo C). Para ello se escogió una reducción de acuerdo con el diámetro de la hélice:

Tabla 8. Reducción de la guía mundial de aviación ultraligera.

<b>Diámetro de la hélice (cm.)</b>	68-84	81-99	74-98	96-100	94-130	115-122
<b>Reducción</b>	1.00	1.80	2.00	2.20	2.50	2.60

Fuente: Motor SOLO

Como se muestra en la tabla anterior, la reducción recomendada es de 1:2.5. Por lo tanto se estimó la velocidad de la hélice con la siguiente ecuación:

$$m = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D}{d} \quad (6)$$

Donde m es la relación de velocidades, D es el diámetro de la polea conducida, d es el diámetro de la polea conductora,  $n_1$  es la velocidad de giro del motor (rpm) y,  $n_2$  es la velocidad de giro de la hélice (rpm).

De la (tabla. 4) se obtienen las revoluciones de salida del motor ( $n_1= 7000$  rpm). Despejando estos valores se tiene:

$$2.5 = \frac{7000}{n_2} \quad n_2 = 2800 \text{ rpm}$$

La velocidad de la punta se denota como:

$$V_{tip} = \pi n_2 D_h \quad (7)$$

Donde, n esta dada en rpm y  $D_h$  esta en pies, entonces:

$$(V_{tip})_0 = \frac{\pi n_2 x D_h}{60} = \frac{\pi x 2800 x 3.6}{60} = 527.8 \text{ ft/s} = 161 \text{ m/s}$$

Cuando el prototipo se desplace a velocidad máxima, y la velocidad del aire se encuentre en la misma dirección, la velocidad relativa del aire en la punta de la hélice será:

$$V_{tip} = [(V_{tip})_0^2 + V_\infty^2]^{1/2} \quad (8)$$

$V_\infty = 176 \text{ ft/s}$  velocidad del aire a nivel del mar

$$V_{tip} = [527.8^2 + 176^2]^{1/2}$$

$$V_{tip} = 556.4 \text{ ft/s} = 170 \text{ m/s}$$

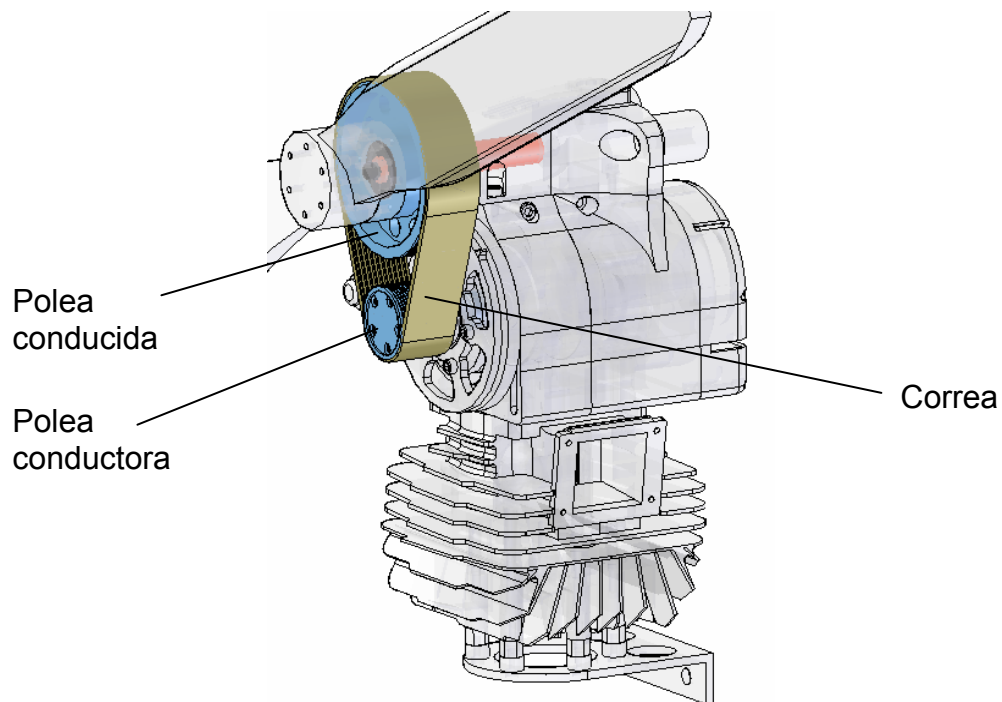
Dado que la velocidad del sonido a nivel del mar es de 340.46 m/s, la punta de la hélice no excederá esta velocidad, por lo tanto el diámetro de la hélice cumple con los requisitos y recomendaciones.

### 6.3 REDUCCIÓN

La diferencia de la velocidad de salida del motor con la velocidad requerida por la hélice hace necesaria la utilización de un método de reducción, el cual juega un papel importante en el funcionamiento del sistema motriz y es vital para el correcto funcionamiento de la hélice, logrando un aumento en la eficiencia del paramotor.

La reducción seleccionada fue de 1:2.5 (tabla 8). Con este valor se llevo a cabo el diseño de los elementos que integran todo el sistema de reducción.

Figura 28 . Partes de la Reducción



Fuente: autores

**6.3.1 Transmisión flexible.** Los elementos flexibles como bandas, cables o cadenas se utilizan para la transmisión de potencia a distancias comparativamente grandes, simplifican la máquina y la instalación mecánica. Gracias a su bajo precio, permiten una importante reducción de costos, además son elásticos, absorben cargas de choque y amortiguan los efectos de fuerzas vibrantes, vital para la parte motriz de la máquina.

En la actualidad existen muchas técnicas de transmisión de potencia y de velocidad. Para el óptimo funcionamiento de una máquina, factores como el ruido, peso, simplicidad en el diseño, y costos de fabricación, son vitales para seleccionar la reducción adecuada. Estos mismos factores son tenidos en cuenta para la transmisión del paramotor.

El mercado cuenta con diferentes alternativas como engranajes, cadenas, y poleas. Con el ánimo de elegir la transmisión adecuada se desarrolló el siguiente cuadro comparativo:

Tabla 9. Características de engranajes, cadenas, poleas.

<b>Características</b>	<b><i>Engranajes</i></b>	<b><i>Cadenas</i></b>	<b><i>Poleas</i></b>
Sencillez (diseño, fabricación)	X	X	++
Ruido	X	X	++
Peso	X	X	++
Facilidad en Mantenimiento	X	X	++
Estética	X	X	++

X= No recomendable

++= Recomendable

Fuente: autores

Por el cuadro anterior, las poleas son la solución más adecuada para la utilización en el prototipo.

Las poleas son la mejor opción, proporcionan la correcta disminución de la velocidad para el óptimo funcionamiento de la hélice de acuerdo con sus parámetros, son económicas con respecto a las cadenas y engranajes.

**6.3.2 Selección de la correa.** En el prototipo la correa queda expuesta totalmente, por tal motivo la correa debe garantizar resistencia a factores ambientales, y transmitir potencia entre las poleas sin pérdida alguna.

Con las especificaciones del motor, las condiciones de funcionamiento (capítulo 4), y las características de la correa de tipo poli-v se tiene:

- Alta relación de eficiencia.
- Adecuada para aplicaciones con distancia entre centros fija
- Utilización para pequeños diámetros.
- Resistentes al calor y al aceite
- Mayor capacidad de transmisión de fuerza que la correa en V
- 50% mas capacidad de transmisión que la correa en V
- Resistencia a factores ambientales
- El perfil de la correa impide que se salga de las poleas.

Por los factores anteriores, se escogió la correa poli-v como solución.

Para la selección de la correa se escogió el fabricante V- Belts, por economía y facilidad de ubicación en el mercado local. De las recomendaciones del fabricante se escoge el perfil y factores de cargas.

**6.3.3 Cálculo de la correa.** Para calcular el número y el tipo de correa se deben conocer datos como; el diámetro de la polea conductora, el diámetro

de la polea conducida, y además la especificación de la distancia entre centros.

Tomando  $m=2.5$  (Tabla 8), escogiendo el diámetro de la polea conductora de 50mm, y la distancia entre centros de 110mm por concepto de espacio, se calculo el diámetro de la polea conducida mediante la formula (6):

$$2.5 = \frac{D}{50} \quad D = 125\text{mm} = 4.92\text{in}$$

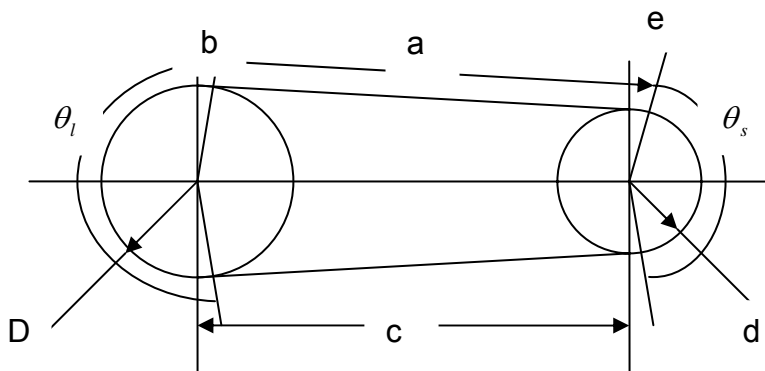
Los Datos obtenidos son:

$c = 110 \text{ mm}$  (distancia entre centros)

$d = 50 \text{ mm}$  (diámetro de polea conductora)

$D = 125 \text{ mm}$  (diámetro de polea conducida)

Figura 27. Montaje poleas-correa



Fuente: autores

Donde:

$$a = \frac{1}{2} \sqrt{4c^2 - (D-d)^2} \quad (9)$$

$$b = \text{sen}^{-1} \frac{D-d}{2c} \quad (10)$$

$$e = \text{sen}^{-1} \frac{D-d}{2c} \quad (11)$$

$$L = \sqrt{4c^2 - (D-d)^2} + \frac{1}{2}(D_{\theta} + d_{\theta_s}) \quad (12) \quad L = \text{longitud de la correa}$$

Siendo:  $\theta_l = \pi + 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{D-d}{2c}\right)$  (13)       $\theta_s = \pi - 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{D-d}{2c}\right)$  (14)

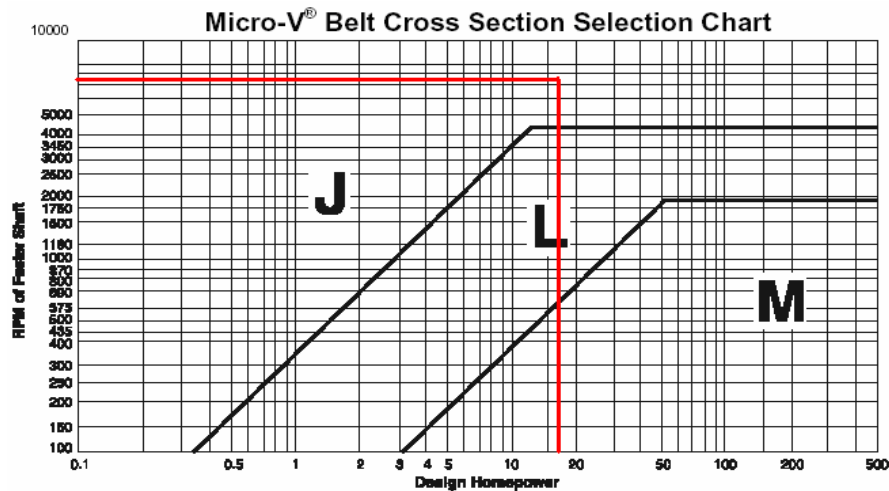
Reemplazando los valores en las ecuaciones (13), (14), y (12):

$$\theta_l = \pi + 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{125-50}{2 \times 110}\right) = 3.84\text{rad} \quad \theta_s = \pi - 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{125-50}{2 \times 110}\right) = 2.45\text{rad}$$

$$L = \sqrt{4 \times (110)^2 - (125 - 50)^2} + \frac{1}{2}(125 \times 3.84 + 50 \times 2.45) = 508\text{mm}$$

Para escoger el perfil de la banda se utilizó la siguiente gráfica que relaciona la potencia que entrega del motor (17hp) con las revoluciones máximas del mismo (7000 rpm).

Tabla 10. Tabla de selección del perfil de la correa.



Fuente: Heavy Duty V-Belt Drive Desing Manual

El perfil “J” tiene como característica que es una correa ranurada que no permite que la correa se deslice en forma axial sobre las poleas; además posee buena transmisión de potencia y su costo es moderado.

**6.3.4 Cálculo del número de correas.** Para el cálculo de número de correas se tienen los siguientes datos:

- Correa poli-v de perfil tipo “J”
- Potencia entregada por el motor: =17hp
- Revoluciones de la polea conductora:  $n_1= 7000$  rpm
- Revoluciones de la polea conducida:  $n_2 = 2800$  rpm
- Distancia entre centros no debe exceder: 110mm.

El número de correas esta dada por:

$$\text{Número de correas} = \frac{N_{e \max}}{P_{otnom}} \quad (15)$$

Donde  $N_{e \max}$ = Potencia entregada por el motor, y  $P_{otnom}$  es la potencia nominal que está dada por:

$$P_{otnom} = K_{\theta} \times K_l \times P_{onom} \quad (16)$$

Con los factores de fabricante para este tipo de correa  $P_{onom}= 11$  hp  
 $K_{\theta}=1.3$ ,  $K_l=0.94$ , (ver anexo), desarrollando la ecuación (16) y (15):

$$P_{otnom}=13.442\text{hp}$$

$$\text{Numero de correas} = \frac{N_{e \max}}{P_{otnom}} = \frac{17}{13.44} = 1.26$$

Para el caso del prototipo se tomó como solución utilizar una sola correa ya que la exigencia de trabajo no es constante.

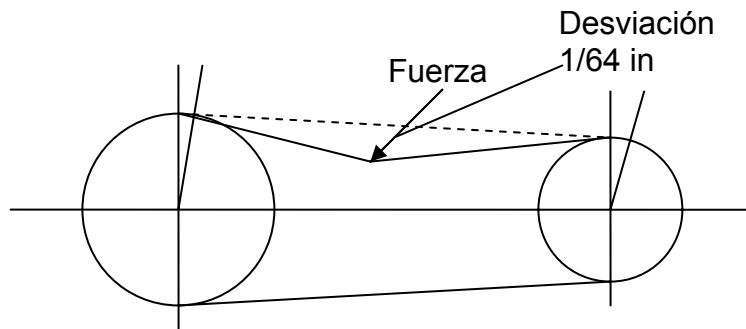
La longitud de la correa esta dada por:

$$L_p = 2c + 1.57(D - d) + \frac{(D - d)^2}{4c} \quad (17)$$

$$L_p = 2(110) + 1.57(125 + 50) + \frac{(125 - 50)^2}{4 \times 110} = 508\text{mm}$$

La tensión de la correa se determinó con las indicaciones del fabricante (ver anexo), la deflexión debe ser  $1/64$  por cada pulgada de distancia tangencial entre las poleas, para esto se procede en forma manual. El resultado es una distancia de 108mm, se había tomado una distancia de 110mm, la cual se deja como solución.

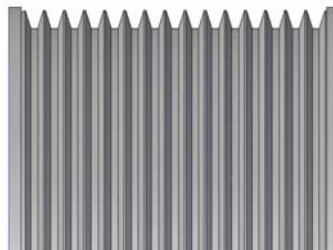
Figura 28. Tensión de la correa



Fuente: autores

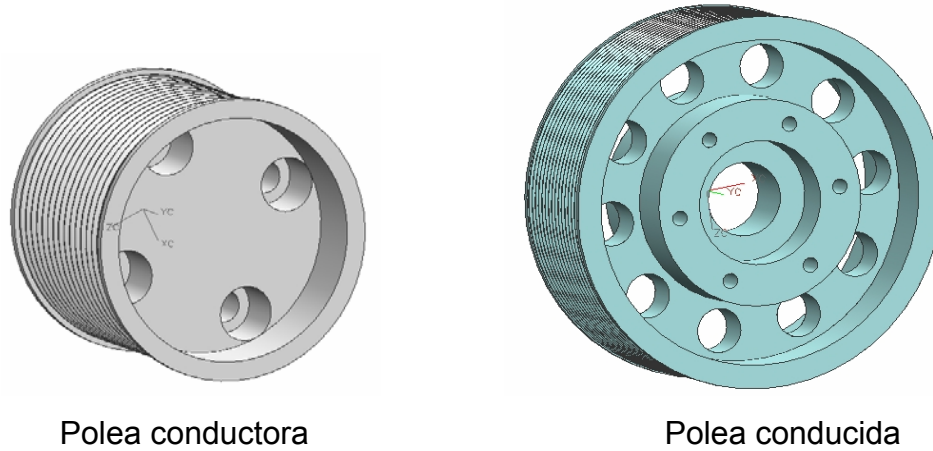
**6.3.5 Diseño de las poleas.** El diseño de las poleas está relacionado con el perfil de la correa y los diámetros, como la correa seleccionada es una poli-v, esto demanda que las poleas contengan ranuras que acoplen correctamente con la correa. Para la polea conductora se tomo con un diámetro de 50mm, y la polea conducida de 125mm; para el espesor de las poleas se tiene en cuenta el número de ranuras que posee la correa (detalles en planos 01-02-04-00 y 01-02-05-00).

Figura 29. Detalle de las ranuras de las poleas.



Fuente: autores

Figura 30. Poleas conductora y conducida

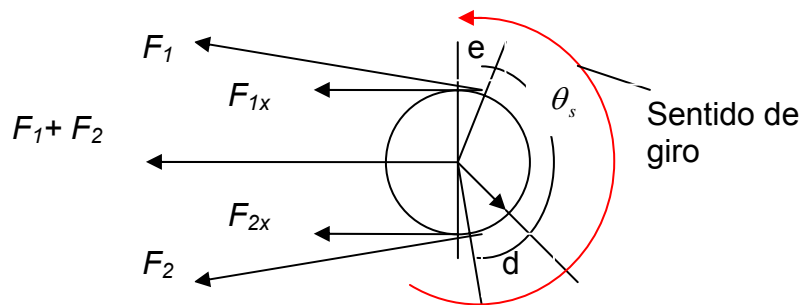


Fuente: autores

**6.3.6 Análisis de esfuerzos de las poleas.** El análisis estructural de todas las piezas de este proyecto de grado se hizo por medio de la herramienta CAE presente en Unigraphics. Una vez definida la forma la pieza, se procede a establecer las cargas presentes en dicha pieza.

La polea conductora presenta las mismas cargas pero en sentido contrario que en la polea conducida, por lo que se tiene:

Figura 31. Fuerzas existentes en la polea conductora



Fuente: autores

Las fuerzas que actúan en las poleas son de igual magnitud que las fuerzas de la correa, y están relacionadas con los datos que entrega el motor.

Pot (potencia)=17hp

$n_1=7000\text{rpm}$

Ecuaciones de interés:

$$T = \frac{63000 \times \text{Pot}}{n_1} \quad (18)$$

$$T = (F_1 - F_2) \times \frac{d}{2} \quad (19)$$

De acuerdo con el fabricante  $F_1 = 41250 \left( \frac{\text{Pot}}{K_\phi v_l} \right) \quad (20)$

Donde  $v_l$  es la velocidad de la correa (pies/minutos)

$$v_l = \frac{n\pi r}{30} \quad (21)$$

$$v_l = \frac{7000 \times \pi \times 0.082}{30}$$

$$v_l = 3607 \text{ ft/min} = 18.3\text{m/s}$$

$K_\phi$  Es el factor de ángulo de abrace, con el fabricante y según los diámetros de las poleas, el  $K_\phi = 0.84$ , entonces:

$$F_1 = 41250 \left( \frac{17}{0.84 \times 3607} \right) \quad F_1 = 231 \text{ lb}$$

Resolviendo las ecuaciones (18) y (19):

$$T = \frac{63000 \times 17}{7000} = 153 (\text{lb} - \text{in})$$

$$153 = (F_1 - F_2) \times \frac{1.97}{2} \quad (F_1 - F_2) = 155 \text{ lb}$$

$$F_1 = 231 \text{ lb}$$

$$F_2 = 76 \text{ lb}$$

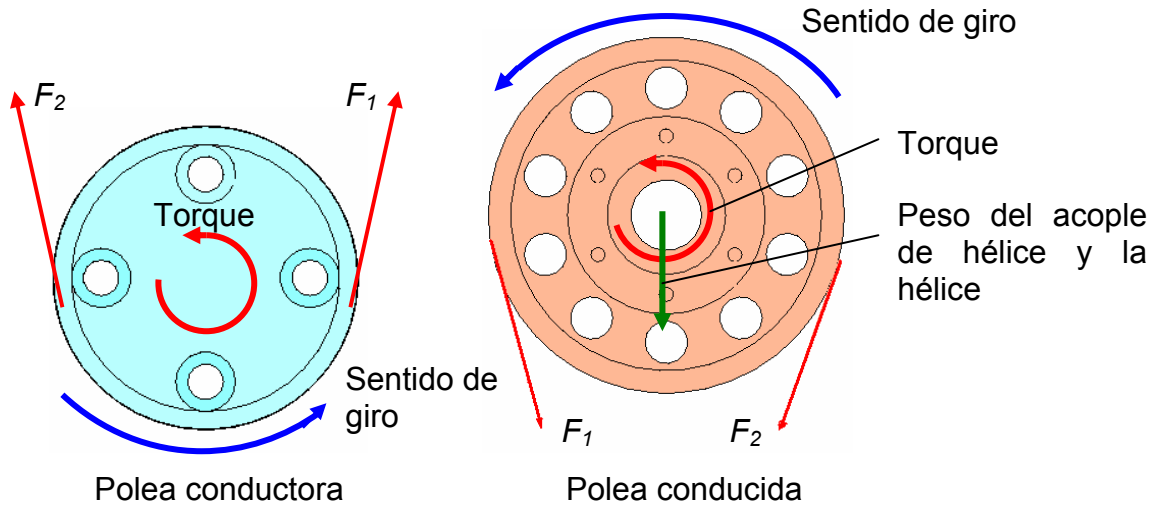
Teniendo en cuenta que  $e=19.9^0$  se calcula  $F_{1x}$  y  $F_{2x}$  las cuales son las componentes en x de las fuerzas (figura 33).

$$F_{1x} = 217 \text{ lb}$$

$$F_{2x} = 71 \text{ lb}$$

$$F_{1x} + F_{2x} = 288 \text{ lb}$$

Figura 32. Fuerzas (polea conductora y polea conducida)



Fuente: autores

Las poleas se fabricaron de aluminio cuya densidad es:

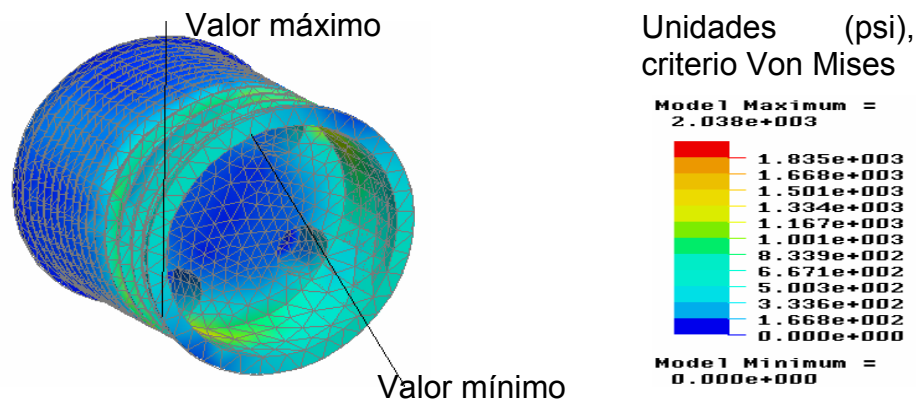
Densidad=2700kg/m<sup>3</sup>

Este valor permite conocer el peso de las poleas:

- Peso de polea conductora=140gr
- Peso de polea conducida=635gr.

Con los datos obtenidos, se prosigue a su análisis con una herramienta CAE

Figura 33. Análisis de esfuerzos (polea conductora)



Fuente: autores

El factor de seguridad se determino con la siguiente ecuación:

$$N = \frac{\sigma_f}{\sigma} \quad (21)$$

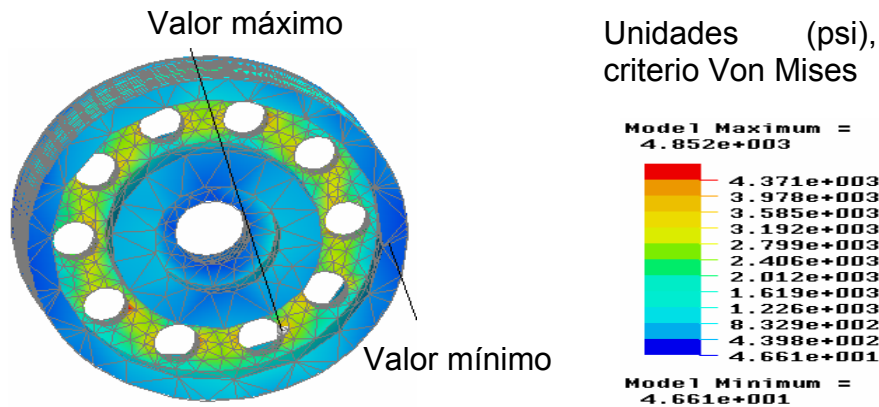
De donde  $\sigma_f$  es el esfuerzo de fluencia del material en (psi) para este caso del aluminio, y  $\sigma$  esfuerzo resultante por causa de las fuerzas (figura 34).

$$N = \frac{14223}{2038} = 5$$

Con el valor del factor de seguridad queda determinado que la pieza soporta las cargas que presenta.

Para el análisis de la polea conducida, se tomo en cuenta el peso del acople de la hélice (se estimo de 150 gr.), y el peso de la hélice (anexo C).

Figura 34. Análisis de esfuerzos (polea conducida)



Fuente: autores

Factor de seguridad:  $N = \frac{14223}{4852} = 3$



**6.4.1 Diseño de la cinta de arranque.** Para diseñar la cinta se partió del módulo del engranaje del motor de arranque, este es 1.75 (anexo D) y cuidando que el radio de la cinta supere al diámetro de las carcasas.

