

Proyecto Fin de Grado Ingeniería Aeroespacial



Modelado y recreación virtual del Space Shuttle con Catia v.5

Autor: Raúl Arenal Pérez

Tutor: Manuel Morato Moreno

**Departamento de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2018



Proyecto Fin de Grado
Ingeniería Aeroespacial

Modelado y recreación virtual del Space Shuttle con Catia v.5

Autor:
Raúl Arenal Pérez

Tutor:
Manuel Morato Moreno
Profesor titular

Departamento de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2018

Proyecto Fin de Grado: Modelado y recreación virtual del Space Shuttle con Catia v.5

Autor: Raúl Arenal Pérez

Tutor: Manuel Morato Moreno

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2018

El Secretario del Tribunal

A mis padres

A mis compañeros

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis padres el constante apoyo y esfuerzo que han depositado sobre mí desde los primeros compases de mi formación académica, dejándose la piel por todo aquello que fuese beneficioso para mi educación y presionando mi evolución, aunque a veces con cierto exceso, con el único objetivo de poder hacer de la excelencia una realidad más próxima. Gracias de corazón, a ellos, porque sin su dedicación diaria nada de esto podría haber sido posible.

Agradecer también a mis compañeros durante el grado, que entre pesares y alegrías nos hemos tenido mutuamente los unos a los otros logrando perseverar en la meta de finalizar esta ingeniería. Aquí me veo en la obligación de agradecer en particular la contribución de uno de ellos: Nuni, quien decidió ayudarme de forma desinteresada a la hora de explicarme el funcionamiento de 3D Studio Max, lo que me permitió alcanzar el punto de detalle que buscaba en este trabajo.

Finalmente, agradecer a mis profesores durante todos estos años las enseñanzas recibidas y, en especial, a Don Manuel Morato Moreno, quien atendió a mi petición de trabajo de fin grado y accedió a buscar entre ambos una opción factible que nos convenciese para llevarla a cabo en este proyecto.

Raúl Arenal Pérez
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Sevilla, 2018

Resumen

El objetivo de este trabajo es la recreación virtual mediante CATIA V5 r19 del Space Shuttle, trasbordador espacial de la NASA empleado por los Estados Unidos de América entre 1981 y 2011.

En el comienzo del proyecto se realiza una descripción del contexto histórico en el cual se encontraba sumido el país norteamericano durante el funcionamiento de este vehículo. Con esto, se tiene como objetivo definir el conjunto de circunstancias en torno al cual giraba el Space Shuttle durante sus etapas de diseño y operación, las cuales condicionaban su actividad y el funcionamiento del programa espacial americano en general. Una vez introducida su situación, se comentará su historia operacional y una breve descripción de las misiones acometidas por cada una de sus versiones.

Tras esto, se pasará al desarrollo del núcleo principal de este trabajo: el modelado en 3D del trasbordador. Para ello se realizará un reporte del diseño secuenciado de cada uno de los elementos que componen el vehículo, tanto exteriores como interiores al mismo. Al terminar con este proceso, se mostrará cómo se ensamblan todas las partes de forma conveniente para acabar definiendo el modelo final en CATIA.

Por último, se ha trabajado en mayor profundidad en la recreación del modelo real a través de la dotación de pintura y animaciones mediante 3D Studio Max.

Abstract

The purpose of this project is the creation of a 3D model using CATIA V5 r19 of the Space Shuttle, a NASA spatial vehicle that was working for the USA government during the years between 1981 and 2011.

The beginning of this document is about a description of the historical context where the North American country was embroiled in during the operational years of the aircraft. It's been done as a way of defining the group of circumstances that surrounded the Space Shuttle design and operational decades, which also affected directly the American space program. After this previous introduction, there will be some pages about the operational history and a brief description of all the missions every version of the Space Shuttle were planned to carry out.

Afterwards, it's the turn of the main part of this project: the design of the Space Shuttle 3D model. The modelling process of every element (those that are placed outside and inside the aircraft) will be explained one by one. The last task to be done in CATIA is the assembly of all the parts that has been designed separately, so it's the explanation of this process what will be described after the step previously defined.

Finally, the program 3D Studio Max will be used in order to reach a deeper recreation of the actual vehicle, adding the painting and some animations to the 3D model.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xv
Índice de Figuras	xvii
1 Introducción	1
2 Historia	5
2.1 <i>Marco Histórico</i>	5
2.1.1 La Guerra Fría	5
2.1.2 Cambio de Milenio	7
2.1.3 Primera década del S. XXI	7
2.2 <i>Space Shuttle</i>	9
2.2.1 Proceso de diseño	9
2.2.2 Breve resumen de su historia	11
2.2.3 <i>Misiones</i>	11
a) Enterprise	12
b) Columbia	12
c) Challenger	14
d) Discovery	15
e) Atlantis	16
f) Endeavour	16
3 Acciones Preliminares	18
4 Modelado del Traslador	21
4.1 <i>Modelado exterior</i>	21
4.1.1 Cabina	21
4.1.2 Sección del fuselaje correspondiente a la bahía de carga	24
4.1.3 Cola de la aeronave, habitáculo de los motores y toberas de salida	25
4.1.4 Conjunto alar	29
4.1.5 Estabilizador vertical	32
4.1.6 Tanque de combustible externo	33
4.1.7 Par de cohetes aceleradores sólidos recuperables	35

4.2	<i>Modelado interior</i>	36
4.2.1	Cabina	36
a)	Estructura principal	37
b)	Panel de mando	39
c)	Escalera	39
d)	Asientos	40
4.2.2	Bahía de carga	42
a)	Estructura principal	43
b)	Alojamiento de la carga de pago	46
c)	Brazos articuados	47
4.3	<i>Ensamblaje del trasbordador</i>	49
5	Simulaciones	52
5.1	<i>Pintura</i>	53
5.2	<i>Animación</i>	54
6	Conclusiones	57
	Bibliografía	59
	Referencias	61

Índice de Figuras

Figura 1: Westland Lysander.....	2
Figura 2: Cohete Soyuz.....	2
Figura 3: Space Shuttle.....	2
Figura 4: Primera fotografía de la maqueta en Armilla.....	3
Figura 5: Segunda fotografía de la maqueta en Armilla.....	3
Figura 6: Tercera fotografía de la maqueta en Armilla.....	4
Figura 7: Primer encuentro entre Gorbachov y Reagan.....	6
Figura 8: Evolución temporal del número de cabezas nucleares en EE.UU. y URSS/Rusia.....	6
Figura 9: Primera investidura de Bill Clinton.....	7
Figura 10: Atentado del 11 de septiembre de 2011 contra las torres gemelas.....	8
Figura 11: Primera investidura de Barack Obama como presidente norteamericano.....	8
Figura 12: Logo del Programa Space Shuttle de la NASA.....	9
Figura 13: Modelos Conceptuales del Shuttle.....	10
Figura 14: Diseño propuesto por North American Rockwell.....	10
Figura 15: Secuencia de sucesos en la operación del Space Shuttle.....	11
Figura 16: Test de vuelo del Enterprise.....	12
Figura 17: Tripulación fallecida en el accidente del Columbia.....	13
Figura 18: Vista desde tierra del accidente sufrido por el Challenger.....	14
Figura 19: Despegue del Discovery el 31 de mayo de 2008.....	15
Figura 20: Fotografía del Atlantis tomada tras el rendez-vous con la ISS.....	16
Figura 21: Fotografía del Endeavour tomada desde la ISS.....	17
Figura 22: Plano con escala y cortes del Space Shuttle.....	18
Figura 23: Vista del perfil con anotaciones y tabla de datos del Space Shuttle.....	19
Figura 24: Seccionado del trasbordador para distintos <i>Parts</i>	20
Figura 25: Vista exterior de la cabina del Atlantis.....	21
Figura 26: Secciones transversales del fuselaje del trasbordador espacial.....	22
Figura 27: <i>Sketches</i> y líneas de guía según lo representado en los planos para la cabina.....	22
Figura 28: Detalle de uno de los <i>Sketches</i> empleados en el modelado de la cabina.....	22

Figura 29: Vista delantera del sólido resultante del modelado inicial de la cabina.....	23
Figura 30: Vista trasera del sólido resultante del modelado inicial de la cabina.....	23
Figura 31: Fotografía de las ventanas de la cabina del Discovery en el Smithsonian.....	23
Figura 32: Cabina con los <i>Pockets</i> correspondientes a las ventanas realizados.....	24
Figura 33: Exterior de la cabina con las ventanas colocadas.....	24
Figura 34: Exterior del tramo de fuselaje correspondiente a la bahía de carga.....	24
Figura 35: Detalle del seccionamiento del fuselaje en la cubierta de la bahía de carga.....	25
Figura 36: Detalle de los defectos que hacían inviable esta configuración del modelado.....	26
Figura 37: Vista delantera del tramo de cola.....	26
Figura 38: Vista trasera del tramo de cola.....	27
Figura 39: Vista trasera del Space Shuttle.....	27
Figura 40: Detalle del <i>Sketch</i> que origina la tobera menor.....	28
Figura 41: Tobera del sistema de maniobra orbital.....	28
Figura 42: Tobera correspondiente a los motores principales.....	28
Figura 43: Ensamblaje de la cola de la aeronave, el habitáculo de los motores y las toberas de salida..	29
Figura 44: Detalle del <i>Sketch</i> correspondiente al perfil en punta de ala.....	30
Figura 45: Líneas de guía que definen el contorno del semiala izquierda.....	30
Figura 46: Conjunto alar.....	31
Figura 47: Vista de la forma en planta del conjunto alar.....	31
Figura 48: Detalle de <i>Sketches</i> y líneas de guía empleados en el modelado del estabilizador vertical..	32
Figura 49: Estabilizador vertical.....	33
Figura 50: Detalle del <i>Sketch</i> del que se originan las hendiduras del tanque.....	33
Figura 51: Soportes delanteros.....	34
Figura 52: Soportes traseros.....	34
Figura 53: Tanque externo de combustible.....	34
Figura 54: Detalle de los soportes entre uno de los cohetes recuperables y el tanque de combustible..	35
Figura 55: Cohete acelerador sólido recuperable.....	35
Figura 56: Dibujo esquemático del interior de la cabina del Space Shuttle.....	36
Figura 57: Vista lateral del habitáculo del tren delantero.....	37
Figura 58: Vista inferior del habitáculo del tren delantero.....	37
Figura 59: Intersecciones de los planos de origen de los suelos con la cabina exterior.....	38
Figura 60: Resultado del ranurado del suelo.....	38
Figura 61: Estructura principal del interior de la cabina.....	38
Figura 62: Detalle de los <i>Sketches</i> empleados para generar el panel de mando.....	39

Figura 63: Panel de mando.....	39
Figura 64: Escalera de la cabina del trasbordador.....	40
Figura 65: Detalle del <i>Sketch</i> que define el acolchado del asiento.....	40
Figura 66: Asiento de cabina.....	40
Figura 67: Vista trasera del interior de la cabina del trasbordador.....	41
Figura 68: Vista delantera del interior de la cabina del trasbordador.....	41
Figura 69: Fotografía del Space Shuttle con la bahía de carga abierta tomada desde la ISS.....	42
Figura 70: Fotografía tomada desde el interior de la bahía de carga del trasbordador.....	42
Figura 71: Detalle del <i>Sketch</i> empleado para general el panelado longitudinal.....	43
Figura 72: Detalle de los refuerzos estructurales y del panelado lateral de la bahía de carga.....	43
Figura 73: Vista de la forma en planta de uno de los elementos anclados a la bahía de carga.....	44
Figura 74: Uno de los elementos anclados a la bahía de carga.....	44
Figura 75: Acceso a la cabina del trasbordador desde la bahía de carga.....	45
Figura 76: Vista en planta otro de los elementos anclados a la bahía de carga.....	45
Figura 77: Otro de los elementos anclados a la bahía de carga.....	45
Figura 78: Estructura principal de la bahía de carga del trasbordador.....	46
Figura 79: Detalle de una de las barras de agarre.....	46
Figura 80: Alojamiento de la carga de pago.....	47
Figura 81: Vista en plana del alojamiento de la carga de pago.....	47
Figura 82: Detalle de la terminación de uno de los brazos articulados de la bahía de carga.....	47
Figura 83: Uno de los brazos articulados de la bahía de carga.....	48
Figura 84: Bahía de carga del trasbordador.....	48
Figura 85: Vista delantera del modelo ensamblado del Space Shuttle.....	49
Figura 86: Vista trasera del modelo ensamblado del Space Shuttle.....	49
Figura 87: Vista superior del modelo ensamblado del Space Shuttle.....	50
Figura 88: Detalle del ensamblaje del modelado interior del trasbordador con el conjunto total.....	50
Figura 89: Separación de los elementos en torno al conjunto ensamblado.....	51
Figura 90: Modelo del trasbordador importado en 3D Studio Max.....	52
Figura 91: Vista 1 del trasbordador pintado.....	53
Figura 92: Vista 2 del trasbordador pintado.....	53
Figura 93: Vista 3 del trasbordador pintado.....	54
Figura 94: Fotograma 1 del movimiento de las compuertas.....	55
Figura 95: Fotograma 2 del movimiento de las compuertas.....	55
Figura 96: Fotograma 3 del movimiento de las compuertas.....	55

1. Introducción

En el momento del grado en el que uno debe detenerse a meditar sobre qué tema va a realizar su Trabajo de Fin de Grado debe valorar entre un amplio rango de posibilidades. No solo en lo referido a qué área de estudio de todas las disponibles en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla escoger, sino también al profesor con quien trabajar durante la realización de este proyecto y, por último, aunque no menos importante, elegir entre si esperar a que se oferten públicamente los TFGs sobre los que poder trabajar o si pensar en una idea original para la que buscar un profesor que vea factible la propuesta y esté dispuesto a tuturar dicha tarea.

En el caso personal del autor de este trabajo la consecución de ideas que pasaban por su mente siguió prácticamente el orden descrito en el anterior esquema. Todo comenzó por una primera decisión de realizar un TFG relacionado con CATIA V5, por el hecho de que tanto diseño gráfico como el modelado en 3D siempre había resultado atrayente por encima de muchas de las demás materias (habiendo tenido una primera toma de contacto con este ámbito en la asignatura de Diseño y Fabricación Asistidos por Ordenador, perteneciente al Grado en Ingeniería Aeroespacial) y porque la posesión de competencias en el empleo de este programa tiene una importante repercusión en el mundo laboral.

Como consecuencia de esta decisión y con el temor de no poder realizar el trabajo en este campo si la demora en solicitarlo pudiera llegar a ser excesiva, se contactó con varios de los profesores que pertenecen al Departamento de Ingeniería Gráfica. Finalmente, el profesor que acabó viendo la idea con buenos ojos fue Don Manuel Morato Moreno, con quien se acabó decidiendo buscar ciertos modelos de aviones o vehículos relacionados con espacio para centrar el estudio sobre alguno de ellos.

Las propuestas planteadas fueron las siguientes:

- **Westland Lysander**

Avión ampliamente empleado por las fuerzas aéreas británicas durante el transcurso de la segunda Guerra Mundial a modo de enlace y apoyo.



Figura 1: Westland Lysander



Figura 2: Cohete Soyuz

- **Soyuz**

Nave espacial tripulable que forma parte del programa espacial Soyuz, propio de la antigua Unión Soviética.

- **Space Shuttle**

Nave espacial para órbita baja terrestre de la NASA parcialmente reutilizable.



Figura 3: Space Shuttle

Finalmente, la opción escogida fue la de realizar el modelado y contexto histórico del Space Shuttle debido a dos motivos principales:

1. Se rechazó la idea de realizar la Soyuz por el hecho de que resultaba excesivamente sencilla tras una breve evaluación de su geometría externa.
2. Se descartó el Westland Lysander tomando como justificación la propuesta de abarcar un ámbito algo más espacial, debido a que los TFGs realizados en años previos únicamente habían tratado aeronaves fuera de ese campo y a la añoranza de una mayor cantidad de materia sobre el espacio en el grado.

Una vez seleccionado el vehículo a modelar, se decidió restringir el nivel de detalle y desarrollo del proyecto. Se acabó pensando que lo más adecuado para la extensión que a un Trabajo de Fin de Grado le corresponde sería la del modelado externo del vehículo trasbordador acompañado del tanque de combustible y los dos cohetes que lo acompañan en su despegue (con su correspondiente pintura externa), además de una aproximación de la estructura interna del vehículo en los habitáculos correspondientes a la cabina y bahía de carga. Además, se optó por añadirle cierta animación al modelo, particularmente a las compuertas de la bahía de carga. Como detalle final, apareció la idea de imprimir en 3D el modelo resultante con la finalidad de poder observar de forma física los resultados del trabajo realizado.

Añadir que, además de recopilar gran cantidad de información sobre las dimensiones y geometría del vehículo, se aprovechó una visita del autor a la Base Aérea de Armilla para realizar una serie de fotografías en la exposición de maquetas militares que allí se encuentra, en particular a varios modelos del Space Shuttle.



Figura 4: Primera fotografía de la maqueta en Armilla



Figura 5: Segunda fotografía de la maqueta en Armilla



Figura 6: Tercera fotografía de la maqueta en Armilla

2. Historia

2.1 Marco Histórico

Se comenzará a documentar la historia que envuelve al Space Shuttle mediante una descripción del contexto histórico en el que se encontraban los Estados Unidos de América durante su desarrollo, iniciación y funcionamiento hasta su retirada definitiva del programa espacial americano.

2.1.1 La Segunda Guerra Fría

La etapa de la conocida Guerra Fría entre Estados Unidos y la Unión Soviética que influyó principalmente en la historia del Space Shuttle fue la denominada Segunda Guerra Fría. Esta época abarcó entre los años 1979 y 1985, y se caracterizó por ser unos años en los que las tensiones entre países volvían a cobrar fuerza mediante numerosos conflictos entre unas potencias cuya capacidad militar iba incrementándose. Según la describió el académico británico Michael Cox, la Segunda Guerra Fría fue tan intensa como corta fue su duración.

En abril de 1978, la comunista PDPA se tomó el poder en Afganistán en la Revolución de Saur, lo que provocó que en unos pocos meses la oposición a este nuevo gobierno se levantara en contra del mismo en la región oriental del país que pronto pasó a ser una guerra civil basada en guerrillas. Mientras que Pakistán y China tomaron cartas en el asunto a favor del bando insurrecto, la Unión Soviética se puso de parte de la PDPA a base de facilitarles constantes suministros.

En septiembre de 1979, el presidente Nur Muhammad Taraki fue asesinado en un golpe de estado dentro de la propia PDPA organizado por Hafizullah Amin, quien asumió la presidencia inmediatamente después de este suceso. No contando con la confianza de la URSS, Amin fue asesinado por las fuerzas especiales soviéticas en diciembre de 1979. Principalmente a causa de este hecho, la Unión Soviética se veía directamente envuelta en una guerra que, hasta ese momento, había sido exclusivamente doméstica.

En 1980, Ronald Reagan venció a Jimmy Carter en las elecciones presidenciales, prometiendo incrementar la inversión militar y enfrentarse a los soviéticos allá donde estuviesen. Tanto Reagan como la nueva primera ministra británica Margaret Thatcher denunciaron en conjunto a la Unión Soviética y su ideología.

Mientras las intervenciones de Reagan contra Granada y Libia eran populares en su país, su apoyo al grupo mercenarios nicaragüense denominado como Contra generó controversia.

Mientras tanto, los soviéticos afrontaban altos costes debido a sus intervenciones extranjeras. Aunque Brézhnev estaba convencido en 1979 de que la guerra que mantenían en Afganistán iba a ser breve, las guerrillas musulmanas apoyadas por los estadounidenses, China, Gran Bretaña, Arabia Saudí y Pakistán ejercían una fiera resistencia a su invasión.

Como respuesta a las concesiones políticas y militares realizadas por el Kremlin, Reagan acordó retomar las conversaciones sobre los problemas económicos y la reducción del alto ritmo que estaba alcanzando la carrera armamentística. El primer encuentro tuvo lugar en noviembre de 1985 en Ginebra, Suiza.



Figura 7: Primer encuentro entre Gorbachov y Reagan

Acompañados únicamente por un intérprete, los dos líderes acordaron un pacto para reducir el arsenal nuclear de ambas naciones en un 50%. En un segundo encuentro, esta vez en octubre de 1986 en Reikiavik (Islandia), todo fue bien hasta el momento en el que Gorbachov quiso eliminar la propuesta realizada por Reagan sobre la Iniciativa Estratégica de Defensa. Tras la negativa del líder

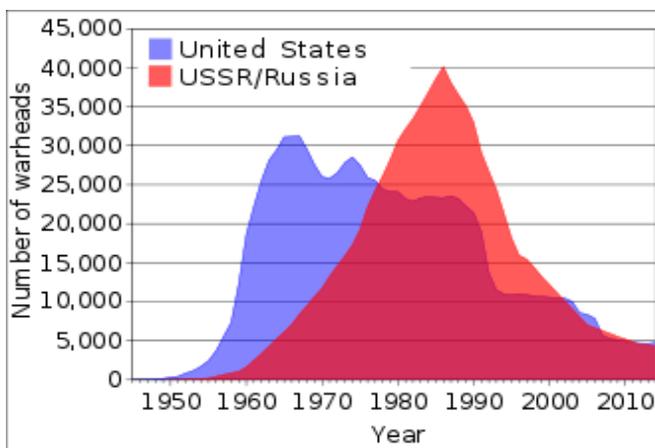


Figura 8: Evolución temporal del número de cabezas nucleares en EE.UU. y URSS/Rusia

norteamericano las negociaciones fracasaron, pero en un tercer encuentro en 1987 se logró pactar la firma del INF (Intermediate-Range Nuclear Forces Treaty). Gracias a este tratado, quedarían eliminadas todas las armas nucleares, misiles balísticos de lanzamiento terrestre y misiles de crucero con rangos de entre 500 y 5500 kilómetros, además de todas sus infraestructuras.

