

Desarrollo de modelos tridimensionales optimizados del sistema de combustible de la aeronave Diamond DA-20 para su integración en una plataforma de realidad virtual

Dutan Vargas, Jonathan Paul y Rivera Lara, Ariel Vinicio

Departamento de Seguridad y Defensa

Carrera de Tecnología Superior Universitaria en Ciencias Militares Aeronáuticas

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Tecnólogo Superior Universitario en Ciencias Militares Aeronáuticas

Capt.Tec.Avc. Chango Zurita, Marco Antonio

Latacunga, 07 de Septiembre del 2026

Informe de análisis
Compilatio Magister+ | CBTECH Plus-ECU

DOCUMENTAL_DA20_F4
ID : 47e4dc4fbd0324c17e3a02873b6b096544c12ee4

5%
Textos sospechosos

Nombre del fichero : DOCUMENTAL_DA20_F4.txt
Tamaño del archivo original : 17,05 MB
Número de palabras : 17.835

Depositante : EduTec Global
Fecha de depósito : 3 de septiembre de 2026
Tipo de carga : interface
fecha de fin de análisis : 3 de septiembre de 2026

Resumen (sección 1/3)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

Similitudes 0%

Sintáctica 0% | Semántica 0% | Traducciones ▶

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.

Detección de IA 5%

Textos estilísticamente próximos a un texto generado por una IA.
Este índice es un indicador y no una prueba. Comprueba con el autor si domina los conocimientos mencionados en el documento.



No incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

Textos entre comillas 0%

Pasajes entre comillas, a menudo indicativos de una cita.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
MARCO ANTONIO ZURITA CHANGO

Capt.Tec.Avc. Chango Zurita, Marco Antonio

Director

C.C: 0704458272

Departamento de Seguridad y Defensa

Carrera de Tecnología Superior Universitaria en Ciencias Militares Aeronáuticas

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **"Desarrollo de modelos tridimensionales optimizados del sistema de combustible de la aeronave Diamond DA-20 para su integración en una plataforma de realidad virtual"** fue realizado por los señores **Dutan Vargas, Jonathan Paul y Rivera Lara, Ariel Vinicio ,** el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; además, fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 03 de Septiembre de 2026

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
MARCO ANTONIO
ZURITA CHANGO

Capt.Tec.Avc. Chango Zurita, Marco Antonio

Director

C.C.: 0704458272

Departamento de Seguridad y Defensa

Carrera de Tecnología Superior Universitaria en Ciencias Militares Aeronáuticas

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Dutan Vargas, Jonathan Paul** y **Rivera Lara, Ariel Vinicio,** con cédulas de ciudadanía n°1726391756 y 1851002244, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Desarrollo de modelos tridimensionales optimizados del sistema de combustible de la aeronave Diamond DA-20 para su integración en una plataforma de realidad virtual** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 03 de Septiembre de 2026

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
JONATHAN PAUL DUTAN VARGAS

Dutan Vargas, Jonathan Paul

C.C.: 1726391756

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
ARIEL VINICIO RIVERA LARA

Rivera Lara, Ariel Vinicio

C.C.: 1851002244

Departamento de Seguridad y Defensa

Carrera de Tecnología Superior Universitaria en Ciencias Militares Aeronáuticas

Autorización de Publicación

Nosotros **Dutan Vargas, Jonathan Paul y Rivera Lara, Ariel Vinicio**, con cédulas de ciudadanía n°1726391756, 1851002244, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Desarrollo de modelos tridimensionales optimizados del sistema de combustible de la aeronave Diamond DA-20 para su integración en una plataforma de realidad virtual** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 03 de Septiembre de 2026

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
JONATHAN PAUL DUTAN VARGAS

Dutan Vargas, Jonathan Paul

C.C.: 1726391756

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
ARIEL VINICIO RIVERA LARA

Rivera Lara, Ariel Vinicio

C.C.: 1851002244

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo a Dios, por brindarnos la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para superar cada desafío en estos dos años de formación.

A nuestras familias, por su apoyo incondicional y confianza durante todo este proceso. Su motivación ha sido fundamental para continuar adelante en los momentos de mayor dificultad.

A nuestros docentes, quienes con sus conocimientos, experiencias y enseñanzas contribuyeron al crecimiento tanto académico como personal durante este camino que me ha permitido fortalecer nuestra formación y comprender la importancia de la responsabilidad y precisión que exige la formación técnica aeronáutica.

Finalmente, a la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea, institución que ha contribuido la formación profesional y que nos ha permitido desarrollar conocimientos y habilidades aplicables al ámbito del mantenimiento aeronáutico. Que este proyecto constituya un aporte para fortalecer los procesos de instrucción técnica y para continuar incorporando nuevas herramientas tecnológicas en la formación del personal de alumnos y personal profesional en caso que así lo requiera.

Dutan Vargas, Jonathan Paul y Rivera Lara, Ariel Vinicio.

Agradecimiento

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea, por brindarnos la oportunidad de formarnos profesionalmente en el área de mantenimiento aeronáutico y adquirir conocimientos y experiencias que han contribuido a nuestro desarrollo académico y profesional; a los docentes e instructores, por compartir sus conocimientos y experiencias, y por contribuir al fortalecimiento de las competencias necesarias para nuestro desempeño en el ámbito profesional; y a todas las personas que colaboraron directa o indirectamente en el desarrollo de esta investigación, brindando su orientación, conocimientos y apoyo durante el levantamiento de información y la elaboración de los modelos tridimensionales del sistema de combustible de la aeronave Diamond DA-20.

Dutan Vargas, Jonathan Paul y Rivera Lara, Ariel Vinicio.

Índice de contenido

Caratula 1
Reporte de verificación de contenidos de contenidos.....2
Certificación 3
Responsabilidad de Autoría 4
Autorización de Publicación 5
Dedicatoria.....6
Agradecimiento 7
Índice de contenido 8
Índice de tablas.....11
Índice de figuras.....12
Resumen 13
Abstract.....14
Capítulo I 15
Introducción 15
Contextualización de la problemática 16
Planteamiento del problema.....17
Pregunta de investigación 18
Objetivos.....18
Objetivo General 18
Objetivos Específicos.....18
Justificación 19
Alcance y delimitación.....20
Limitaciones y supuestos de trabajo 21
Capítulo II 23

Marco teórico 23
Aeronave y configuración de referencia 24
Funciones y componentes del sistema 25
Organización espacial del conjunto 26
Recorrido funcional del combustible 27
Documentación técnica y clasificación ATA 28 29
Modelado tridimensional y representación CAD 30
Construcción paramétrica de las piezas 31
Mallas, topología y nivel de detalle 32
Criterios de optimización 33
Materiales, texturas e identificación visual 35
Realidad virtual e interacción 36
Aprendizaje y evaluación del recurso 37
Antecedentes de producción y validación 38
Síntesis y criterios del proyecto 40
Capítulo III 42
Metodología 42
Selección y análisis de fuentes 43
Dimensiones e indicadores de evaluación 44
Secuencia de desarrollo 46
Levantamiento geométrico y dimensional 47
Procedimiento de modelado y ensamblaje 48
Exportación y evaluación de rendimiento 49
Revisión técnica e instrumentos 49
Evaluación didáctica propuesta 51
Gestión de evidencias y consideraciones éticas 52

Capítulo IV 54
Resultados y propuesta de desarrollo 54
Representación progresiva de un componente 55
Propuesta visual del tanque de combustible 57
Propuesta visual del gascolator 58
Propuesta visual de la bomba eléctrica 59
Válvula de corte y mecanismo de mando 60
Líneas de alimentación y retorno 61
Elementos de drenaje y ventilación 62
Componentes asociados al motor 63
Organización del conjunto de componentes 64
Organización visual prevista para realidad virtual 65
Estado de los entregables técnicos 66
Correspondencia entre objetivos y resultados 67
Discusión de los resultados 69
Condiciones para la continuidad del desarrollo 70
Capítulo V 72
Conclusiones y recomendaciones 72
Conclusiones 72
Recomendaciones 74
Referencias 75
Apéndices 77

Índice de tablas

Tabla 1 Clasificación funcional de los componentes 25

Tabla 2 Aportes metodológicos de los antecedentes 39

Tabla 3 Criterios de selección de la literatura 43

Tabla 4 Operacionalización de los criterios de evaluación 45

Tabla 5 Áreas e indicadores de la revisión propuesta 50

Tabla 6 Componentes seleccionados y productos visuales 54

Tabla 7 Estado de los productos y evidencias requeridas 66

Tabla 8 Trazabilidad de los objetivos y productos 68

Índice de figuras

Figura 1 Recorrido funcional de referencia del sistema de combustible 28

Figura 2 Secuencia propuesta para desarrollar y revisar los modelos 46

Figura 3 Secuencia conceptual de representación del gascolator 56

Figura 4 Representación conceptual del tanque de combustible 57

Figura 5 Representación conceptual del gascolator 58

Figura 6 Representación conceptual de la bomba eléctrica auxiliar 59

Figura 7 Representación conceptual de la válvula de corte y su mando 60

Figura 8 Representación conceptual de las líneas de alimentación y retorno 61

Figura 9 Representación conceptual de elementos de drenaje y ventilación 62

Figura 10 Representación conceptual de los componentes de alimentación del motor 63

Figura 11 Conjunto conceptual de componentes del sistema de combustible 64

Figura 12 Organización conceptual de componentes para una futura *escena* de RV 65

Resumen

La formación técnica aeronáutica requiere relacionar la identificación de componentes con su función y disposición espacial. Este trabajo aborda el sistema de combustible de la aeronave Diamond DA-20, con énfasis en la configuración DA20-C1 descrita en el material de partida, para estructurar una propuesta de modelado tridimensional destinada a una plataforma de realidad virtual de la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea. Como un abordaje descriptivo y aplicado optamos para este trabajo. Iniciamos el proceso de este trabajo revisando el borrador técnico y analizando en detalle los elementos visuales. Complementamos esta última revisión con artículos académicos en español que han aparecido desde 2021 en adelante. A raíz de ello, se identifican los componentes principales del sistema y se empieza a comprender cómo se interrelacionan entre sí a nivel funcional y cuáles son criterios para representarlos geométricamente. También definimos el procedimiento que seguimos para preparar y evaluar los recursos digitales que utilizamos. En conjunto, el trabajo reúne doce figuras: diez ilustraciones conceptuales con apariencia tridimensional y dos esquemas explicativos. A esto se agregan las fichas técnicas de cada componente, una matriz de trazabilidad y los protocolos correspondientes al levantamiento de medidas, la revisión técnica y la posterior evaluación de rendimiento y aprendizaje. Por ahora, lo único que se puede confirmar son los avances en la organización documental y visual de la propuesta. Todavía faltan los archivos CAD editables, los registros dimensionales completos, las mediciones de desempeño en un visor y los resultados de alguna intervención educativa. . Se concluye que el recurso constituye una base organizada para continuar el desarrollo, condicionada a validar la configuración de la aeronave, construir los modelos editables y comprobar su desempeño en la plataforma seleccionada.

Palabras clave: Modelado tridimensional del sistema de combustible del Diamond DA-20 en realidad virtual para instrucción aeronáutica.

Abstract

The technical training requires connecting component identification with function and spatial arrangement. This study examines the fuel system of the Diamond DA-20, with particular attention to the DA20-C1 configuration outlined in the initial material. The goal is to put together a three-dimensional modeling proposal that could later feed into a virtual reality platform at the Escuela Técnica de la Fuerza Aérea. To accomplish this, the project adopted a practical, observational style. It involved looking over the first technical draft, checking its pictures, and looking at Spanish academic papers from 2021 onwards. Using this as a base, the study figures out the parts, shows how they connect, sets rules for how they look, and makes a plan for getting the digital pieces ready and checking them. It includes twelve figures in total, ten conceptual illustrations with a three-dimensional appearance and two explanatory compositions, along with component records, a traceability matrix, and protocols for dimensional surveying, technical review, and later performance and learning assessment. This study takes a closer look at the fuel system of the Diamond DA-20, focusing in particular on the DA20-C1 configuration described in the initial material. The idea behind it is to put together a three-dimensional modeling proposal that could eventually be used on a virtual reality platform at the Escuela Técnica de la Fuerza Aérea. To get there, the work relied on an applied and descriptive approach, going through the initial technical draft, looking closely at its visual resources, and pulling in Spanish language academic articles published from 2021 onward.

Keywords: three-dimensional modeling, fuel system, Diamond DA-20, virtual reality, aeronautical training.

Capítulo I

Introducción

La formación del personal técnico aeronáutico exige comprender cómo se relacionan los componentes de una aeronave y cómo se interpreta la documentación que los describe. En el sistema de combustible, reconocer una pieza de manera aislada es insuficiente: el estudiante también debe identificar su función, sus conexiones y su posición dentro del conjunto. Por esta razón, resulta necesario contar con recursos didácticos que permitan vincular el análisis del esquema con la observación directa de la forma tridimensional.

La necesidad educativa que ha originado esta indagación se sitúa en la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea (ETFA). Desde aquí, surge la idea de crear recursos visuales del sistema de combustible del Diamond DA-20 para una futura experiencia de realidad virtual (RV). Este objetivo recorre toda la actividad, perfeccionándose gradualmente en cuatro pasos (etapas): caracterización documental, representación visual, construcción de modelos editables e integración informática.

Martínez et al. (2024) señalan que la práctica recurrente, junto con las actividades realizadas antes y después de la experiencia inmersiva, son factores que influyen de manera importante en su efectividad pedagógica. Tomando esto como referencia, la propuesta se orienta hacia tareas de identificación y explicación, cuya utilidad deberá comprobarse más adelante mediante una evaluación en el contexto institucional.

El documento consta de cinco capítulos, el primero se encarga de limitar el problema y plantear los objetivos que orientan la investigación y el segundo se ocupa de desarrollar los conceptos y antecedentes que sustentan la propuesta. En el tercero se describe la metodología aplica; en el cuarto, se presentan los resultados documentales y en representación obtenida. Finalmente, el capítulo cinco recoge las conclusiones y recomendaciones. Concluso el documento a través de los apéndices, donde se reúnen los instrumentos necesarios para la continuidad del trabajo conservando su trazabilidad.