**6.4.2 Cálculo del número de dientes.** Se tomo el modulo del motor de arranque ( $m_a=1,75$ ), este debe ser igual para la cinta de arranque, así lograr un correcto engrane de los dientes y un buen funcionamiento.

Para el cálculo del diámetro de la cinta del motor de arranque se tiene:

$$p = \frac{N_d}{d_p} \quad (22) \quad m_a = \frac{d_{p1}}{N_{d1}} \quad (23)$$

Donde  $p$  es el paso diametral,  $N_{d1}$  numero de dientes,  $d_{p1}$  diámetro de paso motor de arranque, se tiene que:

$N_{d1} = 14$  dientes para el motor de arranque

$$d_{p1} = 1.75 \times 14 = 24.5 \text{ mm}$$

Se tiene que el diámetro de las carcasas es de 138 mm, y el diámetro exterior de 46 mm para el motor de arranque, esto da como distancia mínima de centros entre estas dos partes de 92mm, por tal razón la distancia mínima de centros de los engranajes debe ser igual o superior a este valor.

Se procedió a diseñar le cinta, introduciendo los valores de números de dientes y comprobando la distancia mínima entre centros.

$$m_a = \frac{d_{p1}}{N_{d1}} = \frac{d_{p2}}{N_{d2}} \quad d_c = \frac{d_{p1} + d_{p2}}{2} \quad (24)$$

Tabla 11. Tabla de soluciones de números de dientes para la cinta.

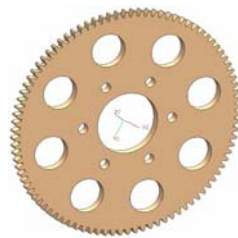
$N_{d2}$	$d_{p2}$	$d_c$
80	140	82.25
90	157.5	91
92	161	92.75
94	164.5	94.5
98	171.5	98

Fuente: autores

Los resultados muestran que con 92, 94 y 98 dientes se cumplen los requerimientos de las distancias, con el fin de reducir peso se escogió como solución, que la cinta tenga 92 dientes.

Como el diámetro de la cinta es grande, se debe proceder a eliminar la mayor cantidad de material para disminuir el peso, por tal motivo se hace unos vaciados en forma circular. (Ver detalles en plano 01-02-06-00).

Figura 36. Forma de la Cinta de arranque



Fuente: autores

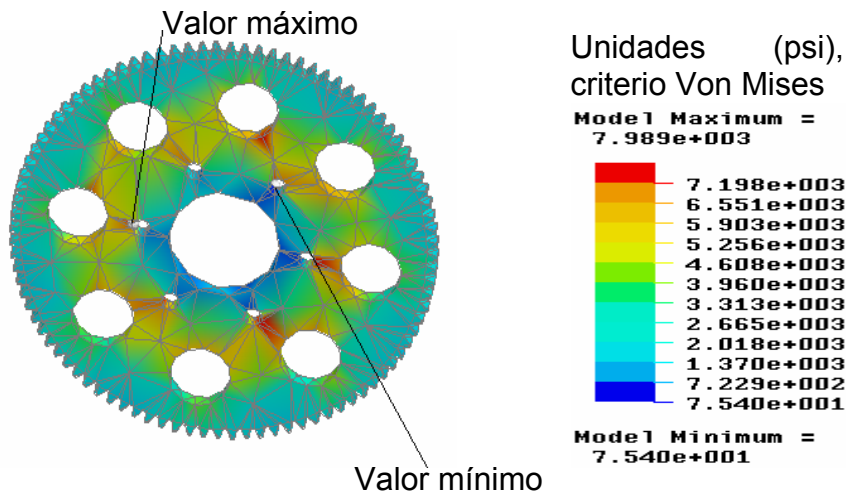
**6.4.3 Análisis de esfuerzos.** Para la fabricación se tomo como material acero 8620, el cual es utilizado comúnmente en la fabricación de engranajes o piñones, y se escogió un espesor de 7 mm, con estos valores la cinta pesa 700gr.

**6.4.5 Tratamiento térmico.** Por las características de funcionamiento de la cinta de arranque, es necesario un tratamiento térmico para mejorar la resistencia del material, este tratamiento consiste en cementar la pieza para darle más dureza a los dientes y evitar el prematuro desgaste.

La cinta se somete a una temperatura de 890°C durante 3 horas, posteriormente se pasa a enfriarla en aceite, esto da una profundidad de cementación de 0.5 mm, aumentando su vida útil.

Para el análisis CAE se tiene el torque ejercido por el motor de arranque que es de 120 lb.-in (ver anexo D).

Figura 37. Análisis de esfuerzos de la Cinta de arranque.



Fuente: autores

El esfuerzo de fluencia  $\sigma_f$  del acero 8620 es de 24736 psi (ver anexo), utilizando la ecuación (21) el factor de seguridad da:

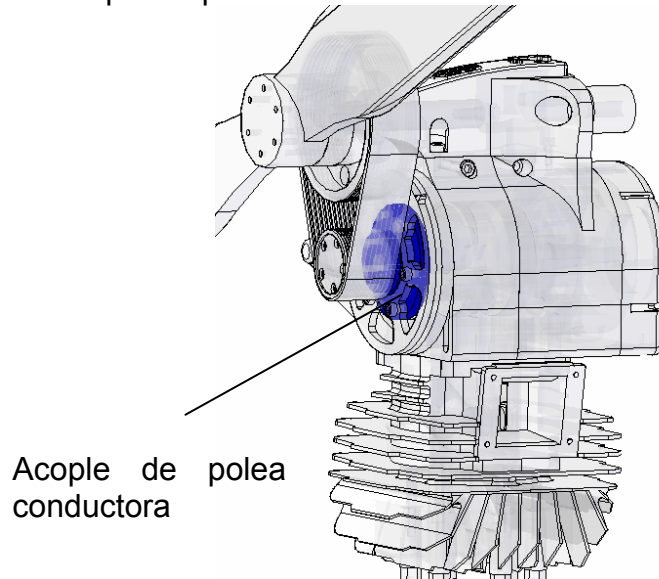
$$N = \frac{49700}{7989} = 6$$

Este valor del factor de seguridad cumple plenamente con los recomendados para los piñones.

En la fabricación de la cinta de arranque se utilizó una fresa convencional para los dientes, luego se procedió a realizarle los agujeros para la disminución de peso, esto se realiza en el centro de mecanizado presente en el laboratorio de FMS, de ingeniería mecánica.

## 6.5 ACOPLA DE POLEA CONDUCTORA

Figura 38. Acople de polea conductora



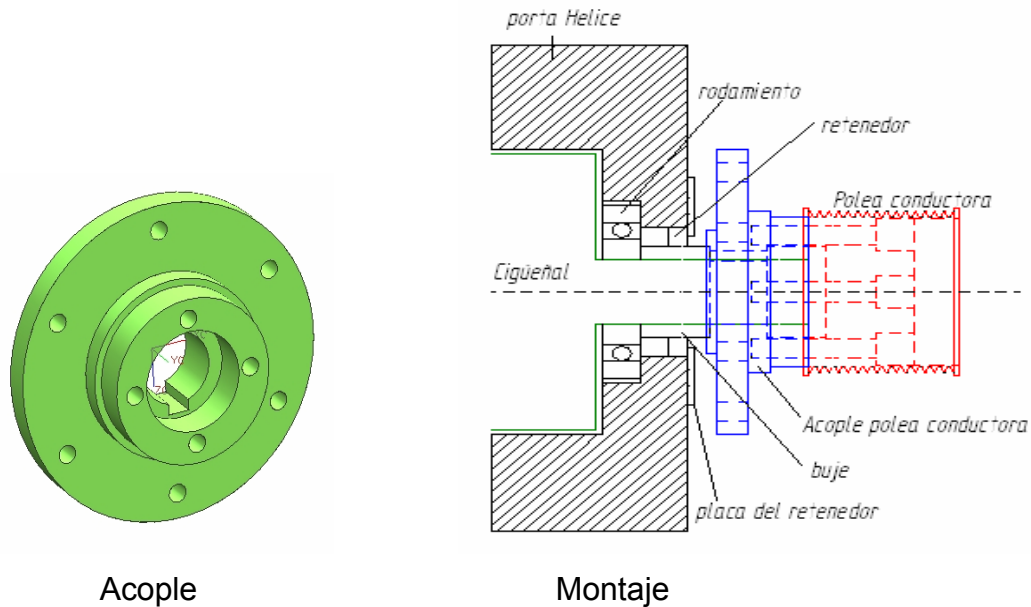
Fuente: autores

Para adaptar todo el sistema de transmisión (poleas, hélice), al motor, se hizo necesario diseñar una pieza, la cual toma la potencia que sale del cigüeñal y la trasmite a la polea conductora.

Las características de este acople es el bajo peso, sencillez en su geometría, y proveer el espacio suficiente para los diferentes componentes del motor.

**6.5.1 Diseño del acople de polea conductora.** Se partió de la geometría que posee la polea conductora, la cinta de arranque, y el diámetro del cigüeñal (detalles plano 01-02-02-00).

Figura 39. Diseño y montaje del acople de polea reductora.



Acople

Montaje

Fuente: autores

**6.5.2 Análisis de esfuerzos.** Las fuerzas existentes en el acople son:

- Las presentes en la polea conductora (sección 6.3.6).
- Las fuerzas presentes en la cinta del motor de arranque (sección 6.4.3).
- Torque máximo producido por el motor de combustión 1649lb-in (tabla 4).

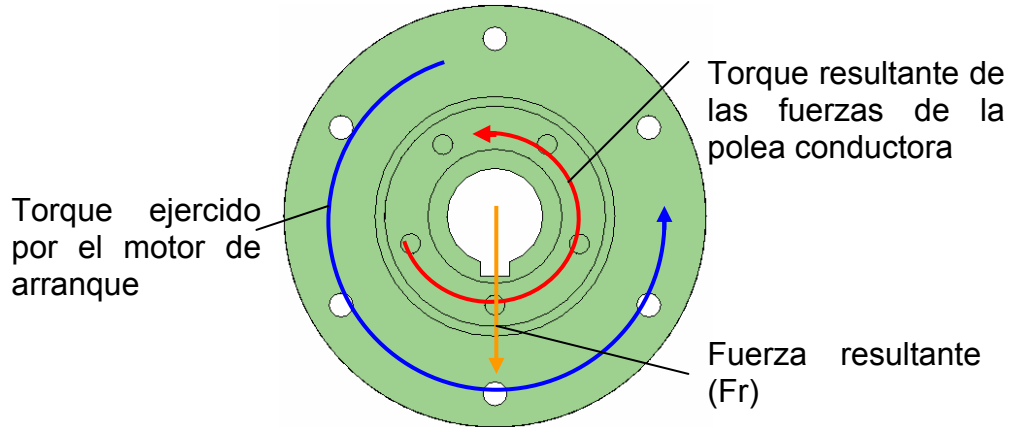
Debido a que esta parte esta sometida, tanto a fuerzas variantes como constantes, se tomo acero 1045 para su fabricación, por economía y resistencia:

Densidad acero 1045= 0.0000078 Kg/mm<sup>2</sup>

Peso de la polea conductora=140gr

Peso de la cinta de arranque= 700gr

Figura 40. Cargas presentes en el acople de la polea conductora.



Fuente: autores

El Torque producido por la polea conductora se encuentra con las resultantes de las fuerzas en dirección x (sección 6.3.6) multiplicada por la distancia al centro del acople, el torque de la cinta del motor de arranque se calculo mediante el torque que aplica el motor de arranque:

$$F_{1x}=217lb$$

$$F_{2x}=71lb$$

Distancia al centro del acople= 17.5mm =0.7 in

Torque producido por las fuerzas presentes en la polea conductora:

$$T_{p1} = (217 \times 0.7) - (71 \times 0.7) = 2555 \text{ lbxin}$$

Torque de la cinta de motor de arranque= 120 lbxin.

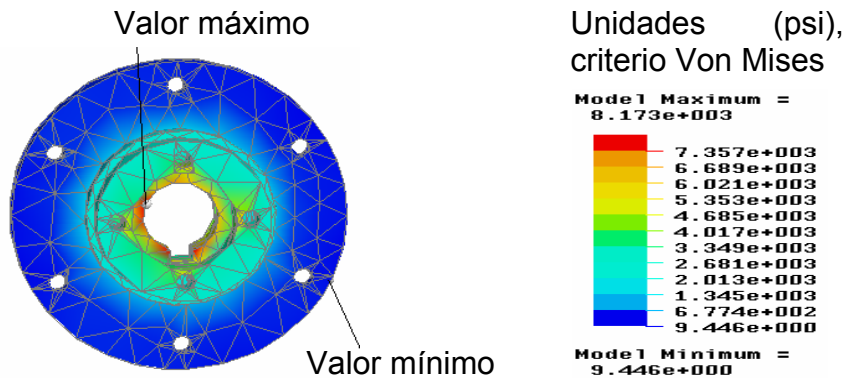
Para encontrar la resultante de las fuerzas en sentido x se tiene que:

$$F_{1x} + F_{2x} = 288 \text{ lb}$$
 es la fuerza resultante en dirección x negativo.

$F_t = 840 \text{ lb}$  valor de la suma de los peso de la polea conductora y cinta de arranque en dirección x positivo.

$$F_r = (840 - 288) = 552 \text{ lb}$$

Figura 41. Análisis de esfuerzos del acople de la polea conductora



Fuente: autores

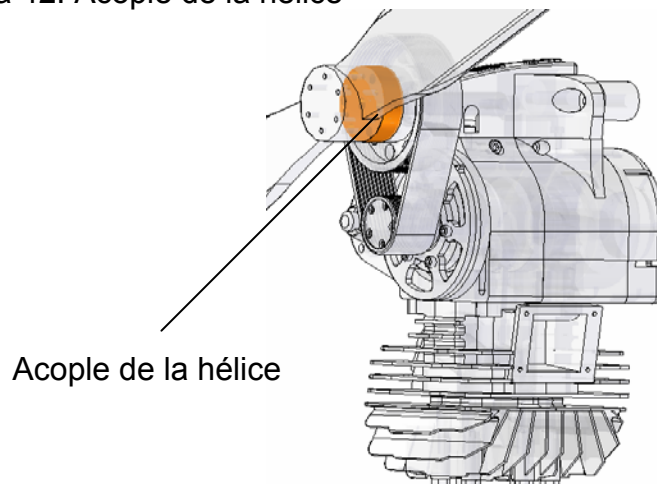
Utilizando la ecuación (21) para hallar el factor de seguridad, y el esfuerzo de fluencia del acero 1045  $\sigma_f = 42670$  psi (anexo E), se obtiene:

$$N = \frac{42670}{8173} = 5$$

El valor obtenido asegura el optimo diseño del acople.

## 6.6 ACOPLA DE LA HÉLICE

Figura 42. Acople de la hélice

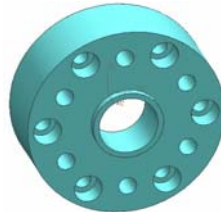


Fuente: autores

Con el diseño ya establecido de la polea conducida, y la hélice escogida, se diseñó un elemento que acople estas dos partes. La resistencia, como el bajo peso son los aspectos importantes que se establecieron para el desarrollo del acople de la hélice.

**6.6.1 Diseño del acople de la hélice.** Para diseñar este elemento se ubico la posición de los tornillos que presentan la polea y la hélice, además el acople de la hélice tiene que garantizar la concentricidad entre hélice y polea conducida, (ver detalles en plano 01-02-03-00).

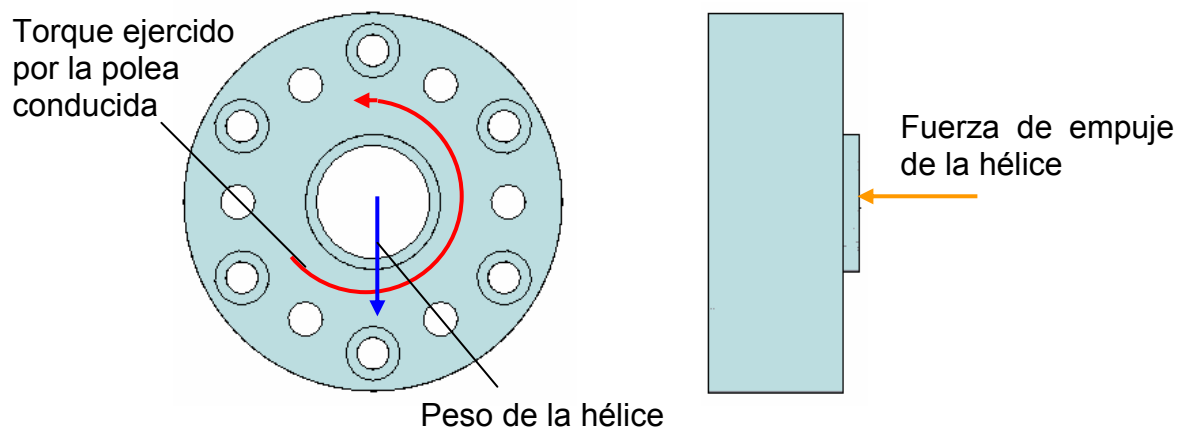
Figura 43. Diseño del Acople de la hélice



Fuente: autores

**6.6.2 Análisis de esfuerzos.** Para el análisis del acople de la hélice, se tomo en cuenta las fuerzas que desarrolla la hélice, y el torque que transmite la polea conducida (sección 6.3.6).

Figura 44. Fuerzas presentes en el acople de la hélice



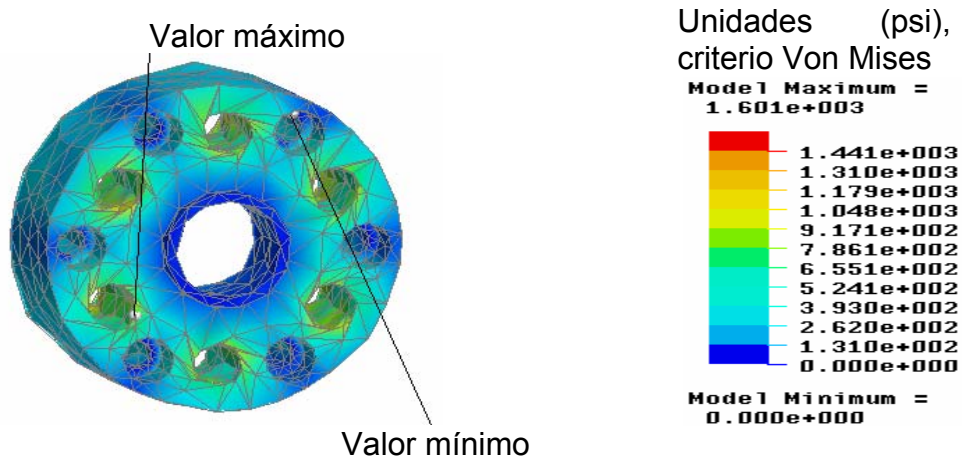
Fuente: autores

Con la ecuación (19) y el diámetro de la polea conducida en pulgadas se encuentra el torque que tiene la polea conducida, y este es el mismo para el acople de la hélice.

$$T = (231-76) \times \frac{4.92}{2} = 381 \text{ lb-in.}$$

Para la fabricación se escogió como material el aluminio, ya que proporciona un bajo peso de la pieza.

Figura 45. Análisis de esfuerzos del acople de la hélice.



Fuente: autores

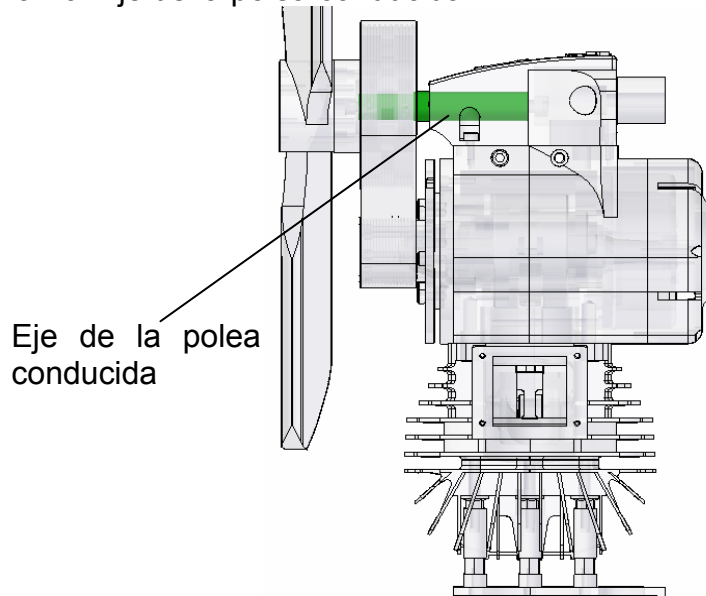
Para hallar el factor de seguridad, se utilizó la ecuación (21), el esfuerzo de fluencia del aluminio es de  $\sigma_f = 14223$  psi, se obtiene que:

$$N = \frac{14223}{1601} = 8$$

El valor del factor de seguridad es confiable, con el aluminio el acople de la hélice pesa 120g. La fabricación de la pieza se hizo mediante un torno convencional.

## 6.7 EJE DE LA POLEA CONDUCTIDA

Figura 46. Eje de la polea conducida.



Fuente: autores

Al diseñar elementos mecánicos que resistan a fallas se debe estar seguro de que los esfuerzos internos no rebasen la resistencia del material.

Para el diseño del eje se tomaron en cuenta las fuerzas que posee la polea conducida, y la fuerza de empuje proveniente de la hélice.

El análisis de los efectos de la carga sobre el eje evidencian que se trata de un elemento sometido a cargas fluctuantes (fatiga), esto es debido a la fuerza de empuje que proviene de la hélice y las fuerzas estáticas como el peso de la hélice, el peso de la polea conducida y el peso del acople de la hélice, de acuerdo con estos factores se calculó el diámetro del eje, su tamaño y su

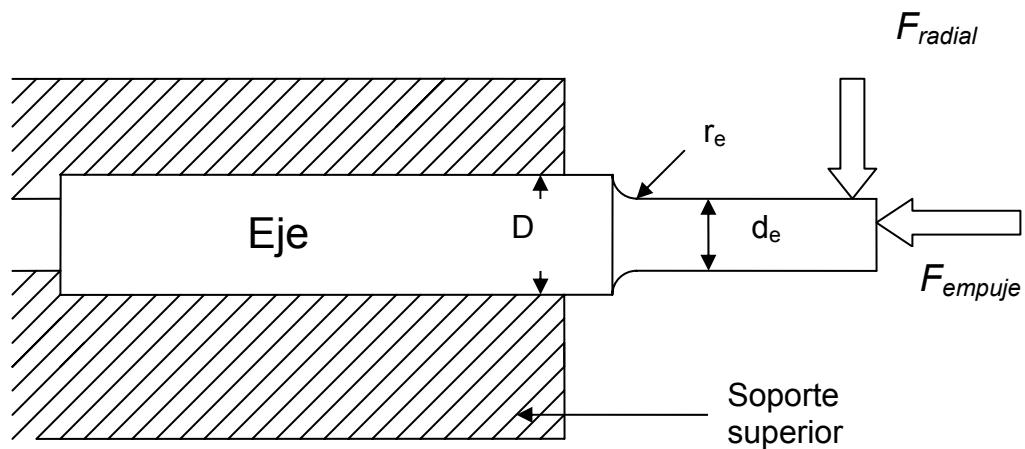
longitud, tomando en cuenta el alineamiento de las poleas, para que la correa no se salga de estas.

**6.7.1 Diseño del eje de la polea conducida.** El eje de la polea conducida fue diseñado tomando en cuenta los elementos que se encuentran acoplados a este, y sus respectivas cargas.

### 6.7.2 Fuerzas presentes en el eje.

- **Fuerza de empuje.** Esta fuerza es dada por la hélice en funcionamiento. Fuerza axial = 35Kg = 77lb (fuerza de empuje).

Figura 47. Fuerzas sobre el eje de la polea conducida



Fuente: autores

- **Fuerza radial.** La fuerza radial es la suma de los pesos de; la polea conducida, el acople de la hélice, los rodamientos, la hélice, y las fuerzas que se presentan en la correa, (sección 6.3)

$$F_{radial} = 555\text{lb}$$

**6.7.3 Diámetro de entalladura dispuesto por los rodamientos.** De acuerdo con las fuerzas existentes en el eje, el rodamiento debe proporcionar:

- Espacio disponible
- Resistencia a las cargas presentes en el eje
- Funcionamiento silencioso
- Soportar altas velocidades.

Con las características anteriores y tomando en cuenta que los rodamientos más comunes que existen en el mercado son los SKF, se escogió esta referencia como solución.

Para seleccionar el tipo de rodamiento se consulto la tabla 17 (anexo G), se concluyo que el rodamiento rígido de bolas cumple con las especificaciones mencionadas.

Tomando el diámetro del eje de 20mm, las fuerzas presentes en el eje y la tabla 18 (anexo G) se determino el rodamiento (SKF 6004) cuyas características son:

Figura 48. Rodamientos SKF 6004



Fuente: autores

Tabla 12. Características del rodamiento SKF 6004

características	valor
(D <sub>r</sub> ) diámetro exterior	42mm
(d <sub>r</sub> ) diámetro interior	20mm
(a <sub>r</sub> ) ancho	12mm
Radio de entalladura	0.6mm
(m <sub>r</sub> ) masa del rodamiento	0.062Kg
Capacidad de carga dinámica	9.95KN
Capacidad de carga estática	5KN

Fuente: [www.Skf.com](http://www.Skf.com).

