



Instituto Politécnico Nacional



Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.
Unidad Ticomán

Ingeniería Aeronáutica

“Diseño y Fabricación del Soporte de
Viga para la Manipulación del Módulo
05-Reductor de Caja de Engranajes del
Motor Arriel 1B”

Presenta:

Márquez Laguna Maricruz

Valle Aguilar Denise

Asesores:

M. en C. Juan Manuel Díaz Salcedo

Ing. Rubén Obregón Suarez

M. en C. Erik Vargas Rojas

México, D.F., 2010



Agradecimientos

A nuestros padres y seres queridos por todo el apoyo brindado a lo largo de la carrera, ya que sin su esfuerzo no hubiese sido posible este logro que hoy en día obtenemos. Por todos los consejos, desvelos, preocupaciones, aciertos y reglas impuestas.

A nuestros asesores por su valiosa instrucción en el trabajo realizado, por brindarnos su tiempo y espacio no solo en lo académico si no en el aspecto social y laboral. Por todos los consejos, conocimiento, practicas y apoyo al proyecto finalizado.

A todas aquellas personas que estuvieron con nosotras en el proceso y sirvieron de guía o experiencia para concretar nuestros estudios hasta este momento.

Damos Gracias por todo lo que hemos logrado, ya que es una satisfacción que con lleva responsabilidad extra a partir de ahora.

Índice

	Página
Listado de figuras	4
Listado de tablas	7
Antecedentes	8
Objetivo	8
Planteamiento del problema	9
Alcance	10
Justificación	10
Metodología	11
Resumen	12
Capítulo 1 Introducción	
1.1 Características Helicóptero AS 350	13
1.2 Características del Turbomotor Arriel 1B	15
1.2.1 Descripción	16
1.3 Modulo 05 Reductor de caja de engranes	16
1.3.1 Funcionamiento	18
1.4 Características de la herramienta especial	19
1.4.1 Fabricante	19
1.4.2 Ubicación real de la herramienta	20
Capítulo 2 QFD y su aplicación	
2.1 Introducción	21
2.2 Metodología del Diseño Conceptual	22
2.2.1 Primer paso. Identificación del cliente	23
2.2.2 Segundo paso. Determinación de los requerimientos y expectativas del cliente.	23

2.2.3 Tercer paso. Determinar la importancia relativa de los requerimientos y expectativas de los clientes.	24
2.3.4 Cuarto paso. Estudio comparativo a productos de la competencia.	26
2.2.5 Quinto paso. Traducción de los requerimientos y expectativas de los clientes en términos medibles de ingeniería.	28
2.2.6 Sexto paso. Establecer metas de diseño.	29
2.3 Aplicación del QFD para el diseño y fabricación de Soporte de viga para la manipulación del modulo 05-Reductor de caja de engranes.	31

Capítulo 3 Diseño conceptual

3.1 Metodología del diseño conceptual	44
3.1.1 Verificación de los requerimientos del cliente	44
3.1.2 Función global de servicio de producto	45
3.1.3 Límites del sistema	45
3.1.4 Funciones técnicas	46
3.1.5 Definición del modelo funcional	46
3.1.6 Análisis Funcional descendente	47
3.1.7 Generación de conceptos	47
3.1.7.1 Matrices morfológicas	47
3.1.8 Evaluación de conceptos	48
3.1.8.1 Evaluación basada en la factibilidad del concepto.	48
3.2 Aplicación de la metodología del diseño conceptual para el diseño y fabricación de Soporte de viga para la manipulación del modulo 05-Reductor de caja de engranes.	50
3.2.1 Clarificación de los requerimientos del cliente	50
3.2.2 Función global	51
3.2.3 Límites del sistema	51
3.2.4 Funciones de servicio	52
3.2.5 Análisis funcional descendente	52
3.2.6 Árbol de funciones	53
3.2.7 Generación de conceptos- Matrices morfológicas	53
3.2.8 Evaluación de conceptos	55

Capítulo 4 Diseño de Detalle

4.1	Introducción	63
4.2	Análisis de funcionamiento de componentes y cálculos implicados.	63
4.3	Elemento finito	66
	4.3.1 Análisis por elemento finito	66
	4.3.2 Aplicación de análisis por elemento finito en el soporte de viga	66
4.4	Selección del material	71
4.5	Modificaciones	69
4.6	Planos	70
4.7	Hojas de proceso	75

Capítulo 5 Pruebas y Resultados

5.1	Resultados	80
5.2	Pruebas	81

Conclusiones	85
---------------------	----

Referencias	86
--------------------	----

Anexos

Anexo 1 Aceros 1018, 1020, 1030, 1045	87
Anexo 2 Medidas de tornillos	90
Anexo 3 Análisis de herramienta Eurocopter	91
Anexo 4 Análisis de diseño final	94
Anexo 5 Glosario	111

Listado de figuras	Página
Figura 1. Motor Arriel 1B	9
Capítulo 1 Introducción	
Figura 2. Helicóptero AS-350 Écureuil.	13
Figura 3. Motor Arriel 1B.	15
Figura 4. Motor por módulos.	16
Figura 5. Motor Arriel 1B.	17
Figura 6. Sección del reductor.	17
Figura 7. Reductor.	18
Figura 8. Soporte de viga.	19
Figura 9. Ubicación de soporte.	20
Figura 10. Ubicación de soporte.	20
Capítulo 2 QFD y su aplicación	
Figura 11. Los seis pasos.	22
Figura 12. Separación de requerimientos en obligatorios y deseables.	25
Figura 13. Construcción del grafico de despliegue de calidad.	30
Figura 14. Soporte para manipulación de modulo-05.	35
Figura 15. Brida de suspensión.	35
Figura 16. Brida de suspensión.	35
Figura 17. Traducción de rapidez.	36
Figura 18. Traducción de facilidad.	36
Figura 19. Traducción de ligero.	37
Capítulo 3 Diseño Conceptual	
Figura 20. Función global ejemplo.	45
Figura 21. Límites del sistema ejemplo.	46
Figura 22. Función global.	51
Figura 23. Límites del sistema.	51
Figura 24. Análisis funcional descendente.	52
Figura 25. Árbol de funciones.	53
Figura 26. Restricciones espaciales Concepto 1.	56
Figura 27. Restricciones espaciales Concepto 1.	56
Figura 28. Restricciones espaciales Concepto 1.	56
Figura 29. Restricciones espaciales Concepto 2.	57
Figura 30. Restricciones espaciales Concepto 2.	57
Figura 31. Restricciones espaciales Concepto 2.	58
Figura 32. Restricciones espaciales Concepto 3.	58
Figura 33. Restricciones espaciales Concepto 3.	59
Figura 34. Restricciones espaciales Concepto 3.	59
Figura 35. Restricciones espaciales Concepto 4.	60
Figura 36. Restricciones espaciales Concepto 4.	60
Figura 37. Restricciones espaciales Concepto 4.	59

Figura 38. Modelado de manufactura.	61
Capítulo 4 Diseño de Detalle	
Figura 39. Representaciones de resistencia en uniones atornilladas.	63
Figura 40. Aplicación de uniones atornilladas en el soporte de viga.	64
Figura 41. Modelo de Manufactura.	68
Figura 42. Brida de suspensión.	69
Figura 43. Modelo de Manufactura Final	69
Figura 43B. Ensamble C	69
Capítulo 5 Pruebas y Resultados	
Figura 44. Perfil en L.	80
Figura 45. Placa superior.	80
Figura 46. Marco.	80
Figura 47. Cáncamo.	80
Figura 48. Acercamiento del gancho.	81
Figura 49. Soporte de Viga.	82
Figura 50. Vista Lateral Izq. Del Soporte de viga.	82
Figura 51. Vista Lateral Izq. 2 Del Soporte de viga.	83
Figura 52. Vista Frontal del Soporte de viga.	83
Figura 53. Vista superior del Soporte de viga.	84
Figura 54. Vista Lateral Der. del Soporte de viga.	84
Plano 1.	70
Plano 2.	71
Plano 3.	72
Plano 4.	73
Plano 5.	74
Anexo 3	
Figura 1. Diagrama de deformación.	91
Figura 2. Diagrama de desplazamiento.	91
Figura 3. Análisis.	92
Figura 4. Fuerza a tensión aplicada.	93
Anexo 4	
Figura A1. Representación del desplazamiento del eje neutro respecto al eje principal.	96
Figura A2. Diferentes formas de combinación de Esfuerzos.	98
Figura A3. Fuerzas cortantes debidas a una carga aplicada.	100
Figura A4. Actuación del esfuerzo cortante.	102
Figura A5. Distintas dimensiones en armellas.	101
Figura A6. Representación del gancho con Características geométricas y carga.	102
Figura A7. Representación 1 del análisis del FS.	104

Figura A8. Representación del gancho con Características geométricas y carga.	105
Figura A9. Representación 2 del análisis del FS.	107
Figura A10. Apoyo que se fija a amortiguador Helicóptero.	107
Figura A11. Representación de fuerzas cortantes.	108
Figura A12. Factor de seguridad para un tornillo.	109

Lista de tablas

Capítulo 1 Introducción

Tabla 1. Características generales.	14
Tabla 2. Rendimiento.	14
Tabla 3. Régimen.	15
Tabla 4. Especificaciones generales de la herramienta especial.	19
Tabla 5. Ejemplo de ponderación de requerimientos	26

Capítulo 2 QFD y su aplicación

Tabla 6. Identificación del cliente.	31
Tabla 7. Agrupación de requerimientos.	32
Tabla 8. Importancia de los requerimientos.	33
Tabla 9. Ponderación de los requerimientos.	34
Tabla 10. Porcentaje de importancia.	34
Tabla 11. Estudio comparativo.	36
Tabla 12. Traducción de requerimientos 1er nivel.	38
Tabla 13. Traducción de requerimientos 2do nivel.	39
Tabla 14. Traducción de requerimientos.	40
Tabla 15. Metas de diseño.	42,50.
Tabla 16. Casa de la calidad.	43

Capítulo 3 Diseño conceptual

Tabla 17. Matriz morfológica.	53
Tabla 18. Matriz morfológica. Dibujos.	54
Tabla 19. Evaluación por factibilidad.	55
Tabla 20. Matriz morfológica elección.	61

Anexo 3

Tabla 1. Propiedades.	94
Tabla 2. Apoyos.	94
Tabla 3. Cargas.	95
Tabla 4. Resultados.	95
Tabla 5. Constantes.	95

Anexo 4

Tabla 1a. Propiedades del acero 1010.	103
Tabla 2ª. Datos de entrada geométricos.	104
Tabla 3ª. Propiedades del acero 1010 que pide Ansys.	106
Tabla 4ª. Propiedades acero 1045.	107
Tabla 5ª. Propiedades mecánicas del acero 1045.	110

Antecedentes.

Para comprender el objetivo planteado sobre el proyecto se presentan a continuación algunos antecedentes:

Este trabajo se basa en la necesidad de la fabricación de un soporte el cual permita desarrollar practicas en el helicóptero AS350 biplaza el cual se encuentra en la ESIME Ticomán el cual fue donado hace aproximadamente dos años por parte de Cóndores, donde el ingeniero Rubén Obregón que realizó parte de los trámites para que el mismo fuese donado, se ha encargado de organizar actividades como proponer temas para el desarrollo de herramientas y otros aditamentos faltantes del helicóptero[Ref1].

Los trabajos de implementación de prácticas de mantenimiento tales como prácticas de mantenimiento en él no han sido posibles debido a falta de herramientas, el soporte propuesto permitirá el desmontaje de un modulo reductor de engranajes el cual se encuentra ensamblado con el motor del helicóptero [Ref2].

Como parte de las actividades de mantenimiento se encuentran revisiones al surtidor de aceite que se encuentra en el modulo reductor; esta tarea se señala en el manual de mantenimiento en su sección Turbomotor 72-00-15 M05 Reductor. Está actividad se realiza gracias a la herramienta especial desarrollada en este proyecto.

Objetivo.

Diseñar y fabricar el soporte de viga para el desmontaje y montaje del modulo 05-reductor de caja de engranes del motor Arriel 1b del helicóptero AS-350 Écureuil, para la realización de prácticas e inspección.

Planteamiento del problema.

En la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Profesional Ticomán, se necesitan herramientas especializadas para el mantenimiento óptimo del Helicóptero Ecureuil AS-350 y de su motor Arriel 1B, debido a que tienen funciones específicas que cuidan la vida del motor Arriel 1B ayudando al desgaste o posible daño al realizar las actividades correspondientes de la herramienta especial con otras herramientas que podrían dañar o modificar algún componente del motor Arriel 1B o del Helicóptero AS-350 ; que permitan el desarrollo de prácticas e inspecciones en el Módulo 05-reductor de caja de engranes en el motor Arriel 1B del Helicóptero AS-350 (ver Figura 1) que se encarga de reducir la velocidad de rotación del Módulo 04 – (turbina libre), garantiza la transmisión del movimiento hacia la parte delantera del motor.

El Módulo 05 - Reductor está situado en la parte trasera del turbomotor.

Características principales del Módulo 05

Las características principales del Módulo 05 - Reductor son las siguientes:

- Tipo: 3 etapas, engranajes helicoidales
- Velocidad del piñón motriz: 41586 r.p.m.
- Relación de reducción de velocidad: 6,63
- Velocidad del piñón de salida: 6000 r.p.m.
- Masa: 700 kg

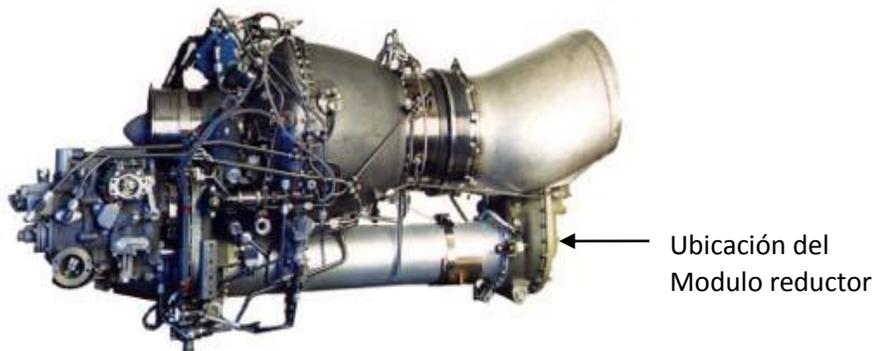


Figura 1. Motor Arriel 1B. Ref 3.

Alcance.

Se pretende elaborar el diseño y posteriormente la fabricación del soporte de viga para la manipulación del modulo 05-reductor de caja de engranes del helicóptero AS-350 Écureuil.

En el desarrollo de este proyecto se propone el uso de herramientas de ingeniería como son comprensión del problema mediante QFD ,el diseño conceptual, el modelado en ambientes de CAD, análisis de zonas funcionales, pruebas de laboratorio de materiales, análisis por elemento finito en ambientes CAE, todas ellas vistas durante la carrera de Ing. Aeronáutica, y su fabricación.

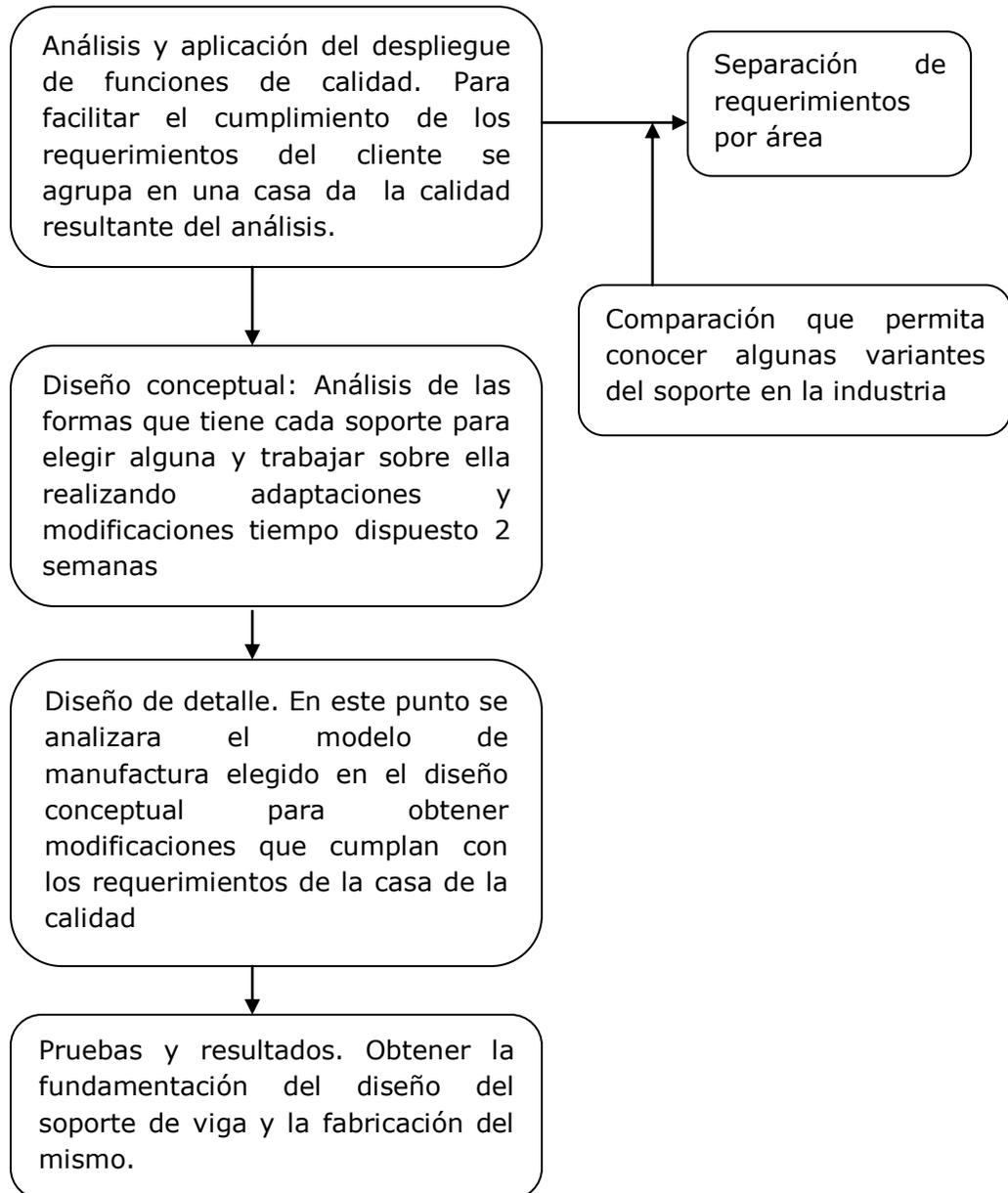
Justificación.

Debido a la falta de herramientas especiales para el laboratorio de helicópteros de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, para realización de prácticas y mantenimiento en el motor Arriel 1B del Helicóptero Écureuil AS 350 de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y con el objetivo de fomentar el diseño entre los alumnos de la carrera, con el fin de aprovechar los recursos propios y de la Escuela se desarrolla este proyecto.

Siendo prioritaria la aplicación de conocimientos adquiridos durante la formación del ingeniero y obtener resultados favorables que cumplan con los requerimientos funcionales y de calidad de la herramienta, al realizar un análisis que fundamenta tanto el diseño como la aplicación.

Metodología.

La metodología mediante la cual se pretende desarrollar el presente proyecto se desarrolla a continuación:



La herramienta necesita de una grúa para su funcionamiento; sin embargo, se deja la opción de otro proyecto para el alumnado ya que es posible diseñar una grúa montable, es por eso que la función de la grúa no se toma como parte de los requerimientos de la herramienta a diseñar y por tanto no se hace modificación alguna para realizar la función de la grúa.

Resumen

Capitulado

Capitulo 1. Antecedentes.

Capitulo 2. QFD y su aplicación

Capitulo 3. Diseño conceptual y su aplicación

Capitulo 4. Diseño de detalle.

Capitulo 5. Pruebas y resultados

Referencias.

Anexos.

Capítulo 1 Introducción

El proyecto que se desarrolla a continuación tiene como objetivo la realización de una herramienta especial y esencial para el mantenimiento del motor Arriel 1B del Helicóptero AS 350 Ecureuil. La investigación, análisis, pruebas, costeos, así como especificaciones se encuentran recabados en este documento. La factibilidad de realizar la herramienta y no de comprarla; el posible rediseño de mejora tanto en resistencia, maniobra, peso, costo entre otros factores se analizan desde distintas perspectivas en este documento.

1.1 Características del Helicóptero AS350 Écureuil



Figura 2 Helicóptero AS 350. Ref1

Este helicóptero es fabricado por la compañía EUROCOPTER (fabricante de helicópteros creada en 1992 con la unión de Aérospatiale (Francia) y Daimler Chrysler Aerospace AG, (Alemania)). La fabricación del Ecureuil (significa ardilla) fue iniciada por Aérospatiale con el desarrollo del AS 350 a principios de la década de los 70 y culminó con los primeros vuelos del prototipo equipado con la turbina Avco Lycoming LTS-101 el 27 de junio de 1974 y el primer vuelo del prototipo equipado con la turbina Turbomeca Arriel 1B el 14 de febrero de 1975. Fue diseñado para sustituir al Alouette. La certificación se le adjudicó en octubre de 1977 [Ref4].

Las entregas a clientes finales iniciaron en 1978 con los modelos iniciales AS 350B equipado con turbina Arriel y comercializado alrededor del mundo y el AS 350D "AStar" que contaba con más potencia y

reemplazó a la versión C para ser comercializado en el mercado estadounidense equipado con la turbina LTS-101

Tabla 1. Características Generales.

Características generales (AS 350)	
Tripulación	1 pasajero
Capacidad	5 pasajeros
Longitud	12,94 m
Diámetro rotor principal	10,69 m
Altura	3,14 m
Área circular (fuselaje)	89,75 m ²
Peso vacío	1 175 kg
Peso máximo de despegue	2 250 kg
Planta motriz: 1× turboshaft Turbomeca Arriel 1B	632 kW (847 SHP)

Tabla 2. Rendimiento.

Rendimiento (AS 350)	
Velocidad nunca a exceder (VNE)	155 nudos (287 km/hora)
Velocidad crucero (Vc)	140 nudos (259 km/hora)
Alcance en vuelo	352 MN (652 km)
Techo de servicio	17 323 ft (5 280 m)
Razón de ascenso	2 028 (ft/min)

1.2 Características del Turbomotor Arriel 1B

El Arriel 1 B es un turbomotor de turbina libre que acciona una toma de movimiento por medio de un reductor de engranes.

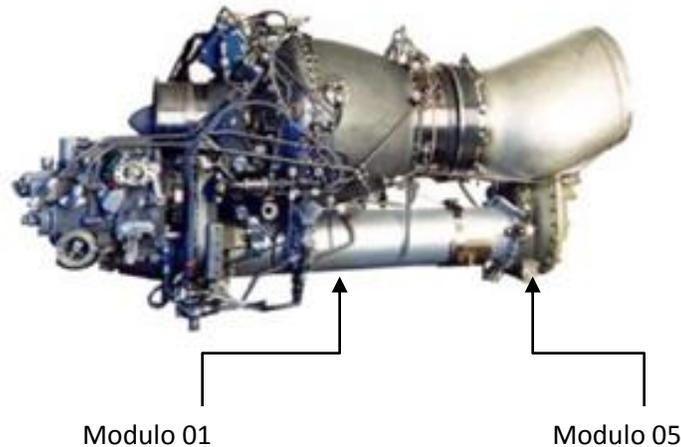


Figura 3. Motor Arriel 1B.Ref5

La turbina libre gira a una velocidad constante 6 000 rpm para el piñón de salida del reductor.

El sentido de rotación, visto desde detrás del motor es el siguiente:

- sentido contrario a las agujas del reloj para el generador de gas,
- sentido horario para la turbina libre y el piñón de salida del reductor.

El turbomotor se suministra equipado para permitir su instalación y su utilización en un helicóptero y comprende:

- los dispositivos de arranque y de regulación
- el circuito de engrase (excepto el depósito y el radiador),
- los dispositivos de control y de funcionamiento.

La masa del turbomotor Arriel 1 B suministrado por Turbomeca es igual o inferior a 700 kg.

Tabla 3. Régimen.

Régimen de utilización	Potencia en KW	Consumo específico g/KW*h
Régimen de despegue	478	353,5
Régimen máximo continuo	440	358

Accesorios montados en el motor por el fabricante de la aeronave

- Generador-motor de arranque
- Transmisor de la presión de aceite.

Accesorios que se pueden montar en el motor:

- Alternador
- Transmisor taquimétrico para la turbina libre.

1.2.1 Descripción

El turbomotor Arriel 1 B está formado por cinco módulos.

Un módulo es un subconjunto intercambiable. Cada módulo se identifica mediante una placa colocada en unas guías que van fijas a los conjuntos.

Los módulos son los siguientes:

- Módulo M01: Caja de accesorios y transmisión.
- Módulo M02: Compresor axial.
- Módulo M03: Parte de alta presión del generador de gas.
- Módulo M04: Turbina libre.
- Módulo M05: Reductor.
- Una tobera de escape.