Contextualización de la problemática

El mantenimiento aeronáutico combina varias cosas: el conocimiento de los sistemas, la lectura de documentación técnica y la ejecución de tareas bajo supervisión. Pero durante una actividad de instrucción, solo con observar la aeronave no basta. El estudiante termina viendo apenas una parte de lo que necesita comprender. Y esto pasa porque las superficies del fuselaje, los soportes y lo cerca que están los componentes entre sí limitan los ángulos desde donde se puede mirar. Seguir un circuito completo de forma visual, entonces, se vuelve complicado.

El material previo señala que esta situación afecta en particular el estudio del sistema de combustible del DA-20. Vale aclarar que este trabajo retoma esa descripción solo como contexto del proyecto, no como resultado de una encuesta institucional ni como una medición formal de disponibilidad de aeronaves. De hecho, no hay registros que permitan cuantificar las horas de acceso al equipo, la frecuencia de los desmontajes con fines docentes ni las dificultades de aprendizaje que pueda tener el alumnado.

La necesidad que se plantea consiste en organizar un recurso complementario que relacione tres representaciones: el esquema funcional, la forma externa de las piezas y su ubicación dentro de un conjunto. Cada una cumple un propósito diferente. Un esquema comunica relaciones; una vista de pieza permite reconocer sus rasgos particulares; y una escena interactiva permite, además, cambiar el punto de observación según lo que se quiera analizar.

En ese sentido, cada recurso responde a una pregunta diferente y necesita contar con información suficiente para cumplir su función.

Según Sandoval y Tabash (2021), hay experiencias de producción de recursos de realidad virtual en educación a distancia. Las herramientas, en este sentido, se eligen en función de los requerimientos didácticos y de las condiciones de acceso. Su trabajo respalda la

idea de que conviene definir primero el uso educativo que se le dará al recurso, y solo después seleccionar la tecnología más adecuada.

Planteamiento del problema

El expediente contiene un recurso tridimensional técnicamente trazable que permite relacionar los componentes con sus funciones correspondientes. El trabajo aporta descripciones e imágenes, los archivos editables y las pruebas necesarias para demostrar tanto la fidelidad geométrica como el desempeño del recurso en realidad virtual.

Desde el punto de vista pedagógico, la necesidad consiste en que el estudiante logre reconocer las piezas y explicar el recorrido del combustible. Desde el punto de vista técnico, en cambio, lo que se busca es verificar las formas, las conexiones, las escalas y las jerarquías respecto de la aeronave real. Hay algo importante que no se puede pasar por alto: que algo se vea bien no significa que esté bien. Una imagen puede lucir súper técnica y aun así tener conexiones mal hechas, o mostrar como si fueran datos cosas que en realidad son puros supuestos. Por eso, al desarrollar esto hay que tener cuidado de diferenciar claramente entre lo que se observó directamente, lo que es una interpretación propia y lo que es simplemente una simplificación para facilitar el entendimiento.

Hoy por hoy no se dispone de evaluaciones locales que muestren mejoras en el rendimiento académico, ahorro de tiempo o reducción de costos. Por esta razón, dichos beneficios deberán ser comprobados posteriormente, con instrumentos y condiciones de aplicación pensados de forma particular para este contexto, sin asumir automáticamente que los resultados alcanzados en otras instituciones se repetirán en la realidad concreta de la ETFA.

El estudio ofrece documentación que caracteriza, inventarios, representaciones conceptuales y un protocolo verificable para la construcción de activos 3D. No será posible programar una plataforma completa y su certificación de simulador.

Pregunta de investigación

¿Cuáles son las características requeridas en términos documentales, geométricos y de organización en los modelos del sistema de combustible del Diamond DA-20, con el objeto de integrar en una plataforma de realidad virtual para la instrucción técnica de la ETFA?

Objetivos

Objetivo General

El objetivo general es desarrollar la base documental y la propuesta de representación tridimensional del sistema de combustible. Para eso se establecen criterios de fidelidad visual, organización y optimización, pensados para avanzar hacia su implementación como recurso educativo en realidad virtual.

Objetivos Específicos

El primer objetivo específico busca caracterizar los componentes principales y cómo se relacionan funcionalmente entre sí, tomando como base el material disponible. Esto incluye determinar qué información habrá que contrastar más adelante con la documentación aplicable a la aeronave.

En segundo lugar, se plantea estructurar la representación conceptual de los componentes, junto con los criterios que orientarán su modelado editable. Aquí el énfasis está puesto en las formas reconocibles, los puntos de conexión, la escala y la separación por subconjuntos.

El tercer objetivo, por su parte, apunta a establecer un procedimiento de optimización y verificación capaz de evaluar la geometría, la integridad de los archivos, el rendimiento y la utilidad didáctica de los activos, una vez que estos hayan sido construidos.

En conjunto, estos tres objetivos delimitan claramente qué se puede demostrar con las evidencias disponibles hasta ahora. El levantamiento dimensional, planteado desde el trabajo inicial, sigue siendo una actividad pendiente y necesaria para dar continuidad al proyecto. Su

protocolo ya está desarrollado en los apéndices, aunque no puede declararse como ejecutado, pues todavía no existen registros de medición.

Por otra parte, la coherencia entre los objetivos y los resultados se revisa mediante una matriz de trazabilidad, donde a cada objetivo le corresponde un producto concreto y la evidencia necesaria para comprobar su cumplimiento. Gracias a este mecanismo, se evita que una simple imagen final funcione como prueba de tareas que, en realidad, requieren archivos de modelado, mediciones o ensayos independientes.

Justificación

La justificación académica del proyecto radica en la necesidad de vincular la comprensión del sistema con representaciones que permitan examinar sus componentes desde distintos puntos de vista. El recurso propuesto organiza precisamente esa relación a través de fichas, esquemas e ilustraciones. Aun así, la incorporación a una tarea docente no puede plantearse aislada, sino que hay que acompañarlos de preguntas, respuestas y evaluación, de manera que la exploración visual mantenga en todo momento un sentido de aprender.

La justificación técnica consiste sobre todo en dejar preparado un proceso que se pueda repetir. Al marcar las fuentes, las dimensiones críticas, las reglas de nombrado y los criterios de revisión, se permite que otra persona pueda continuar el modelado más adelante y diferencia claramente las decisiones que tienen un respaldo real y las que aún son sólo supuestos. Además, la trazabilidad hace posible corregir una pieza específica sin que se pierda su relación con el resto de los componentes del conjunto.

Durañona y Costa (2021) estudian aplicaciones de RV en manufactura y destacan la importancia de tener en cuenta las condiciones organizacionales y los objetivos compatibles con su implementación. Aplicado a este proyecto, esto implica la necesidad de definir responsables, recursos disponibles y tareas de actualización antes de integrar los modelos a la instrucción habitual.

El banco de componentes propuesto, a nivel institucional, puede constituirse en un importante apoyo para la preparación de clases y a la vez una base para futuras actividades de familiarización. Sin embargo, su reutilización necesita la conservación de los metadatos, las versiones y la documentación de fondo, ya que no basta con poner a disposición imágenes o ficheros no diferenciados, pues su utilidad queda muy limitada si no se sabe qué configuración han sido obtenidas.

El aporte metodológico se concreta en un conjunto de instrumentos adaptados específicamente al caso: revisión de conexiones y protocolo de evaluación. Gracias a estos instrumentos es posible distinguir con claridad entre la calidad visual, la validez técnica y la eficacia pedagógica, tres aspectos que suelen confundirse si no se evalúan por separado.

Alcance y delimitación

El objeto de este estudio es el sistema de combustible descrito en el borrador del Diamond DA-20, tomando como referencia particular la variante DA20-C1. Especificar la variante no es un detalle menor: delimita la propuesta y evita el error de tratar todas las aeronaves DA-20 como si compartieran una misma instalación, cuando en realidad no es así. Por esta razón, la identificación de matrícula, número de serie, modificaciones y documentación vigente deberá realizarse antes de iniciar tanto el levantamiento físico como el modelado definitivo.

En cuanto al alcance documental, este comprende el inventario funcional, la relación entre los distintos componentes, la selección de rasgos geométricos y los criterios de optimización empleados. El alcance visual, por su parte, incluye diez ilustraciones conceptuales de componentes o conjuntos, junto con dos composiciones explicativas. Todas estas representaciones se integran directamente en el texto con el fin de apoyar la exposición de la propuesta.

Respecto al alcance técnico, este contiene modelos editables por pieza, un ensamblaje de referencia y versiones de malla preparadas para un motor de tiempo real. Su integración

final, dependerá de la plataforma que finalmente se seleccione y de los requisitos particulares de importación, interacción y rendimiento que esta exija.

Las actividades didácticas que se proponen se concentran, sobre todo, en identificar componentes, explicar sus funciones, distinguir los distintos circuitos y relacionar las formas con su ubicación dentro del sistema. Quedan fuera del alcance actual, en cambio, el entrenamiento de emergencias, la simulación de fallas, la certificación de competencias profesionales y la reproducción física del comportamiento del combustible.

En lo que respecta a la delimitación temporal de la revisión académica, se toman en cuenta artículos que han sido publicados con posterioridad a 2021. En cuanto al material técnico anterior, se emplea únicamente como antecedente del proyecto y se lleva a cabo una revisión de consistencia. Cabe acotar, que la presente investigación no busca convertirse en un metaanálisis de toda la producción científica sobre realidad virtual.

Limitaciones y supuestos de trabajo

El borrador carece de valores dimensionales, archivos nativos, inspecciones firmadas e informes de integración. Por esta razón, no es posible calcular errores geométricos ni comprobar la reducción de polígonos o la frecuencia de visualización.

Tampoco está confirmada la configuración de referencia. Los accesorios, las conducciones y los elementos instalados pueden variar de una unidad a otra, por lo que el esquema conceptual deberá contrastarse con la aeronave concreta antes de utilizarse en instrucción aplicada.

Hasta el momento no se ha llevado a cabo ninguna intervención educativa, ni se dispone de datos locales sobre aprendizaje, satisfacción o retención. Los instrumentos propuestos se limitan a organizar una evaluación futura; no la reemplazan, ni mucho menos permiten anticipar resultados positivos.

Se parte del supuesto de que existe acceso institucional autorizado a la documentación, a los componentes y a una plataforma tridimensional. Estas condiciones, sin embargo, todavía

deberán confirmarse en la práctica; de no cumplirse, el alcance del proyecto se ajustará a una visualización de escritorio o al uso de recursos estáticos.

Capítulo II

Marco teórico

El marco teórico articula tres ámbitos principales: la representación del sistema de combustible, la construcción de geometría digital y el uso educativo de los entornos virtuales. Esta articulación permite definir con mayor claridad qué información debe conservar un modelo y qué evidencias se requieren para valorar su calidad. Cabe señalar que los antecedentes se utilizan de acuerdo con su campo de aplicación específico, sin atribuirles en ningún momento resultados particulares sobre la aeronave estudiada.

En este trabajo se distinguen cuatro niveles de representación. La descripción documental se encarga de identificar nombres y funciones; el esquema funcional, por su parte, muestra las relaciones entre elementos; el modelo geométrico representa formas y posiciones; y la aplicación interactiva incorpora, además, las acciones que puede realizar el usuario. Vale la pena aclarar que una representación puede cumplir adecuadamente con un nivel y, al mismo tiempo, resultar insuficiente para otro. Por ejemplo, una figura puede explicar con claridad la forma exterior de una bomba sin llegar a describir su comportamiento hidráulico.

La fidelidad, por otro lado, tampoco puede reducirse simplemente a una apariencia realista. Para efectos de este proyecto se consideran tres tipos: la fidelidad semántica, la geométrica y la funcional. La primera corresponde a la identificación correcta de cada elemento; la segunda, a la concordancia entre forma, tamaño y ubicación; y la tercera, a la coherencia de las relaciones representadas.

Verificar estos tres tipos de fidelidad requiere, en cada caso, disponer de información de referencia acorde a la dimensión que se está evaluando.

El modelo didáctico exige, además, un criterio de selección del nivel de detalle. Las características visibles que permiten diferenciar componentes deben mantenerse, mientras que otras pueden simplificarse si no inciden en la tarea educativa. Esta decisión queda

documentada, ya que una simplificación conveniente para la familiarización podría no ser adecuada para explicar una inspección puntual.

Aeronave y configuración de referencia

El proyecto se enfoca en la aeronave conocida como Diamond DA-20. El material previo detalla la variante DA20-C1 y describe la arquitectura que consta de un tanque principal de combustible que alimenta un motor de 4 cilindros de inyección, el alcance del presente documento se limita exclusivamente a la versión A de la familia DA-20, no pudiendo extenderse las características de la misma a otras versiones.

Para que el modelo técnico soporte las necesidades que se pretenden lograr, primero habrá que identificar la unidad que consideramos concreta. El número de serie, las reformas que han tenido lugar en el tiempo y la verificación de la documentación correspondiente, son las variables que determinaran la efectividad de los datos. De hecho, dos conjuntos que a simple vista parecen similares pueden presentar diferencias en sus accesorios, conexiones o forma de instalación, diferencias que terminan siendo relevantes al momento de usarlos con fines de instrucción.

En cuanto a la caracterización propuesta, esta distingue con claridad la estructura de soporte del sistema de combustible propiamente dicho. Por un lado, el fuselaje y el compartimento del motor aportan el contexto espacial general; por otro, el sistema estudiado agrupa específicamente los elementos encargados de almacenar, conducir, acondicionar y suministrar el combustible. Cuando un componente forma parte de más de un sistema a la vez, su inclusión se decide según la utilidad que tenga para explicar la actividad educativa concreta.

Para la familiarización inicial interesa conocer la relación entre componentes. Para actividades posteriores de inspección será indispensable incorporar valores y límites con su correspondiente referencia de aplicabilidad.