En 1989, las fuerzas soviéticas se retiraron de Afganistán y en 1990 Gorbachov consintió la reunificación de Alemania.

El 3 de diciembre de 1989, Gorbachov y el sucesor de Ronald Reagan, George H. W. Bush, declararon el fin de la Guerra Fría en la cumbre de Malta y un año más tarde, ambas naciones serían aliadas en la Guerra del Golfo contra Iraq.

2.1.2 Cambio de Milenio

Las elecciones presidenciales estadounidenses del 3 de diciembre de 1992, tuvieron como vencedor al gobernador demócrata de Arkansas Bill Clinton sobre el presidente republicano George H. W. Bush, el empresario de Texas Ross Perot y algunos candidatos minoritarios.

La primera investidura de Bill Clinton como el 42º presidente de los Estados Unidos de América tuvo lugar el 20 de enero de 1993 en Washington D.C. Este hecho marcó el comienzo de una candidatura de 4 años con Bill Clinton como presidente y Al Gore como vicepresidente del país. Con 46 años y 154 días de edad, Clinton fue el tercer presidente más joven en la historia norteamericana.



Figura 9: Primera investidura de Bill Clinton

El 1 de enero de 1994 entro en vigor el Tratado de Libre Comercio de América del Norte, el cual se basaba en un acuerdo entre Canadá, Méjico y Estados Unidos para reducir los costes de los intercambios de bienes entre dichos países.

La segunda investidura de Bill Clinton como presidente de Estados Unidos fue el 20 de enero de 1997 en Washington D.C. De esta forma se ampliaba 4 años más el mandato de Clinton mediante su reelección en su cargo, siendo por ello la última investidura presidencial estadounidense del siglo XX, la primera en ser retransmitida en directo por internet.

2.1.3 Primera década del siglo XXI

George W. Bush se convierte en el 43º presidente de los Estados Unidos el 20 de enero de 2001 tras una de las campañas electorales más disputadas de la historia de la nación norteamericana. El partido demócrata optó por situar como candidato a Al Gore, el anterior vicepresidente. Este último logró un 47,9 % de los votos para acabar siendo superado por el 48,4 % que finalmente consiguió obtener Bush.

Bush pensaba, desde las promesas realizadas durante su campaña electoral, en centrar su política en problemas domésticos tales como la educación, la economía y la seguridad social, pero su presidencia cambió radicalmente el 11 de septiembre de 2001. El atentado extranjero más devastador que había sufrido Estados Unidos en toda la historia de la nación. Esa misma mañana, un grupo de terroristas procedentes de Oriente Medio secuestraron de forma simultánea 4 aviones de pasajeros e



Figura 10: Atentado del 11 de septiembre de 2011 contra las torres gemelas

hicieron uso de dos de ellos como vehículos kamikazes con el objetivo de destruir las torres gemelas del World Trade Center. Un tercero chocó con un edificio del Pentágono, a las afueras de Washington D.C. y el cuarto, probablemente con destino al Capitolio de los Estados Unidos, colisionó en unos campos de

Pensilvania debido a la lucha de los pasajeros contra los secuestradores. El recuento de muertes civiles rondó las 3000 víctimas, superando así el ataque japonés de Pearl Harbour.

El gobierno norteamericano responsabilizó de estos actos a Osama bin Laden y la organización de AL Qaeda, generando así una campaña internacional de hasta 136 países en contra de esta entidad ofreciendo asistencia militar a los Estados Unidos.

En marzo de 2003, Estados Unidos y una coalición de 30 países lanzaron la “Operación de Libertad Iraquí”, un esfuerzo militar con la finalidad de desarmar dicho país y cambiar su régimen. La caída del gobierno de Saddam Hussein se hizo realidad el 9 de abril de 2003.

Ya en 2004, el país se encontraba dividido en cuanto a lo que a la acción militar en Iraq se refería, lo que generó que hubiese una enorme igualdad en las elecciones presidenciales cuya campaña electoral tuvo lugar durante este año. Bush acabó siendo reelegido el 20 de enero de 2005, tras haber ganado las elecciones con un 51 % de los votos, dejando al candidato demócrata John F. Kerry con un muy próximo 48 %. De esta forma, Bush tuvo la obligación de administrar un país con numerosos retos venideros.

En las elecciones presidenciales de 2008, Barack Obama fue elegido como el 44º presidente de los Estados Unidos de América, teniendo lugar su investidura el 20 de enero de 2009. De esta forma, Obama se convertiría en el primer presidente afroamericano de EE. UU.



Figura 11: Primera investidura de Barack Obama como presidente norteamericano

2.2 Space Shuttle

A continuación, se va a tratar la historia desde un punto más específico con respecto al trasbordador, desde el proceso de diseño hasta qué acontecimientos fueron sucediéndose durante el funcionamiento del mismo.



Figura 12: Logo del Programa Space Shuttle de la NASA

2.2.1 Proceso de Diseño

Incluso antes del amerizaje lunar del Proyecto Apollo allá por el año 1969, la NASA comenzó ciertos estudios sobre diseños del Space Shuttle en octubre de 1968. Estos primeros estudios fueron denominados “Fase A”, y en junio de 1970 llegó la “Fase B”, la cual era más detallada y específica. La principal finalidad del Space Shuttle era suministrar de cualquier tipo de recursos necesarios a la futura estación espacial, por lo que debía ser capaz de llevar un mínimo de 4 tripulantes, alrededor de 9.100 kg de carga y cumplir el requisito de volver rápidamente a tierra para futuros vuelos.

Cuando se abordó el tema de la financiación del programa, aparecieron ciertas preocupaciones sobre la posibilidad de tener que cancelar el proyecto. Esto condujo a la realización de un esfuerzo por lograr que la Fuerzas Aéreas estadounidenses se interesasen en el uso del Space Shuttle para sus misiones. Las Fuerzas Aéreas mostraron cierto interés, pero exigían que el vehículo fuese mucho más grande, considerablemente más que lo que mostraban los diseños iniciales. Con el propósito de disminuir los costes de desarrollo de los diseños resultantes, fueron añadidos los cohetes, un tanque de combustible desechable se acopló y una serie de cambios que redujeron la reutilizabilidad del vehículo y que aumentaron considerablemente los costes operacionales. Con la aprobación de las Fuerzas Aéreas, el proyecto logró salir a flote.

Durante los primeros estudios existió el debate sobre el diseño óptimo que conseguía el

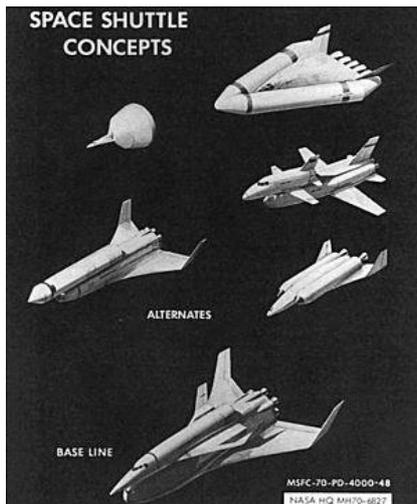


Figura 13: Modelos Conceptuales del Shuttle

mejor balance posible entre capacidad, costes de desarrollo y costes operacionales. Inicialmente el preferido fue uno que resultase completamente reutilizable. Esto consistía en un cohete tripulado dispuesto de alas que llevaría un vehículo orbital de menor tamaño que también iría tripulado. El vehículo propulsor dejaría al orbitador a una altura y velocidad determinada, para luego separarse tras esta maniobra. Este volvería y aterrizaría horizontalmente, mientras que el orbitador continuaría en una órbita baja terrestre. Este último vehículo realizaría una reentrada y aterrizaría horizontalmente tras haber completado su misión. La idea principal de que

fuese completamente reutilizable residía en lograr la reducción de los costes operacionales.

Sin embargo, en estudios más avanzados se cayó en la cuenta de que para poder conseguir que el orbital fuese dejado con la capacidad de carga deseada sería necesario un cohete excesivamente grande. Como es sabido en lo relativo al espacio y la aviación, el coste está fuertemente relacionado con el coste, lo que implicaba que este vehículo disparaba los gastos hasta niveles que se alejaban de la rentabilidad.

En la primavera de 1972, Lockheed Aircraft, McDonnell Douglas, Grumman y North American Rockwell enviaron propuestas para construir el Shuttle. El equipo de selección de la NASA pensó que la idea presentada por Lockheed era demasiado compleja y cara, con el añadido de que la empresa no tenía experiencia alguna en la construcción de vehículos espaciales tripulados. McDonnell Douglas fue también descartado, en este caso por ser demasiado costoso y por tener problemas tecnológicos. Grumman propuso un diseño excelente, pero de nuevo existía la contrapartida de ser excesivamente caro. Finalmente, la propuesta de North American Rockwell contaba con el menor coste y las proyecciones económicas más realistas, su diseño era el mejor en lo relativo al mantenimiento y, además, contaban con que en el accidente del Apollo 13 demostraron una gran experiencia en fallos en sistemas eléctricos. La NASA anunció la decisión final de optar por North American Rockwell a la hora de la construcción del Space Shuttle en 26 de julio de 1972.

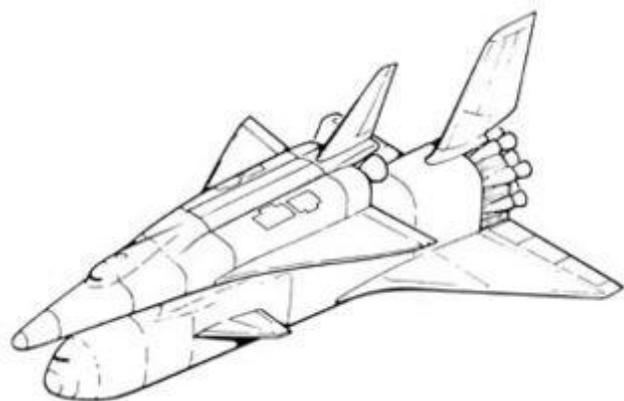


Figura 14: Diseño propuesto por North American Rockwell

2.2.2 Breve resumen de su historia operacional

El primero de los cuatro vuelos de prueba se realizó en 1981, comenzando así con los vuelos operacionales un año más tarde. Además de prototipo que fue cancelado, se construyeron cinco sistemas completos del Space Shuttle, los cuales fueron empleados en un total de 135 misiones entre 1981 y 2011; lanzados todos ellos desde Cabo Cañaveral (Kennedy Space Center), en Florida. Durante las misiones se lanzaron numerosos satélites, sondas interplanetarias, el Telescopio Espacial Hubble, permitió la realización de distintos experimentos científicos en órbita y participó en la construcción y abastecimiento de la Estación Espacial Internacional. El tiempo total empleado en misiones de la flota del Space Shuttle es de 1322 días, 19 horas, 21 minutos y 23 segundos.

Los componentes del Shuttle incluían el vehículo orbital con 3 motores principales Rocketdyne RS-25 agrupados, un par de cohetes aceleradores sólidos recuperables y el tanque externo desechable que contenía hidrógeno y oxígeno líquidos. El Space Shuttle era lanzado

verticalmente, con los dos cohetes operando en paralelo junto con los tres motores del vehículo orbital, los cuales eran abastecidos de combustible por el tanque externo. Los cohetes son eyectados antes de que el vehículo alcance la órbita y el tanque justo antes de la incorporación a la misma empleando los dos motores del sistema de maniobra orbital. En la



Figura 15: Secuencia de sucesos en la operación del Space Shuttle

conclusión de la misión, el vehículo orbital emplea los motores del sistema de maniobra orbital para realizar la reentrada a la atmósfera. Es entonces cuando la aeronave se comporta como un avión durante la realización de la maniobra de aterrizaje, normalmente en el Kennedy Space Center.

2.2.3 Misiones

El Space Shuttle realizó diferentes misiones durante su empleo para la NASA, las cuales se describirán de manera concisa a continuación.

a) Enterprise

Fue el primer vehículo orbital del programa del Space Shuttle y se dio a conocer el 17 de septiembre de 1976. Fue construido por la NASA con el objetivo de realizar ciertas pruebas de vuelos atmosféricos tras ser lanzados desde un Boeing 747 modificado. No contaba ni con motores ni con escudo térmico, por lo que no era capaz de realizar un vuelo espacial.

Originalmente, con el Enterprise se había intentado realizar ciertos reajustes para poder convertirlo en el segundo vehículo orbital en servicio, siendo capaz de realizar vuelos orbitales. Sin embargo, durante la construcción del Columbia, los detalles del diseño definitivo cambiaron, haciendo que este fuese más sencillo y menos costoso de construir que el Challenger. De forma similar, el Enterprise fue considerado como reemplazo para el Challenger tras su destrucción (se comentará más detalladamente en el apartado “c”), pero definitivamente se le dio ese papel al Endeavour.



Figura 16: Test de vuelo del Enterprise

El Enterprise fue restaurado y puesto a punto en 2003 en el Museo Nacional Smithsonian, en Virginia. Tras la retirada de la flota del Space Shuttle, el Discovery los reemplazó y el Enterprise acabó siendo trasladado al Museo Naval, Aéreo y Espacial del Intrepid en Nueva York, donde continúa estando desde julio de 2012.

b) Columbia

En 22 años de servicio completó un total de 27 misiones antes de desintegrarse durante la reentrada próximo al final de la 28ª misión el 1 de febrero de 2003, teniendo como resultado el fallecimiento de los 7 tripulantes que viajaban a bordo.



Figura 17: Tripulación fallecida en el accidente del Columbia

Su construcción comenzó en Columbia en 1975 en las instalaciones principales de ensamblaje de Rockwell International en Palmdale, California, un suburbio de Los Ángeles. El Columbia recibe ese nombre en honor al velero americano Columbia Rediviva quien, entre los años 1787 y 1793, bajo las órdenes del Capitán Robert Gray, exploró el noroeste del Pacífico estadounidense, convirtiéndose así en el primer navío americano en circunnavegar el globo.

El primer vuelo del Columbia fue comandado por John Young, un veterano procedente de los programas Gemini y Apollo que fue además la novena persona en pisar la Luna (en 1972).

El Columbia se pasó 610 días en el Orbiter Processing Facility, otros 35 días en el Vehicle Assembly Building y 105 días en el Pad 39A antes de estar listo para su puesta en funcionamiento. El Columbia fue lanzado de forma exitosa el 12 de abril de 1981, el 20º aniversario del primer vuelo espacial tripulado (Vostok I), y regresó el 14 de abril de ese mismo año, tras haber orbitado la Tierra 36 veces, aterrizando la pista de la Base de las Fuerzas Aéreas Edward, en California. Entonces, el Columbia afrontó tres misiones de investigación en pos de estudiar y poner a prueba sus características técnicas y actuaciones. La primera de ellas, con una tripulación de cuatro personas, despegó el 11 de noviembre de 1982.

En 1983, El Columbia, bajo la comandancia de John Young en su sexto vuelo espacial a bordo de la aeronave, realizó su segunda misión operacional, en la que fueron llevados el Spacelab y seis personas, incluyendo el primer astronauta no americano subido en el Space Shuttle, Ulf Merbold. Tras el vuelo, El Columbia pasó 18 meses en las instalaciones de Rockwell en Palmdale, comenzando en enero de 1984.

El Columbia regresó al espacio el 12 de enero de 1986. La tripulación incluía al Dr. Franklin Chan-Diaz, así como también se encontraba entre ellos el primer miembro de la Cámara de los Representantes estadounidense en aventurarse al espacio, Bill Nelson.

La siguiente misión del Shuttle fue realizada por el Challenger. Su lanzamiento data del 28 de enero de 1986 y terminó con el desastre absoluto 73 segundos tras el despegue. Este acontecimiento provocó que se interrumpieran todas las operaciones pendientes en la NASA referidas al Shuttle y el Columbia no voló de nuevo hasta 1989, a partir de cuándo retomó la actividad normal junto con el resto de la flota.

La última misión exitosa del Columbia fue el cuarto viaje de mantenimiento al Telescopio Espacial Hubble. Su siguiente misión, en cambio, culminó en la desintegración del vehículo en la reentrada, como se ha comentado anteriormente.

c) Challenger

Fue el segundo vehículo orbital del programa Shuttle en ser puesto en servicio, tras el Columbia. Fue construido por la división de sistemas de transporte espacial de Rockwell International en Downey, California. Su vuelo inaugural fue el 4 de abril de 1983. El trasbordador despegó y aterrizó nueve veces antes de que ocurriera el terrible accidente del 28 de enero de 1986.



Figura 18: Vista desde tierra del accidente sufrido por el Challenger

El Challenger recibió ese nombre en honor al HMS Challenger, que fue una corbeta de propulsión mixta (a vela y con máquina de vapor) que lideró la Expedición Challenger, una pionera expedición de investigación marítima a nivel global que tuvo lugar entre 1872 y 1876. El módulo lunar del Apollo 17, que alunizó en 1972, también fue llamado Challenger.

d) Discovery

En su primera misión voló desde el 30 de agosto al 5 de septiembre de 1984. En 27 años de servicio despegó y aterrizó un total de 39 veces, acumulando más vuelos espaciales que cualquier otro vehículo espacial hasta la fecha.

El Discovery se embarcó en su última misión el 24 de febrero de 2011, tomando tierra por última vez el 9 de marzo de ese mismo año en el Kennedy Space Center, habiendo acumulado un total de casi un año en el espacio. Había sido empleado en misiones tanto de ensamblaje en la Estación Espacial Internacional como de poner en órbita el Telescopio Hubble. El Discovery fue el primer Shuttle operacional en ser retirado, seguido del Endeavour y el Atlantis.

El nombre de Discovery le fue dado para continuar con la tradición basada en barcos de exploración: el HMS Discovery, uno de los barcos comandados por el capitán James Cook durante su tercer y definitivo viaje entre 1776 y 1779. También hace referencia al Discovery de Henry Hudson, el cual fue usado entre 1610 y 1611 para explorar la Bahía de Hudson y buscar el Pasaje del Noroeste.

Además de lanzar el Hubble y prestarle servicio de mantenimiento en ciertas ocasiones, el Discovery también lanzó la sonda Ulysses y tres satélites TRDS. El astronauta perteneciente al Proyecto Mercurio John Glenn, quien en ese momento contaba con 77 años, voló con el Discovery en 1998, convirtiéndose así en la persona de mayor edad en viajar al espacio.

Con la formalización de la planificación de lanzamientos de cargas de pago para el Departamento de Defensa de los Estados Unidos desde la base de las Fuerzas Aéreas en Vandenberg, El Discovery se convertiría en un Shuttle dedicado a las Fuerzas Aéreas norteamericanas. Su primera misión en la costa oeste fue fijada para 1986, pero acabó siendo cancelada debido al desastroso accidente del Challenger.

EL Discovery fue retirado tras completar su última misión el 9 de marzo de 2011. El trasbordador se encuentra actualmente en Virginia, en el Steven F. Udvar-Hazy Center, un anexo del Museo Nacional Aéreo y Espacial Smithsonian.



Figura 19: Despegue del Discovery el 31 de mayo de 2008

e) Atlantis

Fue construido la compañía Rockwell International en Carolina del Sur y se entregó al Kennedy Space Center en abril de 1985, siendo de este modo el cuarto modelo operacional (y el penúltimo a su vez) del programa Space Shuttle. Su vuelo inaugural fue realizado del 3 al 8 de octubre de 1985.

El 8 de julio de 2011 el Atlantis se embarcó en su 33ª misión, la cual fue a su vez la última



Figura 20: Fotografía del Atlantis tomada tras el rendez-vous con la ISS

realizada por un Space Shuttle. Este tomó tierra por última vez en el Kennedy Space Center el 21 de julio de ese mismo año.

El historial del Atlantis cuenta con la notable hazaña de haber orbitado de Tierra un total de 4848 veces, viajando cerca de 203.000.000 km; lo que equivale a más de 525 veces la distancia entre la Tierra y la Luna.

El Atlantis tomó su nombre en honor al RV Atlantis, un barco de vela de dos mástiles que operó como el principal navío para la Institución Oceanográfica de Woods Hole entre 1930 y 1966.

f) Endeavour

Se embarcó en su primera misión en mayo de 1992 y su 25ª y última data de mayo 2011. En particular, de esta última misión se esperaba que fuese la última del programa Space Shuttle pero, como se ha comentado anteriormente, se acabó autorizando un vuelo posterior del Atlantis en julio de ese mismo año.

El Congreso de los Estados Unidos aprobó la construcción del Endeavour en 1987 con la finalidad de reemplazar al Challenger, que fue perdido en el accidente de 1986.

Los repuestos estructurales que habían sido fabricados durante la construcción del Discovery y el Atlantis fueron usados en su ensamblaje. La NASA optó, por razones económicas, por construir el Endeavour a partir de repuestos en lugar de modificar el Enterprise o aceptar la propuesta de construir dos Shuttles por el precio de uno planteada por Rockwell International.

