

Proyecto Fin de Carrera Ingeniería Aeroespacial

Modelado del turborreactor WREN MW54 en CATIA V5R19

Autor: Jesús Rodríguez González

Tutores: María Gloria del Río Cidoncha

Juan Martínez Palacios

Dpto. Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018



Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería Aeroespacial

Modelado del turborreactor WREN MW54 en CATIA V5R19

Autor:

Jesús Rodríguez González

Tutores:

María Gloria del Río Cidoncha

Juan Martínez Palacios

Dpto. de Ingeniería Gráfica

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018

Proyecto Fin de Carrera: Modelado del turborreactor WREN MW54 en CATIA V5R19

Autor: Jesús Rodríguez González
Tutores: María Gloria del Río Cidoncha
Juan Martínez Palacios

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2013

El Secretario del Tribunal

RESUMEN DEL PROYECTO

El proyecto consiste en el modelado, a través del programa informático de diseño asistido CATIA V5R19, del modelo de turborreactor WREN MW54. Para ello, además, se ha indagado en la historia del turborreactor, para vislumbrar los inicios de este y ver cómo se ha llegado hasta la actualidad. Además, debido a la finalidad recreativa de este modelo de turborreactor a causa de sus pequeñas dimensiones y potencias finales obtenidas, se ha obtenido y expuesto información en relación con este incipiente sector en la aeronáutica, *el sector recreativo*. Por otra parte, finalmente, también se ha investigado y conocido la empresa productora del modelo, así como de los planos de los que se ha dispuesto para el diseño: *Wren Power Systems LTD*.

Una vez obtenida toda la información se ha procedido al modelado, diseñando cada una de las piezas por separado. Además, se ha indicado cada una de sus características y funciones. Por último, se ha procedido a llevar a cabo el ensamblaje de los distintos elementos para, así, formar el conjunto completo del modelo objetivo. De esta manera, se puede concluir el proyecto, contando con toda la información necesaria para entender la procedencia y desarrollo del modelo, así como su funcionamiento.

Por último, se ha llevado a cabo una reflexión sobre el desarrollo del proyecto, obteniendo conclusiones y comparaciones con otros proyectos de la misma índole, así como se han expuesto posibles campos en los que se puede profundizar y seguir trabajando relacionados con el proyecto expuesto.

ABSTRACT

The Project consists on the modeling a WREN MW54's turbojet by using the CAD program CATIA V5R19. Firstly, some information about the history of turbojet has been searched, so that it is possible to understand the development of this kind of engine until the present. Then, some information about the recreational sector of aeronautics and about the owner company of the plans and the producer of the model, Wren Power Systems LTD, have been researched too.

Once all the information has been obtained, the modeling has started by modeling every single element by itself. Also, their characteristics and their functions have been fully described. Then, when all the pieces have been already modelled, was time to join all of them, having a full assembly of the model. This way, it was possible to understand the origin and the development of this kind of engine, and, also, its performance.

Finally, a reflection about the project development has been done, obtaining some kinds of conclusions and comparisons with other similar projects. Then, there have also been exposed some fields in which it is possible to deepen and to develop in the future.

ÍNDICE

BLOQUE I: INTRODUCCIÓN	7
1. OBJETIVO	8
2. MOTIVACIÓN	8
3. METODOLOGÍA.....	8
4. ESTRUCTURA.....	9
BLOQUE II: CONTEXTO E HISTORIA	12
1. EL TURBORREACTOR	13
2. LA AERONÁUTICA RECREATIVA	17
2.1. ULTRALIGEROS.....	17
2.2. VEHÍCULOS NO TRIPULADOS “UAV”	18
3. LA COMPAÑÍA WREN POWER SYSTEMS LTD	21
BLOQUE III: MODELO WREN MW54. ACTUACIONES	25
1. ACTUACIONES.....	26
BLOQUE IV: DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR: CATIA V5.....	30
1. PROGRAMAS DE CAD	31
2. INTRODUCCIÓN A CATIA	32
3. HERRAMIENTAS USADAS EN CATIA.....	34
3.1 HERRAMIENTAS BÁSICAS	34
3.1.1 MOUSE	34
3.1.2 HERRAMIENTA PLANE	34
3.2 SKETCH	35
3.2.1 SKETCH TOOLS.....	35
3.2.2 LINE	35
3.2.3 PROFILE	36
3.2.4 CIRCLE.....	36
3.2.5 CORNER	36
3.2.6 CHAMFER	36
3.2.7 TRIM	36
3.2.8 OFFSET.....	37
3.2.9 MIRROR	37

3.2.10	PROJECT 3D ELEMENTS	37
3.2.11	SPLINE.....	37
3.2.12	CONSTRAINTS.....	38
3.3	HERRAMIENTAS 3D	40
3.3.1	PAD.....	40
3.3.2	POCKET	40
3.3.3	SHAFT	40
3.3.4	GROOVE	41
3.3.5	HOLE	41
3.3.6	RIB	41
3.3.7	MULTI-SECTIONS SOLID	41
3.3.8	EDGE FILLET	42
3.3.9	HELIX	42
3.4	HERRAMIENTAS DE PATRONES.....	43
3.5	HERRAMIENTAS DE ENSAMBLAJE.....	44
BLOQUE V: MODELADO DE PIEZAS EN CATIA V5. DESCRIPCIÓN		46
1.	LISTADO DE PIEZAS	47
2.	SISTEMA DE PRESURIZACIÓN Y OBTENCIÓN DE POTENCIA DEL MOTOR.	
GRUPO COMPRESOR-TURBINA		49
2.1	TOMA DINÁMICA DE AIRE.....	50
2.2	TUERCA DEL COMPRESOR	50
2.3	COMPRESOR	51
2.4	ESPACIADOR DELANTERO	52
2.5	EJE DEL COMPRESOR Y LA TURBINA	53
2.6	ESPACIADOR TRASERO	54
2.7	TUERCA DE LA TURBINA	54
2.8	TURBINA	55
2.9	SELLANTE DEL EJE	56
2.10	DIFUSOR	57
2.11	FLITRO Y CUBIERTA DEL FILTRO	58
2.12	TÚNEL/GALERÍA DEL EJE DEL COMPRESOR Y LA TURBINA	59
2.13	GUÍAS DE LA TOBERA DE SALIDA	60
2.14	MUELLE	62
2.15	TUBO DE PRECARGA.....	62

2.16	CARENADO DELANTERO, EXTERIOR Y TRASERO	63
3.	SISTEMA DE COMBUSTIÓN. CÁMARA DE COMBUSTIÓN Y SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE.....	65
3.1	CUBIERTA INTERIOR DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN	66
3.2	CUBIERTA EXTERNA DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN	67
3.3	FRONTAL DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN	67
3.4	TRASERA DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN.....	68
3.5	TUBO VAPORIZADOR.....	69
3.6	TUBO DE REMOLINO	69
3.7	BUJÍA	70
3.8	TUBERÍA DE COMBUSTIBLE	71
3.9	UNIÓN FINAL DE LA TUBERÍA.....	71
3.10	ADAPTADOR	72
4.	SISTEMA DE EYECCIÓN DEL FLUJO. TOBERA DE SALIDA	73
4.1	CONO INTERIOR.....	74
4.2	CONO EXTERIOR	74
4.3	ALETAS	75
5.	SISTEMAS DE UNIÓN. TORNILLOS.....	76
5.1	TIPO I: M2.5 x 8.....	77
5.2	TIPO II: M2.5 x7	77
5.3	TIPO III: M2.5 x 5	77
5.4	TIPO IV: M3 x 4	78
5.5	TIPO V: M3 x 12	78
	BLOQUE VI: ENSAMBLADO FINAL DEL MODELO WREMW54.....	80
1.	ENSAMBLAJE GRUPO PRINCIPAL	82
2.	ENSAMBLAJE DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN.....	84
3.	ENSAMBLAJE DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE	85
4.	ENSAMBLAJE DEL SISTEMA DE CONO DE SALIDA	86
5.	ENSAMBLAJE DEL CONJUNTO COMPLETO	87
6.	ENSAMBLAJE DEL CONJUNTO COMPLETO CON ELEMENTOS DE UNIÓN.....	88
	BLOQUE VII. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS, CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS.....	90
1.	ANÁLISIS	91

1.1	COMPARACIÓN	91
2.	CONCLUSIONES	92
3.	DESARROLLOS FUTUROS	93
BLOQUE VIII: BIBLIOGRAFÍA		96
1.	BIBLIOGRAFÍA	97

ILUSTRACIONES

Ilustración 1. The Wright Flyer I	13
Ilustración 2. La eolipila.....	14
Ilustración 3. Hans von Ohain con el primer turborreactor.....	15
Ilustración 4. Rolls Royce Conway en un Boeing 707.....	16
Ilustración 5. Esquema del primer UAV de la historia de la aeronáutica	19
Ilustración 6. Modelo UAV para uso recreativo con motor de combustión	20
Ilustración 7. Modelo del WREN MW54	22
Ilustración 8. Modelo UAV Pilatus Turbo-Porter	22
Ilustración 9. Pilatus ULM Turbo.Porter PC-6	23
Ilustración 10. Modelo UAV Pilatus	27
Ilustración 11. Panel de módulos de CATIA V5	33
Ilustración 12. Panel de la herramienta PLANE	34
Ilustración 13. Herramientas del SKETCH	35
Ilustración 14. Restricciones posibles en un SKETCH	38
Ilustración 15. Panel de la herramienta PAD	40
Ilustración 16. Panel de la herramienta SHAFT.....	40
Ilustración 17. Panel de la herramienta RIB.....	41
Ilustración 18. Panel de la herramienta HELIX.....	42
Ilustración 19. Restricciones en el módulo ASSEMBLY DESIGN.....	44
Ilustración 20. Modelo de toma dinámica en CATIA V5	50
Ilustración 21. Modelo de tuerca del compresor en CATIA V5.....	51
Ilustración 22. Modelo de compresor en CATIA V5	52
Ilustración 23. Garret Part No. 446335-9.....	52
Ilustración 24. Modelo de espaciador delantero en CATIA V5	53
Ilustración 25. Modelo de eje en CATIA V5.....	53
Ilustración 26. Modelo de espaciador trasero en CATIA V5	54
Ilustración 27. Modelo de tuerca de la turbina en CATIA V5.....	55
Ilustración 28. Modelo de turbina en CATIA V5 (I)	55
Ilustración 29. Modelo de turbina en CATIA V5 (II)	56
Ilustración 30. Modelo de sellante de eje en CATIA V5.....	57
Ilustración 31. Modelo de difusor en CATIA V5 (I).....	57
Ilustración 32. Modelo de difusor en CATIA V5 (II).....	58
Ilustración 33. Modelo de filtro en CATIA V5.....	58
Ilustración 34. Modelo de cubierta del filtro en CATIA V5	59
Ilustración 35. Modelo de galería del eje en CATIA V5 (I).....	59
Ilustración 36. Modelo de galería del eje en CATIA V5 (II).....	60
Ilustración 37. Modelo de parte interna de guía de la tobera de salida en CATIA V5	60
Ilustración 38. Modelo de parte externa de guía de la tobera de salida en CATIA V5 (I). 61	
Ilustración 39. Modelo de parte externa de guía de la tobera de salida en CATIA V5 (II) 61	
Ilustración 40. Modelo de muelle en CATIA V5	62
Ilustración 41. Modelo de tubo en CATIA V5.....	63
Ilustración 42. Modelo de carenado delantero en CATIA V5.....	63
Ilustración 43. Modelo de carenado exterior en CATIA V5.....	64

Ilustración 44. Modelo de carenado trasero en CATIA V5	64
Ilustración 45. Modelo de cubierta interna de la cámara de combustión en CATIA V5 ...	66
Ilustración 46. Modelo de cubierta externa de la cámara de combustión en CATIA V5 ..	67
Ilustración 47. Modelo de la parte frontal de la cámara de combustión en CATIA V5.....	68
Ilustración 48. Modelo de la parte trasera de la cámara de combustión en CATIA V5	68
Ilustración 49. Modelo de tubo vaporizador de combustible en CATIA V5	69
Ilustración 50. Modelo de tubo de remolino en CATIA V5	70
Ilustración 51. Modelo de bujía en CATIA V5.....	70
Ilustración 52. Modelo de tubería de combustible en CATIA V5	71
Ilustración 53. Modelo de unión final de tubería de combustible en CATIA V5.....	72
Ilustración 54. Modelo de adaptador de tubería de combustible en CATIA V5	72
Ilustración 55. Modelo de la parte interior del cono de salida en CATIA V5	74
Ilustración 56. Modelo de la parte exterior del cono de salida en CATIA V5	75
Ilustración 57. Modelo de aleta en CATIA V5	75
Ilustración 58. Modelo de tornillo M2.5x8 en CATIA V5.....	77
Ilustración 59. Modelo de tornillo M2.5x7 en CATIA V5.....	77
Ilustración 60. Modelo de tornillo M2.5x5 en CATIA V5.....	77
Ilustración 61. Modelo de tornillo M3x4 en CATIA V5.....	78
Ilustración 62. Modelo de tornillo M3x12 en CATIA V5.....	78
Ilustración 63. Modelo de ensamblado del grupo principal sin carena en CATIA V5 (I)...	82
Ilustración 64. Modelo de ensamblado del grupo principal sin carena en CATIA V5 (II)..	82
Ilustración 65. Modelo de ensamblado del grupo principal con carena en CATIA V5	83
Ilustración 66. Modelo de ensamblaje de cámara de combustión en CATIA V5 (I).....	84
Ilustración 67. Modelo de ensamblaje de cámara de combustión en CATIA V5 (II).....	84
Ilustración 68. Modelo de ensamblaje de la tubería de combustible en CATIA V5.....	85
Ilustración 69. Modelo de ensamblaje de cono de salida en CATIA V5 (I).....	86
Ilustración 70. Modelo de ensamblaje de cono de salida en CATIA V5 (II).....	86
Ilustración 71. Modelo de ensamblaje del WREN MW 54 en CATIA V5 (I).....	87
Ilustración 72. Modelo de ensamblaje del WREN MW 54 en CATIA V5 (II).....	87
Ilustración 73. Modelo de ensamblaje del WREN MW 54 con elementos de unión en CATIA V5 (I)	88
Ilustración 74. Modelo de ensamblaje del WREN MW 54 con elementos de unión en CATIA V5 (II)	88

BLOQUE I.

INTRODUCCIÓN.

1. OBJETIVO

En este Proyecto de Fin de Grado, se ha pretendido realizar el modelado de un motor turborreactor mediante el programa de diseño y modelado asistidos por ordenador CATIA V5. Con ello se ha pretendido, además, utilizar todas las herramientas utilizadas durante el grado, así como definir las características del motor para su correcta comprensión y definición.

2. MOTIVACIÓN

Se ha elegido un proyecto de estas características por dos razones fundamentales. La primera de ellas se trata de la inquietud y el interés por el aprendizaje y la profundización en el programa de diseño asistido por ordenador CATIA V5. Esto viene impulsado por el incipiente protagonismo que toma este programa a la hora del diseño de piezas en la industria aeronáutica en la actualidad, siendo fundamental su conocimiento en el área de muchas empresas del sector.

La segunda de las razones es la profundización en el conocimiento del funcionamiento y estructura de un turborreactor. Además, para ello, se ha escogido un modelo de turborreactor como es el WREN MW54, que se trata de un motor de pequeñas dimensiones, para uso en aeronaves de pequeño tamaño, principalmente *UAV*, es decir, aeronaves no tripuladas, un campo que se encuentra en continuo auge debido al desarrollo tecnológico reciente, pudiendo hasta llegar a ser reproducido dicho modelo de motor de turbina de gas por individuos particulares sin necesidad de acudir a grandes empresas de producción.

De esta manera, se ha conseguido una profundización en materias de gran importancia en el sector, lo cual conlleva a un enriquecimiento tanto personal como profesional.

3. METODOLOGÍA

En cuanto a la metodología seguida para la realización del proyecto, se han seguido dos caminos. En primer lugar, se ha llevado a cabo una fase de investigación, es decir, de búsqueda de información relevante y referente al modelo de motor en cuestión del que

se dispone a realizar este trabajo. Se ha introducido en el contexto histórico, así como en la legislación actual para el desarrollo de este tipo de aviación. Para ello, se han utilizado ciertas bases de datos para la búsqueda de datos, como pueden ser SCOPUS, WOS (Web Of Science), o incluso el buscador 'Google Académico'. Una vez obtenida toda la información necesaria y relevante, y comprendido el estado del arte de la materia, se prosigue con la redacción de los aspectos importantes del proyecto.

En segundo lugar, una vez finalizado el trabajo de investigación, se procede al modelado del motor WREN MW54 con todos sus componentes. Para ello simplemente se ha utilizado el programa de diseño asistido por ordenador CATIA V5, así como lo conocimientos adquiridos durante el grado en materia de modelado de piezas. Además, se ha llevado a cabo una explicación del funcionamiento del modelo, así como la descripción de las piezas que lo constituyen.

4. ESTRUCTURA

Para la redacción del proyecto ha tomado una estructura jerarquizada. En primer lugar, se ha puesto en contexto el proyecto. Esto quiere decir, que se ha comentado la historia de la empresa que los diseñó: WREN POWER SYSTEMS LTD. Además, se ha situado en la situación histórica en la que salió su diseño y se nombrarán diseños relacionados con el modelo, según la empresa fabricante y las mejoras implementadas en los diversos productos.

A continuación, se ha llevado a cabo una caracterización de las piezas y partes que componen este modelo de turborreactor. Se ha llevado a cabo una explicación de las diversas partes, así como además se han caracterizado las prestaciones del modelo y sus dimensiones principales.