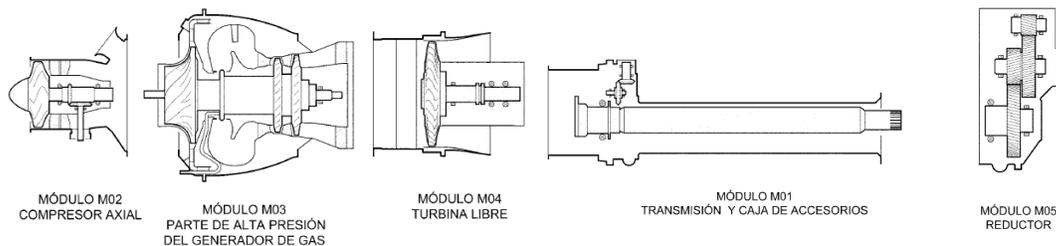


Figura4. Motor por módulos. Ref6

1.3 Modulo 05 Reductor de caja de engranes

Es el elemento que tiene como función reducir la velocidad de rotación del Módulo 04 - Turbina libre, además de garantizar la transmisión del movimiento hacia la parte delantera del motor.

El Módulo 05 - Reductor está situado en la parte trasera del turbomotor. Cuenta con las siguientes características principales que están divididas en 3 etapas de engranes helicoidales:



Figura 5. Módulo 05 del Motor Arriel 1B. Ref5

- Velocidad del piñón motriz: 41 586 r.p.m.
- Velocidad del piñón de salida: 6 000 r.p.m.
- Relación de reducción de velocidad : 6,63

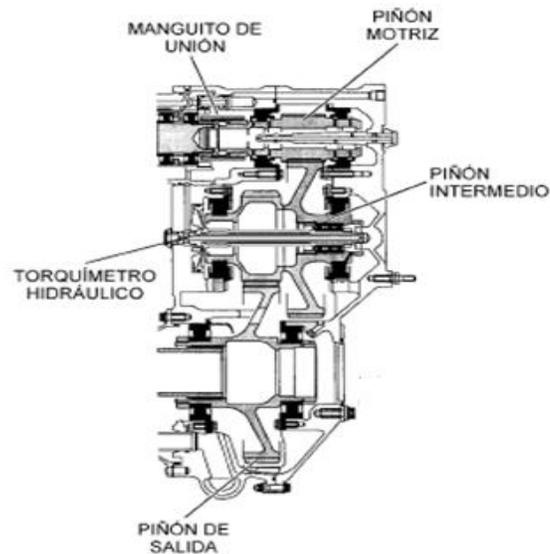


Figura 6. Sección del Reductor. Ref6

Cárter reductor

Los piñones van montados dentro de un cárter de aleación ligera (cárter delantero y cárter trasero). En la cara delantera del cárter va montada una horquilla de acero. La parte inferior del cárter lleva una placa de identificación.

1.3.1 Funcionamiento

El reductor disminuye la velocidad de rotación de la turbina según una relación de 6,63 e impulsa el movimiento hacia la parte delantera.

El piñón motriz es accionado directamente por la turbina libre (conexión por manguito de unión).

Transmite el movimiento al piñón intermedio, que arrastra el torquímetro hidráulico.

El piñón intermedio engrana con el piñón de salida, que garantiza la toma de potencia principal hacia delante a una velocidad de 6 000 r.p.m. aproximadamente, en sentido horario.

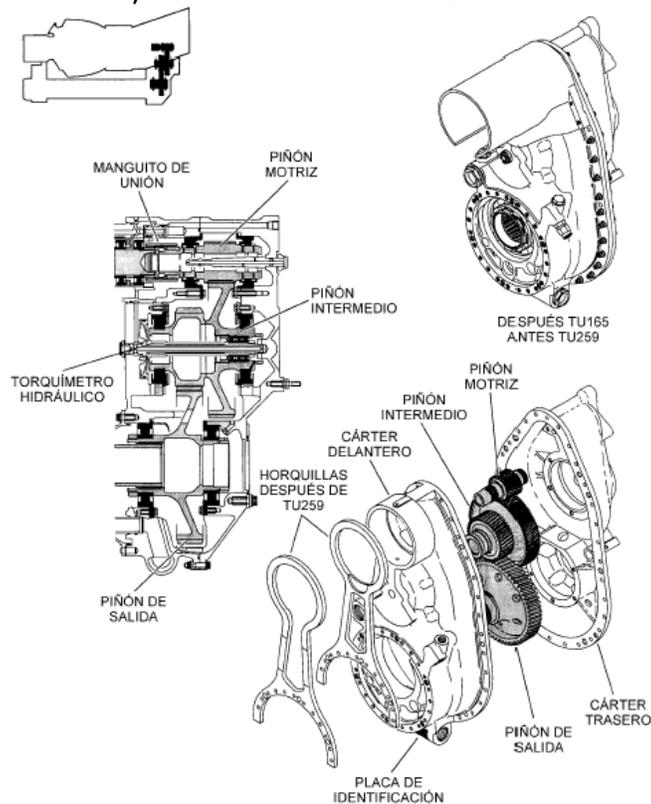


Figura 7 Reductor. Ref6

1.4 Características de la herramienta especial

Es una herramienta necesaria para las operaciones de desmontaje y montaje del modulo 05 Reductor

1.4.1 Fabricante

Turbomeca es el proveedor de esta herramienta con número de referencia: 8813988000.

Es una empresa que se especializa en el diseño, producción, venta y soporte de bajo y mediano costo de turbinas de gas de alimentación para los helicópteros [Ref7].

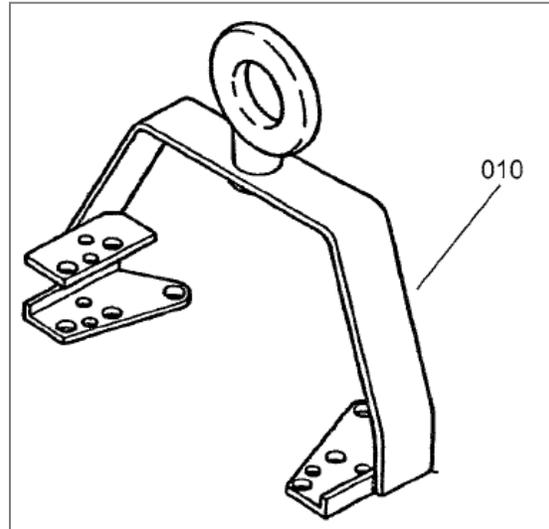


Figura 8. Soporte de Viga. Ref6

Incluyendo a sus programas conjuntos con otros fabricantes, Turbomeca es hoy el principal proveedor mundial de motores de helicóptero, que ofrece una gama completa de servicios cerca de sus clientes, donde quiera que se pueda operar. En el sector industrial y comercial Turbomeca está representada por sus 15 ubicaciones industriales y de prestación de servicios de reparación en toda Francia, Gran Bretaña, Alemania, EE.UU., Canadá, América del Sur, Brasil, África, India, Japón, China, Asia Pacífico y Australia [Ref7].

Tabla 4. Especificaciones generales de Herramienta especial (brida de suspensión) .Levantamiento dimensional cortesía Eurocopter

Especificaciones	
Material	Acero
Espesor	0,4762 cm.
Altura	50 cm.
Ancho	32 cm.
Capacidad de carga	800 kg

1.4.2 Ubicación real de la herramienta

La herramienta se apoya de tornillos ubicados en los amortiguadores para después ser sostenida por una grúa, como se observa en la Figura 9 y Figura 10.



Figura 9. Ubicación de soporte. En la figura se muestra el punto de apoyo de la herramienta soporte de viga así como el eje del motor que se debe mantener equilibrado.



Figura 10. Ubicación de soporte.

Capítulo 2. QFD y su aplicación

2.1 Introducción

La siguiente información relacionada con el despliegue de las funciones de calidad se toma de la referencia 8.

DESPLIEGUE DE LAS FUNCIONES DE CALIDAD:

El despliegue de funciones de calidad (QFD) es una metodología que tiene como objetivo integrar los requerimientos y expectativas de los clientes al proceso de diseño.

En octubre de 1983, Yoji Akao uno de sus creadores, introdujo el QFD en Estados Unidos de Norteamérica en un breve artículo que apareció en *Quality Progress*, revista mensual American Society for Quality Control, desde entonces se ha venido consolidando en la industria norteamericana como la metodología más poderosa para poner en relieve los requerimientos de calidad del producto.

Aunque el enfoque más difundido del QFD se refieren al proceso del diseño, esta metodología trasciende a todas las etapas del desarrollo del producto: diseño, producción, control.

¿Qué son las funciones de calidad?

Las funciones de calidad son todas las actividades que contribuyen al diseño y fabricación de un producto o un servicio con excelentes prestaciones.

Despliegue de función de calidad

El objetivo primordial del QFD es la mejora de la calidad de los productos, por lo que algunos aspectos esenciales del QFD pueden señalarse como:

- ✦ El QFD es una metodología para planificar el proceso de diseño que eslabona al cliente con las empresas.

- ✈ Los datos iniciales del proceso de diseño son los requerimientos y expectativas de los clientes. Esto significa escuchar la voz del cliente.
- ✈ Los requerimientos y expectativas de los clientes deben traducirse en metas de diseño plenamente mensurables.
- ✈ El QFD utiliza gráficos para desplegar información relevante.
- ✈ El QFD permite identificar las herramientas de diseño apropiadas al problema en el proceso de solución

2.2 Metodología del QFD

La metodología del QFD consiste en seis pasos mostrados en la figura 11

A continuación se explican brevemente los aspectos más relevantes de los pasos que se emplean en esta metodología.



Figura 11 Los seis pasos del QFD

2.2.1 Primer Paso. Identificación del cliente

Para Juran, un cliente es "todo aquel que sea impactado por el producto o por el proceso".

Los clientes se clasifican de la siguiente manera:

✦ Clientes externos

Son impactados por el producto pero no son miembros de la compañía que lo produce. Los clientes externos incluyen a quienes compran el producto, instituciones gubernamentales, y al público en general

✦ Cliente interno

Son impactados por el proceso y también son miembros de la compañía que lo produce. En general se les considera como clientes aunque no corresponden exactamente al sentido literal de la palabra cliente.

2.2.2 Segundo paso. Determinación de los requerimientos y expectativas del cliente

Una vez identificados los clientes del proyecto, el siguiente paso consiste en determinar cuáles son sus requerimientos y expectativas para saber qué es lo que se debería diseñar.

Es previsible que el cliente-consumidor desee entre otras cosas que el producto funcione correctamente, que sea durable, que su mantenimiento sea fácil, que se vea atractivo, que tenga incorporada a las últimas tecnologías, y que ofrezcan muchas características, además que su precio sea correcto.

El cliente productor desea normalmente que el producto sea fácil de fabricar y ensamblar que las tolerancias de fabricación sean las más amplias posibles, que los medios de producción necesarios (mano de obra, maquinaria, equipo y materiales), que se puedan utilizar las instalaciones existentes y los procesos de fabricación ya dominados. Que produzca el mínimo de desperdicio y rechazo de producción. Que no involucre materiales y procesos que causen problemas ante las leyes ambientales.

El cliente comercializador espera que el producto tenga gran aceptación en el mercado, que cumpla todos los requerimientos de los clientes, que

se vea atractivo que se pueda empacar, trasportar, almacenar, y exhibir fácilmente.

El cliente-patrocinador espera que el producto se convierta en un gran negocio que le reporte utilidades elevadas. Que no tenga que invertir fuertes sumas de dinero y que por lo contrario, pueda obtener altos ingresos. Que el producto logre permanecer por largo tiempo en el mercado. Que el lapso de desarrollo del producto sea breve.

2.2.3 Tercer paso. Determinar la importancia relativa de los requerimientos y expectativas de los clientes

No todos los requerimientos y expectativas del cliente tienen el mismo grado de importancia. Hay algunos cuyo cumplimiento es completamente indispensable; sin ellos el producto no podría considerarse satisfactorio en ningún grado. A este tipo de requerimientos se les clasifica como obligatorios. Otros en cambio, se admiten cierta flexibilidad, de manera que su cumplimiento puede ser únicamente parcial. Si no se cumplen en su totalidad, el producto puede considerarse aun satisfactorio. A este tipo de requerimientos se les considera como deseables.

El primer paso consiste en separar los requerimientos obligatorios de los deseables.

A los requerimientos obligatorios se les asignara el mismo grado de prioridad; es decir, todos ellos tienen el mismo nivel de importancia y de esfuerzo del equipo de diseño deberán aplicarse para su cumplimiento total.

La verdadera ponderación se aplica a los requerimientos deseables. Para ello se recomienda la aplicación de la comparación por pares; este procedimiento consiste en comparar cada uno de los requerimientos con el resto.

Esta comparación debe hacerse sobre la base de que cada requerimiento es más importante o menos importante que aquel que se está comparando; por lo tanto, no se acepta que dos requerimientos tengan el mismo grado de importancia.

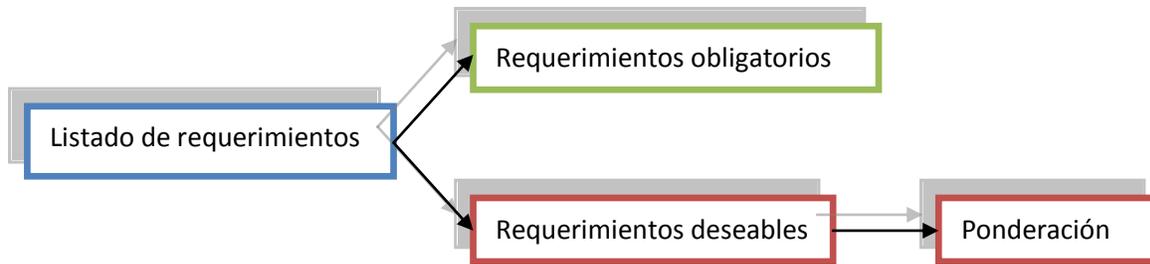


Figura 12 Separación de requerimientos en obligatorios y deseables

Con objeto de que efectivamente la voz del cliente se integre al proceso de diseño

La identificación de los requerimientos obligatorios y deseables, así como la ponderación de los requerimientos deseables se debe realizar siempre en conjunto con el cliente. El resultado de la comparación se puede registrar en una matriz como la figura 12.

La parte principal de la matriz consta de cierto número de renglones y de igual número de columnas. En cada renglón se anota, un requerimiento se compara, se le asigna in signo (+) si es importante y si es menos importante, se le asigna un signo (-). El resto de las casillas se anota con un (0).

A la derecha del renglón se anota la suma de los signos (+) de cada requerimiento.

En el extremo del renglón, se registra el valor relativo de la importancia de cada uno de los requerimientos. Este valor relativo se calcula dividiendo el total de signos (+) del requerimiento entre el número total de comparación C , y se puede expresar en porcentaje al multiplicar el resultado por 100.

Si N es numero de requerimientos deseables, entonces la cantidad de posibles comparaciones C es igual a:

$$C = \frac{N(N - 1)}{2}$$

Entonces la cantidad de comparaciones para el ejemplo figura 13, será

$$C = \frac{6(6 - 1)}{2} = 15$$

El requerimiento identificado con la letra a, es más importante que los requerimientos "b", "c", "d" y "f", y solo es menos importante que el requerimiento "e". El total de signos (+) para "a", es 4, entonces la importancia relativa I_r , se calcula con:

$$I_r = (4/15) * 100 = 26.66\%$$

Tabla 5. Ejemplo de ponderación de requerimientos.

	a	B	c	D	E	F	Suma (+)	I_r (%)
a	0	+	+	+	-	+	4	26.66
b	-	0	+	-	-	+	2	13.33
c	-	-	0	+	-	-	1	6.66
d	-	+	-	0	+	-	2	13.33
e	+	+	+	-	0	+	4	26.66
f	-	-	+	+	-	0	2	13.33
						Total	Suma=15	Suma=100%

Por otra parte, el requerimiento "c" solo tiene mayor importancia que el requerimiento "d", ante los demás fue calculado como menos importante. La suma de de signos (+) sobre el renglón es 1, por lo que la importancia relativa I_r resulta $I_r = (1/15) * 100 = 6,66\%$.

"a" y "e" son los requerimientos deseables más importantes, con mayor importancia relativa del 26,66, en tanto que el requerimiento menos importante es el identificado con la letra "c", con una importancia relativa del 6,66%. Los requerimientos "d", "d" y "f" tienen la misma importancia relativa del 13,33. Estos resultados deberán proporcionar bases al equipo de diseño para dosificar sus esfuerzos en proporción directa a la importancia relativa de cada requerimiento.

2.2.4 Cuarto paso: Estudio comparativo a productos de la competencia

El estudio comparativo debe hacerse tomando como referencia a los productos líderes.

En las etapas iniciales de desarrollo de un producto cuyo proyecto apenas está en gestación, se tiene pocos elementos como para incluirlo en el proceso de comparación con productos ya existen en el mercado.

Sería poco objetivo comparar algo, que apenas está en proceso de clarificación, con productos físicos formados de materia y que tienen definidas sus características funcionales.

En cambio cuando se trata del rediseño de un producto que ya ha estado a la venta en el mercado, la comparación si puede llevarse a cabo al mismo nivel de abstracción.

En cuanto a elementos de comparación necesarios para llevar a cabo la evaluación, se pueden considerar dos aspectos. Los requerimientos expresados por los clientes pueden ser medibles y subjetivos.

Los requerimientos medibles son fácilmente comparables. Por ejemplo si se trata de evaluar la capacidad de varios sistemas de elevación para cargar un peso de 1500 Kg, es fácil identificar cuáles de estos sistemas cumplen con este requerimiento.

En cambio los requerimientos subjetivos deben evaluarse con ayuda de los mismos clientes. Este tipo de requerimientos no son directamente medibles y por lo tanto su evaluación no se basa en una métrica. Por ejemplo, si el requerimiento se expresa como, "que se instale fácilmente", será mejor que sean los mismos clientes, deben este estado del avance del proyecto, quienes identifiquen cuales productos de la competencia cumplen mejor con el requerimiento.

Para apoyar la evaluación se puede utilizar algún sistema de calificación, como el siguiente basado en una escala del 1 al 5, donde:

- 1- El diseño no cumple en lo absoluto con el requerimiento.
- 2- El diseño cumple ligeramente con el requerimiento.
- 3- El diseño cumple medianamente con el requerimiento.
- 4- El diseño cumple casi en su totalidad con el requerimiento.
- 5- El diseño cumple total mente con el requerimiento.

Aunque esta no es una forma muy refinada de hacer la evaluación, sí proporciona una buena referencia de cómo los clientes perciben la calidad de los productos de la competencia.

2.2.5 Quinto paso. Traducción de los requerimientos y expectativas de los clientes en términos mensurables de ingeniería

En algunos casos los requerimientos del cliente están planteados en términos técnicos perfectamente mesurables para los cuales no es necesario hacer alguna traducción.

En otros casos es necesario escudriñar en el significado de a fin de que se pueda expresar en uno o más términos mensurables de ingeniería. A estos términos de ingeniería también se les llama "especificaciones de diseño".

Del resultado de la traducción de requerimientos hay dos observaciones que conviene plantear, una se refiere a la cantidad de requerimientos obtenidos; la otra a la relación que en efecto puedan tener esos requerimientos con el proceso de diseño de un producto particular.

Ya que el ejemplo desarrollado anteriormente no es específico de algún producto en particular, cabe especular con mucha libertad. Por esta razón los posibles precursores de "que se instalen fácilmente" son diversos y numerosos.

Al tratar con un problema específico es probable que varios de los términos mensurables se puedan descartar antes de pasarlos a la gráfica de despliegues de función calidad, o bien que la lista se tenga que ampliar más.

Lo importante de este análisis es que sea exhaustiva, para no dejar fuera algún aspecto importante, y que de la lista se defina, como ayuda del cliente, cuáles son los términos verdaderamente relevantes.

Este tipo de diferencias deben ser detectadas oportunamente por el equipo de diseño.

2.2.6 Sexto paso. Establecer metas de diseño

El sexto y último paso de la metodología QFD consiste en fijar las metas de diseño. Cada meta de diseño debe expresar una característica medible que debería tener el producto, y que se debe alcanzar a través del proceso de diseño.

El establecimiento de las metas de diseño se lleva a cabo tomando en cuenta:

- Los requerimientos del cliente.
- Las características de los productos de la competencia.
- El valor agregado que se desea imprimir al nuevo producto.

Cuando algunos requerimientos del cliente son suficientemente precisos, se convierten directamente en metas de diseño.

En otros casos, como se ha comentado, los requerimientos del cliente deben someterse a un proceso de traducción y durante este, surgen los términos medibles que dan lugar a la fijación de metas

Sin embargo, para asignar el valor a cada meta, las referencias se obtienen de las características de los productos de la competencia.

Esto implica por lo general la necesidad de adquirir ejemplos de los productos de la competencia para efectuarles pruebas bajo condiciones similares a las que se someterá el producto en desarrollo.

La aplicación de la metodología del QFD y la organización de la información generada, presentada en los gráficos despliegue de funciones calidad, debe permitir la comprensión completa del problema de diseño. En adelante se tendrán las bases para planificar las siguientes etapas del proceso de desarrollo del producto. Se tendrán los elementos de juicio, en función de los requerimientos identificados, para decidir qué tipo de herramienta de diseño emplear en las siguientes etapas: diseño de experimentos, diseño de manufactura y el ensamble, diseño para la fiabilidad, etc.

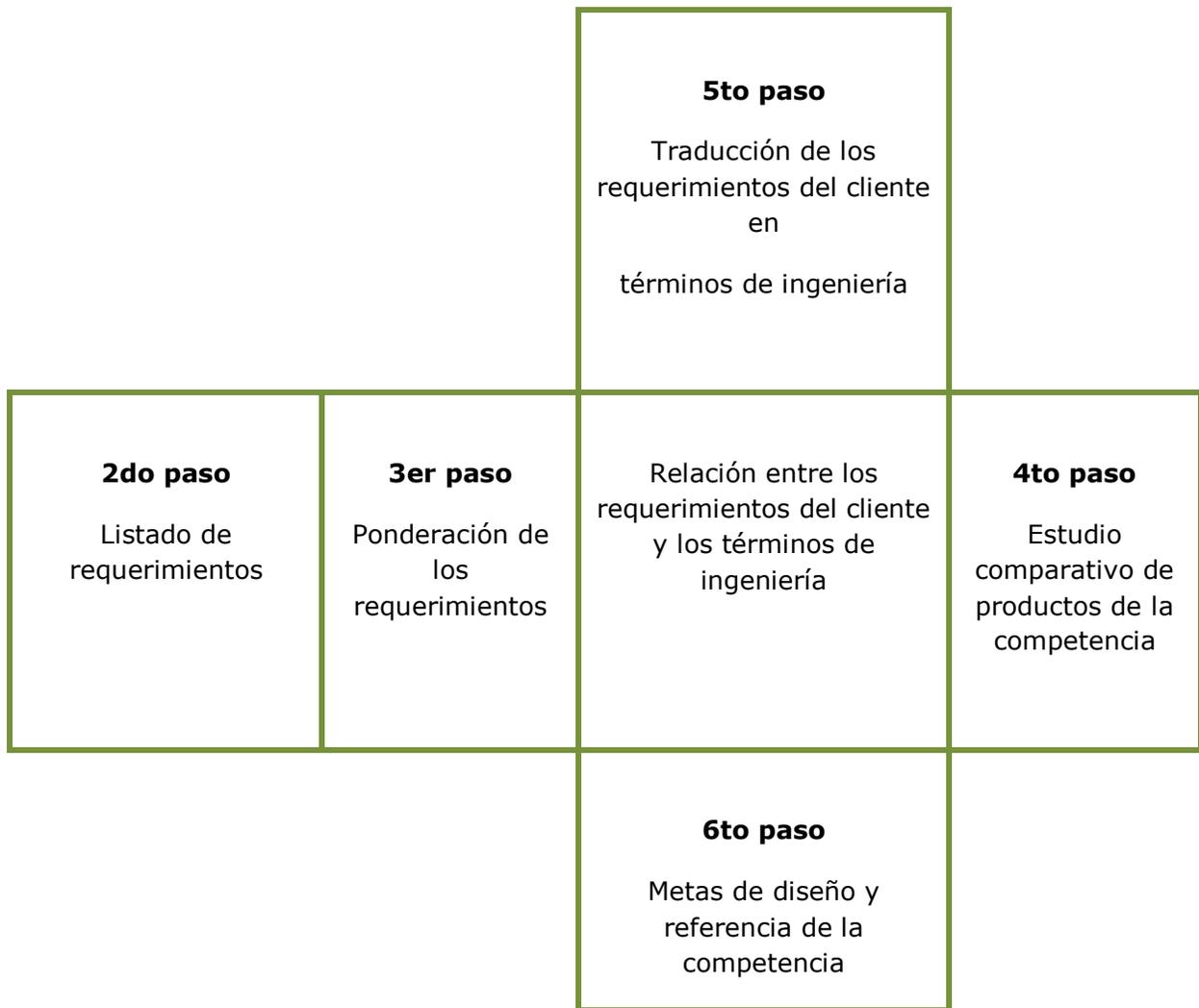


Figura 13. Construcción del gráfico de despliegue de calidad.

2.3 Aplicación del QFD para el diseño y fabricación de Soporte de viga para la manipulación del modulo 05- Reductor de caja de engranes

A continuación se aplicará la metodología del QFD para el soporte de viga.