La ficha de configuración del apéndice A establece los datos mínimos para esta identificación. Su propósito es evitar que una representación genérica se convierta, por uso

repetido, en una supuesta reproducción exacta de una aeronave concreta. El recurso deberá mostrar su versión y el alcance de la configuración representada.

Funciones y componentes del sistema

El sistema se organiza por funciones para facilitar su estudio. Esta organización permite relacionar piezas de formas distintas que participan en una misma tarea y reconocer elementos auxiliares que pueden pasar inadvertidos en una vista general. La tabla 1 sintetiza la clasificación adoptada para la propuesta.

Tabla 1

Clasificación funcional de los componentes

Función	Elementos considerados	Interés didáctico
Almacenamiento	Depósito y conexiones externas	Reconocer el origen del suministro.
Acondicionamiento	Gascolator y filtro, si corresponde	Distinguir separación y filtrado.
Presurización	Bomba eléctrica y bomba del motor	Diferenciar las dos fuentes de accionamiento.
Control y dosificación	Válvula de corte y unidad de control	Distinguir interrupción y regulación.
Distribución	Colector y cuatro inyectores de referencia	Reconocer la ramificación hacia el motor.
Conducción	Líneas de alimentación y retorno	Seguir origen, destino y sentido.

Función	Elementos considerados	Interés didáctico
Funciones auxiliares	Ventilación, drenaje e indicación	Evitar una lectura exclusivamente lineal.

La clasificación es una síntesis de trabajo basada en los elementos descritos en el borrador. No constituye una lista de partes certificada. Los códigos de pieza, las variantes y la cantidad de accesorios deberán registrarse a partir de la documentación y del conjunto que se adopte como referencia.

La utilidad de esta división reside en que cada función puede convertirse en una pregunta de aprendizaje. El estudiante puede identificar dónde se almacena el combustible, qué elementos intervienen en su conducción y cuáles cumplen funciones auxiliares. Las respuestas tienen que estar fundamentadas en el esquema y en las fichas de componentes, de modo que ambas se refuercen unas a otras.

Organización espacial del conjunto

La propuesta de representación espacial organizada el sistema en dos zonas: zona almacenamiento o almacenaje y zona alimentación o alimentador del motor. Todo ello conectado por sus conducciones. De acuerdo al material anterior, el depósito está en la parte trasera, en el área para equipajes. Esta localización se conserva como referencia de lectura, aunque sus coordenadas y distancias respecto de la estructura todavía requieren una verificación específica.

El ensamblaje, por su parte, deberá permitir relacionar cada pieza con un sistema de ejes común. Para ello se propone trabajar con un eje longitudinal, uno transversal y uno vertical, partiendo de un origen debidamente documentado dentro del conjunto. Es importante que el sentido positivo, las unidades y la orientación de exportación se mantengan constantes

entre los distintos programas utilizados, ya que de lo contrario podrían producirse inversiones o cambios de escala no deseados.

Ahora bien, la posición de una pieza no queda definida únicamente por su centro. También resultan relevantes la orientación de sus conexiones, el plano de apoyo, la dirección de accionamiento y el espacio disponible para sus conducciones. De hecho, un modelo puede verse perfectamente correcto en una vista isométrica y, sin embargo, resultar incoherente al observarlo desde el lado opuesto o al compararlo con una vista de instalación real.

Con fines didácticos, se proponen tres modos de visualización: el conjunto contextualizado, el subconjunto aislado y la pieza individual. El primero sirve para explicar la ubicación general; el segundo permite analizar las relaciones cercanas entre piezas; y el tercero ayuda a identificar los rasgos particulares de cada elemento. En todos los casos, el paso entre estos modos debe mantener siempre visible la identificación del elemento seleccionado y ofrecer una manera clara de regresar a la vista inicial.

Cabe aclarar, por último, que una vista separada de componentes sirve principalmente para mostrar su inventario, pero no reproduce necesariamente la posición real de montaje.

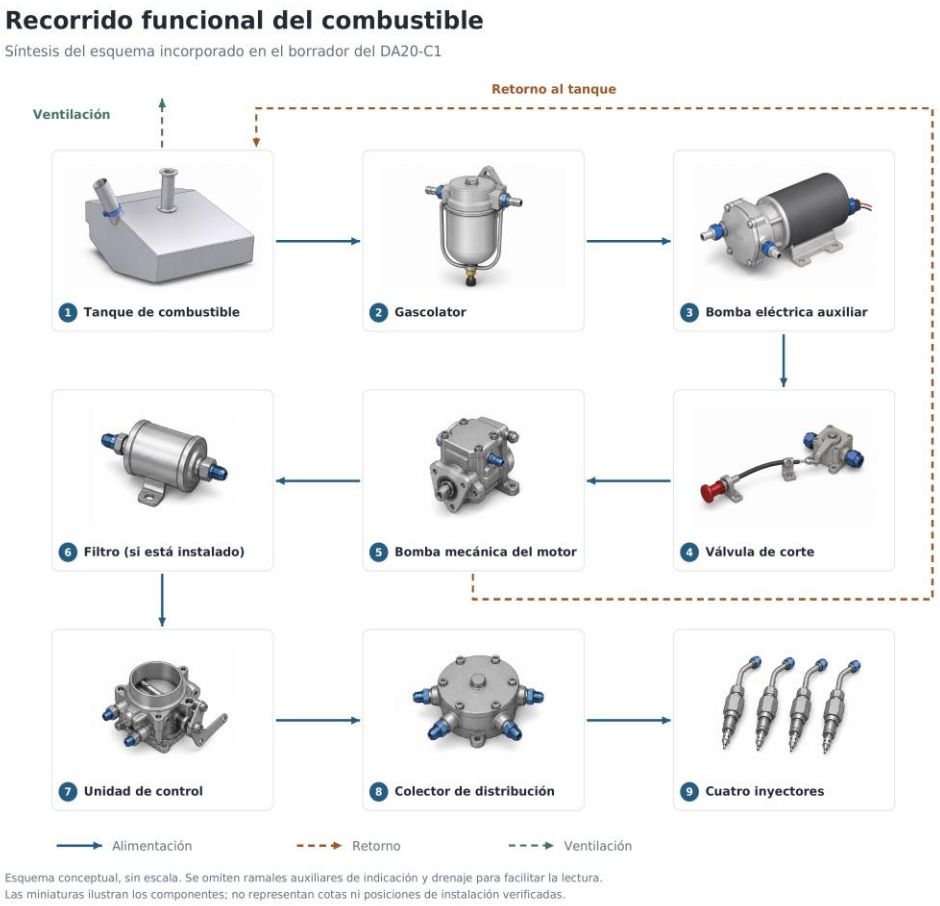
Por esta razón, las ilustraciones de conjuntos incluidas en este documento se identifican expresamente como composiciones conceptuales, y no deben utilizarse para inferir longitudes de tubería, puntos de fijación ni secuencias de instalación.

Recorrido funcional del combustible

La figura 1 organiza el recorrido conceptual de alimentación y, al mismo tiempo, permite distinguir con claridad los circuitos auxiliares involucrados. Su lectura permite relacionar la secuencia funcional con el inventario de piezas. La presencia del filtro señalado depende de la configuración adoptada.

Figura 1

Recorrido funcional de referencia del sistema de combustible



Nota. Tomado de la composición explicativa elaborada para esta investigación, a partir de la síntesis del borrador.

La alimentación se interpreta como un recorrido que va desde el depósito hacia el acondicionamiento, pasando luego por la presurización, el control y finalmente la distribución. El retorno y la ventilación, por su parte, cumplen funciones diferentes dentro del sistema. Cabe tener en cuenta que las flechas representan relaciones conceptuales, no la geometría real de las conducciones.

Documentación técnica y clasificación ATA 28

El borrador clasifica el sistema de combustible bajo la designación ATA 28. Dentro de este proyecto, dicha referencia se emplea sobre todo para organizar y ubicar la información técnica correspondiente. Sin embargo, vale la pena aclarar que esta clasificación documental no constituye por sí misma una certificación del modelo, tampoco una autorización de mantenimiento, ni mucho menos un criterio de aceptación de la geometría.

Por esta razón, la consulta técnica deberá diferenciar cuidadosamente el propósito de cada documento. Se describe las tareas y condiciones de servicio; un catálogo ilustrado, en cambio, permite identificar conjuntos y piezas específicas; mientras que una vista de instalación aporta las relaciones espaciales necesarias para comprender el conjunto. Un dibujo esquemático, por su parte, puede explicar la conectividad entre elementos sin necesariamente conservar la escala real. En definitiva, la selección de una fuente dependerá siempre de la pregunta concreta que se necesite resolver en cada momento.

Cada dato incorporado al futuro modelo deberá conservar un vínculo con su procedencia. El registro incluirá identificación del documento, revisión, fecha, sección o figura y aplicabilidad a la aeronave. Cuando la información provenga de una observación física, se añadirá el registro correspondiente, la fecha y el responsable de la toma de datos.

Si dos fuentes llegan a diferir entre sí, la discrepancia deberá documentarse antes de realizar cualquier modificación a la geometría. En ningún caso debe elegirse automáticamente la imagen más clara o el dato más reciente sin antes comprobar su aplicabilidad real al caso concreto. De hecho, resolver esta discrepancia puede requerir revisar, según corresponda, una modificación realizada a la aeronave, una variante particular de la pieza, o bien una diferencia existente entre el esquema funcional y el plano de instalación.

En esta versión del trabajo, los materiales del borrador se consideran únicamente como antecedentes documentales. Por lo tanto, no se le atribuye actualidad a una imagen simplemente porque así lo indique el año señalado en su leyenda, sobre todo cuando la fecha

visible del documento original reproducido resulta ser diferente. Tampoco se conservan referencias cuyo contenido o identificación bibliográfica no pueda comprobarse.

Esta disciplina documental permitirá que, en el futuro, la representación pueda revisarse con facilidad. La idea es que cualquier cambio en una conexión, dimensión o accesorio pueda respaldarse con evidencia, y no dependa únicamente de lo que recuerde el modelador ni de la apariencia de una ilustración.

Modelado tridimensional y representación CAD

El modelado tridimensional es el proceso de crear la representación geométrica de un objeto mediante coordenadas, superficies o sólidos. Para este proyecto se propone trabajar con una base CAD, que permitirá definir las piezas con dimensiones precisas y fácilmente ajustables, además de contar con una versión en malla orientada a la visualización interactiva. Ambas representaciones cumplen funciones complementarias entre sí y requieren, para su correcta integración, criterios de conversión explícitos.

Díaz (2021) presenta un procedimiento de modelado de precisión que se apoya en datos de digitalización para reconstruir objetos con láminas, vacíos y solapamientos que suelen ser difíciles de capturar. Si bien su estudio pertenece al ámbito del patrimonio cultural, resulta útil como antecedente metodológico en lo referente a la combinación de referencias geométricas y la reconstrucción controlada; cabe aclarar, eso sí, que no valida las piezas aeronáuticas tratadas en este trabajo.

En lo que respecta a los componentes que se proponen, se considera conveniente que el modelaje comience por los volúmenes principales y luego se vayan incorporando los rasgos que permiten reconocerlos más finamente. Las características de los elementos tienen una importancia distinta según su situación de montaje. En un depósito, se tendrá en cuenta su contorno, las superficies dominantes y las conexiones; en una bomba, el cuerpo, la base y los puertos; y en una conducción, el trazado y la orientación de sus extremos. Trabajar en este

orden tiene además la ventaja de permitir revisar primero las proporciones generales antes de meterse con los detalles.

Finalmente, SolidWorks se considera una opción adecuada para el desarrollo paramétrico, principalmente por su presencia ya establecida en el planteamiento inicial del proyecto. Sin embargo, las figuras de esta versión son imágenes conceptuales con apariencia CAD. No contienen un historial de operaciones, cotas editables o restricciones de ensamblaje y, por ello, no acreditan que el modelado haya sido ejecutado en ese programa.

Un archivo editable debe mantener las unidades, los nombres de las operaciones, las referencias y las dependencias. La persona que retome el trabajo tiene que poder modificar una dimensión sin necesidad de reconstruir toda la pieza. Asimismo, debe ser posible identificar qué detalles están representados de forma esquemática.

Construcción paramétrica de las piezas

La construcción paramétrica organiza cada uno de sus componentes en operaciones simples y revisables. El croquis inicial es el que define la geometría dominante y, a partir de ahí, las operaciones sucesivas van agregando volumen, vaciado, conexiones y detalles externos. Las dimensiones fundamentales deben estar vinculadas al levantamiento, de forma tal que se mantengan por separado de aquellas que sólo cumplen fines de visualización.

El término depósito puede considerarse como la combinación de perfiles y superficies con sus envolventes, así como también el gociolator puede descomponerse conceptualmente en cuerpo, tapa, soporte y finalmente, en el punto inferior de drenaje.

La bomba eléctrica, por su parte, puede dividirse en carcasa, motor, base y conexiones. Estas descomposiciones son propuestas de trabajo, y su forma definitiva dependerá de la pieza de referencia.

En las conducciones, la trayectoria constituye la característica principal. El diámetro y el radio de curvatura deben registrarse siempre con unidades y referencias consistentes entre sí. Una línea creada únicamente para unir de forma visual dos objetos no puede considerarse, por

sí sola, una reproducción fiel de la instalación real, sobre todo si no se conocen su ruta exacta ni sus puntos de soporte.

Por su parte, las restricciones de ensamblaje deberán reflejar relaciones que puedan comprobarse efectivamente. Una coincidencia de planos, por ejemplo, puede representar una superficie de apoyo; una relación concéntrica, en cambio, puede asociar un puerto con su conexión correspondiente; y una distancia bien definida puede establecer, a su vez, una separación medida con precisión.

. No se deben introducir restricciones para forzar el ajuste de piezas cuyas dimensiones no han sido verificadas.