Tras esto, se ha dado por concluida la etapa de investigación del proyecto y del modelo de turborreactor y se ha pasado al modelado del motor y de todas sus piezas mediante el programa de diseño asistido por ordenador CATIA V5. Para ello, se obtuvieron los planos de todas y cada una de las piezas que lo componen, se diseñaron cada una de ellas de manera totalmente individual, para, posteriormente, pasar a un módulo de ensamblado en el que todas las piezas han tomado sentido al enlazarse unas con otras, completando un todo que ha finalizado con la obtención del modelo de turborreactor WREN MW54.

Por último, y para concluir la redacción del proyecto, se ha llevado a cabo un análisis de las soluciones obteniendo diversas conclusiones de la realización de este. De esta forma, también se ha llevado a cabo una comparativa con el proyecto de fin de carrera realizado por el alumno Félix Rentero de Llano, junto a los tutores Juan Martínez Palacios y María Gloria del Río Cidoncha, del modelado en CATIA V5 de un turborreactor General Electric J85-13 con el que la escuela ETSI contaba con un modelo físico. Así, en última instancia, se han caracterizado las diferencias entre ambos modelos, así como las diferencias en la realización de ambos proyectos, a modo de conclusión, además de exponer posibles desarrollos futuros y campos de trabajo en los que es posible profundizar tras este proyecto.

BLOQUE II.

CONTEXTO E HISTORIA.

1. EL TURBORREACTOR

El ser humano ha tenido siempre la inquietud y el sueño por poder volar. Desde la época de la Antigua Grecia, o el Antiguo Egipto, se ha intentado en innumerables ocasiones diseñar algún modelo que permitiera al hombre volar. Sin embargo, no sería hasta el siglo XX, exactamente hasta el 17 de diciembre de 1903, cuando los hermanos Wright (Orville y Wilbur), en Kitty Hawk (North California), consiguieran la primera máquina voladora, a la cual denominarían *The Wright Flyer I*.

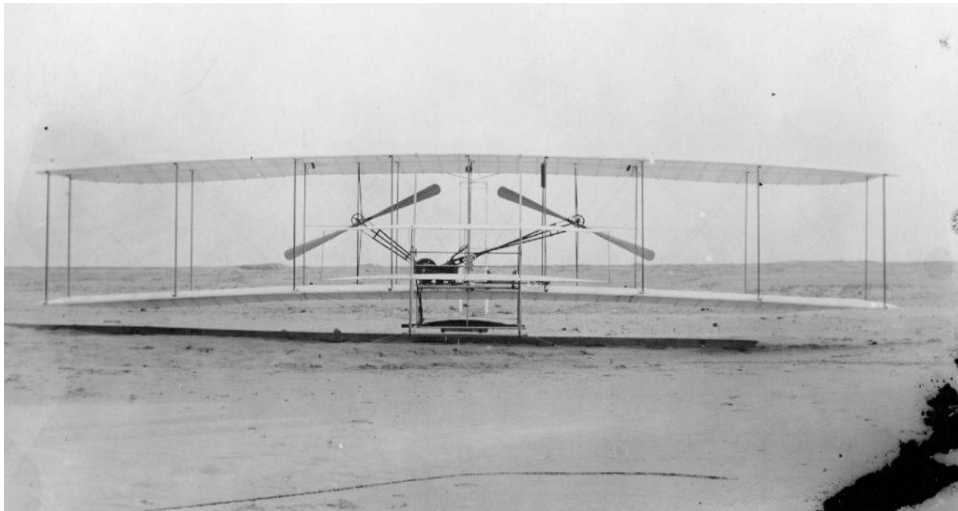


Ilustración 1. The Wright Flyer I [1]

Desde ese momento, la industria comenzó su alentadora evolución y su ebullición como una industria potente y de futuro. En la actualidad, es posible dilucidar grandes maravillas aeronáuticas, como podrían ser el Airbus 350 o el Boeing 787, pasando por el famoso, a la vez que polémico, avión comercial supersónico Concorde.

En esta línea evolutiva, a la par de la ebullición del mercado aeronáutico, surgió la necesidad de mejorar la propulsión, es decir, conseguir una mejora de los motores con los que contarían estas aeronaves. En este sentido, las características de las aeronaves se rigen en gran medida según la capacidad de sus plantas propulsoras. La historia de los motores, de la obtención de potencia propulsiva, es, de lejos, mucho más antigua que la de la industria aeronáutica, comenzando cerca del año 250 AC.

El primer motor a reacción conocido fue creado y construido por un conocido matemático e inventor egipcio, Hero de Alexandria, alrededor de 250 AC. Hero, llamó a su dispositivo

eolipila y consistía en un recipiente que contenía agua en su interior. Dos tubos huecos se extendían hasta el recipiente y se unían con una esfera hueca, que tenía libertad para girar sobre el eje que formaba con esos tubos. El vapor, se escapaba por dos tubos que además estaban doblados y que estaban montados sobre la superficie de la esfera, uno en el lugar opuesto al otro, de manera que la fuerza ejercida por el escape de este vapor permitía a la esfera girar sobre su eje, produciendo así una rotación de un eje, obteniendo fuerza mecánica. En el figura mostrada se puede vislumbrar un esquema del modelo de *eolipila* inventado por Hero de Alejandría.



Ilustración 2. La eolipila [2]

Por su parte, en China, surgió otro gran descubrimiento alrededor del año 1000DC: la pólvora. De esta manera, los científicos chinos fueron los primeros en descubrir el principio de la propulsión a chorro (*the principle of the jet thrust*). Este mismo fundamento, es el que se utiliza en la actualidad para los motores a reacción y con propulsión por chorro.

Pasando esta evolución por grandes nombres de la ciencia, como son Sir Isaac Newton o Leonardo Da Vinci, hasta los hermanos Wright, no sería hasta este siglo XX donde aparecerían los primeros turborreactores. Antes de la II Guerra Mundial, este tipo de motores tan solo existía en laboratorios, pero al acabar la guerra, quedó reflejado que el futuro de la aviación se encontraba claramente en estos motores a reacción. [3]

Tanto el Dr. Hans von Ohain como Sir Frank Whittle son considerados, como se expone [4], como los coinventores de los turborreactores. Cada uno trabajó de manera autónoma y sin tener conocimiento del modelo que estaba llevando a cabo el otro. Así, Hans von Ohain, un joven físico alemán, está considerado como el diseñador del primer motor *turbojet* operacional, ya que fue el primero en volar en 1939, mientras que el británico Sir Frank Whittle fue el primero en registrar una patente del motor *turbojet*, en 1930, teniendo su primer vuelo en 1941. De esta manera, al concluir la II Guerra Mundial se vislumbró un amplio campo de mejora para la propulsión de las aeronaves.



Ilustración 3. Hans von Ohain con el primer turborreactor [5]

De esta manera, pronto aparecerían los motores turbohélice, en los cuales se apreciaría una doble fuente de propulsión: la propulsión por chorro procedente del motor turbina de gas, y la propulsión debida a la rotación del eje de la hélice (eje que, mediante una caja reductora, iría conectado a la turbina), consiguiendo así un motor más eficiente.

Tras esto, además, aparecería un nuevo concepto de motor que revolucionaría la industria aeronáutica, el motor turbofan. Fue el motor de la compañía Rolls-Royce, *The Rolls-Royce Conway* el primero en introducir el concepto de *bypass* alrededor de los años 1950s. Este modelo, constaba de un gran *fan* situado al comienzo de este, en la toma dinámica de aire, que permitiría añadir una fuerza de empuje extra al motor con un menor consumo de combustible, lo cual sería determinante a la hora de encontrar la solución de compromiso entre coste y prestaciones. Este motor turbofan en cuestión, *The Rolls-Royce Conway* fue utilizado en modelos como el Vickers VC-10, así como en algunos Boeing 707 o DC-8.



Ilustración 4. Rolls Royce Conway en un Boeing 707 [6]

Por último, se desarrollarían también ciertos modelos de propulsión en los cuales no existía la necesidad de la dupla turbina-compresor, lo cual disminuía en gran medida el peso de esto, y en los que la compresión del fluido se llevaba a cabo gracias a las altas velocidades en las que trabajan y a la geometría diseñada en la entrada de aire. Estos modelos serían conocidos, como se comenta en [3], como Pulsejet, Ramjet y Scramjet, este último destinado a propulsión supersónica.

El modelo en cuestión que se pretende modelar en este proyecto, el WREN MW54, se trata de un turborreactor (o *turbojet*). Al tratarse de un modelo de dimensiones reducidas y dedicado a la aeronáutica recreativa, se sitúa, en cuanto a nivel tecnológico, muy por debajo de los grandes modelos de plantas de propulsión de las industrias aeronáuticas mundiales. Este modelo, sin embargo, introduce todos los principios de la propulsión aeronáutica, salvando las distancias con el concepto de *bypass* aplicado a motores turbofan y turbohélice. Durante la historia, ha sido tal el avance en los sistemas propulsivos, que actualmente un mero aficionado sería capaz de modelar y comprender el funcionamiento de un turborreactor, así como plantear su diseño y construcción.

2. LA AERONÁUTICA RECREATIVA

2.1. ULTRALIGEROS

La historia de la aviación, como anteriormente se ha reseñado, es relativamente corta, ya que no fue hasta el siglo XIX cuando se comienza a vislumbrar el inicio de un gran camino de desarrollo hasta lo que se conoce en la actualidad. Sin embargo, la historia de la aviación recreativa, especialmente la aviación conocida como *ultraligera*, es aún mucho más reciente.

Este modelo de aviación ultraligera, tiene sus inicios en la etapa en la que nace una sociedad posindustrial, y en la que comienza a extenderse el deseo de fanáticos por volar. En este momento, la población comienza a tener accesibilidad a información sobre la aviación y la aeronáutica, la cual deja de verse como meramente exclusiva a uso militar y/o comercial. Comienza, por tanto, a vislumbrarse en el horizonte una aviación no dedicada a un uso práctico, sino por el mero disfrute de volar, una ilusión del ser humano desde tiempos prehistóricos.

No será, sin embargo, hasta inicios de la década de los años 60 cuando en España se comienza cierta legislación sobre este campo, incluyendo este modelo de aviación y vuelo dentro de los apartados de la aviación civil. Es en este momento en el que la aeronáutica recreativa se convierte en una realidad palpable. [7]

Actualmente, esta legislación está bastante avanzada, ya que se trata de un campo bastante amplio y globalizado. En Europa, las regulaciones dentro de este campo se llevan a cabo de manera individual por parte de cada Estado, no siendo, por tanto, competencia de la *European Aviation Safety Agency* (EASA). En España, particularmente, es la *Agencia Estatal de Seguridad Aérea* (AESA) la encargada de la regulación de este tipo de aviación civil y de las licencias de ultraligeros (ULM).

Para obtener dicha licencia por parte de la AESA es necesario llevar a cabo un proceso de instrucción, siempre y cuando el alumno sea mayor de 18 años y se encuentre matriculado en una escuela de vuelo autorizada por la AESA. Será ahí donde se lleve a cabo el procedimiento de instrucción, que consta de una parte teórica, así como de una parte práctica, debiendo realizar un mínimo de 15 horas de vuelos, entre las cuales se deben de incluir, al menos, 20 actuaciones de despegue y aterrizaje, además de un mínimo de 3 horas de vuelo autónomo y travesía de 60 minutos. Además, el interesado en obtener

dicho tipo de licencia deberá presentar un certificado médico que demuestre aquello que aparece descrito en el *“Reglamento UE nº 1178/2011 de la Comisión (3 de noviembre de 2011) para pilotar aeronaves del tipo LAPL”*.

En cuanto a los modelos de aviación ultraligera, tal y como se comenta en [8], en la actualidad en España se pueden encontrar 5 habilitaciones distintas, como son:

- Los multiejes de ala fija (MAF)
- Desplazamientos del centro de gravedad (DCG)
- Autogiros (AG)
- Helicópteros (H)
- Hidroavión (HD)

Será el alumno interesado en obtener la licencia el que determinará cuál de las anteriores habilitaciones elegir.

Tras esta breve introducción, cabe destacar que existe una amplia normativa detrás de todo el campo de la aviación recreativa o deportiva, en auge continuo debido a la mayor accesibilidad por parte de la población media por la no necesidad de una capacidad económica excesivamente alta para poder disfrutar de estos servicios. Existen numerosos establecimientos en los cuales se puede alquilar un ULM para disfrutar de horas de vuelo, sin necesidad de contar con una aeronave propia. Esto es lo que creó la necesidad de una regulación estatal para aumentar la seguridad en el sector.

La empresa Wren Power Systems Ltd en cuestión, se encarga de la fabricación de motores de pequeñas dimensiones, con pequeños empujes disponibles, o potencias en caso de turbohélices, algunos de ellos ajustables a modelos de ultraligeros. Es por tanto importante, que hay una incipiente legislación en dicho sector para la posibilidad de comercio de dichos modelos.

2.2. VEHÍCULOS NO TRIPULADOS “UAV”

UAV son las siglas de *Unmanned Aerial Vehicle*, traducido como vehículos aéreos no tripulados, y son todos aquellos vehículos en los cuales no se encuentra embarcado ningún humano para su pilotaje, es decir, que vuela sin tripulación. Debido a esto, por tanto, tampoco necesita ninguno de los sistemas propios de la aeronave diseñados para

el pilotaje de este, como puede ser la cabina de mandos, controles de vuelo o los sistemas de acondicionamiento para la tripulación. Especialmente la no necesidad de este último sistema facilita mucho el diseño en comparación con las aeronaves tripuladas. Los UAV se diferencian de los misiles militares en que son reutilizables.

El primer UAV apareció en el año 1849 por parte del ejército de Austria. Estos se trataban de globos que iban cargados de explosivos y que eran enviados hacia la ciudad de Venecia para su consecuente bombardeo.

En la actualidad, el concepto de UAV, comúnmente conocido como dron, difiere mucho de aquel globo que acabaría siendo el primer UAV utilizado en la historia de la aeronáutica.

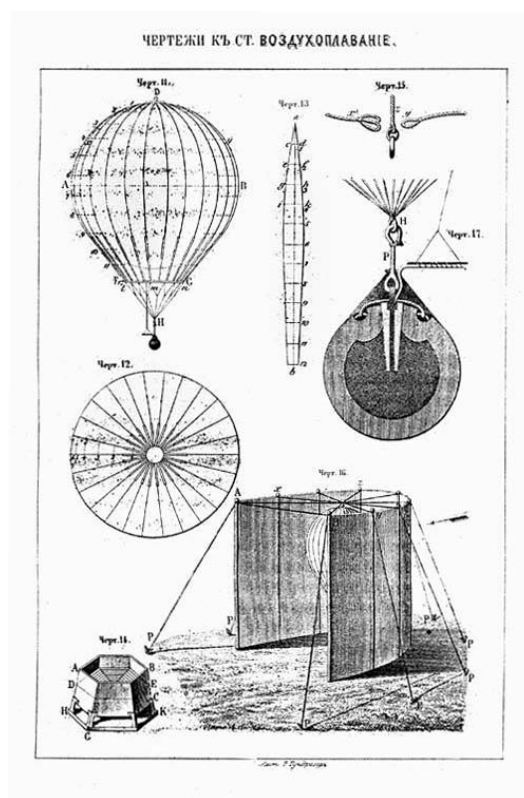


Ilustración 5. Esquema del primer UAV de la historia de la aeronáutica [9]

Mucho ha evolucionado la industria de los UAV desde mediados del siglo XIX hasta la actualidad. Este incipiente desarrollo ha llevado aparejada una necesidad de legislación para, de esta forma, controlar el espacio aéreo. [10]

El 29 de diciembre de 2017 se publicó en el Boletín Oficial del Estado (BOE) [11] una nueva legislación para regular la aviación civil para vehículos aéreos dirigidos por control remoto en España. De esta manera, se ha conseguido una modernización del marco normativo y se ha creado un nuevo escenario que permite actuaciones anteriormente restringidas en cuanto a la aviación recreativa. El fin principal de esta nueva normativa, es la regulación del espacio aéreo urbano, debido a creciente demanda del uso de drones recreativos por medio de la población aficionada. Además, se decretan aquellos casos para los cuales es necesario contar con una licencia para el manejo de un UAV.

Principalmente se pueden distinguir tres categorías de vehículos no tripulados:

- Peso inferior a 2 kg.
- Peso comprendido en 2 kg y 25 kg.
- Peso superior a los 25 kg.

Estos modelos de vehículos no tripulados pueden ser utilizados tanto para fines comerciales, como podría ser, por ejemplo, el uso de drones para sistemas de vigilancia y seguridad, o para usos recreativos, como podría ser el caso de drones, o incluso aeronaves, guiados de manera remota para disfrute del aficionado. Dentro del mercado de los UAV de uso recreativos, se pueden encontrar una gran variedad de productos, de diferentes pesos y tamaños, así como con diferentes prestaciones.



Ilustración 6. Modelo UAV para uso recreativo con motor de combustión [12]

3. LA COMPAÑÍA WREN POWER SYSTEMS LTD.

La compañía WREN POWER SYSTEMS, de origen británico, se ha encargado de la fabricación de motores de turbinas de gas desde el año 1999, lanzando su primer motor a la venta en el año 2001, como un conjunto de planos acotados para el diseño del motor en cuestión. Desde este año se ha convertido en una empresa que ha ido lanzando distintos prototipos de motores a reacción hasta la actualidad.

Inicialmente, la actual compañía Wren Power Systems Ltd., contaba con otro nombre, Wren Turbines Ltd., debido a su dedicación al diseño de motores de turbina de gas. La compañía se encontraba formada por tres únicos componentes: Roger Paris, John Wright, y Mike Murphy.