Primer Paso, Identificación del cliente

Tabla 6. Identificación del cliente

Cliente interno	Cliente externo
 Estudiantes de la ESIME Ticomán de Ingeniería Aeronáutica que desarrollan el proyecto "Diseño y Fabricación del soporte de Viga para la manipulación del modulo 05- Reductor de caja de engranes".	 Asesores de Tesis  Personal de mantenimiento del laboratorio de Sistemas de Aeronaves y Helicópteros  Jefe de laboratorio de helicópteros (Ing. Rubén Obregón Suarez)

Segundo Paso, Determinación de los requerimientos y expectativas del cliente

Listado general de requerimientos dictados por el Ing. Rubén Obregón Suarez.

1. Debe ser fácil y rápida su colocación para la manipulación del modulo 05.
2. La herramienta debe operar de forma segura.
3. Que sea fácil de reparar.
4. Que tenga un tiempo mínimo de fabricación.
5. Las geometrías deben ser fácil de maquinar.
6. La fabricación se realice con equipo y herramientas de la Escuela.
7. Los materiales utilizados para la fabricación del soporte de viga deben ser comerciales.
8. Utilizar los instrumentos de medición disponibles en la Escuela.
9. La remoción en la fabricación debe ser mínima.
10. El ensamblaje de la herramienta debe ser sencillo y utilizando herramientas comunes.
11. La herramienta no debe ocupar espacio.

12. La herramienta debe ser ligera para su manipulación.
13. La herramienta debe poseer rigidez suficiente.
14. Material que soporte el peso del motor y su propio peso.

Una vez que se obtuvieron los requerimientos y expectativas del cliente, se agrupan dichas especificaciones de acuerdo a las siguientes divisiones:

-  Desempeño Funcional
-  Estructurales
-  Manufactura
-  Económicos
-  Seguridad
-  Tiempo
-  Mantenimiento

Tabla 7. Agrupación de Requerimientos.

Agrupación de Requerimientos		
Grupo	Núm.	Requerimientos del cliente
Desempeño Funcional	1	Debe ser fácil y rápida su colocación para la manipulación del modulo 05.
	2	La herramienta debe ser ligera para su manipulación.
Estructurales	3	La herramienta debe poseer rigidez suficiente.
	4	Material que soporte el peso del motor y su propio peso.
Manufactura	5	La remoción en la fabricación debe ser mínima.
	6	Las geometrías deben ser fáciles de maquinar.
	7	El ensamblaje de la herramienta debe ser sencillo y utilizando herramientas comunes.
	8	Que tenga un tiempo mínimo de fabricación.
	9	Utilizar los instrumentos de medición disponibles en la Escuela.
Económicos	10	Los materiales utilizados para la fabricación del soporte de viga deben ser comerciales.
	11	La fabricación se realice con equipo y herramientas de la escuela.
Mantenimiento	12	Que sea fácil de reparar.
	13	La herramienta no debe ocupar espacio.
Seguridad	14	La herramienta debe operar de forma

segura.

Tercer Paso, Determinar la importancia de los requerimientos y expectativas de los clientes

Una vez terminada la agrupación se procede a clasificar los requerimientos en deseables y obligatorios.

Tabla 8. Importancia de los requerimientos.

Importancia de los Requerimientos				
Requerimientos del Cliente	Mesurable		Obligatorio	
	Si	no	Si	no
Debe ser fácil y rápida su colocación para la manipulación del modulo 05		X		X
La herramienta debe ser ligera para su manipulación	X			X
La herramienta debe poseer rigidez suficiente		X	X	
Material que soporte el peso del motor y su propio peso		X	X	
La remoción en la fabricación debe ser mínima		X		x
Las geometrías deben ser fácil de maquinar		X		X
El ensamblaje de la herramienta debe ser sencillo y utilizando herramientas comunes	X			X
Que tenga un tiempo mínimo de fabricación	X			X
Utilizar los instrumentos de medición disponibles en la escuela	X		X	
Los materiales utilizados para la fabricación del soporte de viga deben ser comerciales	X		X	
La fabricación se realice con equipo y herramientas de la escuela		X	X	
Que sea fácil de reparar		X		X
La herramienta no debe ocupar espacio		X		X
La herramienta debe operar de forma segura		X	X	

El criterio para decir que son mesurables es si se tiene un valor medible de los requerimientos.

Ahora que se cuenta con el conocimiento de si los requerimientos son obligatorios o deseables se dará un nivel de importancia o calificación a los requerimientos deseables. Los requerimientos serán abreviados de la forma siguiente.

Tabla 9. Ponderación de los requerimientos.

Ponderación de requerimientos deseables											
Requerimientos deseables											
Núm.  		1	2	5	6	7	8	12	13	Suma	%
1	Fácil y rápida colocación	0	+	+	+	+	+	-	-	5	18.51
2	Ligera	-	0	+	-	+	-	+	+	4	14.81
5	Remoción mínima	-	-	0	+	-	+	-	-	2	7.40
6	Geometrías simples	-	+	-	0	+	-	+	-	3	11.11
7	Ensamble sencillo	-	-	+	-	0	+	-	+	3	11.11
8	Tiempo de Fabricación	-	+	-	+	-	0	+	-	3	11.11
12	Fácil de reparar	+	-	+	-	+	-	0	+	4	14.81
13	Poco espacio	+	-	-	+	-	+	-	0	3	11.11
Suma										27	100

De acuerdo al porcentaje obtenido para cada requerimiento deseable se sabrá cual es el de mayor importancia. La importancia relativa de acuerdo a los requerimientos deseables se indica en la Tabla 10.

Tabla 10. Porcentaje de importancia.

Numero de requerimiento	Porcentaje de importancia (%)
1	18,51
2,12	14,8
6,7,8,13	11,11
5	7,40

Cuarto Paso, Estudio comparativo a productos de la competencia

El estudio comparativo se realizó con dos soportes de viga.

La primera comparación se llevó a cabo con el soporte proporcionado por Córdores, dicha herramienta es un acople realizado por un taller de Córdores.

La cual no realiza su función pues necesita de una eslinga. Cabe mencionar que esta herramienta se sujeta a una grúa que ejerce la fuerza necesaria para desmontar el modulo 05-Reductor de caja de engranes del motor Arriel 1B.



Figura 14 Soporte para manipulación del M-05.

La segunda comparación se llevó a cabo con la herramienta brida de suspensión que comercializa y fabrica Turbomeca, esta herramienta especial es utilizada para la manipulación del Modulo 05 del motor Arriel 1B. Esta herramienta se sujeta a una grúa que ejerce la fuerza necesaria para desmontar el modulo 05-Reductor de caja de engranes del motor Arriel 1B.



Figura 15. Brida de Suspensión.



Figura 16. Brida de suspensión.

Tabla 11. Estudio comparativo.

Estudio comparativo			
Requerimientos del cliente (abreviados)	Valor		Unidad
	Soporte de Córdones	Soporte de Eurocopter	
Fácil y rápida colocación	20	20	min
Ligera	2	3,5	kg
Remoción mínima	Sin pérdida	Sin pérdida	material
Geometrías simples	Calentaron el material y le dieron forma	Doblado y soldado	
Ensamble sencillo	10	90	min
Tiempo de Fabricación	¼	2 a 3	meses
Fácil de reparar	30	30	min
Poco espacio	70x 20	40 x 20	cm

Las estimaciones del ensamble, tiempo de fabricación y el tiempo utilizado en reparar se hacen en base a conocimiento experimental de los usuarios correspondientes de las herramientas.

Quinto Paso, Traducción de los Requerimientos y Expectativas de los clientes en términos medibles de ingeniería

Figura 17. Traducción del requerimiento "rapidez"

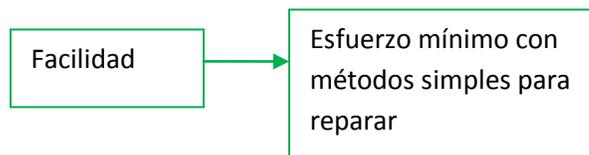
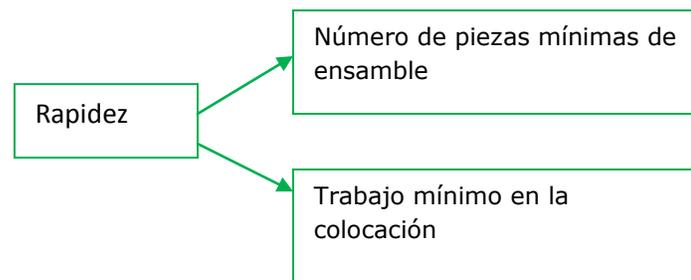


Figura 18. Traducción del requerimiento "facilidad"

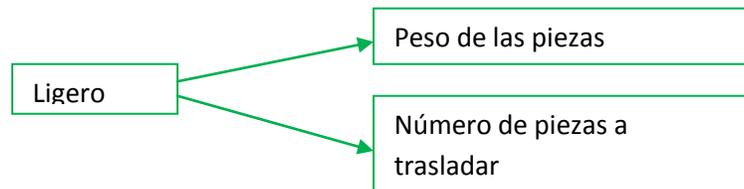


Figura 19. Traducción del requerimiento "ligero"

Rigidez

En ingeniería, la rigidez es la capacidad de un objeto sólido o elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones o desplazamientos. En un resorte la rigidez es la fuerza requerida para producir un alargamiento unitario. Por ejemplo en EI , E es el módulo de elasticidad mientras que I , donde I el momento de inercia es conocido como la rigidez por flexión de una viga la cual es la resistencia de una a la flexión. En el caso de elementos a compresión, EI es también la rigidez por flexión en el plano xy de la columna.

Resistencia

Se define como su capacidad para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse, adquirir deformaciones permanentes o deteriorarse de algún modo.

Un modelo de resistencia de materiales establece una relación entre las fuerzas aplicadas, también llamadas cargas o acciones, y los esfuerzos y desplazamientos inducidos por ellas. Típicamente las simplificaciones geométricas y las restricciones impuestas sobre el modo de aplicación de las cargas hacen que el campo de deformaciones y tensiones sean sencillos de calcular.

Para el diseño mecánico de elementos con geometrías complicadas la resistencia de materiales suele ser insuficiente y es necesario usar técnicas basadas en la teoría de la elasticidad o la mecánica de sólidos deformables más generales

La resistencia mecánica de un elemento es la capacidad que tiene este de reaccionar frente a diferentes acciones externas como puede ser la tensión, la compresión, o el corte.

Tabla 12. Traducción de los requerimientos 1er nivel.

Requerimiento (Primer nivel de traducción)	Interpretación
Rapidez	Que al ser sencillo de ensamblar cualquier persona pueda armarlo en poco tiempo sin recurrir a terceras personas
Facilidad	Se refiere a que pocas piezas darán menos probabilidad de que exista un fallo en el soporte y resulte de complejidad su ensamble
Ligero	Que su peso no sobrepase los 3 kilos pues un peso más elevado no sería practico de montarse en el helicóptero donde se colocara
Rigidez	de acuerdo a anteriores planteamientos que el material no presente deformaciones visibles al mantenerse en ciclo de carga
Resistencia	Las formas deben de concentrar las fuerzas de tal forma que el centro de gravedad se conserve y no se provoque un desbalance y rompimiento
Seguridad	Que las formas en el soporte garanticen que al suspenderse el motor, no caiga sobre el operario y pueda dañarlo.
Remoción de material mínima por fabricación	Es importante optimizar el aprovechamiento del material con pocos procesos de maquinado para no tener que llevar a cabo demasiados procesos de acabado en superficies
Materiales comerciales	Se indica que los materiales se consigan dentro de la zona metropolitana para no realizar órdenes de pedido que conlleven días en recibir el material
Fácil de reparar	Al ser de pocos procesos de fabricación su reparación también debe ser de fácil comprensión (sin necesidad de revisar manuales grandes), puede incluirse en relación al cumplimiento de los dos anteriores requerimientos
Almacenamiento (de poco espacio)	Al observarse el espacio que puede ocupar en el laboratorio de helicópteros se sabe que puede ocupar un espacio no mayor a 1 metro.

Tabla 13. Traducción de requerimientos 2do nivel.

Requerimiento (Segundo nivel de traducción)	Interpretación
Facilidad y rapidez	Significa que se pueda optimizar el tiempo en la forma que es fácil de usarse
Ligero	Significa que si su peso excede los 3 kg dificultaría el cumplimiento del requerimiento anterior
Rigidez	Debe garantizarse que al operarse con el soporte no se generen fallas durante el tiempo que se encuentre en suspensión el motor tales como desajuste de de alguno de sus elementos
Resistencia	Significa que se encuentra validado que se han realizado las pruebas pertinentes sobre el material en el soporte y que resiste la carga del modulo durante el tiempo que se requiera este suspendido
Remoción mínima de material	Se ha propuesto que el material que se compre para la fabricación este planeado para ser utilizado en su totalidad para no generar desperdicios.
Fácil maquinado	Implica que pueda conjuntarse el proceso de fabricación en la Escuela sin necesidad de incurrir en gastos por maquinado de manera externa aunque no es un requisito que obligatoriamente deba de cumplirse pero que sea mínimo.
Ensamblaje sencillo	Se traduce en que si se propone practicidad, también se requiere usar llaves o desarmadores comunes que eviten generar más gastos para el uso del soporte
Tiempo mínimo en fabricación	Garantizarse que el soporte por su baja complejidad pueda fabricarse en un el tiempo que se fije de ser posible disminuirlo
Uso de instrumentos de medición en existencia en la escuela	Significa que los instrumentos con los que se dispone en la escuela tengan la suficiente resolución para medir los parámetros que se requieran
Fácil reparación	Significa que debe tomarse en cuenta la frecuencia de uso al que se someterá el soporte para que no se le tengan que hacer reparaciones continuas
Almacenamiento (reducido)	Que se pueda almacenar en conjunto con otras herramientas y no ocupe más de 1 m ² en su almacenamiento
El soporte debe de operar de forma segura	Quiere decirse que hasta los acabados superficiales en el soporte no ocasionen daños en las manos del operador.

Tabla 14. Traducción de requerimientos.

Traducción de los requerimientos en términos medibles				
Núm.	Requerimientos del Cliente	Primer nivel de Traducción	Valor	Unidad
1	Debe ser fácil y rápida su colocación para la manipulación del modulo 05	Número de piezas	20	s/v
		Restricciones espaciales	32	cm
		Ajustes con holgura	11 en adelante	micras
2	La herramienta debe ser ligera para su manipulación	Peso máximo admitido	4,5	kg
3	La herramienta debe poseer rigidez suficiente	Rigidez material	200	GPa
		Rigidez de la estructura. Momentos de inercia altos o secciones transversales grandes	s/v	GPa, Nm
4	Material que soporte el peso del motor y su propio peso	Resistencia material	360	MPa
5	La remoción en la fabricación debe ser mínima	Sobre-espesores o sobre-medidas	0	cm
		Uso de medidas comerciales	s/v	s/u
6	Las geometrías deben ser fáciles de maquinar	Uso de geometrías comerciales	cuadrados, redondos, soleras	s/u
		Tipos de procesos sin remoción de material	0	cm
		Cantidad de procesos	mínimos	s/u
7	El ensamblaje de la herramienta debe ser sencillo y utilizando herramientas comunes	Ajustes con holgura	11 en adelante	micras
		Cantidad de piezas de ensamble mínima	5	s/u
		Tiempo de ensamble	20	min
8	Que tenga un tiempo mínimo de fabricación	Tiempo mínimo de fabricación	15	días
		Dureza del material	<30	HRC

9	Utilizar los instrumentos de medición disponibles en la escuela	Disponibilidad de instrumentos de medición. Tiempo de espera.	0	días
10	Los materiales utilizados para la fabricación del soporte de viga deben ser comerciales	Disponibilidad de materiales requeridos. Tiempo de espera.	0	días
		Uso de geometrías comerciales	3/16 *2 1/2, 1/4*2 1/2	in
11	La fabricación se realice con equipo y herramientas de la escuela	Herramientas disponibles. Torno, fresadora, dobladora, taladro, cortadora.	s/v	s/u
12	Que sea fácil de reparar	Tiempo empleado en mantenimiento	30	min
		Número de piezas		
		Disponibilidad de materiales requeridos. Tiempo de espera.		
13	La herramienta no debe ocupar espacio	Herramienta adaptable a espacio	70	cm
		Espacio ocupado		
14	La herramienta debe operar de forma segura	Riesgo de accidentes	0	%

Sexto Paso, Establecimiento de las metas de diseño

El último paso es establecer las metas de diseño, las cuales se muestran en la siguiente tabla, para obtener la tabla comparamos las metas de diseño propuestas con los parámetros de diseño de la competencia.

Tabla 15. Metas de diseño.

Metas de Diseño		
Requerimiento	Diseño	Unidad
Tiempo de colocación	15	Min
Número de piezas		
Restricciones espaciales		
Colocación de piezas		
Ensamble		
Peso máximo admitido	4,5	kg
Disponibilidad de dimensiones requeridas	Sin perdida	Material
Geometrías simples	Doblado y corte	Geometría
Complejidad mínima		
Tiempo de ensamblaje	90	Min
Tiempo mínimo de fabricación	35	Días
Fácil fabricación		
Tiempo empleado en mantenimiento	30	Min
Mantenimiento mínimo		
Mantenimiento requerido		
Herramienta adaptable a espacio	70	Cm
Espacio ocupado		

Se realiza el compilado y organización de la información antes analizada en una casa de la calidad.

Tabla 16. Casa de la calidad

Agrupación de Requerimientos			Ir (%)	Traducción de Requerimientos																Valor	Valor	Unidad
Grupo	Núm.	Requerimientos del cliente		Tempo de colocación, Número de piezas, Restricciones espaciales	Peso máximo admitido	Rigidez	Resistencia	Disponibilidad de dimensiones requeridas	Geometrías simples, Complejidad mínima	Tiempo de ensamblaje	Tiempo mínimo de fabricación, Fácil fabricación	Disponibilidad de instrumentos de medición	Disponibilidad de materiales requeridos	Herramientas disponibles	Tiempo empleado en mantenimiento, Mantenimiento mínimo.	Herramienta adaptable a espacio, Espacio ocupado	Uso adecuado, Manipulación segura	Soporte Córdones	Soporte Eurocopter			
Desempeño Funcional	1	Debe ser fácil y rápida su colocación para la manipulación del modulo 05	18,5		F	F										M	F	20	20		min	
	2	La herramienta debe ser ligera para su manipulación	14,8	M	F						M					P	M	2	3.5		kg	
Estructurales	3	La herramienta debe poseer rigidez suficiente			F																	
	4	Material que soporte el peso del motor y su propio peso	İ		F												F					
Manufactura	5	La remoción en la fabricación debe ser mínima	11,11						P									Sin perdida	Sin perdida		material	
	6	Las geometrías deben ser fácil de maquinar	11,11	M						F							P	Calentaron el material y le dieron forma	Fundición			
	7	El ensamblaje de la herramienta debe ser sencillo y utilizando herramientas comunes	7,4								F					M		10	90		min	
	8	Que tenga un tiempo mínimo de fabricación	18,5		F			F			F				P			¼	2 a 3		meses	
	9	Utilizar los instrumentos de medición disponibles en la escuela	İ								P						F					
Económicos	10	Los materiales utilizados para la fabricación del soporte de viga deben ser comerciales	İ				P	P			F											
	11	La fabricación se realice con equipo y herramientas de la escuela	İ				M	M			F					P						
Mantenimiento	12	Que sea fácil de reparar	14,8					M									P	30	30		min	
	13	La herramienta no debe ocupar espacio	3,7	M	F													70x20	40x20		Cm	
Seguridad	14	La herramienta debe operar de forma segura	İ												P	F						
Metas de Diseño			Unidad	Min	kg					min	min	Días				min	cm					
			Diseño	20	3			sin perdida	Doblado y corte	90	35					30	70					
			Eurocopter	20	3.5			sin perdida	Doblado y corte	40	30					30	40					
			Córdones	20	2			sin perdida	Doblado y corte	20	15					30	70					

Requerimiento obligatorio İ

Relación entre los requerimientos	Fuerte	F
	Mediana	M
	Poca	P

Capítulo 3 Diseño conceptual

3.1 Metodología del diseño conceptual

Esta metodología se basa en una estrategia muy simple: “la estructura o la forma siguen a la función”. Esto quiere decir que antes de comenzar con la definición de las formas, es necesario tener identificadas todas las funciones que debe realizar el producto para que responda a las expectativas del cliente. En otras palabras, primero debe definirse el qué, solamente después él como a la forma de la estructura. De esta manera, la metodología de la fase conceptual debe partir de la clarificación de los requerimientos del cliente, para convertirlos en un modelo funcional. A partir de este modelo, que al mismo tiempo representa un conjunto de funciones que es necesario que realice el producto, también se puede interpretar como la fragmentación (descomposición funcional) del problema en su conjunto (función global). Una vez definido el modelo funcional, el siguiente paso consiste en generar conceptos de diseño; es decir, generar las ideas con las cuales se pretende dar la solución a cada una de las funciones definidas en el modelo funcional [Ref9]. El objetivo durante la etapa de generación de ideas es lograr el mayor número de conceptos con la finalidad de obtener aquel que mejor cumpla con los requerimientos que se identificaron en la etapa de QFD del capítulo anterior. Al final de esta fase se deberá tener claro un concepto de diseño que funcionará.

3.1.1 Clarificación de los requerimientos del cliente

La clarificación de los requerimientos tiene como objetivo establecer el enlace entre la primera etapa del proceso de diseño (aplicación del QFD) y la etapa conceptual. Esto implica la revisión de los resultados de la aplicación del despliegue de la función calidad, y la comprensión completa de las metas de diseño establecidas en el grafico del despliegue de la función calidad. Si durante el proceso de revisión se determina que es necesario replantear algún aspecto de los resultados del QFD. Se hace con objeto de no avanzar sin tener perfectamente clara la comprensión del problema.

3.1.2 Función global de servicio del producto

Para el caso del diseño mecánico, una función representa la utilidad o el papel que desempeña un elemento o un conjunto completo (de manera general, un sistema). La función implica una actividad que se realiza o es capaz de realizar el elemento o el conjunto (figura 16). Por lo tanto la función lleva implícita una acción; es decir, alguna transformación que se puede describir en términos de flujos lógicos de materia, de energía, de información o una combinación de ellas

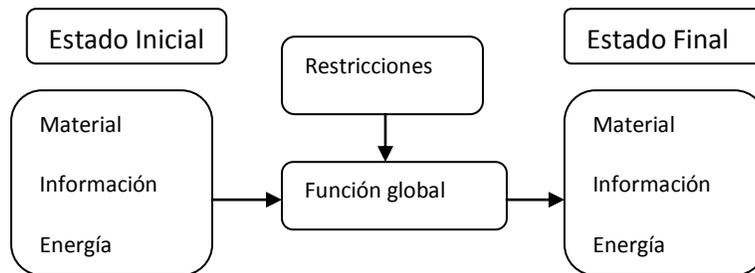


Figura 20. Función global.

3.1.3 Límites del sistema

El producto a diseñar, ya sea que se trate de una pieza o de un conjunto complejo de componentes. Debe ser visto como un sistema por medio del cual lleve a cabo la función global prevista. Como ningún sistema se diseña independientemente de su entorno deben establecerse los límites entre aquello que se va a diseñar y el entorno que lo rodea y restringe, en particular son importantes aquellos elementos del entorno que tiene incidencia sobre la función global.

El entorno de un sistema es el conjunto de los elementos físicos y humanos (materiales, energía, utilizador, reparador, etc.) que están en relación con el producto durante su ciclo de vida.



Figura 21. Límites del sistema.

Las funciones de servicio relacionan al producto en un estudio con uno o más elementos del entorno. Para satisfacer una necesidad se pueden tener una o más funciones de servicio.

Las funciones de servicio listadas una o más son las que le dan existencia al producto. Esta función es la que se considera función global de servicio. Las funciones restantes son consideradas complementarias de la función global [Ref9].

3.1.4 Funciones Técnicas

Para que las funciones de servicio puedan ocurrir, es necesario que en el interior del sistema ocurran funciones; a estas funciones se les llama funciones técnicas.

Una función técnica es una acción interna entre los constituyentes de un producto que resulta del trabajo conceptual del proyectista y del constructor, en el mercado de la solución de las funciones de servicio.

3.1.5 Definición del modelo funcional

Aplicando el principio fundamental de la metodología del "análisis del valor", que consiste en "considerar a un producto como un conjunto de funciones y no como un conjunto de piezas". Esto es, determinar que funciones son necesarias para satisfacer la necesidad del cliente, jerarquizar las diferentes funciones, determinar la relación que debe haber entre ellas y describir esto gráficamente. Para construir el modelo

funcional se puede proceder de manera intuitiva o de manera sistemática. En ambos casos es aconsejable que se desarrolle en equipo, como el resto de actividades del proceso de diseño. Para proceder de manera sistemática se puede aplicar el método conocido como "Análisis Funcional Descendente".

3.1.6 Análisis Funcional Descendente

El Análisis Funcional Descendente es un método para describir gráficamente las funciones de un sistema. Este método se basa en una sucesión coherente de diagramas.