El modelo maestro y la versión destinada a visualización deben conservar una relación identificable. Si una pieza se simplifica, se registrará su procedencia y la razón de la modificación. Esta práctica evita que una corrección aplicada a la geometría de referencia se pierda al actualizar la versión de tiempo real.

Mallas, topología y nivel de detalle

Una malla representa la superficie de un objeto mediante vértices, aristas y caras, En una aplicación de tiempo real interesa, sobre todo, controlar la complejidad del modelo, la distribución de sus elementos y la estabilidad de su apariencia visual. Por eso, la conversión desde CAD debe revisarse con cuidado, ya que una configuración de exportación demasiado detallada puede terminar generando geometría innecesaria para la distancia de observación prevista.

Díaz (2023) compara distintos procedimientos de retopología y verifica un modelo dentro de un motor de visualización, mostrando que la reducción de polígonos debe analizarse siempre junto con la calidad de la imagen y el desempeño general. Su estudio respalda la idea de examinar estas variables de forma conjunta, aunque es importante aclarar que los porcentajes obtenidos allí no pueden trasladarse directamente al DA-20, tratándose de un objeto de naturaleza distinta.

En cuanto a la topología, esta deberá conservar los rasgos necesarios para que los componentes sigan siendo identificables. Un cilindro, por ejemplo, puede admitir menos segmentos siempre que mantenga una silueta adecuada; en cambio, un puerto pequeño puede requerir mayor atención si constituye el punto de interacción principal del estudiante. En definitiva, la cantidad total de caras no determina, por sí sola, la utilidad real de una malla.

El nivel de detalle se propone en función de las tareas. Una vista general del sistema puede utilizar geometría simplificada, mientras que una vista cercana de una conexión necesita mayor definición. Si se implementan niveles de detalle, la transición deberá evitar cambios que confundan la forma o interrumpan la selección del objeto.

Las superficies ocultas podrán eliminarse únicamente cuando no se hagan visibles durante el uso previsto, Si el estudiante tiene la posibilidad de separar piezas o inspeccionar un componente desde todos sus ángulos, una superficie que en principio estaba oculta podría volverse necesaria. La optimización, por tanto, depende del diseño de interacción previsto.

La revisión de malla abarcará normales, caras duplicadas, discontinuidades y sombras anómalas. El resultado esperado es un activo coherente con su referencia y con la forma de exploración acordada. Esta comprobación deberá hacerse tanto en el programa de origen como después de la importación.

Criterios de optimización

La optimización busca reducir el costo de representación sin perder la información necesaria para la actividad educativa. Para este proyecto se propone realizar una comparación entre una versión de referencia y una versión simplificada, manteniendo constantes en todo momento la escena, la cámara, la iluminación y el equipo de prueba utilizado. Solo de esta manera será posible interpretar correctamente los cambios de rendimiento observados.

El primer criterio es geométrico. Busca conservar las siluetas, las conexiones y los rasgos que permiten reconocer cada pieza. El segundo, en cambio, tiene que ver con cómo se organiza el modelo: evitar objetos duplicados y establecer una jerarquía clara, de modo que

sea más fácil controlar la visibilidad y la selección de los elementos. El tercer criterio se relaciona con los materiales y las texturas; aquí la idea es limitar los recursos innecesarios sin que la pieza pierda una apariencia legible.

A estos tres se suma un cuarto criterio, de carácter funcional. Las piezas que en algún momento vayan a seleccionarse o separarse deben mantener una identidad propia dentro del modelo. Es cierto que unir todos los componentes en una sola malla podría reducir algunas operaciones de representación. Sin embargo, esto también corre el riesgo de dificultar la actividad didáctica que se busca lograr. Por eso esta decisión no es automática: debe evaluarse siempre según el comportamiento esperado del recurso final.

En cuanto a las mediciones, se propone registrar el número de triángulos, la cantidad de materiales, el tamaño del archivo y el tiempo de carga. Durante la ejecución también se medirán los tiempos por cuadro y la estabilidad del modelo en el dispositivo de destino. Un punto importante: el informe final deberá especificar con claridad las condiciones de cada prueba, porque un valor aislado no alcanza para comparar de forma justa dos implementaciones distintas. Vale la pena aclarar que este estudio no fija un presupuesto universal de polígonos ni una frecuencia mínima de referencia.

Esos límites dependerán, en cada caso, del visor utilizado, del motor gráfico, de la resolución y de la complejidad propia de la escena. Será entonces el responsable de integración quien deba fijar esos criterios antes de comenzar a evaluar las distintas versiones.

Por último, la aceptación de un activo optimizado exigirá cumplir con dos comprobaciones simultáneas: por un lado, una mejora verificable en el costo de representación y, por otro, la conservación de los rasgos críticos del componente. Si la simplificación llegara a perjudicar una conexión o a modificar la lectura del elemento, deberá revisarse nuevamente, incluso si el archivo resultante termina siendo más pequeño.

Materiales, texturas e identificación visual

Los materiales influyen en la forma en que una superficie responde visualmente a la luz del entorno. En un recurso educativo, su selección debe favorecer sobre todo la distinción entre componentes, evitando en todo momento introducir significados técnicos que no hayan sido comprobados. Por esta razón, los colores utilizados para resaltar una conexión o una función determinada deben explicarse siempre como simples convenciones propias de la representación, y no como datos técnicos en sí mismos.

En el caso particular de las ilustraciones incluidas en este documento, se emplean superficies grises, accesorios en tono azul y algunos elementos de control en rojo. Esta combinación busca, principalmente, separar con claridad los cuerpos, las conexiones y los mandos dentro de cada imagen.

No se afirma que corresponda al acabado o al código de color de la instalación real. Las fichas de los futuros modelos deberán diferenciar el acabado observado del material didáctico asignado.

La textura puede representar detalles superficiales que no requieren volumen. Sin embargo, un detalle que modifica la silueta, sirve como punto de selección o permite explicar una unión puede necesitar geometría. La decisión se tomará a partir de la distancia de observación y de la tarea, evitando añadir complejidad solamente por apariencia.

Las etiquetas deberán resultar legibles en el dispositivo que se utilice en cada caso. Se propone que, al seleccionar un componente, aparezcan su nombre y una función breve, dejando además la posibilidad de acceder a información adicional si el usuario lo desea. Mostrar todos los rótulos al mismo tiempo, en cambio, podría dificultar la observación de piezas cercanas entre sí y terminar ocultando relaciones espaciales importantes.

Por otra parte, la identificación de cada componente no dependerá únicamente del color. Cada uno contará con su propio nombre, código y posición dentro del inventario, de manera que pueda reconocerse sin problema incluso en una impresión monocromática, o por

parte de una persona con dificultades para diferenciar tonalidades. Las leyendas deberán mantenerse coherentes entre figuras, tablas y aplicación.

La revisión visual incluirá contraste, sombras, reflejos y lectura de bordes. Un acabado muy reflectante puede ocultar formas; una iluminación plana puede dificultar apreciar profundidad. El objetivo será una presentación clara y estable, compatible con la observación de componentes y con las condiciones reales del espacio de instrucción.

Realidad virtual e interacción

Cabero et al. (2022) diferencian, por un lado, las tecnologías que añaden información al entorno físico y, por otro, aquellas que construyen un entorno digital completo para la interacción, examinando además sus posibilidades y limitaciones dentro del ámbito educativo. Esta distinción resulta útil porque permite precisar con mayor claridad el producto previsto en este proyecto: una escena de realidad virtual requerirá, además de imágenes ilustrativas, contar con geometría, navegación e interacción propiamente dichas.

En una primera etapa, la interacción propuesta se limita a cuatro acciones básicas: observar, seleccionar, aislar y restituir los componentes. Estas acciones permitirían pasar de una vista general a una explicación particular sin que se pierda en ningún momento la identificación de la pieza. Asimismo, el recurso deberá contar siempre con una forma sencilla de recuperar el estado inicial, con el fin de evitar que el estudiante se desoriente durante la exploración.

La selección de cada uno de ellos ha de tener un área de interacción que se corresponda a su tamaño real. Una pequeña pieza puede requerir la ayuda de un foco o un volumen de selección simplificado, siempre que el estudiante sea capaz de identificar claramente qué pieza activa en cada momento. No es necesario que la geometría de colisión reproduzca todos los detalles del exterior, si no se requiere para la tarea.

La navegación debe ajustarse al espacio que haya disponible y al dispositivo. Se propone iniciar con un conjunto accesible desde una posición estable y permitir la rotación o el

acercamiento controlado. El desplazamiento libre por una aeronave virtual completa aumentaría el alcance del proyecto y necesitaría una evaluación adicional.

La plataforma deberá registrar su configuración técnica y los recursos requeridos. Un archivo de malla, por sí solo, no garantiza compatibilidad con cualquier motor o visor que se utilice. Durante el proceso de importación pueden cambiar la escala, los ejes, los materiales y las dependencias del modelo, por lo que resulta necesario revisar cada activo dentro del entorno de destino específico.

En este trabajo, la realidad virtual se entiende como un medio posible, entre otros, para presentar el contenido. La calidad educativa del recurso dependerá, en última instancia, de las tareas propuestas, de la corrección técnica del modelo y del acompañamiento que brinde el instructor. Conviene tener presente que la inmersión visual, por sí sola, no demuestra que haya un aprendizaje real, y mucho menos una competencia para intervenir sobre la aeronave.

Aprendizaje y evaluación del recurso

Las actividades propuestas apuntan a reconocer componentes, explicar funciones y relacionar recorridos. Este tipo de aprendizaje debe diferenciarse de la ejecución de procedimientos de mantenimiento. El recurso inicial puede apoyar la familiarización, pero no reproduce condiciones de manipulación, resistencia mecánica, uso de herramientas ni las consecuencias físicas de una intervención real.

Caballero et al. (2025) investigan la satisfacción de estudiantes de ingeniería en relación a la experiencia de un curso de modelado tridimensional con realidad aumentada a partir de 38 respuestas. Este antecedente es útil para la comprensión de la percepción y la motivación, aunque su diseño no permite suponer que una valoración favorable implica una mejora objetiva de la competencia técnica en el proyecto en cuestión.

Se identifican tres dimensiones para evaluar la propuesta. La usabilidad se relaciona con la posibilidad de llevar a cabo un trabajo que se desarrolla en la interfaz. El aprendizaje se refiere a identificar y explicar el sistema. La satisfacción expresa la valoración del participante

respecto a una experiencia y momento en el tiempo. Cada una de estas dimensiones requiere de sus propias preguntas y registros.

Se presenta una secuencia didáctica que está organizada en tres momentos: preparación, exploración y cierre. Antes de emplear el recurso, el estudiante revisaría un esquema y los principales nombres de los componentes. Durante el recorrido, contestaría interrogantes acerca de piezas y uniones. Al final, el estudiante explicaría el proceso en sus propias palabras y confrontaría su interpretación con la del profesor.

Los errores relevantes que deberá recoger la evaluación son, por ejemplo, que se confunda una línea de retorno con otra de alimentación o que se le atribuya al gascolator una función que realmente le corresponde a la bomba. Los errores de este tipo aportan información mucho más concreta que una simple valoración sobre lo atractivo que resulta el recurso visualmente.

Se hará protocolo posterior que repercute elaborado con consentimiento informado, instrucciones uniformes y protección de datos. Por su parte, los resultados deben ser interpretados en función del tamaño y las características del grupo no pretendiendo generalizar más allá de lo que el propio estudio permite. Es necesario aclarar que en esta versión se muestra el instrumento que se propuso; no se informan puntuaciones ni diferencias de aprendizaje.

Antecedentes de producción y validación

Santa et al. (2024) describen una secuencia de trabajo que va desde la generación de los modelos, pasando por su refinamiento en Blender, hasta su importación a Unity para la visualización en realidad virtual. Su trabajo muestra que la generación inicial requiere operaciones posteriores de corrección e integración. En el presente proyecto, las imágenes con apariencia tridimensional funcionan como apoyo conceptual y no equivalen a los activos geométricos utilizados en aquel estudio.

Rodríguez et al. (2021) presentan la validación por expertos de un instrumento de evaluación, en la que se revisan aspectos como claridad, suficiencia, coherencia y relevancia. Estos criterios orientan la revisión propuesta para las fichas y actividades del DA-20. Se utilizarán como categorías de análisis, sin atribuirle al instrumento local una validación que todavía no se ha realizado.

La tabla 2 resume la contribución de los antecedentes al diseño. Las aplicaciones propuestas son decisiones propias de esta investigación y deberán verificarse más adelante dentro del contexto real de uso.

Tabla 2

Aportes metodológicos de los antecedentes

Antecedente	Contribución al diseño	Límite de transferencia
Díaz (2021)	Reconstrucción apoyada en referencias geométricas.	Caso de patrimonio, no de aeronaves.
Díaz (2023)	Comparación de malla y desempeño.	Resultados dependientes del caso y equipo.
Santa et al. (2024)	Separar generación, corrección e integración.	Una imagen no equivale a una malla.
Rodríguez et al. (2021)	Revisar criterios e instrumentos.	Requiere evaluación local independiente.

Antecedente	Contribución al diseño	Límite de transferencia
Caballero et al. (2025)	Distinguir percepción y desempeño.	La satisfacción no demuestra competencia.

Nota. Tomado de la síntesis y criterios definidos para el presente proyecto.

Síntesis y criterios del proyecto

Esta revisión permite organizar la propuesta alrededor de cinco criterios: trazabilidad, reconocimiento, coherencia funcional, eficiencia de representación y pertinencia didáctica. Cada uno de estos elementos responde a una pregunta específica: de donde proviene una traza se refiere al recorrido de un dato; el reconocimiento te identifica la pieza; la coherencia funcional los relaciona; la eficiencia se hace cargo del coste gráfico; y la pertinencia didáctica une el recurso con una tarea de aprendizaje.

Estos criterios siempre deben aplicarse juntos y nunca separados. A menudo, un objeto puede ser casi complicado visualmente y, a pesar de eso, no estará mal identificado, donde un mesh ligero puede que se le pierdan características importantes en el proceso y por último, una escena correctamente ejecutada puede acabar siendo difícil de usar si no contiene instrucciones inteligibles.