Esta compañía se formó específicamente para lanzar diseños de turbinas de gas, entre ellos el modelo MW54. Se lanzó como un proyecto para permitir el diseño y la fabricación de las distintas partes componentes de una turbina de gas para entusiastas de este tipo de motores, que posteriormente podrían ser implantados en pequeñas aeronaves recreativas, con el fin de que esta producción pudiese llegar a todos los públicos y no fuera única y exclusivamente competencia de grandes compañías. De esta manera, contaban con el objetivo de conseguir acercar a todos los públicos al mundo aeronáutico, sin necesidad de grandes desembolsos económicos, y sin una gran complejidad de diseño. La compañía es capaz de proporcionar planos, además de piezas y componentes para el ensamble de estos motores a reacción.

De esta manera, conseguían introducirse en un incipiente mercado, el de la aviación recreativa o deportiva, por medio de motores de escasa complejidad y muy accesibles a todos los públicos, fomentando el uso recreativo dentro de esta industria. Debido a esta finalidad, sus diseños se trataban de diseños de pequeño tamaño con lo que era posible, como ya se ha comentado, disminuir su complejidad, así como la accesibilidad para el público interesado.

Por otro lado, el modelo MW54 fue uno de los primeros diseños lanzados por la compañía. Desde el lanzamiento de este modelo, se han ido incorporando tanto mejoras como modificaciones a las características de diseño para así mejorar sus prestaciones, así como modernizar el prototipo. El nombre del modelo se siguió manteniendo como MW54, ya que no se trataba de mejorar las actuaciones del modelo en gran medida, sino que se

trataba de facilitar su construcción y ensamblaje como modelo. Todas las mejoras se probaban mediante túneles de viento y con pruebas en vuelo en diferentes tipos de aeronaves.



Ilustración 7. Modelo del WREN MW54 [13]

Una de las mejoras y de las aplicaciones de este motor de turbina de gas, fue su utilidad como turbohélice. Ensamblando un eje a la turbina y compresor, y mediando una caja de cambios, se lograba el movimiento de un eje que movería una hélice. El empuje, por tanto, se lograría gracias a la acción conjunta tanto del chorro de aire a presión que escapa por la tobera de salida, así como por el empuje producido por el movimiento de la hélice. En la actualidad, este proyecto de turbohélice ha sido probado y está siendo utilizado correctamente. Además, para corroborar su eficacia, pudo realizar numerosos vuelos en un ‘Pilatus Turbo-Porter PC-6’, en modelo miniatura y dirigido mediante el control remoto, es decir, se trataba de un UAV.



Ilustración 8. Modelo UAV Pilatus Turbo-Porter [14]



Ilustración 9. Pilatus ULM Turbo.Porter PC-6 [15]

La compañía, además, ha lanzado múltiples modelos de turborreactores los cuales son utilizados en aeronaves no tripuladas, es decir, que se podrían incorporar en cualquier vehículo no tripulado, o guiado por control remoto.

El modelado que se va a llevar a cabo es exactamente la primera versión del segundo modelo del prototipo WREN MW54, lanzado en agosto del año 2000. Los planos del modelo, que aparecen en [14], los cuales la compañía ha compartido de manera abierta con el público, tienen la restricción de copyright contra la producción masiva para la comercialización del motor. De esta manera, únicamente se capacita al usuario a realizar un solo producto de este, si así fuese deseado.

BLOQUE III.

MODELO WREN MW54.

ACTUACIONES.

1. ACTUACIONES

En los inicios el modelo de turborreactor que se pretende modelar, WREN MW54, fue utilizado para modelos de pequeña dimensión, debido a sus bajas prestaciones en cuanto a empuje disponible, como el modelo mostrado anteriormente de UAV: *Pilotus Turbo-Porter*. El modelo inicial que confeccionaron contaba con unas especificaciones muy pobres, debido a que sería utilizado en aviones no tripulados cuyo peso resultaba ser muy bajo, por lo que las exigencias propulsivas eran mínimas:

- Empuje disponible: 54N
- Temperatura en la tobera: 530°C
- Presión a la salida del compresor: 1.4 Bar

Posteriormente, se llevó a cabo el prototipo al que se le implementaría un modelo de planta motora turbohélice, en el cual se consiguió aumentar el empuje ejercido por el motor, con en torno a unos 90 N, es decir, un aumento porcentual del empuje obtenido bastante considerable, y una rotación de la hélice de por encima de los 9000 rpm. Tras esto, se llevó a cabo una profundización del diseño, llegando incluso a una velocidad de rotación superior a los 25000 rpm.

Habrà que tener en cuenta, además, las ecuaciones de la mecánica del vuelo para así saber el peso máximo que puede tener el UAV al que se le quiera incorporar este modelo de turborreactor, especialmente en el momento del despegue, ya que este será el momento más exigente y que más restrinja las actuaciones del modelo. En este segmento, se tiene:

$$nW = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_L$$

$$T = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_D$$

$$C_D = C_{D0} + k_1 \cdot C_L^2$$

Analizando las ecuaciones anteriormente expuestas, se puede ver la dependencia de la velocidad tanto con el peso de la aeronave, contando tanto peso estructural como peso de combustible embarcado en la aeronave, así como con los coeficientes aerodinámicos del modelo utilizado: C_{D0} , C_L , k_1 . De esta manera, y en función de estos factores, se podría

analizar cuál es la velocidad necesaria para que la sustentación sea, al menos, igual al peso y, por tanto, la aeronave se mantenga en vuelo, o en caso de contar con un factor de carga mayor a uno, para que la aeronave realice un ascenso.

Para llevar a cabo un análisis de las actuaciones de un posible modelo de aeronave propulsada con esta planta motora, se deben contar con ciertos datos que no aparecen proporcionados, especialmente los coeficientes aerodinámicos, tanto de sustentación como de resistencia aerodinámica. El modelo *Pilatus Mini Turbo-Porter* anteriormente mencionado, sobre el cual se probó este modelo de planta motora, por ejemplo, cuenta con las siguientes especificaciones:

Envergadura: 1700mm

Longitud: 1252mm

Peso: 1900g

Superficie alar: 335000 mm²

Carga alar: 5,67kg /mm²



Ilustración 10. Modelo UAV Pilatus [16]

Viendo los datos, es inmediato ver las pequeñas dimensiones con las que cuenta la aeronave en la que se probó el modelo de turborreactor WREN MW54. Se podría decir, por tanto, que se trata de un motor a reacción *en miniatura*, por lo que no se puede comparar con las actuaciones y empujes generados por las grandes plantas motoras con las que cuentan, por ejemplo, las aeronaves dedicadas a la aviación civil comercial o militar.

Aun así, se puede ver que el empuje máximo supuesto proporcionado por la planta motora, igual a 54N, es bastante superior incluso al peso de la aeronave *Mini Pilatus Turbo-Porter*, cuyo peso, medido en newton, es de 18,62N. Es por ello, que tiene capacidad suficiente para hacer volar a aeronaves de mayores tamaños y pesos que ésta en la que fue probada.

BLOQUE IV.

**DISEÑO ASISTIDO POR
ORDENADOR: CATIA V5**

1. PROGRAMAS DE CAD

Las siglas CAD provienen del inglés *Computer Aided Design*, lo cual sería traducido como *Diseño Asistido por Ordenador* (DAO) en español. Este tipo de programación informática ha resultado un gran avance en la industria del diseño y la fabricación, ya que modifica el modelo inicial de diseño, que resultaba ser lento y tedioso, por un sistema mucho más visual e intuitivo, de manera que permite agilizar la producción en grandes industrias, así como mejorar las prestaciones de aquello que se pretende fabricar o poder diseñar piezas de una mayor complejidad técnica y geométrica.

Los programas informáticos de CAD tienen como función básica y fundamental la realización de planos de piezas y conjuntos. En un principio, tan solo era posible realizar estos diseños en 2D, debido a los programas que existían para ello. Sin embargo, con el paso de los años y la evolución tecnológica, se consiguieron programas de diseño CAD que permitieran la realización de estas piezas y conjuntos en 3D, lo cual daba una visión más global de aquello que se estaba modelando, además de conseguir un resultado mucho más intuitivo.

Con estos diseños en 3D, se hace posible, además, modelar cada pieza o elemento individual de un conjunto completo, para, posteriormente, proceder a un ensamblaje, y así obtener el modelo completo terminado.

En la industria de estos programas de CAD cabe destacar el conocido AutoCAD, que resulta ser un programa muy funcional, el también conocido SolidWorks, u otros como podrían ser Solid Edge o Siemens NX. El programa que se utilizará en este proyecto en cuestión y que se encuentra más dedicado a la industria aeronáutica, con una gran importancia dentro del sector a la hora de llevar a cabo el diseño de piezas: CATIA.

2. INTRODUCCIÓN A CATIA

CATIA, cuyas siglas provienen de *Computer Aided Three-dimensional Interactive Application*, es decir, *aplicación interactiva tridimensional asistida por ordenador*, fue fundada en 1977 por Francis Bernard como parte del diseño del Mirage, desarrollado por el fabricante de aviones Marcel Dassault. [17] En un primer momento, su nombre escogido fue CATI. Fue, entonces, a partir de 1981 cuando el IBM comenzó a distribuir el software por todo el mundo, cambiando su denominación por CATIA, llegando a grandes compañías, especialmente dentro de la industria aeronáutica, como el gigante Boeing (1984), tal y como era el fin primero de la creación de la aplicación.

En primera instancia, CATIA fue una aplicación creada para el diseño de piezas dentro de la industria aeronáutica. Sin embargo, debido a su diseño visual e intuitivo, y al apoyo de grandes empresas para su distribución, ha logrado expandirse a otros mercados, como resulta ser el mercado automovilístico, debido a sus semejanzas con la industria aeronáutica en cuanto al diseño de superficies complejas, como podría ser superficies aerodinámicas o carrocerías.

Esta gran expansión de la aplicación hace que en la actualidad sea de capital importancia el conocimiento y el manejo de ella, debido a su amplio uso dentro de la industria del diseño y de la fabricación, ya sea en superficies metálicas, o con superficies de composite, las cuales están sufriendo un importante auge en los últimos años y se prevé como el futuro más prometedor dentro de las industrias aeroespaciales.

Actualmente, CATIA ha conseguido llegar hasta la sexta versión del programa informático, CATIA V6. Sin embargo, para la realización de este proyecto se ha decidido utilizar la versión de CATIA V5R19, debido a la disponibilidad y al conocimiento previo de esta versión del programa, gracias a las lecciones impartidas durante el desarrollo del grado.

CATIA, además, cuenta con multiplicidad de opciones y módulos para llevar a cabo opciones de mecanizado y otras, aunque se ha profundizado principalmente en el módulo de diseño, y especialmente mediante el diseño de *parts* para, posteriormente, ensamblarlos.

Los módulos de trabajo con los que cuenta CATIA V5R19 son los siguientes:

- CAD: Diseño
- CAM: Mecanizado
- CAE: Cálculo de estructuras
- KBE: Gestión del conocimiento
- PDM: Gestión del producto

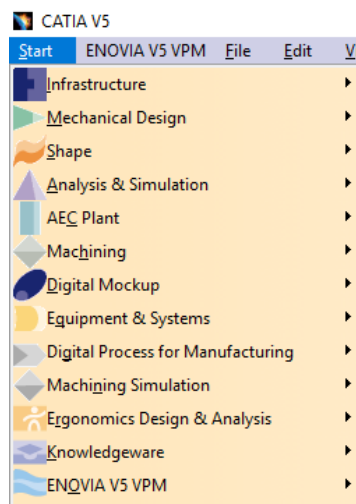


Ilustración 11. Panel de módulos de CATIA V5

3. HERRAMIENTAS USADAS EN CATIA

3.1 HERRAMIENTAS BÁSICAS

3.1.1 MOUSE

En CATIA V5R19, el ratón tiene múltiples usos, pero principalmente es utilizado para la selección de objetos, la selección del punto inicial y final de las líneas, selección de puntos, etc; así como para cambiar las vistas del objeto en el entorno del programa. En particular, el botón izquierdo del mouse, al que nombraremos por MB1 (*Mouse Button 1*) es utilizado para seleccionar herramientas, puntos de inicio y elementos. Por otra parte, el botón derecho, al que nombraremos por MB2 (*Mouse Button 2*) es utilizado para abrir los diversos menús de opciones, así como para modificar las vistas, es decir, girar la pieza, si se usa combinado junto con la rueda central de este, a la que denominaremos por MB3 (*Mouse Button 3*). Esta rueda, si se mantiene pulsada, combinada con el movimiento del mouse, permite realizar un zoom sobre la pieza, es decir, acercar o alejar la vista.

3.1.2 HERRAMIENTA PLANE

Esta herramienta permite al usuario añadir un plano en el entorno de la pieza, separado de los tres planos coordenados iniciales a juicio del usuario, en el cual posteriormente se podrá realizar un *SKETCH*. Es una herramienta básica, principalmente en aquellas ocasiones en las que se requiera realizar una pieza mediante *multi-secciones*. En la figura se muestran algunas de las opciones mediante la que es posible generar un plano.

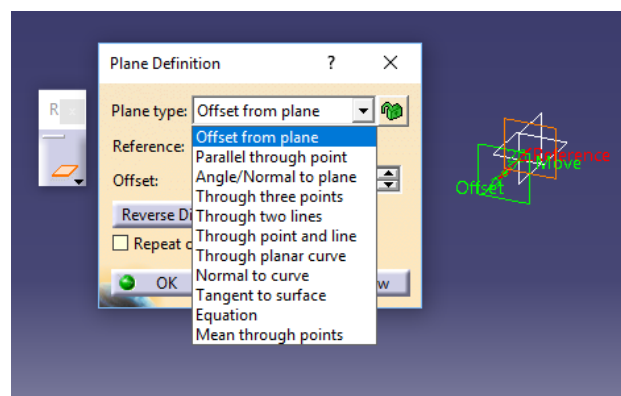


Ilustración 12. Panel de la herramienta PLANE

3.2 SKETCH

3.2.1 SKETCH TOOLS

Se trata de una barra en la que se encuentran diversas acciones, entre las que destacan la opción de añadir una cuadrícula a la ventana del *SKETCH*, además de otra herramienta que permitiría tan solo la opción de situar los diversos puntos en puntos pertenecientes a esta cuadrícula. Por último, también se encuentra una opción para poner los trazos que se seleccionen en línea discontinua, trazos que una vez se cierre la ventana del *SKETCH* no nos aparecerán visibles.

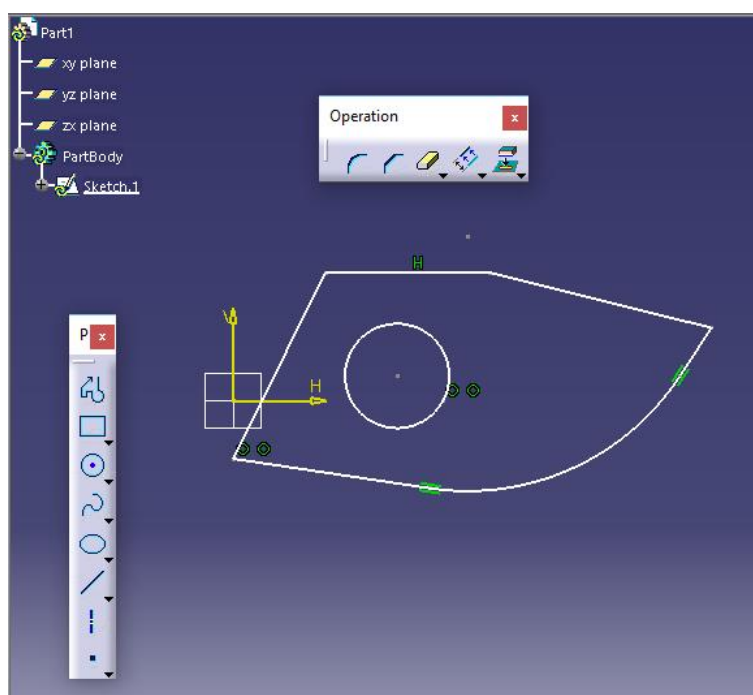


Ilustración 13. Herramientas del SKETCH

3.2.2 LINE

La línea es la herramienta más básica dentro del *SKETCH*. Una vez seleccionada la herramienta, con el MB1 se determinará su inicio y, posteriormente, su fin, siendo esta línea en todo momento una línea recta. Las líneas, además, tienen la capacidad de empezar y terminar en otros puntos ya definidos, como podrían ser el final o el principio de otras líneas.

3.2.3 PROFILE

Esta herramienta es bastante similar a la anterior, pero con la gran ventaja de que nos permite hacer una consecución de líneas sin tener que seleccionar de nuevo la herramienta. De esta manera, permitirá hacer figuras con mayor rapidez, comenzando la nueva línea en el punto en el que acaba la anterior. Una vez se quiera finalizar la figura, se podrá pulsar la tecla *ESC*, entre otras opciones.

3.2.4 CIRCLE

Esta herramienta permite crear círculos, utilizando el MB1 para indicar su centro, así como un punto cualquiera de la circunferencia externa. Además, existe otra herramienta que permite crear arcos de circunferencia escogiendo un centro y dos puntos, lo cual, en ciertas ocasiones, resulta una herramienta muy útil.

3.2.5 CORNER

Esta útil herramienta sirve para hacer una unión suave entre dos líneas rectas, de manera que la unión se realice mediante un arco de circunferencia de cierto radio que se deberá de indicar, ya sea mediante *SKETCH TOOLS* o determinando el radio con el MB1.

3.2.6 CHAMFER

Esta herramienta resulta ser muy parecida a la herramienta anterior, exceptuando que, a diferencia de esta, con la herramienta *CHAMFER*, la unión entre ambas líneas se realiza mediante otra línea recta. Para elegir la longitud de esta línea, se realiza las operaciones de forma similar a la herramienta anterior.