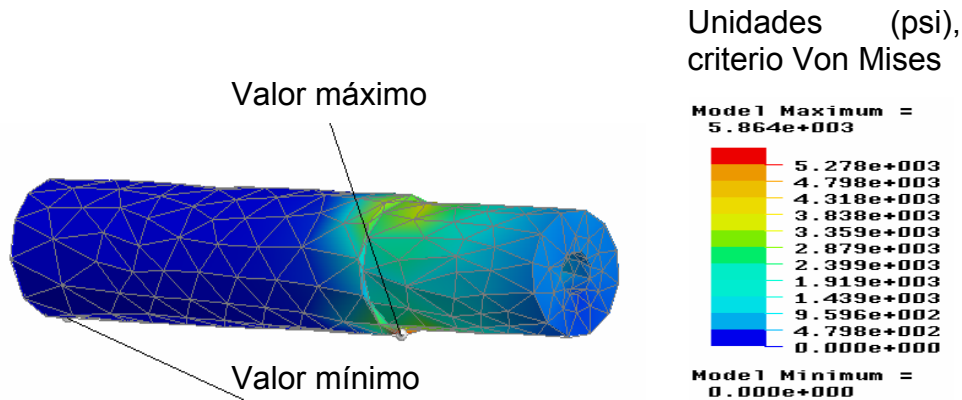
De acuerdo con este rodamiento el ángulo de entalladura del eje debe ser 0.6mm, con el fin de apoyar correctamente la polea conducida, se utilizo dos rodamientos de las mismas características.

De acuerdo con las especificaciones del rodamiento y de las fuerzas presentes, el eje se diseño de la siguiente manera:

- Diámetro menor (d<sub>e</sub>)= 20mm dado por el rodamiento (d<sub>r</sub>)
- Respecto al radio de entalladura y sabiendo se necesita apoyo de carácter axial para la polea, se toma como diámetro mayor del eje (D<sub>e</sub>) = 22mm.

**6.7.4 Análisis estructural.** Para cumplir con los requerimientos de las diferentes cargas, es importante el material de fabricación, con las fuerzas existentes y la geometría descrita, se utilizo acero 1020, por fácil adquisición, bajo costo, y cumple con los requerimientos de las fuerzas, con este material el eje pesa 300gr. (Detalles plano 01-02-01-00).

Figura 49. Análisis de esfuerzos del eje de la polea conducida



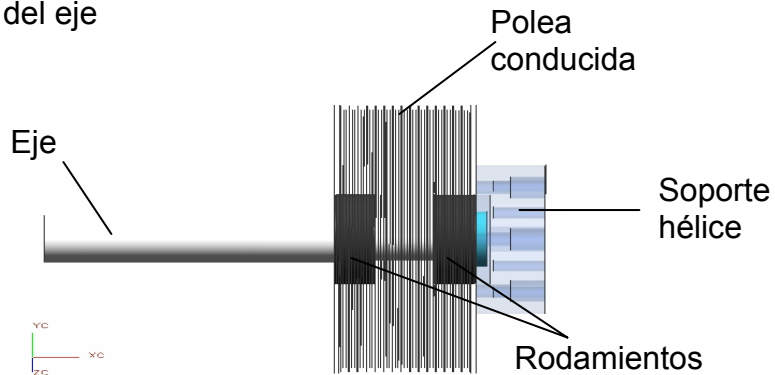
Fuente: autores

El factor de seguridad esta dado por la ecuación (21), el esfuerzo de fluencia del acero 1020 es de  $\sigma_f = 32000$  psi, se obtiene que:

$$N = \frac{32000}{5864} = 5$$

El resultado muestra que el eje hecho de acero 1020, con las dimensiones establecidas, y las cargas que posee, no presenta fallas ni por esfuerzos ni deformaciones además el diámetro cumple perfectamente con las necesidades requeridas.

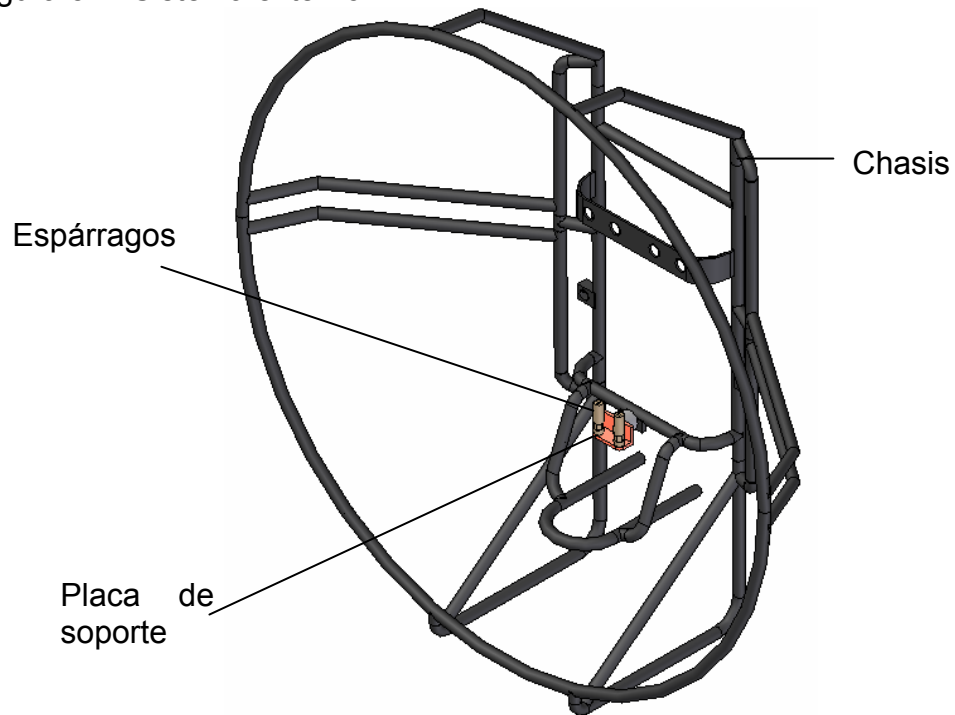
Figura 50. Montaje del eje



Fuente: autores

## 7. SISTEMA EXTERNO

Figura 51. Sistema externo.



Fuente: autores

### 7.1 PARTES DEL SISTEMA EXTERNO

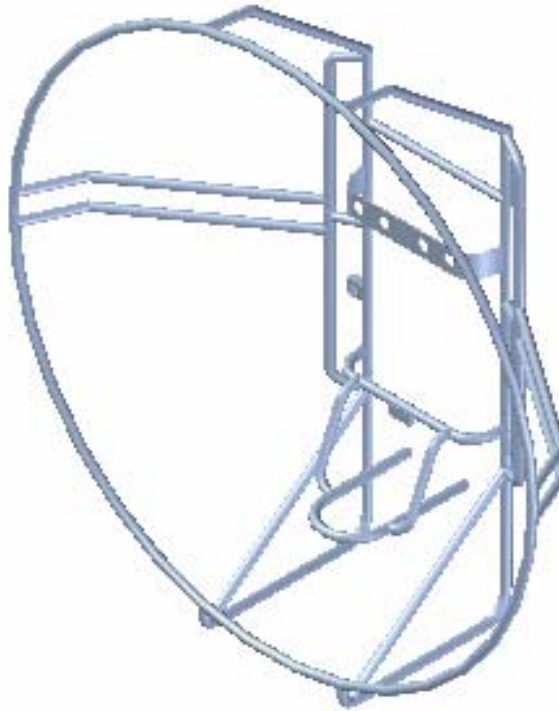
- Chasis
- Placa de soporte

### 7.2 CHASIS

Todo sistema motriz tiene un soporte o una estructura la cual se puede apoyar el motor.

El chasis es el esqueleto del paramotor, sirve para dar el soporte del sistema motriz, y unir la silla, este elemento constituye un sistema vital para apoyar el motor al suelo cuando el prototipo no esta funcionando.

Figura 52. Chasis.



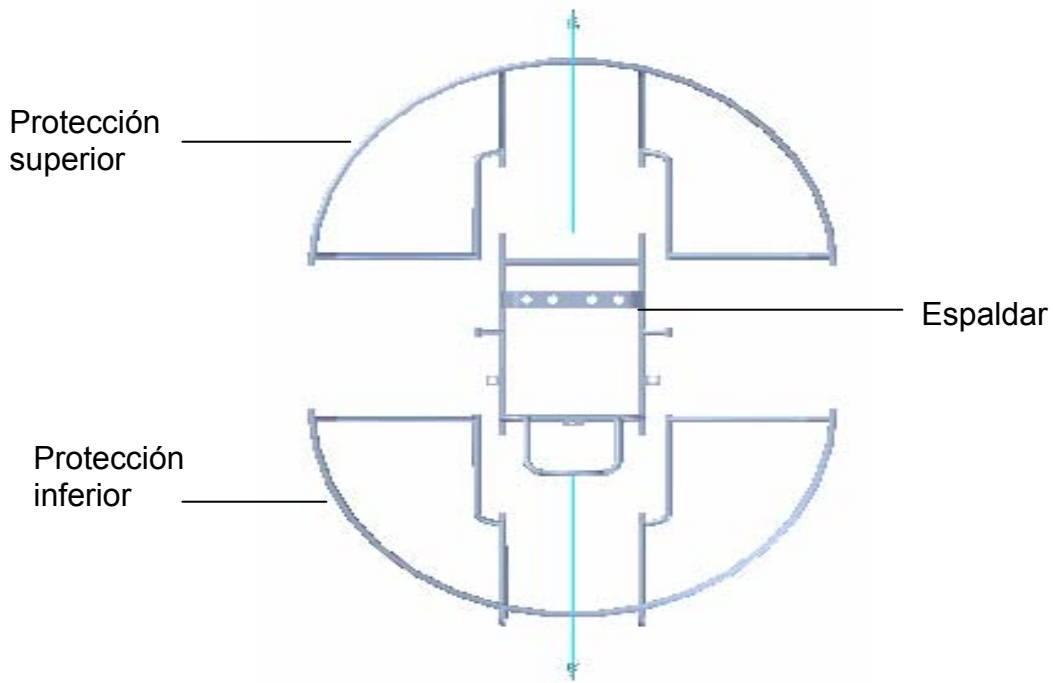
Fuente: autores

**7.2.1 Diseño del chasis.** Este diseño consistió en hacer el chasis resistente a golpes, pero a su vez de bajo peso, para su geometría se tomo en cuenta los puntos de apoyo de la base superior y de la culata, estos son las dos partes que proporcionan el anclaje al motor, además el chasis esta diseñado para albergar diferentes elementos, como la instalación eléctrica y la batería.

El anclaje del chasis a la silla se realizo de forma media, esto proporciona mayor estabilidad en el manejo del paramotor y evitando en cierta medida el

giro que siente el conductor a causa de la velocidad y sentido de rotación de la hélice, para el transportar el prototipo se decidió hacer el chasis en tres partes, esto facilito la fabricación, y este queda desarmable, reduciendo el tamaño en el transporte y en caso de golpes se cambia la parte afectada. (Detalles plano 01-03-01-00).

Figura 53. Partes del chasis.

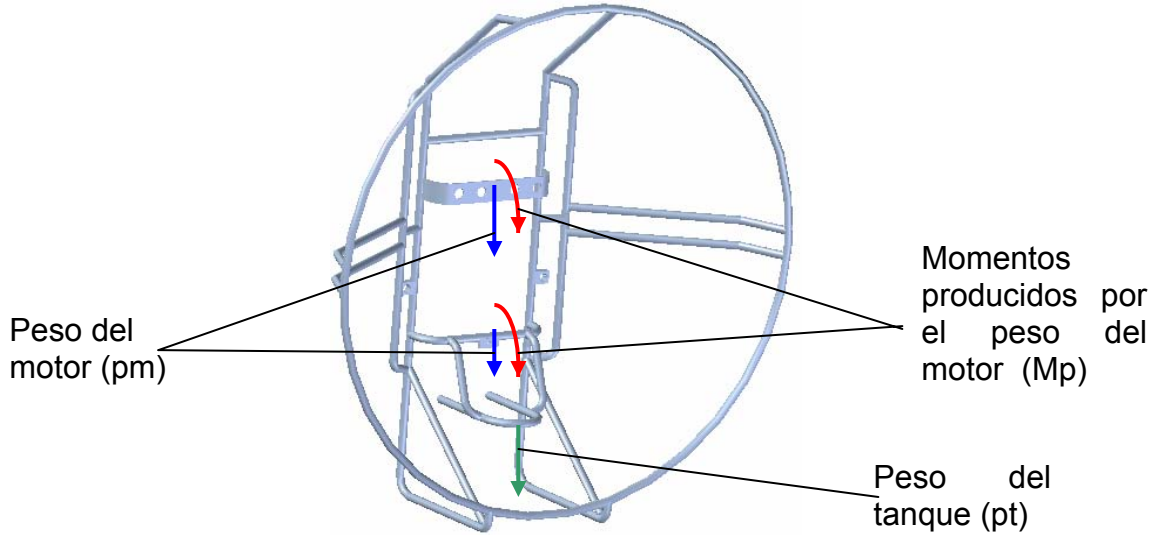


Fuente: autores

Por costos en soldadura y fácil adquisición de los materiales se utilizo acero 1045 col roll de  $\frac{3}{4}$ " calibres 18 y 20, pintura electrostática, uniones en duralon y correas de velcro para asegurar las uniones.

**7.2.2 Análisis estructural del chasis.** El chasis soporta el motor, el tanque de combustible, y el sistema de escape.

Figura 54. Fuerzas presentes en el chasis.



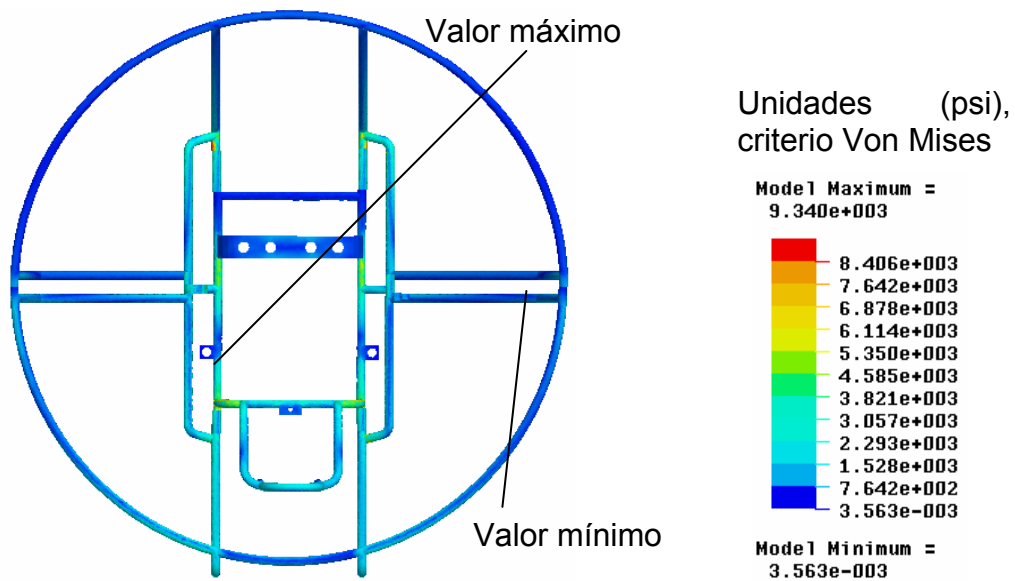
Fuente: autores

$p_m = 28 \text{ Kg}$

$M_p = 0,84 \text{ Kg-m} = 104 \text{ lb-in}$

$p_t = 9 \text{ Kg (tanque lleno)}$

Figura 55. Análisis de esfuerzos del chasis.



Fuente: autores

Utilizando la ecuación (21) para hallar el factor de seguridad, y el esfuerzo de fluencia del tubo de acero estructural  $\sigma_f = 38680$  psi (anexo), se obtiene:

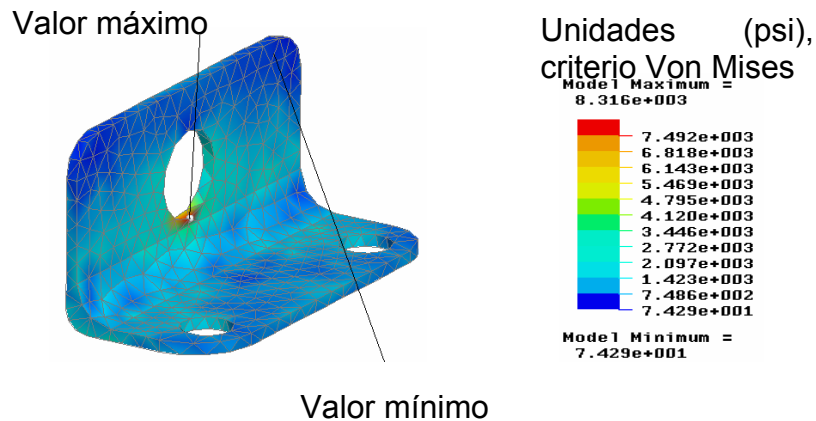
$$N = \frac{38680}{9340} = 4$$

El factor de seguridad es adecuado para el diseño del chasis.

**7.3 PLACA DE SOPORTE.** Parte del soporte del motor se realiza mediante una placa la cual esta acoplada a la culata por espárragos, los cuales aseguran la distancia necesaria para el acople de la bujía, esta placa este hecha en lamina de acero calibre 20.(detalles plano 01-03-03-00).

La placa esta hecha de acero, y soporta 5 Kg del peso total del prototipo

Figura 56. Análisis de la placa de soporte



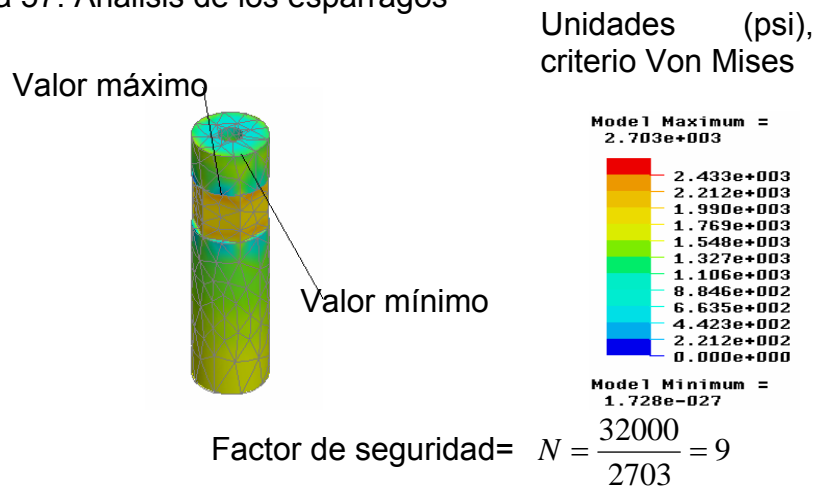
Fuente: autores

Factor de seguridad=  $N = \frac{35000}{8316} = 4$

**7.3.1 Diseño de los espárragos.** Estos se realizaron en acero 1020 tienen la características de ser roscados tanto en la parte superior como inferior,

aseguran la distancia necesaria para colocar y quitar la bujía mediante su respectiva llave. Los espárragos soportan 5Kg del peso del prototipo. (detalles plano 01-03-02-00).

Figura 57. Análisis de los espárragos



Fuente: autores

## 8. SISTEMA DE ESCAPE

La eficiencia del paramotor esta relacionada con muchos aspectos como peso, diámetro de la hélice, elementos de reducción, y el sistema de escape, este último es vital para la vida del motor y su diseño se debe hacer con sumo cuidado.

El sistema de escape o exhosto es un elemento muy importante para el motor dos tiempos, el extractor utiliza las ondas de presión creadas por los gases al salir de la cámara de combustión en el puerto del extractor, estas ondas tienen las características de reflejo como onda negativa (succión) contra el extremo abierto del tubo, de otra manera si encuentra un extremo cerrado de un tubo se refleja como onda positiva.

### 8.1 DISEÑO DEL EXHOSTO

El diseño de la cámara de expansión, depende de los parámetros del motor.

**8.1.1 Velocidad de los gases de escape.** Uno de los principales parámetros íntimamente ligados con el diseño de la cámara de expansión de un escape, es la velocidad de los gases, ya que el diseño de la cámara, dirige la velocidad de la presión de los gases en los diferentes pulsos del motor, afectando al rendimiento del motor.

La velocidad de los gases esta dada por:

$$a_o = \sqrt{\gamma RT_k} \quad (26)$$

Donde:

$$\gamma = 1.4 \quad R=287$$

$T_k$ =temperatura de los gases en grados Kelvin

$a_o$  = velocidad del gas en m/s.

**8.1.2 Calculo de la temperatura de salida de los gases.** Este cálculo depende del estado del motor y de su puesta a punto, y de la compresión de los gases en el motor, a este factor se le denomina BMEP. Este valor es importante para el diseño de la cámara del escape y se calcula según la siguiente formula:

$$BMEP = \frac{600000.kw}{svcc.n_1} \quad (27)$$

Donde:

Kw = potencia en Kw

SVCC = Volumen de barrido del cilindro (cilindrada en c.c)

$n_1$  = Revoluciones por minuto

BMEP = Presión en bares.

De los datos del motor se tiene:

$K_w = 12.67$  (Kw)

svcc= 175 c.c

$n_1 = 7000$  rpm

Remplazando en la formula (27) se obtiene:

$BMEP = 6.3508$  bar.

Para el cálculo de la temperatura de salida de los gases se utiliza la siguiente formula:

$$T_k = 534.67 e^{0.0485 BMEP} \quad (28)$$

$T_k$  = Temperatura del escape en grados  $^0k$

BMEP= Presión en bares.

Resolviendo la ecuación (28):

$T_k = 727$   $^0k$

Con el valor de la temperatura de los gases se halla la velocidad de los gases formula (26):

$$a_o = 540 \text{ m/s}$$

**8.1.3 Longitud del Tubo de Escape.** Cuando se habla de la longitud del tubo de escape, se hace referencia a la longitud del tubo de escape, viene determinado por la siguiente formula:

$$L_t = \frac{1000 a_o \theta_{ep}}{12 n_1} \quad (29)$$

Donde:

$L_t$  = longitud del tubo en mm

$A_o$  = es la velocidad de los gases en m/s

$\theta_{ep}$  = duración del escape en grados.

• **Calculo la duración de los gases de escape.** La duración de los gases de escape en función del ángulo esta dada por:

$$\theta_{ep} = 180 - 2 \cos\left(\frac{T^2 + R^2 - Lc^2}{2RT}\right) \quad (30)$$

$$T = R + L + C - E$$

$R$  = la mitad de la carrera del pistón en mm

$Lc$  = el doble de la carrera del pistón en mm

$C$  = distancia que le hace falta al pistón para llegar a la culata en mm

$E$  = distancia desde la parte de la lumbrera hasta el borde superior del cilindro se tiene:

$$R = 25 \text{ mm}$$

$$L = 100 \text{ mm}$$

$$C = 2.8 \text{ mm}$$

$$E = 31 \text{ mm}$$

Resolviendo:

$$T = 96.8$$

$$\theta_{ep} = 178^\circ$$

Con estos valores la longitud del tubo se escape da:

$$L_t = 1144 \text{ mm}$$

**8.1.4 Diámetro del Tubo de Escape.** El diámetro del tubo de escape esta relacionado con el área de la lumbrera de escape y se calcula con la siguiente formula:

$$EXD = \sqrt{\frac{4.W.He}{\pi}} \quad (31)$$

EXD = Diámetro del tubo en mm

W = Ancho de la lumbrera de escape del cilindro.

He = Alto de la lumbrera de escape del cilindro

$\pi = 3,1416$

Tomando los datos del cilindro se tiene:

W= 50 mm    He= 20 mm

De la formula 32 se obtiene    EXD = 35 mm

**8.1.5 Coeficientes para calcular la cámara de expansión del escape.**

$$K_0 = 1.0322e^{-0.0498BMEP} \quad (32)$$

$$K_1 = 1.9899e^{-0.0581BMEP} \quad (33)$$

$$K_2 = 1.08439e^{0.1226BMEP} \quad (34)$$

Tomando el valor de  $BMEP=6.35$  se tiene:

$$K_0 = 0,75$$

$$K_1 = 1.37$$

$$K_2 = 2.36$$

La longitud del tubo LP1 incluye la distancia que hay en el escape desde la camisa hasta el borde del cilindro señalado como LP0

Las longitudes están dadas por:

$$LP1 = 0,10 \text{ Lt} \quad (35) \quad LP2 = 0,41. \text{ Lt} \quad (36)$$

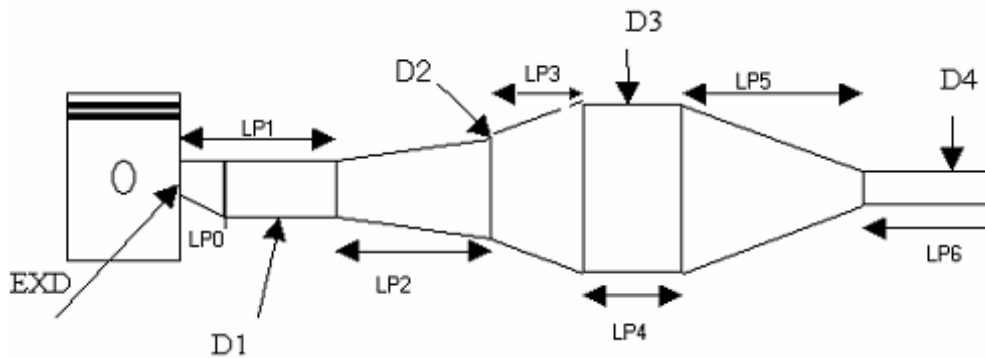
$$LP3 = 0,14. \text{ Lt} \quad (37) \quad LP4 = 0,11. \text{ Lt} \quad (38)$$

$$LP5 = 0,24. Lt \quad (39) \quad LP6 = LP5 \quad (40)$$

Tomando el valor de  $Lt = 1144$  se obtiene:

$$\begin{aligned} LP1 &= 114 & LP2 &= 469 \\ LP3 &= 160 & LP4 &= 126 \\ LP5 &= 275 & LP6 &= 275 \end{aligned}$$

Figura 58. Cámara de Expansión de un escape de dos etapas



Fuente: autores

Los Diámetros están dados por:

$$D1 = K1.EXD \quad D3 = K2.EXD \quad D4 = K0.EXD$$

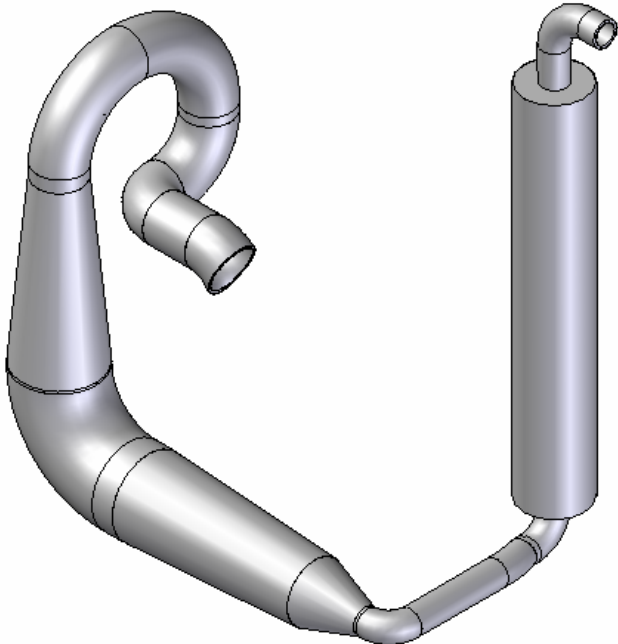
$$D_2 = D_3 \left( \frac{LP2}{LP2 + LP3} \right)^{1.33} \quad (41)$$

Desarrollando se tiene:

$$D1 = 48 \text{ mm} \quad D3 = 82 \text{ mm} \quad D4 = 26 \text{ mm} \quad D2 = 55 \text{ mm.}$$

Los detalles del diseño del exhosto están el plano 01-04-00-00.