La propuesta también adquiere un jerárquico de verificación. En primer, la configuración y la fuente son identificadas; en segundo lugar, la geometría es verificada; luego, la conversión y el ensamblado son revisados; y en último lugar, el uso dentro de la plataforma es evaluado. Un error de referencia que se corrige al final del proceso puede obligar a cambiar un buen número de piezas y recursos asociados, con su coste.

El proyecto mantiene la intención de preparar modelos para realidad virtual, aunque delimita con claridad cuál es el resultado verificable en esta etapa del trabajo. Por ahora se cuenta con una estructura documental, un inventario y una colección visual conceptual. La construcción de geometría editable y la evaluación de desempeño quedan planteadas como pasos definidos para la continuidad del proyecto.

Finalmente, la relación entre teoría y desarrollo se concreta en las fichas y matrices que se presentan en los capítulos siguientes. En ellas se registran las decisiones de representación, las variables que deben medirse y los criterios para revisar cada componente. Los apéndices, por su parte, permiten aplicar ese procedimiento sin depender de explicaciones dispersas.

Capítulo III

Metodología

La investigación adopta un enfoque aplicado y descriptivo, con base documental y el desarrollo de una propuesta de representación. Su finalidad es organizar la información del sistema de combustible y establecer los requisitos de los activos destinados a una futura plataforma de realidad virtual. Así se evitan conflictos de intereses y el simulador de no está bajo evaluación en tal sentido.

La unidad de análisis se manifiesta en el componente funcional, lo que podría verse como una pieza o conjunto con determinada función reconocible dentro del sistema. El inventario incluye tambores, filtros y reguladores con sus respectivos paramentas. Su elección está más relacionada con la importancia que tiene para explicar el circuito y su representación, que a un criterio de muestreo estadístico.

La primera actividad que se lleva adelante es una revisión del material anterior, luego se van señalando las contradicciones que se presentan. Asimismo, se peticionan las notas que respaldan el inventario y, por último, se preparan los recursos visuales que acompañarán todo el trabajo. Se podrán establecer, desde esos productos, los instrumentos para el levantamiento dimensional, la modelación editable y la verificación posterior.

Los resultados de esta etapa son cualitativos y documentales. Se organizan descripciones, relaciones, criterios y estados de evidencia. Las variables numéricas, como dimensiones, número de triángulos o tiempo de cuadro, se incluyen como parte del protocolo de evaluación futura. Su definición no implica que hayan sido medidas.

Se conserva la lógica del trabajo previo al estudiar el mismo sistema y los componentes ya identificados en él. Las afirmaciones sobre precisión, optimización e integración se someten, en todos los casos, a un criterio de evidencia: solo podrán declararse cuando existan registros que permitan comprobarlas realmente. Con esta decisión se busca que el método vaya de la mano con los productos que realmente están disponibles en esta etapa.

Selección y análisis de fuentes

La consulta académica se centró en artículos de texto completo en español, publicados desde 2021 en adelante. Se hicieron búsquedas por título combinando términos como modelado 3D, topología, realidad virtual educativa, integración de modelos y validación de instrumentos. La mayoría de los textos se encontró en portales de revistas, además de SciELO, Dialnet y varios repositorios universitarios.

Se eligieron nueve artículos de este grupo de fuentes por su estrecha conexión con las necesidades del proyecto. Se tomó registro de los datos referidos a cada uno de los textos que los autores incorporaron al objeto de estudio. A cada uno se les verificó la autoría, el año, el título y los datos de publicación, revisando además tanto sus aportes como sus límites de aplicación. Cabe señalar que la búsqueda fue de carácter orientado narrativo, en ningún momento se tuvo la intención de que fuese un tiempo sistemático exhaustivo ni un metaanálisis.

La revisión del borrador se hizo de manera independiente respecto a la literatura académica: uno aporta el caso concreto, el inventario preliminar y las necesidades de desarrollo, mientras que los artículos contribuyen con antecedentes sobre representación, producción de recursos y evaluación. Mantener esta separación evita, sobre todo, que la literatura educativa termine usándose indebidamente como respaldo de especificaciones aeronáuticas.

Tabla 3

Criterios de selección de la literatura

Criterio	Aplicación en la selección
Fecha	Se tomaron en cuenta publicaciones desde 2021 en adelante.

Criterio	Aplicación en la selección
Idioma y acceso	El texto completo debía estar disponible en español.
Tipo de publicación	Se buscó que los artículos académicos fueran de autoría clara y con datos bibliográficos verificables.
Pertinencia	That they had a direct relationship with modeling, optimization, virtual reality, teaching or validation.
Lectura crítica	Se detectó el procedimiento que se utiliza, el rendimiento que se obtiene y sus límites de aplicación.
Exclusión	Se excluyeron fuentes carentes de texto completo comprobable o no vinculadas al problema objeto de estudio.

Se evitó citar como consultadas las fuentes antiguas que aparecían únicamente en la bibliografía de los artículos revisados. Los aportes que se aplican se corresponden a lo que se consultó textualmente como antecedentes del diseño.

Dimensiones e indicadores de evaluación

Los criterios de marco teórico terminan siendo observables como indicadores. La tabla 4 permite distinguir qué debe ser examinado y qué prueba será necesaria. Con esta operacionalización se puede evaluar productos concretos sin confundir una valoración visual con una medición geométrica o un test de actuación.

Tabla 4

Operacionalización de los criterios de evaluación

Dimensión	Indicador propuesto	Evidencia requerida
Trazabilidad	Origen y versión de los datos identificados.	Ficha de fuente y configuración.
Identificación	Nombre, código y función coherentes.	Inventario y revisión técnica.
Geometría	Desviación entre dimensión de referencia y modelo.	Mediciones y archivo editable.
Conectividad	Origen, destino y tipo de puerto correctos.	Matriz de conexiones revisada.
Optimización	Cambio en triángulos y recursos gráficos.	Comparación entre versiones.
Rendimiento	Tiempo de carga y tiempo por cuadro.	Registro en el equipo de destino.
Usabilidad	Tareas completadas y errores de interacción.	Observación de participantes.
Aprendizaje	Identificación y explicación del sistema.	Respuestas y rúbrica aplicada.

Los umbrales técnicos deben ser definidos previamente a las pruebas y en función del uso. Una tolerancia geométrica visual no equivale a una tolerancia de fabricación. Una

respuesta correcta en la actividad conceptual no garantiza la aptitud para realizar el mantenimiento de la aeronave.

El registro final debe aclarar cada variable, ya sea definida, medida, revisada o aceptada. El hecho de que no haya un dato no significa que se deba interpretar el cumplimiento.

Secuencia de desarrollo

La figura 2 presenta la secuencia propuesta desde la preparación de referencias hasta la revisión para RV. Cada fase genera un producto que debe comprobarse antes de avanzar. La revisión puede devolver el trabajo a una fase anterior cuando se detecte una inconsistencia.

Figura 2

Secuencia propuesta para desarrollar y revisar los modelos



Nota. Tomado de la metodología elaborada para esta investigación, con ilustraciones conceptuales.

Las referencias guían la geometría; las piezas se unen en un ensamblaje; y la simplificación anticipa versiones para tiempo real. La importación siempre debe conservando la escala, la orientación y la identidad del modelo. De acuerdo con esto, su aceptación demanda la verificación del resultado en el dispositivo de destino y el registro de la posible diferencia observada en comparación con el modelo de referencia.

Levantamiento geométrico y dimensional

El levantamiento comienza por identificar el código, la función, la ubicación, la fuente y las condiciones de acceso del componente. Cualquier actividad sobre la aeronave se coordinará siempre con personal autorizado; en cambio, una ilustración conceptual no requiere intervenir el sistema.

Se registrarán el largo, el ancho, la altura y las conexiones en los cuerpos prismáticos. En los cuerpos cilíndricos, en cambio, se tomarán los diámetros, las longitudes y las fijaciones. Y en las conducciones, el diámetro, la trayectoria, los radios y la orientación de los extremos. Todas estas medidas se tomarán a partir de una misma referencia.

Cada medida deberá indicar su unidad, el instrumento utilizado, la resolución y las condiciones en que fue tomada. No todas las características se pueden medir de forma directa. Cuando eso ocurra, el caso quedará registrado como una limitación, dejando claro de dónde salió la información alternativa que se usó en su lugar. Y si una estimación se apoya en imágenes en vez de en una medición real, eso también tiene que quedar explícito, justificando por qué tiene sentido hacerlo así de cara al uso educativo que se le quiere dar.

Las fotografías completan el registro con vistas generales, conexiones, soportes y esos rasgos que permiten distinguir una pieza de otra. Aquí hay un punto que no admite excepciones: la escala de referencia siempre debe leerse con claridad. Una foto tomada con distorsión o con una perspectiva mal controlada simplemente no puede hacer las veces de un plano acotado, por más nítida que se vea.

Por último, las dimensiones críticas se medirán una segunda vez, y cualquier discrepancia entre ambas mediciones se documentará, ya que puede señalar errores de transcripción, de referencia o de acceso al componente. Será el responsable técnico quien determine, en última instancia, la suficiencia de los datos obtenidos.

Procedimiento de modelado y ensamblaje

Antes de modelar se comprobarán las unidades y las referencias correspondientes. Cada pieza contará con un código, una versión y un modelo maestro vinculado a sus croquis, dimensiones y vistas de respaldo, conservando siempre la correspondencia con cada exportación.

Se construirá primero el volumen principal y se comprobarán sus dimensiones. Después se añadirán las conexiones, los soportes y los rasgos reconocibles. Los detalles internos, en cambio, solo se incorporarán si la actividad educativa realmente los necesita y existe información geométrica suficiente para ello.

Las operaciones, además, deberán poder revisarse en cualquier momento. Se evitarán dependencias innecesarias entre piezas y se documentará toda dimensión vinculada al ensamblaje, con el fin de identificar los efectos que podría tener una modificación futura.

El ensamblaje se organizará a partir de coordenadas comunes. Se localiza primero la referencia, luego los subconjuntos y, finalmente, las conducciones. Se utilizará una matriz de origen y destino para verificar las conexiones de red, y en ningún caso podrá ser reemplazada por un simple ajuste visual a ojo.

Las vistas frontal, lateral, superior e isométrica serán útiles para revisar la orientación, puertos, interferencias y soportes. En caso de discrepancias, estas serán clasificadas por su tipo: error de medida o de construcción, diferencia de configuración o simplificación intencionada.

Exportación y evaluación de rendimiento

La exportación se realizará siempre desde una copia identificada del modelo maestro. Antes de convertir la geometría se definirán, en orden, las unidades, la orientación de los ejes, la organización de las piezas y el formato compatible con el entorno de destino. El registro de exportación, por su parte, conservará las opciones utilizadas para facilitar su repetición en el futuro.

Después de importar la malla se comprobarán dimensiones de referencia, normales, materiales y nombres. Se le puede poner a prueba comparando una distancia que se conozca en los dos. De aparecer alguna diferencia, el primer paso será resolver la conversión de unidades, antes de pensar en modificar manualmente el tamaño de los objetos.

La aceptación no dependerá solamente del promedio. Se deberán observar interrupciones, variaciones durante la selección y problemas al mostrar varios componentes. También se comprobará que el recurso conserva sus rasgos críticos después de la reducción.

El apéndice G presenta un registro de comparación preparado para su aplicación. Los resultados deberán acompañarse de capturas o archivos de medición. En ausencia de esos datos, el estado correcto de la evaluación es pendiente y no puede afirmarse que el sistema ya está optimizado para un dispositivo determinado.

Revisión técnica e instrumentos

La revisión propuesta separa el contenido, la geometría y la interacción. El contenido se pone a prueba con nombres, funciones y relaciones; la geometría, con dimensiones y vistas; y la interacción, viendo cómo se comporta frente a tareas concretas dentro de la plataforma. Separar así las cosas tiene una ventaja clara: cada observación llega a manos de quien de verdad sabe cómo resolverla.

Rodríguez et al., (2021) exhiben algo interesante: revisar un instrumento no siempre confirma que todo esté en orden. A veces, aunque ya haya acuerdo en varios puntos, el propio proceso de revisión saca a la luz criterios que todavía necesitan ajustarse.

Por ello, el protocolo local incorporará comentarios y correcciones por ítem, además de una decisión global de aceptación.

La tabla 5 define el esquema de revisión. Las categorías corresponden a la propuesta del estudio y no a un panel de especialistas ya constituido.

Tabla 5

Áreas e indicadores de la revisión propuesta

Área	Pregunta de revisión	Resultado registrable
Contenido	¿El nombre y la función corresponden a la referencia?	Conforme, revisar o no verificable.
Geometría	¿Las dimensiones críticas coinciden con el registro?	Desviación y evidencia.
Conexiones	¿El puerto y el destino están identificados?	Relación aceptada u observada.
Presentación	¿Se distingue la pieza sin ambigüedad?	Observación de legibilidad.
Interacción	¿La tarea puede completarse de forma comprensible?	Tiempo, errores y comentarios.
Trazabilidad	¿La versión y la fuente están registradas?	Registro completo o incompleto.

Nota. Tomado del instrumento documental de la propuesta.

El dictamen deberá incluir siempre al responsable, la fecha, la versión revisada y las observaciones que correspondan. Si más adelante se modifica algún rasgo crítico, será obligatorio repetir esa revisión. Y hasta que no haya una aplicación efectiva del instrumento, no se van a asignar firmas, calificaciones ni coeficientes de acuerdo.

Evaluación didáctica propuesta

Se plantea como una fase posterior a la verificación técnica, y su objetivo es sencillo pero importante: saber si el recurso realmente ayuda a identificar componentes y a explicar cómo se relaciona todo dentro del sistema, sin dejar de lado qué tan fácil resulta usarlo. Hay además una razón de peso para respetar ese orden, y es que aplicar una prueba educativa antes de corregir el contenido corre el riesgo de terminar midiendo qué tan bien se entendió algo que, técnicamente, estaba mal representado desde el inicio.