El trasbordador recibe su nombre en referencia al HMS Endeavour británico, un barco que

llevó al capitán James Cook en su primer viaje de descubrimiento (1768-1771).

El Endeavour fue entregado por la división de sistemas de transporte espacial de Rockwell International en mayo 1991, siendo su primer lanzamiento exactamente un año más tarde. Rockwell International llegó a declarar que no había obtenido beneficio alguno del Endeavour, a pesar de que su construcción llegó a costar un total de 2.200 millones de dólares.



Figura 21: Fotografía del Endeavour tomada desde la ISS

3. Acciones Preliminares

Como ya se comentó en la introducción de este trabajo, el programa elegido para modelar el trasbordador espacial es CATIA V5. Debido a ello, era necesario plantearse cómo modelar la aeronave y, sobre todo, de qué documentos partir para ello.

A raíz de estas conclusiones se realizó una búsqueda intensiva de información en internet con el fin de encontrar todo aquel plano, esquema, dibujo o fotografía referido al Space Shuttle que pudiese resultar de utilidad. Tras esto, se logró hallar una serie de documentos que fueron usados a modo de guía de la geometría a modelar, tomando de ellos principalmente la proporcionalidad existente entre las medidas de cada uno de los componentes del trasbordador. Algunos ejemplos de los recursos empleados son los siguientes:

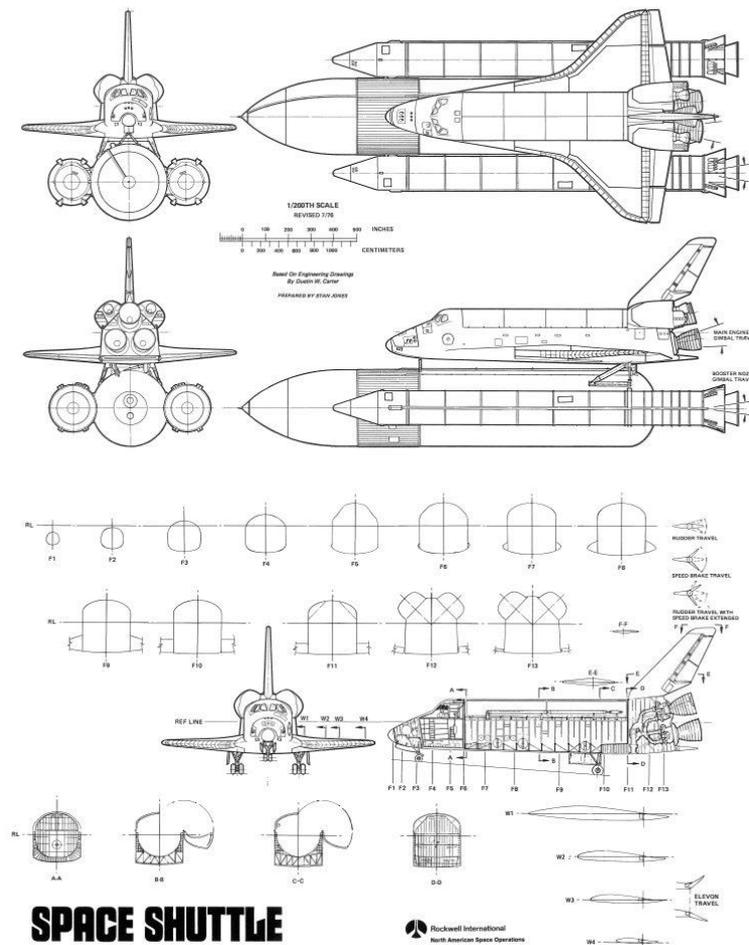


Figura 22: Plano con escala y cortes del Space Shuttle

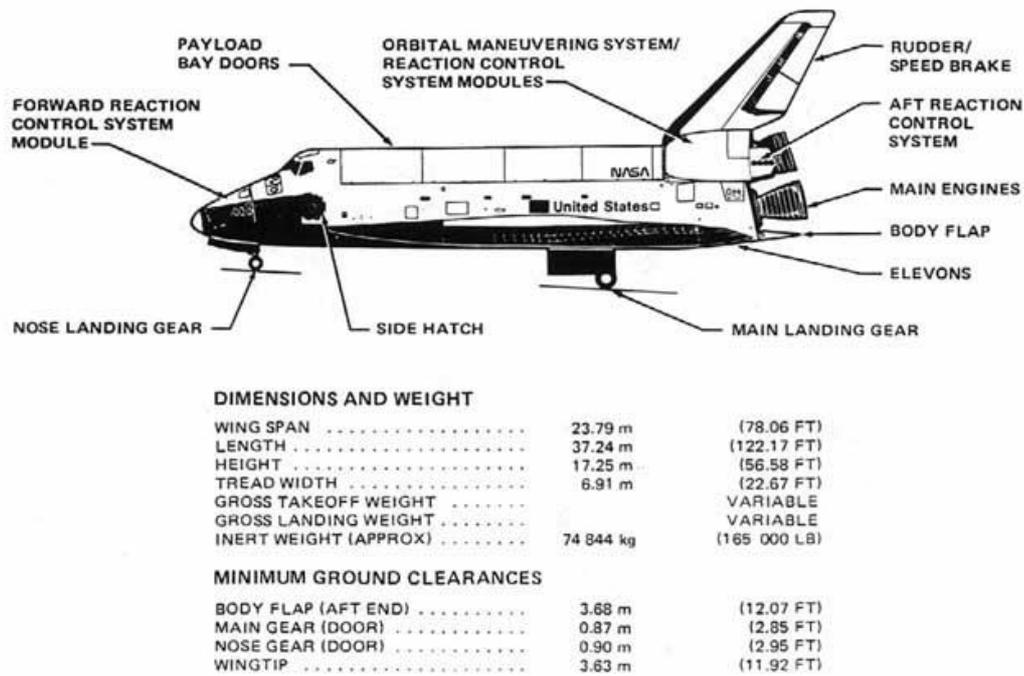


Figura 23: Vista del perfil con anotaciones y tabla de datos del Space Shuttle

Tras observar como el material obtenido como referencia para el modelado dejaba el detalle de ciertas regiones sin especificar, se podía prever que iba a ser necesario realizar ciertas aproximaciones durante el modelado 3D, las cuales serían fundamentadas por otros documentos adquiridos, tales como imágenes del vehículo orbital desde distintos ángulos.

Una vez recopilado el material del cual se generaría el proyecto, era el momento de ir pensando en la secuenciación que seguiría el modelado de la aeronave. Se decidió comenzar por la estructura exterior en primer lugar, continuar con el detallado del interior y finalizar con la pintura y texturas adecuadas que se acabarían dando al modelo. Cuando todo esto estuviese realizado, solo quedaría añadirle cierta animación al vehículo con el fin de representar el movimiento de ciertas compuertas y dotarlo así de algún detalle de cinemática que se correspondiera con la realidad.

A la hora de afrontar el modelado del exterior de la aeronave era necesario partir de un seccionamiento de conjunto total con el propósito de ir distribuyendo en mente de cuantos archivos *Parts* se iba a componer el *Product* tras el *Assembly*. Dicha distinción se hizo a partir de la *Figura 5* previamente mostrada, dando como resultado las siguientes divisiones:

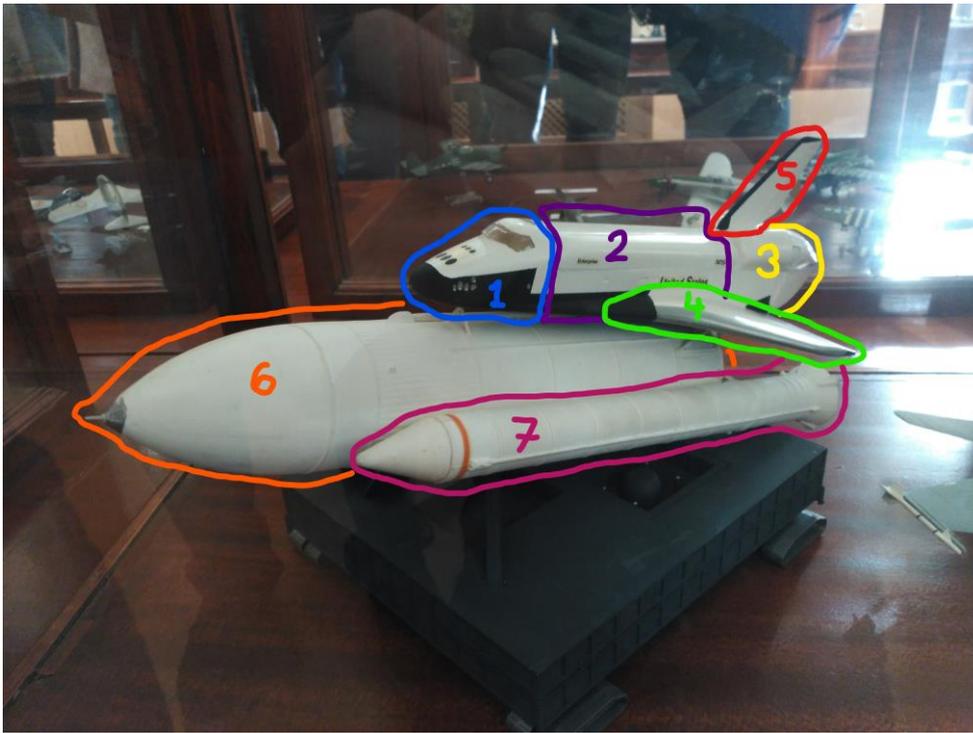


Figura 24: Seccionado del trasbordador para distintos *Parts*

1. Cabina del vehículo.
2. Sección del fuselaje correspondiente a la bahía de carga.
3. Cola de la aeronave, habitáculo de los motores y toberas de salida.
4. Conjunto alar.
5. Estabilizador vertical.
6. Tanque de combustible externo.
7. Par de cohetes aceleradores sólidos recuperables.

Una vez separado el conjunto total en distintas partes diferenciadas, es el momento de comenzar con el modelado de cada una de ellas.

4. Modelado del Trasbordador

4.1 Modelado exterior

De todos los elementos anteriormente mencionados, se comenzará a modelar la cabina del trasbordador. El criterio tomado para esta decisión se basaba en la posición del morro del avión (que al fin y al cabo es lo que se encuentra situado en primer lugar longitudinalmente hablando) y sobre todo a la geometría del mismo. Como se explicará de forma más detallada en el siguiente apartado, la evolución longitudinal de las secciones transversales de esta sección del avión es muy variable: comenzando desde un corte circular, acaba tomando una forma más compleja que servirá de unión con el sector del fuselaje que contiene la bahía de carga.

4.1.1 Cabina

Tras meditar sobre el lugar desde el que partir y cuál sería el método más eficaz para modelar el morro del avión, acabaron apareciendo un par de posibilidades a tener en cuenta:

- Dibujar una parábola en el plano xy y realizar un *Shaft* en torno al *eje y*.



Figura 25: Vista exterior de la cabina del Atlantis

- a) No acabó pareciendo un método lo suficientemente aceptable, ya que ignorara por completo las variaciones de las secciones del morro que aparecen descritas en los planos. Añadirle dichas variaciones de forma externa sería algo bastante complejo e impreciso.

- Dibujar en diferentes planos paralelos distintos *Sketches* con la geometría de las secciones del morro de los que se disponen.

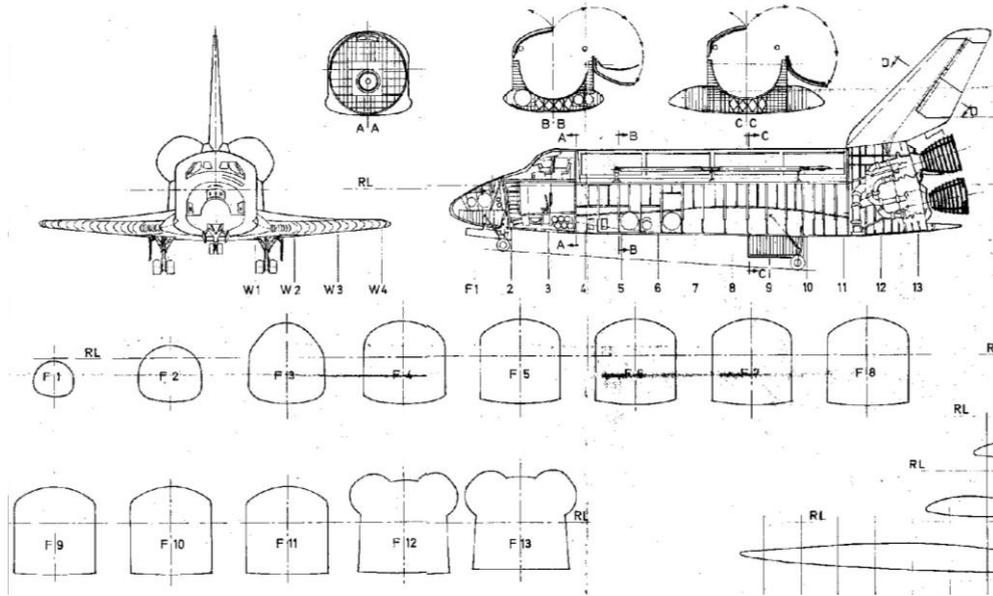


Figura 26: Secciones transversales del fuselaje del trasbordador espacial

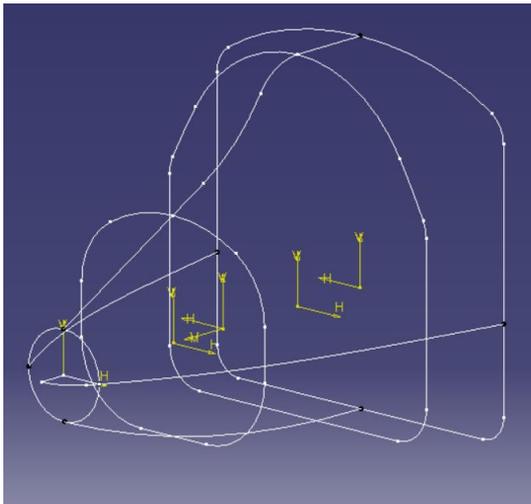


Figura 27: *Sketches* y líneas de guía según lo representado en los planos para la cabina

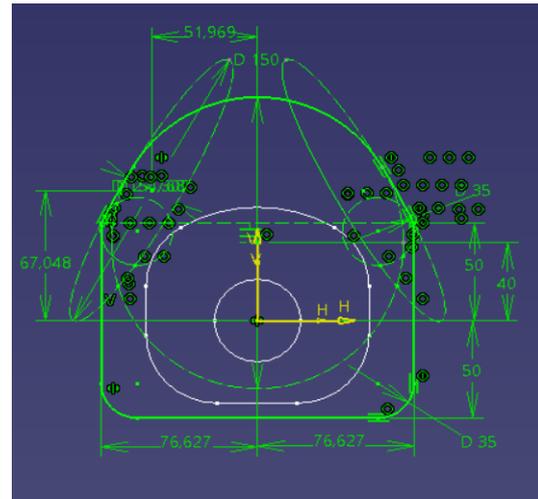


Figura 28: Detalle de uno de los *Sketches* empleados en el modelado de la cabina

A continuación, emplear la herramienta *Multi Sections Solid* tras representar varias líneas de guía. Es importante hacer mención de que se ha empleado el módulo de *Wireframe & Surface* para el cálculo de los puntos de corte de los planos en los que se sitúan los *Sketches* con el contorno a definir como guía de pieza a producir.

La punta del morro ha sido desarrollada mediante un *Shaft* de un *Sketch* que, mediante tangencias entre parábolas y circunferencias (ver FIGURA 28), ligaba lo anteriormente generado mediante *Multi Sections Solid* con el extremo inicial de la pieza deseada.

Tras esto, se le realizó un vaciado mediante un *Shell*.

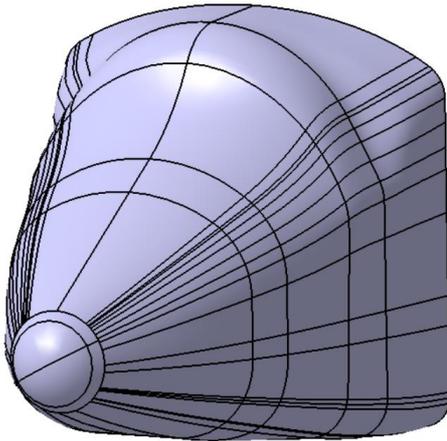


Figura 29: Vista delantera del sólido resultante del modelado inicial de la cabina

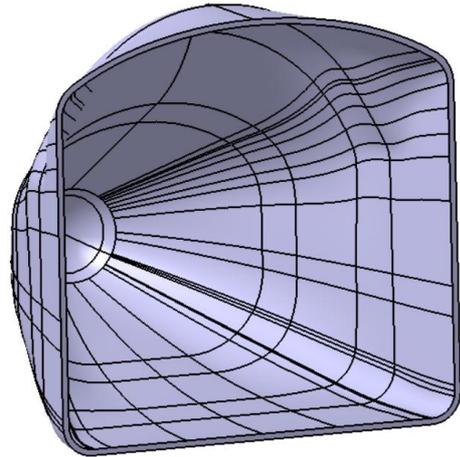


Figura 30: Vista trasera del sólido resultante del modelado inicial de la cabina

Habiendo escogido la segunda alternativa entre las opciones presentadas inicialmente, se dispuso añadir un último detalle a la cubierta exterior de esta parte de la aeronave: las ventanas. Para su realización, se optó por dibujar unos *Sketches* a partir de los cuales poder, mediante un *Pocket* (ver *Figura 32*), representar de la forma más fidedigna posible los cristales que se pueden observar en el trasbordador real (ver *Figura 31*). Por último, superponiendo la cabina con el anterior *Pocket* realizado y otra en la que no ha sido efectuada ninguna acción tras el estado representado en la *Figura 29*, se realiza una operación booleana de *Remove* para que el sólido resultante sean las ventanas que rellenarán los huecos previamente hechos. A este último *Part* se le dará una textura transparente para lograr así que se diferencie del material del resto de la cabina y que se asemeje a la del cristal (ver *Figura 33*).



Figura 31: Fotografía de las ventanas de la cabina del Discovery en el Smithsonian

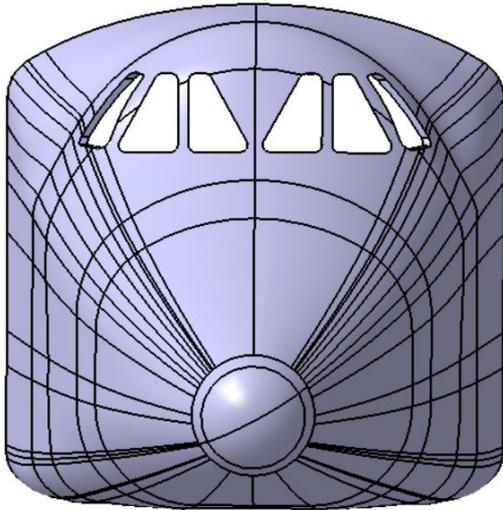


Figura 32: Cabina con los *Pockets* correspondientes a las ventanas realizados

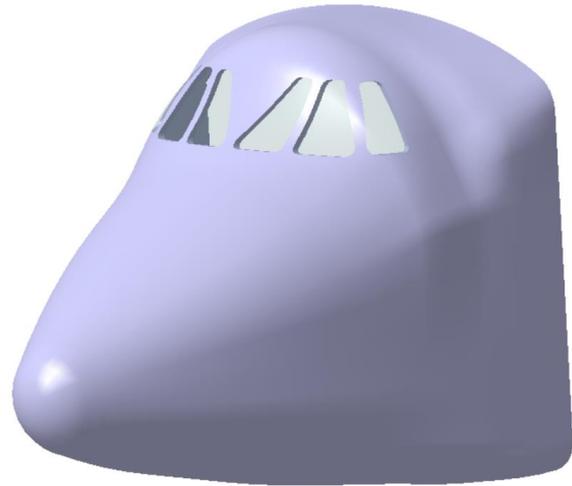


Figura 33: Exterior de la cabina con las ventanas colocadas

4.1.2 Sección del fuselaje correspondiente a la bahía de carga

En este caso ha sido un procedimiento bastante sencillo, ya que bastaba con tomar la sección con la que finalizaba el tramo del morro del trasbordador y realizar un *Pad* con la longitud adecuada. Tras esto, mediante el comando *Shell* se logró el vaciado del mismo.

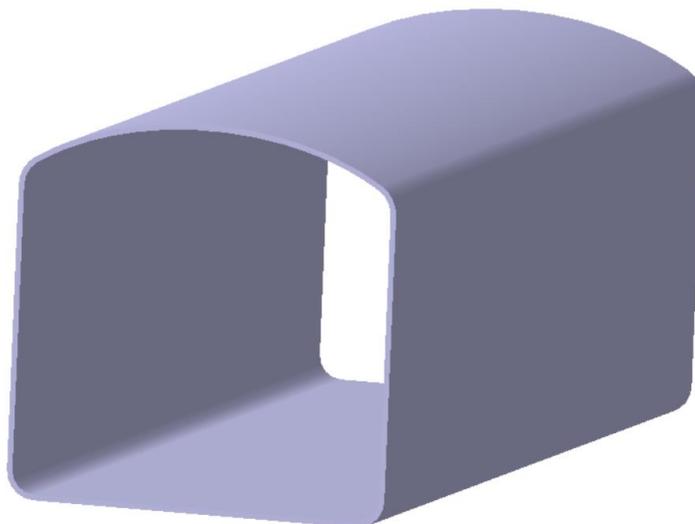


Figura 34: Exterior del tramo de fuselaje correspondiente a la bahía de carga

Es necesario mencionar que, a pesar de la sencillez que refleja el modelado del sólido anterior, se dividió más tarde en tres *Parts* diferentes (Base del fuselaje, Compuerta izquierda y Compuerta derecha) con la finalidad de poder animar más adelante la apertura de la bahía de carga (ver *Figura 35*).