Figura 59. Exhosto.



Fuente: autores

## **9. ELEMENTOS SELECCIONADOS**

En la construcción del sistema motriz del paramotor, se hace necesario la selección de algunos dispositivos, que unidos con los elementos fabricados formen todo el conjunto del motor, los principales elementos a escoger son:

- Deposito de combustible.
- Carburador.

Algunos elementos seleccionados como; culata, cilindro, hélice, y el motor de arranque, se trataron con anterioridad, ya que constituían en parte fundamental para el diseño del sistema motriz del paramotor, el deposito de combustible, carburador, volante, platinera, no influyen de manera estricta en el diseño de nuestro sistema motriz.

### **9.1 DEPOSITO DE COMBUSTIBLE**

Este es el recipiente en el cual se almacena la mezcla de combustible y aceite, su ubicación es en la parte inferior para mantener un bajo centro de gravedad de todo el sistema, sus características deben ser:

- Material de plástico para disminuir peso y evitar la corrosión.
- El recipiente debe cerrar en forma hermética, para evitar impurezas.
- Debe tener una adecuada sujeción al chasis.

Figura 60. Tanque de combustible.



Fuente. [www.flycastelluccio.com](http://www.flycastelluccio.com).

El tanque de combustible se escogió tomando en cuenta las características anteriores, se determina escoger un tanque de combustible de aproximadamente 9 litros de capacidad.

## 9. 2 CARBURADOR

El carburador cumple con la tarea de suministrar el combustible al motor, como el tanque de combustible esta situado en la parte baja con referencia al motor, el carburador debe actuar semejante a una bomba de succión y lograr hacer llegar la mezcla al motor.

Para escoger adecuadamente el carburador se debe tener en cuenta el cálculo del diámetro del difusor, ya que los carburadores vienen referenciados con dicho parámetro.

**9.2.1 Diámetro del difusor.** El diámetro del difusor es importante para el funcionamiento del motor, debido a que esta medida esta relacionada con la velocidad del aire necesaria para la combustión, para obtener esta velocidad es necesario que el diámetro del difusor no sea excesivo por que la cantidad de flujo de aire que aspira el pistón cuando desciende, tiene que ser la misma que pasa por el difusor para conseguir una continuidad del flujo.

- **Calculo del diámetro del difusor.** Para el cálculo del diámetro es necesario conocer el flujo del aire, teniendo en cuenta que, la atomización de la gasolina aumenta cuanto mas aire circula, esto se logra en carburadores de poco diámetro.

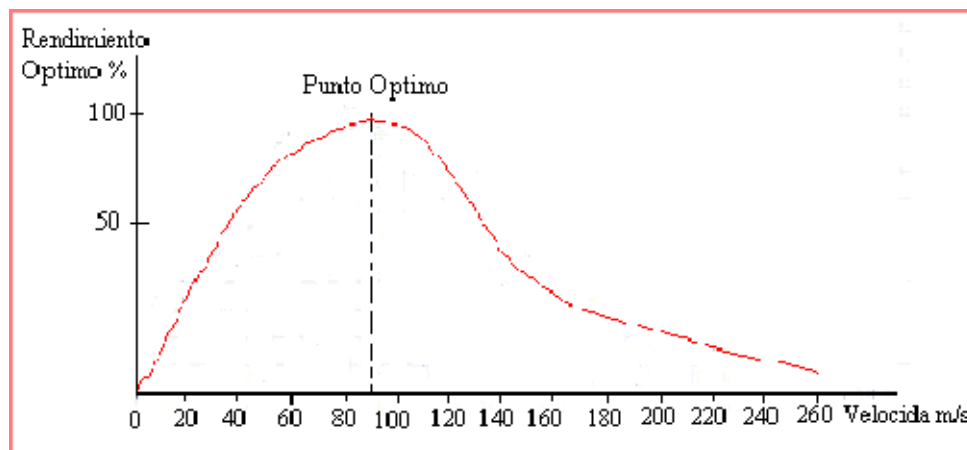
Con los diferentes estudios realizados en temas de carburadores se llegó a la conclusión de que el mejor rendimiento se logra a una velocidad media de 90 m/s, como lo muestra en la grafica.

Para calcular el diámetro del carburador ideal en el cual la velocidad de circulación del aire sea de 90m/s se aplica la siguiente formula:

$$\phi = \left[ cil^{1/3.55} \left( \sqrt{\frac{4xn_1xcil}{9425xv_1}} \right) x \frac{1}{2.65} \right] \quad (42)$$

Donde: diámetro del pistón (cil)=171c.c, velocidad (v<sub>1</sub>)= 90 m/s

Figura 61. Rendimiento vs velocidad.



Fuente: autores

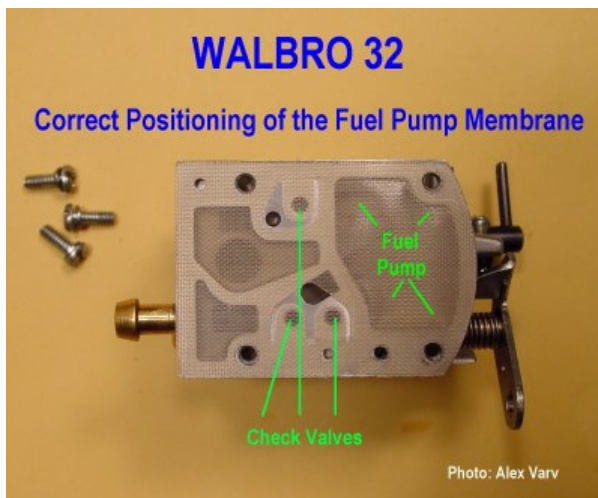
Hay que tener en cuenta, que si un motor alcanza un  $n^\circ$  determinado de revoluciones en vacío, (acelerando en punto muerto a tope) no quiere decir que ese sea el  $n^\circ$  de revoluciones al que esta optimizado el motor, ya que la optimización se hace con el motor en marcha con los respectivos rozamientos, por eso, como calculo sencillo se divide ese  $n^\circ$  de revoluciones del motor en vacío por 1,25.

$$n_1 = \frac{7000}{1.25} = 5600 \text{ rpm}$$

Diámetro del difusor:  $\phi = 32.12 \text{ mm}$ .

De acuerdo con este diámetro del difusor, se selecciono el carburador marca Walbro de tipo membrana con diámetro del difusor de 32mm.

Figura 62. Carburador Walbro 32.



Fuente: [www.aerocorsair.com](http://www.aerocorsair.com)

## 10. FABRICACIÓN

Con la forma definida de las piezas y sus correspondientes análisis estructurales se procede a su fabricación de estos elementos.

El primer paso es la fundición de los moldes y posteriormente el mecanizado de dichos moldes.

### 10.1 FUNDICIÓN DE LOS MOLDES

Este paso consiste en elaborar moldes semejantes a las piezas originales pero con una geometría sencilla, esto se hizo con el fin de que la fundición no presente problemas cuando se elaboren los moldes en la arena.

La fabricación de piezas por colada en moldes consiste en vaciar el metal líquido en una cavidad, cualquiera que sea su forma y tamaño, para que allí solidifique. El método de fusión y colada es el más sencillo para dar forma a los metales. La cavidad del molde se obtiene presionando un material apropiado contra una superficie indeformable que tiene forma de la pieza que se quiere producir, llamada moldeo. En este caso de madera por su economía y fácil elaboración.

Figura 63. Moldes de madera



Fuente: autores

Para la fundición se procede encender un horno el cual funde el material y lo deja listo para la colada, el segundo paso es mezclar la arena con los diferentes aditivos, para ello se utiliza una mezcladora de artesa fija, en cima de de esta artesa se monta un par de rodillos pesados que son estrechos y de gran diámetro los cuales giran mezclando la arena con los diferentes aditivos.

Figura 64. Elementos para fundición de moldes.



1) Horno



2) Molino

Fuente: autores

Ya elaborados los moldes en la arena, y el metal esta en su fase liquida se inicia la etapa de colada, sacando el metal liquido del crisol e introduciéndolo en los moldes de arena.

Figura 65. Llenado de moldes



Fuente: autores

Finalmente se deja el tiempo necesario para que el material solidifique y se enfríe totalmente.


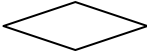
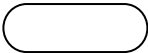
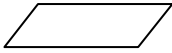
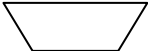
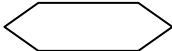

## 10.2 MECANIZADO

Ya terminado los moldes de las piezas en el material de fabricación, continua la mecanización para darles las formas finales, para esto se utiliza la máquina herramienta de control numérico (MHCH) presente en el laboratorio FMS de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

En la primera fase se elaboró un plan de trabajo para cada una de las diferentes piezas a mecanizar con el fin de disminuir el tiempo que dura detenida la máquina, para este plan de trabajo se tuvo en cuenta:

- El tipo de sujeción, esto es anclar la pieza al centro de mecanizado dependiendo de la herramienta utilizada.
- Diagrama final, este diagrama muestra las operaciones a seguir junto con el adecuado anclaje de la pieza a la máquina.

**10.2.1 Labores a realizar.** En esta etapa se procede a elaborar un diagrama de actividades, como desbastes, taladrados, acabados, para la realización de este se presenta los siguientes símbolos:

	Pieza a mecanizar		Taladrado
	Desbaste		Planeados
	Pines de sujeción		Desbaste forma final
	Girar la pieza 90° sentido horario		



Girar la pieza 90° sentido antihorario



Rotar la pieza 180°

Fuente: autores

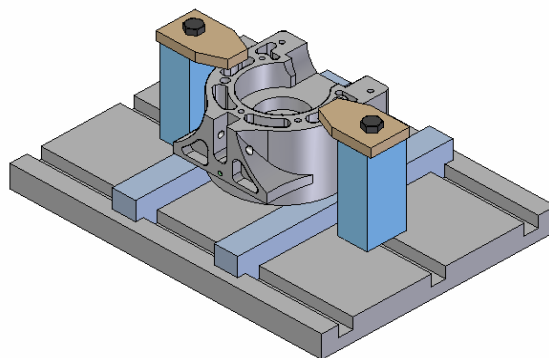
El tipo de herramienta se escoge de acuerdo a la operación a efectuar, la preparación al mecanizado ofrece ganancia de tiempo.

**10.2.2 Tipo de sujeción.** Antes de implementar cualquier tipo de anclaje hay que referenciar el centro de la pieza, para este objetivo se realizaron pines en la misma, los cuales la ubican en el centro de mecanizado, con este sistema se garantiza la manipulación de la pieza sin perder su posición.

El tipo de sujeción hace referencia a la forma como amarra la pieza al centro mecanizado.

- **Anclaje con uñas.** Este es el anclaje mas simple, consiste en sostener la pieza a mecanizar con un par de uñas, con este sistema podemos elaborar taladrados y desbastes.

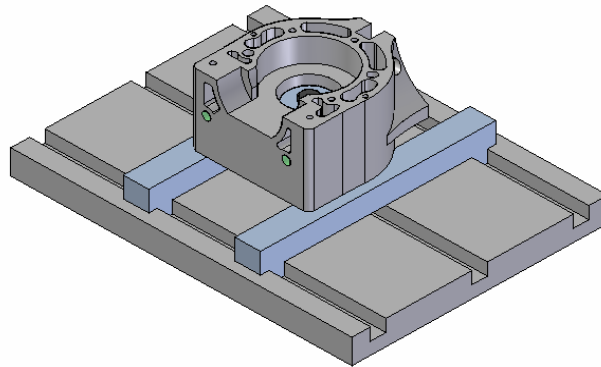
Figura 66. Anclaje con uñas.



Fuente: autores

- **Agarre con arandela y tornillo en el centro de pieza.** Para este método de sujeción es necesario que la pieza a mecanizar tenga en su geometría un agujero central, a través de este se pasa un tornillo con una arandela lo suficientemente grande para sujetar la pieza, este sistema permite elaborar desbastes laterales, planeados, y taladrados.

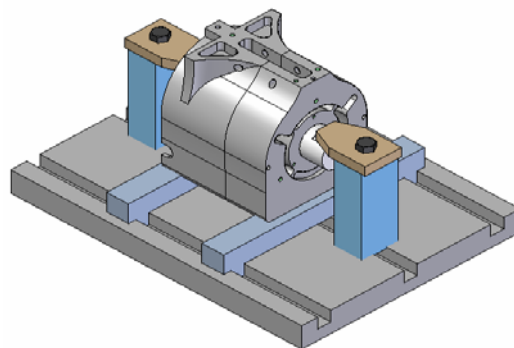
Figura 67. Agarre con arandela y tornillo en el centro de pieza.



Fuente: autores

- **Agarre con uñas a los extremos de la barra circular en el centro de las carcasas.** Este tipo de sujeción, permite elaborar procesos de mecanizado en la parte superior de las carcasas estando estas unidas.

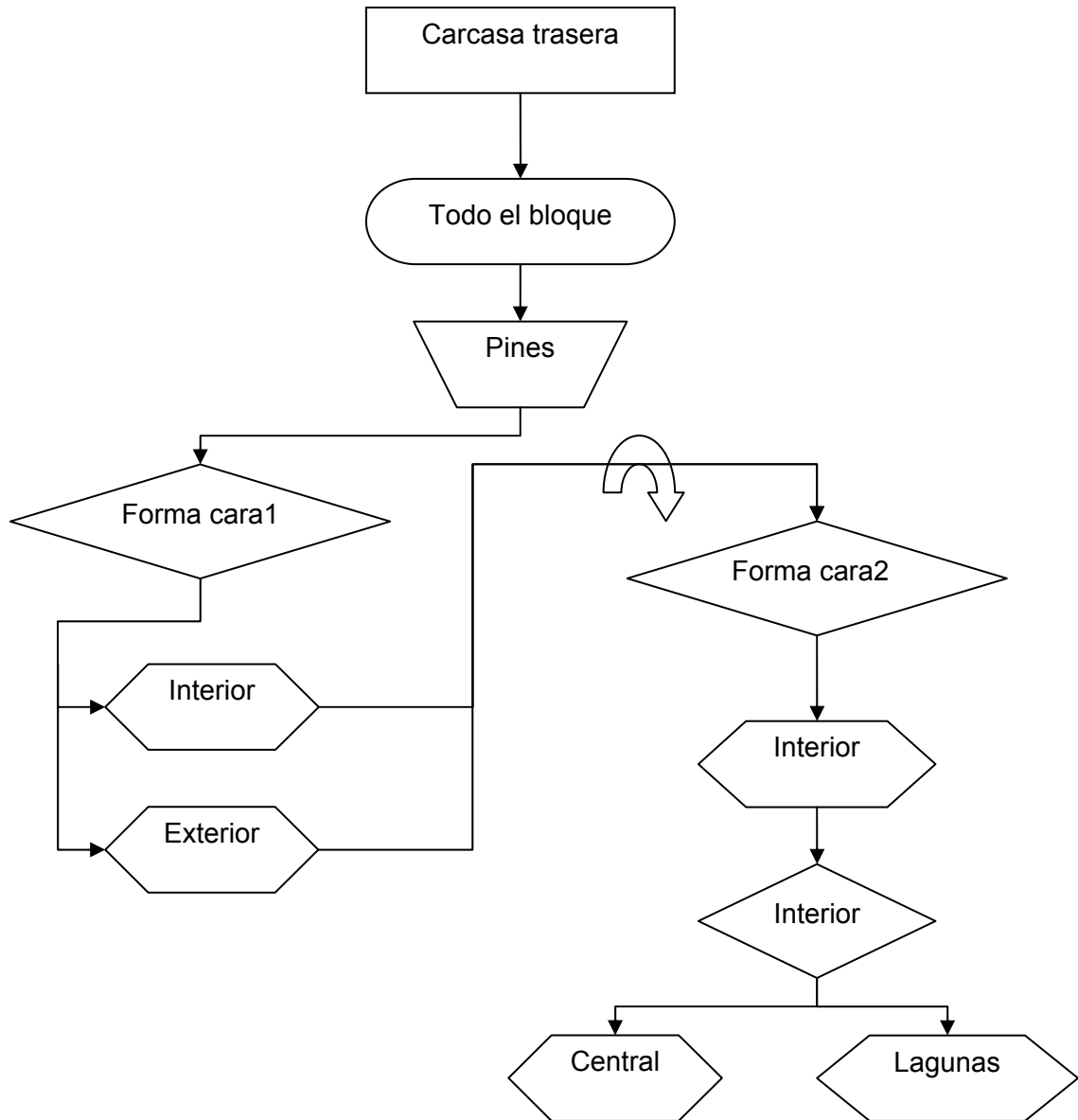
Figura 68. Agarre con uñas a los extremos de la barra circular en el centro de las carcasas



Fuente: autores

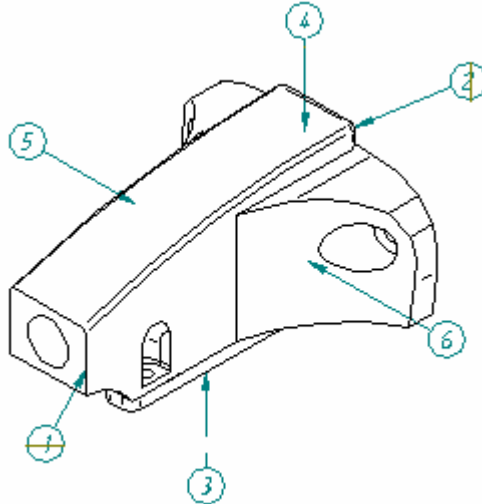
**10.2.3 Diagrama final.** Este diagrama representa un resumen de los diferentes procesos de mecanizado de una de las piezas.

Figura 69. Diagrama final (mecanizado de la carcasa trasera)

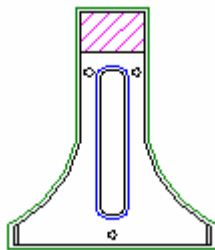


Fuente: autores

Figura 70. Fabricación de la base superior.

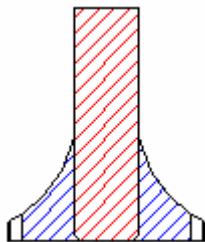


Paso 1. Planeado y ajuste de medidas de cara 3



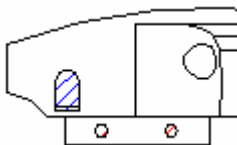
Metodo de sujecion				
Operacion	Herramienta	Diam	Prof	
Taladrado	Broca	6 mm	10 mm	
Off set	Escariador	5 mm	10 mm	
Off set	Escariador		Pasante	
Off set	Escariador		28 mm	

Paso 2. Ajuste de medidas cara 4



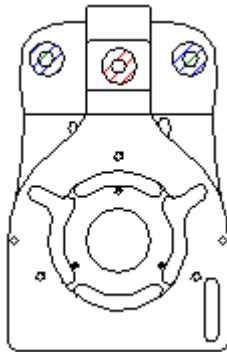
Metodo de sujecion				
Operacion	Herramienta	Diam	Prof	
	Broca	6 mm	10 mm	
Off set	Escariador	mm		
Taladrado		mm		

Paso 3. Taladrados y cajas caras 5 y 6.



Metodo de sujecion				
Operacion	Herramienta	Diam	Prof	
Taladrado	Broca	10 mm	9 mm	
Taladrado	Broca	6 mm	15 mm	

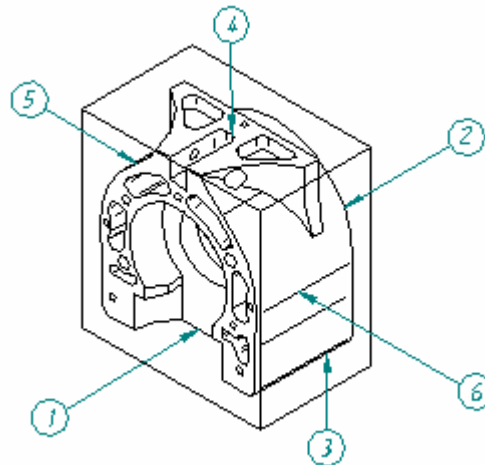
Paso 4. Taladrados cara 1



Método de sujeción 1			
Operación	Herramienta	Diam	Prof
Taladrado	Broca	10 mm	55 mm
Taladrado	Broca	10 mm	Pasante

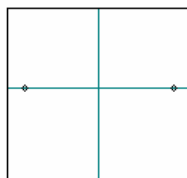
Fuente: autores

Figura 71. Fabricación de las carcasas.



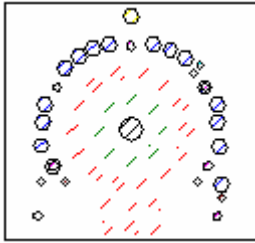
Fuente: autores

Paso 1. Desbaste y pines de sujeción caras 1-2-3-4



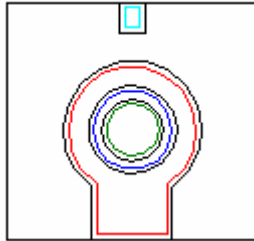
Método de sujeción 1			
Operación	Herramienta	Diam	Prof
Planeado	Escariador	25 mm	
Taladrado	Broca	5 mm	8 mm

## Paso 2. Taladrados y desbastado cara 1



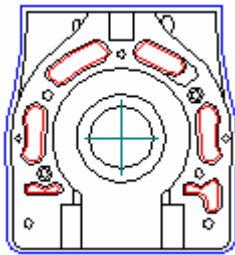
<i>Método de sujeción 1</i>				
<i>Operación</i>	<i>Herramienta</i>	<i>Diam</i>	<i>Prof</i>	
<i>Taladrado</i>	<i>Broca</i>	<i>10 mm</i>	<i>27 mm</i>	
<i>Taladrado</i>	<i>Broca</i>	<i>10 mm</i>	<i>48 mm</i>	
<i>Taladrado</i>	<i>Broca</i>	<i>10 mm</i>	<i>42 mm</i>	
<i>Taladrado</i>	<i>Broca</i>	<i>6 mm</i>	<i>Pasante</i>	
<i>Taladrado</i>	<i>Broca</i>	<i>5 mm</i>	<i>48 mm</i>	
<i>Taladrado</i>	<i>Broca</i>	<i>10 mm</i>	<i>40 mm</i>	
<i>Taladrado</i>	<i>Broca</i>	<i>10 mm</i>	<i>10 mm</i>	
<i>Taladrado</i>	<i>Broca</i>	<i>5 mm</i>	<i>30 mm</i>	
<i>Taladrado</i>	<i>Broca</i>	<i>5 mm</i>	<i>Pasante</i>	

## Paso 3. Ajuste de medidas cara 1



<i>Método de sujeción 1</i>				
<i>Operación</i>	<i>Herramienta</i>	<i>Diam</i>	<i>Prof</i>	
<i>Off set</i>	<i>Escariador</i>	<i>25 mm</i>		
<i>Off set</i>	<i>Escariador</i>	<i>5 mm</i>	<i>8</i>	
<i>Off set</i>	<i>Escariador</i>			
<i>Off set</i>	<i>Escariador</i>			

## Paso 4. Finalización cara 1



<i>Método de sujeción 2</i>				
<i>Operación</i>	<i>Herramienta</i>	<i>Diam</i>	<i>Prof</i>	
<i>Off set</i>	<i>Escariador</i>	<i>25 mm</i>		
<i>Off set</i>	<i>Buril</i>	<i>5 mm</i>	<i>50 mm</i>	

Fuente: autores

## CONCLUSIONES

Se puede concluir que este proyecto sirve para sentar futuras bases de investigación en aviación ultraligera con motorización auxiliar, ya que abarca un extenso campo para explorar y utilizar los conocimientos en ingeniería para el desarrollo de prototipos.

Aunque los elementos y materiales utilizados en la construcción del prototipo cumplen satisfactoriamente los requerimientos establecidos, es posible mejorar la eficiencia del prototipo, utilizando materiales mas livianos y componentes de mejor calidad, ya que la utilización de materiales como el acero, la falta de experiencia en la construcción de paramotores, lo difícil en la consecución de materiales y componentes, además de los restringidos recursos económicos hacen que la eficiencia del prototipo no sea optima.

El prototipo puede funcionar bajo condiciones climáticas normales, tales como vientos moderados, buena visibilidad y ausencia de lluvias, así como alturas que no sobrepasen los 4000 metros sobre el nivel del mar, debido a una posible disminución en el rendimiento del motor.

La construcción del prototipo presenta ventajas de versatilidad, tales como la posibilidad de desarmar su estructura en tres partes, haciendo practico su transporte y almacenamiento, la sencillez de su motor lo hace de fácil mantenimiento y reparación, además de no necesitar una pista de aterrizaje, ya que puede aterrizar y despegar desde cualquier terreno.