3.2.7 TRIM

Esta herramienta es usada para recortar el exceso de ciertas líneas. Es decir, se dedica a eliminar los segmentos de línea que queden fuera del corte entre dos líneas. El segmento

que será eliminado dependerá de cómo se realice la selección de los elementos dentro del *SKETCH* con el MB1, es decir, dependiendo del orden en que estos se seleccionen.

3.2.8 OFFSET

La herramienta *OFFSET*, como su propio nombre indica, tiene como función la creación de líneas que sean paralelas a la línea seleccionada (con MB1). Esta nueva línea paralela se situará en aquella posición que le sea indicada, pero en todo momento guardando este paralelismo con la línea deseada.

3.2.9 MIRROR

Esta herramienta es quizás una de las herramientas del programa más útiles. Su función es la de crear un elemento simétrico a otro elemento seleccionado, dándole un eje de simetría que utilizará para realizar esta simetría. Es decir, como indica su nombre, realizará una acción de efecto espejo, en el que reflejará aquello que se seleccione al otro lado del eje de simetría que se desee.

3.2.10 PROJECT 3D ELEMENTS

Esta herramienta permite obtener líneas y puntos de los modelos de las piezas 3D y realizar una proyección de estos elementos sobre el *SKETCH* en 2D. Así, se tendrá la capacidad de proyectar y utilizar medidas y elementos utilizados a lo largo de la realización de la pieza para realizar un nuevo *SKETCH*. Estos elementos proyectados, aparecerán con trazo de color amarillo.

3.2.11 SPLINE

Esta herramienta resulta útil a la hora de realizar curvas a trazos, por medio de la conexión de diversos puntos. En primer lugar, se deberá de seleccionar la herramienta. Tras esto, se escogerán las diversas posiciones de los puntos en cuestión, de manera que a partir de

estos puntos se irá generando una determinada curva. La manera de concluir la curva es mediante la tecla *ESC* o mediante doble click en el *MB1*.

3.2.12 CONSTRAINTS

Las restricciones (*constraints*) se pueden aplicar de dos formas distintas: utilizando la herramienta *CONSTRAINTS*, o mediante una tabla de dialogo que se abre y permite visualizar las diversas restricciones que se le pueden asignar a los elementos en cuestión sobre los que se desee realiza. Las principales restricciones suelen ser relacionadas con las dimensiones y las distancias, así como con la geometría.. Sin embargo, otras restricciones más complejas como podrían ser tanto las tangencias como los paralelismos pueden ser aplicadas en el *SKETCH* presionando el *MB2* antes de haber colocado otras restricciones.

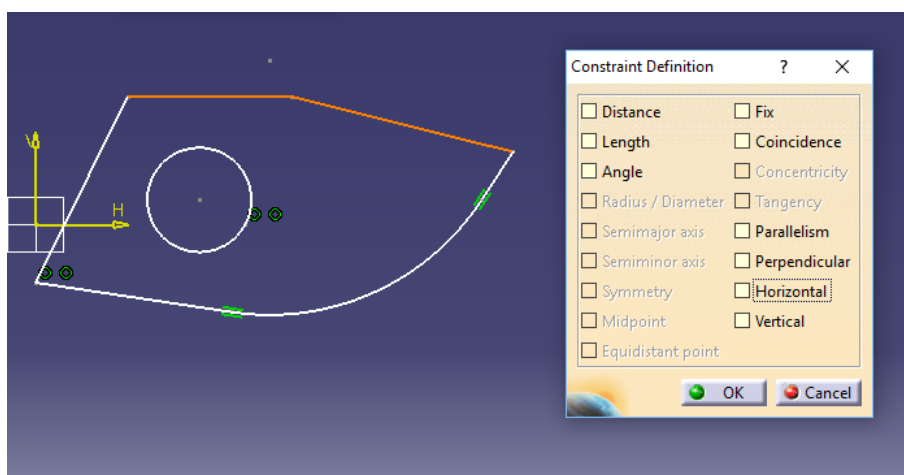


Ilustración 14. Restricciones posibles en un SKETCH

En el caso de que se utilice la tabla de dialogo con las diversas restricciones a seleccionar, aparecerán disponibles para seleccionar solo aquellas que sean posibles, mientras las demás aparecerán en un tono más atenuado y no permitirá la posibilidad de seleccionarla. En la imagen mostrada arriba, se puede ver el cuadro de diálogo que aparece al clicar en la opción de restricciones. Simplemente quedaran habilitadas aquellas restricciones que se puedan imponer a los elementos seleccionados, en este caso en cuestión se trata de dos segmentos. A continuación, se explican los tipos de restricciones que aparecen en esta tabla de dialogo son:

NOMBRE	RESTRICCION
Distance	Distancia existente entre dos elementos
Length	Longitud de un elemento
Angle	Ángulo existente entre dos elementos
Radius/Diameter	Radio/Diámetro de una circunferencia/arco
Midpoint	Punto medio de una línea o de un eje
Fix	Fijar elementos en el espacio
Coincidence	Hacer dos puntos coincidentes en el espacio
Concentricity	Centrar un círculo sobre un elemento
Tangency	Hacer el elemento tangente a una circunferencia/arco
Parallelism	Hacer paralelos dos elementos seleccionados
Perpendicular	Hacer perpendiculares dos elementos seleccionados
Horizontal	Hacer horizontal un elemento seleccionado
Vertical	Hacer vertical un elemento seleccionado

3.3 HERRAMIENTAS 3D

3.3.1 PAD

Es la herramienta 3D más simple y básica, que permite realizar una extrusión a partir de un elemento o figura cerrada en 2D. Seguirá una dirección perpendicular al plano donde este realizado el *SKETCH*, en el sentido que le sea indicado. De esta manera, la sección realizada en el *SKETCH* sigue la dirección elegida para formar un elemento en 3D.

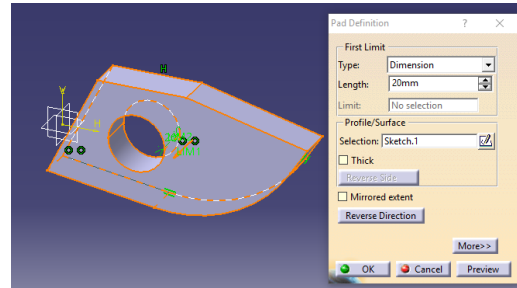


Ilustración 15. Panel de la herramienta PAD

3.3.2 POCKET

Esta herramienta puede ser considerada como la opuesta al *PAD*. De esta manera, partiendo de un *SKETCH* realizado previamente, se podría realizar un vaciado de una pieza siguiendo una dirección perpendicular al plano en el que se haya realizado. La gran diferencia de esta herramienta con la herramienta *HOLE* es que permite realizar un vaciado de cualquier perfil, no necesariamente de un perfil circular.

3.3.3 SHAFT

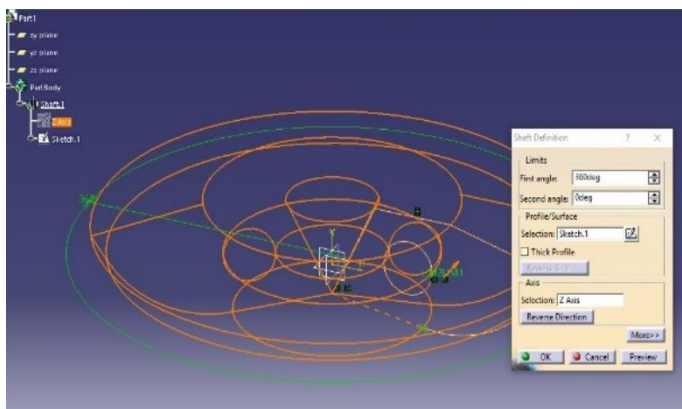


Ilustración 16. Panel de la herramienta SHAFT

Esta resulta una de las herramientas más útiles en los diseños 3D, ya que permite crear volúmenes de revolución, eligiendo un *SKETCH* y un eje de revolución, debido a que innumerables piezas tendrán simetría de

revolución. Para utilizar esta herramienta, como en las anteriores, será necesario haber creado previamente un perfil en un *SKETCH*.

3.3.4 GROOVE

Esta herramienta resulta ser, al igual que el *POCKET* era al *PAD*, el opuesto al *SHAFT*, ya que nos permite realizar vaciados con geometría de revolución, escogiendo el *SKETCH* y el eje de revolución, de la misma manera que lo hacíamos con el *SHAFT*.

3.3.5 HOLE

Esta herramienta es utilizada para la creación de agujeros, técnicamente llamados taladros, en las piezas 3D, con múltiples opciones como son su profundidad, diámetro o el roscado del taladro. Esta herramienta, a diferencia de la herramienta *POCKET*, tan solo permite la realización de taladros circulares, permitiendo posicionar el centro de dichos taladros de manera manual escogiendo un punto, que debe haber sido definido previamente, en el plano donde se realizará el taladro, al cual, además, se le puede indicar el sentido en el que se quiere realizar.

3.3.6 RIB

Esta herramienta tiene como función la creación un sólido a partir de dos perfiles, uno de ellos debe ser una figura cerrada, y el otro será utilizado como guía o espina, llevando a cabo una extrusión del perfil sobre la espina. También se puede utilizar la herramienta *RIB* para crear un agujero en el centro, mediante la opción *THICK PROFILE*, función que es equivalente a crear un perfil inicial que cuente ya con este agujero en el interior, lo cual se traducirá en un espacio hueco en el interior de la pieza.

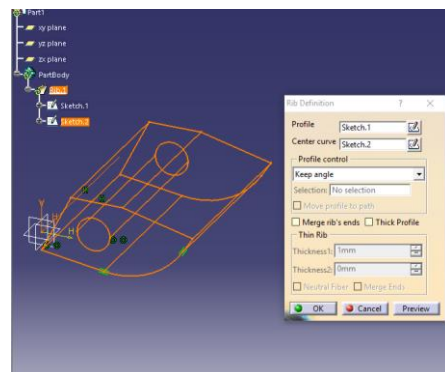


Ilustración 17. Panel de la herramienta *RIB*

3.3.7 MULTI-SECTIONS SOLID

Esta herramienta resulta una de las más versátiles en los diseños 3D. Permite la creación de un sólido a partir de la creación de diversos perfiles creados, cada uno de ellos creados

en distintos *SKETCH* en planos diferentes. Además, será posible añadirle una espina, trayectoria que seguirá para la creación del sólido (por el interior del sólido), así como guías, que resultan las trayectorias externas (por el borde del sólido). Para la creación del sólido mediante *MULTI-SECTIONS* será necesario, al menos, la creación de dos perfiles, pudiéndose crear todos los perfiles que se requieran. Por otra parte, es de especial importancia la dirección y sentido de generación de cada una de las secciones, así como los *CLOSING POINTS* los cuales determinarán en gran medida la forma de generación del sólido y el correcto resultado final.

3.3.8 EDGE FILLET

Esta herramienta es similar a la herramienta *CORNER* en 2D, con la diferencia de que permite generar bordes suaves en sólidos en 3D. De esta manera, se deberán seleccionar las dos superficies cuya intersección se pretende que bordear, además de ser necesaria la definición del radio que se le quiere dar a este bordeado.

3.3.9 HELIX

Esta herramienta permite al usuario la creación de una figura de forma helicoidal en 3D, proporcionándole la longitud total, el paso y otras características principales de la hélice. En otras palabras, esta herramienta se utiliza para la realización de hélices, necesarias para elementos como pueden ser muelles.

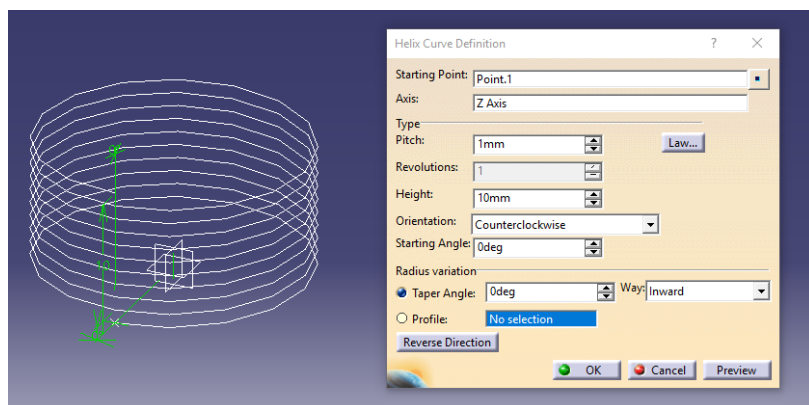


Ilustración 18. Panel de la herramienta HELIX

3.4 HERRAMIENTAS DE PATRONES

Este tipo de herramientas se utilizar para reproducir figuras, sólidos, vaciados, etc., anteriormente realizados. De esta manera se reproducirán siguiendo, como su propio nombre indica, un patrón. Para ello, será necesario elegir ciertas dimensiones, así como la cantidad de veces que se desea reproducir el elemento en cuestión.

- **RECTANGULAR PATTERN:** Seguirá un patrón que reproducirá el elemento en cuestión en dos dimensiones.
- **CIRCULAR PATTERN:** Seguirá un patrón radial, es decir, elegido un centro y, por tanto, determinado el radio, se reproducirá el elemento tantas veces como se desee manteniendo los centros de las figuras en la circunferencia elegida.

Esta herramienta resulta de gran utilidad en aquellos casos en los que las piezas a modelar cuentan con geometría de revolución, de manera que, si tienen taladros alrededor del eje, u otros elementos que se repiten con la misma simetría de revolución, será suficiente con realizar cualquier operación una sola vez para, posteriormente, mediante *CIRCULAR PATTERN*, completar la pieza.

3.5 HERRAMIENTAS DE ENSAMBLAJE

Las herramientas de ensamblaje, *ASSEMBLY TOOLS*, tienen una importante utilidad en los diseños de CATIA. De esta forma, permite la creación de las diversas piezas de un conjunto por separado para posteriormente ser ensambladas en este módulo. Para el ensamblaje, se cuenta con una serie de restricciones a las que se pueden someter las distintas piezas de manera que todas formen un conjunto como el deseado, creando un diseño definitivo.

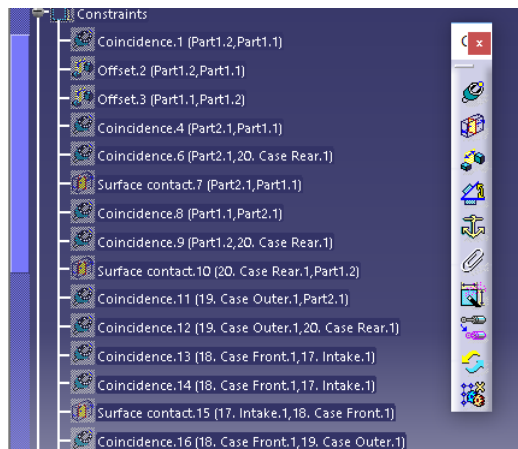


Ilustración 19. Restricciones en el módulo *ASSEMBLY DESIGN*

Este módulo de diseño facilita, por tanto, mucho la labor a la hora de llevar a cabo los diseños de las piezas por ordenador. De esta manera, se pueden simplificar los conjuntos en elementos simples, llevar a cabo su modelado y, posteriormente, unir todas las piezas diseñadas consiguiendo el conjunto completo.

Principalmente, las restricciones que se utilizan a la hora de realizar el ensamblaje de un conjunto de piezas son las siguientes:

NOMBRE	RESTRICCIÓN
Coincidence	Hacer coincidir superficies
Fix	Fijar un elemento en el espacio
Offset	Paralelismo entre dos superficies, eligiendo una distancia
Surface Contact	Contacto entre dos superficies

BLOQUE V.
MODELADO DE PIEZAS
EN CATIA V5.
DESCRIPCIÓN.

1. LISTADO DE PIEZAS

A continuación, se van a enumerar todas las piezas que conforman el modelo del turborreactor WREN MW54. Se ha llevado a cabo una separación de las diversas piezas en función de los grupos estructurales a los que pertenecen. Para cada grupo estructural, se comentará su función e importancia como conjunto, de manera previa a la exposición de las distintas piezas.

Posteriormente, se procederá al análisis y presentación de cada una de las piezas, comentando sus características y funciones de manera individual, así como el procedimiento para su modelado.