Figura 35: Detalle del seccionamiento del fuselaje en la cubierta de la bahía de carga

4.1.3 Cola de la aeronave, habitáculo de los motores y toberas de salida

Al contar en los planos con la evolución de las geometrías de las secciones pertenecientes a este sector, aparecieron una serie de dudas sobre cómo realizar el volumen principal de esta pieza. Todo era debido a que en dichas secciones aparecían incluidas las proyecciones en el plano *yz* de los dos habitáculos que se apoyan sobre la superficie superior. Esto dio pie a plantear varias opciones de modelado:

- Partiendo de la sección con la que termina el fuselaje (la cual es idéntica a la que cierra la cabina), realizar un *Multi Sections Solid* desde dicha sección hasta una que incluya los dos habitáculos superiores que disponga de una inclinación de 10° con respecto al *plano yz*. A raíz de la forma obtenida, sería necesario realizar un nuevo *Multi Sections Solid* que abarcara únicamente la geometría de los habitáculos para así, poder lograr una mejor definición de estos (ya que al fin y al cabo son paralelos al plano horizontal). Tras esto, era necesario pulir un poco la superficie (mediante el comando *Removed Multi Sections Solid*) para dotar a la figura de una geometría más precisa con respecto a los planos de diseño. Todo esto daba como resultado un acabado repleto de líneas e incluso pequeños cortes que hacían del modelaje algo inaceptable (ver *Figura 36*).

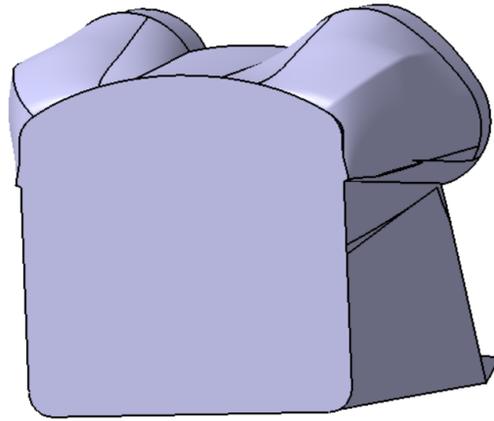


Figura 36: Detalle de los defectos que hacían inviable esta configuración del modelado

- La segunda opción fue la de tomar la sección final del fuselaje y realizar el *Multi Sections Solid*, pero esta vez con una sección de finalización que, aunque también se encontrara inclinada 10° respecto al plano vertical, no incluía los habitáculos superiores del tramo de cola. Por ello, aparecían como resultado de la aplicación de este comando dos superficies planas sobre las que poder apoyar los habitáculos, los cuales fueron modelados a posteriori mediante un *Multi Sections Solid*. Es importante comentar que al dar una serie de errores que impedían poder aplicar dicho comando sobre el segundo habitáculo (a pesar de estar empleado secciones y guía similares a las del primero) se decidió realizar todo el proceso anterior únicamente en una mitad, para luego poder completar la pieza mediante una simetría del *Body* respecto al *plano yz*. Los detalles que se observan en la parte posterior de los habitáculos fueron modelados mediante distintos *Pads* y *Pockets*, teniendo en cuenta siempre la simetría respecto al *plano yz* (ver *Figura 38*).

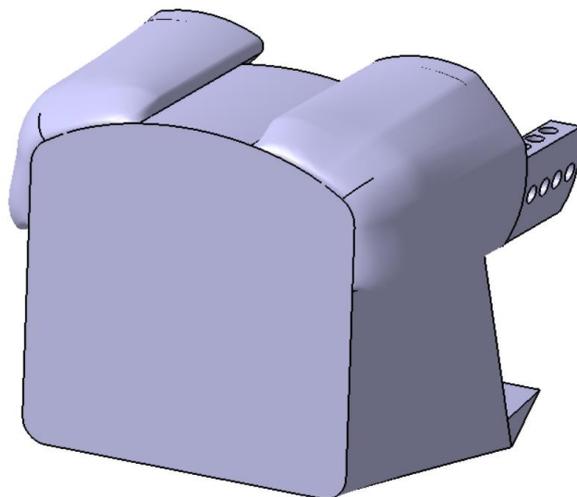


Figura 37: Vista delantera del tramo de cola

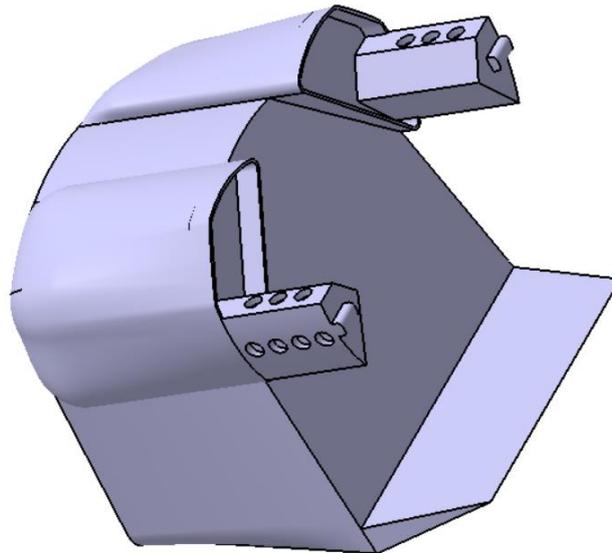


Figura 38: Vista trasera del tramo de cola

Es necesario especificar que para esta sección del trasbordador no se va alcanzar el detalle necesario durante este trabajo como para definir su interior, correspondiente al conjunto motor y distribución interna de combustible. Debido a ello, en el modelado de este sólido no se ha llegado a aplicar el comando *Shell*, ya que no va a ser necesario diseñar nada más allá de la superficie visible desde el exterior.

A continuación, con el propósito de completar el modelado de la parte posterior del trasbordador, es el momento de modelar el conjunto de 5 toberas que se sitúan sobre el cuerpo anteriormente generado: 3 toberas de mayor tamaño que corresponden a los motores principales Rocketdyne RS-25 y las 2 pequeñas toberas propias de los motores del sistema de maniobra orbital (ver *Figura 39*).



Figura 39: Vista trasera del Space Shuttle

Las pequeñas fueron realizadas mediante un *Shaft* a partir de un *Sketch* configurado a partir de tangencias entre un par de parábolas en los extremos (ver *Figura 40*) y una circunferencia que cumpliera el papel de curva de enlace entre ambas.

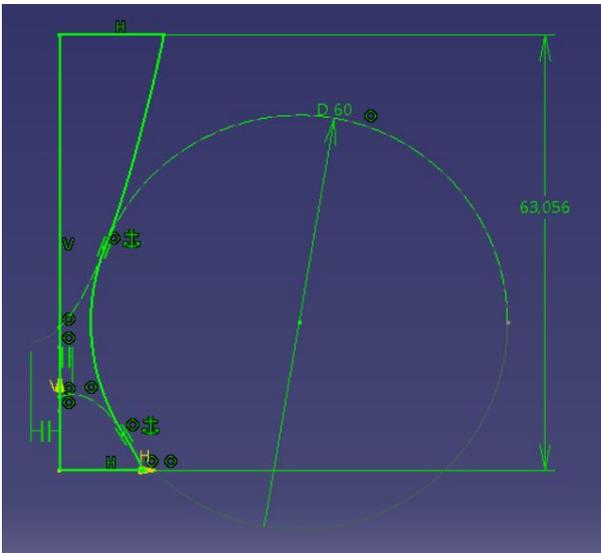


Figura 40: Detalle del *Sketch* que origina la tobera menor

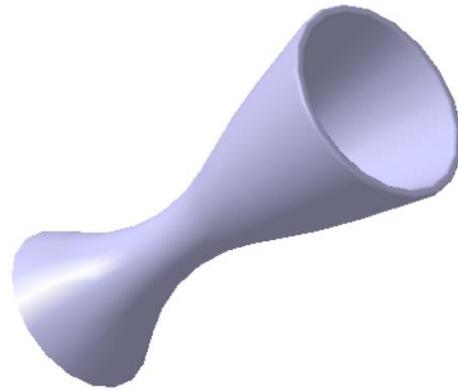


Figura 41: Tobera del sistema de maniobra orbital

Las grandes, por otra parte, fueron modeladas también con un *Shaft*, pero con distinto *Sketch*. A pesar de que el inicio de la configuración geométrica de éste fuese equivalente al anteriormente descrito para el caso de toberas pequeñas, a este se le añadió a posteriori (aunque previamente de la aplicación del *Shaft*) una serie de circunferencias sobre su contorno con el fin de definir la superficie de estas toberas de la manera más similar a la realidad. Tras esto, se añadieron una serie de tubos cilíndricos sobre el contorno de la tobera. Éstos fueron modelados mediante el comando *Rib* y la aplicación de simetrías circunferenciales respecto al *eje z*.

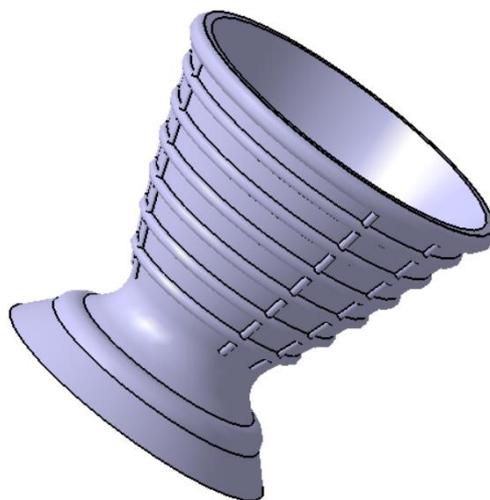


Figura 42: Tobera correspondiente a los motores principales

Tras la realización de cada uno de estos Parts por separado, solo quedaba ensamblarlos en el *Product* final situando cada uno de ellos en sus correspondientes posiciones. De esta forma se logrará una buena reproducción de la parte posterior del vehículo orbital (ver *Figura 43*).

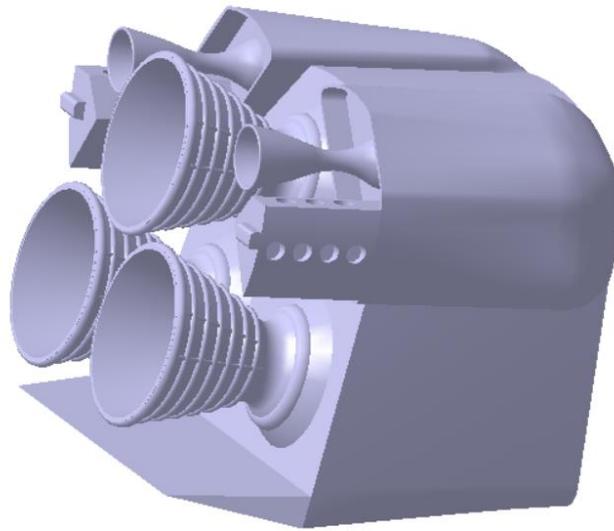


Figura 43: Ensamblaje de la cola de la aeronave, el habitáculo de los motores y las toberas de salida

4.1.4 Conjunto alar

Antes de comenzar con el modelado de este element, es necesario tener en cuenta que, como las dos semialas van a ser modeladas en un único *Part*, será fundamental el añadido de una delgada superficie que una ambas semialas a modo de unión suave con el fuselaje del trasbordador:

Se comenzó realizando un *Sketch* del perfil que tenía un semiala en su raíz, al cual se le realizó un *Pad* hasta el *plano xz* (teniendo en cuenta que la semiala se va a generar con su envergadura a lo largo del *eje y*). A partir de aquí apareció una nueva disyuntiva:

- Se comenzó por construir el semiala a partir de varias secciones dibujadas en *Sketches* situados en planos paralelos a la raíz del ala. Estos fueron realizados consecuentemente con la evolución de la geometría del ala, precisando tanto en la curvatura de dichos perfiles como en la longitud de la cuerda de estos. Tras esto, se le añadieron un par de guías en el *plano xy* que definirían el contorno del semiala.

El problema aparece cuando, al terminar de configurarla e ir a realizar numerosas correcciones y modificaciones para que la herramienta *Multi Sections Solid* pudiese actuar adecuadamente, el resultado quedaba un poco recargado y con zonas donde la abundancia de perfiles hacía que apareciesen algunas superficies abruptas. Por ello, se decidió optar por una solución algo más directa.

- En este caso, tras realizar el *Pad* que se ha mencionado previamente, se decidió por realizar un único *Sketch* más en punta de ala donde figuraría el último perfil del semiala (ver *Figura 44*). Siendo más cuidadosos con la definición de los contornos del ala para lograr así la geometría deseada y evitar incoherencias en el *Multi Sections Solid* posterior (ver *Figura 45*), se logra un resultado mucho mejor en cuanto a lo que a suavidad de la curvatura del ala se refiere.

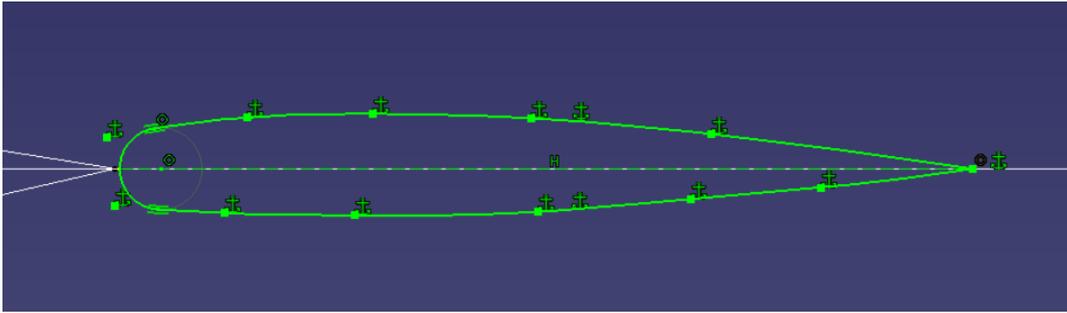


Figura 44: Detalle del *Sketch* correspondiente al perfil en punta de ala

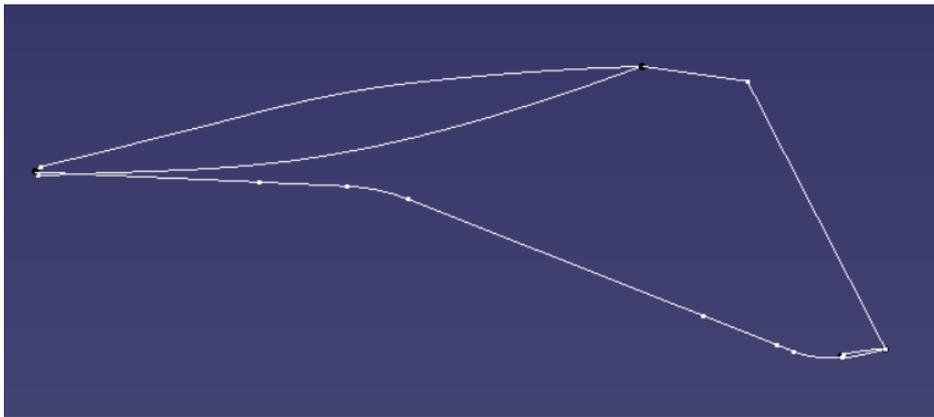


Figura 45: Líneas de guía que definen el contorno del semiala izquierda

Tras esto, quedaría realizar una simetría del semiala respecto al *plano xz* y, mediante operaciones booleanas, realizar un *Remove* del cuerpo definido por el fuselaje al *Body* que aquí se está tratando. Con ello, se logra esa unión suave del conjunto alar con la parte inferior del fuselaje.

Finalmente, con la finalidad de vaciar el ala por dentro se intentó realizar dicha acción mediante el comando *Shell*, lo que supuso una serie de errores por incoherencias con el *Multi Sections Solid* previamente empleado que impedían retirar el interior del sólido. Por ello, se acabó optando por insertar un nuevo *Body* con la misma geometría que el ala recientemente modelada, reducirla de tamaño en los tres ejes mediante la función *Scaling* y acto seguido retirar este segundo sólido del primero mediante la operación booleana de *Remove*.

El resultado de las anteriores acciones de modelado sería un conjunto alar que se adapta adecuadamente al conjunto del fuselaje, dotado de una transición suave a lo largo de su envergadura y que cumple de forma considerablemente fidedigna con la forma en planta del trasbordador real (ver *Figuras 46 y 47*).

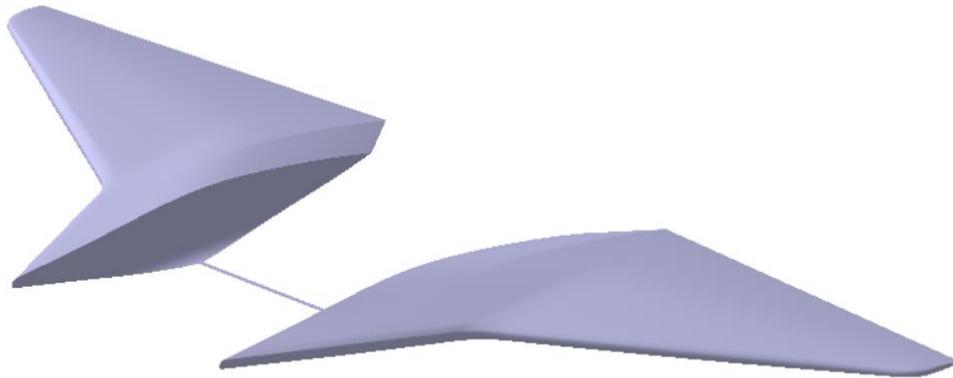


Figura 46: Conjunto alar

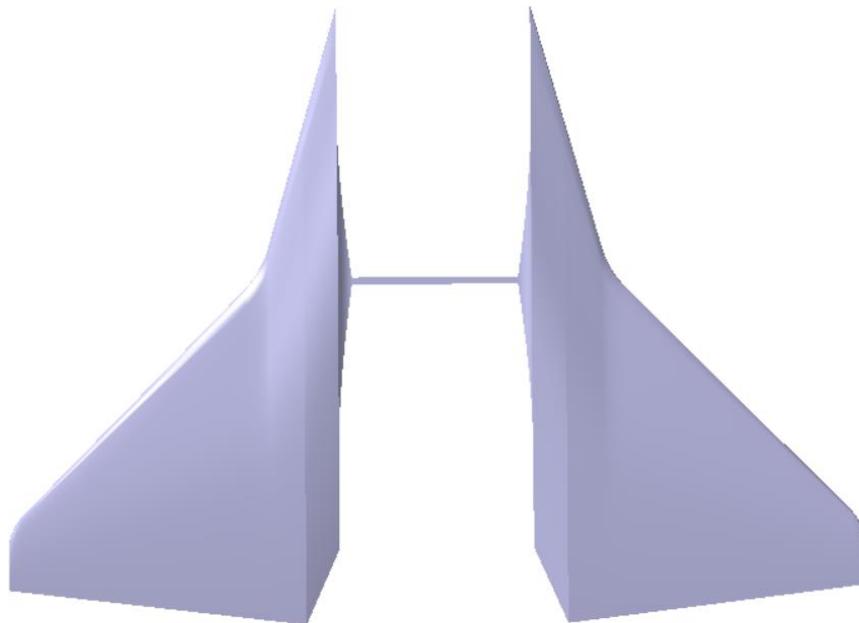


Figura 47: Vista de la forma en planta del conjunto alar

4.1.5 Estabilizador vertical

Tras observar en los planos que se emplean como guía para este modelaje la evolución de las secciones de este elemento, se acabó decidiendo que la forma más óptima de generarlo era a través del diseño de tres secciones paralelas dibujadas en tres *Sketches* distintos (ver *Figura 48*). A partir de estos, se realizaría un *Multi Sections Solid* para acabar generando el cuerpo deseado.

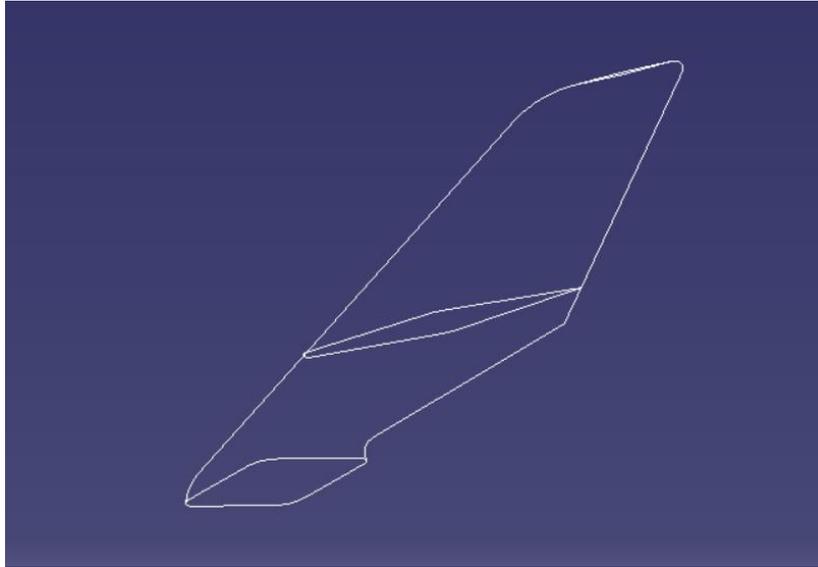


Figura 48: Detalle de *Sketches* y líneas de guía empleados en el modelado del estabilizador vertical

Al igual que se realizó con el conjunto alar, se realizó una operación booleana de *Remove* de la parte de la cola del trabardador a la parte inferior del estabilizador, para lograr así que la superficie inferior de éste se adaptase perfectamente a la curvatura de la pieza sobre la que se encuentra apoyada.