Se iniciará con la aplicación de pruebas a partir de breves tareas. Se le pedirá al participante que reconozca una pieza, identifique su función, siga un trayecto de alimentación y distinga una línea auxiliar. Al mismo tiempo, el maestro anota la respuesta, qué tipo de ayuda hizo falta y la serie de errores que se van cometiendo a lo largo del camino. Dependerá del dispositivo y de las condiciones en las que se desarrolle la actividad su duración.

La satisfacción se mide por separado. Un buen ejemplo de cómo abordar esa evaluación lo dan Caballero et al. (2025), quienes muestran una forma concreta de recoger la percepción del alumnado frente a recursos tridimensionales. Acá esa dimensión se va a complementar con respuestas observables sobre el sistema, para que el agrado por la experiencia no termine siendo el único criterio de éxito.

Ahora bien, si se quisiera medir el aprendizaje con más rigor, haría falta definir un diseño de comparación, aplicar instrumentos equivalentes y registrar los conocimientos previos de los participantes. La selección de estos, las condiciones de enseñanza y el tamaño del

grupo también tendrían que justificarse antes de arrancar el estudio. Por ahora no se propone ninguna prueba estadística en concreto, porque todavía no se sabe cómo va a ser la estructura de los datos que se obtengan.

En el apéndice H están las actividades y una rúbrica inicial. Sus criterios deberán pasar por una revisión junto con docentes y especialistas antes de usarse como instrumento de investigación de verdad. El apéndice I, en cambio, trae el registro de una sesión piloto, con campos para anotar incidencias y observaciones.

Y por último, al interpretar los resultados habrá que distinguir entre el desempeño conceptual, los problemas de interfaz y las dificultades técnicas. Una respuesta incorrecta puede venir tanto de no conocer el sistema como de una selección poco clara en la interfaz. Documentar ambas cosas por separado va a permitir corregir el recurso y entender mejor qué parte del proceso necesita ajustarse.

Gestión de evidencias y consideraciones éticas

La gestión de evidencias es lo que permitirá conectar cada afirmación con un producto o registro concreto, algo que no siempre resulta tan simple si no hay orden de por medio. Para lograrlo se propone mantener una estructura de carpetas separada por referencias, levantamiento, modelos maestros, exportaciones, pruebas y documentación. Cada archivo, además, deberá identificarse por su componente, versión y fecha, dejando atrás de una vez esos nombres que no dicen nada, como final, definitivo o última versión sin numerar.

Cualquier modificación se verá reflejada en un documento en el que se relacionen el motivo de la misma, quién la llevó a cabo y el efecto que tuvo sobre el resto de los archivos. Y cuando hay un cambio en un vínculo, no es suficiente con corregirlo ahí nomás. También hay que revisar la pieza que le corresponde, la matriz funcional, el ensamble y los recursos didácticos que están vinculados a él. Se intenta con ello, sobre todo, que un mismo paquete de trabajo no llegue a contener versiones que ya no son compatibles entre sí.

El material de la aeronave se usará en todo momento conforme a las autorizaciones institucionales que correspondan. Y no hay que perder de vista algo importante: es posible que fotografías, planos y documentos contengan información que, en realidad, no hace falta para la publicación académica. Por eso, al seleccionar las evidencias, conviene centrarse en el objeto de estudio y evitar difundir datos que no tengan relación directa con su propósito.

Con respecto a la participación de los alumnos en una futura evaluación esta siempre será voluntaria e informada. En un primer momento se indicará el objeto de la prueba, qué datos se van a registrar y cómo se manejarán esos datos. Las respuestas se van a codificar sin identificación pública de sus participantes, y en ningún caso se van a presentar los resultados individuales como si fueran calificaciones oficiales de competencia profesional.

Las ilustraciones generadas con inteligencia artificial quedarán marcadas en sus notas correspondientes. Sirven como referencia visual para el diseño, eso sí, pero no pueden convertirse en modelos educativos sin antes pasar por una revisión técnica. No se atribuyen a un programa CAD operaciones que no están acreditadas ni se presentan como fotografías de componentes reales.

Capítulo IV

Resultados y propuesta de desarrollo

El resultado verificable de esta etapa es la organización documental y visual de la propuesta. Se consolidó el inventario, se diferenciaron las funciones del circuito y se definieron los productos necesarios para continuar el modelado. La tabla 6 presenta los grupos seleccionados y su relación con las representaciones del capítulo.

Tabla 6

Componentes seleccionados y productos visuales

Grupo	Elemento de referencia	Producto visual
Almacenamiento	Depósito y sus accesorios exteriores	Ilustración del tanque
Acondicionamiento	Gascolator	Ilustración acompañada de una secuencia conceptual
Presurización auxiliar	Bomba eléctrica	Vista de la carcasa con sus conexiones
Interrupción	Válvula y su mecanismo de mando	Vista del conjunto de control
Conducción	Líneas de alimentación y retorno	Dos conducciones representadas por separado
Auxiliares	Drenaje y ventilación	Composición con los elementos del grupo

Grupo	Elemento de referencia	Producto visual
Alimentación del motor	Bomba, control, filtro y distribución	Composición del subconjunto completo
Conjunto	Componentes por separado	Inventario visual y propuesta para RV

La selección conserva los elementos principales del borrador y concentra el detalle en los rasgos que permiten reconocerlos. Las imágenes no presentan una instalación completa ni una relación dimensional comprobada entre piezas.

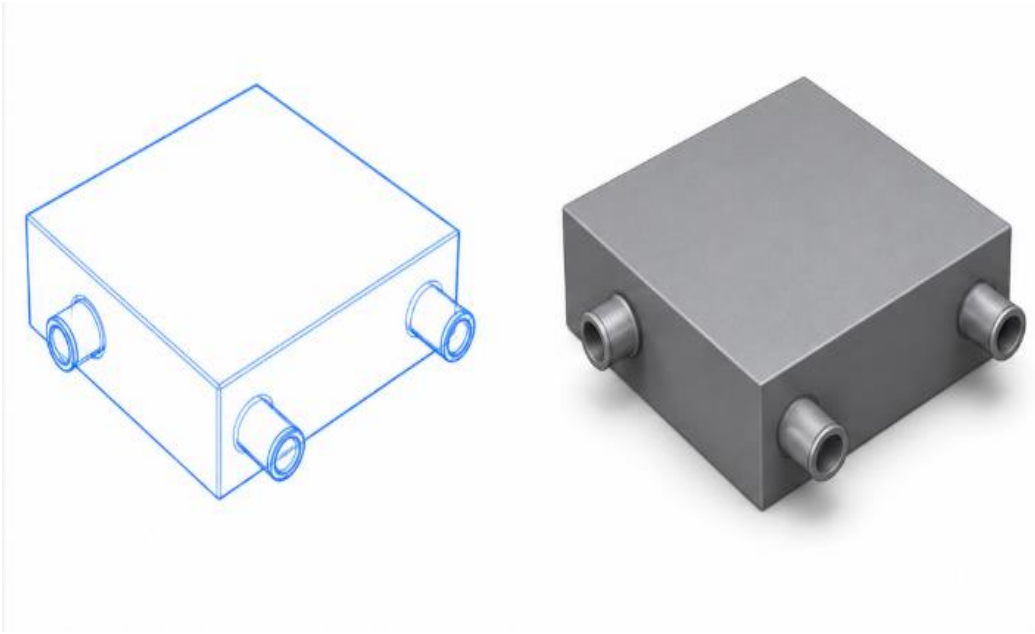
El desarrollo se expone desde la construcción conceptual de una pieza hasta la organización del conjunto. A continuación se presentan los criterios de modelado, las características que deben preservarse y las verificaciones necesarias para convertir las ilustraciones en activos editables.

Representación progresiva de un componente

La figura 3 utiliza el gascolator para mostrar una progresión visual desde una estructura de referencia hasta una presentación exterior. La secuencia ayuda a explicar la separación entre forma principal y accesorios.

Figura 3

Esquema conceptual de construcción del gascolator.



Nota. Tomado de una captura de pantalla en secuencia realizada en SolidWorks.

El resultado visual permite distinguir un cuerpo rectangular, una tapa, elementos de fijación y conexiones. Estas características proporcionan una guía para organizar el futuro árbol de operaciones. El modelado deberá comprobar por separado las dimensiones del cuerpo, la orientación de los puertos y la posición del drenaje.

La primera vista no corresponde a una captura de una malla medida, ni tampoco la última acredita un proceso de optimización real. La secuencia solo expresa una intención de construcción. Su utilidad consiste en mostrar qué rasgos deberían mantenerse al pasar de una geometría básica a una representación reconocible, antes de verificar la pieza dentro del ensamblaje,

Propuesta visual del tanque de combustible

La figura 4 conserva la idea del depósito prismático desarrollada en el material previo y mejora su presentación visual. Se distinguen la envolvente principal y elementos superiores que servirán como referencias para el levantamiento.

Figura 4

Representación conceptual del tanque de combustible



Nota. Tomado del modelo del tanque de combustible de la aeronave, realizado en SolidWorks

El futuro modelo deberá documentar el contorno, las superficies y las posiciones de las aberturas. La figura, sin embargo, no permite deducir la capacidad ni asignar funciones a cada abertura sin contrastar antes la referencia técnica correspondiente.

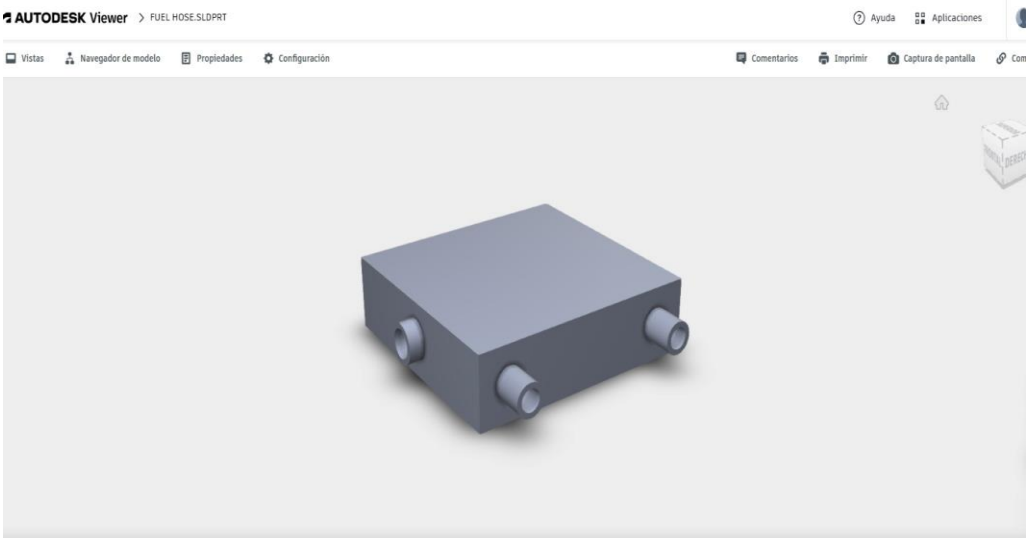
Se propone identificar el almacenamiento, el llenado y las líneas auxiliares mediante etiquetas independientes entre sí. La ubicación de los accesorios dependerá siempre del registro geométrico y de la configuración real, y no de decisiones de composición visual.

Propuesta visual del gascolator

La figura 5 presenta una vista aislada del gascolator. La composición resalta el recipiente, la tapa, los elementos de sujeción y las conexiones exteriores para facilitar su reconocimiento dentro del inventario.

Figura 5

Representación conceptual del gascolador.



Nota. Pieza representativa del gascolator realizada en SolidWorks.

La ficha del componente deberá relacionar cada conexión con el circuito y distinguir el punto de drenaje de los puertos de circulación. La representación exterior no deja observar el interior del componente, así que tampoco permite evaluar su capacidad de separación o filtrado.

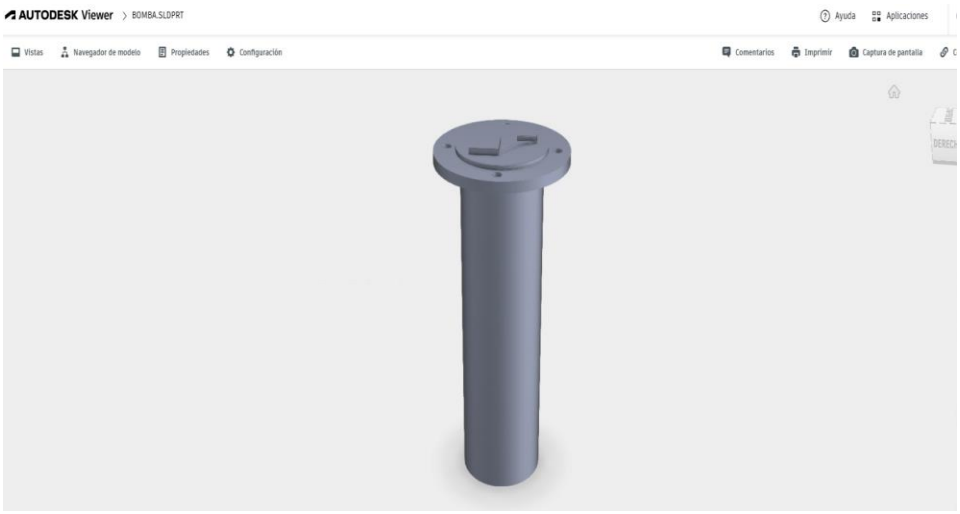
En el modelo editable se propone mantener el cuerpo como pieza principal y organizar los accesorios según su función. Para la actividad educativa inicial va a bastar con que el estudiante reconozca su ubicación dentro del recorrido y lo diferencie de una bomba. Explicar el desmontaje o la inspección interna ya sería otra historia: eso implicaría ampliar el alcance del trabajo y apoyarse en documentación técnica específica.