La utilización de herramientas computacionales y maquinaria de manufactura de alta tecnología, garantiza resultados óptimos en el proceso de diseño, construcción y montaje de prototipos experimentales.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda llevar a cabo una inspección visual de los elementos que constituyen el prototipo, antes de ser utilizado, así como un mantenimiento periódico de los componentes del motor, según sea su frecuencia de utilización.

Desarrollar la investigación y diseño de sistemas de escape más eficientes, para ser utilizados en el mejoramiento del prototipo,

Abrir la investigación en las diferentes partes que constituyen el sistema motriz (cigüeñal, pistón, biela, cilindro, bloque, culata)

Aprovechar las herramientas presentes en el laboratorio FMS de la escuela ingeniería mecánica (Software, centro de mecanizado) para la fabricación de las hélices, las cuales representan un elevado costo y son de difícil adquisición.

Se recomienda la utilización de materiales más livianos y resistentes en la fabricación así como componentes de mejor calidad para mejorar las prestaciones y aumentar la confiabilidad en el funcionamiento del prototipo.

Mejorar la parte estructural del prototipo, para hacerlo de menor peso, mayor resistencia, mejorar su ergonomía, y así proporcionar comodidad y libertad de movimiento al piloto.

## BIBLIOGRAFIA

- FANUC Series O-MC. MANUAL DEL OPERADOR. FANUC LTD 1989.
- GORDON P. BLAIR. Design and Simulation of Two-Stroke Engines. Society of Automotive Engineers. U.S.A 1996. p. 145-262
- HIGH-SPEED, COMBUSTION ENGINES, P.M HELDT, USA, 1965.
- MASTERCAM. Version 9 Mill/Design Tutorial. 2002 CNC Software.
- MEZZAPESA Pierangelo. Motor SOLO. Manual de uso, mantenimiento y reparación. Perfils, 2000.
- ORTEGA José. Manual de PARAMOTOR, Perfils, 2000.
- S.M. Habalia, I A Saleh. ENERGY CONVERSION & MANAGEMEN, 2000.
- SHIGLEY Joseph E. Manual de Diseño Mecánico, McGRAW-HILL, 1989.
- V.L Maleev, M.E. INTERNAL COMBUSTIÓN ENGINES, USA 1945.
- <http://www.kjsteel.com.mx>
- [www.aerocorsair.com](http://www.aerocorsair.com)
- [www.flycastelluccio.com](http://www.flycastelluccio.com).

- [www.incolmotos.com.co/motos/html/productos/mc\\_nacionales/mc\\_dt175d.html](http://www.incolmotos.com.co/motos/html/productos/mc_nacionales/mc_dt175d.html).
- [www.ojovolador.com](http://www.ojovolador.com).
- [www.simonini-iberica.com/helices.htm](http://www.simonini-iberica.com/helices.htm)
- [www.skf.com](http://www.skf.com)

## **Anexo A. PARAMOTOR**

El hombre siempre ha tenido la ilusión de volar. Esta se pone de manifiesto cuando su creatividad diseña artefactos para tal propósito; entre los muchos ingenios voladores resultantes de ese espíritu tenemos el avión, el helicóptero y el paramotor de parapente, que no solo cumplen a satisfacción el deseo de volar sino que además estas maquinas brindan la oportunidad de transporte, publicidad, y trabajo entre sus opciones.

Las primeras maquinas voladoras tenían un gran peso y necesitaban de potentes motores para alcanzar la velocidad necesaria para su despegue y para mantenerse en vuelo. Al transcurrir los años, con el desarrollo de nuevos y mejores materiales, los sistemas necesarios para el vuelo adquieren mayor fiabilidad proporcionando una mayor eficiencia y un menor peso.

Inicialmente la aviación se desarrolló gracias a la primera y a la segunda guerra mundial, luego adquirió su importancia como medio de transporte, desarrollando maquinas de gran tamaño y capaces de transportar un elevado numero de personas.

Es en la década del 60 cuando comienza a constituirse la aviación como un medio de deporte con el desarrollo del ala delta. Más tarde nace el parapente comenzando así una alternativa de vuelo libre con métodos muy simples; sin embargo presenta un problema: la corta permanencia en el aire.

A raíz de los esfuerzos por darle solución a este inconveniente se intenta adaptar de alguna manera un motor al parapente. Es entonces cuando se crea el paramotor, que no es más que un parapente con un motor anclado a la silla del piloto para añadirle propulsión.

Actualmente la aviación ultraligera se fijó en los aviones deportivos como el siguiente paso en su evolución y fueron incrementando rápidamente su velocidad, su confort y disminuyendo su peso. El paramotor alcanza una reducción importante de peso, mayor facilidad de uso y gran simplicidad haciéndolo el “avión” más sencillo del mundo.

• **Partes principales de un paramotor.** En la actualidad existen diversos modelos de paramotores:

- Paramotor con motor invertido.
- Paramotor con motor en posición normal.
- Paramotores con hélices bipala, tripalas, cuatripalas.
- Paramotores con motores dos tiempos.
- Paramotores con motores de cuatro tiempos.
- Paramotores monocilindricos, multicilindricos

Esta clasificación no es excluyente, pueden existir diversos modelos que presenten características que sean el resultado de una combinación de los requerimientos que implica cada uno de los anteriores, un paramotor de uso común consta de los siguientes elementos principales:

Figura 72. Partes de un paramotor



Fuente: [www.ojovolador.com](http://www.ojovolador.com)

En las figuras anteriores podemos observar las diferentes zonas constitutivas de un paramotor las cuales son las más relevantes, y varían en poca medida en relación a los diferentes modelos.

- **Hélice.** La hélice constituye uno de los elementos de importancia en el grupo motopropulsor. El resultado de su funcionamiento es dar el empuje necesario para despegar, y para que el vuelo no se desarrolle como un simple planeo.

Cada pala de la hélice se comporta como un ala, por que esta caracterizada como un perfil. Pueden proporcionarse diversas formas de perfil para cada tipo específico de trabajo.

Para el óptimo funcionamiento de las hélices, estas se deben trabajar dentro de un rango de velocidades, este rango depende del diámetro de la hélice, del tipo de motor, y de la reducción adecuada.

En el mercado encontramos diferentes tipos de hélices, su caracterización se basa en el diámetro de esta, en el ángulo de paso, y de su material.

El ángulo de paso es el formado entre la cuerda de referencia y el plano de rotación; con un paso pequeño la velocidad es baja y se facilita el despegue, con un gran paso la hélice adquiere mayor eficiencia a velocidades elevadas.

- **Motor.** Los motores de combustión interna convierten una parte del calor de la combustión de la gasolina en trabajo. En el caso de los paramotores se pueden utilizar motores de cuatro tiempos o de dos tiempos, la determinación del motor a escoger depende de aquellos aspectos que sean de interés para el diseñador. Para el caso del prototipo se partió de un motor dos tiempos.

Paralelo del motor 2T frente a uno 4T:

- Ventajas: las ventajas de un motor 2T frente a un 4T son principalmente su sencillez de funcionamiento y el número reducido de piezas que se limitan al árbol motor (cigüeñal), biela y pistón. No existen árbol de levas, correa o piñones de distribución, ni válvulas, esto da como consecuencia el más bajo peso con relación al motor 4T
- Inconvenientes: en el motor 2T ocurre que en una fase se mezclan gases quemados y mezcla fresca, por lo que no toda la mezcla se quema para dar potencia, ya que una pequeña parte de la mezcla fresca sale al exterior con los gases quemados sin producir trabajo, otro punto negativo es la menor eficiencia en el enfriamiento o refrigeración, debido en parte al gran número de explosiones y al menor efecto refrigerante de la mezcla aire-gasolina-aceite en un motor dos tiempos.

Debido a sus características positivas la mayoría de los paramotores utilizan motores 2 tiempos:

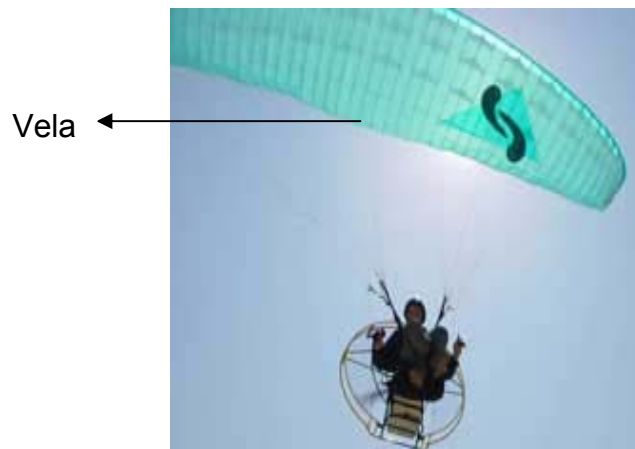
- Su bajo peso.
  - Simplicidad del motor, manejo de pocas piezas.
  - Menor tamaño.
  - Cumple con los requerimientos necesarios para el vuelo.
  - Facilidad de mantenimiento.
- **Chasis** Es la estructura en la cual va anclado el motor; generalmente esta hecha de tubos de acero.

Su función es dar soporte al motor y a la silla y proteger del peligro que representa la hélice en funcionamiento.

El diseño del chasis depende del tamaño del motor y del diámetro de la hélice. Debe ser diseñado de tal manera que contrarreste el efecto de par del motor. Esta influencia se logra disminuir adecuando los puntos de anclaje del motor al chasis y de este a la silla

- **Vela.** Este elemento, que proporciona la sustentación del paramotor, consiste en una tela con un perfil determinado el cual planea y utiliza las corrientes de aire caliente para ascender.

Figura 73. Vela de un paramotor.



Fuente: [www.ojovolador.com](http://www.ojovolador.com)

La vela hace referencia al ala del parapente. Vuela gracias al mismo principio que las alas de las aves, murciélagos y aviones: Un perfil, de forma aerodinámica, con una superficie superior curva e inclinada, expuesta al viento relativo generado por el desplazamiento en el aire, se encarga de crear la fuerza de sustentación. El perfil de un parapente esta sujeto a un viento relativo, opuesto a su trayectoria; cuando este viento llega a la altura del borde de ataque, el fluido se ve obligado a dividirse en dos partes para rodear el perfil. La parte que fluye por el extrados (parte superior) lo hace con

mayor velocidad que la que lo hace por el intrados (parte inferior). La diferencia de presión resultante crea la mencionada sustentación.

- **Breve historia del paramotor**

1988 vuela el primer paramotor

1989 los motores eran pesados y las velas volaban muy poco

1990 Empezaron a fabricarse motores ligeros

1993 Se empieza a incorporar el arranque eléctrico como opción por muchos fabricantes

1995 Se diseñan anclajes de punto bajo, se mejoran las estructuras, se empieza a fabricar chasis con fibra de carbono.

1996 Aparece el primer motor refrigerado por agua, mayor velocidades de giro de la hélice

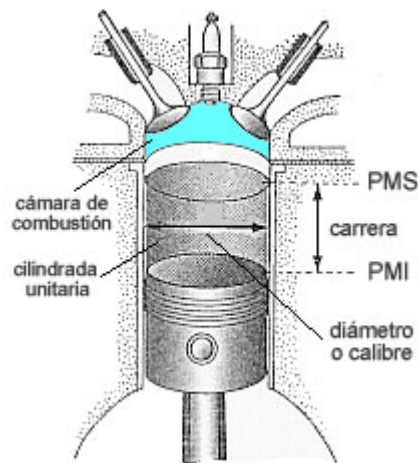
1998 los modelos más potentes, incorporan un alternador para cargar la batería del arranque eléctrico en vuelo.

1999 aparecen hélices plegables

## Anexo B. FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR 2 TIEMPOS

El motor de 2 tiempos, con un solo cilindro, aunque basado en el mismo principio del resto de los motores automotrices, se diferencia básicamente en que el propulsor realiza su ciclo completo en dos carreras del pistón. De igual forma que el de 4 tiempos, diferencia la fase de admisión, compresión, combustión y escape, pero, en dos tiempos o ciclos. El pistón comprime la mezcla de aire y gasolina, la cuál recibe la chispa de la bujía que genera su combustión, impulsando al pistón y la biela hacia el cigüeñal que convierte en giro el recorrido vertical del pistón.

Figura 74. Esquema de un motor dos tiempos.



Fuente: autores

El motor de 2 tiempos no tiene válvulas. La culata soporta a la bujía y en la parte superior del pistón se realiza la combustión con todas sus fases. Explosión: el pistón está arriba, la mezcla comprimida en el espacio entre la culata y la parte superior de pistón es explotada por la chispa de la bujía. Expulsión: El pistón es lanzado con fuerza hacia abajo. A mitad de su recorrido se descubre el orificio de escape por el que expulsa el gas quemado.

Admisión: Un poco mas abajo del recorrido del pistón se descubre otro orificio por el que entra mezcla fresca, que previamente había sido comprimida al bajar el pistón. Al abrirse el orificio sale a presión empujando los últimos residuos del gas.

Compresión: Por inercia el pistón sube comprimiendo esta mezcla fresca y repitiendo el proceso.

## Anexo C. HELICE

La función de la hélice es tomar la potencia suministrada por el motor y convertirla en fuerza de empuje. Debido a que en la realidad siempre hay pérdidas, la eficiencia de la hélice será menor que 1. La eficiencia de la hélice va de acuerdo al tamaño, a mayor tamaño la eficiencia aumenta; esto debido a que la hélice procesa más aire con menos incremento de velocidad, proporcionando la misma fuerza de empuje.

Hay dos restricciones prácticas para el diámetro de la hélice:

La primera es que la punta de la hélice debe tener libertad de recorrido cuando el paramotor se encuentra en tierra, la segunda es que la velocidad en la punta de la hélice debe ser menor a la velocidad del sonido (la velocidad del sonido a nivel del mar es de 1117 ft/s), para evitar los diferentes efectos de compresibilidad que ocurren cuando se llega a esta velocidad. Al mismo tiempo la hélice debe estar en capacidad de absorber la potencia suministrada por el motor. La capacidad de absorción de la hélice esta en función del incremento del diámetro y el numero de aspas.

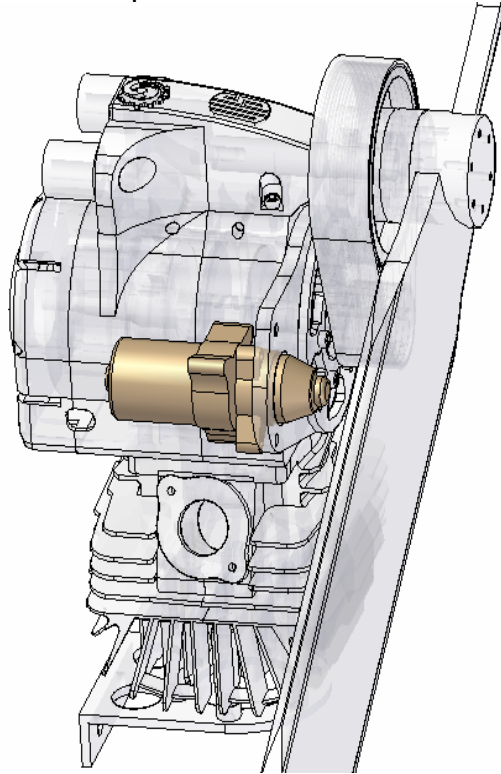
Tabla 13. Características de las hélices según su tamaño.

PRESTACIONES	DIAMETRO		REDUCCION		Cant. de PALAS		PASO	
	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor
Menor ruido	-	X	X	-	X	-	-	X
Mayor ascenso	X	-	X	-	-	X	-	X
Menor distancia de despegue	X	-	X	-	-	X	-	X
Mayor empuje de salida	X	-	X	-	X	-	-	X
Mayor Velocidad	-	X	-	X	-	X	X	-
Menor vibración	-	X	X	-	X	-	X	X

Fuente: [www.simonini-iberica.com/helices.htm](http://www.simonini-iberica.com/helices.htm)

## Anexo D. MOTOR DE ARRANQUE

Figura 75. Motor de arranque.



Fuente: autores

La facilidad de encendido de un motor depende de diversos factores, como cilindrada del motor, compresión del motor, y el tipo de utilidad que tenga el motor, para el caso del paramotor se necesita un encendido fácil y de poco peso, que me permita encenderlo tanto en tierra como en vuelo.

Hay dos opciones de encendido, el primero es rotar la hélice con suficiente fuerza, teniendo en cuenta el sentido de rotación del motor (este solo sirve para encenderlo cuando el paramotor no esta volando), la segunda hace referencia a la utilización de un motor de arranque el cual energizándolo, mueve una cinta (engranaje) de arranque y esto hace girar el cigüeñal dando inicio a la combustión del motor.

Para seleccionar el motor se tiene en cuenta el bajo peso y la sencillez, por estas características se escoge un motor MITSUBA SM-5219 proveniente de una moto HONDA LEAD, el cual es común en el mercado y su precio es económico, además por su poco tamaño permite un sistema mas compacto.

El motor de arranque tiene como características; un modulo de 1.75, contiene 14 dientes, diámetro exterior de 46 mm, y provee un troqué de 120 lb.-in, este torque es suficiente para vencer la compresión que posee el motor

El funcionamiento del sistema es energizar el motor de arranque, y este transmite el torque a la cinta de arranque dando inicio a la rotación del cigüeñal , para instalar el motor de arranque al paramotor se hace necesario crear una placa que lo sostenga, y esta placa acoplarla a la carcasa delantera, teniendo en cuenta que al motor de arranque cuando se energiza sale un pequeño engranaje que acopla a la cinta de arranque, por tal motivo la distancia de salida debe ser precisa para que engranen perfectamente el motor de arranque y la cinta de arranque.

## Anexo E. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

**Tabla 14.** Propiedades mecánicas para acero 1045 (SAE J1397).

TIPO DE PROCESO Y ACABADO	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN			LÍMITE DE FLUENCIA			ALARGAMIENTO EN 2" %	REDUCCIÓN DE AREA %	DUREZA BRINELL	RELACIÓN DE MAQUINABILIDAD 1212 EF = 100%
	MPa(kgf/mm2)	Ksi		MPa(kgf/mm2)	Ksi					
CALIENTE Y MAQUINADO	570	58	82	310	32	42	16	40	163	55
ESTIRADO EN FRIO	630	64	91	530	54	77	12	35	179	

Fuente. <http://www.kjsteel.com.mx>

**Tabla 15.** Propiedades mecánicas para acero 8620 (SAE J1397).

TIPO DE PROCESO Y ACABADO	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN			LÍMITE DE FLUENCIA			ALARGAMIENTO EN 2" %	REDUCCIÓN DE AREA %	DUREZA BRINELL	RELACIÓN DE MAQUINABILIDAD 1212 EF = 100%
	MPa(kgf/mm2)	Ksi		MPa(kgf/mm2)	Ksi					
CALIENTE Y MAQUINADO	669	68	97	393	40	50	25	63	192	65
ESTIRADO EN FRIO	703	72	102	586	60	85	22	58	212	
TEMPLADO Y REVENIDO*	903	92	131	683	70	99	21	52	255	

Fuente. <http://www.kjsteel.com.mx>

Tabla 16. Propiedades mecánicas para acero 1020 según SAE J1397

TIPO DE PROCESO Y ACABADO	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN			LÍMITE DE FLUENCIA			ALARGAMIENTO EN 2" %	REDUCCIÓN DE ÁREA %	DUREZA BRINELL	RELACIÓN DE MAQUINABILIDAD 1212 EF = 100%
	MPa	(kgf/mm <sup>2</sup> )	Ksi	MPa	(kgf/mm <sup>2</sup> )	Ksi				
CALIENTE Y MAQUINADO	400	41	58	220	22	32	25	50	116	70
ESTIRADO EN FRIÓ	440	45	64	370	38	54	15	40	126	

Fuente. <http://www.kjsteel.com.mx>

## Anexo F. FACTORES DE SERVICIO PARA BANDAS

Tabla 17. Factores de servicios  $K_s$  para transmisiones de banda.

<b>Maquinaria impulsada</b>	<b>Fuente de potencia</b>	
	<b>Características de par normal</b>	<b>Par alto o no uniforme</b>
Uniforme	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Con choque ligero	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4
Con choque medio	1.2 a 1.4	1.4 a 1.6
Con choque pesado	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8

Fuente: Manual de Diseño Mecánico

## Anexo G. TABLAS PARA LA SELECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS

Tabla 18. Características de los diferentes tipos de rodamiento.

Rodamiento adecuado para		Rodamiento adecuado para													
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<b>Símbolos</b> +++ excelente - pobre ++ bueno -- inadecuado + aceptable ← simple efecto ↔ doble efecto		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Rodamientos rígidos de bolas		+	↔	↔	-	+++	+++	+	+++	+++	-	-	++	+	--
Rodamientos de bolas con contacto angular		+	↔	++	-	++	+++	+	++	++	-	-	++	--	--
		++	↔	++	+	+	++	++	+	+	--	--	++	+	--
		-	++	↔	+	++	+	+	+	+	--	--	++	-	--
Rodamientos de bolas a rótula		+	-	-	--	+++	++	-	++	+++	+++	+++	+	+	--
Rodamientos de rodillos cilíndricos		++	--	--	--	++	++	++	++	++	-	-	--	+++	+++
		++	a+	a+	--	++	++	++	+	++	-	-	a+	a+	a+
Llenos de rodillos		+++	-	↔	--	-	+	+++	-	-	-	-	+	+	+
		+++	-	a+	+	-	+	+++	-	-	--	--	a+	+	b+
		+++	-	a+	+	-	+	+++	-	-	--	--	a+	+	b+
Rodamientos de agujas		++	--	--	--	+	a++	a++	+	-	--	c++	--	+++	+++
		++	--	--	--	+	+	++	+	-	--	--	--	+++	+++
		+	c++	+	-	+	+	++	+	-	--	--	+	--	--
Rodamientos de rodillos cónicos		++	↔	+++	-	+	+	++	+	+	-	-	+++	--	--
		+++	↔	+++	+	+	+	+++	+	+	-	--	+++	-	--
Rodamientos de rodillos a rótula		+++	↔	+++	--	+	+	++	+	+	+++	+++	++	+	--
Rodamientos CARB llenos de rodillos		+++	--	--	--	+	+	++	+	+	+++	+++	--	+++	+++
		+++	--	--	--	-	+	+++	+	+	+++	+++	--	+++	+++
Rodamientos axiales de bolas		--	a+	--	--	-	++	+	-	+	-	--	a+	--	--
		--	a+	--	--	-	+	+	-	+	-	++	a+	--	--
Rodamientos axiales de rodillos		--	++	--	--	-	a+	++	-	-	--	--	++	--	--
Rodamientos axiales de rodillos a rótula		--	+++	+	--	-	+	++	-	+	+++	+++	+++	--	--

Fuente: [www.skf.com](http://www.skf.com)

Tabla 19. Características de rodamientos rígidos de bolas.

**Rodamientos rígidos de bolas, de una hilera**

Dimensiones principales			Capacidades de carga		Carga límite de fatiga $P_u$	Velocidades		Masa	Designación  * - Rodamiento SKF Explorer
d	D	B	C	$C_0$		Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	rpm		kg	-
20	32	7	4,03	2,32	0,104	45000	28000	0,018	61804
20	32	7	4,03	2,32	0,104	-	13000	0,018	61804-2RS1
20	32	7	4,03	2,32	0,104	45000	22000	0,018	61804-2RZ
20	37	9	6,37	3,65	0,156	43000	26000	0,038	61904
20	37	9	6,37	3,65	0,156	-	12000	0,038	61904-2RS1
20	37	9	6,37	3,65	0,156	43000	20000	0,038	61904-2RZ
20	42	8	7,28	4,05	0,173	38000	24000	0,05	16004 <sup>^</sup>
20	42	9	7,93	4,5	0,19	38000	24000	0,051	98204 Y
20	42	12	9,95	5	0,212	38000	24000	0,069	6004 <sup>^</sup>
20	42	12	9,95	5	0,212	-	11000	0,069	6004-2RSH <sup>^</sup>
20	42	12	9,95	5	0,212	38000	19000	0,069	6004-2RSL <sup>^</sup>
20	42	12	9,95	5	0,212	38000	19000	0,069	6004-2Z <sup>^</sup>
20	42	12	9,95	5	0,212	-	11000	0,069	6004-RSH <sup>^</sup>
20	42	12	9,95	5	0,212	38000	24000	0,069	6004-RSL <sup>^</sup>
20	42	12	9,95	5	0,212	38000	24000	0,069	6004-Z <sup>^</sup>
20	42	16	9,36	5	0,212	-	11000	0,086	63004-2RS1
20	47	14	13,5	6,55	0,28	32000	20000	0,11	6204 <sup>^</sup>
20	47	14	15,6	7,65	0,325	32000	20000	0,096	6204 ETH9
20	47	14	13,5	6,55	0,28	-	10000	0,11	6204-2RSH <sup>^</sup>
20	47	14	13,5	6,55	0,28	32000	17000	0,11	6204-2RSL <sup>^</sup>
20	47	14	13,5	6,55	0,28	32000	17000	0,11	6204-2Z <sup>^</sup>
20	47	14	13,5	6,55	0,28	-	10000	0,11	6204-RSH <sup>^</sup>
20	47	14	13,5	6,55	0,28	32000	20000	0,11	6204-RSL <sup>^</sup>
20	47	14	13,5	6,55	0,28	32000	20000	0,11	6204-Z <sup>^</sup>
20	47	18	12,7	6,55	0,28	-	10000	0,13	62204-2RS1

Fuente: [www.skf.com](http://www.skf.com)

## Anexo H. CARACTERÍSTICAS Y CANTIDAD DE ACEITE

El motor dos tiempos requiere una mezcla de aceite y gasolina para su funcionamiento, la cantidad de aceite mezclada con combustible es vital para el paramotor, algunas características son:

- Con la disposición del motor en forma invertida al aceite debe formar poca carbonilla para que no se acumule en los puntos bajos, en este caso en las cavidades de la bujía y causar el autoencendido.
  - La mezcla no debe guardarse por mucho tiempo, ni exponerse al sol durante un periodo largo
  - No mezclar el aceite sintético con el aceite normal.
- **Mezcla de gasolina y porcentaje de aceite.** El motor 2T requiere que el combustible utilizado sea una mezcla de gasolina con aceite, por ello se especifica el correcto porcentaje de gasolina y aceite.