3.1.7 Generación de Conceptos

La generación de conceptos es el tercer paso de la metodología del diseño conceptual. La estrategia a seguir en este punto consiste en generar la mayor cantidad posible de conceptos. Como se ha indicado anteriormente, debe evitarse la tentación de comenzar a evaluarlos conforme se van generando. Ya sea que se trabaje en forma individual o en grupo, es importante que el proceso creativo se disperse libremente y para ello deben evitarse las condiciones que inhiben a los individuos a proponer sus ideas. En este punto, la tendencia de los ingenieros, producto de su naturaleza y su propia formación profesional, al analizar y evaluar de inmediato cada propuesta que escuchan, deberá contenerse para beneficio del proceso de generación de conceptos.

3.1.7.1 Matrices Morfológicas

Hay diferentes maneras de atacar este paso de la metodología. Se puede proceder en forma intuitiva, bosquejando algunas soluciones y organizándolas para evaluarlas posteriormente.

Es un hecho que la mayoría de los diseños de una nueva creación se constituyen a partir de una variación o modificación de productos o máquinas ya existentes. Por otra parte también es frecuente que los consumidores prefieren productos mejorados en lugar de productos completamente novedosos.

La variación de conceptos ya establecidos en una actividad común en el proceso de diseño, y es una forma de activar el pensamiento creativo. En particular la creatividad se puede ver como un nuevo ordenamiento o una nueva combinación de elementos ya existentes. Esto es tan

potencialmente fructífero que aun con pocos elementos se puede lograr un gran número de diferentes opciones.

La morfología es el estudio de la forma y de sus transformaciones. De manera que las matrices morfológicas permiten la búsqueda de nuevas formas de conceptos de diseño. La matriz morfológica se construye a partir de dos entradas: en la columna del lado izquierdo se anotan las funciones que se requieren realizar en el producto (el qué); sobre las diferentes filas se registran las propuestas de solución (el cómo) con las que se considera que se pueden llevar a cabo las diferentes funciones. A partir de allí se efectúan combinaciones para obtener nuevos conceptos.

3.1.8 Evaluación de Conceptos

La evaluación de conceptos es la parte final de la fase del diseño conceptual. Su objetivo consiste en seleccionar el mejor concepto de diseño de entre los que se generaron previamente. La meta consiste en invertir la menor cantidad de recursos para decidir cuál es el concepto idóneo que en la etapa de diseño de detalle se desarrollara por completo hasta convertirlo en un producto definido. El mayor problema de la evaluación se debe al caso de grado de definición de los conceptos; ya que a este nivel se encuentran expresados en forma poco detallada.

3.1.8.1 Evaluación basada en la factibilidad del concepto

Una metodología propuesta es: la basada en la factibilidad del concepto. La primera impresión que produce un concepto en los integrantes del equipo de diseño se puede ubicar en una de las tres siguientes:

1. No es factible, no funciona
2. Tal vez podría funcionar si se hacen algunos ajustes
3. Es muy factible.

Por lo general estos primeros juicios se basan en la experiencia del diseñador, en los conocimientos que ha acumulado durante su vida profesional, en pocas palabras, en su "colmillo". Algunas implicaciones que tienen estas primeras reacciones se describen en los siguientes párrafos:

1.- El concepto no es factible.- Antes de desechar un concepto es conveniente identificar las causas que motivan su rechazo dando respuestas a la pregunta: ¿Por qué no es factible? Las causas pueden ser diversas; por ejemplo, se puede tener la claridad de que tecnológicamente no es factible. Otra causa puede ser que a primera

vista no se cumplen los requerimientos del cliente. También se puede deber a que el concepto es muy diferente a la manera en que se resuelve "normalmente" el problema. O bien, se trata de algo que no es original y no vale la pena tomarse en cuenta.

2.- Factibilidad condicional.- En ocasiones se considera que el concepto podría funcionar a condición de que algo suceda. Por ejemplo, que se pueda tener acceso a la tecnología implicada, que se logre obtener cierta in formación necesaria, o que pueda desarrollarse algún componente del producto.

3.- Concepto digno de consideración. Son aquellos conceptos que de entrada nos parecen que reúnen las características necesarias para pasar entre esta primera técnica de evaluación. Aquí juega un papel esencial los conocimientos y experiencias del diseñador; sin ellos no es posible estructurar u juicio coherente con las características del problema a resolver.

3.2 Aplicación de la metodología del diseño conceptual para el diseño y fabricación de Soporte de Viga para la Manipulación del Módulo 05-Reductor de Caja de Engranés.

3.2.1 Clarificación de los requerimientos del cliente

Como ya se mencionó anteriormente se utilizan las metas de diseño para poder clarificar los requerimientos del cliente.

Tabla 15. Metas de diseño.

Metas de Diseño		
Requerimiento	Diseño	Unidad
Tiempo de colocación	15	Min
Número de piezas		
Restricciones espaciales		
Colocación de piezas		
Ensamble		
Peso máximo admitido	4,5	kg
Disponibilidad de dimensiones requeridas	Sin perdida	Material
Geometrías simples	Doblado y corte	Geometría
Complejidad mínima		
Tiempo de ensamblaje	90	Min
Tiempo mínimo de fabricación	35	Días
Fácil fabricación		
Tiempo empleado en mantenimiento	30	Min
Mantenimiento mínimo		
Mantenimiento requerido		
Herramienta adaptable a espacio	70	Cm
Espacio ocupado		

Que las geometrías sean simples ya que se hará bajo un proceso de maquinado, esperando remoción mínima y fácil acceso para el ensamble. Además de un tiempo de fabricación máximo de 1 mes, así como la fácil utilización de la herramienta y tiempo mínimo de mantenimiento.

3.2.2 Función global

“Mantener el equilibrio del motor Arriel 1B para poder manipular el modulo 05- Reductor de caja de engranes”

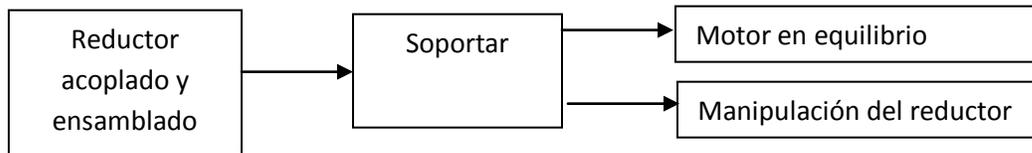


Figura 22. Función global.

3.2.3 Límites del sistema

Los límites del sistema están determinados por las acciones que realiza el usuario, el usuario como tal, el rodamiento y la grúa que aplicará una fuerza.

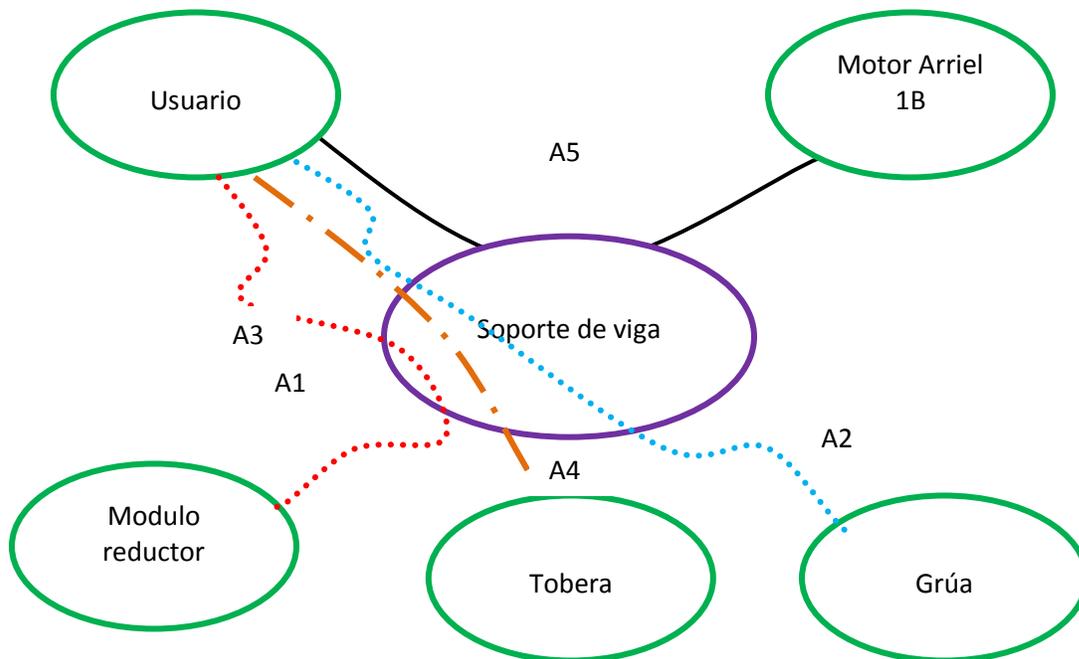


Figura 23. Diagrama de pulpo con los límites del sistema.

3.2.4 Funciones de servicio

Las funciones de servicio para el soporte de viga son las siguientes:

A1: Colocar el soporte en las carcasas de los amortiguadores

A2: El operador adapta una grúa a la herramienta para ejercer una fuerza

A3: El operador manipula el modulo 05- Reductor de caja de engranes y se da equilibrio con el soporte de viga al motor.

A4: Ajustar el soporte de viga de modo que no dañe la tobera.

A5: Equilibrar el motor Arriel 1B

De las funciones de servicio listadas arriba, la A3, denominada "El operador manipula el modulo 05- Reductor de caja de engranes y se da equilibrio con el soporte de viga" es la que da sentido a la existencia del producto llamado soporte de viga, las demás son complementarias de la función global.

3.2.5 Análisis funcional descendente

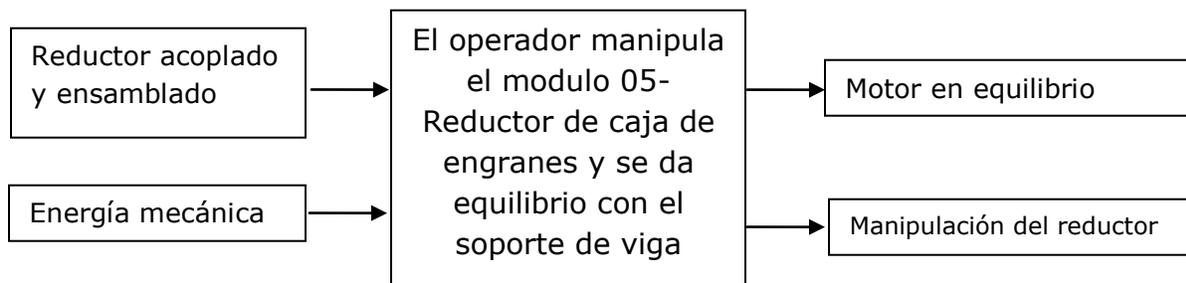


Figura 24. Análisis funcional descendente.

3.2.6 Árbol de funciones

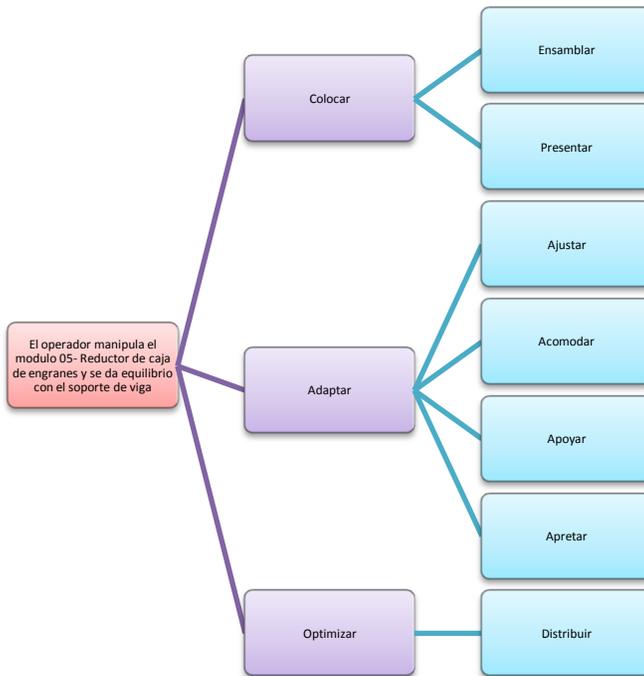


Figura 25. Árbol de funciones

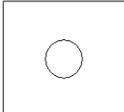
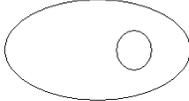
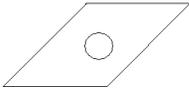
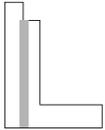
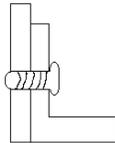
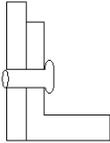
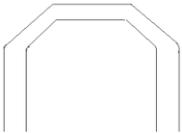
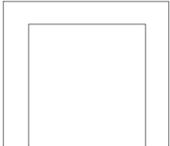
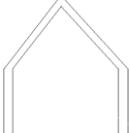
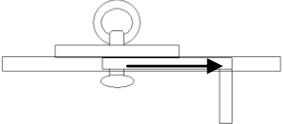
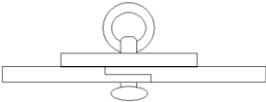
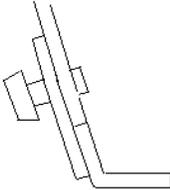
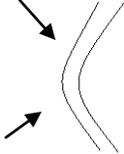
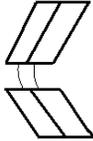
3.2.7 Generación de conceptos- Matrices morfológicas

Tabla 17. Matriz Morfológica.

Función	A	B	C	D	E
Apoyar	Rectangular	Cuadrado	Elipse	Trapezoidal	Triangular
Apretar	Pinzas de presión	Llave española	Llave inglesa	Dados	
Ensamblar	Soldar	Prensado en caliente	Atornillar	Remachar	
Optimizar	Circular	Hexagonal	Rectangular	Triangular	
Colocar	Corrediza con tope	2 piezas	Ensamble de apoyo		
Distribuir	Laminado en frío	Laminado en caliente	Por prensa	Soldadura	

Para mayor comprensión de lo antes mencionado obtenemos una matriz morfológica con gráficos.

Tabla 18. Matriz Morfológica Dibujos

Función	A	B	C	D	E
Apoyar					
Apretar					
Ensamblar					
Optimizar					
Colocar					
Distribuir					

3.2.8 Evaluación de conceptos

Como se mencionó anteriormente de estas combinaciones se empieza a descartar las opciones menos favorables para sólo quedar con los óptimos.

Evaluación por factibilidad

Esta forma de evaluar se basa en la experiencia, y consiste en descartar aquellos conceptos que de entrada se sabe que no son factibles.

Tabla 19. Evaluación por factibilidad.

Opción	No es factible, no funciona.	Tal vez podría funcionar si se hacen algunos ajustes.	Es muy factible
Apoyo A			X
Apoyo B		X	
Apoyo C	X		
Apoyo E	X		
Apriete A		X	
Apriete C		X	
Optimizar A	X		
Optimizar C		X	
Optimizar D	X		
Distribución A		X	
Distribución B	X		
Distribución C	X		
Colocación total A		X	
Colocación total B		X	
Colocación total C		X	
Ensamble A		X	
Ensamble B	X		
Ensamble C			X
Ensamble D		X	

Por medio de restricciones espaciales se analizan los conceptos:

Concepto 1

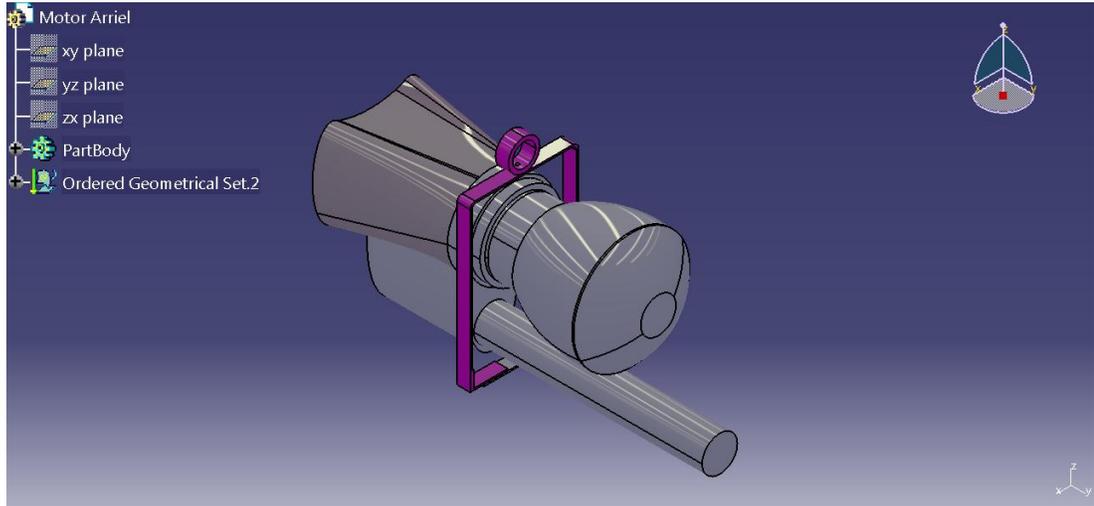


Figura 26. Restricciones espaciales Concepto 1.

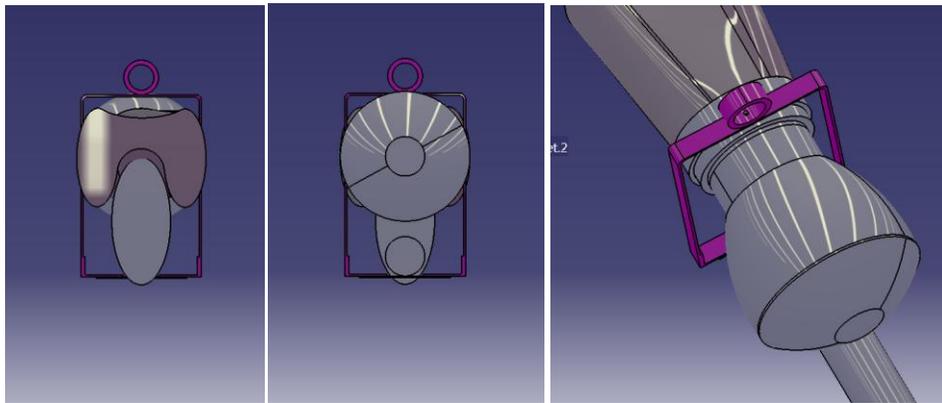


Figura 27. Restricciones espaciales Concepto 1.

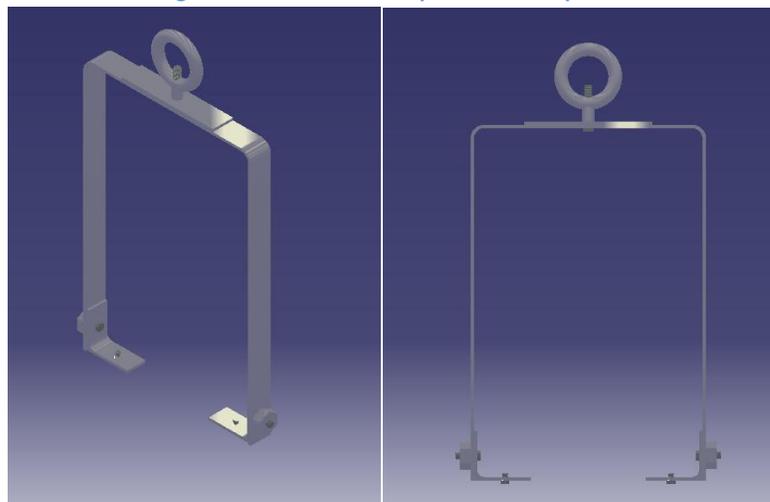


Figura 28. Restricciones espaciales Concepto 1.

En las figuras 25, 26 y 27 se observa el concepto 1 colocado en el motor Arriel 1B para concluir que el concepto 1 no daña algún elemento del motor. El concepto 1 es un marco cuadrado curvado ligeramente en sus escuadras para disminuir concentración de esfuerzos.

Concepto 2

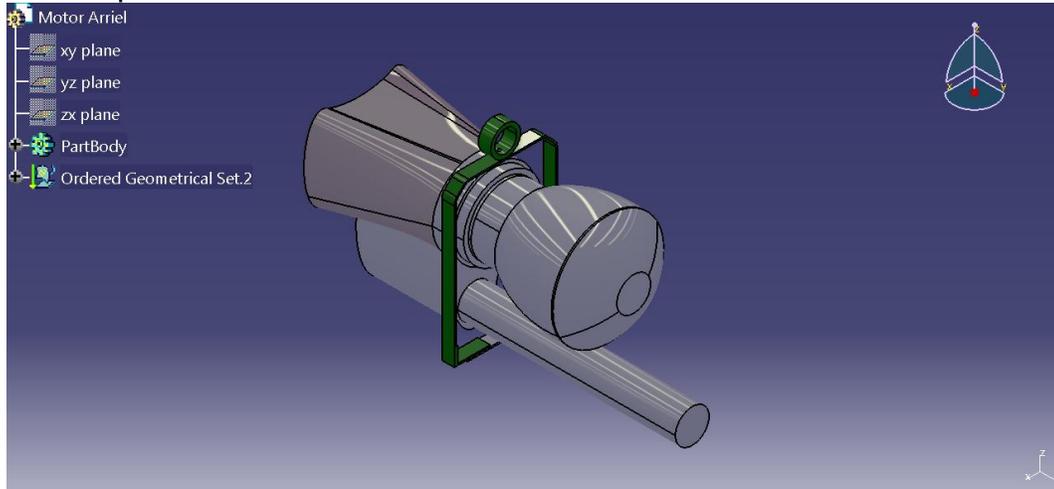


Figura 29. Restricciones espaciales Concepto 2

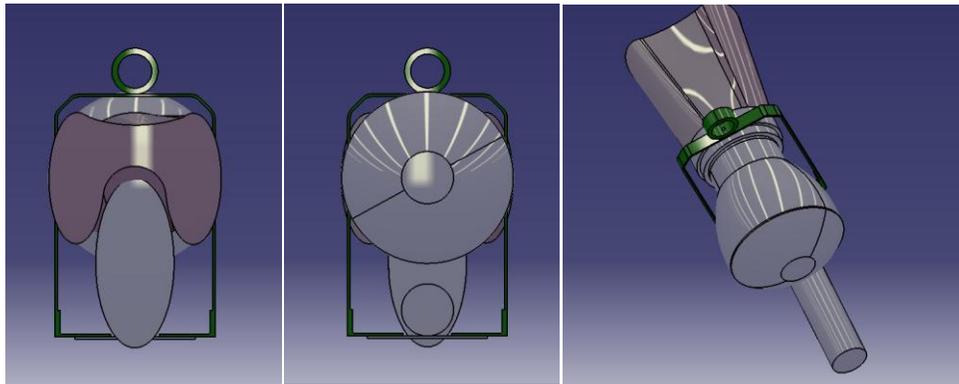


Figura 30. Restricciones espaciales Concepto 2

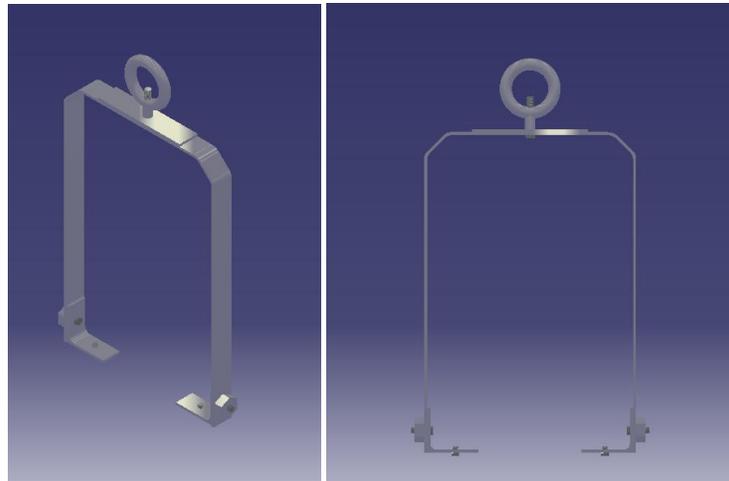


Figura 31. Restricciones espaciales Concepto 2.

El concepto 2 tiene un ángulo pero no colinda con la placa superior, se observa en las Figuras 29 y 30 que no toca el motor por lo tanto puede ser una opción de diseño.