Además, para lograr el vaciado de la pieza, fue necesario realizar otro *Remove* del mismo estabilizador escalado a unas medidas ligeramente inferiores. Esto se tuvo que hacer ya que la superficie resultante del *Multi Sections Solid* anteriormente realizado no permitía la adecuada aplicación del comando *Shell* (ver *Figura 49*).

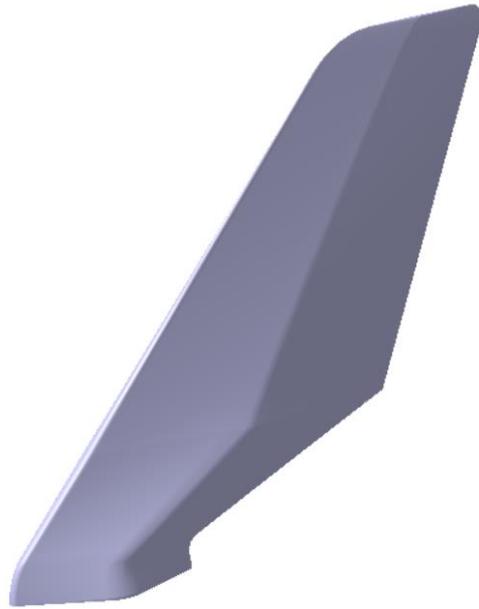


Figura 49: Estabilizador vertical

4.1.6 Tanque de combustible externo

La estructura principal ha sido modelada mediante un *Shaft* sobre un *Sketch* que definía el contorno de la superficie curva de este cuerpo. Tras esto, se ha detallado la sección que consta de una corona de pequeñas hendiduras circulares a base de realizar *Pad* en torno al volumen generado previamente y multiplicándolo numerosas veces mediante los comandos de patrones circulares (ver *Figura 50*). El vaciado interior se le ha realizado de forma análoga a como se hizo con el estabilizador vertical.

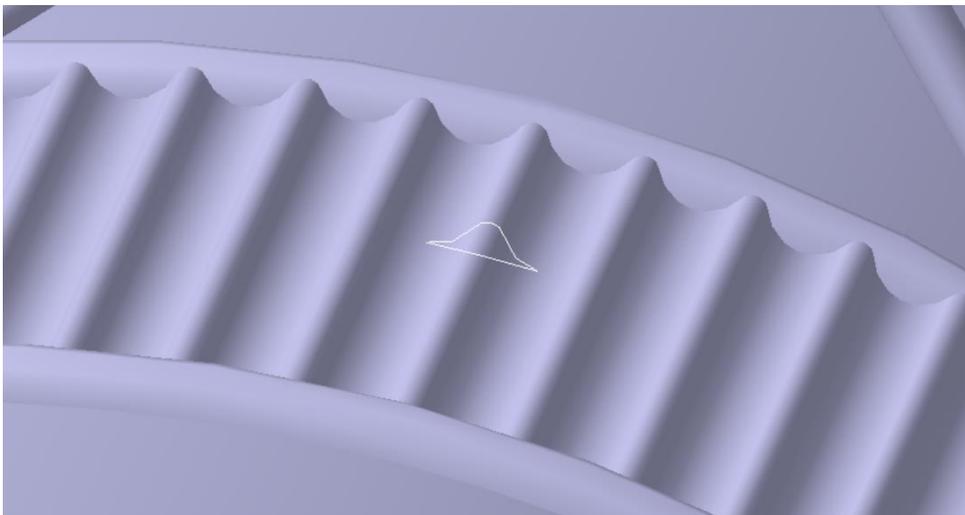


Figura 50: Detalle del *Sketch* del que se originan las hendiduras del tanque

Para terminar con el diseño de esta sección, se le añadieron los soportes que servían de unión con el vehículo principal del trasbordador. Para ello, se emplearon las herramientas *Slot* (para los soportes delanteros) y las herramientas *Pad* y *Multi Sections Solid* para el diseño de los traseros (Ver Figuras 51 y 52).

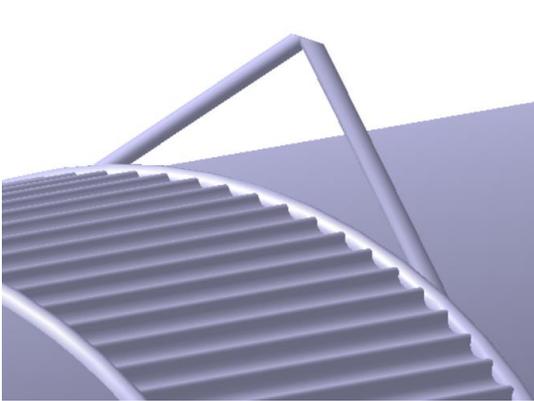


Figura 51: Soportes delanteros

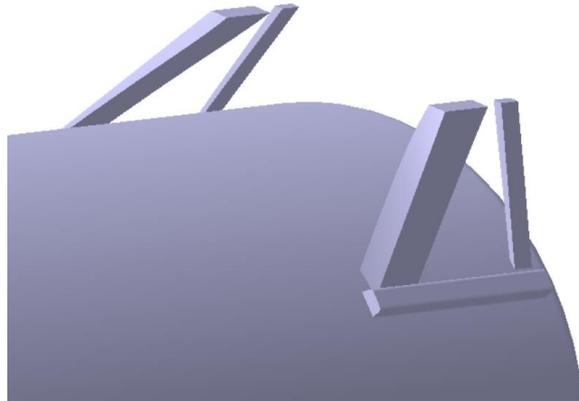


Figura 52: Soportes traseros

Es importante mencionar que para lograr un buen acabado en las superficies superiores de estos elementos de unión se copiaron al *Part* de trabajo todos aquellos *Bodys* con los que estos soportes entraban en contacto (Cabina, Fuselaje de la bahía de carga y Cola del trasbordador). La finalidad de todo esto no es otra que la de acabar colocando los *Bodys* en su lugar correspondiente según el montaje final y, mediante un *Remove*, retirar finalmente los cuerpos correspondientes al vehículo.

El sólido resultante es el tanque con el detalle suficiente como para estar listo para su posterior ensamblaje al modelo final (ver Figura 53).

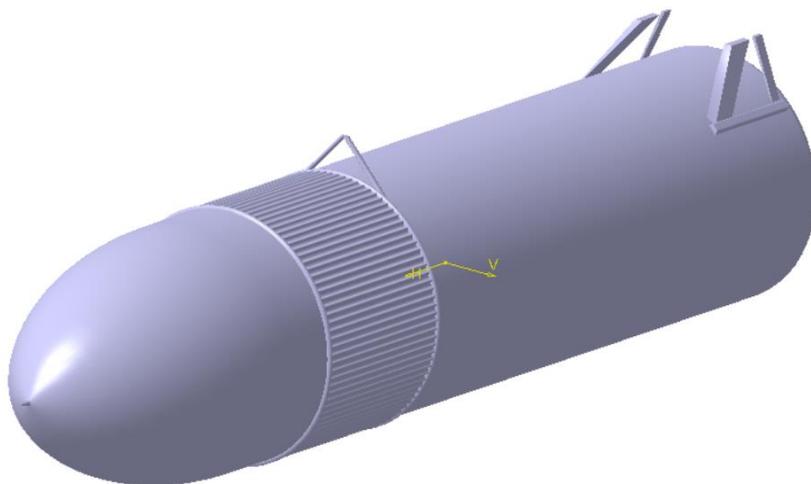


Figura 53: Tanque externo de combustible

4.1.7 Par de cohetes aceleradores sólidos recuperables

Se ha empleado una metodología análoga a la del contenedor principal, con la excepción de que el vaciado del mismo ha sido realizado mediante el comando *Shell*. Los aros que rodean a este cuerpo han sido modelados primeramente mediante un *Shaft* seguido de la aplicación de un patrón lineal para acabar generando el resto de argollas a diferentes distancias de la estructura tubular.

Los soportes de este elemento con el contenedor principal han sido modelados de forma semejante a la manera previamente comentada para los de la unión Contenedor Principal – Vehículo.

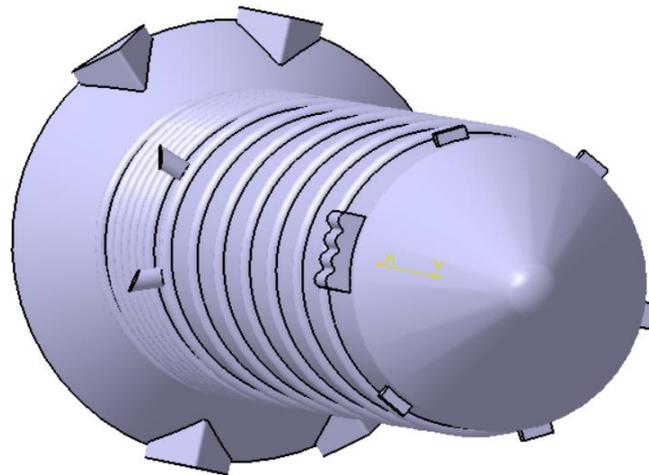


Figura 54: Detalle de los soportes entre uno de los cohetes recuperables y el tanque de combustible

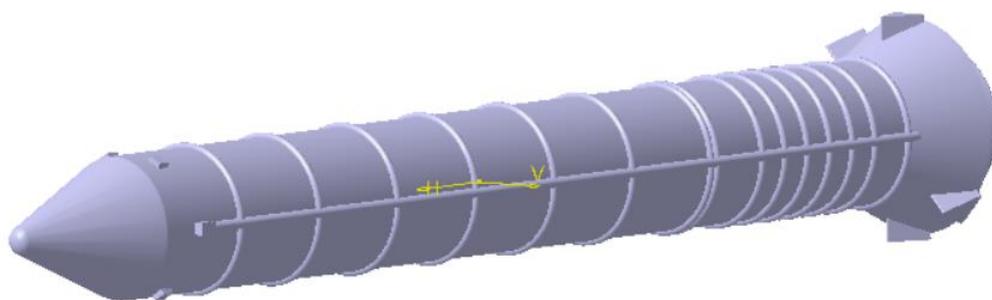


Figura 55: Cohete acelerador sólido recuperable

4.2 Modelado interior

Una vez se ha realizado el modelado de las partes externas del trasbordador en su totalidad, es el momento de pasar al diseño de aquellos espacios que se encuentran dentro de la aeronave. En este trabajo se limitará el desarrollo de este modelado al interior de la cabina y la bahía de carga, sin entrar en el modelado del conjunto motor ni de todos aquellos elementos que se encuentran dentro de los cohetes.

Es importante hacer mención de la dificultad de encontrar información sobre estas partes del vehículo, por ello se ha partido de distintos dibujos que recrean estas zonas o fotografías tomadas de la aeronave real. A causa de esto, el modelado de estos habitáculos interiores ha sido bastante aproximado, siendo realizados con elementos muy diferenciados entre sí que se han ido ensamblando en los lugares que en dichas imágenes parecían corresponderles.

4.2.1 Cabina

Se comenzará a modelar el interior de la cabina, el cual se encuentra a su vez dividido en diferentes *Parts*. Por ello, en esta memoria se explicará uno a uno cada uno de los métodos empleados para estos elementos y cómo resultan al ser ensamblados finalmente.

Para esta parte de la aeronave ha sido necesario partir de un dibujo representativo de la misma (ver *Figura 56*), ya que, como se comentó anteriormente, el número de recursos que pueden ser de utilidad es algo limitado.

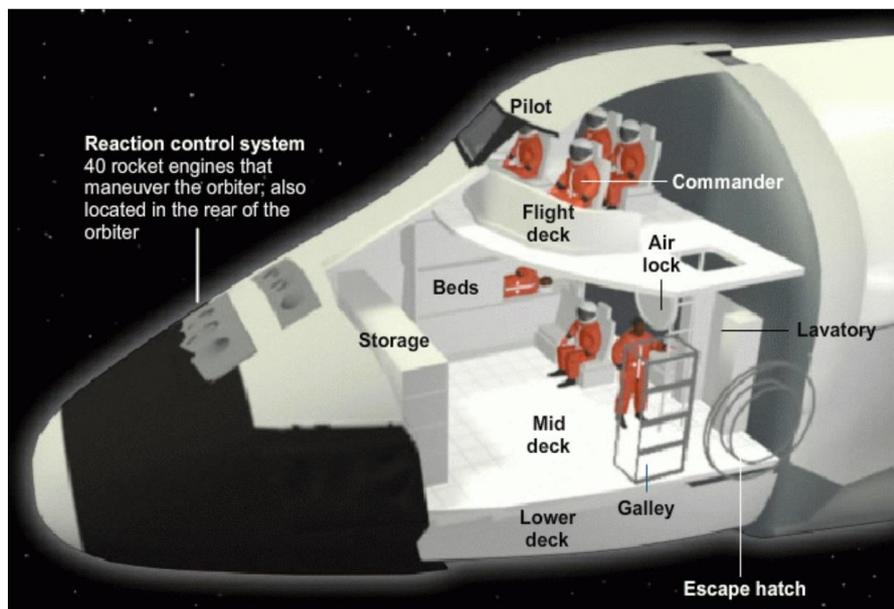


Figura 56: Dibujo esquemático del interior de la cabina del Space Shuttle

a) Estructura principal

La definición de este conjunto no es más que la de un soporte en torno al cual distribuir posteriormente el resto de elementos que se encuentran en la cabina, lo que viene a ser el suelo de las dos plantas de las que dispone este habitáculo y de estructura en la que va encajonado el tren de aterrizaje delantero cuando se encuentra retraído. Se han acoplado por comodidad de modelado en este mismo *Part* el conjunto de estanterías de almacenamiento y las tres camas que se encuentran en la planta inferior.

El modelado se realizó a partir de la cabina exterior que ya se tenía de antes, diseñando cada uno de los elementos en su interior para finalmente acabar realizando una operación booleana de *Remove* para quitar de esta manera la cubierta externa de la misma.

Comenzando por el habitáculo donde se guarda el tren, éste fue modelado mediante una serie de *Sketches* y *Pads* consecuentes con el espacio necesario para retraer la rueda y el conjunto de mecanismos que van asociados al tren de aterrizaje (ver *Figuras 57 y 58*), teniendo siempre la precaución de no sobrepasar las dimensiones que permite el hueco restante en la cabina.

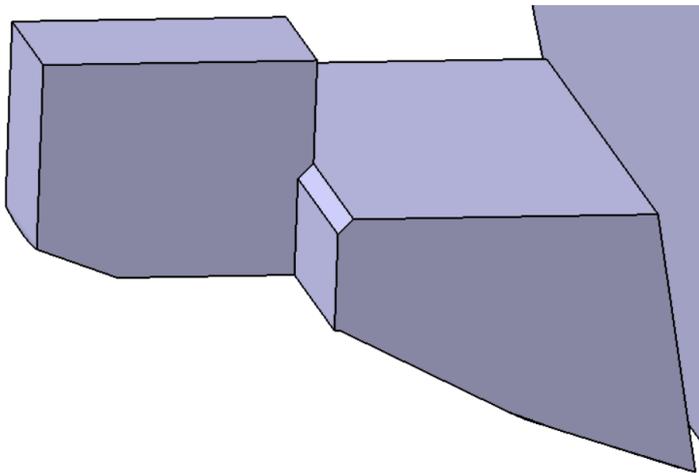


Figura 57: Vista lateral del habitáculo del tren delantero

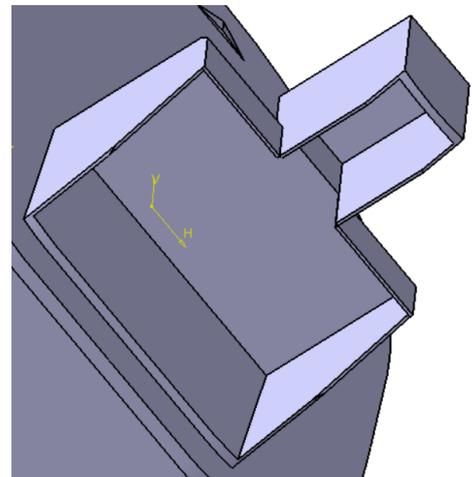


Figura 58: Vista inferior del habitáculo del tren delantero

A continuación, se modelaría el suelo de la cabina partiendo de hallar las curvas de intersección con la superficie del fuselaje exterior, las cuales delimitarían el contorno de las superficies a diseñar (ver *Figura 59*). Una vez proyectadas dichas líneas en *Sketches* y realizar los *Pads* acorde con el espesor seleccionado para los suelos, se le añadieron numerosas hendiduras con el fin de aportar el detalle de las baldosas que caracterizan esta superficie. Esto último fue realizado mediante un *Slot* que se repitió mediante la herramienta de patrones lineales (ver *Figura 60*).

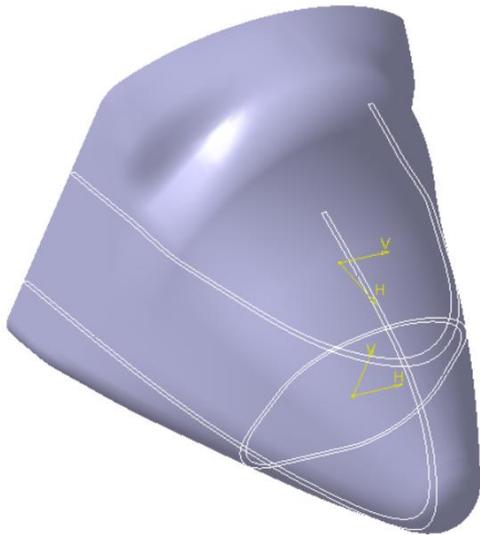


Figura 59: Intersecciones de los planos de origen de los suelos con la cabina exterior

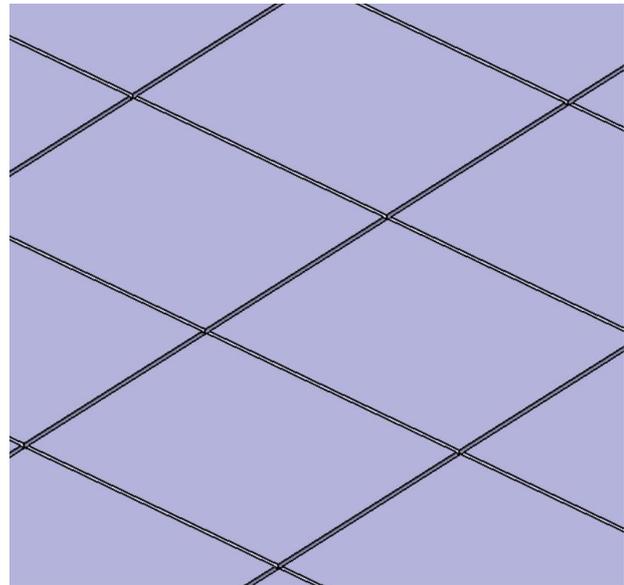


Figura 60: Resultado del ranurado del suelo

Finalmente, las estanterías de almacenamiento y las camas se añadieron siendo modeladas sobre las superficies ya realizadas, mediante una serie de *Sketches* y *Pads* sencillos.

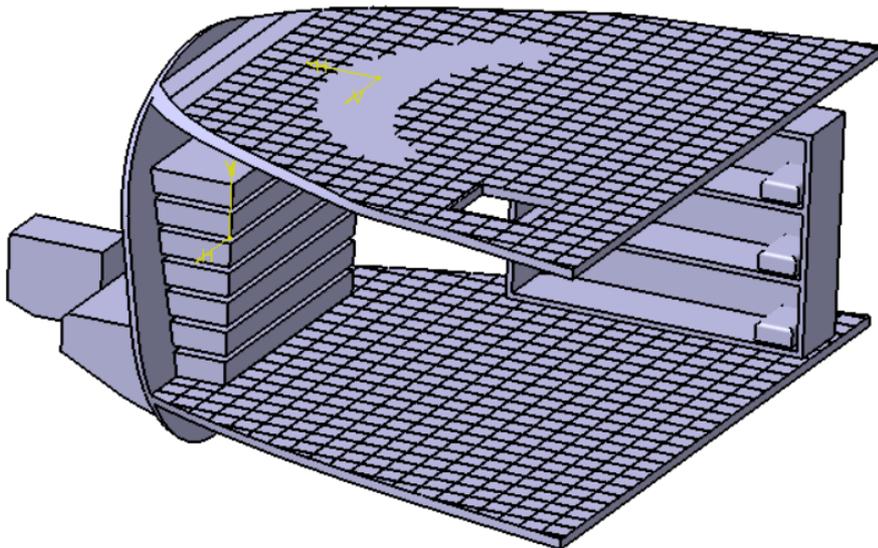


Figura 61: Estructura principal del interior de la cabina

b) Panel de mando

El siguiente elemento que se va a modelar es el panel de mando, el cual irá situado en la zona del suelo de la planta superior que se encuentra visiblemente sin ranurar (ver *Figura 61*). El modelado fue realizado mediante una base de pequeño espesor, para la que se empleó simplemente un *Pad*, y una estructura superior dotada de cierta inclinación con el objetivo de simular el panel de displays y diversos instrumentos del hardware de este elemento mirando hacia la tripulación. Esto se logró abordar mediante un *Multi Sections Solid* que poseía el *Sketch* de origen en la base anteriormente mencionada y el de destino en un plano inclinado 35° (ver *Figura 62*).