Propuesta visual de la bomba eléctrica

La figura 6 presenta una bomba auxiliar de apariencia genérica, con cuerpo, motor, base y conexiones. El borrador utiliza la denominación DUKES; la ilustración no acredita la reproducción de un número de parte de ese fabricante.

Figura 6

Representación conceptual de la bomba eléctrica auxiliar



Nota. Representación gráfica de la bomba eléctrica auxiliar realizada en SolidWorks.

La construcción posterior deberá distinguir los puertos de combustible de las conexiones eléctricas. Esta diferenciación es clave, sobre todo para evitar que una conducción termine conectándose, al menos en apariencia, a un punto que no pertenece al circuito hidráulico.

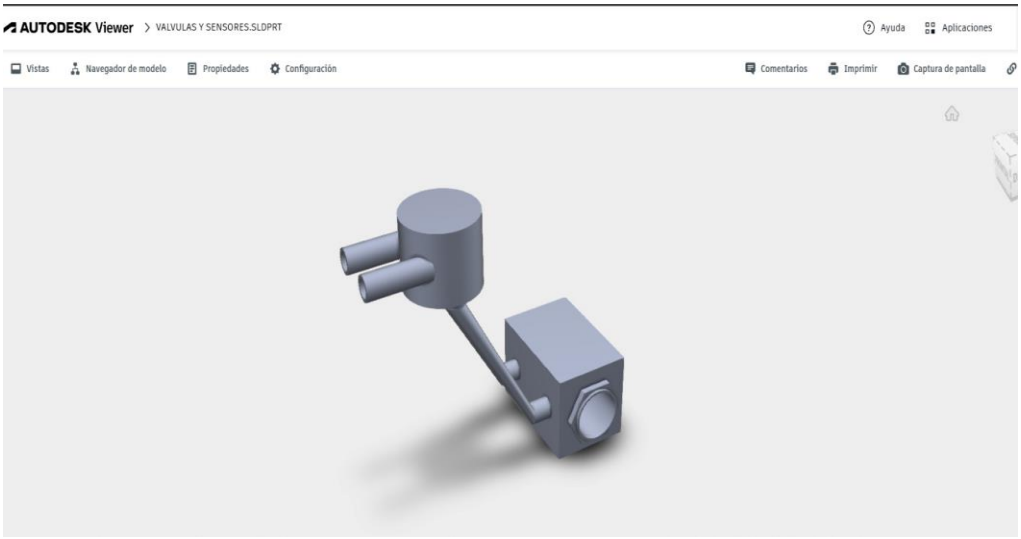
La base y los orificios de fijación sirven de guía cuando se revisa el montaje, y la posición de los puertos, a su vez, condiciona por dónde van las líneas. De la figura, eso sí, no se pueden sacar velocidades, presiones ni condiciones de activación. Por eso las actividades iniciales se van a centrar en identificar su función auxiliar y en diferenciarla de la bomba asociada al motor.

Válvula de corte y mecanismo de mando

La figura 7 representa de manera conceptual el cuerpo de una válvula y un mando remoto. Ambos elementos se muestran como partes relacionadas, para evitar que el estudio se limite al cuerpo de paso del combustible.

Figura 7

Representación conceptual de la válvula de corte y su mecanismo de mando



Nota. Representacion grafica la válvula de corte y su mecanismo de mando realizada en SolidWorks.

La revisión deberá identificar puertos, sentido de accionamiento y relación entre mando y válvula. El cable representa una transmisión mecánica y no una conducción de combustible.

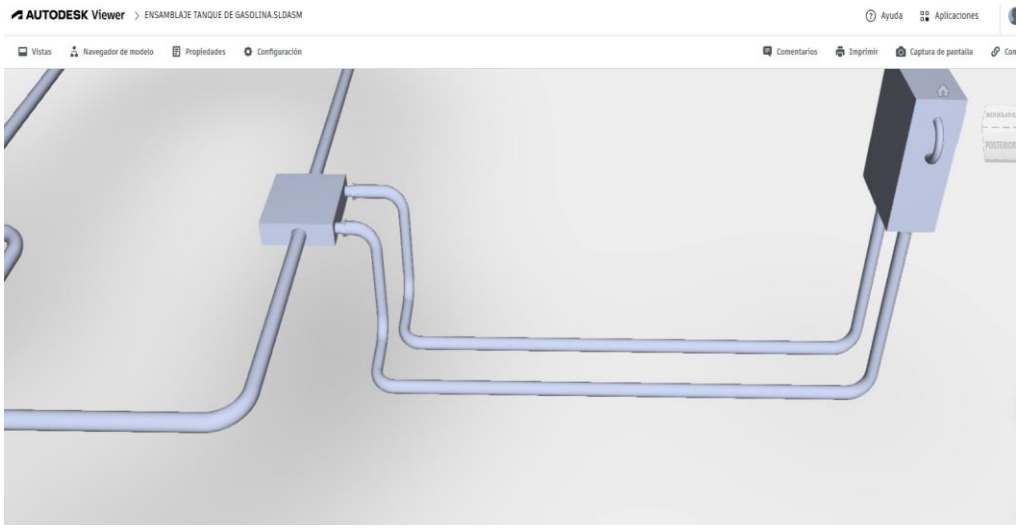
Se propone permitir la selección independiente del mando y del cuerpo. Una animación de apertura o cierre requerirá validar recorrido, posiciones y lógica. El rojo identifica visualmente el mando, sin acreditar el acabado de una unidad específica.

Líneas de alimentación y retorno

La figura 8 muestra dos conducciones separadas. Su disposición facilita explicar que alimentación y retorno deben conservar identidad propia, aunque puedan encontrarse próximas dentro de un conjunto.

Figura 8

Representación conceptual de las líneas de alimentación y retorno



Nota. La imagen en pantalla representa las líneas de alimentación y retorno creadas en SolidWorks.

La imagen no reproduce longitudes ni trazados de instalación. Se deberán registrar origen, destino, diámetro, soportes, curvaturas y orientación de terminales; no basta con unir los centros de dos componentes.

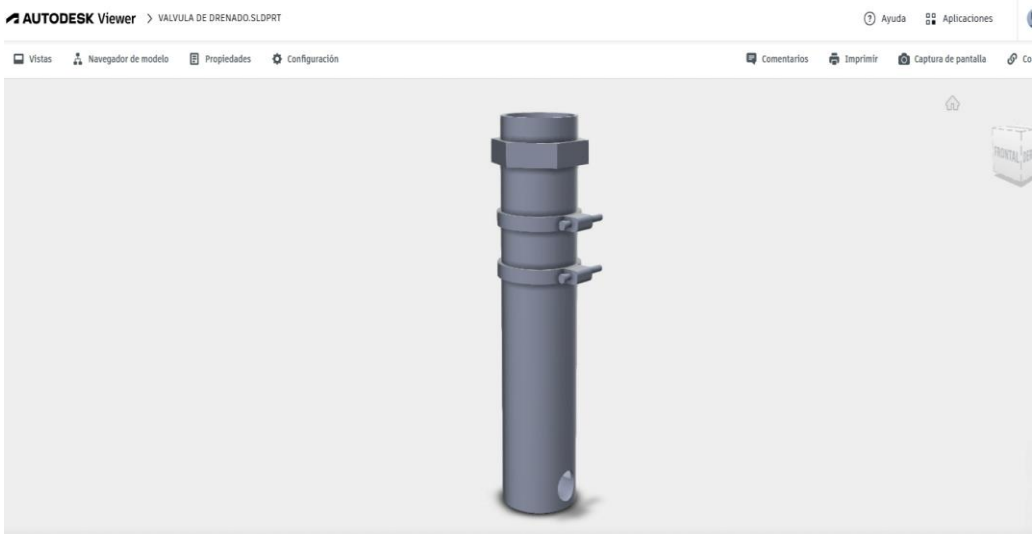
Cada función conservará un código en la matriz de conexiones. El estudiante podrá seleccionar una línea y reconocer sus extremos. La continuidad se revisará desde varios ángulos, evitando interpretar los cruces como uniones.

Elementos de drenaje y ventilación

La figura 9 reúne una propuesta visual de elementos de drenaje y una conducción de ventilación. Se muestran separados para distinguir sus funciones y evitar interpretar la composición como una instalación verificada.

Figura 9

Representación conceptual de elementos de drenaje y ventilación



Nota. Corresponde a una captura de los elementos de drenaje y ventilación de SolidWorks .

El drenaje representa los puntos de extracción, mientras que la ventilación se relaciona con el intercambio con la atmósfera. El número de salidas y la forma del bloque deberán comprobarse antes de construir cualquier réplica.

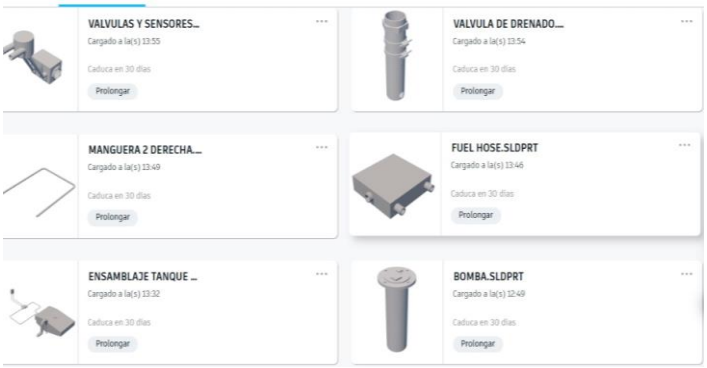
La ficha identificará cada elemento junto con su conexión correspondiente. El estudiante deberá distinguir estas funciones de la alimentación del motor. Cabe aclarar que la ilustración no describe una secuencia de servicio, ni tampoco sustituye los procedimientos de mantenimiento establecidos.

Componentes asociados al motor

La figura 10 agrupa representaciones conceptuales de bomba, filtro, unidad de control, distribuidor y cuatro elementos de inyección. La composición facilita reconocer que la alimentación del motor comprende varias funciones diferenciadas.

Figura 10

Representación conceptual de los componentes de alimentación del motor



Nota. Ilustración conceptual de los componentes de alimentación del motor realizada en SolidWorks.

La posición de las piezas responde a su presentación y no al montaje real. El filtro, por su parte, depende de la configuración específica. Estas relaciones requieren la figura 1 para su debida interpretación, en todo caso, un contraste documental posterior.

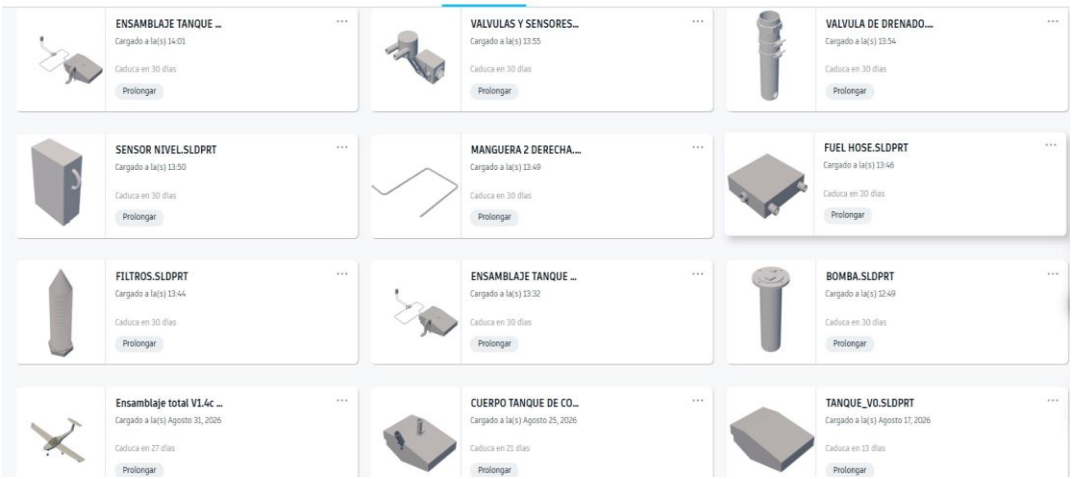
La construcción distinguirá los puertos de combustible, de aire y de accionamientos. La explicación de los inyectores se vincula a la admisión del motor de referencia, y no a una inyección directa en la cámara de combustión. No se representan, en este caso, detalles internos.

Organización del conjunto de componentes

La figura 11 reúne los componentes en una vista de inventario. La separación permite reconocer las piezas principales y comparar su papel dentro de la propuesta sin atribuir a la composición una escala común verificada.

Figura 11

Conjunto conceptual de componentes del sistema de combustible



Nota. Componentes del sistema de combustible del avión DA20-C1 realizado en SolidWork.

La imagen no muestra el trazado completo de las conexiones, y eso no es un descuido: es intencional. De esa forma puede usarse con fines de identificación, sin correr el riesgo de que una disposición pensada para ilustrar termine funcionando como si fuera un esquema de montaje. El ensamblaje técnico, en cambio, queda para más adelante, cuando las coordenadas y las relaciones ya estén verificadas.