Concepto 3

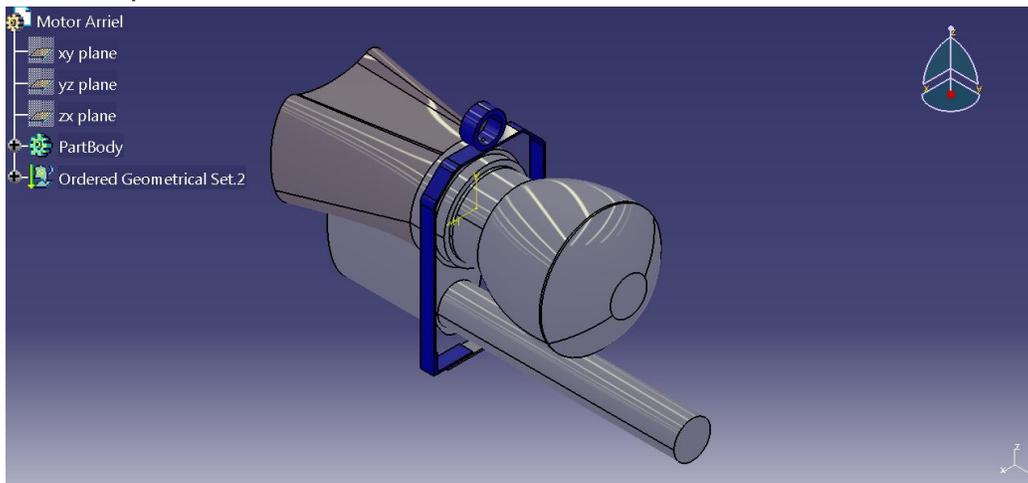


Figura 32. Restricciones espaciales Concepto 3.

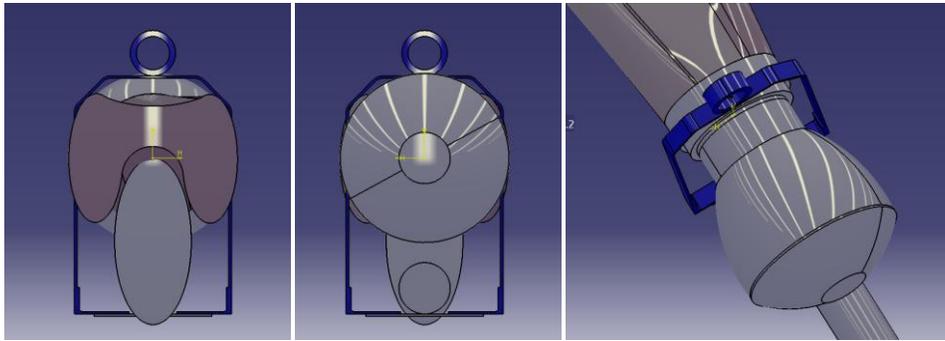


Figura 33. Restricciones espaciales Concepto 3



Figura 34. Restricciones espaciales Concepto 3.

En las figuras 32, 33 y 34 se observa el concepto 3 donde se le da un ángulo mayor al marco con respecto a la placa superior, la forma no daña el motor por lo tanto cumple con las restricciones espaciales.

Concepto 4

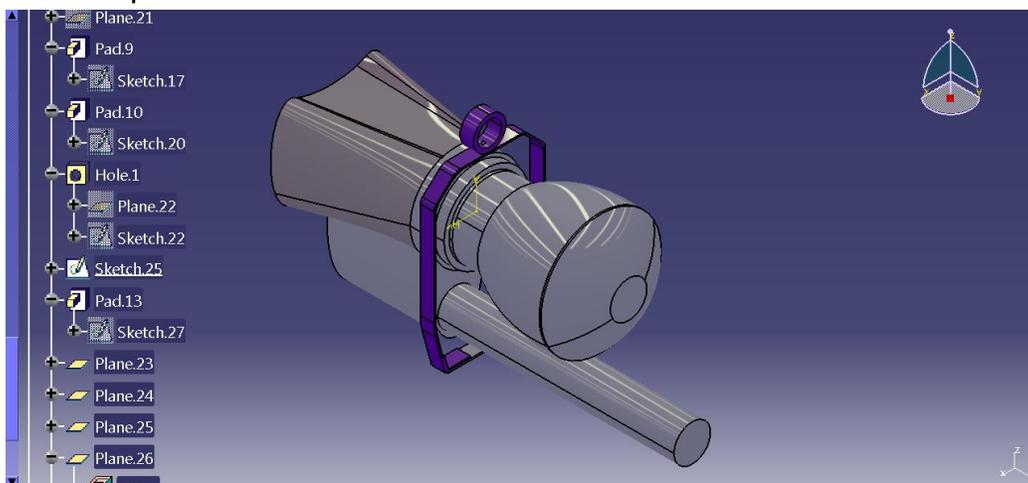


Figura 35. Restricciones espaciales Concepto 4.

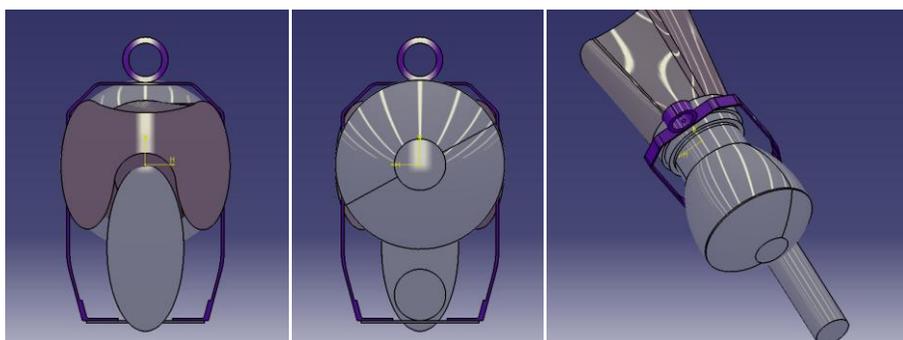


Figura 36. Restricciones espaciales Concepto 4.

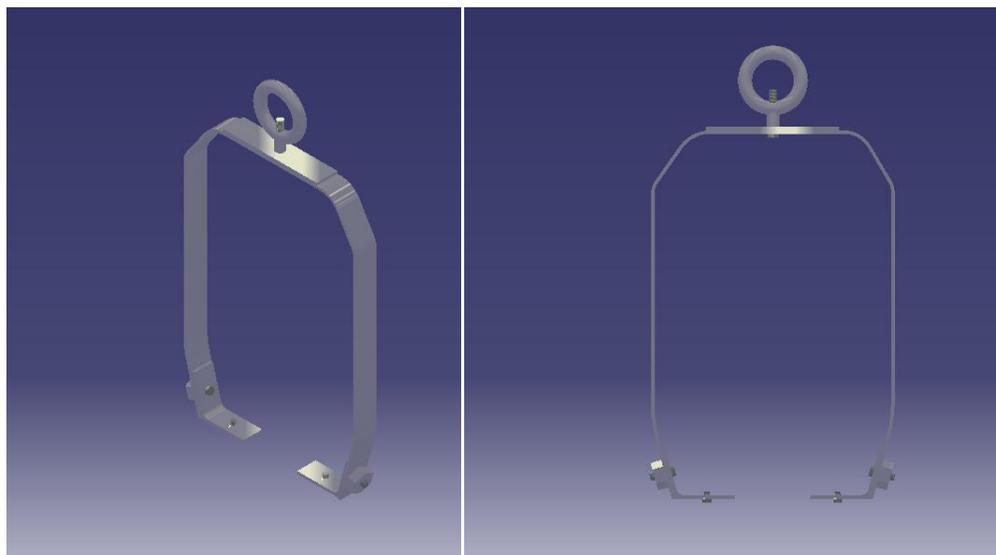


Figura 37. Restricciones espaciales Concepto 4. Elaboración propia.

En las figuras 35,36 y 37 corresponden a diferentes vistas de la forma colocada en el motor Arriel 1B para observar que no dañe o modifique de alguna forma el motor Arriel 1B.

Mediante restricciones espaciales se observa que los 4 conceptos elegidos para este análisis cumplen las restricciones.

Sin embargo por simplicidad de fabricación y por concentración de esfuerzos se elige un solo concepto.

Así se concluye y llegamos a un diseño conceptual apegado a los requerimientos del cliente. En la tabla 20 se muestra la combinación final de las opciones para el concepto elegido.

Tabla 20. Matriz morfológica electa.

Función	A	B	C	D	E
Apoyar	Rectangular	Cuadrado	Elipse	Trapezoidal	Triangular
Apretar	Pinzas de presión	Llave española	Llave inglesa	Dados	
Ensamblar	Soldar	Prensado en caliente	Atornillar	Remachar	
Optimizar	Circular	Hexagonal	Rectangular	Triangular	
Colocar	Corrediza con tope	2 piezas	Ensamble de apoyo		
Distribuir	Laminado en frío	Laminado en caliente	Por prensa	Soldadura	

Obteniendo como resultado la siguiente forma:

❏ Modelo de manufactura



Figura 38. Modelo de manufactura

Capítulo 4 Diseño de Detalle

4.1 Introducción

Para enfocarse a los cálculos del diseño de detalle sobre el soporte se ha tomado la determinación de análisis del mismo analizando todo el elemento en conjunto ya que como se expone a continuación se trata de un marco del cual debe tenerse en cuenta cómo actúan cada una de sus componentes, el tipo de marco se asocia con el marco original modificando algunas características, adecuadas a la forma en la cual se pretende utilizar el soporte.

Para determinar la forma del marco se consideraron restricciones espaciales tomando en cuenta las zonas que deben de respetarse respecto al motor Arriel 1B para no dañar el funcionamiento de algún componente o deformar algún componente del mismo.

4.2 Análisis de funcionamiento de componentes y cálculos implicados.

La siguiente introducción se hace con respecto a los elementos que se usarán en las uniones atornilladas con el amortiguador, con el objetivo de comprender la forma como trabajan los tornillos y plantear su uso en otras uniones del soporte.

Para elementos unidos por tornillos

Una conexión por tornillos se puede definir como:

Conexiones de fricción. En las conexiones que se diseñan como conexiones de fricción se supone que su resistencia primaria se desarrolla como cortante en los conectores (tornillos o remaches) en el plano potencial de deslizamiento entre las partes conectadas. No se desarrollará ningún movimiento relativo entre las partes conectadas hasta que no se exceda sustancialmente la carga de diseño [Ref11].

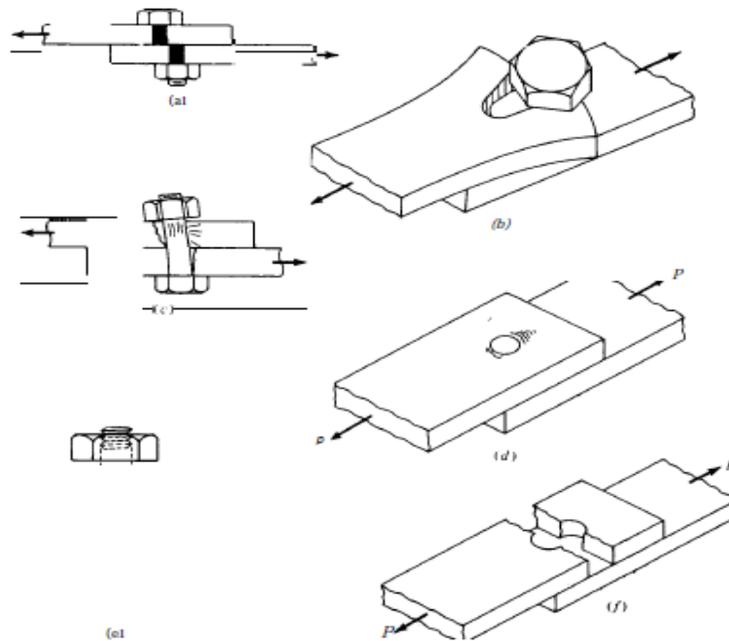


Figura 39. Representación de resistencia en uniones atornilladas. Ref11.

Conexiones de aplastamiento.

Conexiones donde la resistencia de la junta se toma como una combinación de la resistencia a cortante del conector y el aplastamiento del material conectado contra el conector. Este tipo de comportamiento se desarrolla según ocurre suficiente deslizamiento para poner material conectado con la proyección trasera del conector, cerca de la carga de trabajo o diseño, como el cortante del conector es parte de la resistencia en el análisis de la conexión de aplastamiento, el área reducida para cortante de que se dispone para los conectores roscados cuando la rosca esté en cualquiera de los planos de deslizamiento requiere una reducción de la carga de diseño, En la práctica, la presencia de la rosca en el plano de cortante dará por resultado un esfuerzo permisible de diseño más bajo, para el cortante en el sujetador.

El diseño de las conexiones tanto de fricción como de aplastamiento implica el uso de un esfuerzo cortante permisible. Este valor es mucho más bajo para las conexiones de fricción, puesto que no es deseable ningún deslizamiento de la junta bajo las cargas de trabajo. El valor será considerablemente mayor para las conexiones de aplastamiento, ya que se puede tolerar una pequeña cantidad de movimiento relativo entre las partes que forman la junta. Ambos tipos de juntas, además de diseñarse para "cortante", se verifica por rutina para tensión en la

sección neta y para aplastamiento del material conectado contra el conector, este tipo de conexiones sometidas a cortante se presenta en el Soporte de Viga en las uniones de apoyos que se presenta en la figura 38.

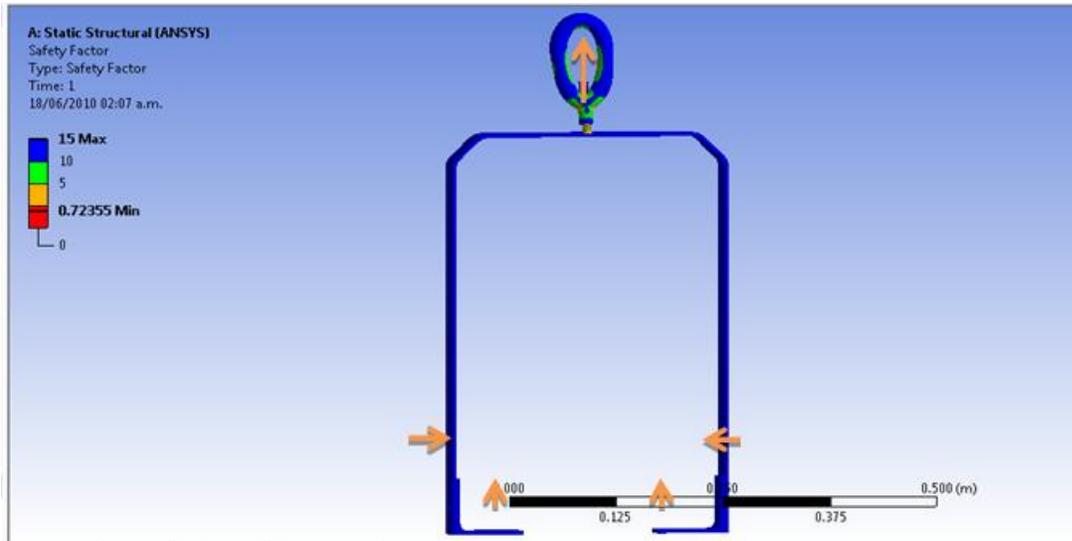


Figura 40. Aplicación de uniones atornilladas en el soporte de viga. Ref12

Existen dos clases generales de tornillos que se usan en las aplicaciones estructurales.

Tipos de tornillos a emplearse
3/8 X 1 1/4"

Ver Anexo 2.

4.3 Elemento finito

4.3.1 Análisis por elemento finito

El análisis por elementos finitos (AEF por sus siglas en inglés para: *Finite Element Analysis*) es una técnica de simulación por computadora usada en ingeniería [Ref10]. El análisis por elementos finitos es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería y física [Ref13].

El AEF está pensado para ser usado en computadoras y permite resolver ecuaciones diferenciales asociadas a un problema físico sobre geometrías complicadas. El FEA se usa en el diseño y mejora de productos y aplicaciones de ingeniería, así como en la simulación de sistemas físicos y biológicos complejos. La variedad de problemas a los que puede aplicarse es muy amplia, siendo el requisito básico que las ecuaciones constitutivas y ecuaciones de evolución temporal del problema a considerar sean conocidas de antemano. La técnica de análisis por elementos finitos (AEF) consiste en dividir la geometría en la que se quiere resolver una ecuación diferencial de un campo escalar o vectorial en un dominio, en pequeños elementos, teniendo en cuenta unas ecuaciones de campo en cada elemento, los elementos del entorno de vecindad y las fuentes generadoras de campo en cada elemento.

El AEF permite obtener una solución numérica aproximada sobre un cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) —sobre el que están definidas ciertas ecuaciones diferenciales en forma débil o integral que caracterizan el comportamiento físico del problema— dividiéndolo en un número elevado de subdominios no-intersectantes entre sí denominados «elementos finitos». El conjunto de elementos finitos forma una partición del dominio también denominada discretización.

4.3.2 Aplicación de Análisis por elemento finito en el soporte de viga

El siguiente soporte se eligió de acuerdo a que no existen demasiados dobleces que pudiesen causar falla en el soporte por concentración de esfuerzos de compresión entre miembros.

Dentro del análisis se pretende encontrar el factor de seguridad que tendrá el marco en el caso de zonas críticas como son los torillos que

actúan bajo cortante, por lo cual a continuación se presentan algunos de los criterios que se toman en cuenta en relación con el factor de seguridad.

El conocimiento de los esfuerzos se utiliza para realizar trabajos según se plantea:

Para poder realizar cualquiera de las anteriores se debe tener conocimiento como se comportará el material que se utilizara en condiciones de carga conocidas. Para un material dado esto se determina realizando pruebas específicas en muestras preparadas del material en el caso del soporte se realizan las primeras pruebas en el software de análisis de ANSYS, posteriormente al conjunto se le someterá a carga, realizando prácticas con el elemento que deberá cargar.

Un elemento estructural o componente de máquina debe diseñarse de modo que su carga última sea bastante mayor que la carga que el elemento o componente cargará en condiciones normales de uso. Esta carga menor es la carga admisible y, a veces, la carga de trabajo y de diseño. Así solo se utiliza una fracción de la carga última del elemento cuando se aplica la carga admisible. El remanente de la capacidad del elemento se deja en reserva para asegurar un desempeño seguro. La relación entre la carga última y la carga admisible última se define como factor de seguridad.

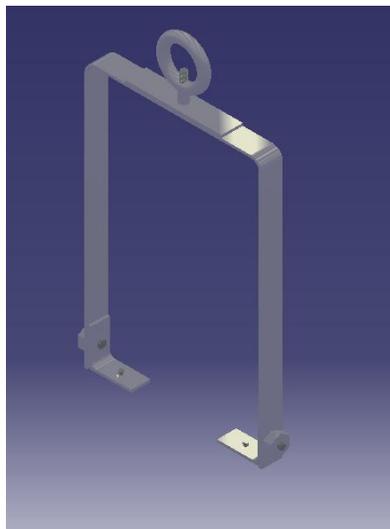


Figura 38. Modelo de manufactura

1.- Se crea un modelo en el software de Ansys-Workbench, el modelo también puede importarse de algún otro software con extensión .stp como fue el caso para el soporte de viga el programa del cual se importó de Catia.

2.-En el software donde se creó el soporte pueden establecerse las condiciones del tipo de material o se puede definir en el software donde se va a realizar el análisis

3.-Posteriormente que el soporte este trasladado al software de análisis se definieron las restricciones en cuanto a desplazamientos, apoyos y cargas.

4.-Al haberse restringido el soporte, se va a definir el tipo de análisis que se va a realizar; se eligió realizar un análisis de desplazamientos, análisis para encontrar el factor de seguridad y deformación.

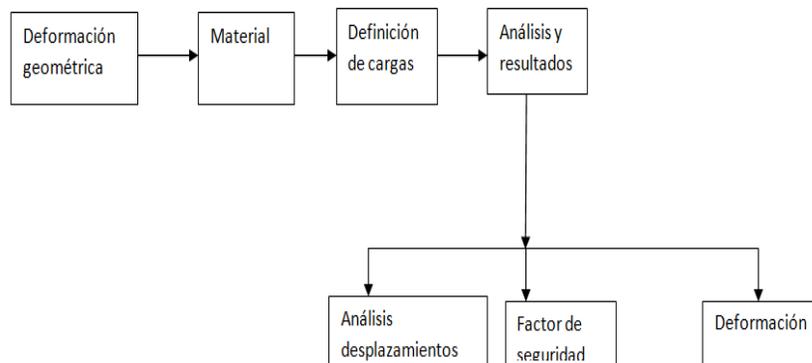


Figura 41. Secuencia de pasos.

4.4 Selección del material

De acuerdo con las consideraciones de cómo trabajará el material se analizaron las propiedades de diferentes tipos de acero de acuerdo a las características requeridas. Ver Anexo 4.

4.5 Modificaciones

El diseño de la herramienta permite una fácil colocación sin desmontar componentes del motor para la manipulación de la herramienta. Ya que para el mantenimiento de la caja de reducción primero se desmonta la tobera de escape del motor para así poder instalar la herramienta convencional.

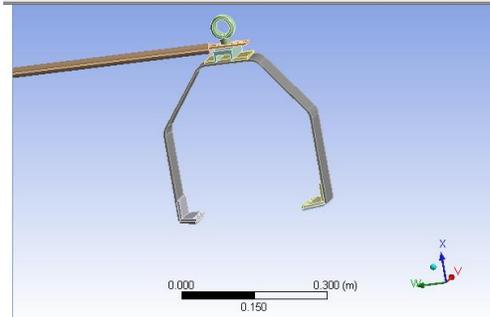


Figura 42. Brida de suspensión. Ref6

Primero se realiza un análisis al soporte proporcionado por Eurocopter para observar su comportamiento. Ver anexo 3

Posteriormente se realizaron pruebas variando el tipo de material y dimensiones de los componentes expuestos a mayor esfuerzo. En base a análisis se observa que el material elegido primeramente se deformaba fácilmente, además de tener desplazamientos considerables. Sin embargo considerando algunos puntos de manufactura se elige Cold Rolled Acero 1018 de $\frac{1}{4}$ y Acero 1018 de $\frac{3}{16}$. Se añaden un par de tornillos en el empalme de las placas en L con el marco (ver figura 44) y se agrega un gancho que sujeta al motor Arriel 1B de un punto ya marcado en el manual de mantenimiento del motor Arriel 1B [Ref6].