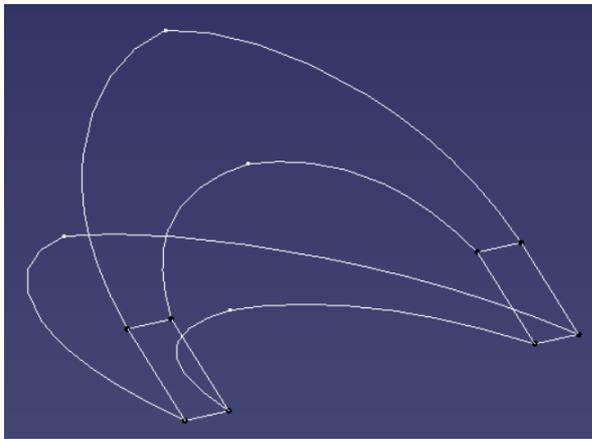


Figura 62: Detalle de los *Sketches* empleados para generar el panel de mando

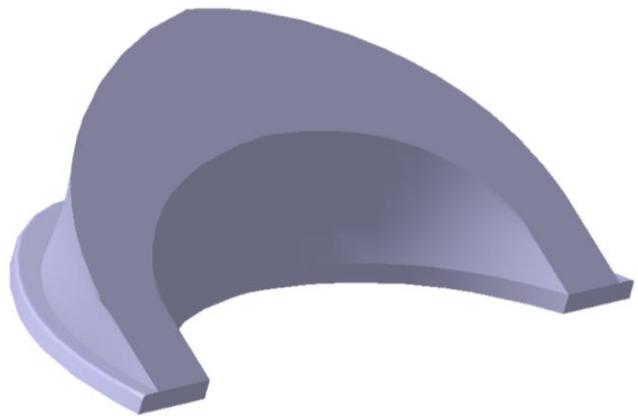


Figura 63: Panel de mando

c) Escalera

Como se puede observar en la *Figura 61*, existe un hueco cuadrangular en el suelo superior a modo de acceso para la tripulación entre ambos niveles de la cabina. Por ello, es necesario modelar en un *Part* aparte la escalera que permitirá a dicho tramo de paso cumplir con su cometido.

El modelado de esta pieza ha sido bastante simple, partiendo de que las barras laterales han sido dos *Parts* verticales y los peldaños de dicha escalera han sido realizados mediante *Parts* más pequeños que partían de *Sketches* circulares (ver *Figura 64*).

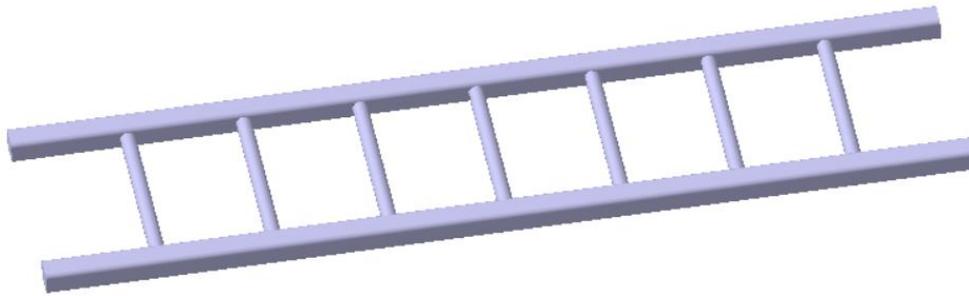


Figura 64: Escalera de la cabina del trasbordador

d) Asientos

En la *Figura 56* se podía ver que la cabina estaba dispuesta de un total de seis asientos: cuatro en la zona superior frente al panel de mando y dos más situados entre la escalera y las camas. Al ser el modelo de asiento idéntico para todos ellos, bastaría con realizar un diseño en un *Part* que luego se copiaría 5 veces más durante el ensamblaje del vehículo.

La estructura fundamental del asiento está configurada mediante una base, un respaldo y el apoyo para la cabeza, todos ellos modelados mediante *Pads* de diferentes inclinaciones y con distintos acabados en lo relativo al redondeo en las aristas. A modo de detalle añadido, se ha incluido en el modelaje de esta pieza un *Pad* que, debido a la geometría de su *Sketch* de origen (ver *Figura 65*), logra simular el acolchado del asiento.

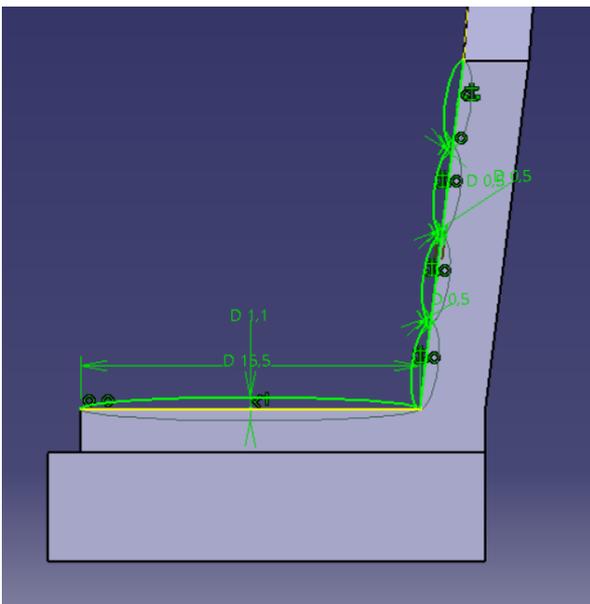


Figura 65: Detalle del *Sketch* que define el acolchado del asiento

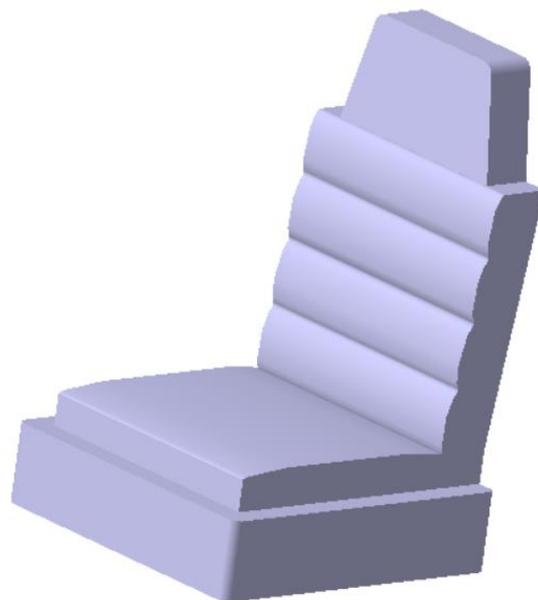


Figura 66: Asiento de cabina

Tras haber modelado cada uno de los elementos por separado, es el momento de unirlos todos de forma coherente, mediante el módulo *Assembly*, para conseguir que se asemeje lo máximo posible a la *Figura 56* (ver *Figuras 67 y 68*).

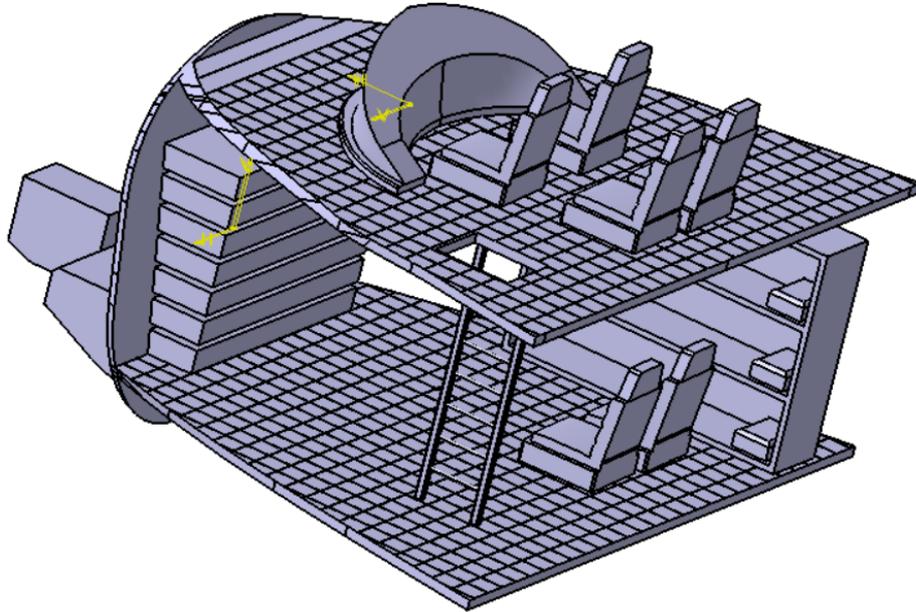


Figura 67: Vista trasera del interior de la cabina del trasbordador

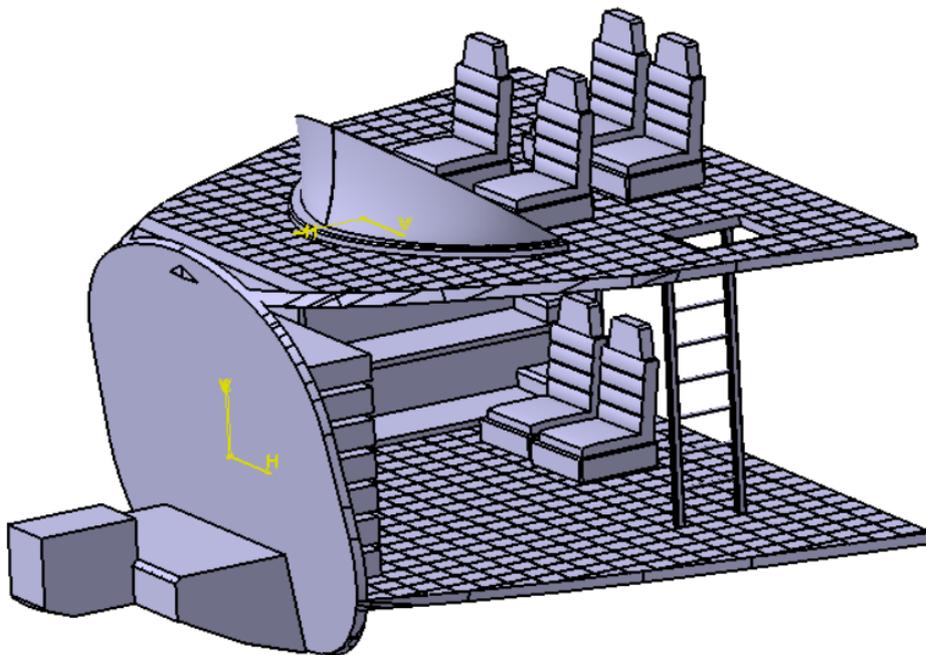


Figura 68: Vista delantera del interior de la cabina del trasbordador

4.2.2 Bahía de carga

Tras haber modelado el interior de la cabina, es el momento de comenzar a trabajar en el diseño de cada uno de los elementos que se encuentran en la bahía de carga del trasbordador. Al igual que en el apartado anterior, el modelaje se compondrá de diferentes *Parts* que se acabarán ensamblando tras trabajar en cada uno de ellos individualmente.

En este apartado cabe destacar que se ha trabajado principalmente a partir de fotografías reales de la aeronave (ver *Figuras 69 y 70*) debido a que, a falta de planos de interés dedicados al interior de esta sección del vehículo, resultaban ser el recurso de mayor utilidad para afrontar el modelaje los elementos que aquí se encuentran.



Figura 69: Fotografía del Space Shuttle con la bahía de carga abierta tomada desde la ISS

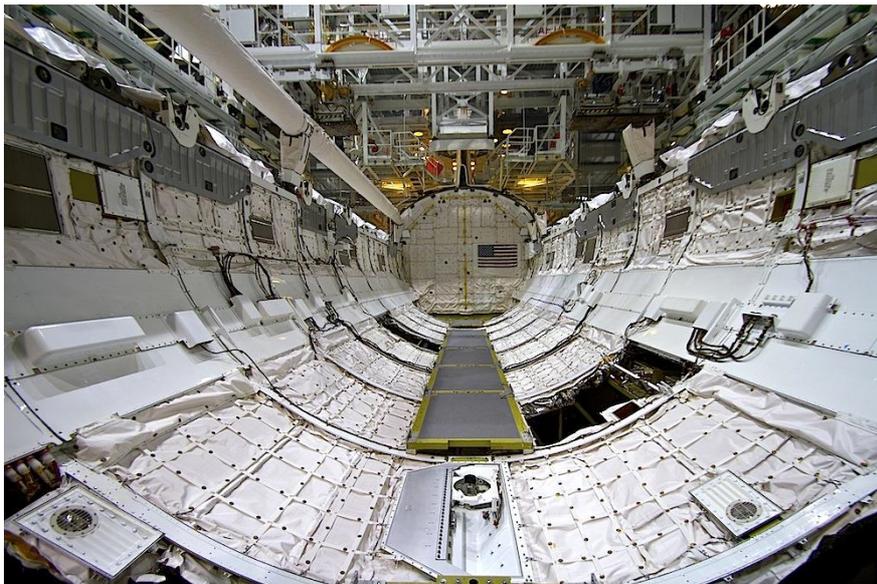


Figura 70: Fotografía tomada desde el interior de la bahía de carga del trasbordador

a) Estructura principal

Se comenzará modelando la superficie y elementos anclados a ella de la bahía de carga, con la finalidad de facilitar la visualización del lugar que le corresponde al resto de elementos que se diseñarán posteriormente.

Lo primero a realizar es la pared que separa la cabina de la bahía de carga, la cual se ha diseñado junto con la superficie inferior mediante *Pads*. A esta superficie recién modelada se le han añadido una serie de barras longitudinales y transversales para aumentar el nivel de detalle superficial de esa región. Las barras longitudinales fueron modeladas mediante un único *Sketch* (ver *Figura 71*), mientras que para las transversales se empleó un patrón lineal a partir de un *Pad* con la geometría de uno de ellos.

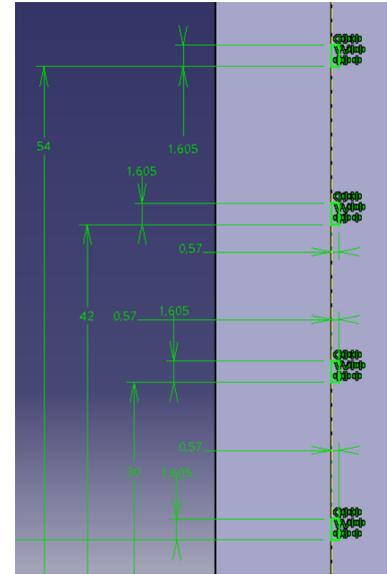


Figura 71: Detalle del *Sketch* empleado para general el panelado longitudinal

A continuación, se configuraron una serie de refuerzos estructurales situados justo en la zona en la que más sufre la estructura a causa del momento que ejercen las compuertas durante su apertura y cierre. Fueron modelados mediante *Pads* y patrones lineales (ver *Figura 72*).

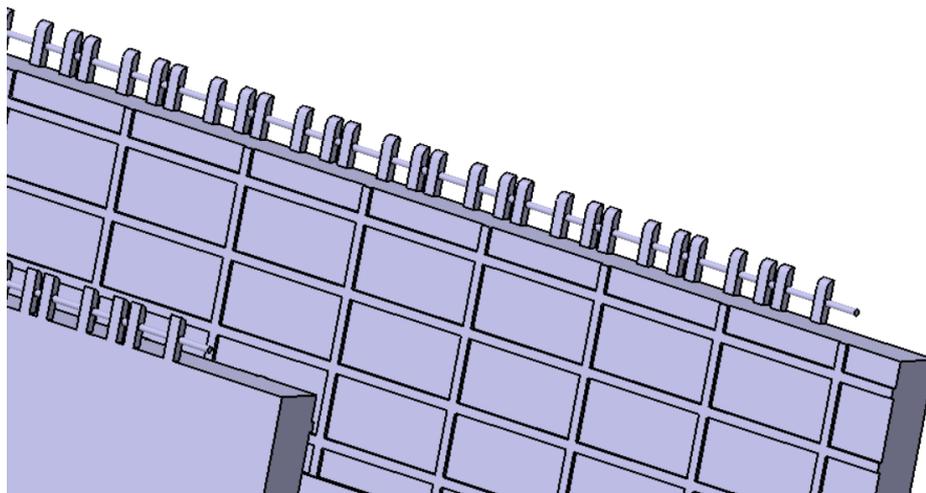


Figura 72: Detalle de los refuerzos estructurales y del panelado lateral de la bahía de carga

Para finalizar con este apartado, aún era necesario modelar un par de elementos que se encuentran anclados a las paredes laterales de la estructura que se acaba de diseñar en las páginas anteriores. El primero de ellos se encuentra en la parte final de la bahía de carga, siendo un pequeño habitáculo de almacenamiento sujeto a la estructura principal por dos soportes que, para mejorar su resistencia, tienen una geometría configurada a base de formas triangulares (ver *Figura 73*). Como se puede apreciar en la *Figura 74*, este elemento ha sido modelado mediante distintos *Sketches* y *Pads*.

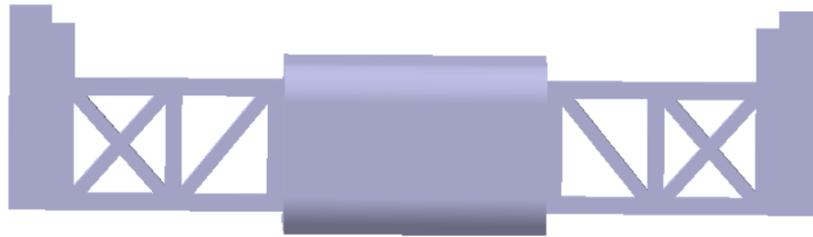


Figura 73: Vista de la forma en planta de uno de los elementos anclados a la bahía de carga

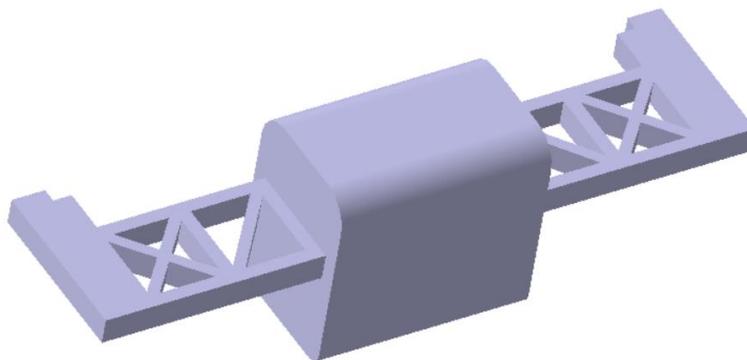


Figura 74: Uno de los elementos anclados a la bahía de carga

El último elemento anclado se encuentra de forma contigua a la pared que separa cabina y bahía de carga, estando dotado de un acceso en su interior que sirve de comunicación entre ambas cámaras (ver *Figura 75*). Al ser la pieza de mayor complejidad dentro de esta parte de la aeronave, ha sido necesario alcanzar un gran nivel de detalle, por lo que ha requerido de un gran número de *Parts* y *Shafts* (y patrones circulares en torno a ellos) generados a partir de muy diversos *Sketches*. Mediante una vista de la forma en planta (ver *Figura 76*) se puede apreciar la estructura de la que dispone este elemento para anclarse a las paredes laterales, los cuales se encuentran reforzados a su vez con cuatro barras que sirven de enganche entre la base de la pieza y la estructura de anclaje.