El porcentaje de aceite a añadir es estimado para un litro de gasolina estos datos son obtenidos con la experiencia, la importancia de los porcentajes de la mezcla radica en:

- Si la cantidad de aceite es insuficiente:
  - La lubricación no es la adecuada
  - Alta temperatura
  - Aumenta las fricciones disminuyendo así la eficiencia y pérdida de potencia
  - Si la temperatura es crítica las piezas se dilatan y el motor se funde.

- Si la cantidad de aceite es excesiva:
  - El motor produce demasiado hollín y ensucia
  - Los residuos no expulsados, forman depósitos en las paredes del cilindro, el desgaste del pistón aumenta
  - Rendimiento disminuye
  - Al motor le cuesta arrancar

Se recomienda utilizar aceite de marca Castrol, ya que produce poco residuos en su quema, es de fácil adquisición, y bajo costo.

Tabla 20. Porcentaje de mezcla de aceite y combustible.

% de mezcla	2	2.5	3
Litros	(c.c.) centímetros cúbicos		
1	20	25	30
1.5	30	38	45
2	40	50	60
2.5	50	63	75
3	60	75	90
3.5	70	88	105
4	80	100	120
4.5	90	113	135
5	100	125	150
5.5	110	138	165
6	120	150	180
6.5	130	163	195
7	140	175	210
7.5	150	188	225
8	160	200	240
8.5	170	213	255
9	180	225	270
9.5	190	238	285
10	200	250	300

Fuente: autores

## Anexo I. TORNILLOS

Los tornillos sirven para unir las piezas, por estética se utilizaron tornillos de cabeza avellanados.

Los tornillos más críticos son:

- Tornillos de la unión de las dos carcasas
- tonillos de unión del soporte superior y las carcasas
- tonillos de sujeción del motor al chasis

Tabla 21. Especificaciones de los tornillos.

pieza	cantidad	longitud	Diámetro tornillo
Interior de las carcasas	5	54	6
	2	74	6
Soporte superior	2	32	8
	3	14	6
Eje polea conducida	1	15	8
	1	18	8
Placa motor de arranque	3	10	6
Tapa de polea conducida	6	18	6
Tapa del retenedor	3	6	4
Polea conductora	4	32	6
Acople de polea conductora	6		6

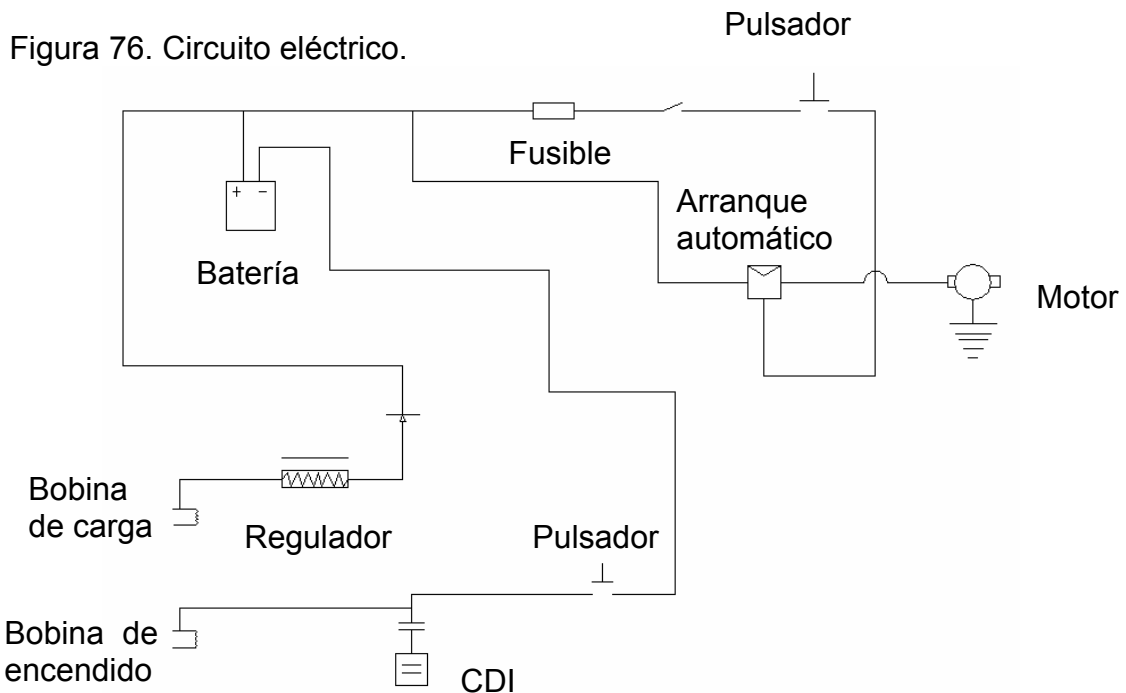
Fuente: autores

## Anexo J. CIRCUITO ELECTRICO

El circuito es alimentado por una batería de 12 voltios, los cuales son elevados para cargar el condensador (CDI) para su próxima descarga a través de la bobina. CDI = ignición por descarga capacitiva.

La ignición CDI es un capacitor o condensador que se carga aproximadamente con 200 voltios los cuales se descargan a través de la bobina de alta generando 20000 voltios de salida, produciendo así la chispa necesaria para la combustión.

El circuito contiene una bobina de carga, un regulador de voltaje y un diodo rectificador para la recarga de la batería, posee además un switch el cual corta la energía del circuito, un pulsador para el arranque, y un pulsador para el apagado del motor.



Fuente: autores

## Anexo K. PRUEBAS

Terminado el prototipo, se procedió a la etapa de pruebas.

Pruebas en tierra.

- 1 prueba: consistió en el encendido del motor dejando que este calentara a mínima velocidad, luego se procede a la estrangulación (aceleración del motor) a unas revoluciones por minuto establecidas en un tiempo determinado, tomando la temperatura de las carcasas para cada intervalo.

Tabla 22. Datos de pruebas

Tiempo (m)	2	3	3	3	5	10
Temperatura (°C)	30 <sup>0</sup>	36 <sup>0</sup>	41 <sup>0</sup>	52 <sup>0</sup>	61 <sup>0</sup>	78 <sup>0</sup>
rpm	3000	4000	6000	5000	3000	4000

**Fuente: autores**

Esta prueba se realizo en las instalaciones de la escuela de ingeniería mecanica de la universidad industrial de Santander.

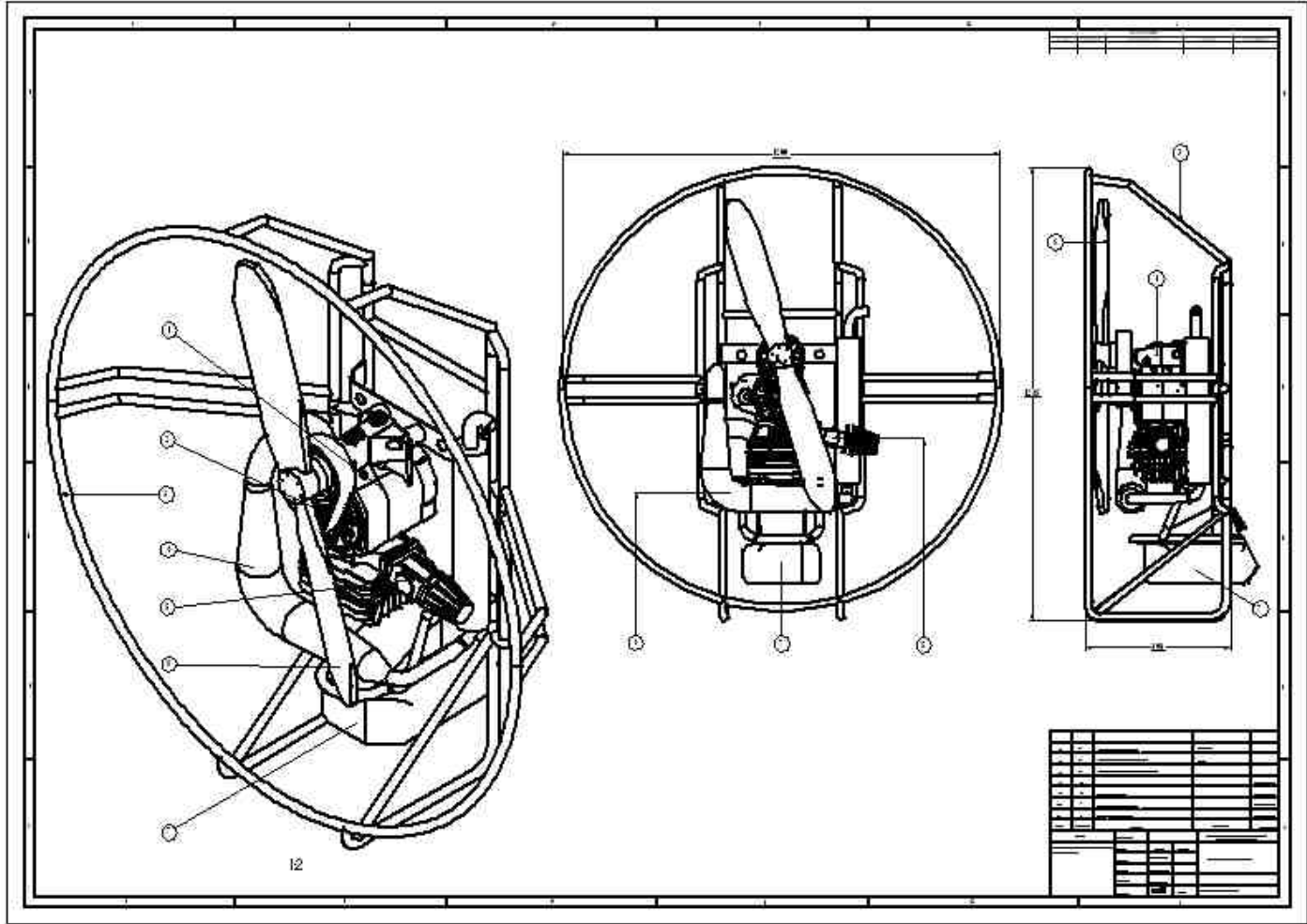
- 2 Prueba: después de la puesta a punto del motor, se procedió a la instalación de la silla del piloto al chasis del prototipo, esto se hizo colgando el paramotor mediante unas cintas a la rama de un árbol, con el fin de simular la situación de vuelo, se ajusta la silla de manera que los anclajes permitan la libertad de movimiento del piloto en el momento del despegue, por ultimo en esta posición se enciende el motor y se realiza los últimos ajustes para contrarrestar el torque reactivo del motor.

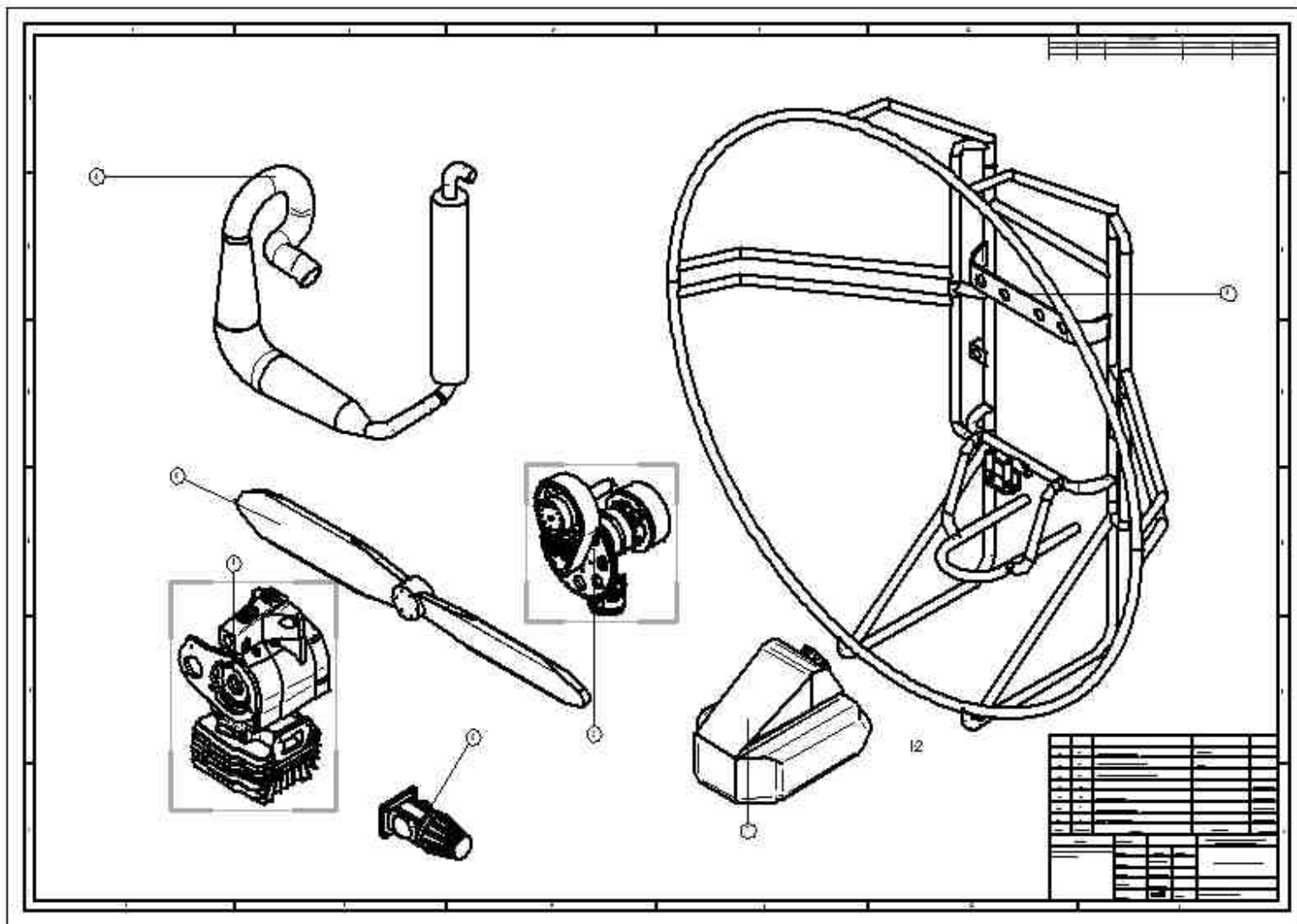
Esta prueba fue realizada en el aeropuerto de San Gil.

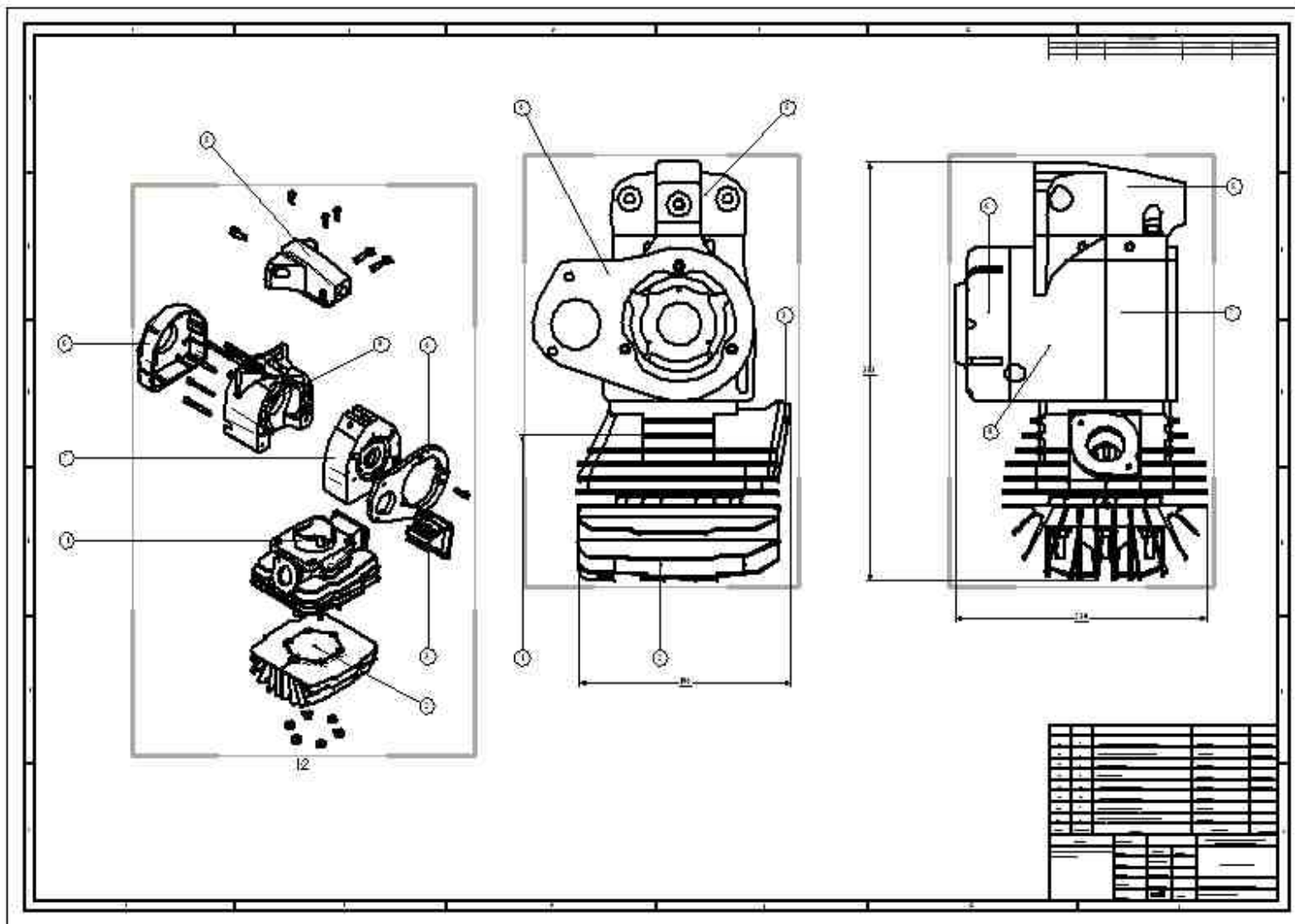
## Pruebas de vuelo

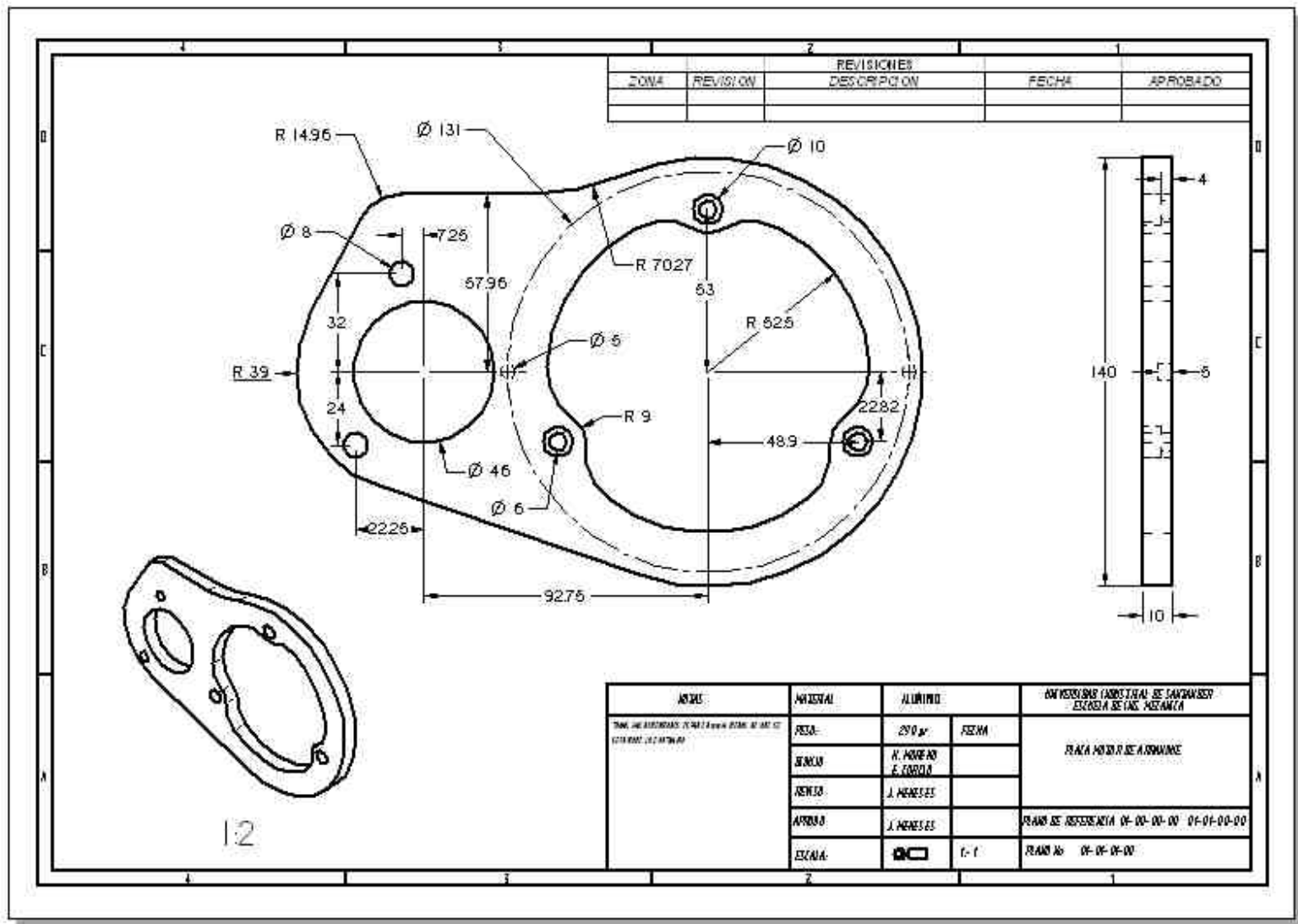
- 1 prueba: se realizó el primer vuelo del prototipo, en un tiempo aproximado de 7 minutos, en el voladero Suecia del municipio de Curiti, dando como resultado la identificación de posibles mejoras.
- 2 prueba: realizadas las mejoras en el sistema eléctrico, y en el anclaje del chasis a la silla del piloto, se realiza el segundo vuelo del prototipo, en este vuelo se hicieron 4 vuelos de 10 minutos aproximadamente. Esta prueba se realizo en Ruitoque.
- 3 prueba: para esta prueba se utilizaron instrumentos de vuelo como el GPS y el bariometro, con estos instrumentos se mide el ascenso y velocidad del prototipo, también se trabajo en aumento de confiabilidad del motor sumándole horas de vuelo.