Sistema de presurización y obtención de potencia del motor. Grupo compresor-turbina [Ver Bloque V, Apartado 2, página 49]

1. Tuerca del compresor – *Compressor Nut*
2. Compresor – *Compressor*
3. Espaciador delantero – *Front Spacer*
4. Eje del compresor y de la turbina – *Shaft*
5. Espaciador trasero – *Rear Spacer*
6. Turbina – *Turbine*
7. Tuerca de la turbina – *Turbine Nut*
8. Sellante del eje – *Shaft Seal*
9. Difusor – *Diffuser*
10. Filtro – *Filter*
11. Cubierta del filtro – *Filter Cover*
12. Túnel/Galería del eje del compresor y de la turbina – *Shaft Tunnel*
13. Guías de la tobera de salida – *Nozzle Guide Vanes*
14. Muelle – *Spring*
15. Tubo de precarga – *Preload Tube*
16. Toma dinámica de aire – *Intake*
17. Carenado delantero – *Case Front*
18. Carenado exterior – *Case Outer*
19. Carenado trasero – *Case Rear*

Sistema de combustión. Cámara de combustión y sistema de inyección de combustible [Ver Bloque V, Apartado 3, página 65]

1. Cubierta interior de la cámara de combustión – *Inner Combustor Wrapper*
2. Cubierta exterior de la cámara de combustión – *Outer Combustor Wrapper*
3. Frontal de la cámara de combustión – *Combustion Chamber Front*
4. Trasera de la cámara de combustión – *Combustion Chamber Rear*
5. Tubo vaporizador – *Vapouriser Tube*
6. Tubo de remolino – *Swirl Tube*
7. Bujía – *Glow Plug Boss*
8. Tubería de combustible – *Fuel Pipe*
9. Unión final de la tubería – *Tube End Fitting*
10. Adaptador – *Adaptor*

Sistema de eyección del flujo. Tobera de salida [Ver Bloque V, Apartado 4, página 73]

1. Cono interior – *Inner Cone*
2. Cono exterior – *Outer Cone*
3. Aletas – *Outlet Vanes*

Sistemas de unión. Tornillos [Ver Bloque V, Apartado 5, página 76]

1. Tipo I: M2.5 x 8
2. Tipo II: M2.5 x 7
3. Tipo III: M2.5 x 5
4. Tipo IV: M3 x 4
5. Tipo V: M3 x 12

2. SISTEMA DE PRESURIZACIÓN Y OBTENCIÓN DE POTENCIA DEL MOTOR. GRUPO COMPRESOR-TURBINA.

Este sistema, compuesto por las piezas anteriormente mencionadas, es el encargado de proporcionar la potencia a la aeronave. Esta potencia puede ser utilizada de dos formas:

- En primer lugar, simplemente con el empuje producido por el chorro de aire que sale a través de la tobera de salida, el cual por principio de acción y reacción creará una fuerza hacia delante la cual producirá el movimiento.
- Por otro lado, también puede ser utilizada, además de por medio del empuje causado por el chorro, colocando una hélice unida mediante una caja reductora con el eje que une a compresor y turbina. De esta manera, además de la potencia resultante del chorro, la mayor parte de la potencia sería transmitida a través del eje al movimiento de la hélice, la cual sería la causante de la mayor parte del empuje que experimentaría la aeronave.

El principio básico por el que se rige este sistema es el principio de acción y reacción, como ya se ha comentado. Además, este sistema también es el encargado de la compresión del flujo de aire entrante. Es la turbina la que realiza el movimiento y, a través del eje que los conecta, mueve al compresor. Este comienza su movimiento rotacional, llevando a cabo una presurización el aire, que posteriormente entrará en la cámara de combustión, en las condiciones deseadas en cuanto a presión, donde se producirá la combustión. Es de crucial importancia que el aire entre a presiones altas para así mejorar el rendimiento del motor.

Una vez se ha producida la combustión, el flujo de aire se acelera, aumentando su temperatura y presión, y se dirige hacia la turbina, la cual comenzará a rotar como se ha comentado anteriormente. El resto del flujo de aire, a altas velocidades, será el encargado de proporcionar el empuje a la aeronave.

2.1 TOMA DINÁMICA DE AIRE

La toma dinámica de aire, o *Intake*, es un elemento clave a la hora de diseñar un motor a reacción. Es a través de este elemento por el que el chorro fluido, en este caso de aire, entra al motor para su posterior compresión y combustión. Además, se deben tener en cuenta las prestaciones necesarias o requeridas por el motor a la hora de diseñarla, ya que dependiendo del volumen, o flujo, de entrada de aire se podrá obtener, finalmente, un empuje u otro. Sin embargo, también un mayor volumen podrá someter a una mayor exigencia al compresor y turbina.

Para la realización de este elemento, se ha realizado un *SKETCH* con el perfil del *intake* y mediante la herramienta *SHAFT* se ha conseguido crear el volumen de revolución. Este procedimiento es común para todos aquellos elementos que cuentan con simetría de revolución. Finalmente, se le han añadido algunos agujeros necesarios para su posterior fijación con otros elementos mediante tornillos, mediante la herramienta *HOLE*. Únicamente es necesario realizar uno de los taladros, ya que el resto será posible reproducirlos a partir de este con la herramienta *CIRCULAR PATTERN*, debido a esta simetría de revolución de la pieza.

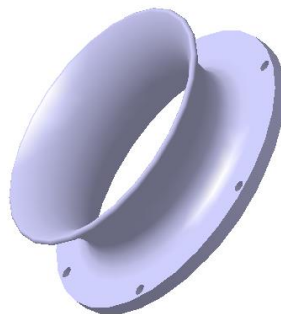


Ilustración 20. Modelo de toma dinámica en CATIA V5

2.2 TUERCA DEL COMPRESOR

En primer lugar, tras introducirse el flujo de aire en el motor, se encuentra la tuerca del compresor, la cual va unida al compresor del motor a través, también, del eje que une tanto al ya mencionado compresor como a la turbina. La función de este elemento es,

debido a que tiene un perfil suave, la redirección de la corriente de aire hacia la zona del compresor, tras haber pasado por la entrada de aire (*Intake*).

Su ejecución resulta relativamente sencilla debido a que se trata de un volumen de revolución, al cual se le han realizado unos taladros. Por tanto, la forma de proceder es exactamente igual que en el caso anterior de la toma dinámica de aire.

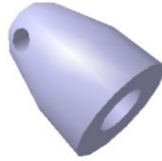


Ilustración 21 .Modelo de tuerca del compresor en CATIA V5

2.3 COMPRESOR

El compresor es, sin duda, uno de los elementos clave a la hora de diseñar un motor a reacción. Es el encargado de introducir el flujo de aire en las condiciones óptimas de presión para su posterior combustión, siendo, por tanto, fundamental si se trata de optimizar el empuje obtenido al final del ciclo.

Por tanto, se debe diseñar minuciosamente los álabes con los que cuenta, ya que son los hacen posible esta compresión. Su movimiento rotacional se deberá a la rotación del eje que une el compresor y la turbina, la cual a su vez rotará debido a la acción del flujo de aire tras la combustión, como ya se ha comentado.

Para el diseño de su base, se realizó como anteriormente ya se ha mencionado, debido a que se trata, igualmente, de un volumen de revolución. Es decir, únicamente conociendo el perfil de la pieza es posible llevar a cabo su modela, siempre y cuando no se tengan en cuenta los álabes, los cuales se diseñarán posteriormente.

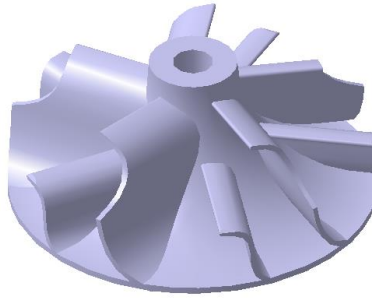


Ilustración 22. Modelo de compresor en CATIA V5

Para el diseño de estos álabes, se siguió el modelo especificado en los planos de la pieza: *Garret Part No. 446335-9*. Para ello, se realizó un perfil en un *SKETCH* el cual, mediante una extrusión (*PAD*) se convirtió en volumen. Posteriormente, se ejecutó la herramienta *CIRCULAR PATTERN* para obtener todos los álabes del compresor, ya que este también cuenta con simetría de revolución.

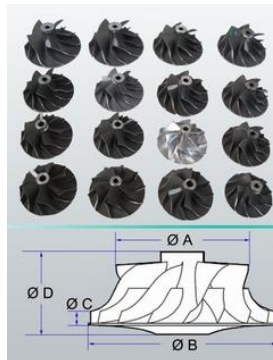


Ilustración 23. *Garret Part No. 446335-9* [18]

2.4 ESPACIADOR DELANTERO

El *Front Spacer*, directamente traducido como espaciador delantero, es un elemento cuya función es ejercer como nexo entre el compresor y la galería por cuyo interior transcurre el eje principal. Por su interior, como resulta evidente, también transcurre dicho eje llegando así hasta su unión con el compresor. Mediante este elemento se consigue proteger el movimiento del compresor.

En cuanto a su modelado, resulta bastante simple ya que se puede realizar por medio de la extrusión de dos anillos circulares superpuestos, el superior y el inferior, mediante la herramienta *PAD* del módulo de *PART DESIGN*.



Ilustración 24. Modelo de espaciador delantero en CATIA V5

2.5 EJE DEL COMPRESOR Y LA TURBINA

El eje se trata de otro elemento fundamental en un motor a reacción. Su función es, básicamente, la de unir tanto el compresor como la turbina. De esta forma, parte de la energía obtenida mediante la combustión se disipará en la turbina, generando un movimiento rotacional que será transmitido a través de este eje hasta el compresor, para que este ejecute su función ya mencionada previamente.

El diseño de este elemento tampoco resulta complejo debido a su simetría de revolución. Por ello, se ha procedido de la misma forma ya mencionada para los elementos con simetría de revolución.

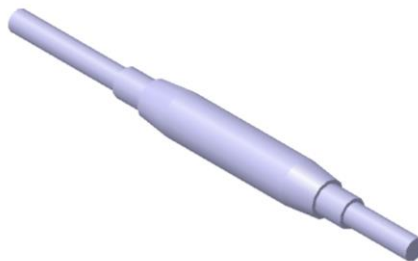


Ilustración 25. Modelo de eje en CATIA V5

2.6 ESPACIADOR TRASERO

El espaciador trasero, al igual que el delantero, tiene como función separar y ejercer como unión entre la galería del eje principal y la turbina. Se puede ver, por tanto, la analogía entre ambos, el espaciador delantero y trasero, sirviendo uno de unión con el compresor, mientras el otro hace lo propio con la turbina, elementos cruciales y de vital importancia en el rendimiento propulsivo del motor.

En cuanto a su modelado, debido a ser un perfil con simetría de revolución, es fácil realizarlo a partir de la herramienta *SHAFT*, como para tantos otros elementos se ha llevado a cabo.

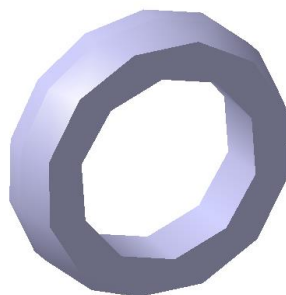


Ilustración 26. Modelo de espaciador trasero en CATIA V5

2.7 TUERCA DE LA TURBINA

Este elemento es relativamente sencillo. Se encuentra tras la turbina, unida a esta, en el interior del cono de salida. Se encuentra justo al final del eje principal que une al compresor y a la turbina, y sirve como cierre del mismo. Tiene geometría hexagonal y su modelado se puede realizar mediante una simple extrusión.

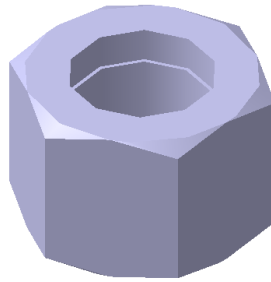


Ilustración 27. Modelo de tuerca de la turbina en CATIA V5

2.8 TURBINA

La turbina es, al igual que ya se ha comentado con el compresor, un elemento crucial en el diseño del motor a reacción. En ella tiene lugar la descompresión del flujo de aire proveniente de la cámara de combustión. Debido a esto, debe ser resistente a grandes temperaturas y a grandes presiones.

Su función es, básicamente, la de obtener parte de la energía del flujo del aire tras la combustión y transformarla en una rotación del eje que la une con el compresor. Así, parte de la energía será devuelta para la compresión de nuevo flujo de aire de entrada, de manera que es posible mantener el ciclo.

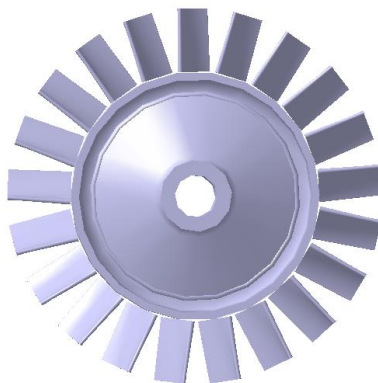


Ilustración 28. Modelo de turbina en CATIA V5 (I)

Para su diseño, se ha procedido al igual que se comentó anteriormente con el compresor. Se ha modelado, en primer lugar, la base, la cual cuenta con geometría de revolución y, posteriormente, los álabes de la turbina, de manera similar a la que se llevó a cabo con los del compresor, aunque en este caso se encuentran situados en la periferia de la base, y no sobre la misma.

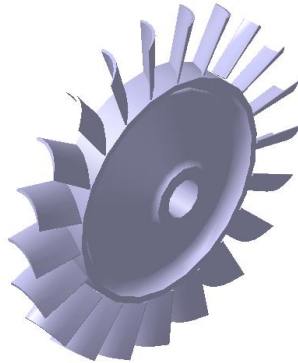


Ilustración 29. Modelo de turbina en CATIA V5 (II)

2.9 SELLANTE DEL EJE

Este elemento se encuentra colocado justo antes del túnel por cuyo interior se encuentra el eje, tras el difusor. También cuenta con geometría de revolución, a excepción de un canal en uno de sus lados. Además cuenta con seis taladros, los cuales se han realizado de la manera típica en los elementos que tiene simetría de revolución y taladros también axialmente simétricos: en primer lugar se realizó un taladro por medio de la herramienta *HOLE*, definiendo su diámetro y el lugar en el que se encuentra colocado en el elemento, para posteriormente ejecutar la herramienta *CIRCULAR PATTERN* que permita multiplicar estos agujeros a lo largo del volumen de revolución, en este caso obteniendo un total de seis taladros. Por otro lado, para el canal, se ha procedido mediante la herramienta *SLOT*, que permite la eliminación de material según un perfil.

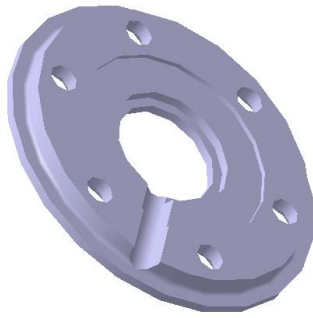


Ilustración 30. Modelo de sellante de eje en CATIA V5

2.10 DIFUSOR

Este elemento es el encargado de dirigir el flujo de aire que proviene del compresor hacia el interior de la cámara de combustión. Según se dice en [19], el difusor consigue aumentar la presión del aire que entra en dicha cámara y, además, evita que se apague la flama del interior de la cámara de combustión por entrada de flujo de aire directo. Este aumento de presión es conseguido a través de la deceleración del flujo, cuya reducción de velocidad es convertida en un aumento de presión estática.

Las aletas exteriores con las que cuenta son divergentes, para conseguir convertir esta energía cinética en presión. Posteriormente, tras el difusor, el flujo pasa hacia la cámara de combustión, teniendo una presión considerablemente alta.

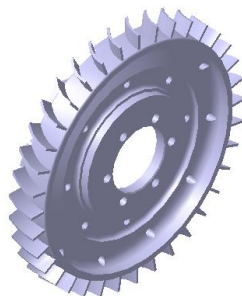


Ilustración 31. Modelo de difusor en CATIA V5 (I)

En cuanto a su modelado, este elemento resulta uno de los más complicados debido a la necesidad de modelar las aletas o álabes, además del perfil del mismo. Para su realización,

se han utilizado, principalmente, las herramientas *PAD*, *SHAFT* y *HOLE*, además de *CIRCULAR PATTERN*, debido a la marcada geometría de revolución que tiene esta pieza.

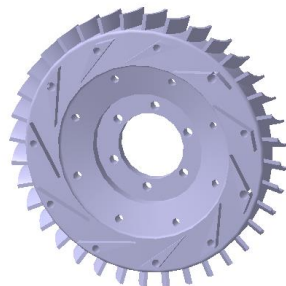


Ilustración 32. Modelo de difusor en CATIA V5 (II)

2.11 FLITRO Y CUBIERTA DEL FILTRO

Tanto el filtro como la cubierta del filtro, al igual que el sellante del eje, se encuentran a la salida del difusor, antes del túnel o galería del eje. Su modelado es relativamente sencillo, debido a que se tratan de anillos con cierto espesor. Para su realización simplemente se debe de realizar un *SKETCH* en el cual se refleje dicho anillo, y posteriormente, mediante la herramienta de extrusión *PAD*, darle el espesor deseado. Para los taladros se procederá exactamente igual que se comentó en el apartado del sellante del eje.

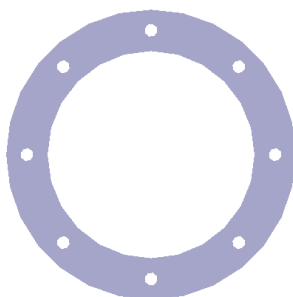


Ilustración 33. Modelo de filtro en CATIA V5

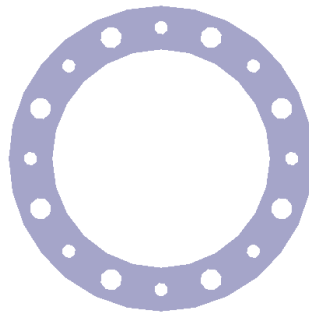


Ilustración 34. Modelo de cubierta del filtro en CATIA V5

2.12 TÚNEL/GALERÍA DEL EJE DEL COMPRESOR Y LA TURBINA

El túnel o galería del eje del compresor y la turbina tiene como función principal albergar el eje a lo largo de la cámara de combustión. De esta forma, le aporta cierta protección frente a las altas temperaturas y presiones esta cámara, así como ejerce de guía para el eje, permaneciendo fijo.

Como resulta lógico, se encuentra colocado entre los elementos que conecta el eje, es decir, entre el compresor y la turbina. Este eje es el encargado de transmitir potencia entre ambos elementos, a partir de la energía cinética del flujo de aire saliente de la cámara de combustión transformado por la turbina en energía de rotación, de ahí a la importancia de su protección contra las altas temperaturas y presiones de esta cámara de combustión.

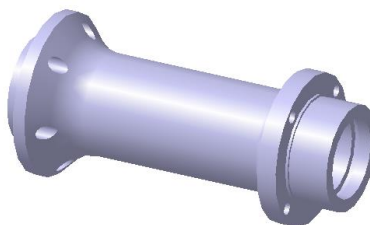


Ilustración 35. Modelo de galería del eje en CATIA V5 (I)

Su modelado, sin embargo, es relativamente sencillo. Aunque pueda parecer una pieza compleja, simplemente se trata de un perfil revolucionado con respecto a un eje, al cual se le deben añadir los taladros pertinentes. Se procede, por tanto, de la manera mencionada para los elementos similares.