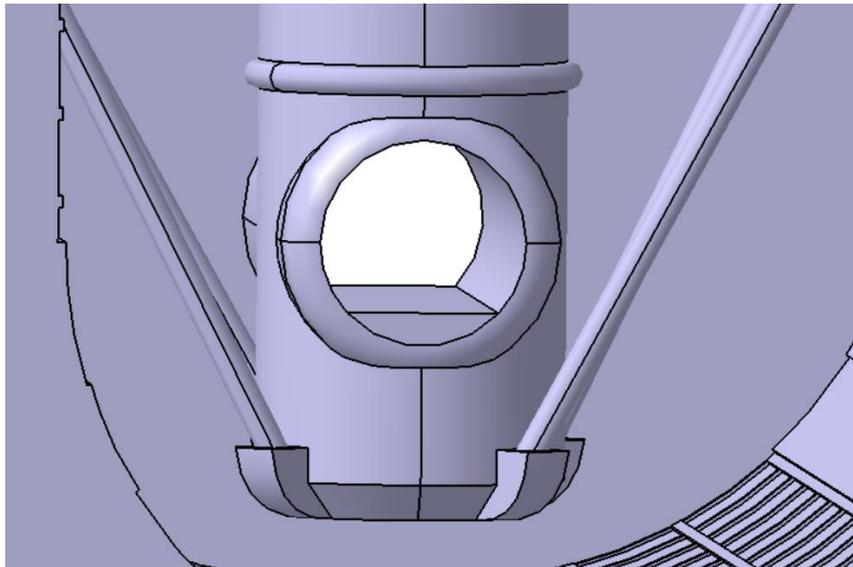


Figura 75: Acceso a la cabina del trasbordador desde la bahía de carga

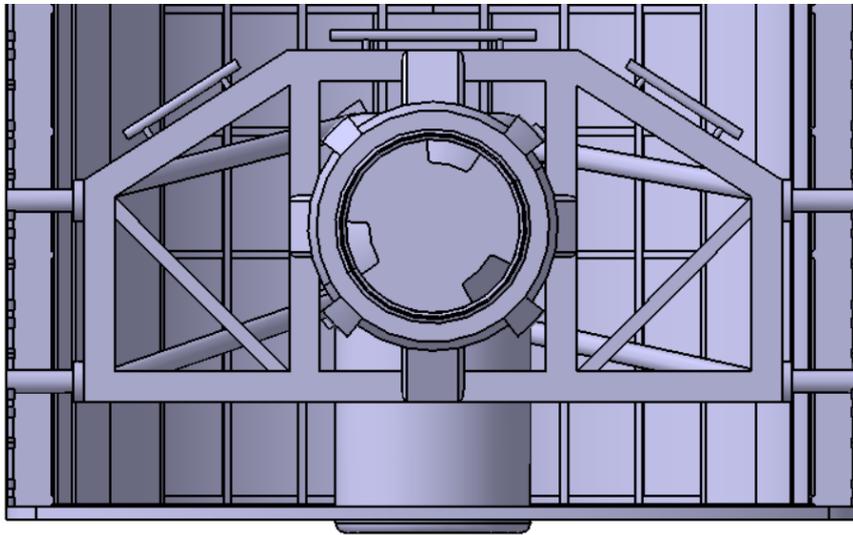


Figura 76: Vista en planta otro de los elementos anclados a la bahía de carga

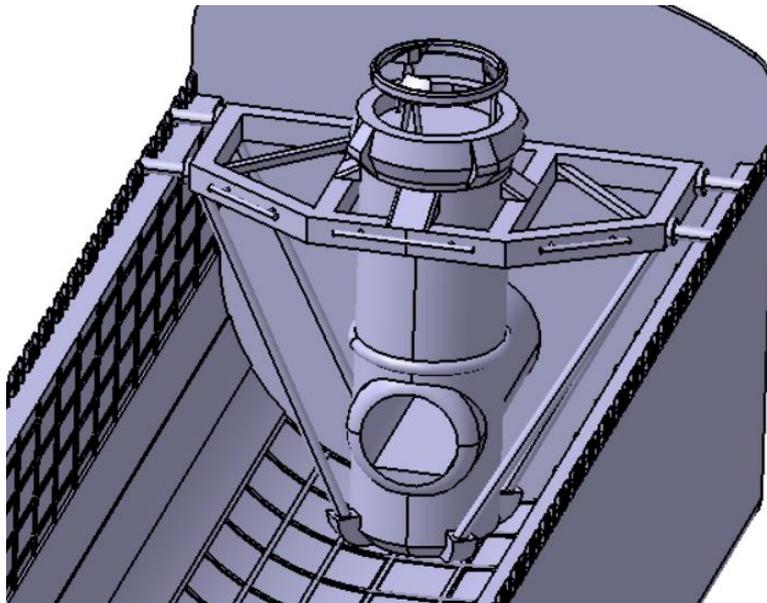


Figura 77: Otro de los elementos anclados a la bahía de carga

Tras haber modelado cada uno de los elementos que componen la estructura principal de la bahía de carga, el resultado de unir las todas es el sólido sobre el que ensamblaremos el resto de componentes de este habitáculo (ver *Figura 78*).

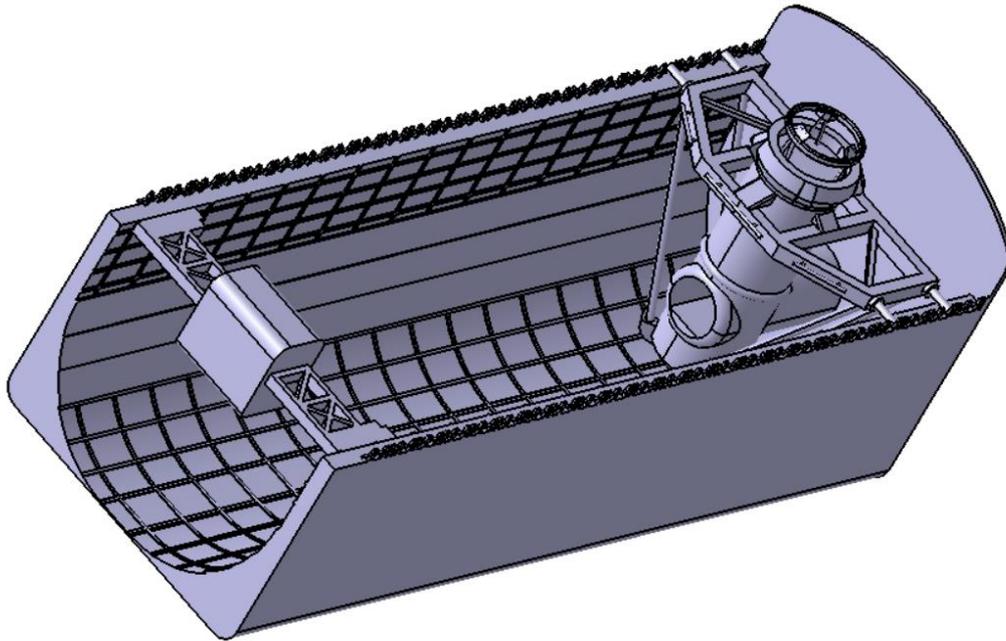


Figura 78: Estructura principal de la bahía de carga del trasbordador

b) Alojamiento de la carga de pago

Para el modelado de este elemento se empleó un *Shaft* debido a que la mayoría de su estructura es de revolución. El sólido resultante se vació por dentro mediante el comando *Shell* y finalmente se le acoplaron un par de barras de agarre (ver *Figura 79*), que es donde se enganchan los brazos articulados (presentes en la bahía de carga y, por ello, siguiente elemento a modelar) para transportar el habitáculo a su lugar de destino.

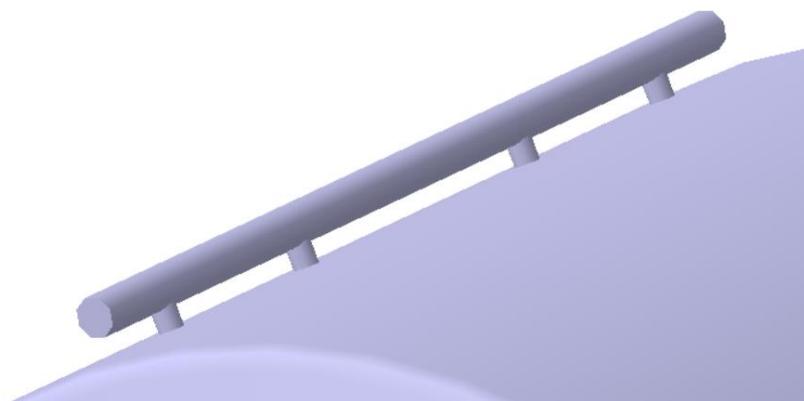


Figura 79: Detalle de una de las barras de agarre

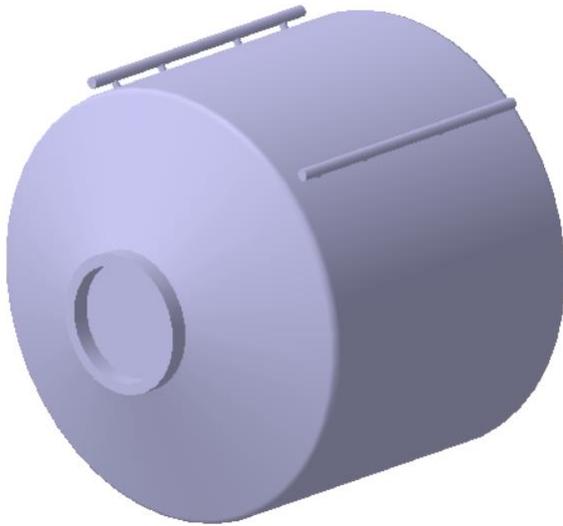


Figura 80: Alojamiento de la carga de pago

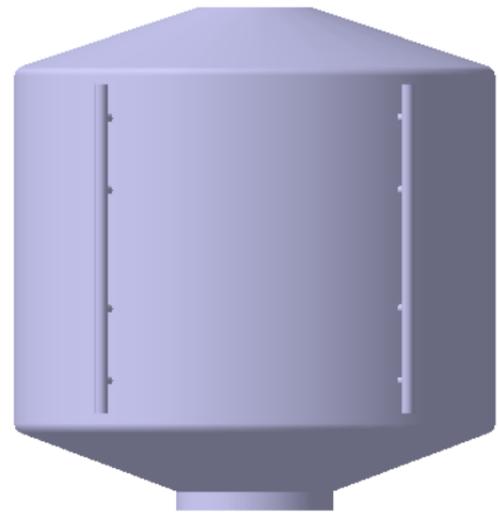


Figura 81: Vista en plana del alojamiento de la carga de pago

c) Brazos articulados

Para este último elemento de la bahía de carga se comenzó por estudiar la superficie en la que se encontraría apoyado, ya que lo primero a modelar debían ser los tres apoyos de los que dispone cada uno de los brazos. Además, era fundamental tener en cuenta que cada uno de ellos contaba con tres puntos de articulación, los cuales deberían ser representados de la forma más similar a lo que se observa en la realidad. Todo lo comentado anteriormente fue diseñado mediante *Pads* que contaban con las medidas necesarias para ser coherentes con las dimensiones de la bahía de carga (tanto en longitud como en anchura, para no sobrepasar los límites dimensionales impuestos por la cubierta exterior de la aeronave). Finalmente, era necesario tener en cuenta que la terminación de cada brazo era variable según el objetivo final de la misión en la que se encontrarán involucrados, por lo que se acabó tomando la decisión de dejar el extremo del brazo sin módulo acoplado, dejando a la vista la superficie de conexión con el dispositivo deseado (ver *Figura 82*).

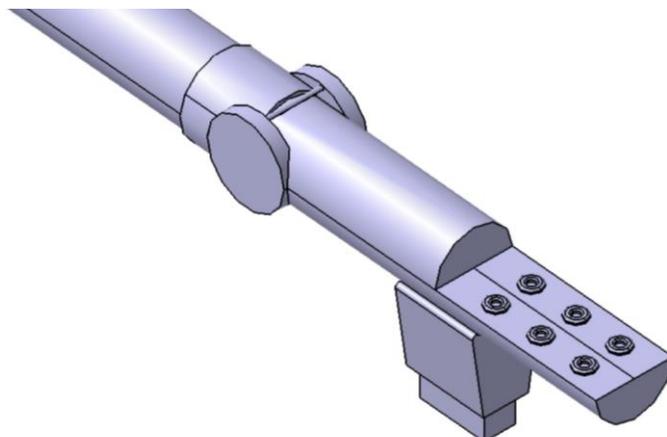


Figura 82: Detalle de la terminación de uno de los brazos articulados de la bahía de carga

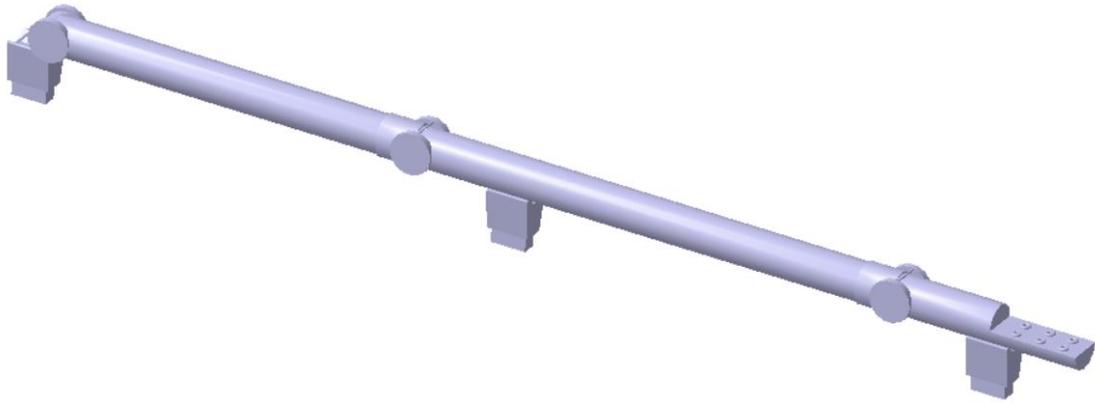


Figura 83: Uno de los brazos articulados de la bahía de carga

Tras haber modelado cada uno de los elementos de la bahía de carga, se obtiene el diseño completo de dicha cámara mediante la unión de los mismos con el módulo *Assembly* (ver *Figura 84*).

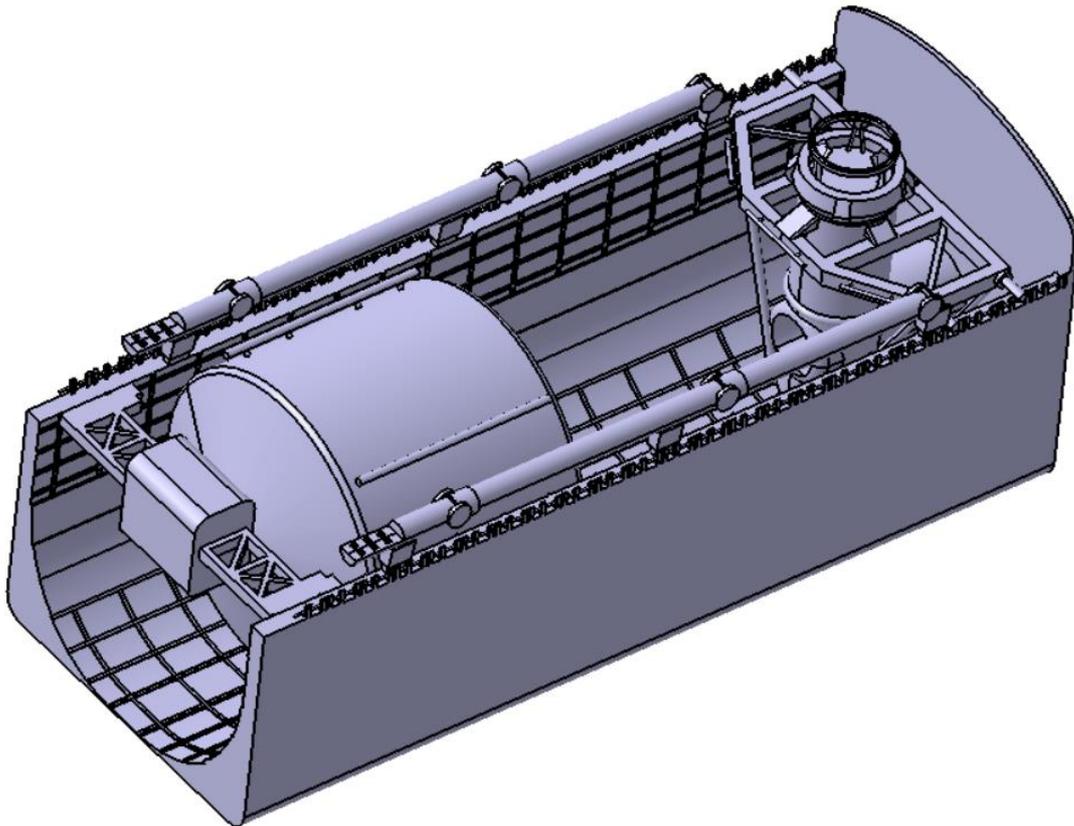


Figura 84: Bahía de carga del trasbordador

4.3 Ensamblaje del trasbordador

Una vez modelados cada uno de los elementos por separado, es el momento de ensamblarlos de forma que el resultado sea lo más similar a la realidad. Para ello, se han empleado una serie de *Constraints* de contacto entre superficies y ángulos entre ellas para facilitar que al desplazar nuevos elementos a unas determinadas localizaciones no se desarmase el conjunto.