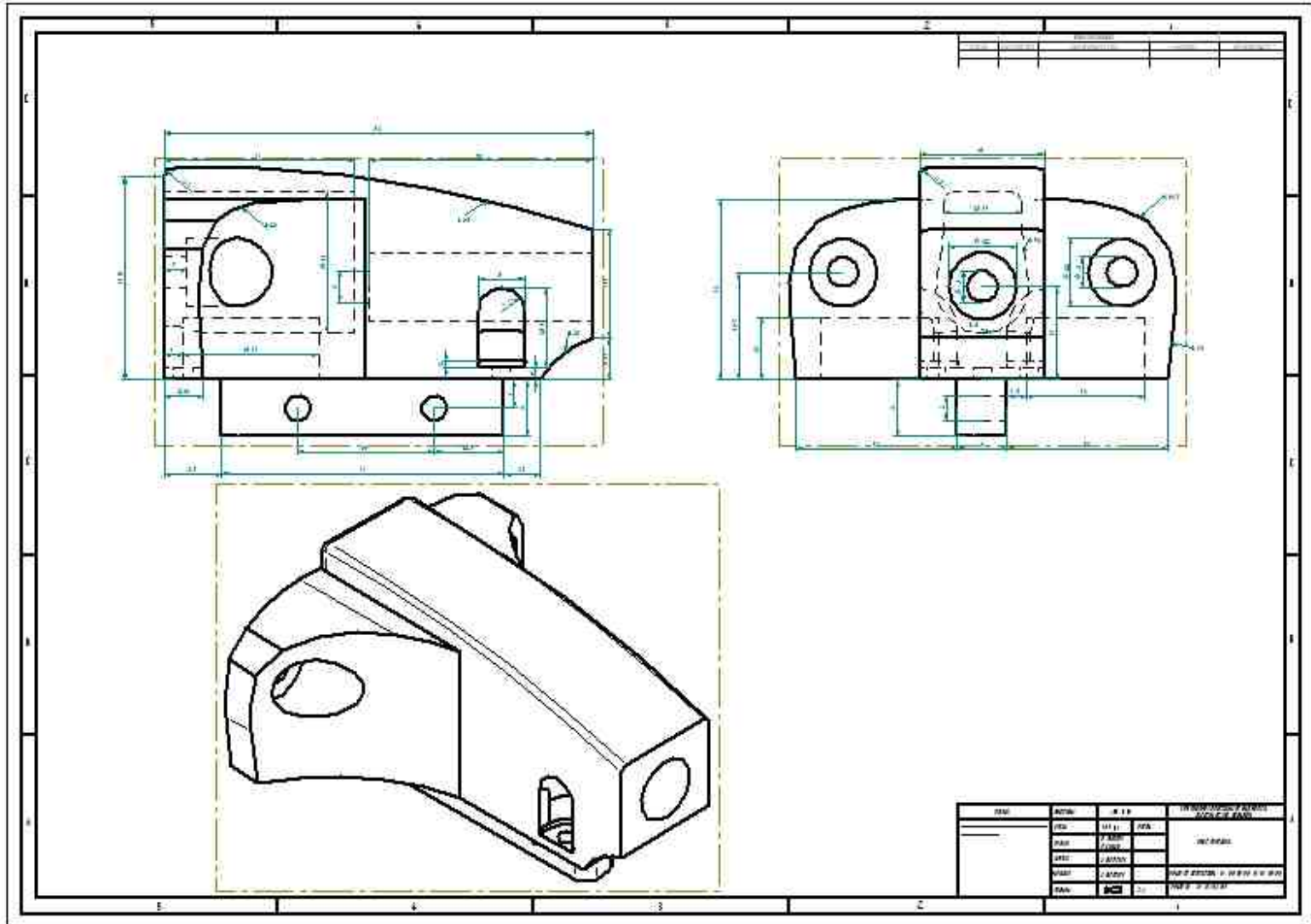
## **ANEXO L. PLANOS**

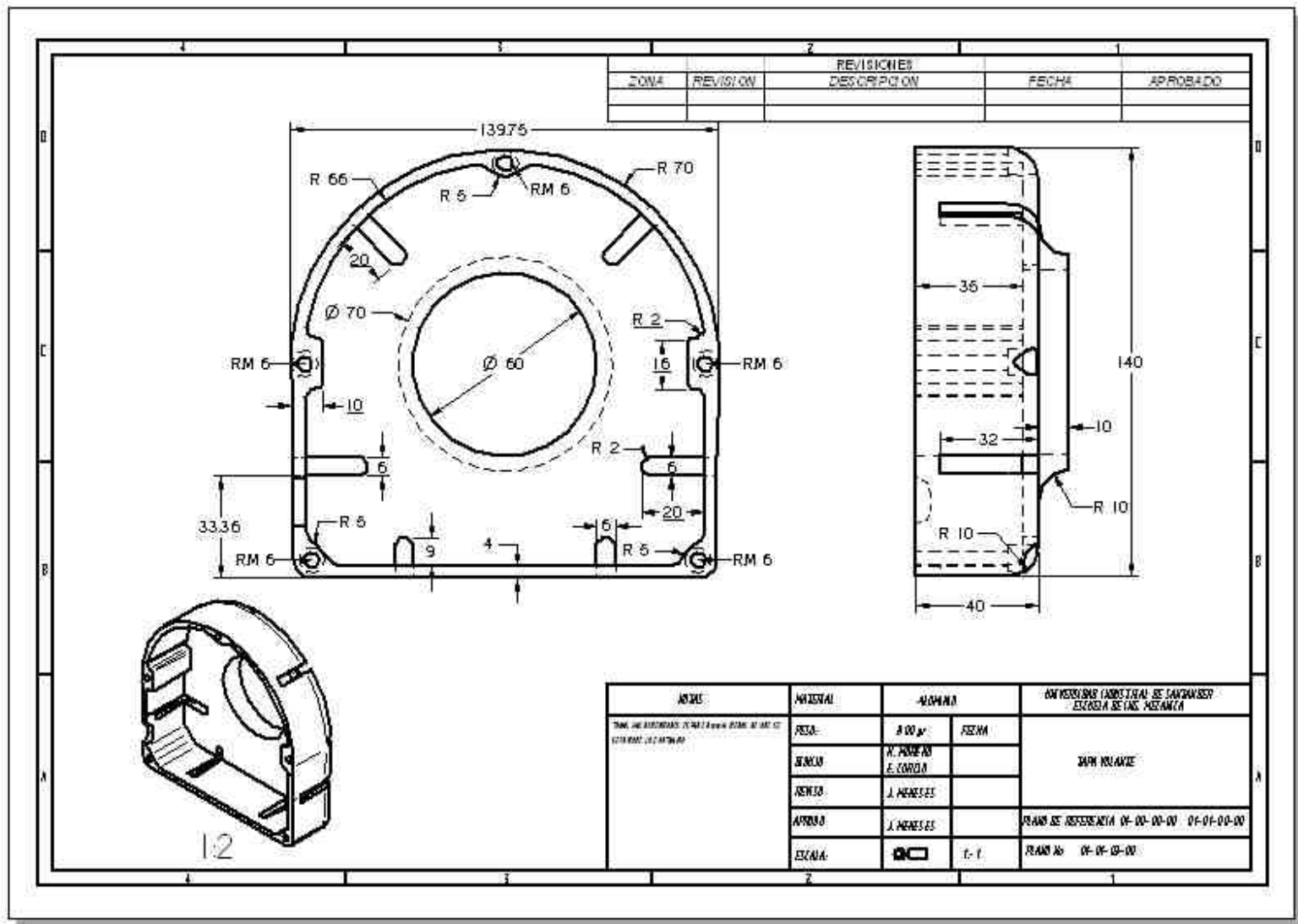








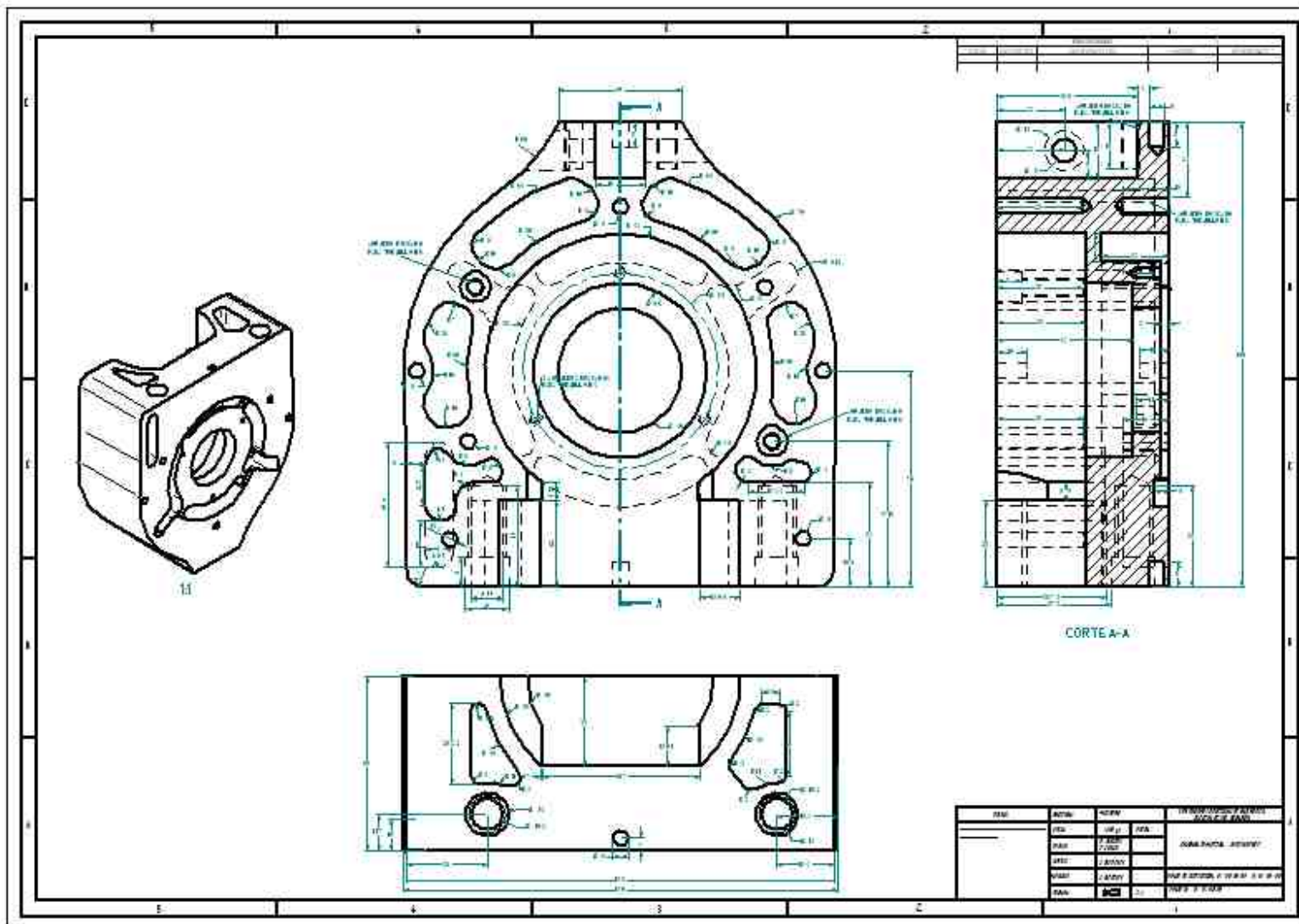


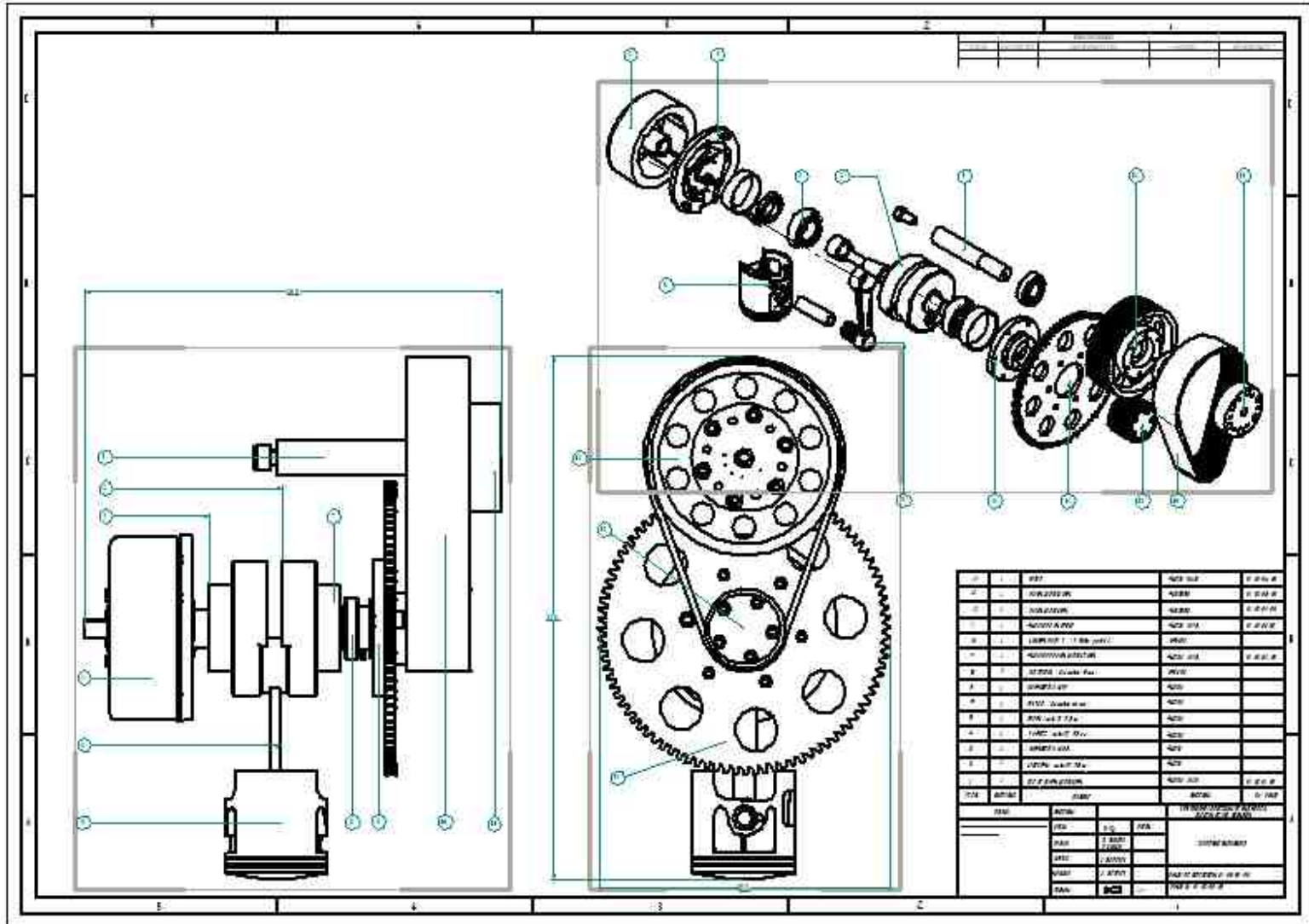


REVISIONES		DESCRIPCION	FECHA	APROBADO
ZONA	REVISION			

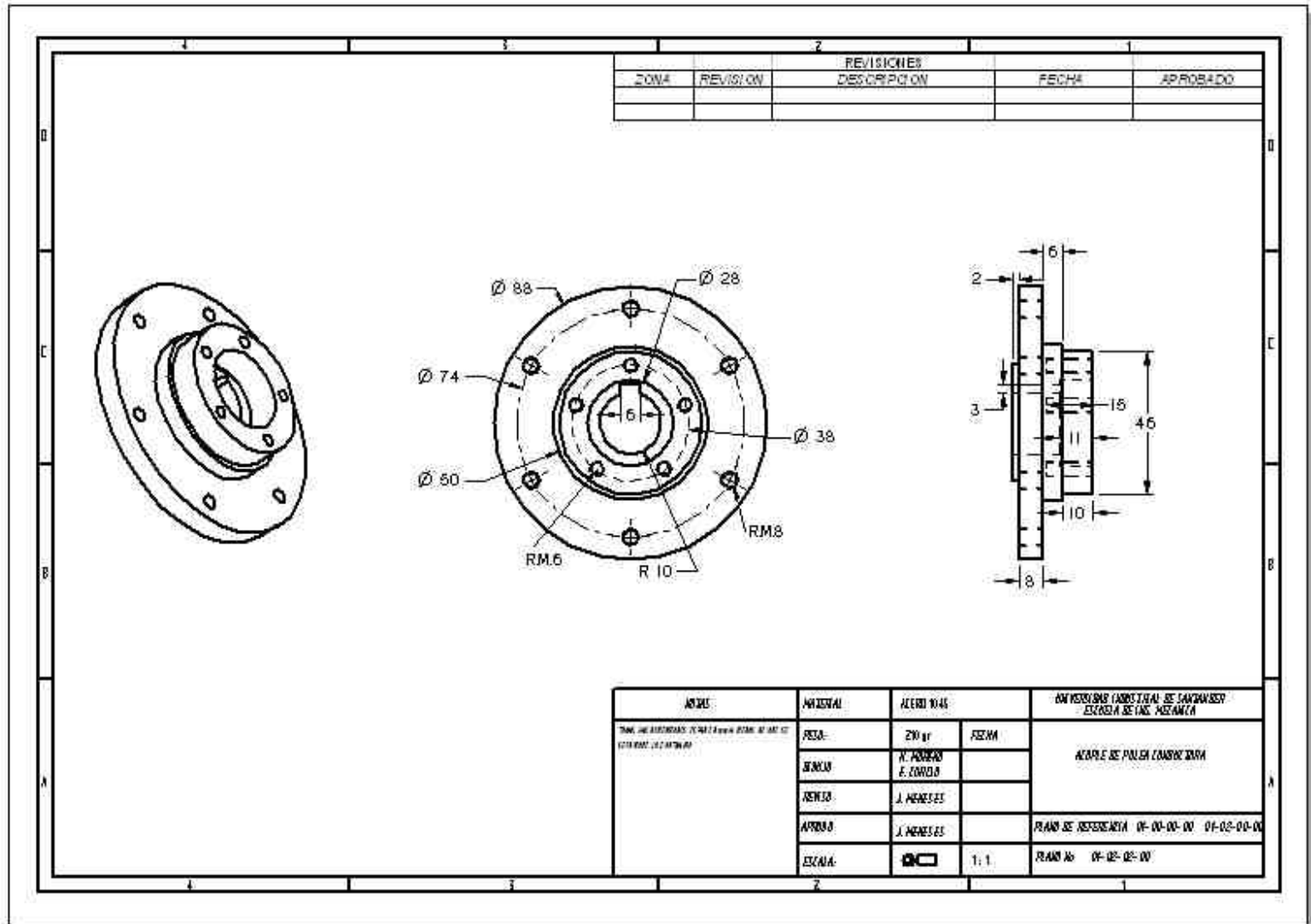
ANEXO	PROYECTUAL	ALUMNO		DIMENSIONES ADICIONALES DE TOLERANCIAS ESCALA DE TALS METANEA
<small>TODAS LAS DIMENSIONES SE DAN EN MILIMETROS A MENOS QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO.</small>	FECHA:	A 00 de	FECHA	SIN TOLERANCIA
	DISEÑO:	N. PARRERO		
	REVISOR:	J. MENDEZ		
	APROBADO:	J. MENDEZ		PLANO DE REPRESENTACION 01-00-00-00 01-01-00-00
	ESCALA:		1:1	