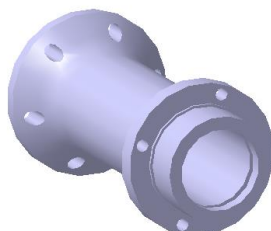


Ilustración 36. Modelo de galería del eje en CATIA V5 (II)

2.13 GUÍAS DE LA TOBERA DE SALIDA

Este elemento, a su vez, se puede dividir en dos elementos: la parte interna, o *Nozzle Guides Vanes Inner*; y la parte externa, o *Nozzle Guide Vanes Outer*. En su conjunto este elemento se encuentra justo antes de la turbina, es decir, justo a la salida de la cámara de combustión. La parte interna es aquella que conecta directamente con el túnel y por cuyo interior se encuentra el eje que llega finalmente a la turbina. Cuenta con geometría de revolución con algunos taladros, por lo que la manera de proceder es similar a la que ya se ha comentado para otros elementos anteriormente.

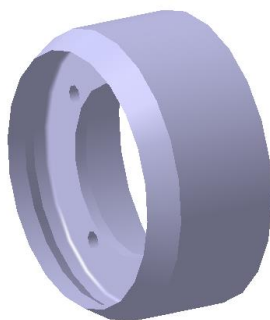


Ilustración 37. Modelo de parte interna de guía de la tobera de salida en CATIA V5

Por su parte, la parte externa, es aquella que se une con la parte del carenado externo y también cuenta con geometría de revolución y algunos taladros, los cuales serán necesarios para su fijación a otros elementos a través de tornillos.

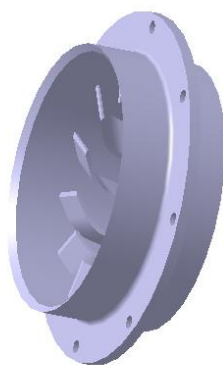


Ilustración 38. Modelo de parte externa de guía de la tobera de salida en CATIA V5 (I)

Además, es inmediato ver que entre la parte externa y la parte interna se encuentran unos álabes o aletas cuya función será, generalmente, la de guiar el flujo hacia la entrada de la turbina la cual, gracias a ello, comenzará su movimiento rotacional que transmitirá al eje. Para el modelado de estas aletas, se debe proceder como se hizo tanto para los álabes del compresor como para los propios de la turbina.

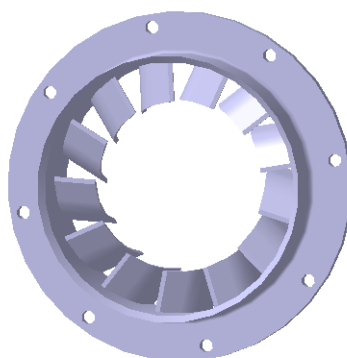


Ilustración 39. Modelo de parte externa de guía de la tobera de salida en CATIA V5 (II)

2.14 MUELLE

Este elemento, relativamente sencillo, se encuentra alrededor del eje que une el compresor y la turbina, a la altura de la cámara de combustión. Para su modelado, se utilizó la herramienta *HELIX*, perteneciente al módulo de *WIREFRAME AND SURFACE DESIGN*, por el cual es posible crear una hélice, con el diámetro y el paso de hélice deseado. Tras esto, ya en el módulo de *PART DESIGN*, mediante la herramienta *RIB*, es posible extruir un perfil circular a lo largo de la hélice anteriormente creada, obteniendo así este muelle.

Este elemento se encuentra situado alrededor del eje, en el interior de la galería, protegido de las altas sollicitaciones de la cámara de combustión.

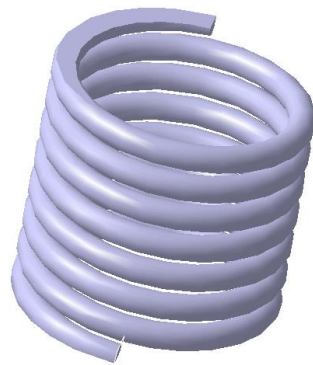


Ilustración 40. Modelo de muelle en CATIA V5

2.15 TUBO DE PRECARGA

Este elemento se trata, posiblemente, a la hora de modelar, del más sencillo de todos los elementos del motor. Se encuentra situado tras el muelle, alrededor del eje que une el compresor con la turbina, en el espacio interior del túnel.

Para su modelado, al tratarse de una piza extremadamente simple, simplemente se ha procedido a extruir un anillo circular realizado en un *SKETCH* mediante la herramienta *PAD*.

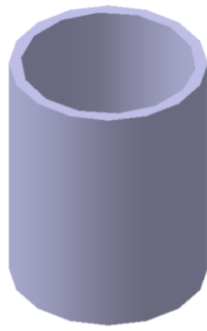


Ilustración 41. Modelo de tubo en CATIA V5

2.16 CARENADO DELANTERO, EXTERIOR Y TRASERO

Las carenas son los elementos encargados de aislar el motor del exterior. Es decir, todos los elementos propios del motor deben estar en su interior a excepción, como resulta lógico, de la toma de aire o *intake*, y la tobera de salida. La carcasa delantera, que cuenta con simetría de revolución, además tiene un gran número de taladros que servirán para la introducción de tornillos cuya función será la fijación con otros elementos.

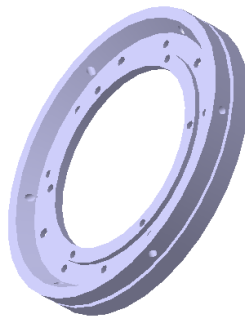


Ilustración 42. Modelo de carenado delantero en CATIA V5

La parte exterior del carenado es la encargada de aislar el grueso del motor con el exterior. Cuenta, tanto en la parte inferior como en la superior, con seis taladros para su fijación con las carcasas delanteras y traseras, así como dos taladros en el interior que permitirán la unión de las bujías con el exterior, en particular con el sistema eléctrico de la aeronave

para posibilitar la ignición dentro de la cámara de combustible. Estos taladros deben estar lo mejor sellados posible, asegurando así la estanqueidad, de manera que se pierda la menor eficiencia posible en el motor.

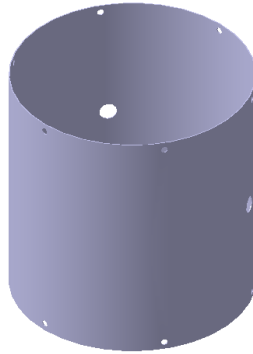


Ilustración 43. Modelo de carenado exterior en CATIA V5

Por último, se encuentra la carcasa trasera, la cual es bastante similar a la delantera. Por el hueco central se encontrará la tobera de salida, mientras que los pequeños taladros periféricos resultarán para la fijación tanto con el carenado exterior como con otros elementos internos, de manera que todo permanezca inmóvil.

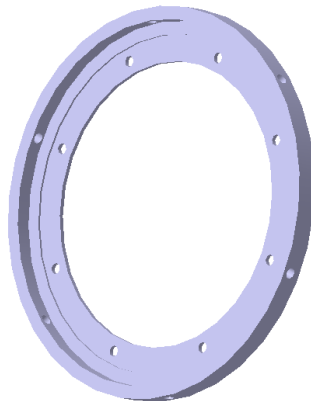


Ilustración 44. Modelo de carenado trasero en CATIA V5

3. SISTEMA DE COMBUSTIÓN. CÁMARA DE COMBUSTIÓN Y SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE.

El sistema de combustión es aquel en el que, como su propio nombre indica, tiene lugar la combustión y, por tanto, la aceleración del flujo. El aire, a alta presión tras pasar por el compresor, entra en la cámara de combustión. En esta cámara, mediante el sistema de inyección, se inserta combustible vaporizado, generándose una mezcla de aire comprimido y combustible vaporizado. Mediante el sistema de ignición, se produce una chispa que genera la combustión. El chorro de aire, a alta temperatura, presión y velocidad, se dirige hacia el compartimento donde se encuentra alojada la turbina para posteriormente escapar por la tobera de salida.

Por tanto, como se ha mencionado anteriormente, el sistema de combustión se puede dividir principalmente en tres subsistemas:

- Cámara de combustión: lugar donde entra el aire a altas presiones tras el compresor de alta, se mezcla con el combustible vaporizado, y donde, finalmente, se lleva a cabo la combustión.
- Sistema de inyección de combustible: se trata del sistema encargado de vaporizar e introducir el combustible en la cámara de combustión.
- Sistema de ignición: es el sistema encargado de producir la chispa para así comenzar la combustión de la mezcla aire-combustible.

El diseño de este sistema, así como los materiales de los que está compuesto, resulta de capital importancia debido a las altas presiones y temperaturas que debe soportar. Es, además, en este punto donde se genera la potencia necesaria que, posteriormente, a través de la turbina será traspasada, mediante un eje, al compresor y/o a una hélice; además de generar el empuje mediante la fuerza generada por el chorro a la salida de la tobera.

3.1 CUBIERTA INTERIOR DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

La cubierta interior de la cámara de combustión, la cual rodea a todo el túnel del eje, cuenta con numerosos taladros por diversos motivos, dos de ellos principalmente: introducción del combustible y refrigeración. Esto último, es debido a las altas temperaturas que tienen lugar en el interior de la cámara de combustión, por lo que la refrigeración de los materiales puede ser crucial para que no tenga solicitaciones excesivas y, por tanto, resulte lo suficientemente resistente.

En cuanto a su modelado, la mayor de las dificultades resulta el análisis de las medidas de los planos. Estos planos aportan los datos de las distancias entre los taladros como si se tratase de una placa plana, por lo que resulta necesario pasar la diferencia de colocación entre los diversos agujeros a ángulos. Una vez obtenidos la diferenciación en grados entre los centros de los taladros, mediante la herramienta *PLANE* es posible crear un plano con esa desviación sobre un plano tomado como referencia. Tras esto, será necesario crear un perfil en un *SKETCH* para, por último, crear el taladro con la opción *RIB*.

Para el paso de las dimensiones en milímetros a grados, se ha utilizado la siguiente relación:

$$\text{ángulo } (^{\circ}) = \frac{\text{distancia (mm)}}{\text{radio (mm)}} \times \frac{180 (^{\circ})}{\pi \text{ (rad)}}$$

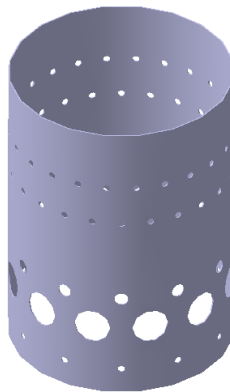


Ilustración 45. Modelo de cubierta interna de la cámara de combustión en CATIA V5

3.2 CUBIERTA EXTERNA DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

La cubierta exterior de la cámara de combustión, también concéntrica con el eje principal, y de un diámetro superior a la interior, también cuenta con un gran número de taladros, por los mismo motivos mencionados anteriormente: combustible y refrigeración. Es entre estas dos cubiertas, es decir, la externa y la interna, donde se pulveriza el combustible y tiene lugar la ignición, llevándose a cabo la combustión.

En cuanto al modelo, también ocurre el mismo problema que con la cubierta interior, ya que en los planos las medidas también son aportadas como si se tratase de una placa plana, por lo que se ha utilizado la fórmula comentada en el apartado anterior.

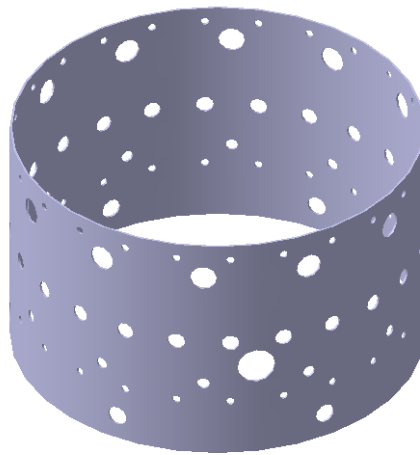


Ilustración 46. Modelo de cubierta externa de la cámara de combustión en CATIA V5

3.3 FRONTAL DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

Este elemento funciona, básicamente, como una tapadera para la cámara de combustión. Cuenta, como resulta lógico, con un taladro central para el paso de la galería por la que transcurre el eje.

Su modelado resulta simple, al tratarse de un elemento con simetría de revolución, por lo que lo único necesario es crear el perfil (*SKETCH*), para posteriormente hacerlo girar alrededor de un eje (*SHAFT*).

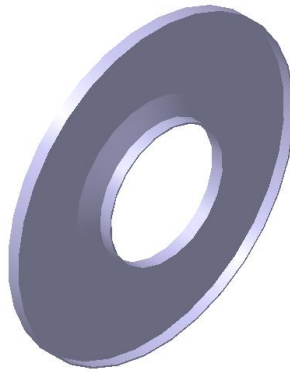


Ilustración 47. Modelo de la parte frontal de la cámara de combustión en CATIA V5

3.4 TRASERA DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

Este elemento, al igual que el anterior, sirve como cierre, además de unión, de la cámara de combustión. Sin embargo, este elemento cuenta con una importancia un tanto mayor, debido a que cuenta con doce taladros para la introducción del combustible en la cámara de combustión. Estos agujeros sirven para conectar un tubo vaporizador con el exterior, particularmente con la tubería de combustible, la cual, a su vez, se encuentra conectada con los depósitos de combustible de la aeronave.

Para su modelado la manera de proceder es exactamente igual que en el caso anterior, con la excepción de que se deben añadir los taladros. Para ello, se utiliza la herramienta *HOLE*, para, posteriormente, ejecutar *CIRCULAR PATTERN*.

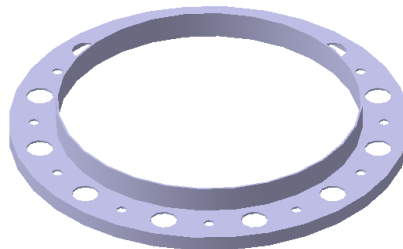


Ilustración 48. Modelo de la parte trasera de la cámara de combustión en CATIA V5

3.5 TUBO VAPORIZADOR

El tubo vaporizador, como ya se ha comentado anteriormente, es el encargado de pulverizar el combustible en el interior de la cámara de combustión. Tiene una función fundamental, ya que para que tenga lugar una correcta combustión es necesaria una correcta mezcla entre combustible y oxígeno. Es por ello, que este elemento se encuentra directamente conectado con la tubería de combustible.

Para la ejecución de la pieza en *CATIA V5R19* se procede creando un perfil y una guía y, con ello, se realiza una extrusión, con la herramienta *RIB*, indicando un espesor concreto.

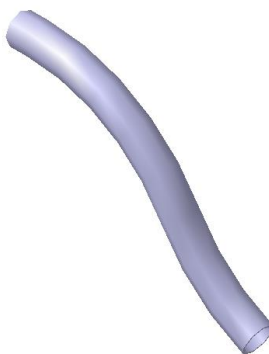


Ilustración 49. Modelo de tubo vaporizador de combustible en CATIA V5

3.6 TUBO DE REMOLINO

Este elemento, al igual que el tubo vaporizador, conecta el interior de la cámara de combustión con el exterior de la misma. Su finalidad puede tratarse para la introducción de un flujo de aire, ya sea para que se produzca un correcto aporte de oxígeno en el interior de la cámara, así como también para refrigeración de los materiales de la cámara y la correcta mezcla entre el combustible vaporizado y este oxígeno.

Su modelado resulta simple, y la manera de proceder es exactamente igual que para el resto de elementos que cuentan con una geometría similar, como por ejemplo podría ser el *espaciador delantero*.

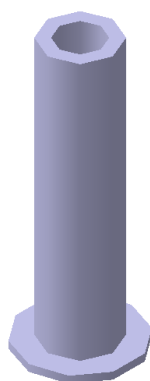


Ilustración 50. Modelo de tubo de remolino en CATIA V5

3.7 BUJÍA

Las bujías son un elemento también fundamental en el grupo de la cámara de combustión. Siendo más específico, forma parte del subsistema de ignición. Mediante este elemento se genera en el interior de la cámara de combustión una chispa, la cual es la causante del inicio de la combustión. Es por ello, que este elemento deberá estar conectado con el exterior, especialmente con el sistema eléctrico de la aeronave, a raíz del cual recibirá la corriente eléctrica necesaria para la producción de dicha chispa.

Su modelado en *CATIA V5R19* es especialmente simple, al tratarse simplemente de una extrusión de un anillo circular, por lo que la manera de proceder es igual a aquella descrita para el *tubo precarga*.

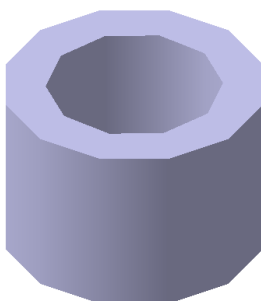


Ilustración 51. Modelo de bujía en CATIA V5

3.8 TUBERÍA DE COMBUSTIBLE

La tubería de combustible es el elemento encargado de introducir el combustible desde los depósitos de combustible de la aeronave, los cuales se encuentran fuera del carenado del motor, con el propio motor. Esta tubería, está unido mediante un adaptador al exterior, al través del cual se podrá introducir la tubería proveniente del depósito. Es decir, se trata de la unión del depósito con la cámara de combustión.

Para su modelado, se puede dividir en dos partes principales. La primera de ellas, la parte recta de la tubería, que se puede modular, utilizando la herramienta *RIB*, es decir, creando un perfil circular y posteriormente extruirlo a través de la guía, creada en un *SKETCH* aparte. Para la parte circular de la tubería, se procede de la misma forma, siendo en este caso la guía una circunferencia.