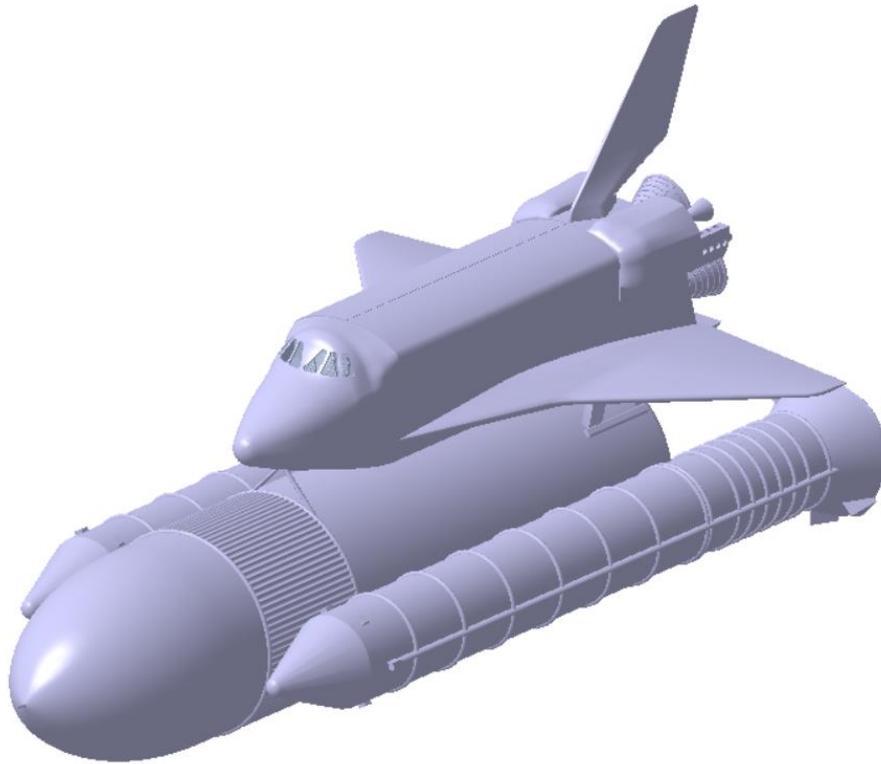


Figura 85: Vista delantera del modelo ensamblado del Space Shuttle

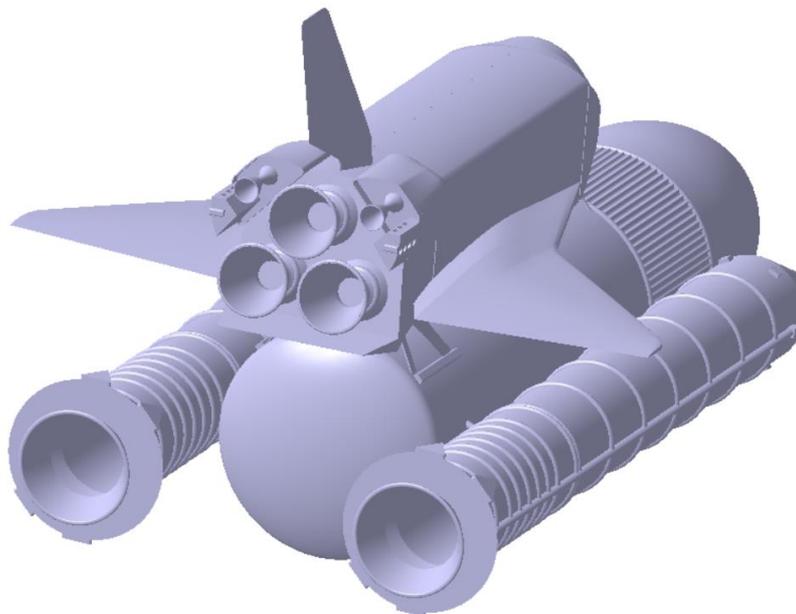


Figura 86: Vista trasera del modelo ensamblado del Space Shuttle

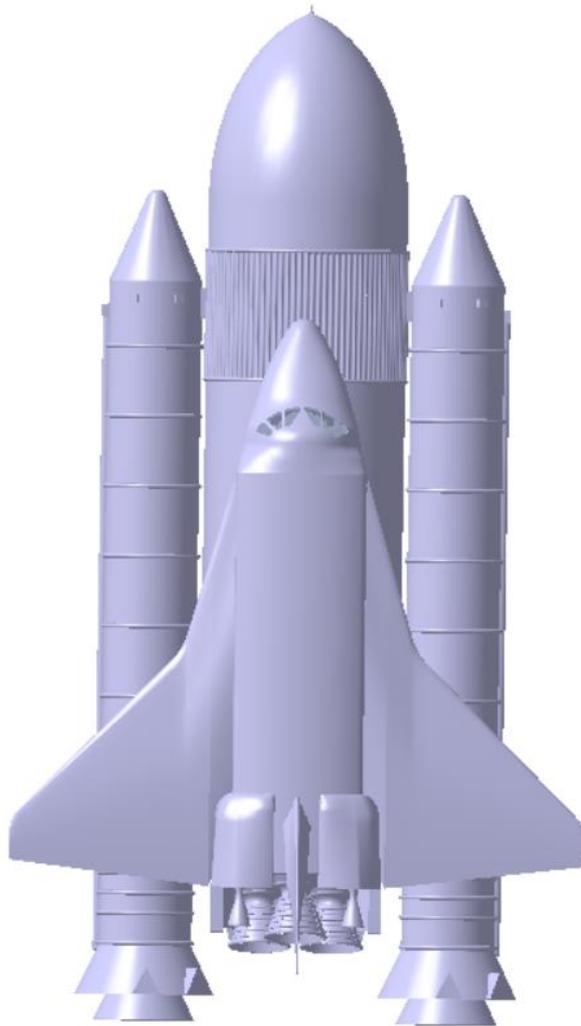


Figura 87: Vista superior del modelo ensamblado del Space Shuttle

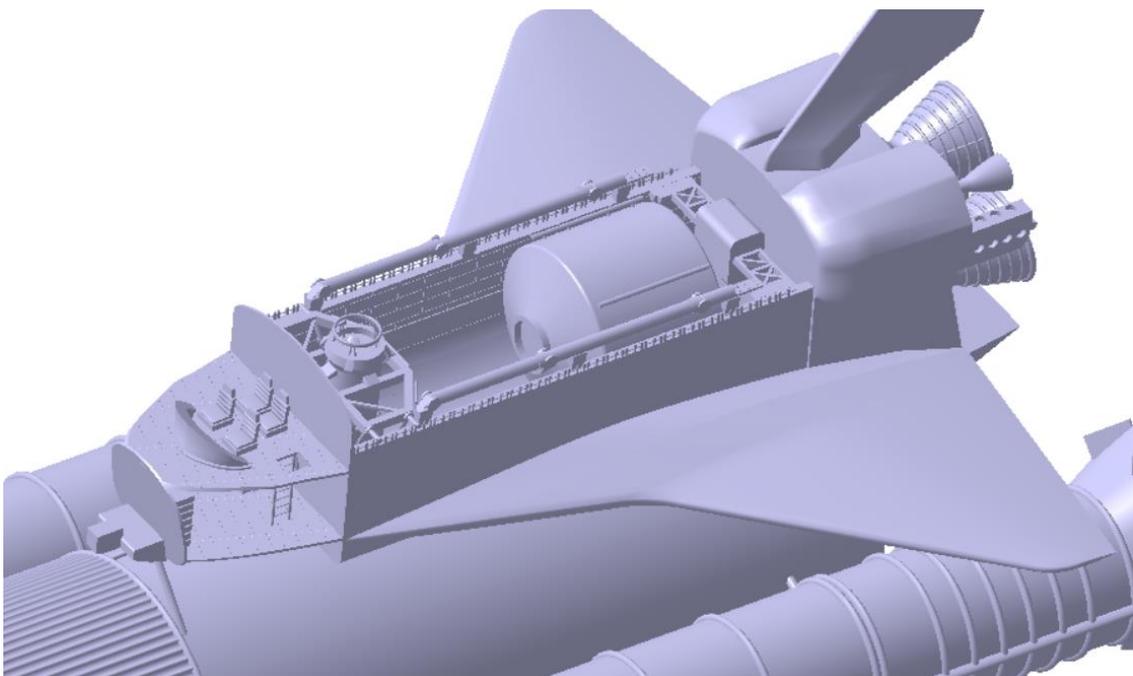


Figura 88: Detalle del ensamblaje del modelado interior del trasbordador con el conjunto total

Tras tener el conjunto ensamblado, se ha aplicado también el comando *Explode* para poder ver la separación de cada uno de los elementos en torno a un mismo punto.

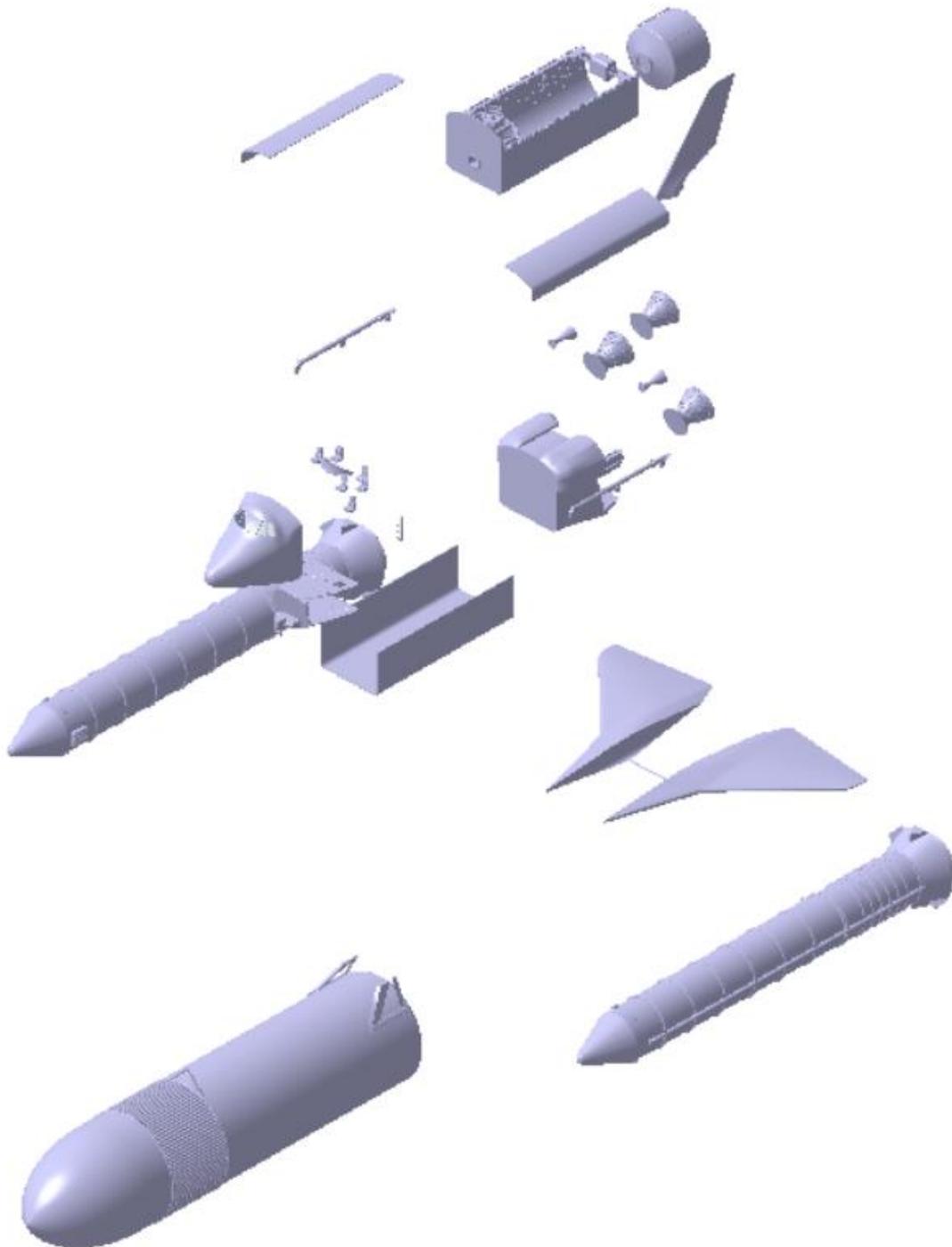


Figura 89: Separación de los elementos en torno al conjunto ensamblado

5. Simulaciones

En este apartado se va a buscar aproximar aún más a la realidad el modelo del trasbordador mediante la imprimación de la pintura que lo caracteriza, además del movimiento de las compuertas de la bahía de carga durante la apertura de dicho habitáculo.

Es importante comentar que para lograr un mejor resultado se ha cambiado de programa de trabajo: de aquí en adelante se ha importado el archivo obtenido en *CATIA V5* en el programa *3D Studio Max 2018*. Este software permite un manejo más sencillo del sólido, abriendo así un mayor abanico de posibilidades. A partir de convertir su superficie en una red de polígonos (ver *Figura 90*) y poder trabajar con el desarrollo de los mismos, se ha podido exportar el plano bidimensional resultante a *Photoshop*, donde se ha podido aplicar la pintura deseada. Para este trabajo en particular, se ha decidido pintar la aeronave como el modelo del Endeavour, anteriormente mencionado.

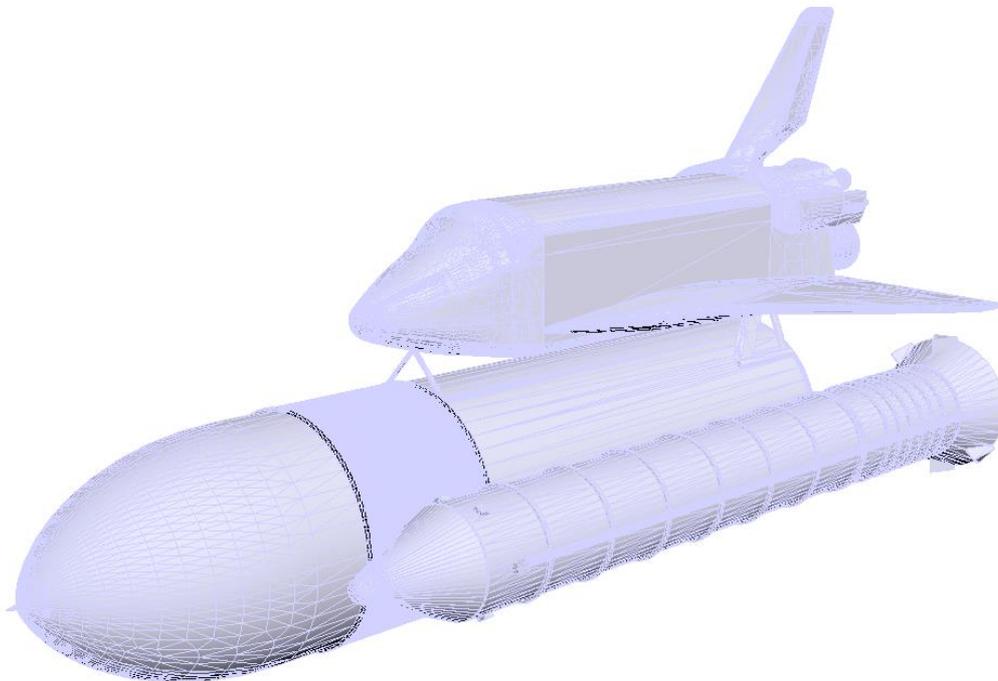


Figura 90: Modelo del trasbordador importado en 3D Studio Max

5.1 Pintura

Siguiendo el procedimiento anteriormente descrito se ha procedido, mediante el uso de Photoshop, a pintar cada uno de los elementos que componen el trasbordador acorde con el modelo real. Empleando varios renderizados desde diferentes ángulos con distintos fondos, el resultado obtenido es el siguiente:



Figura 91: Vista 1 del trasbordador pintado

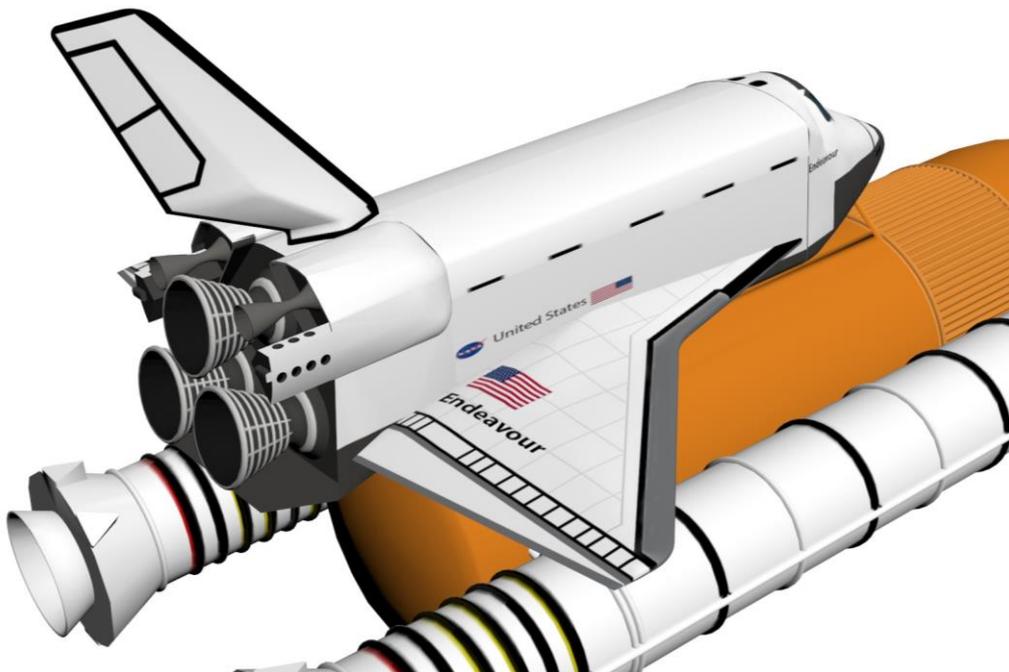


Figura 92: Vista 2 del trasbordador pintado

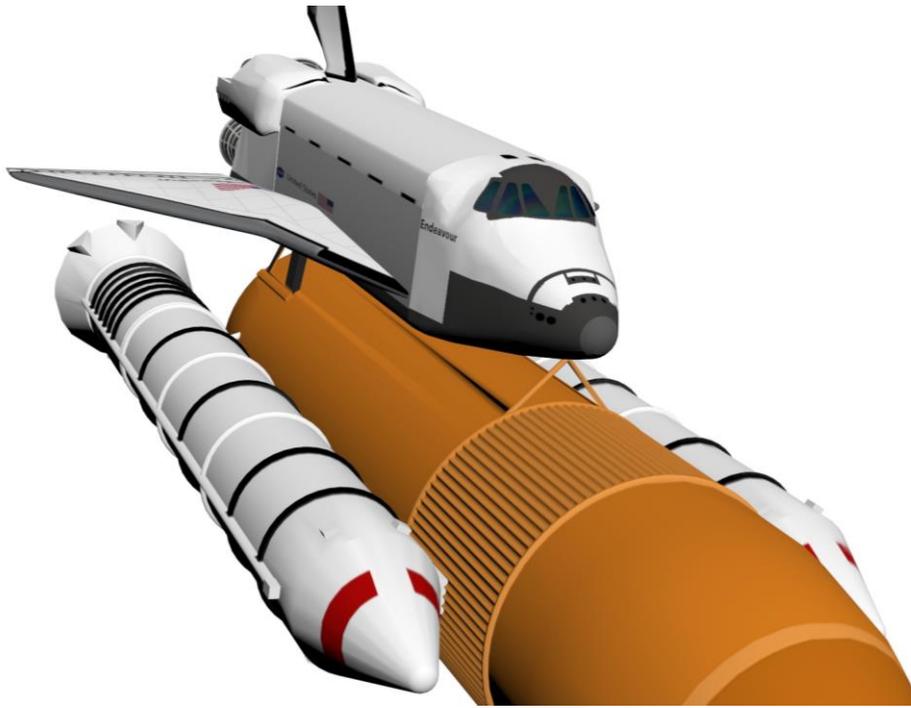


Figura 93: Vista 3 del trasbordador pintado

5.2 Animación

A la hora de dotar a las compuertas del movimiento de apertura se ha usado la línea de contacto entre ellas y el fuselaje como ligadura de unión en torno a la cual rotar (a modo de bisagra).

A pesar de que dicho proceso de apertura de la bahía de carga sea comúnmente ejecutado en las proximidades de la ISS y con los cohetes y el tanque de combustible desprendidos, se ha decidido reflejar una situación más próxima a la estratosfera con la finalidad de que dicha actividad tenga lugar en un tramo en el que aún no se haya desprendido ningún elemento del conjunto total.

Mediante el uso de las opciones de renderizado durante un periodo de tiempo, con una velocidad (fps) determinada y ajustando los movimientos deseados en los *frames* correspondientes, se acaba logrando la generación de un breve vídeo de unos 10 segundos de duración en el que se ve reflejada la cinemática de las compuertas.

A continuación, se mostrarán distintas etapas de dicho vídeo con la finalidad de detallar en imágenes el movimiento gradual que se va produciendo:



Figura 94: Fotograma 1 del movimiento de las compuertas



Figura 95: Fotograma 2 del movimiento de las compuertas

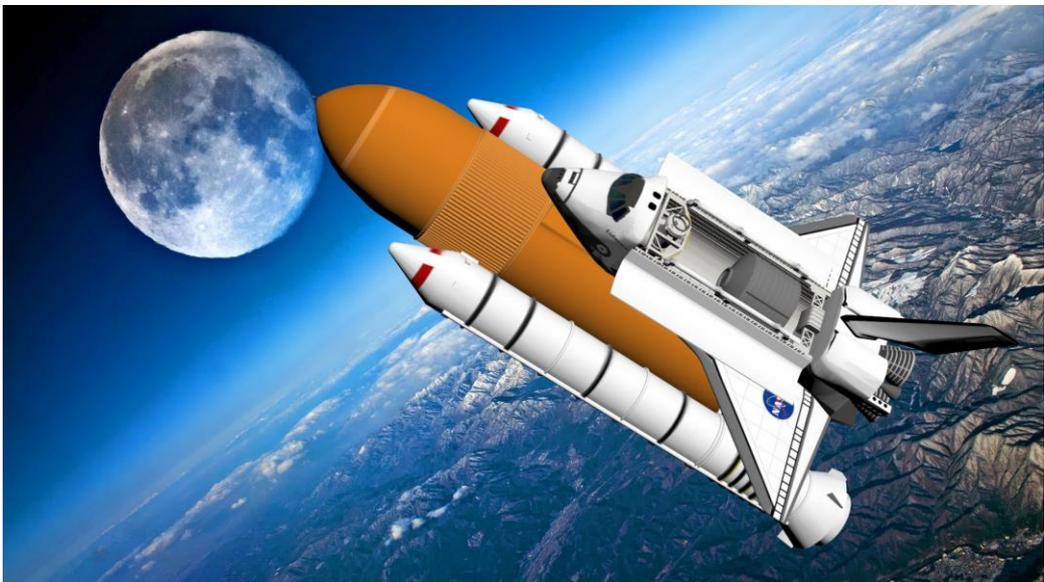


Figura 96: Fotograma 3 del movimiento de las compuertas

6. Conclusiones

La principal dificultad que se ha afrontado durante este trabajo ha sido la escasez de planos dotados con el detalle suficiente como para poder plasmar una precisión aceptable durante la definición de las geometrías de cada uno de los elementos. Eso provocó ciertas etapas del modelado requirieran de algún tipo de estimación, partiendo de fotografías del trasbordador real o dibujos esquemáticos que podían hallarse en la red.

A pesar de esto, se puede observar como el resultado final conserva todas las proporciones relativas a cada uno de sus elementos correctamente, teniendo que añadir además que la aplicación de la pintura le otorga un nivel de parecido al modelo original bastante aceptable.

Como propuestas de mejora, se podría sugerir una mayor profundización en ciertos apartados del modelado, tales como los trenes de aterrizaje principal y delantero, el grupo motor, el sistema de trasvase de combustible entre tanque-aeronave y el interior de los cohetes recuperables (diseñando, por ejemplo, el sistema de paracaídas que se encuentra en la punta de los mismos con objeto de su recuperación). Por otra parte, como propuesta para una posible continuación futura de este trabajo, puede resultar de interés la realización de un estudio estructural y aerodinámico del modelo mediante diferentes softwares, además de la animación (tras su correspondiente estudio) de la separación de los cohetes recuperables y el tanque de combustible del vehículo durante su salida de la atmósfera terrestre.

Por último, comentar que el objetivo personal de lograr una mayor destreza en el modelaje 3D mediante los programas aquí empleados ha sido alcanzado de forma satisfactoria, por lo que tras la finalización de este proyecto se puede asumir que el balance ha resultado acabar siendo bastante positivo.

Bibliografía

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Space_Shuttle
2. <https://history.nasa.gov/SP-4225/diagrams/shuttle/shuttle-diagram.htm>
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Space_Shuttle_design_process
4. <http://www.digitalhistory.uh.edu/era.cfm?eraID=19&smtID=4>
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Cold_War
6. <https://www.globalsecurity.org/military/ops/cold-war-1970s.htm>
7. [https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_United_States_history_\(1990-present\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_United_States_history_(1990-present))
8. <https://usa.usembassy.de/history-21stcentury.htm>
9. <https://knowledge.autodesk.com>

Referencias

- [1] Figura 1: Imagen obtenida en <https://www.rc-airplanes-simplified.com>
- [2] Figura 2: Imagen obtenida en <https://3dexport.com>
- [3] Figura 3: Imagen obtenida en <http://ak5.picdn.net>
- [4] Figuras 4, 5 y 6: Foto del autor
- [5] Figuras 7, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 16, 17 y 19: Imágenes obtenidas en <https://upload.wikimedia.org>
- [6] Figuras 13, 20 y 21: Imagen obtenida en <https://www.nasa.gov/>
- [7] Figura 10: Imagen obtenida en <https://cdn.hispantv.com>
- [8] Figura 18: Imagen obtenida en <https://www.japantimes.co.jp>
- [9] Figura 25: Imagen obtenida en <https://www.mistermodel.com>
- [10] Figura 31: Imagen obtenida en <http://www.collectspace.com>
- [11] Figura 39: Imagen obtenida en <http://longwallpapers.com>