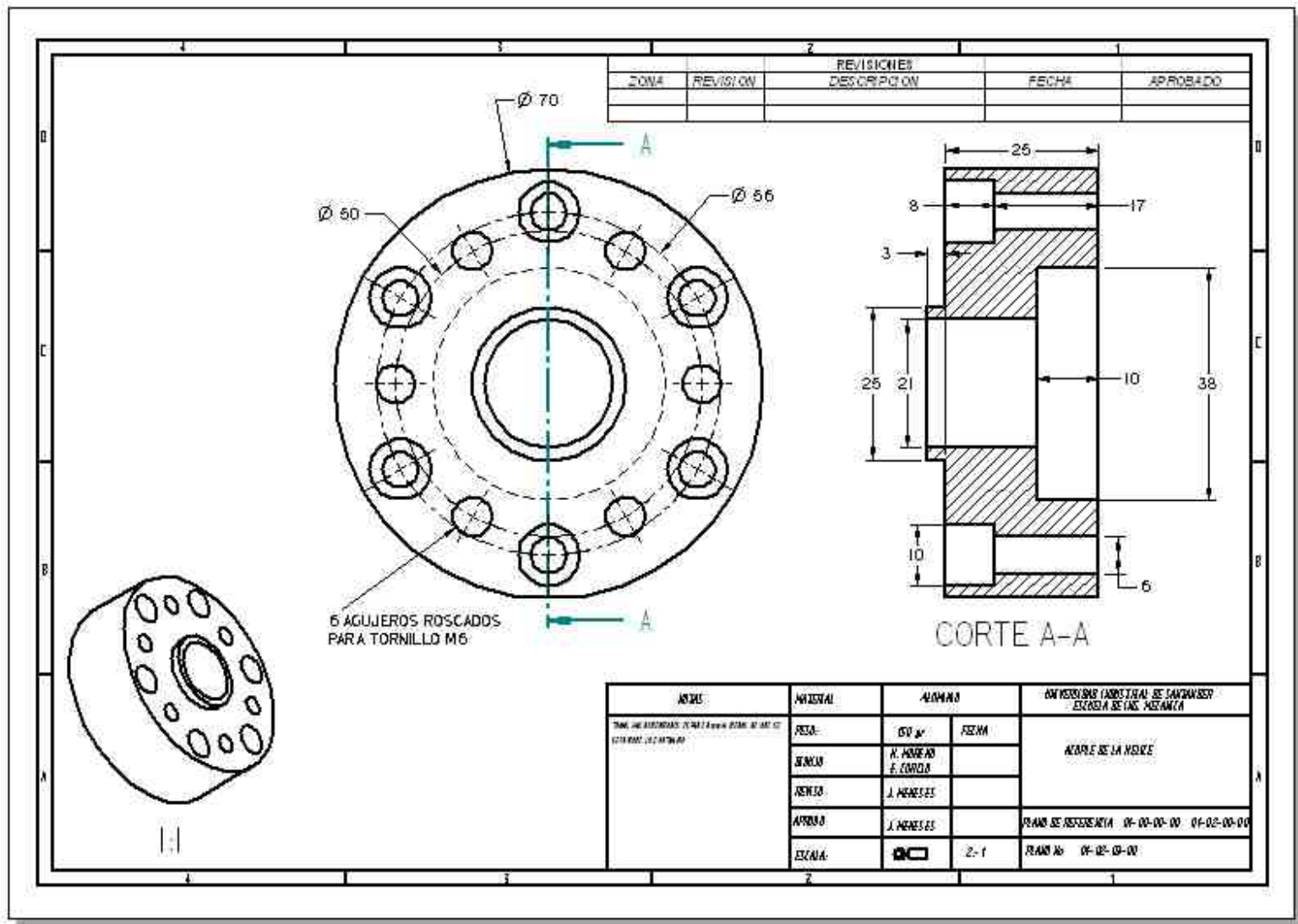


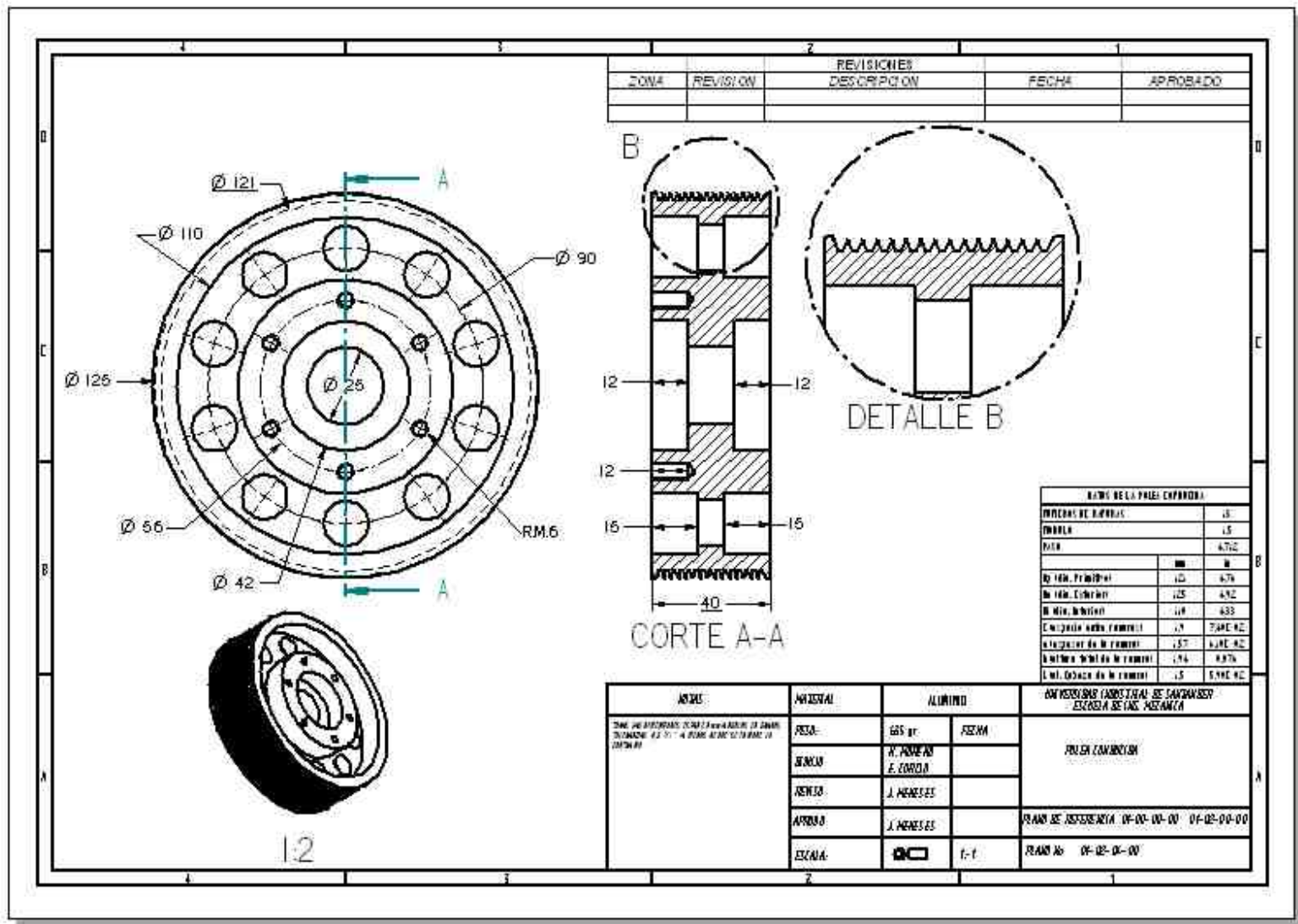


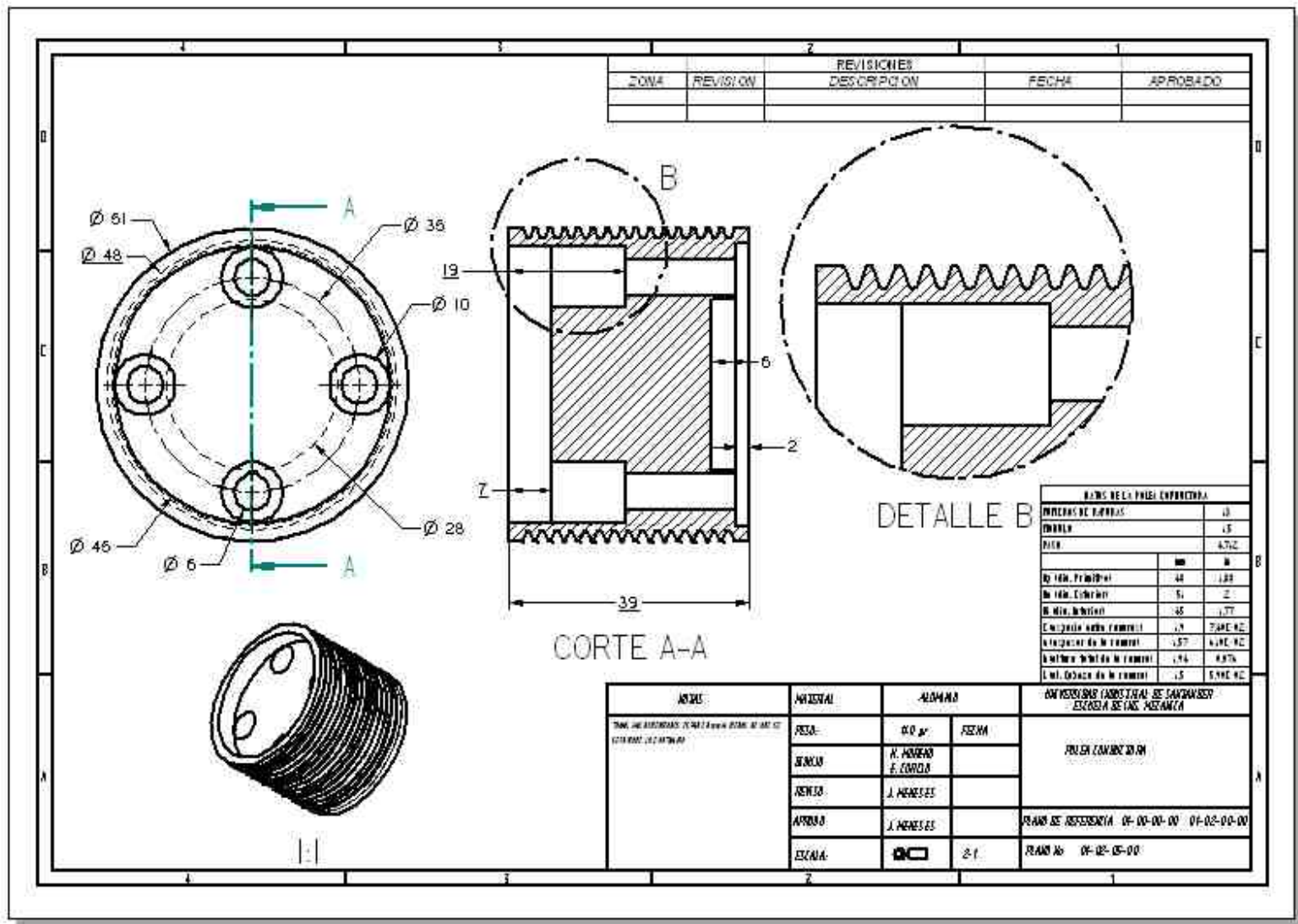


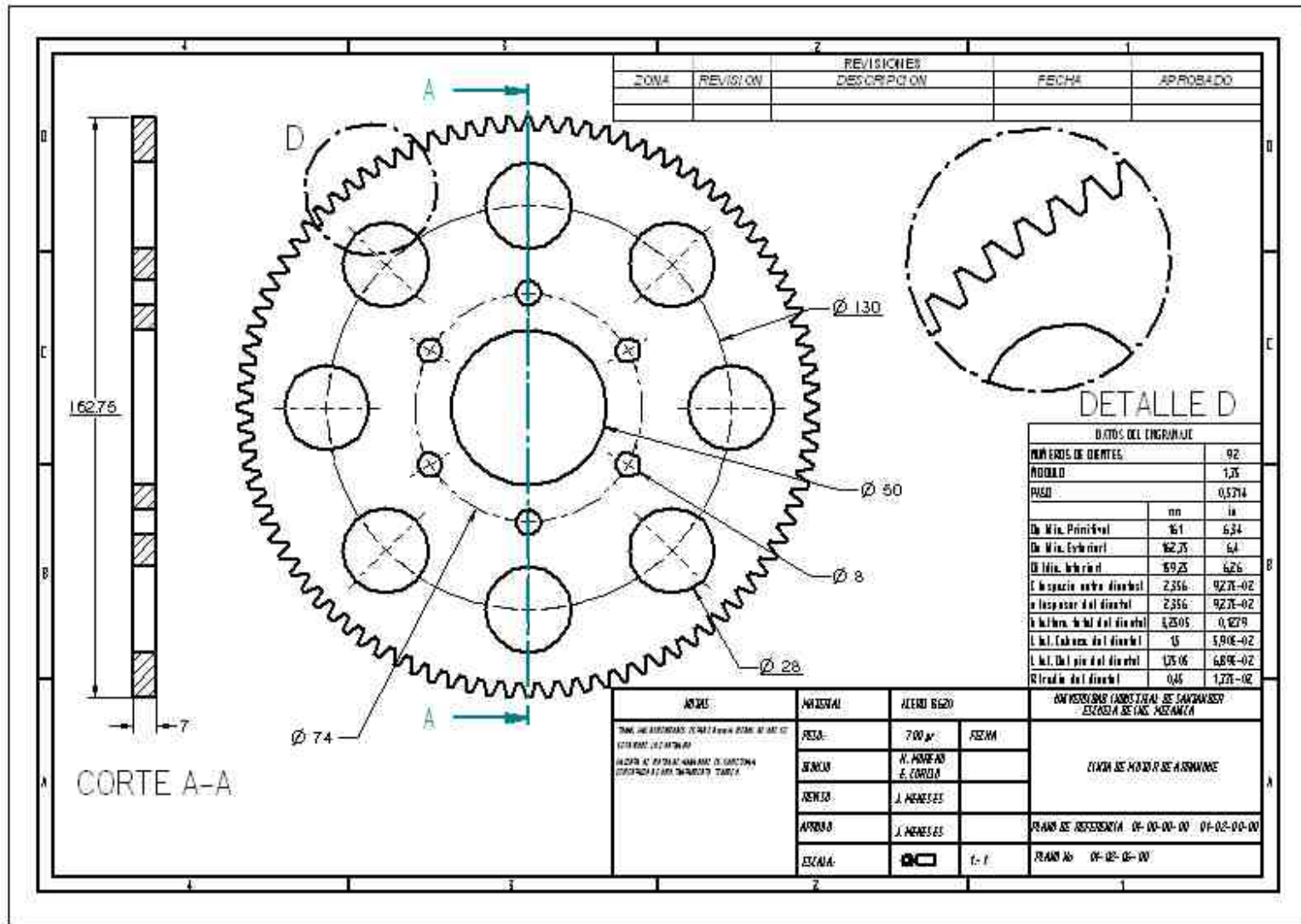


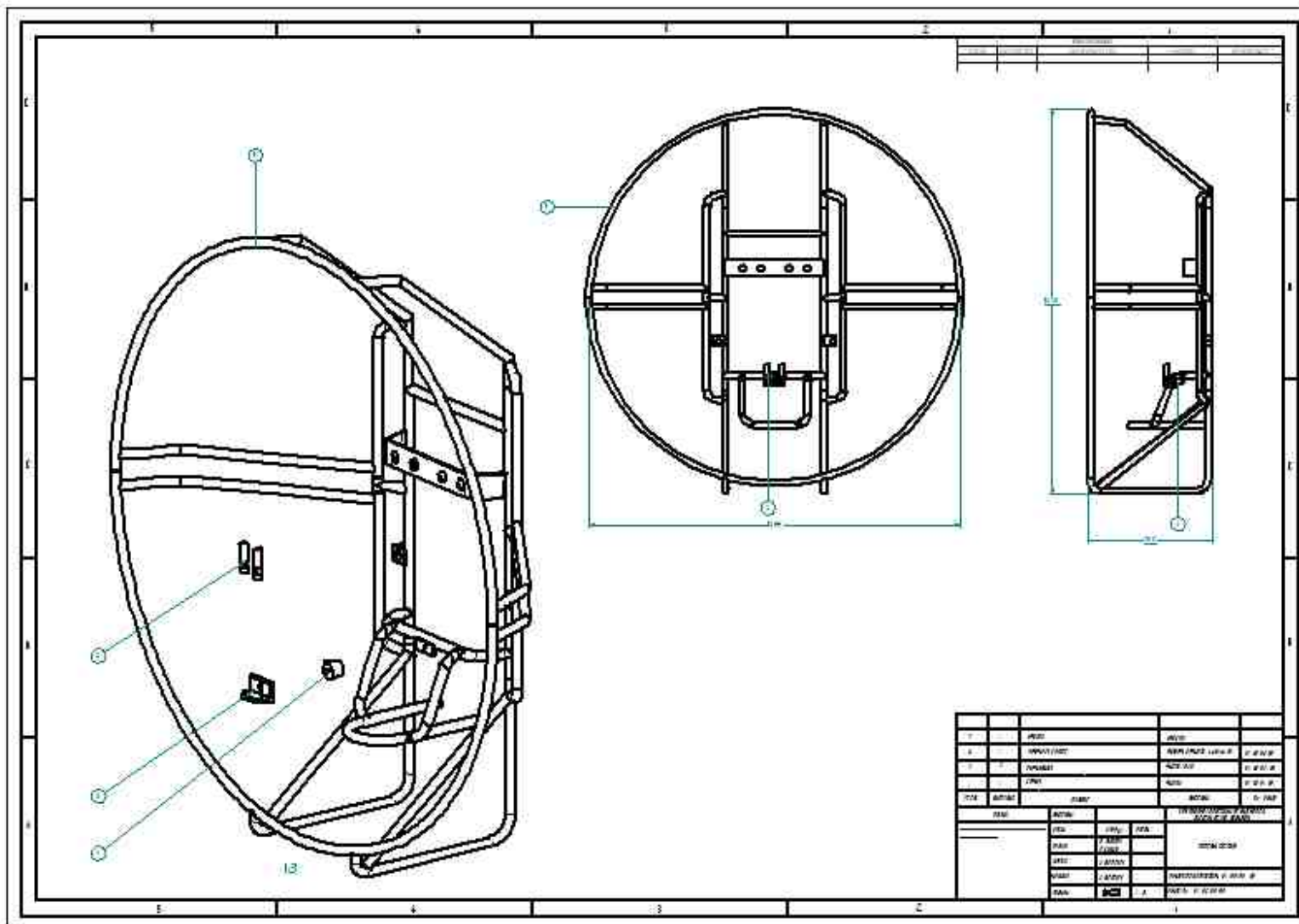


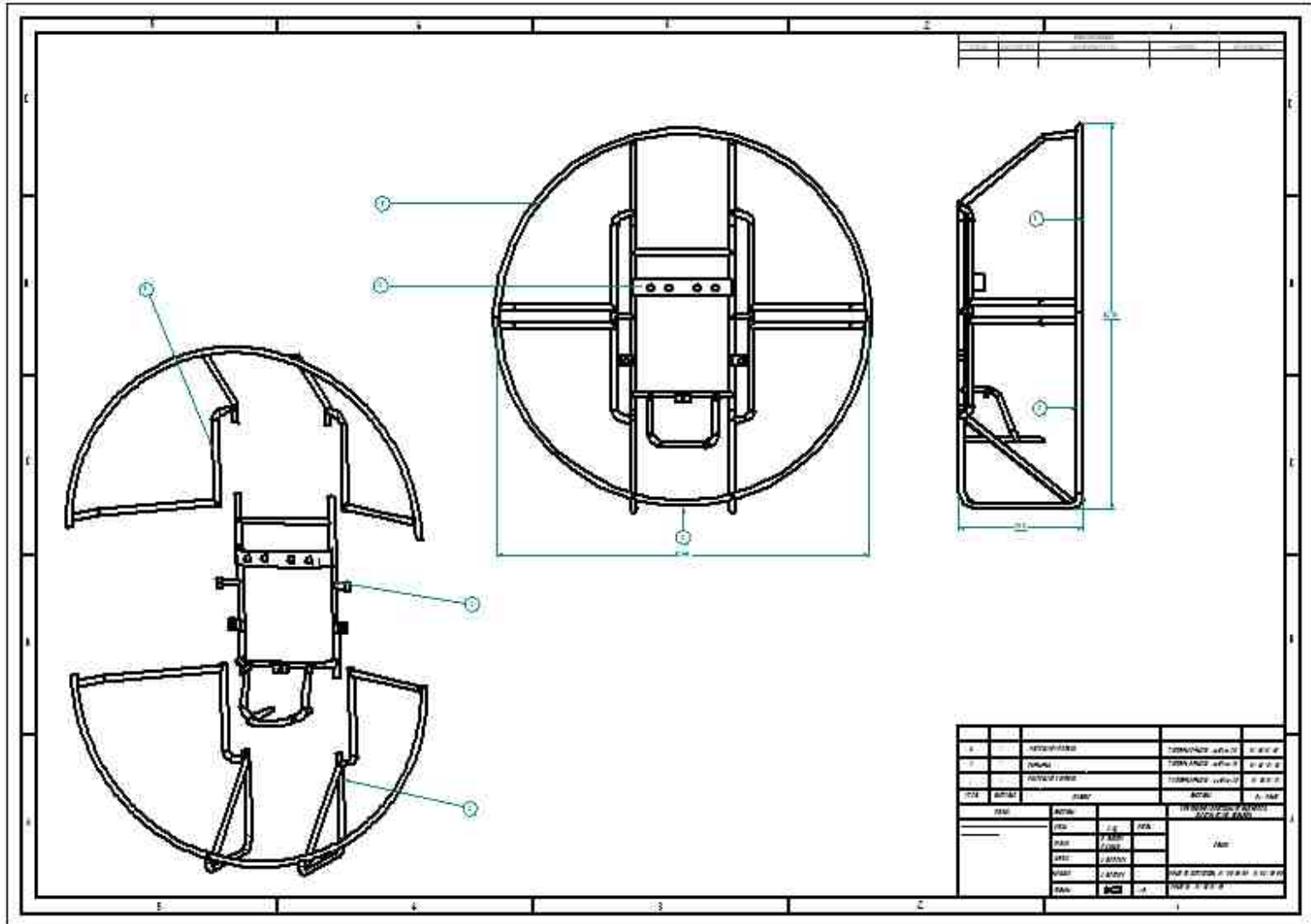


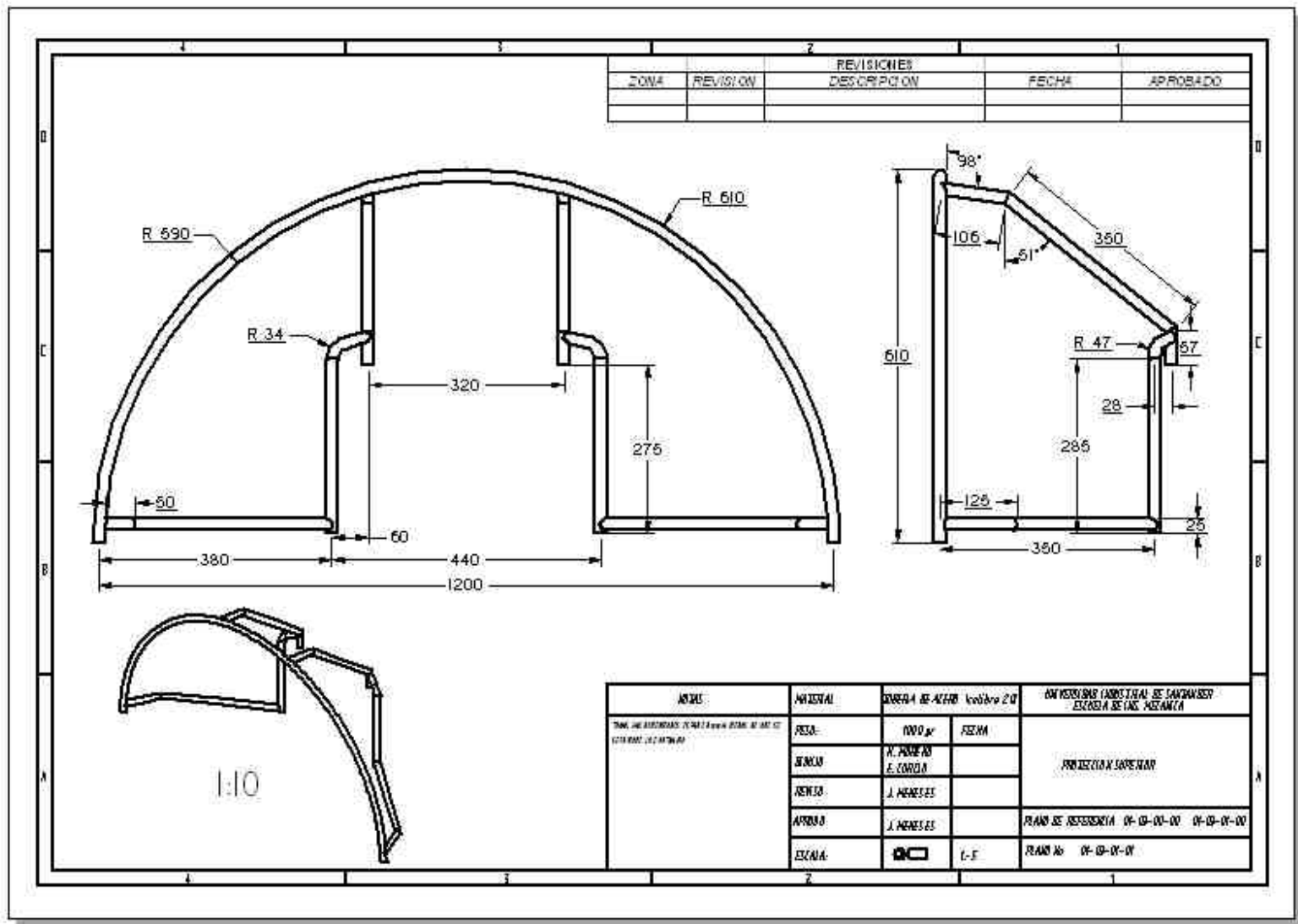




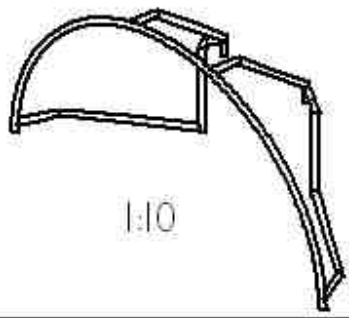






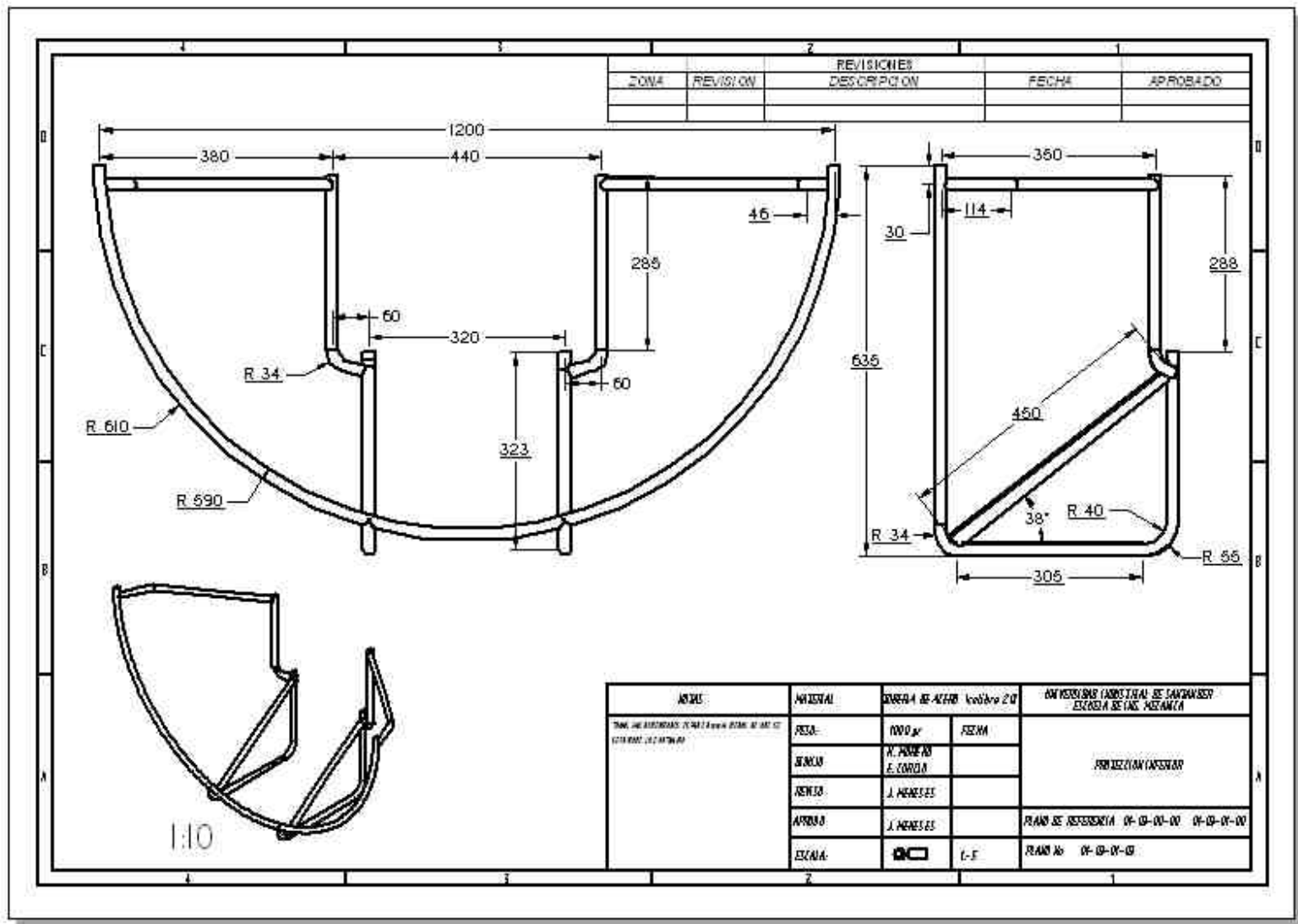


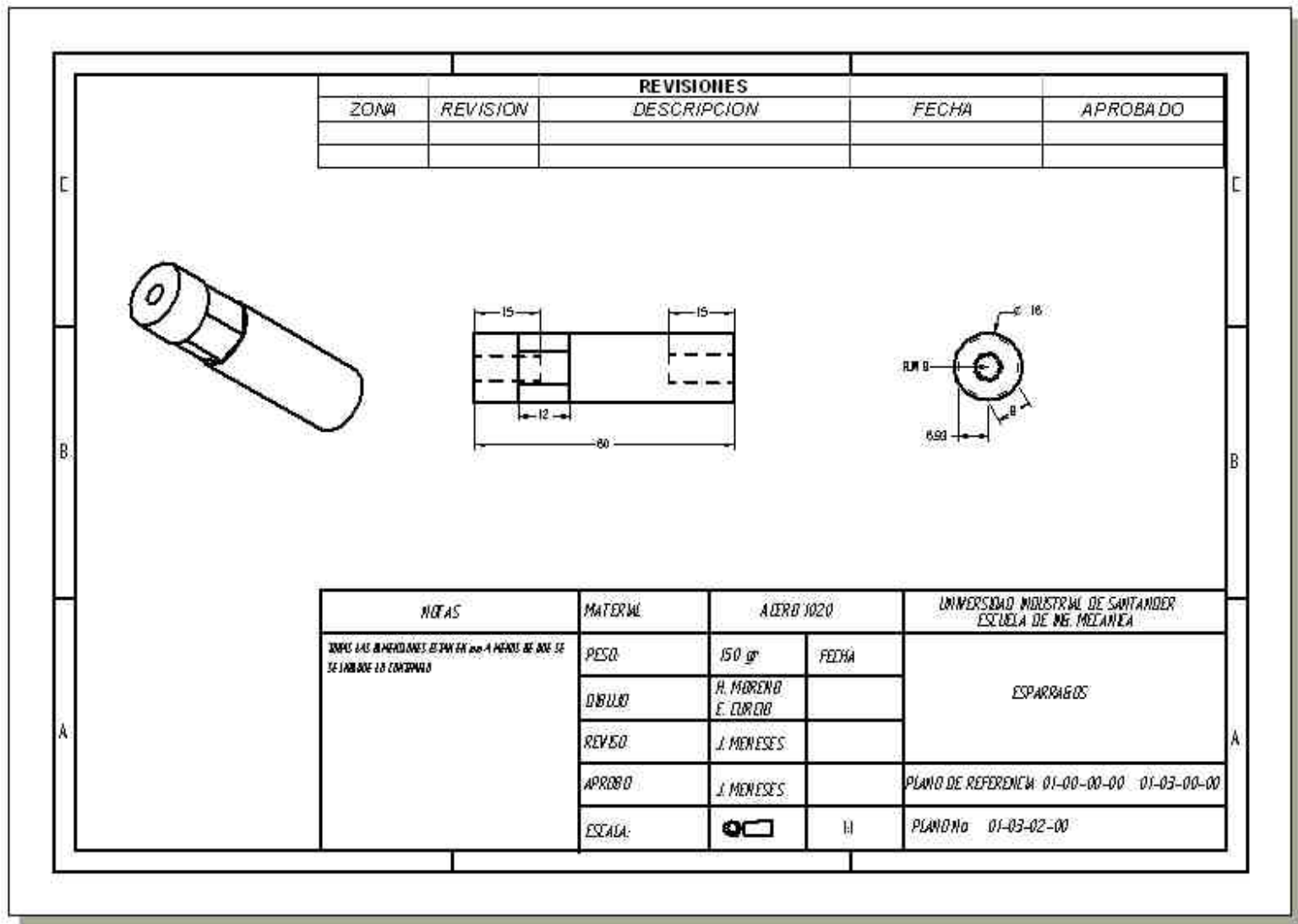
REVISIONES		FECHA	APROBADO
ZONA	REVISION	DESCRIPCION	



ANEXO:	MATERIAL:	QUANTIA DE ACABO: madeira 20		EM REVISIONES TABELARES DE SARGANDES ESCOLA DE TALS MECANICA
TRAB. DE ARQUITECTURA DE PLANTA ELEVACAO DE PORTA DE ARCO DE 1200x1200x275	FECHA:	1000 gr	FECHA:	PROTECCAO SUPERIOR
	QUANTIA:	N. PORTA NO		
	REVISAO:	E. CORDEA		
	APROBADO:	J. MENDES		
	ESCALA:	J. MENDES		PLANO DE REVISIONES 01-02-00-00 01-03-01-00
		1:5		PLANO No 01-03-01-01







REVISIONES				
ZONA	REVISION	DESCRIPCION	FECHA	APROBADO

NOTAS	MATERIAL	A LERO 1020		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE ING. MECANICA
		ISO gr	FECHA	
DESPUES LAS DIMENSIONES DE PARTIR DE UN A MENOS DE ONE SE SE LABORA EN CONFORME	PESO:	150 gr		ESPARRAGOS
	DIBUJO:	H. MORENO E. CUBERO		
	REVISO:	J. MENESES		
	APROBO:	J. MENESES		PLANO DE REFERENCIA 01-00-00-00 01-03-00-00
	ESCALA:		1:1	PLANO No 01-03-02-00