Figura 43. Modelo de manufactura final

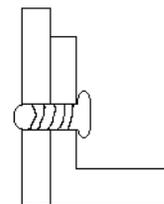
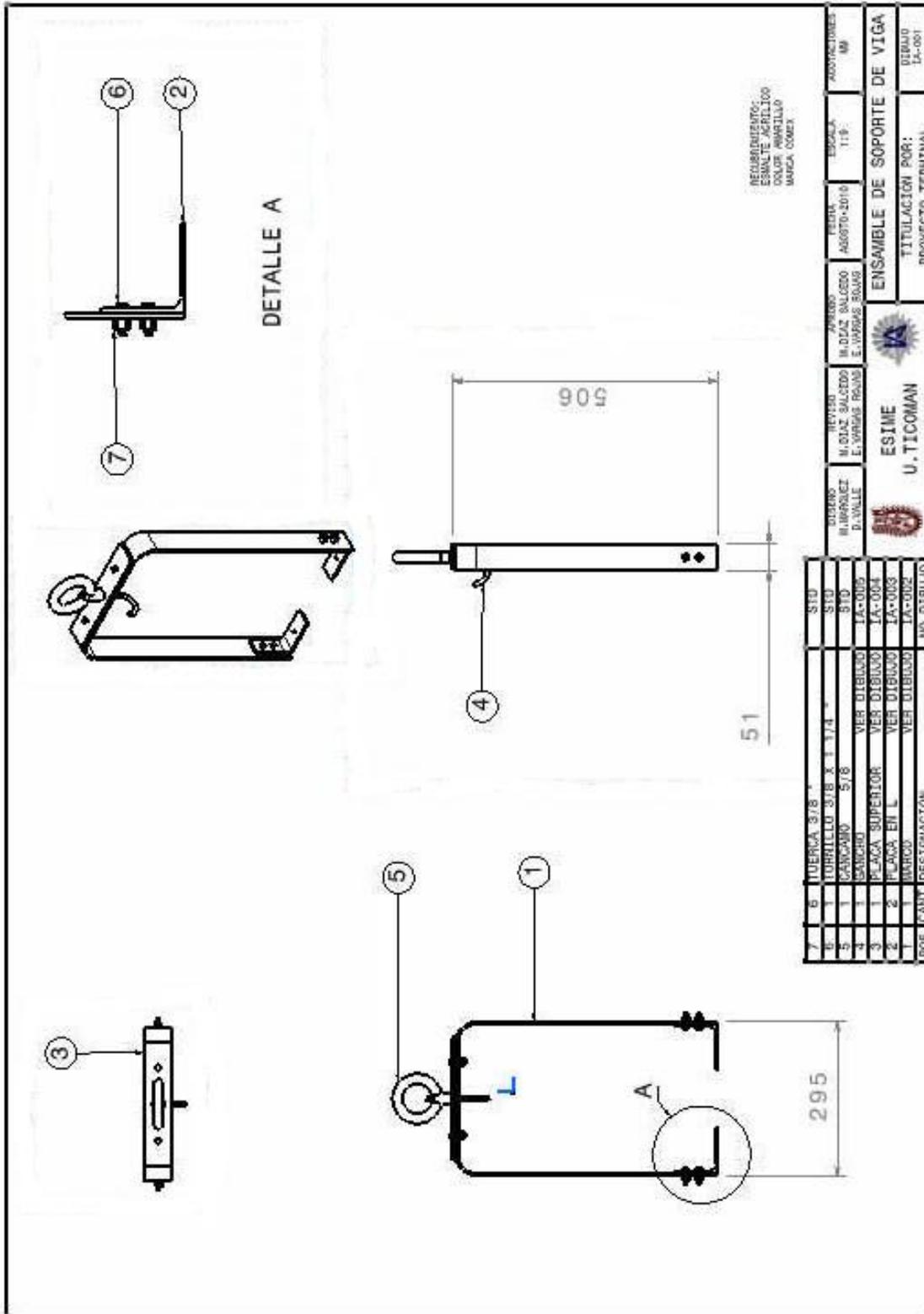


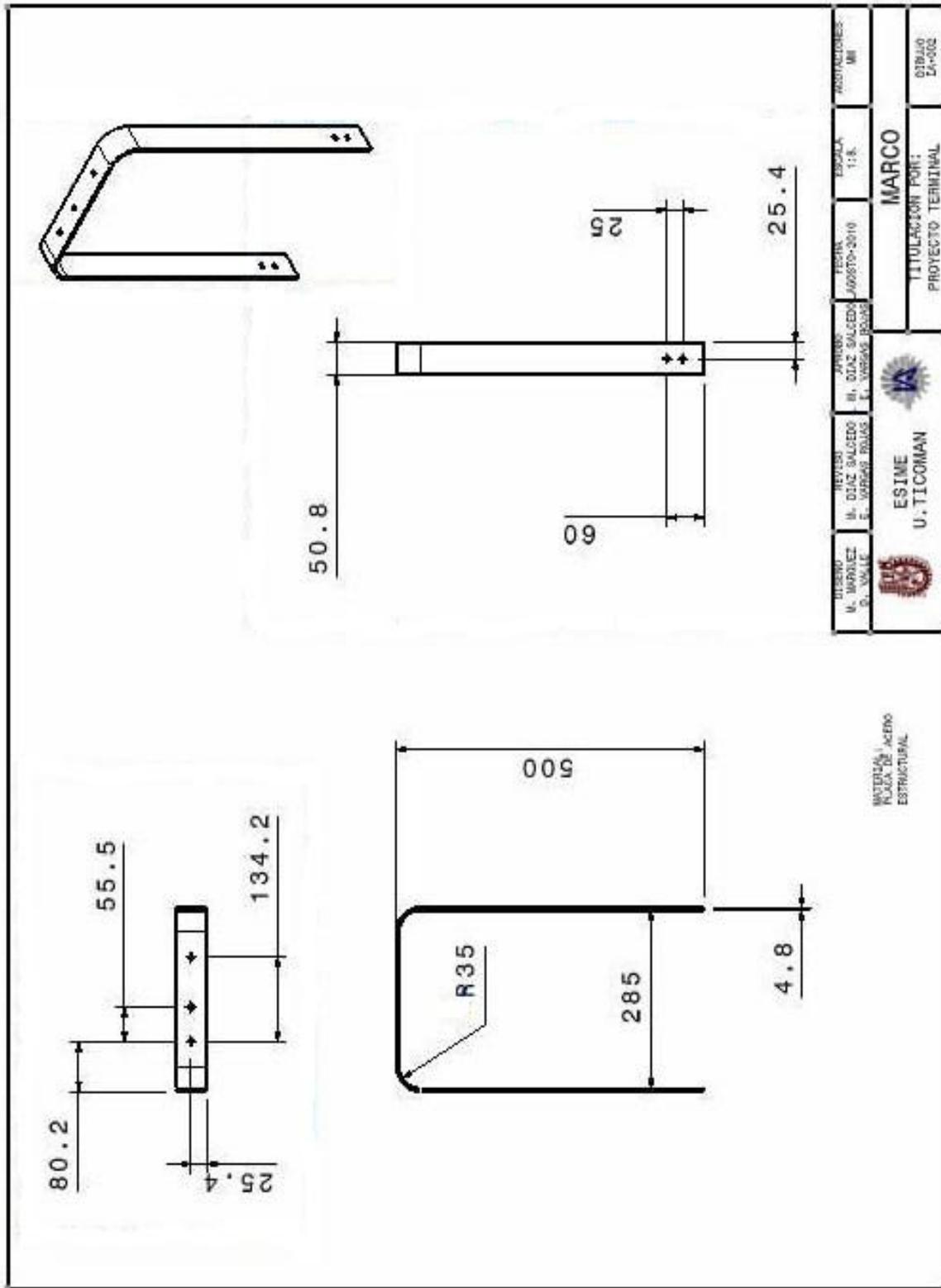
Figura 43B. Ensamble C.

Ver anexo 4 para resultados numéricos del análisis realizado al Soporte de viga, en especial al gancho y se encontraran consideraciones tomadas para dicho análisis.

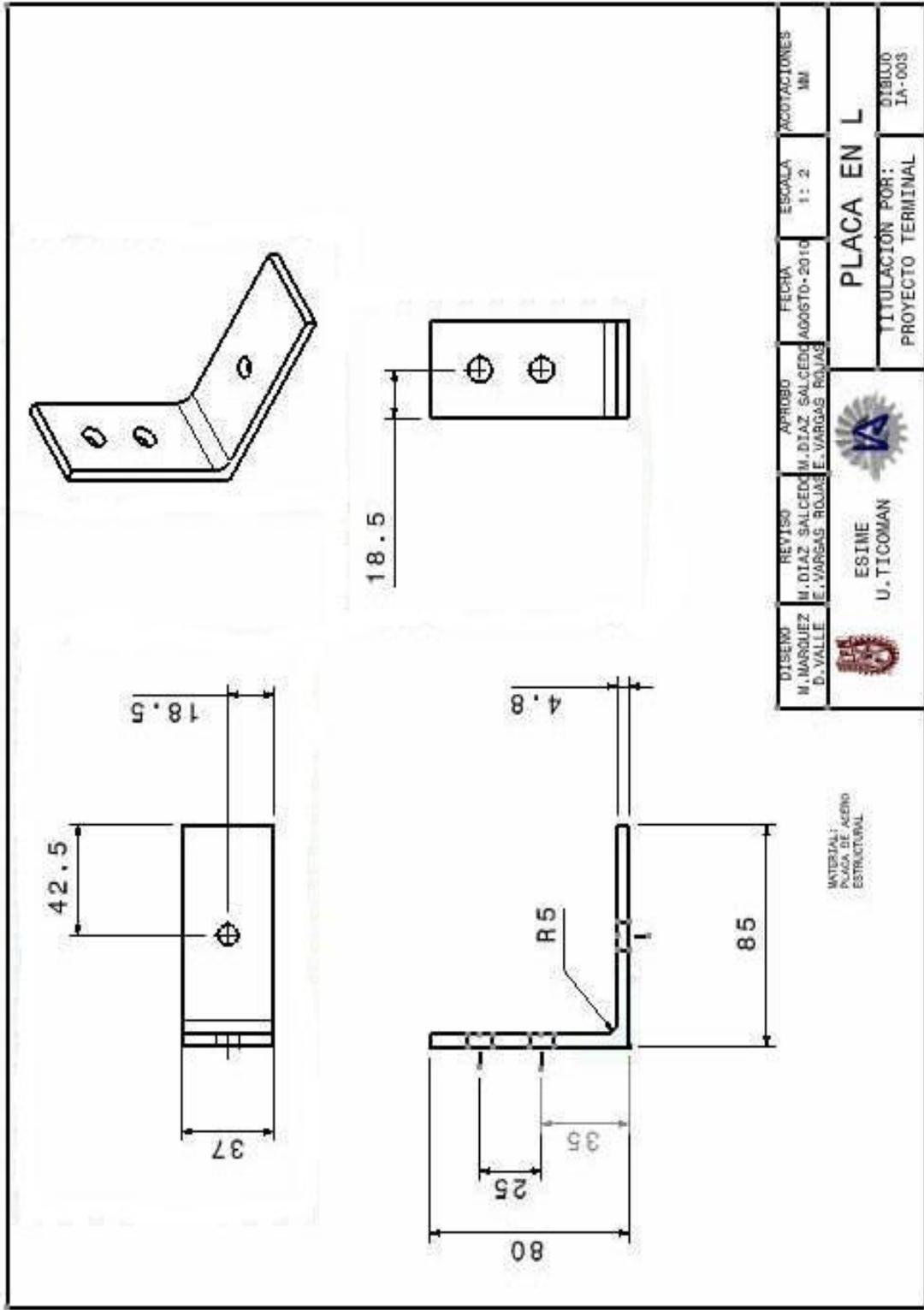
4.6 Planos



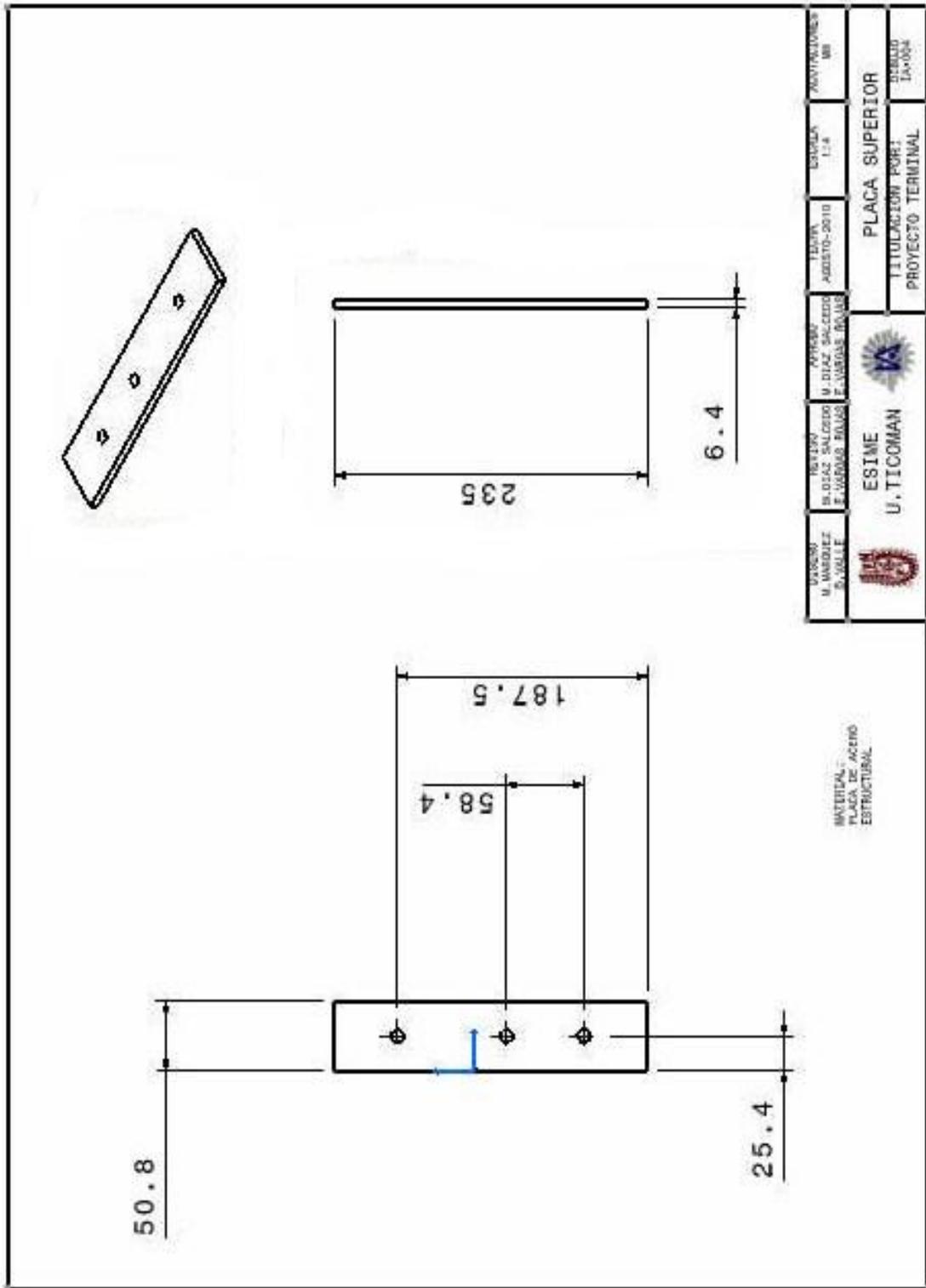
Plano 1



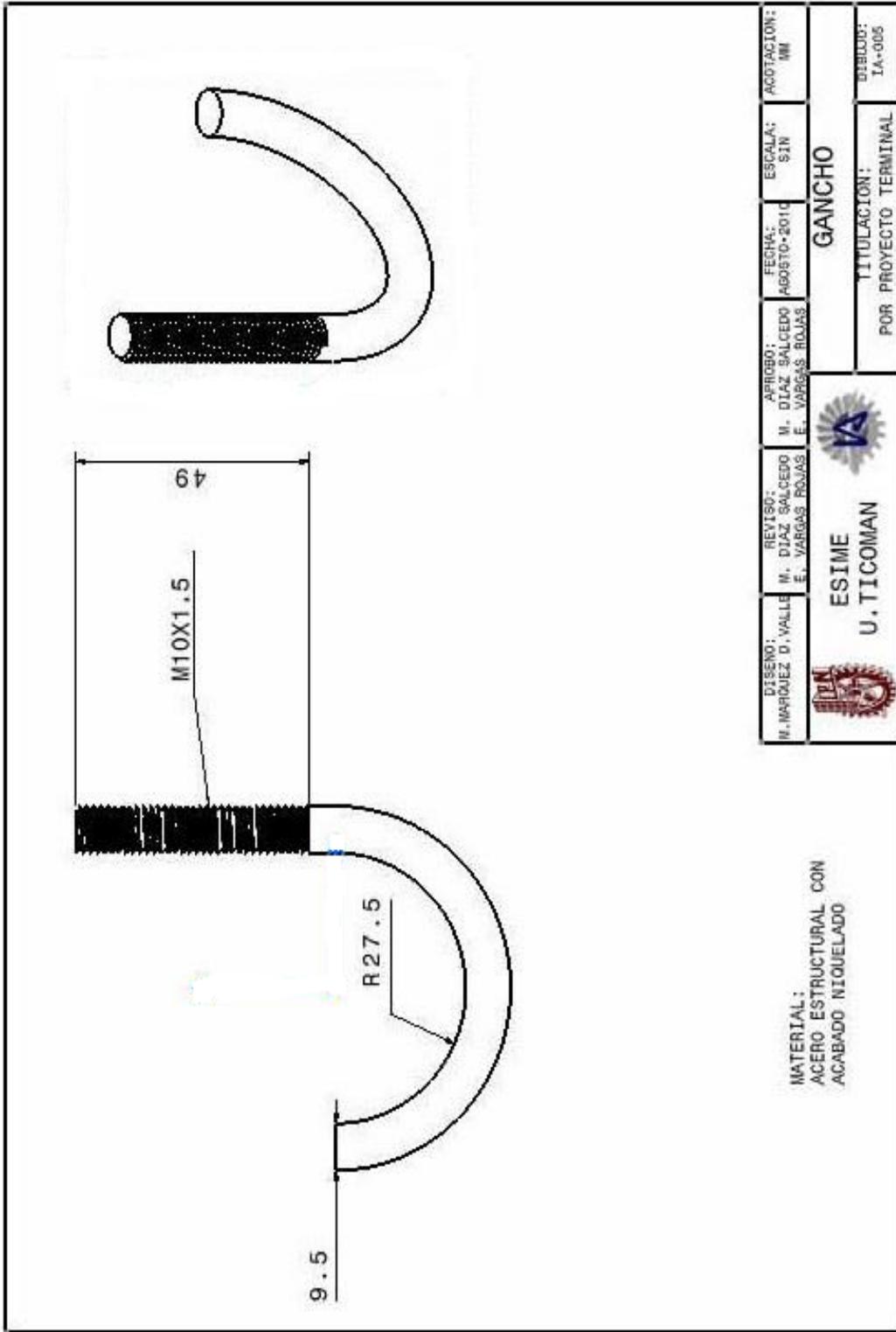
Plano 2



Plano 3



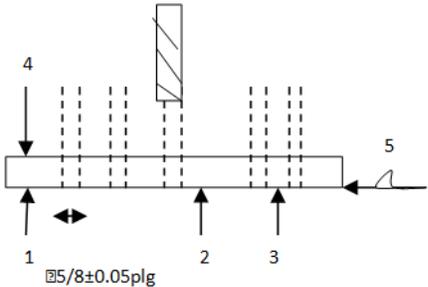
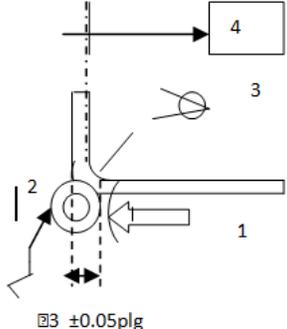
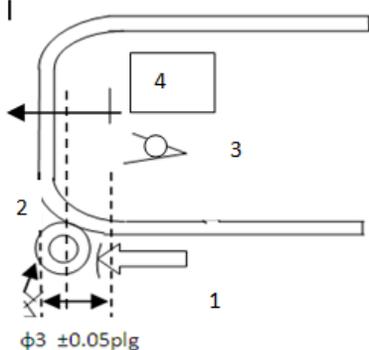
Plano 4



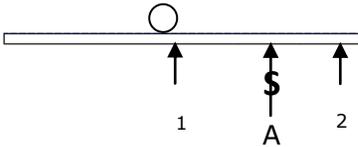
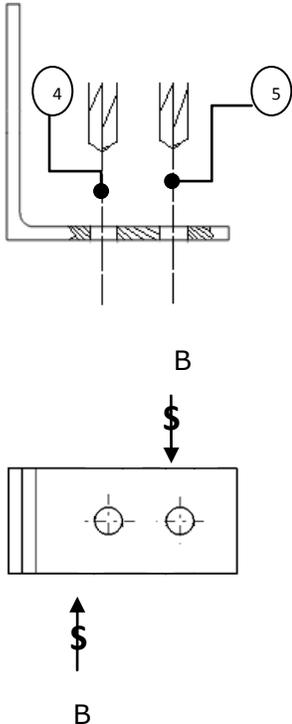
Plano 5

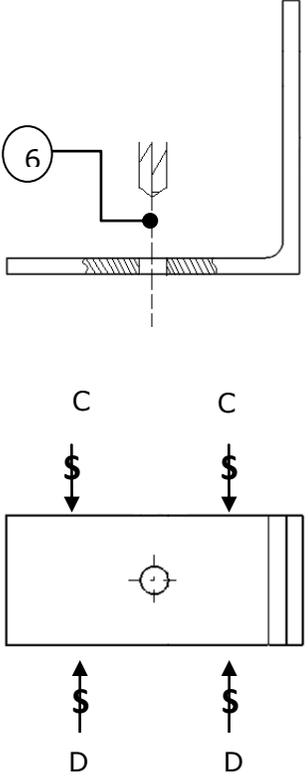
4.7 Hojas de proceso

Análisis de Fabricación (VER DIBUJO IA-002)

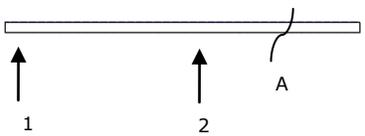
FASE No.	ESQUEMA EXPLICATIVO	MÁQUINA, HERRAMIENTAS DE CORTE, ELEMENTOS DE SUJECIÓN Y CONTROL	OBSERVACIONES
10		<ul style="list-style-type: none">  Taladro vertical  Broca para acero, 1/4  Broca para acero, 5/8  Sujeción 1  Flexometro  Pie de rey 	<p><u>Barrenado</u></p> <p>Apoyo plano 1,2,3</p> <p>Orientación 4</p> <p>Apriete 5</p>
20		<ul style="list-style-type: none">  Taladro de columna  Roladora de rodillos intercambiables  2 Rodillos de $\phi 3$plg 	<p><u>Rolado</u></p> <p>Apoyo 1,2</p> <p>Punto giratorio 3</p> <p>Orientación 4</p>
30		<ul style="list-style-type: none">  Roladora de rodillos intercambiables.  2 Rodillos de $\phi 3$plg 	<p><u>Rolado</u></p> <p>Apoyo 1,2</p> <p>Punto giratorio 3</p> <p>Orientación 4</p>

Análisis de Fabricación (VER DIBUJO IA-003)

FASE No.	ESQUEMA EXPLICATIVO	MÁQUINA, HERRAMIENTAS DE CORTE, ELEMENTOS DE SUJECIÓN Y CONTROL	OBSERVACIONES
10		<p>  Prensa dobladora </p>	<p><u>Doblado</u></p> <p>Apoyo plano 1 y 2.</p> <p>Apriete A.</p> <p>a.-Doblar con respecto al plano 90°.</p>
20		<p>  Taladro de columna  Broca helicoidal $\Phi 3/8''$  Prensa </p>	<p><u>Taladrado</u></p> <p>Apriete B</p> <p>a.-Pasar broca $\Phi 3/8''$ en (4)</p> <p>b.-Pasar broca $\Phi 3/8''$ en (5)</p>

<p>30</p>		<ul style="list-style-type: none">  Taladro de columna  Broca helicoidal Φ 1/2"  Prensa 	<p><u>Taladrado</u></p> <p>Apriete C y D.</p> <p>a.-Pasar broca Φ 1/2" en (6)</p>
-----------	---	---	---

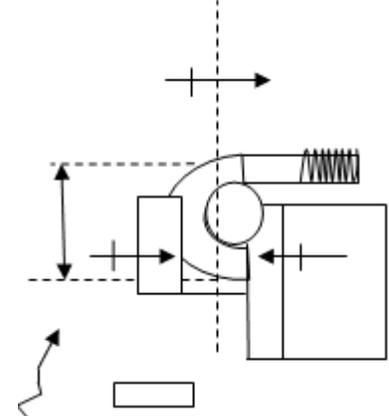
Análisis de Fabricación (VER DIBUJO IA-004)

FASE No.	ESQUEMA EXPLICATIVO	MÁQUINA, HERRAMIENTAS DE CORTE, ELEMENTOS DE SUJECIÓN Y CONTROL	OBSERVACIONES
<p>10</p>		<ul style="list-style-type: none">  Cortadora 	<p><u>Corte de placa</u></p> <p>Apoyo plano 1 y 2.</p> <p>Corte A.</p>

<p>20</p>		<ul style="list-style-type: none"> Taladro de columna Broca helicoidal $\Phi 3/8''$ Prensa 	<p style="text-align: center;"><u>Taladrado</u></p> <p>Apriete B y C con prensa.</p> <p>a.-Pasar broca $\Phi 3/8''$ en (4)</p> <p>b.-Pasar broca $\Phi 3/8''$ en (5)</p> <p>c.-Pasar broca $\Phi 3/8''$ en (6)</p>
-----------	--	---	---

Análisis de Fabricación (VER DIBUJO IA-005)

FASE No.	ESQUEMA EXPLICATIVO	MÁQUINA, HERRAMIENTAS DE CORTE, ELEMENTOS DE SUJECIÓN Y CONTROL	OBSERVACIONES
<p>10</p>		<ul style="list-style-type: none"> Torniquete Terraja Galga Vernier 	<p style="text-align: center;"><u>Roscado</u></p> <p>Apoyo fijo 2,3 Sistema de apriete concéntrico 1 Punto fijo 5 Punto giratorio 4</p>

<p>20</p>		<ul style="list-style-type: none">  Tornillo de banco  Barra de cold rolled $\phi 6\text{cm}$ 	<p><u>Doblado</u> Apoyos fijos</p>
-----------	---	--	--

Capítulo 5 Pruebas y Resultados.

5.1 Resultados

En base a los planos y teniendo como guía anexa de manufactura las hojas de procesos para cada elemento, se realiza la fabricación de la herramienta de lo cual se obtiene lo siguiente:



Figura 44. Perfil en L



Figura 45. Placa superior.



Figura 47. Cáncamo

En la figura 44 se observa uno de los perfiles en L que actúa como apoyo en la herramienta. En la figura 46 se observa el marco que se realizó en una sola pieza, en la figura 45 se observa la placa superior que se acopla al marco como refuerzo y en la figura 47 se observa el cáncamo que es de línea, sin embargo se le hizo la cuerda necesaria para el gancho.



Figura 46. Marco

5.2 Pruebas

Las pruebas se realizaron en el helicóptero de la Escuela ESIME Unidad Ticoman, cabe mencionar que no se cuenta con un grúa por lo tanto las pruebas sólo fueron. A continuación se muestran algunas imágenes de la herramienta colocada:



Figura 48. Acercamiento al gancho.

En la figura 48 es para comprobar que el gancho fabricado tenía ciertas dimensiones para que le fuese posible cumplir los requerimientos y no modificar ninguna de las partes del motor ya que el punto de contacto con el motor estaba desfasado y ligeramente fuera del área de acción del marco y del punto de apoyo.



Figura 49. Soporte de viga.

En la figura 49 se comprueba el diseño del soporte ya que la tobera es más grande que el ancho del soporte y esta no se remueve para la colocación del mismo (en el caso de la Escuela), es por eso que los perfiles en L se ensamblan una vez que el marco se colocó.



Figura 50. Vista Lateral Izq. del Soporte de viga



Figura 51. Vista Lateral 2 del Soporte de Viga



Figura 52. Vista de Frente del Soporte de viga



Figura 53. Vista superior del Soporte de viga



Figura 54. Vista Lateral Der. del Soporte de viga

En la figura 52 se observa el desfase del punto de contacto horizontalmente.