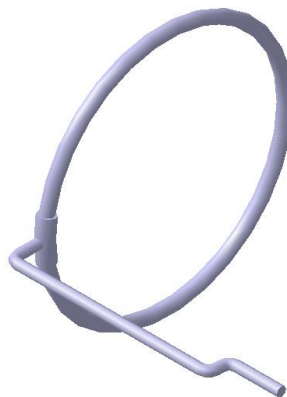


Ilustración 52. Modelo de tubería de combustible en CATIA V5

3.9 UNIÓN FINAL DE LA TUBERÍA

Este elemento resulta como nexo de unión entre el interior del motor, es decir, aquello que se encuentra en el interior de la carcasa con el exterior. El motor cuenta con hasta tres entradas, dos de ellas serán utilizadas para la introducción de aire o lubricación, mientras otra será utilizada para la introducción del combustible en la cámara de combustión. También se trata de un elemento que cuenta con simetría de revolución,

aunque en este caso se puede modelar simplemente mediante la unión de dos anillos circulares extruidos mediante la herramienta *PAD*.

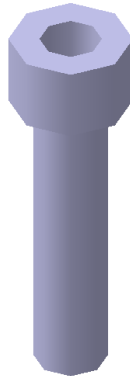


Ilustración 53. Modelo de unión final de tubería de combustible en CATIA V5

3.10 ADAPTADOR

Finalmente, este elemento que resulta adicional al anterior, también cumple una función como nexo de unión entre interior y exterior del motor. Se trata de un elemento que permite adaptar una entra de flujo de aire, aceite o combustible a la entrada del motor; ya sea para refrigeración, lubricación o, simplemente, para el aporte de combustible desde los depósitos. Su modelado es prácticamente idéntico al del elemento anterior, con la diferencia del bordeado superior de la cabeza hexagonal del adaptador, que se puede modelar mediante el uso de la herramienta *INTERSECT*, perteneciente al módulo de *WIREFRAME AND SURFACE DESIGN*.

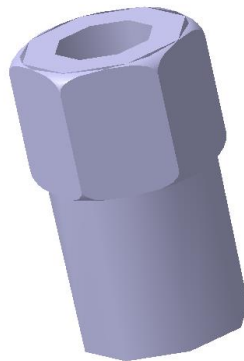


Ilustración 54. Modelo de adaptador de tubería de combustible en CATIA V5

4. SISTEMA DE EYECCIÓN DEL FLUJO. TOBERA DE SALIDA.

Mediante el sistema de eyección del flujo de aire se consigue generar, como ya se ha comentado, por el principio de acción y reacción de las fuerzas, un empuje que finalmente es el que permitirá volar a la aeronave. Es decir, este empuje imprimirá una cierta velocidad a la aeronave, en la cual, debido a la estructura alar, se generará una sustentación que la permitirá volar, como se puede intuir de las ecuaciones mostradas en el apartado anterior de *Actuaciones*. Es por ello, que el correcto diseño de este sistema, especialmente del cono de salida, permitirá mejorar las actuaciones de la aeronave.

Este cono o tobera de salida, tiene forma convergente, es decir, tiene una sección que se va haciendo cada vez más pequeña. Este diseño de la tobera de salida consigue, mediante esta disminución de la sección, un aumento de la velocidad del flujo eyectado hacia el exterior.

Además, aunque el flujo transcurre a lo largo del cono de salida tras haber perdido parte de la energía en la turbina, debido a que se encuentra tras la cámara de combustión, este flujo de aire llega a presiones y temperaturas excesivamente elevadas, por lo que los materiales de los que se componga deben ser lo suficientemente resistentes. Como anteriormente se ha mostrado en el bloque de *Actuaciones*, estas temperaturas pueden llegar a los 530°C en esta tobera de salida, por lo que es preciso la utilización de materiales metálicos con altos puntos de fusión. En cuanto a la presión, que se encuentra en torno a 1.4 Bar, tampoco parece una solicitud extrema, debido a las pequeñas dimensiones de este motor a reacción.

El cono de salida de este modelo se compone principalmente de tres partes, una parte interna, que tiene forma convergente y una parte externa que la rodea, unidas a través de cuatro aletas. La parte externa, a su vez, se encuentra conectado con el carenado externo.

4.1 CONO INTERIOR

Este elemento se encuentra al final del motor. El flujo de aire retorna al exterior a través de la salida del cono, por lo que su diseño debe ser meticulosamente analizado de manera que se puedan optimizar las prestaciones recibidas. Tras pasar por la cámara de combustión, y posteriormente haber disipado cierta cantidad de energía en la turbina, el flujo sigue avanzado hacia la tobera de salida. La fuerza ejercida al salir al exterior, mediante el principio de acción y reacción, permite a la aeronave adquirir un cierto empuje. A mayor velocidad del flujo de aire a la salida, mayor empuje estará disponible.

Este cono cuenta con una parte interna y otra parte externa, ambas unidas mediante unos álabes. Este parte interna que se ha diseñado, cuenta con una geometría convergente, de manera que la velocidad del flujo de aire expulsado al exterior es mayor que al salir de la turbina.

Su modelado, igualmente, es simple y que se trata de un elemento con geometría de revolución, del que únicamente es necesario trazar su perfil a partir de los planos, para posteriormente ejecutar la herramienta *SHAFT*.

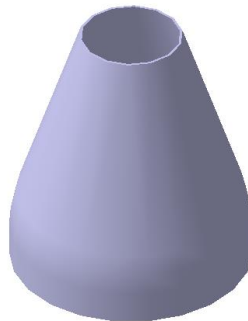


Ilustración 55. Modelo de la parte interior del cono de salida en CATIA V5

4.2 CONO EXTERIOR

Este elemento es el encargado de conectar la tobera de salida, es decir, el cono interior, con la carcasa trasera del motor. Se conecta, a su vez, al cono interno mediante unas aletas que sirven también de guía para el flujo de aire, y permiten obtener una mayor eficiencia. Al igual que el cono interior, cuenta con geometría de revolución, aunque

además cuenta con cuatro pestañas cuya única función es la de servir para albergar elementos de sujeción, para fijar el cono a la carena exterior.

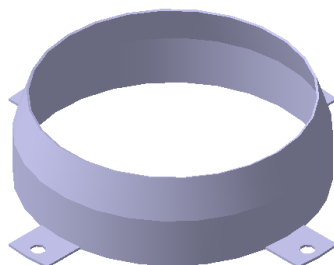


Ilustración 56. Modelo de la parte exterior del cono de salida en CATIA V5

4.3 ALETAS

Las aletas, como anteriormente se ha mencionado, se encuentran situadas entre el cono interior y el exterior de la tobera de salida. Sirve para dirigir el flujo de aire, y así, conseguir una mayor eficiencia. Su modelado, sin embargo, resulta un tanto más complejo, ya que cuenta con varias pestañas. Para el redondeo de los bordes de la pieza, se ha utilizado la herramienta *CHAMFER*, perteneciente al módulo de *PART DESIGN*.

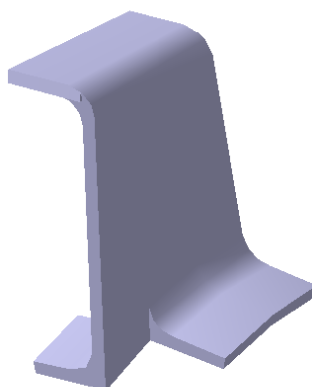


Ilustración 57. Modelo de aleta en CATIA V5

5. SISTEMAS DE UNIÓN. TORNILLOS.

Por último, se encuentran los sistemas de unión, que permiten la sujeción de distintas partes dentro de los sistemas. También deben ser minuciosamente analizados para que aporte las prestaciones necesarias, en cuanto a resistencia, por ejemplo, ya que un fallo en la unión entre sistemas puede resultar fatal. Es por tanto, que la correcta unión entre los diversos elementos, creando además estanqueidad en el interior del mismo, tiene una capital importancia en el funcionamiento de esto.

Para todos los tipos de tornillos modelados, debido a que tan solo cambian las dimensiones de estos, la manera de proceder ha sido exactamente igual. Mediante la extrusión, con la herramienta *PAD*, de dos círculos distintos, cada una de las extrusiones con una longitud determinada, es inmediata la ejecución de este tipo de elemento. Estos elementos, sin embargo, tendrán un mayor protagonismo posteriormente en el módulo de ensamblaje.

Los diversos tornillos vienen clasificados según MxL donde tanto la M como la L significan un número, por ejemplo, M3x4. La M es el diámetro, mientras que la L sería la longitud del propio tornillo, en el ejemplo anterior se contaría con un diámetro de 3 milímetros, y una longitud de 4 milímetros, sin tener en cuenta la cabeza del tornillo. De esta forma, mediante los dos números, quedan determinadas las dimensiones de los distintos tornillos.

5.1 TIPO I: M2.5 x 8

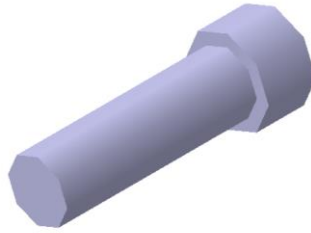


Ilustración 58. Modelo de tornillo M2.5x8 en CATIA V5

5.2 TIPO II: M2.5 x7

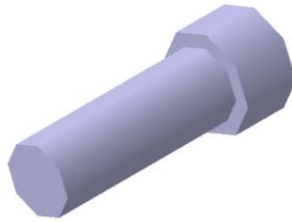


Ilustración 59. Modelo de tornillo M2.5x7 en CATIA V5

5.3 TIPO III: M2.5 x 5

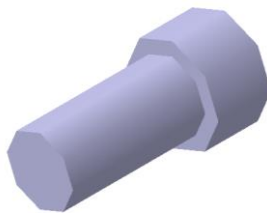


Ilustración 60. Modelo de tornillo M2.5x5 en CATIA V5

5.4 TIPO IV: M3 x 4

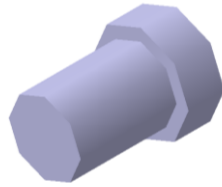


Ilustración 61. Modelo de tornillo M3x4 en CATIA V5

5.5 TIPO V: M3 x 12

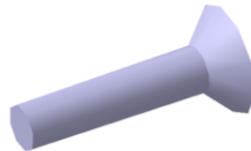


Ilustración 62. Modelo de tornillo M3x12 en CATIA V5

BLOQUE VI.

**ENSAMBLADO FINAL
DEL MODELO WREN
MW54.**

GRUPOS ENSAMBLADOS

Para todos estos grupos ensamblados, formados por una conjunción de diversas piezas realizadas en el módulo de *PART DESIGN*, se ha utilizado el módulo de *ASSEMBLY DESIGN*. Principalmente, dentro de este bloque, se han utilizado las restricciones *COINCIDENCE*, *SURFACE CONTACT* y *OFFSET*, ya explicadas en el bloque anterior dedicado a las herramientas del módulo de ensamblaje, mediante las cuales se ha podido realizar prácticamente la totalidad de los ensamblajes.

Por otro lado, para la correcta visualización de las piezas mientras se realizaba su ensamblaje, se ha utilizado la herramienta *MANIPULATION*, para mover las piezas en la dirección de cualquiera de los tres ejes, así como para realizar posibles giros sobre los mismos. Sin embargo, esta herramienta tiene un uso meramente informativo, ya que todas las piezas deben contar con todas las restricciones necesarias para quedar correctamente fijadas en el espacio tridimensional.

1. ENSAMBLAJE GRUPO PRINCIPAL

El grupo principal es el conjunto dedicado a la toma dinámica del flujo de aire a la entrada y su compresión, de manera que entre a la cámara de combustión en las condiciones óptimas, así como también es el encargado de transformar la energía cinética a la salida de la cámara de combustión en energía de rotación para que pueda tener lugar la compresión anteriormente comentada. Es decir, este grupo está compuesto de aquellos componentes que intervienen desde la entrada del flujo de aire, hasta que la energía cinética a la salida de la cámara de combustión es traspasada a un eje, conectado con el compresor, a través de la turbina, sin tener en cuenta, como ya se ha comentado, el grupo de la cámara de combustión.

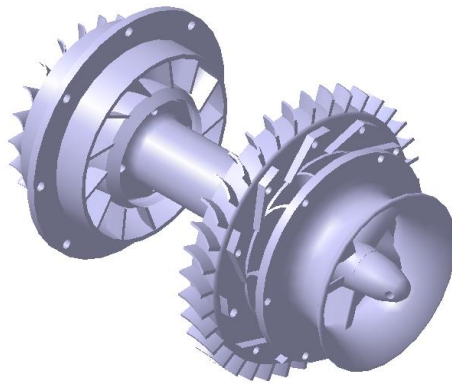


Ilustración 63. Modelo de ensamblado del grupo principal sin carena en CATIA V5 (I)

Este grupo es, posiblemente, el de mayor complejidad en cuanto a modelado, debido al gran número de elementos que lo componen. Conforman el grupo y la parte estructural más importante dentro del diseño de un motor a reacción.

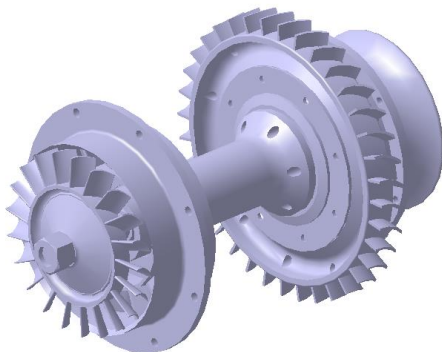


Ilustración 64. Modelo de ensamblado del grupo principal sin carena en CATIA V5 (II)

Esta formado, además, tanto por elementos del interior del motor, los encargados de la presurización y despresurización del flujo, así como por el carenado exterior, encargado de aislar el modelo grupo del exterior.

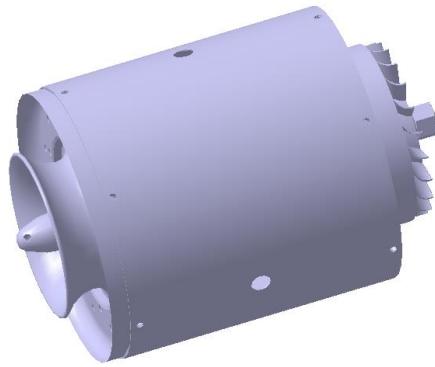


Ilustración 65. Modelo de ensamblado del grupo principal con carena en CATIA V5

2. ENSAMBLAJE DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

Está formado por todos aquellos elementos que forman la cámara de combustión, así como los elementos del sistema de encendido, es decir, las bujías; pero sin contar el sistema de inyección de combustible, formado por la tubería y adaptadores. En primer lugar, tanto la cobertura interna como la externa, como parece lógico, son concéntricas, es decir, tienen el mismo eje de revolución. Por su parte, tanto la tapadera superior como la inferior también cuentan con el mismo eje de simetría de revolución, lo cual simplifica mucho el ensamblaje de las piezas mediante la restricción *COINCIDENCE*.

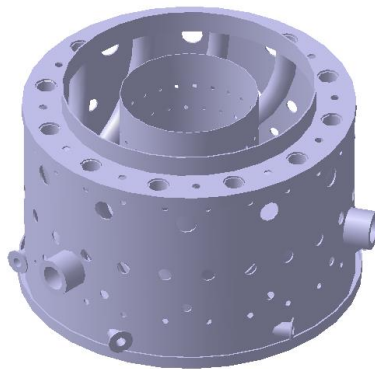


Ilustración 66. Modelo de ensamblaje de cámara de combustión en CATIA V5 (I)

Por otra parte, entre ambas coberturas de la cámara, tanto la interior como la exterior, se encuentran los vaporizadores, los cuales obtienen la carga de combustible a partir de la tubería de combustible, conectada con los depósitos de la aeronave, y lo introducen en la cámara de combustión para el comienzo del ciclo.

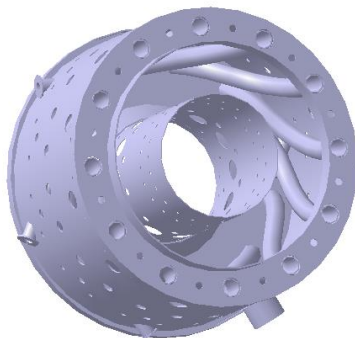


Ilustración 67. Modelo de ensamblaje de cámara de combustión en CATIA V5 (II)

3. ENSAMBLAJE DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE

Por su parte, el sistema de inyección de combustible resulta ciertamente simple. Cuenta con tan solo tres elementos: la tubería de combustible, una unión al final de ella, y un adaptador con el exterior unido a este último. De esta manera, tan solo mediante el uso de las restricciones *COINCIDENCE* y *OFFSET* se pueden unir los tres elementos al final de la tubería de combustible.

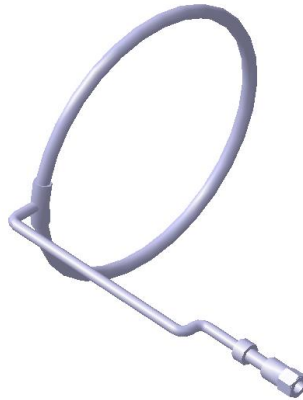


Ilustración 68. Modelo de ensamble de la tubería de combustible en CATIA V5

4. ENSAMBLAJE DEL SISTEMA DE CONO DE SALIDA

Este grupo compone el último de todos, aquel conectado con el exterior para la expulsión del flujo de aire a gran velocidad. Aunque el flujo pierda cierta energía cinética en la turbina para el movimiento del eje del compresor, el flujo de aire cuando sale por el cono de salida lo hace a unas velocidades increíblemente altas, además de a elevadas temperaturas, lo cual crea la posibilidad de que se genere un empuje lo suficientemente grande que permita a la aeronave crear una sustentación superior a su peso y, por tanto, volar.