Conclusiones

En el presente trabajo se han desarrollado investigaciones que junto con las metodologías empleadas, las cuales son necesarias implicar todos los elementos que tienen relación con el producto, no únicamente los de contacto directo en la elaboración, sino también el consumidor, lo que implica cumplir con los requerimientos planteados por cada tipo de cliente, así que se sigue la secuencia de implementación de la metodología de QFD, posteriormente al evaluar requerimientos se hace una compilación de la relevancia de cada uno de ellos para continuar con el proceso de diseño, es un punto muy importante ya que permite saber cuáles son las funciones primordiales del Soporte de Viga.

La realización de este trabajo nos dejó amplias experiencias como las complicaciones del trabajo en equipo ya que en ocasiones por falta de comunicación no se avanzó de manera correcta y en otras ocasiones se realizó trabajo doble por ésta falta de comunicación.

El diseño de planos y de hojas de proceso disminuyen el trabajo, errores en la manufactura ya que en el caso de este proyecto en la manufactura existieron problemas de utilización de maquinaria en el marco y otros elementos al no considerarse en las hojas de proceso.

Referencias

- 1: Turbomeca, *Helicóptero Écureuil*, Agosto 2009, <<http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:eZviTynHFkQJ:www.eads.com/web/pdfg/es/800/content/400006/5/86/40809865.html+caracteristicas+tecnicas+helicoptero+AS+350+Ecureuil&h>>
- 2: Turbomeca, *Motor Arriel 1B*, Septiembre 2009, <www.turbomeca.com.mx>
- 3: <<http://www.helicopterosinsulares.com/images/as350-1.jpg>>
- 4: Eurocopter, *Helicóptero Écureuil*, Septiembre 2009, <http://translate.google.com.mx/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.helipartsnevada.com/partssales/engine.html&ei=ikmGS_DyEpTwsQPOL-jhDQ&sa=X&oi=translate&ct=result&resnum=2&ved=0CA4Q7gEwAQ&prev=/search%3Fq%3DTurbo%2BMotor%2BArriel%2B1B%26hl%3Des%26sa%3DX>
- 5: Turbomeca, *Motor Arriel 1B*, Octubre 2009, <http://www.turbomeca.com/public/turbomeca_v2/html/en/products/sous_famille_home.php?sfid=504&mid=615>
- 6: Manual de mantenimiento de Arriel 1B proporcionado por Turbomeca
- 7: Eurocopter, *Helicóptero Écureuil*, Octubre 2009, <www.eurocopter.com.mx>
- 8: JURAN, J. M., Juran on quality by Design. The Free Press. USA. 1992.
- 9: Tesis de "Diseñar y fabricar la herramienta de extracción de los rodamientos de la marcha generadora del motor Arriel 1-B, del helicóptero AS 350 Écureuil"
- 10: Bowles, Josep, "Diseño de acero estructural"
- 11: Matweb, *Acero Estructural*, Marzo 2010, <<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID>>
- 12: Software Ansys 12 aplicación Workbench, con apoyo de manual de análisis.

Anexo 1

Aceros 1018, 1020, 1030, 1045.

Acero AISI 1018, estirado en frío, alta temperatura.

Propiedades Físicas	Sistema Métrico	Sistema Ingles	Comentarios
Densidad	7.87 g/cc	0.284 lb/in ³	Típico para acero
Propiedades Mecánicas	Sistema Métrico	Sistema Ingles	Comentarios
Dureza, Brinell	111	111	
Dureza, Knoop	129	129	Convertido en dureza Brinell.
Dureza, Rockwell B	64	64	Convertido en dureza Brinell
Dureza, Vickers	115	115	Convertido en dureza Brinell
Esfuerzo de tensión, ultima	380 MPa	55100 psi	
Esfuerzo de tensión, Rendimiento	310 MPa	45000 psi	
Alargamiento de corte	16.0 %	16.0 %	en 50 mm
Reducción de área	40.0 %	40.0 %	
Modulo de elasticidad	200 GPa	29000 ksi	Típico para acero
Modulo de carga	140 GPa	20300 ksi	Típico para acero
Relación de Poisson	0.290	0.290	Típico para acero
Modulo de corte	80.0 GPa	11600 ksi	Típico para acero
Propiedad de los componentes	Sistema Métrico	Sistema Ingles	Comentarios
Carbono, C	0.14 - 0.20 %	0.14 - 0.20 %	
Hierro, Fe	98.81 - 99.26 %	98.81 - 99.26 %	
Manganeso, Mn	0.60 - 0.90 %	0.60 - 0.90 %	
Fosforo, P	<= 0.040 %	<= 0.040 %	
Sulfuro, S	<= 0.050 %	<= 0.050 %	

Acero AISI 1020, normalizado a 925°C (1700°F), refrigerado por aire.

Propiedades Físicas	Sistema Métrico	Sistema Ingles	Comentarios
Densidad	7.87 g/cc	0.284 lb/in ³	Típico para acero
Propiedades Mecánicas	Sistema Métrico	Sistema Ingles	Comentarios
Dureza, Brinell	126	126	
Dureza, Knoop	145	145	Convertido en dureza Brinell.
Dureza, Rockwell B	71	71	Convertido en dureza Brinell
Dureza, Vickers	131	131	Convertido en dureza Brinell
Esfuerzo de tensión, ultima	438 MPa	63500 psi	
Esfuerzo de tensión, Rendimiento	319 MPa	46300 psi	
Alargamiento de corte	35.5 %	35.5 %	en 50 mm
Reducción de área	65.5 %	65.5 %	

Modulo de elasticidad	200 GPa	29000 ksi	Típico para acero
Modulo de carga	140 GPa	20300 ksi	Típico para acero
Relación de Poisson	0.290	0.290	
Impacto Charpy	16.9 J @Temperatura - 30.0 °C	12.5 ft-lb @Temperatura - 22.0 °F	
Modulo de corte	80.0 GPa	11600 ksi	Típico para acero
Propiedad de los componentes	Sistema Métrico	Sistema Ingles	Comentarios
Carbono, C	0.17 - 0.230 %	0.17 - 0.230 %	
Hierro, Fe	99.08 - 99.53 %	99.08 - 99.53 %	Como el resto
Manganeso, Mn	0.30 - 0.60 %	0.30 - 0.60 %	
Fosforo, P	<= 0.040 %	<= 0.040 %	
Sulfuro, S	<= 0.050 %	<= 0.050 %	

Acero AISI 1030, normalizado a 925°C (1700°F), refrigerado por aire.

Propiedades Físicas	Sistema Métrico	Sistema Ingles	Comentarios
Densidad	7.87 g/cc	0.284 lb/in ³	Típico para acero
Propiedades Mecánicas			
Dureza, Brinell	137	137	
Dureza, Knoop	156	156	Convertido en dureza Brinell.
Dureza, Rockwell B	75	75	Convertido en dureza Brinell
Dureza, Vickers	143	143	Convertido en dureza Brinell
Esfuerzo de tensión, ultima	510 MPa	74000 psi	
Esfuerzo de tensión, Rendimiento	345 MPa	50000 psi	
Alargamiento de corte	29.5 %	29.5 %	in 50 mm
Reducción de área	58.9 %	58.9 %	
Modulo de elasticidad	200 GPa	29000 ksi	Típico para acero
Modulo de carga	140 GPa	20300 ksi	Típico para acero
Relación de Poisson	0.290	0.290	Típico para acero
Impacto Izod	94.0 J	69.3 ft-lb	
Modulo de corte	80.0 GPa	11600 ksi	Típico para acero
Propiedad de los componentes	Sistema Métrico	Sistema Ingles	Comentarios
Carbono, C	0.270 - 0.340 %	0.270 - 0.340 %	
Iron, Fe	98.67 - 99.13 %	98.67 - 99.13 %	Como el resto
Manganeso, Mn	0.60 - 0.90 %	0.60 - 0.90 %	
Fosforo, P	<= 0.040 %	<= 0.040 %	
Sulfuro, S	<= 0.050 %	<= 0.050 %	

Acero AISI 1045, estirado en frio.

Propiedades Físicas	Sistema Métrico	Sistema Ingles	Comentarios
Densidad	<u>7.87</u> g/cc	<u>0.284</u> lb/in ³	Típico para acero
Propiedades Mecánicas	Sistema Métrico	Sistema Ingles	Comentarios
Dureza, Brinell	179	179	
Dureza, Knoop	200	200	Convertido en dureza Brinell.
Dureza, Rockwell B	88	88	Convertido en dureza Brinell
Dureza, Vickers	188	188	Convertido en dureza Brinell
Esfuerzo de tensión, ultima	<u>585</u> MPa	<u>84800</u> psi	
Esfuerzo de tensión, Rendimiento	<u>515</u> MPa	<u>74700</u> psi	
Alargamiento de corte	10.0 %	10.0 %	in 50 mm
Reducción de área	30.0 %	30.0 %	
Modulo de elasticidad	<u>200</u> GPa	<u>29000</u> ksi	Típico para acero
Modulo de carga	<u>140</u> GPa	<u>20300</u> ksi	Típico para acero
Relación de Poisson	0.290	0.290	Típico para acero
Modulo de corte	<u>80.0</u> GPa	<u>11600</u> ksi	Típico para acero
Propiedad de los componentes	Sistema Métrico	Sistema Ingles	Comentarios
Carbono, C	0.420 - 0.50 %	0.420 - 0.50 %	
Hierro, Fe	98.51 - 98.98 %	98.51 - 98.98 %	Como el resto
Manganeso, Mn	0.60 - 0.90 %	0.60 - 0.90 %	
Fosforo, P	<= 0.040 %	<= 0.040 %	
Sulfuro, S	<= 0.050 %	<= 0.050 %	

Anexo 2 Medidas de tornillos

Tamaño nominal o diámetro mayor básico de la rosca	Diámetro mínimo del cuerpo (el máximo es igual al nominal)		Ancho entre caras <i>F</i>			Ancho entre aristas <i>G</i>		Altura <i>H</i>			Radio de entalle <i>R</i>	
	Máx	Mín	Máx	Mín	Nom	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	
												(básico)
$\frac{1}{16}$	0.2500	0.2450	$\frac{7}{16}$	0.4375	0.428	0.505	0.498	$\frac{1}{16}$	0.163	0.150	0.023	0.009
$\frac{1}{8}$	0.3125	0.3065	$\frac{1}{4}$	0.5000	0.489	0.577	0.557	$\frac{1}{8}$	0.211	0.195	0.024	0.009
$\frac{3}{16}$	0.3750	0.3690	$\frac{3}{8}$	0.5625	0.551	0.650	0.628	$\frac{3}{16}$	0.243	0.226	0.025	0.009
$\frac{1}{4}$	0.4375	0.4305	$\frac{1}{2}$	0.6250	0.612	0.722	0.698	$\frac{1}{4}$	0.291	0.272	0.025	0.009
$\frac{5}{16}$	0.5000	0.4930	$\frac{5}{8}$	0.7500	0.736	0.866	0.840	$\frac{5}{16}$	0.323	0.302	0.023	0.009
$\frac{3}{8}$	0.5625	0.5545	$\frac{3}{4}$	0.8125	0.798	0.938	0.910	$\frac{3}{8}$	0.371	0.348	0.041	0.021
$\frac{1}{2}$	0.6250	0.6170	$\frac{7}{8}$	0.9375	0.922	1.083	1.051	$\frac{1}{2}$	0.403	0.378	0.041	0.021

Los siguientes métodos de ajustes de tornillos sirven de guía para saber cómo se llevaran a cabo las uniones.

1. Método de la vuelta de tuerca. La tuerca se aprieta inicialmente hasta un ajuste sin holguras

2. Control del torque. Se usan llaves calibradas de torque o de impacto. Este método el uso de roldanas endurecidas bajo el elemento que gira, ya sea la cabeza o la tuerca del tornillo) para evitar la excoriación y proveer una fricción más uniforme.

El primer método servirá para el caso de las uniones de los apoyos con los amortiguadores y en el segundo se aplicara en el caso de las uniones de los apoyos con las partes principales del soporte como se señala en la figura 29.

La tensión mínima del tornillo, basado en $0.7Fu$ produce la carga mínima de prueba del tornillo, o la tensión de instalación, como se muestra en la tabla 8-2. Con pocos tornillos en una junta, desarrollando tensiones cada uno de ellos, como se muestra en la tabla 8-2, se puede calcular fácilmente la carga sobre la junta que se necesita para producir un deslizamiento relativo entre las partes conectadas.

Anexo 3 Análisis de herramienta Eurocopter

Deformación

En el siguiente modelo se puede indicar que hay una considerable deformación en la barra pues sirve para dar torque a la rosca de la argolla del soporte dando un apriete después de colocado el soporte entonces se encuentra sometido también al esfuerzo cortante del tornillo mas la tensión que se genera en la argolla por la carga.

Diagrama de deformación

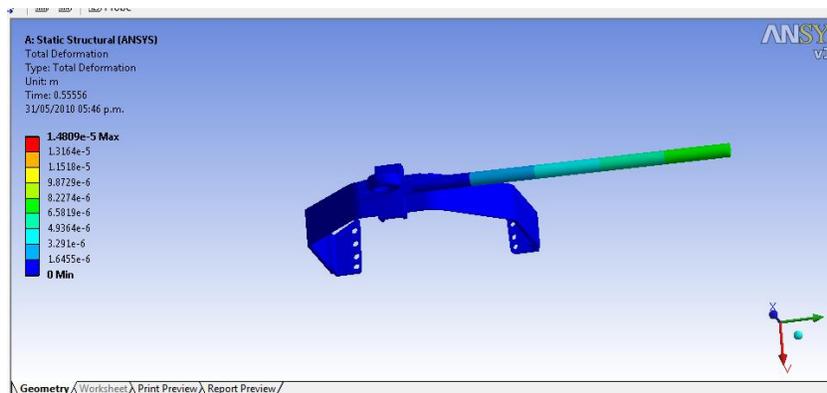


Figura 1. Diagrama de deformación

Diagrama de desplazamiento



Figura 2. Diagrama de desplazamiento

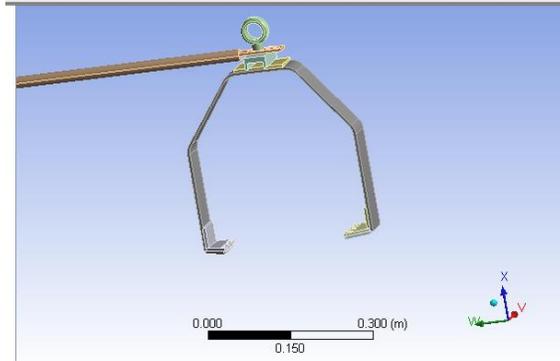


Figura 3. Análisis

TABLA 1. Propiedades

Material				
Asignación	Acero estructural			
Efectos No lineales	Si			
Efectos de tensión térmica	Si			
Propiedades				
Centroide X	2.75e-002 m	2.5114e-002 m		2.75e-002 m
Centroide Y	1.e-001 m	0.24339 m	-4.2385e-002 m	1.e-001 m
Centroide Z	0.21265 m	-9.7401e-002 m		7.0222e-002 m
Momento de inercia Ip1	1.507e-004 kg·m ²	6.0205e-005 kg·m ²		4.5935e-002 kg·m ²
Momento de inercia Ip2	5.3768e-005 kg·m ²	1.3137e-004 kg·m ²		1.7772e-002 kg·m ²
Momento de inercia Ip3	2.0348e-004 kg·m ²	9.8104e-005 kg·m ²	9.8105e-005 kg·m ²	2.9e-002 kg·m ²
Estadística				
Nodos	3191	9254	9134	19866
Elementos	1540	4585	4494	9582
Malla Métrico	Ninguno			

TABLA 2. Apoyos

Nombre del objeto	Apoyo fijo	Apoyo fijo 2	Fuerza	Apoyo fijo 3	Apoyo fijo 4
estado	Completamente definido				
Alcance					
Alcance del Método	Selección de la geometría				
Geometría	1 cara				
Definición					
Tipo	Apoyo fijo	Fuerza	Apoyo fijo		
Suprimida	No				
Definida por	Vector				
Magnitud	7848. N (rampa)				
Dirección	Definido				

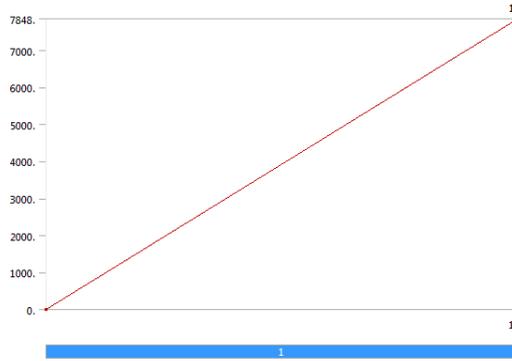


Figura 4. Fuerza a tensión aplicada

TABLA 3. Cargas

Nombre del objeto	<i>Apoyo son fricción</i>
estado	Completamente definido
Alcance	
Alcance del Método	Selección de la geometría
Geometría	1 cara
Definición	
Tipo	<i>Apoyo sin fricción</i>
Suprimida	No

TABLA 4 Resultados

Nombre del objeto	<i>Deformación direccional</i>	<i>Resistencia elástica</i>	<i>Deformación Total</i>
estado	Solución		
Alcance			
Alcance del Método	Selección de la geometría		
Geometría	Todas las caras		
Definición			
Tipo	<i>Deformación direccional</i>	Equivalencia (von-Mises) Resistencia elástica	Deformación Total
Orientación	Eje X		
Resultados			
Mínimo	-5.9725e-007 m	4.9707e-019 m/m	0. m
Máximo	6.5146e-007 m	3.6866e-004 m/m	1.4809e-005 m
Mínima producida en	Parte 8	Parte 6	Simetría de Partes 9_1
Máxima producida en	Parte 8		Parte 6

Datos del material

Acero estructural

TABLA 5 Constantes

Densidad	7850 kg m ⁻³
Coefficiente de expansión térmica	1.2e-005 C ⁻¹
Calor específico	434 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Conductividad térmica	60.5 W m ⁻¹ C ⁻¹
Resistividad	1.7e-007 ohm m

Anexo 4 Análisis de diseño final

Simbología

σ : Esfuerzo normal

k: Deformación

R: Radio del eje neutro

r: radio menor de la geometría

\bar{r} : Centroide

E: Modulo de elasticidad

I: Momento de inercia

M: momento flector en una viga

σ_{falla} : Esfuerzo de falla

$\sigma_{permisible}$: Es el esfuerzo permisible del material en cedencia

σ : Esfuerzo normal en el miembro

A: Área de sección transversal del miembro

R: distancia medida desde el centro de curvatura al eje neutro

\bar{r} : Distancia medida desde el centro de curvatura al centroide de la sección transversal

r: distancia medida al centro de curvatura hasta la distancia donde va al punto en que va a determinarse el esfuerzo

μ : relación de Poisson

V: Fuerza cortante en una viga

τ : Esfuerzo cortante

Ac: área de corte

d: Se define como la posición del centro del gancho al centroide de la sección del gancho

Glosario de términos

- ✦ Hiperbólica: Con curvatura
- ✦ Estricción: Disminución de una sección de un cuerpo sometido a un esfuerzo de tracción
- ✦ Tracción: efecto de tender a mover una cosa hacia el punto de donde procede el esfuerzo
- ✦ Cedencia: Punto de transición en el cual el material pasa a la zona elástica
- ✦ Modulo de elasticidad: Es la pendiente de la línea recta que se forma en la zona elástica de la curva esfuerzo deformación. El modulo de elasticidad es una medida de la rigidez del material.
- ✦ Definición T_{ced} (esfuerzo de cedencia): Se define como el punto en el cual el material sufre una deformación plástica, pasa a la zona de deformación elástica y queda deformado permanentemente

- ✦ Esfuerzo ultimo del material (τ_{ud}): es el valor máximo del esfuerzo que se puede aplicar sobre el material .Cuando el esfuerzo aplicado se iguala a la resistencia a la tensión se inicia la estricción y luego la factura del material [2].
- ✦ Resistencia última o esfuerzo máximo: es el esfuerzo máximo basado en la sección transversal original, que puede resistir un material.

Temario

Parte A1: Antecedentes introductorios a los cálculos y desarrollo de los cálculos para la armella usada en el soporte

- 1.1 Definición de Momento Flexionante
- 1.1.1 Flexión en vigas curvas
- 1.1.2 Esfuerzo normal en vigas curvas
- 1.1.3 Criterio de Falla de la máxima energía de distorsión
- 1.1.4 Factor de seguridad
- 1.1.5 Esfuerzos actuantes en uniones atornilladas
- 1.1.6 Factor de seguridad en uniones atornilladas

Parte A2: Viga curva en el caso del soporte

- 2.1. Viga curva en el caso del soporte
- 2.1.1 Cálculos con acero 1010
- 2.1.2 Resultados del factor de seguridad con el software Ansys, con acero 1010.
- 2.1.2 Resultados del factor de seguridad con el software Ansys, con acero 1010.
- 2.1.3 Cálculos con acero 1045
- 2.1.4 Resultados con el software Ansys.
- 2.1.5 Calculo del esfuerzo cortante en un tornillo de la sección mostrada en la siguiente imagen para el problema estudiado en el soporte
- 2.1.6 Factor de seguridad en tornillos que asientan en los amortiguadores del helicóptero.
- 2.1.7 Resultados del software Ansys.
- 2.1.8 Comparaciones entre ambos métodos.

1.1 Definición del Momento Flexionante

Es la suma algebraica de los momentos producidos por todas las fuerzas externas a un mismo lado de la sección respecto a un punto de dicha sección.

1.1.1 Flexión en vigas curvas

El método de vigas curvas es aplicado a secciones con eje curvo, ejemplos de estos tipos de elementos pueden ser ganchos y eslabones de cadenas con una aguda curvatura [1].

En el análisis se propone que la sección transversal sea constante y tenga un eje de simetría perpendicular a la dirección del momento aplicado M [1].

Cuando una viga curva está sometida a flexión simple en el rango elástico, la distribución de esfuerzos y deformaciones circunferenciales es hiperbólica. El esfuerzo es proporcional a la deformación, pero debido a la diferencia de longitud de las fibras de la cara superior e inferior de la viga, el esfuerzo y la deformación no son proporcionales a la distancia al eje neutro. Para secciones sometidas a carga de flexión, no solamente el eje neutro no coincide con un eje principal de inercia, sino que está desplazado hacia el centro de curvatura, lo cual puede expresarse gráficamente en la imagen mostrada en la figura 1 [2].

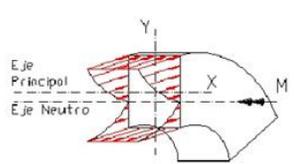


Figura A1: Representación del desplazamiento del eje neutro respecto al eje principal [2].

1.1.2 Esfuerzo normal en vigas curvas

Para analizar vigas curvas se deben tomar en consideración tres parámetros importantes desde el centro de la geometría [2].

Para el cálculo de la posición del eje neutro se requiere que la fuerza resultante sobre la sección transversal sea "0".

$$F_R = \Sigma F_X \quad E_c (1.1)$$

El esfuerzo que actúa sobre el elemento de área "dA", y que está localizado a una distancia del eje neutro genera una fuerza $dF = \sigma dA$ sobre el elemento y un momento respecto al eje neutro

$$\int_A \sigma dA = 0 \dots ec(1.3) \quad Ec (1.2)$$

Despejando la posición del eje neutro medido desde el centro de curvatura del miembro eje neutro "R" queda [2]:

$$R = \frac{A}{\int_A \frac{dA}{r}} \quad Ec (1.3)$$

La ecuación utilizada para el cálculo del esfuerzo normal en vigas en curvas es la siguiente:

$$\sigma = \frac{M(R-r)}{Ar(\bar{r}-R)} \quad Ec (1.4)$$

Nota: Como ya se refirió anteriormente la posición del eje neutro, puede determinarse el tipo de distribución de esfuerzo en una viga curva, por lo tanto, si la línea neutra pasara por el centro de gravedad de la sección, entonces la distribución de esfuerzos flectores σ se aproxima a la ley lineal y la ecuación empleada para piezas rectas es válida para piezas curvas [3].

El momento de inercia, se determina con la siguiente expresión:

$$I = \frac{\pi}{4} r^4 \quad Ec (1.5)$$

Ecuación para el cálculo del esfuerzo normal en viga recta.

$$\sigma = \frac{Mr}{I} \quad Ec (1.6)$$

1.1.3 Criterio de Falla de la máxima Energía de Distorsión

A continuación se hace mención del criterio de falla ya que en el desarrollo de la memoria de cálculo es necesario incluir un criterio que permita deducir si las características de diseño y materiales que se están utilizando son correctas, dependiendo a los resultados que sea

necesario obtener. La teoría que se selecciona muestra distintas opciones de combinación de esfuerzos de los cuales se elegirá uno de los casos, para aplicarlo al problema que se necesita resolver en el presente trabajo de tesina.

Debido a que en la memoria de cálculo es necesario incluir un criterio que permita deducir si las características de diseño y materiales que se están utilizando son correctas, dependiendo de los resultados que se obtienen, se usara el criterio de falla de Von Misses. La teoría muestra distintas opciones de combinación de esfuerzos de los cuales se elegirá, unos de los casos de actuación de esfuerzos para aplicarlo al problema del soporte en el presente trabajo de tesina

De esta forma el objetivo principal de la aplicación de una teoría de falla, es saber si se está trabajando dentro de los límites de seguridad necesarios de acuerdo a las necesidades que debe cubrir el producto [5].

A continuación se muestra la actuación de los esfuerzos, y la combinación de ellos actuando en distintos cuadrantes, por lo tanto se explican la forma en que actúan. Pero el criterio de falla es necesario, para unificar el resultado que ejercen en conjunto [5]:

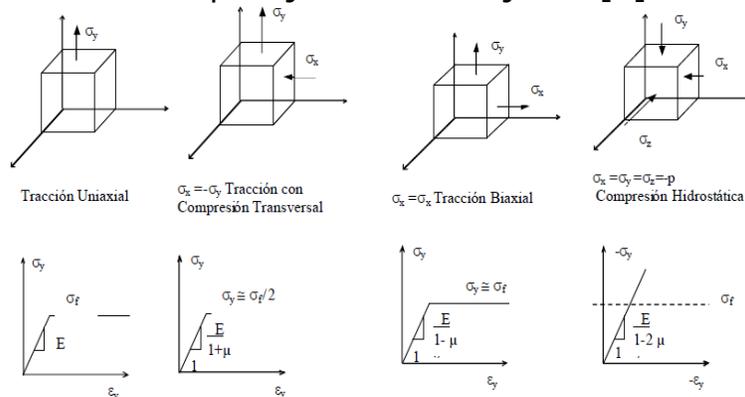


Figura A2 de diferentes formas de combinación de esfuerzos que actúan en distintos cuadrantes, así como los diagramas esfuerzo deformación de cada uno de los estados representados [4].

Para el caso del ensayo uniaxial. De ahí:

$$\sigma_{falla} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \tag{Ec (1.7)}$$

De acuerdo al tipo de elemento se define que la acción de los esfuerzos es unidimensional, ya que la actuación de la carga se encuentra actuando en una sola dirección como es el caso mostrado en la primera

imagen de la Figura 3[4] y de esta forma no se tiene que hacer una transformación de esfuerzos en tres dimensiones como muestra en el último caso de la Figura A2 [4].

1.1.4 Factor de seguridad

Un coeficiente de seguridad puede ser expresado de muchas formas. Usualmente es definido la relación entre el esfuerzo límite por resistencia debido a fallo de la pieza y el esfuerzo máximo por cargas aplicadas, o la carga límite por fallo de la pieza entre la sobrecarga. La forma de expresión del coeficiente de seguridad se escoge según el carácter de la carga sobre la pieza (constante o variable) [4]:

$$F_s = \frac{\sigma_{permisible}}{\sigma_{falla}} \quad \text{Ec (1.8)}$$

1.1.5 Esfuerzos actuantes en uniones atornilladas

El esfuerzo cortante es el que actúa, tangente a la sección denotado por la letra griega τ [5].

$$\tau = \frac{V}{A} \quad \text{Ec (1.9)}$$

Área de corte:

$$A_c = \pi \frac{(D)^2}{4} h \quad \text{Ec (1.10)}$$

Ejemplo de acción de fuerzas en corte para un tornillo, las fuerzas se aplican de tal forma que intentan cortar o seccionar el material [5].



Figura A3 [5] fuerzas cortantes debidas a una carga aplicada

Corte de una sección del tornillo para analizar la acción de la fuerza cortante.

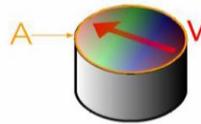


Figura A4: Actuación del esfuerzo cortante [5].

1.1.6 Factor de seguridad en uniones atornilladas

La siguiente ecuación define el factor de seguridad de acuerdo al esfuerzo de cedencia del material a la mitad, entre la mitad del peso total que debe cargar todo el soporte, ya que se está haciendo el cálculo para un solo extremo, esta acción de fuerza se toma respecto a la sección transversal del tornillo que es el elemento cargado.

$$\tau_{material} = \frac{\tau_{ud}}{2} = \frac{\tau_{max}}{2} \quad \text{Ec (1.11)}$$

$$F_S = \frac{\tau_{ced}}{\tau} \quad \text{Ec (1.12)}$$

De la ecuación anterior sabiendo que el esfuerzo en cortante equivale a:

$$\tau = \frac{W}{Ac} \quad \text{Ec (1.13)}$$

Y queda:

Simplificación de la ecuación (1.13)

$$F_S = \frac{2Ac\tau_{ced}}{w} \quad \text{Ec (1.14)}$$

2.1 Viga curva en el caso del soporte

En el documento consultado de la siguiente figura [6] el acero 1010 es el que se utiliza para fabricar armellas. En este trabajo de tesina, el material no tiene las propiedades de resistencia necesarias, con respecto al (acero 1045). A continuación se muestra la figura donde se señala la aplicación y posteriormente una tabla con las propiedades del acero 1010.



Figura A5: Distintas dimensiones en armellas fabricadas en acero 1010[6].

Tabla A1: Propiedades del acero 1010 [6]

Propiedad	Valor
Densidad	7.87 g/cm ³
Propiedades mecánicas	325 MPa
Esfuerzo ultimo en tensión	325 MPa
Esfuerzo de tensión en cedencia	180 MPa
Modulo de elasticidad	200 GPa
Relación de Poisson	0.290

2.1.1 Cálculos con acero 1010

A continuación se muestra una imagen del gancho que se utiliza para sostener el motor:

Peso del motor (W) = $500(9.81) = 4905$ N

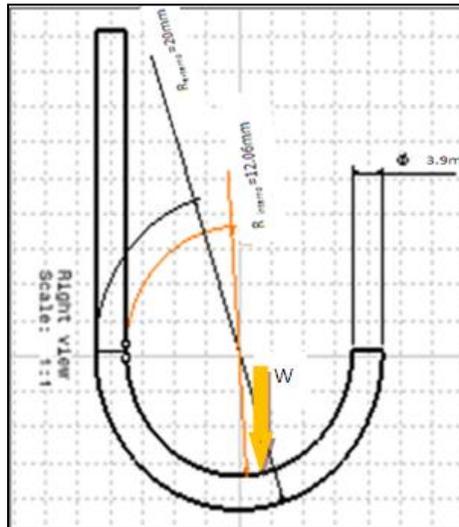


Figura A6: Representación del gancho con características geométricas y carga centrada [9].

Calculo del diferencial de área con la ecuación (1.2), que sirve para calcular la posición del eje neutro.

$$\int_r d_A = 23.78 - 19.76 = 4.01 \text{ mm}$$

El cálculo del eje neutro permitirá determinar el esfuerzo normal que actúa en el gancho. Y de esta forma se conocerá si se puede aplicar la ecuación de viga curva o el caso de viga recta, si la posición del eje neutro y el centroide de la sección coinciden. Se aplica la ecuación (1.3).

$$R = \frac{49.48}{4.01} = 12.32 \text{ mm}$$

Por simplificación de cálculos de acuerdo a los datos del centro de gravedad ubicado en 12.062 y 12.32 se tiene que el eje neutro R calculado se encuentran en la misma posición.

Se calcula el momento generado para saber la acción que tiene la

fuerza del peso sobre el gancho, este cálculo proporciona una idea de en qué sentido tiende a afectar la fuerza es decir positiva o negativa respecto al signo proporcionado en el cálculo:

Sabiendo que el centro de la geometría, respecto al centroide del gancho ($d=0.01631$) se calcula el Momento generado por el peso = Wxd ; sustituyendo los respectivos valores se tiene:

$$M=4905*(0.01631)= 80 \text{ N/m}$$

Distancia medida desde el centro de curvatura al punto en que va a determinarse el esfuerzo normal (σ).

$$\bar{r} = 0.0039 \text{ m}$$

Se calcula el momento de inercia con la ecuación (1.5), para conocer el valor del esfuerzo normal como se señaló para vigas rectas, debido a la ubicación del eje neutro.

$$I = \frac{\pi}{4} (0.0039)^4 = 1.8169 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

Esfuerzo normal en el miembro (σ): Se realiza este cálculo para poder determinar el valor de σ_{falla} :

Aplicando la ec (1.6):

$$\sigma = \frac{80 * (0.0039)}{(1.81 \times 10^{-10})} = \frac{0.31}{1.81 * 10^{-10}} = 1669.34 \times 10^6 \text{ MPa}$$

Aplicación de la ec (1.7) para el cálculo de esfuerzo en falla

$$\sigma_{falla} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(1669.34 * 10^6)^2} = 1180.401 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad calculado en la armella.

Se proporciona el valor del esfuerzo permisible del material, que servirá para determinar en qué relación, respecto al de diseño del elemento.

$$\sigma_{permisible} = 325 \text{ MPa}$$

Cálculos para el caso del soporte aplicando la ec(1.8)

$$F_s = \frac{325}{1189.40} = 0.27$$

La relación, que se proporciona del factor de seguridad es demasiado baja, por lo tanto se debe realizar una iteración mas, variando geometría y propiedades del material, si es necesario.

2.1.2 Resultados del factor de seguridad con el software Ansys, con acero 1010.

Tabla A2: Propiedades acero 1010 que pide el software Ansys para realizar los cálculos [6]

Propiedad	Valor
Densidad	7870 kg/m ³
Modulo de Young	200 GPa
Relación de Poisson	0.260
Esfuerzo de cedencia en tensión	180 MPa
Esfuerzo de compresión	180 MPa
Esfuerzo ultimo	325 MPa
Esfuerzo de compresión	325 MPa

Según la probeta el factor de seguridad a la mitad del gancho es el marcado en flechas rojas con un valor 0.48

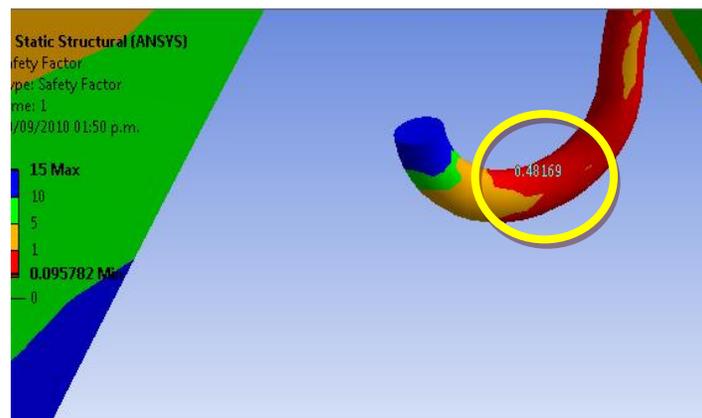


Figura A7: Representación 1 del análisis del factor de seguridad en el centro del gancho [8].

Posterior a los cálculos realizados se puede observar que el factor de seguridad en el acero 1010 provocara falla inminente en el elemento y es necesario aumentar la resistencia en el gancho. Se realiza una prueba modificando las propiedades del material así como también la geometría.

2.1.3 Cálculos con acero 1045

La siguiente figura muestra las modificaciones hechas en la geometría.

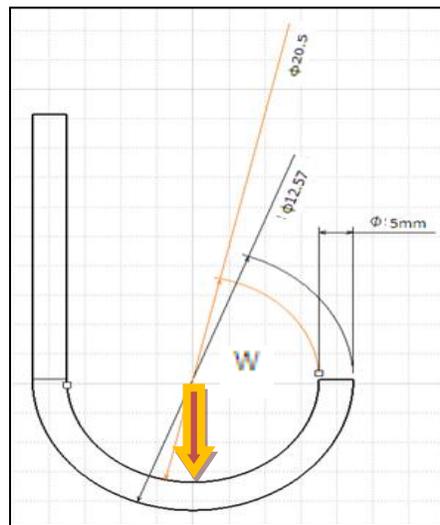


Figura A8: Representación del gancho con características geométricas y carga centrada [9].

Se presenta la siguiente tabla con las propiedades del material que se modificaron, como antecedente a los cálculos que deben realizarse.

Tabla A3: Propiedades acero 1045[6].

Propiedad	Valor
Propiedades mecánicas	325 MPa
Esfuerzo ultimo en tensión	325 MPa
Esfuerzo de tensión en cedencia	180 MPa

Se retoma lo realizado en los cálculos de la sección 2.1.1 de la evaluación con acero 1010 para nuevamente llevar a cabo los cálculos con acero 1045. Para reducir los pasos en la iteración se presenta una tabla de resumen con el parámetro a determinar y el valor

correspondiente de acuerdo a los cálculos que se presentaron en la sección 2.1.1.

Tabla A4 de resultados con el acero 1045 y cambio geométrico del gancho [6].

Nombre del parámetro	Valor calculado
Diferencial de área ($\int_r d_A$).	4.81 mm
Calculo de la posición del eje neutro	16.54 mm
Distancia medida desde el centro de curvatura al punto en que va a determinarse el esfuerzo normal (σ).	5 mm
Momento de inercia sabiendo que $\bar{r} = 5mm$:	$4.90 \times 10^{-10} m^4$
Cálculo del esfuerzo normal (σ)	814.99 MPa
Por criterio de falla (σ_{falla})	576.28 MPa
Factor de seguridad sabiendo que ($\sigma_{permissible} = 585 \times 10^6 N/m^2$)	1.01

2.1.4 Resultados con el software Ansys.

Propiedades que pide el programa:

Tabla A5: Propiedades mecánicas acero 1045 [6].

Propiedad	Valores
Densidad	7870 kg/m ³
Modulo de Young	200 GPa
Relación de Poisson	0.260
Esfuerzo de tensión en cedencia	180 MPa
Esfuerzo de compresión	180 MPa
Esfuerzo ultimo de tensión	325 MPa
Esfuerzo de compresión ultimo	325 MPa

Resultado que muestra el programa en el centro del gancho con acero 1045, el factor de seguridad es de 1.3009 en la mitad del gancho

señalado con las flechas rojas. Con lo que se comprueba que el gancho no fallara en esta sección por la carga aplicada.

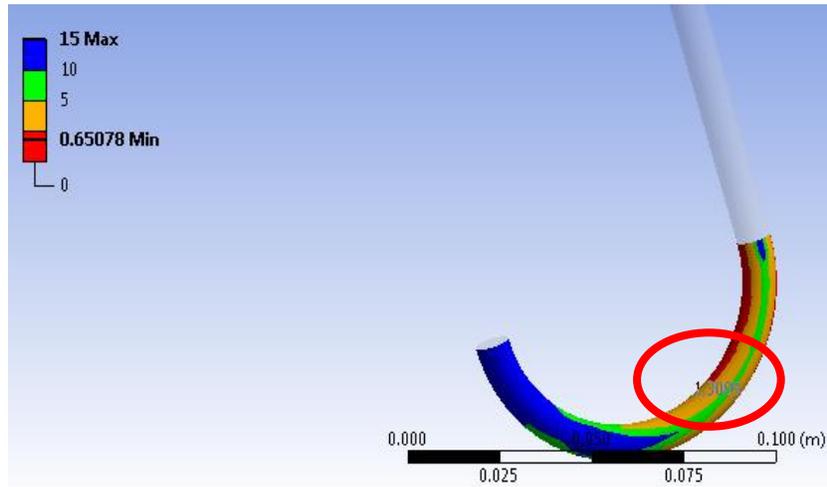


Figura A9: Representación 2 del factor de seguridad en el centro gancho [8].

2.1.5 Calculo del esfuerzo cortante en un tornillo de la sección mostrada en la siguiente imagen para el problema estudiado en el soporte

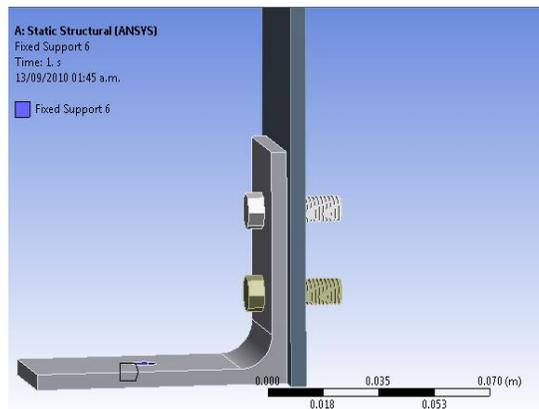


Figura A10: Apoyo que se fija al amortiguador del helicóptero [8].

Según la ecuación (1.15):

El esfuerzo de cedencia es igual al esfuerzo del material es decir:

$$\tau_{ced} = \tau_{material}$$

$$\tau_{material} = \frac{585}{2} = 292.5 MPa = 2982.67 kg/cm^2$$

2.1.6 Factor de seguridad en tornillos que asientan en los amortiguadores del helicóptero.

En relación a la figura mostrada sobre el cortante de los tornillos, se presenta un diagrama de cuerpo libre que indica la actuación de los tornillos.

Las fuerzas (F y F') se encuentran en corte por que se localiza entre dos placas que a su vez se descomponen en fuerzas paralelas al elemento que está cargando el peso.

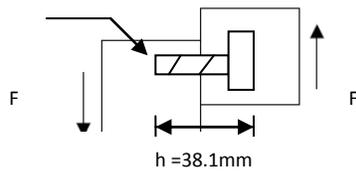


Figura A11: Representación de fuerzas cortantes F y F'

Diámetro de la sección transversal.

$$D=7.9\text{mm}$$

Altura del tornillo.

$$h = 38.1\text{mm}$$

A continuación se calcula el área del elemento en corte, con la ecuación (1.10).

$$A_c = 1.885\text{cm}^2$$

Se tienen los parámetros necesarios para utilizar la ecuación

El peso total que tiene que soportar el elemento es de 500kg dividido entre los dos extremos que debe de cargar, entonces se usaran 250 kg.

Cálculo del factor seguridad aplicando la ecuación (1.14):

$$F_s = 11.24$$

2.1.7 Resultados del software Ansys.

El resultado que se obtiene mediante el cálculo de resistencia de materiales anteriormente hecho es de 11.24 y mediante el software Ansys se obtiene un valor de 11.7 mediante la herramienta de prueba

que se encuentra en la parte superior del programa señala en círculo rojo:

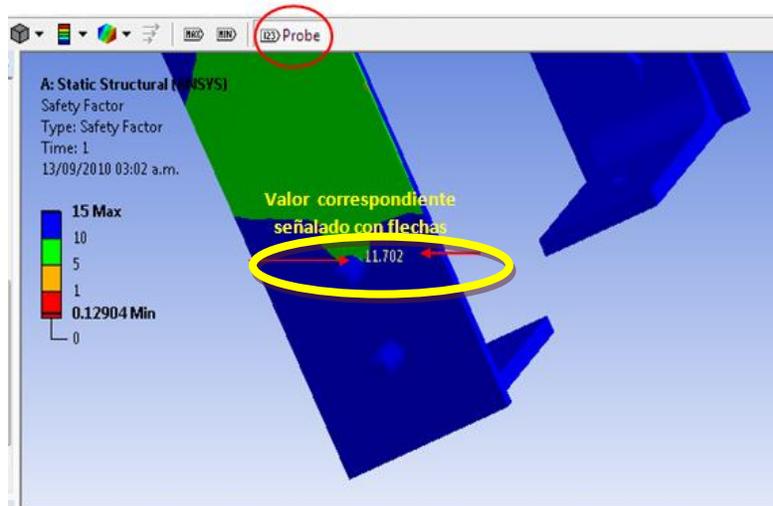


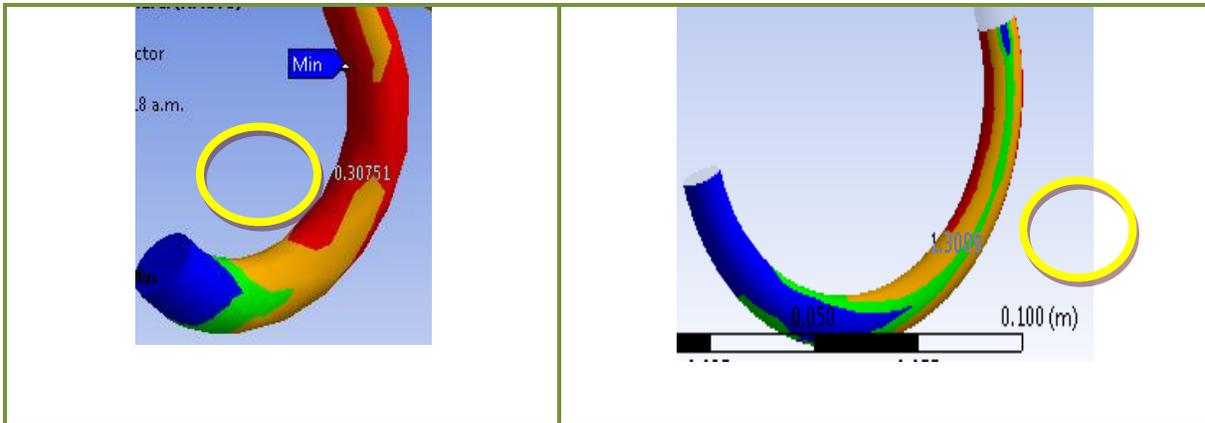
Figura A12: Factor de seguridad para un tornillo [8]

2.1.8 Comparaciones entre ambos métodos.

Tabla de resumen y comparativa de resultados obtenido por ambos métodos usados para el cálculo del factor de seguridad, recordando que en los cálculos por resistencia de materiales se tomaron en cuenta las características geométricas del medio círculo del gancho y el esfuerzo ultimo en tensión de las propiedades de los materiales.

Tabla A6: Comparativa y Resumen [8]

Resultados con las formulas de resistencia de materiales en el gancho			
	1010	1045	Unidades
σ_{normal}	814.914	1669	MPa
ofalla	1180.406	576.289	MPa
Fs	0.279	1.015	
Resultados factor de seguridad en cada caso con software Ansys en el gancho			
	1010	1045	
	Fs=0.307	Fs=1.30	
% de diferencia con el cálculo de formulas de resistencia de materiales =9		% de diferencia con el cálculo de formulas de resistencia de materiales=3.5	



Comentarios finales:

El último diseño es válido, por que el coeficiente de seguridad permisible para un elemento como se indica en la referencia [3], debe ser mayor a 1, si su valor es menor, se obtendrá una falla en elemento y no habrá una certeza de darle uso.

Bibliografía de anexo

[1] <http://www.scribd.com/doc/4001110/Trabajo-Mio>, (Fecha de consulta: 14 septiembre 2010)

[2] Mecánica de materiales, R.C Hibbeler, Tercera edición, Pearson

[3] Resistencia de material, Timoshenko, Tomo II. Páginas consultadas 70-82, Espasa-Calpe, S.A

[4] [http://ing.unne.edu.ar/pub/Capitulo04-A05.pdf\(5\)](http://ing.unne.edu.ar/pub/Capitulo04-A05.pdf(5)), (Fecha de consulta: 16 septiembre 2010)

[5] Manual de tornillos y uniones roscadas.

[6] mateweb.com, (Fecha de consulta: 7 septiembre 2010)

[7] http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/villela_e_ij/capitulo3.pdf, (Fecha de consulta: 7 septiembre 2010)

[8] Software Ansys 12 aplicación Workbench, con apoyo de manual de análisis.

[9] Software Catia V18, con apoyo manual para aprendizaje del software

Anexo 5 Glosario de términos:

Velocidad de crucero: velocidad constante y uniforme que puede llevar una aeronave: "condiciones normales de presión y temperatura", sin sufrir perturbación o variación de velocidad, altura, tracción y resistencia en el vuelo. Es aquella velocidad estable en la cual se mantiene el avión en la mayoría de su trayecto, actuando como un piloto automático, requiriendo poco esfuerzo por parte de la tripulación.

Techo de servicio: El techo de servicio es la altitud que se les da a cada avión para su servicio es decir, dependiendo del rumbo, tráfico aéreo y plan de vuelo que tienen

Razón de ascenso: Velocidad vertical para una aeronave. Se la considera generalmente máxima en condiciones normales a nivel del mar.

Velocidad nunca exceder: intervienen además factores, tales como la fuerza de resistencia creada a esa velocidad por algunos componentes primarios (alas, timones, tren de aterrizaje.) o secundarios (antenas, luces, ...); inestabilidad de la estructura y sistemas de control, etc... Las razones por las cuales no debe sobrepasarse esta velocidad bajo ninguna circunstancia son obvias.

Espesor parcial: se relaciona con la aplicación de una capa ligera de material sobre otro material base.

Hiperbólica: Con curvatura

Estricción: Disminución de una sección de un cuerpo sometido a un esfuerzo de tracción

Tracción: efecto de tender a mover una cosa hacia el punto de donde procede el esfuerzo

Cedencia: Punto de transición en el cual el material pasa a la zona elástica

Modulo de elasticidad: Es la pendiente de la línea recta que se forma en la zona elástica de la curva esfuerzo deformación. El modulo de elasticidad es una medida de la rigidez del material.

Definición T_{ced} (esfuerzo de cedencia): Se define como el punto en el cual el material sufre una deformación plástica, pasa a la zona de deformación elástica y queda deformado permanentemente

Esfuerzo ultimo del material (τ_{ud}): es el valor máximo del esfuerzo que se puede aplicar sobre el material. Cuando el esfuerzo aplicado se iguala a la resistencia a la tensión se inicia la estricción y luego la factura del material [2].

Resistencia última o esfuerzo máximo: es el esfuerzo máximo basado en la sección transversal original, que puede resistir un material.