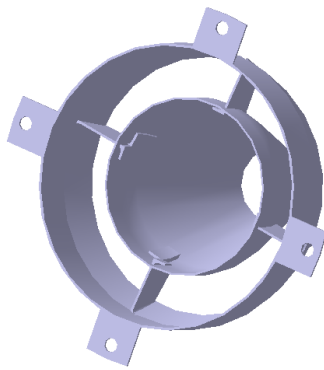


Ilustración 69. Modelo de ensamblaje de cono de salida en CATIA V5 (I)

Cuenta con un cono interno y otro externo y, entre ellos, se encuentran unos álabes o aletas que permiten redirigir el flujo a la salida para, así, conseguir las mejores prestaciones, además de servir como nexo entre ambas piezas.

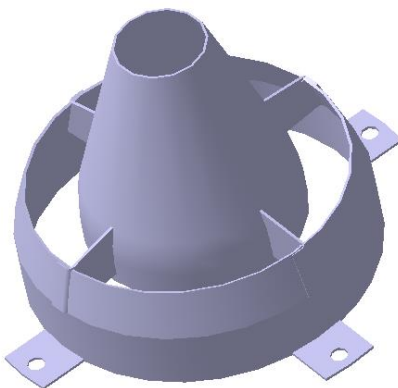


Ilustración 70. Modelo de ensamblaje de cono de salida en CATIA V5 (II)

5. ENSAMBLAJE DEL CONJUNTO COMPLETO

Finalmente, todos los grupos estructurales anteriormente comentados, se ensamblan como un único conjunto final que cuente con todas las piezas y formen el motor. Una vez ensamblados cada uno de los distintos grupos por separados, la unión de estos no supone una gran complejidad, ya que se puede tratar como si se tratase de la unión de simplemente cuatro piezas, como son los cuatro grupos estructurales anteriormente comentados.

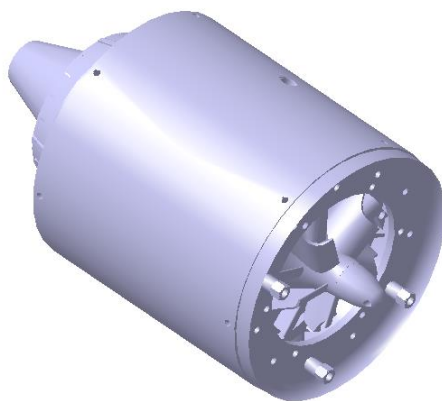


Ilustración 71. Modelo de ensamblaje del WREN MW 54 en CATIA V5 (I)

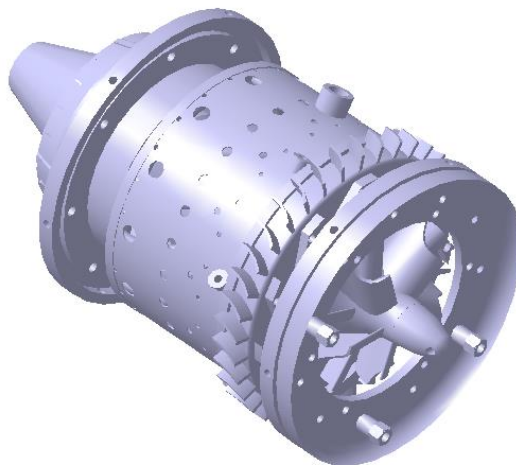


Ilustración 72. Modelo de ensamblaje del WREN MW 54 en CATIA V5 (II)

6. ENSAMBLAJE DEL CONJUNTO COMPLETO CON ELEMENTOS DE UNIÓN

Una vez finalizado el ensamblaje de la totalidad del conjunto, se ha procedido a introducir los elementos de unión, en este caso tornillos, entre las diversas piezas que forman el diseño, de forma que permanezca el conjunto como un todo unido y fijo. Para ello, se ha analizado a través de los planos aquellas piezas que van unidas entre sí por medio de estos elementos. Este proceso, una vez terminado el conjunto completo, resulta ciertamente simple debido a que tan solo hacen falta las restricciones *COINCIDENCE* y *OFFSET* para fijar los elementos entre sí.

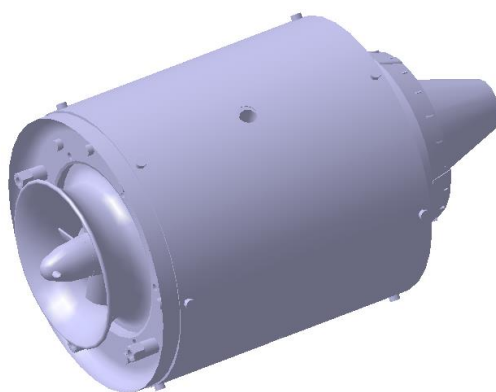


Ilustración 73. Modelo de ensamblaje del WREN MW 54 con elementos de unión en CATIA V5 (I)

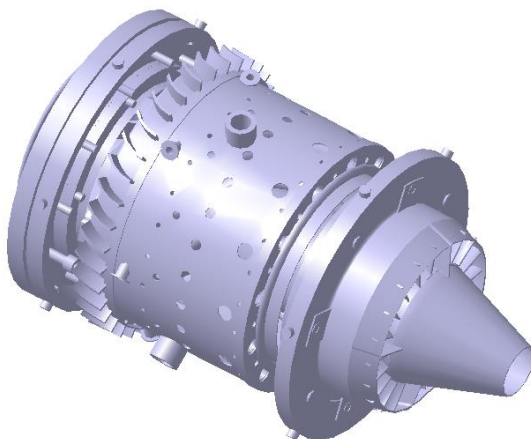


Ilustración 74. Modelo de ensamblaje del WREN MW 54 con elementos de unión en CATIA V5 (II)

BLOQUE VII.
ANÁLISIS DE LOS
RESULTADOS, CONCLUSIONES
Y DESARROLLOS FUTUROS

1. ANÁLISIS

Para la elaboración de este modelo de turborreactor WREN MW54, se han seguido los planos de la manera más próxima posible, intentando plasmar con exactitud los planos en dos dimensiones en el diseño final tridimensional. Para ello, se han debido analizar minuciosamente todos los planos con los que se contaba, para de esta manera poder modelar cada una de las piezas con las que cuenta el modelo, y, posteriormente, ensamblarlas.

Para su realización, se han utilizado básicamente tres módulos del programa *CATIA V5R19*, los cuales son: *PART DESIGN*, *WIREFRAME AND SURFACE DESIGN* y *ASSEMBLY DESIGN*; gracias a los cuales ha resultado posible modelar cada una de las piezas y, más adelante, proceder a ensamblarlas en diversos grupos para, finalmente, generar un solo conjunto, obteniendo el modelo de motor turborreactor objetivo del trabajo.

1.1 COMPARACIÓN

Por otro lado, una vez obtenido el resultado final del modelado de este turborreactor, se puede realizar una comparación con respecto al Trabajo de Fin de Grado realizado por el alumno Félix Rentero de Llano [20], en colaboración con los tutores Juan Martínez Palacios y María Gloria del Río Cidoncha, en el año 2008. Como primera gran diferencia, se puede tener en cuenta el punto de vista tan diverso y la finalidad de cada uno de los motores. En primer lugar, el General Electric J85-13 se trata de un turborreactor de grandes dimensiones, diseñado para grandes modelos de aeronaves que solicitan potencias muy elevadas. Sin embargo, el WREN MW54 es un motor recreativo, que puede ser confeccionado por un aficionado amateur, sin necesidad de grandes inversiones económicas en materiales ni fabricación. Se puede decir, por tanto, que se trata de un motor mucho más simple y, por supuesto, debido a las bajas potencias objetivo que se consiguen con este tipo de turborreactor, de tamaño mucho más reducido.

Una de las diferencias principales es visible, además de en el tamaño ya mencionado, en que el motor de General Electric cuenta con un post-combustor, que permite imprimir una potencia extra en caso de que fuese necesario en situaciones límite o comprometidas, como podría ser el despegue. Este elemento, puede resultar necesario en aeronaves con

pesos en despegue muy elevados (*MTOW*), lo cual crea una imperante necesidad de potencia extra. En este post-combustor tendrá lugar una segunda combustión, después de la ya producida en la cámara de combustión – como con la que sí cuenta el modelo de WREN MW54 – gracias a la cual se conseguirá un aumento porcentual del empuje para mejorar las prestaciones de la aeronave. De esta manera, además, se hace innecesaria la posibilidad de obtener un motor sobredimensionado simplemente para poder hacer frente a las situaciones más comprometidas del vuelo, como lo es el despegue.

Además, debido a la mayor potencia producida por el General Electric J85-13, este soportará temperaturas y presiones mucho más elevadas, por lo que los materiales de los que se componga el modelo deberán ser minuciosamente escogidos, así como deberán tener unas propiedades en cuanto a puntos de fusión y resistencia mucho mayores.

Sin embargo, aun siendo modelos cuyas finalidades operativas son totalmente diferentes, se puede comparar que los elementos básicos con los que cuenta el motor coinciden. Es decir, se cuenta con un compresor y una turbina unidos mediante un eje, la cámara de combustión, la toma dinámica de aire, la tobera de salida y el carenado exterior. Es por ello, que ambos son considerados modelos *turbojet*.

2. CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo, en comparativa con el realizado sobre el General Electric J85-13, es mostrar la diversidad de motores que se pueden encontrar, para diferentes actividades y con distintas finalidades operacionales, aunque todos ellos teniendo un denominador común: ser modelos *turbojet*. Y, es por ello, que no existe la necesidad de grandes inversiones económicas, ni obtener grandes conocimientos técnicos para el desarrollo de un motor a reacción.

Finalmente, se puede concluir que el objetivo planteado al inicio del desempeño de esta tarea se considera cumplido, ya que se ha logrado profundizar en la materia del diseño asistido por ordenador, comprendiendo íntimamente cada una de las herramientas con las que cuenta el programa *CATIA*, de gran importancia en la actualidad aeronáutica, consiguiendo un enriquecimiento profesional. Además, por otra parte, se ha logrado el entendimiento de manera profunda de los elementos que componen un motor a reacción, así como de la manera que se encuentra dispuestos en el interior de la carena

del motor. De esta forma, y de manera muy visual, se ha conocido el funcionamiento a fondo de cada una de las piezas en el interior del motor de una aeronave, lo cual también significa un amplio crecimiento en el ámbito profesional.

3. DESARROLLOS FUTUROS

Una vez finalizado el desarrollo del proyecto, aún existen cuestiones sobre las cuales es posible profundizar, en caso de llevar a cabo un desarrollo futuro.

En primer lugar, y debido a que el programa de CATIA V5 no cuenta con las herramientas más eficaces para ello, se podría llevar a cabo un renderizado del modelo de turborreactor a través de otro programa, como podría ser *KEYSHOT*. Se puede entender por renderizado aquel proceso dedicado a crear una imagen a partir de cierto modelo. Por tanto, *KEYSHOT*, se trata de un programa de renderizado e iluminación a nivel mundial desarrollado por la compañía *Luxion*, tanto para los sistemas operativos de Microsoft como para los propios de Mac, que permite obtener imágenes fotográficas a partir de modelos 3D en una calidad bastante destacable. De esta manera, la visualización del conjunto de piezas que conforman el modelo, así como del ensamblaje completo, sería mucho más nítida y podría ayudar a la correcta comprensión del modelo.

Por último, otro de los posibles desarrollos futuros del proyecto sería la obtención de un modelo físico llevando a cabo el montaje del modelo de turborreactor WREN MW54 en la realidad. Debido a que se trata de un modelo de pequeñas dimensiones para el cual no es necesario realizar un desembolso económico excesivo, se podría plantear la idea de llevar a cabo el montaje del este. Contando con el modelo tridimensional del ensamblaje, además, no resultaría de una dificultad desmedida dicho proceso. Es por tanto que sería posible obtener un modelo físico de este motor a reacción. Una vez obtenido dicho modelo, sería el momento de embarcarlo en alguna aeronave y, así, probar su correcto funcionamiento.

Para la ejecución de este modelo físico, sería posible la utilización de un impresora 3D para la obtención de cada una de las piezas, ya que estas impresoras se encuentran en profundo avance en la actualidad, pudiendo obtener estas piezas de manera económica y que, además, facilita, en gran medida, la construcción de los diversos elementos una vez se tienen los modelos tridimensionales en un programa informático, como podría ser

CATIA V5. Además, utilizando una impresora 3D, se puede asegurar cierta exactitud y precisión en cuanto a las piezas diseñadas, lo cual en un futuro puede resultar beneficioso a la hora de llevar a cabo el ensamblaje final, ya que no se tendrán problemas de incompatibilidad entre las diversas piezas por errores en cuanto a las dimensiones de las mismas. Concluyendo, de esta manera, se podría obtener un modelo físico para uso personal y recreativo de este turborreactor sin necesidad de una gran inversión económica gracias a la inclusión en el mercado de las impresoras 3D y al modelado de las diversas piezas y ensamblajes a través de CATIA V5R19.

BLOQUE VIII.

BIBLIOGRAFÍA

1. BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Just the facts. 1903 The Wright Flyer I*. Consultado el 12 de junio 2018.
Disponible en línea:
http://www.wright-brothers.org/Information_Desk/Just_the_Facts/Airplanes/Flyer_I.htm
- [2] *La eolipila. Un revolucionario invento de hace dos mil años*.
Consultado el 12 de junio de 2018. Disponible en línea:
<https://blogs.20minutos.es/yaestaellistoquetodolosabe/la-eolipila-un-invento-de-hace-2000-anos>
- [3] F. EL-SAYED, AHMED. *Aircraft Propulsion and Gas Turbine Engines*. CRC Press, 2011.
- [4] ZACHARIAH CANSLER, ETHAN. *The development of the turbojet engine in Britain and Germany as a lens for future developments*. Tesis del Proyecto. Supervisor el doctor Robert Blond. University of Tennessee, Knoxville, 2013.
- [5] *El inventor del motor a reacción Hans von Ohain*. Consultado el 16 de junio de 2018. Disponible en línea:
<https://www.pinterest.es/pin/762445411884915936/?lp=true>
- [6] *Boeing 707-420*. Consultado el 17 de junio de 2018. Disponible en línea:
<https://ar.pinterest.com/pin/333970128600297919/>
- [7] *El vuelo en ultraligero motorizado (ULM)*. [en línea]. Consultado el 16 de junio de 2018. Disponible en: <https://ocw.unizar.es/ciencias-de-la-salud-1/actividades-fisicas-y-deportivas-aereas/TemaULMPDF.pdf>
- [8] SALVADOR VALERO, BEATRIZ. *Aviación ultraligera. Normativa en España, Alemania y Reino Unido. Propuesta de unificación para una legislación común europea*. Trabajo de fin de Grado. Dirigido por José Manuel Pérez de la Cruz. Universidad Autónoma de Barcelona, 2016.

- [9] *Historia de los drones*. Consultado el 18 de junio de 2018. Disponible en línea:
<https://www.tiki-toki.com/timeline/entry/496448/Historia-de-los-drones/>
- [10] RODRÍGUEZ FERNANDEZ, MIGUEL ÁNGEL. *Origen y evolución de los drones. Estado del arte y la aportación de Altran*. Equipo Altran, 2016 [en línea]. Consultado el 18 de junio de 2018. Disponible:
<https://contenidos.equipo.altran.es/mktd/contenedor/Ebook%20EVAN%20UAV.pdf>
- [11] Real Decreto 1036/2017, de 15 de diciembre, por el que se regula la utilización civil de las aeronaves pilotadas por control remoto. Disposición 15721 Boletín Oficial del Estado, 29 de diciembre de 2017, núm. 316.
- [12] *El avión concorde RC más espectacular*. Consultado el 20 de junio de 2018. Disponible en línea:
<http://blog.model-space.es/aviones/concorde-rc>
- [13] *WREN MW54 Turbojet*. Consultado el 7 de julio de 2018. Disponible en línea:
<https://grabcad.com/library/wren-mw54-turbo-jet-1>
- [14] *Plans for the MW54 Gas Turbine*. Wren Turbines LTD, 2ª edición, 2000.
- [15] *Pilatus PC-6 Porter*. Consultado el 8 de julio de 2018. Disponible en línea:
https://en.wikipedia.org/wiki/Pilatus_PC-6_Porter.
- [16] *Pilatus PC-6 Porter EPO Trainer*. Consultado el 8 de julio de 2018. Disponible en línea:
https://hobbyking.com/es_es/pilatus-pc-6-turbo-porter-epo-trainer-1700mm-pnf.html
- [17] *Manual Catia V5* [en línea]. ABGAM, GRUPO SEGULA TECHNOLOGIES, 2012. Consultado el 10 de julio de 2018. Disponible en:
www.ehu.eus/asignaturasKO/Dibujolnd/Manuales/R12_manual_catia_v5.pdf
- [18] *Compressor Wheel 446335-0010 / 446335-10 / 446335 For Garrett Turbocharger*. Consultado el 7 de agosto de 2018. Disponible en línea:
https://www.alibaba.com/product-detail/TB25-TB28-Compressor-Wheel-446335-0010_60238380817.html

- [19] *Difusores. Diseño de Máquinas térmicas* [en línea]. Consultado el 20 de agosto de 2018. Disponible en:
<https://es.slideshare.net/ulperes1/difusores>
- [20] RENTERO DE LLANO, FÉLIX. *Modelado del turborreactor General Electric J85-13 mediante CATIA V5*. Proyecto de fin de Carrera. Dirigido por Juan Martínez Palacios y María Gloria del Río Cidoncha. Universidad de Sevilla, 2008. Consultado el 7 de julio de 2018.