Para organizar los archivos se propone seguir una jerarquía que va desde el almacenamiento hasta la alimentación del motor, pasando por acondicionamiento, presurización, control y conducción. Cada componente va a conservar un código único, vinculado tanto a su ficha como a la matriz de conexiones. Con esta estructura va a ser más

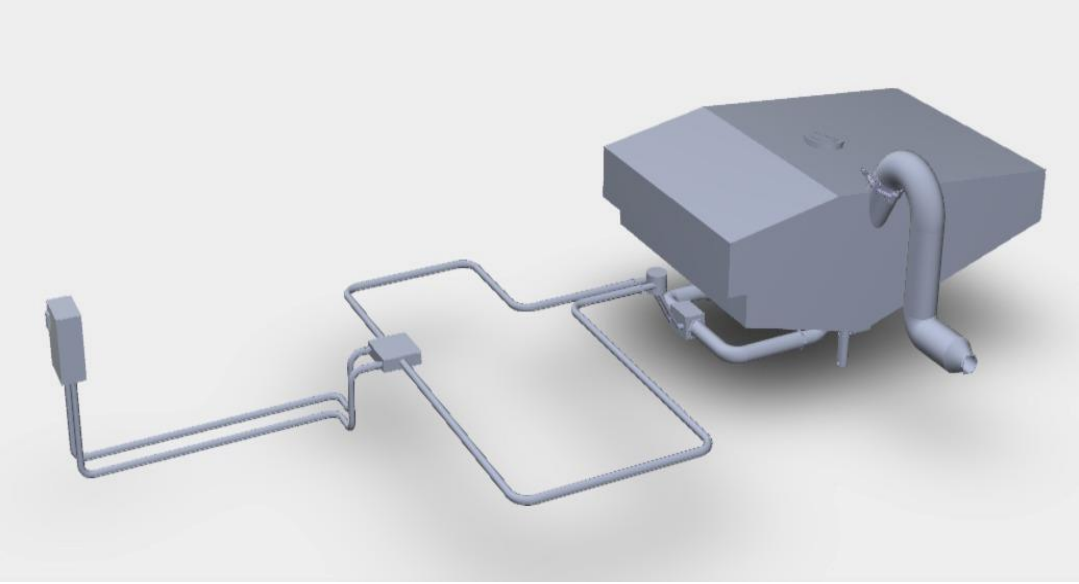
fácil activar o aislar subconjuntos dentro del entorno de visualización, y también actualizar piezas sin que pierdan su identificación.

Organización visual prevista para realidad virtual

La figura 12 muestra una organización simplificada de los elementos prioritarios, pensada para orientar una escena de reconocimiento inicial, con piezas visibles y separables, antes de meter ya un contexto completo de la aeronave.

Figura 12

Organización conceptual de componentes para una futura escena de RV



*Nota. C*orresponde a una captura de los componentes a presentarse en una escena de realidad virtual.

La selección de detalle deberá responder a las actividades del estudiante. Los componentes tendrán nombres consistentes y un punto de selección que permita identificarlos sin ocultar piezas próximas. La escena podrá ofrecer vistas de conjunto y de componente, con retorno al estado inicial.

Esta lámina no demuestra reducción de polígonos, compatibilidad de exportación ni rendimiento en un visor. Es una propuesta de presentación del contenido. La condición de

activo optimizado solo podrá atribuirse a un archivo geométrico después de comparar sus métricas y comprobar que conserva los rasgos necesarios para la instrucción.

Estado de los entregables técnicos

La revisión distingue los productos documentales disponibles de los entregables técnicos que requieren desarrollo adicional. La tabla 7 resume ese estado y establece la evidencia necesaria para dar por cerrada cada actividad. Esta clasificación permite valorar el avance sin confundir imágenes, archivos editables y pruebas.

Tabla 7

Estado de los productos y evidencias requeridas

Entregable	Estado en esta versión	Evidencia para su cierre
Inventario funcional	Está organizado a nivel documental.	Falta compararlo con la configuración de referencia.
Figuras conceptuales	Se incorporaron doce figuras.	Falta revisar el contenido antes de usarlas de forma aplicada.
Fichas de componentes	Estructuradas en los apéndices.	Identificación de parte y medidas.
Modelos CAD editables	No disponibles en el expediente.	Archivos nativos y vistas de comprobación.
Ensambladura técnica	Detalle de propuesta.	Relaciones y coordenadas verificadas.

Entregable	Estado en esta versión	Evidencia para su cierre
Mallas optimizadas	Protocolo definido.	Archivos y métricas comparativas.
Integración en RV	Planificada.	Escena ejecutable y registro de importación.
Evaluación educativa	Instrumentos propuestos.	Aplicación y análisis de resultados.

La tabla permite priorizar la continuidad. Primero debe confirmarse la configuración y completarse el levantamiento; después podrán construirse los archivos editables y sus versiones de malla. La evaluación educativa corresponde a una etapa posterior a la revisión técnica del contenido.

Correspondencia entre objetivos y resultados

La tabla 8 relaciona los objetivos con los productos obtenidos y con su alcance, El resultado se expresa de manera verificable: una descripción estructurada demuestra organización documental, mientras que la precisión geométrica, en cambio, necesita registros dimensionales y archivos de modelado propiamente dichos.

Tabla 8

Trazabilidad de los objetivos y productos

Objetivo	Producto de esta etapa	Alcance del resultado
Caracterizar componentes y relaciones	Inventario, clasificación funcional y esquema.	Síntesis documental a partir del material previo.
Estructurar la representación	Diez ilustraciones y criterios por componente.	Representación visual del concepto; no editable.
Definir optimización y verificación	Matrices, protocolos y registros de apéndices.	Procedimiento listo para aplicación posterior.

El objetivo general se alcanza en su dimensión documental y de propuesta. Esta investigación se encarga de organizar el contenido que habrá que representar, y de dejar establecido cómo se van a verificar los futuros activos. La implementación completa en realidad virtual, eso sí, sigue dependiendo de la construcción y la evaluación técnica que viene después.

El trabajo previo ya proponía un levantamiento y un desarrollo de modelos. Esta revisión mantiene esas actividades dentro de la ruta a seguir, pero se cuida de no darlas por terminadas mientras no haya registros que permitan comprobarlas.

Esta precisión cambia el alcance de las conclusiones y, al mismo tiempo, refuerza la relación entre método y evidencia.

La trazabilidad también sirve para decidir si una nueva actividad realmente aporta al objetivo. Un acabado visual adicional no va a resolver la falta de medidas; tampoco una prueba

de rendimiento corregirá una función mal identificada. Por eso, cada observación debe abordarse en la fase que realmente pueda generar la evidencia necesaria.

Discusión de los resultados

El aporte principal de este trabajo es la organización de un recurso que relaciona inventario, representación y verificación. El documento logra superar la dispersión del material inicial al asignar una función concreta a cada figura y definir la evidencia que necesita cada afirmación técnica.

Díaz (2023) vincula la retopología con la comparación de calidad visual y desempeño. Frente a ese antecedente, el presente trabajo todavía no dispone de mallas evaluables. Sin embargo, esta comparación permite identificar una diferencia concreta: una imagen simplificada expresa apenas una intención visual, mientras que una optimización real requiere datos obtenidos directamente de la geometría y de su ejecución.

Santa et al. (2024) documentan refinamiento e importación después de generar sus modelos. La propuesta del DA-20 deberá recorrer igualmente una fase de construcción y comprobación técnica antes de integrarse. La apariencia tridimensional de las ilustraciones no elimina esa necesidad.

Martínez et al. (2024) destacan la relación entre efectividad y diseño de actividades alrededor de la experiencia inmersiva. Por ello, el recurso propuesto incluye tareas previas, exploración y cierre, en lugar de considerar suficiente la observación libre de los componentes.

Su aplicación deberá producir, en algún momento, evidencia local de aprendizaje.

La principal diferencia respecto de los resultados inicialmente afirmados en el borrador es el grado de demostración alcanzado. Por ahora no hay pruebas que respalden la fidelidad dimensional, la fluidez de ejecución ni una mejora educativa real. Y admitirlo no es un detalle menor: al contrario, es lo que permite plantear una continuidad concreta de aquí en adelante, sin caer en el error de presentar beneficios todavía potenciales como si ya fueran logros comprobados. Por ahora no hay pruebas que respalden la fidelidad dimensional, la fluidez de

ejecución ni una mejora educativa real. Y admitirlo no es un detalle menor: al contrario, es lo que permite plantear una continuidad concreta de aquí en adelante, sin caer en el error de presentar beneficios todavía potenciales como si ya fueran logros comprobados.

De ahí sale una prioridad práctica bastante clara: antes de meterle más detalle gráfico, primero hay que conseguir referencias y medidas en las que realmente se pueda confiar. La calidad visual, tal como está, ya alcanza para discutir cómo se presenta el recurso. Lo que viene después es otra cosa: ahí sí va a hacer falta geometría verificable, conexiones correctas y una evaluación hecha en condiciones de uso bien definidas.

Condiciones para la continuidad del desarrollo

La continuidad del proyecto requiere cerrar, en primer lugar, la identificación de la configuración. Se deberá seleccionar la aeronave o el conjunto de referencia, confirmar la documentación aplicable y asignar los responsables de la revisión. Esta decisión es la que le va a dar sentido a las medidas que vengan después, y de paso evita mezclar sin querer rasgos que pertenecen a instalaciones distintas.

La segunda condición tiene que ver con terminar el levantamiento de los componentes prioritarios. El depósito, las bombas, la válvula, el gascolator y los puntos de conexión necesitan contar con datos suficientes para poder construir una geometría que se pueda revisar después. Las conducciones, en cambio, se van a modelar más adelante, una vez que estén definidas las posiciones de sus extremos y los espacios disponibles para el montaje.

La tercera condición es crear los archivos editables y el ensamblaje de referencia. El modelador deberá conservar las decisiones de simplificación junto con las observaciones de revisión. Los errores funcionales van a tener prioridad sobre las mejoras de acabado, porque pueden afectar cómo se interpreta el sistema, aunque a simple vista pasen desapercibidos.

La cuarta condición consiste en ponerse de acuerdo sobre la plataforma de destino y lo que esta exige. Antes de exportar el conjunto completo, conviene probar primero con un activo de prueba el formato de intercambio, las unidades, los materiales y cómo responde la

interacción. Hacerlo temprano tiene una ventaja clara: permite detectar a tiempo problemas de escala o compatibilidad, cuando todavía son fáciles de corregir.

La quinta condición consiste en aplicar los protocolos de rendimiento y evaluación didáctica. Antes de empezar a medir, los criterios de aceptación ya tienen que estar definidos, y los resultados van acompañados de registros que permitan repetir el análisis más adelante si hace falta. Y si algún criterio no se llega a cumplir, quedará documentado tanto lo que se corrigió como la nueva prueba que se hizo para verificarlo.

El paquete de continuidad queda organizado en los apéndices, y su función es simple: llevar la propuesta desde lo visual hasta convertirla en un recurso técnico que de verdad se pueda evaluar. Cada fase tiene que cerrarse con evidencia suficiente y con una decisión explícita sobre si se acepta o no, para que las actividades pendientes no terminen perdiéndose entre las distintas versiones del documento o de los archivos.

.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

La investigación sirvió para armar la base documental y visual de la propuesta de modelado del sistema de combustible del Diamond DA-20. Como resultado se obtuvo un inventario funcional de los componentes, sus relaciones dentro del sistema, los criterios que se usarán para representarlos y los procedimientos para verificar que todo esté correcto. Con esto queda una organización más clara para seguir avanzando en el desarrollo, con evidencias que se pueden identificar sin ambigüedad.

Respecto del primer objetivo, se caracterizaron los grupos de almacenamiento, acondicionamiento, presurización, control, conducción, distribución y funciones auxiliares. Esta organización facilita relacionar cada pieza con su papel dentro del circuito. La configuración concreta de la aeronave, sin embargo, deberá contrastarse con la documentación aplicable antes de utilizar el recurso para instrucción técnica específica.

En cuanto al segundo objetivo, se incorporaron diez ilustraciones conceptuales y dos composiciones explicativas. Estos gráficos permiten ver los componentes y mencionar las características de identificación. Se permite medir la geometría tridimensional y garantizar que se reproduzcan fielmente las piezas realmente instaladas.

Se planteó para el tercer objetivo un recorrido que comienza en el modelado y finaliza en la exportación, optimizando la evaluación. Los instrumentos que aparecen en los apéndices indican qué datos se tienen que llenar y cómo conectarlos a cada producto. La parte de optimización todavía queda pendiente de demostrar más adelante, comparando los archivos y probándolos en el equipo de destino, cuidando siempre no perder los rasgos que son importantes para la instrucción.

En conclusión, esta propuesta deja una base bien organizada para seguir desarrollando el proyecto. El paso decisivo que falta es convertir toda esta información y las representaciones en modelos editables y verificados, integrarlos en una plataforma y evaluar cómo funcionan en el uso real. En definitiva, la calidad del recurso dependerá de mantener la correspondencia entre el contenido técnico, la geometría y la actividad didáctica.

Recomendaciones

Se sugiere el inicio de continuidad a partir de una ficha de configuración que haya sido aprobada por el responsable técnico. La adecuada identificación de la aeronave, modificaciones de esta y documentación que resulta aplicable debe ser previa al modelado final definitivo. Tal medida evitará que se incorporen geometrías de piezas que no correspondan al estudio.

El foco del levantamiento dimensional se deberá realizar en primer lugar sobre las envolventes, planos de apoyo y puntos de unión. Los accesorios más pequeños se registran solo si ayudan a identificar la pieza o explican una relación funcional. El registro de toda medición debe ser con indicación de la unidad empleada, instrumento utilizado, fecha y responsable. De igual forma, se dejará constancia de cualquier limitación de acceso, la cual haya condicionado la toma de los datos.

Es recomendable desarrollar un componente representativo inicialmente e inspeccionar su recorrido completo, desde el modelo maestro hasta el motor de visualización.

Esta prueba permitirá establecer las unidades, los ejes, los materiales y la organización general antes de preparar el resto de los activos. Los parámetros de exportación aceptados deberán registrarse y reutilizarse siempre de forma controlada.

El ensamblaje debe revisarse mediante la matriz de conexiones y varias vistas, prestando especial atención a los puertos hidráulicos, las conexiones eléctricas y los mandos mecánicos. Las conducciones, por su parte, deberán modelarse a partir de trayectorias verificadas y no de una simple composición visual. Cualquier diferencia de configuración se registrará de manera explícita como tal.

Una experiencia atractiva puede coexistir perfectamente con errores conceptuales; de la misma manera, una dificultad de interacción puede impedir que el estudiante demuestre un conocimiento que en realidad sí posee. La interpretación de los resultados deberá tener siempre en cuenta estas diferencias.

Referencias

Caballero, J., Rojas, J., Lujerio, D., Sánchez, A., & Huaranga, J. (2025). Análisis de satisfacción del curso modelado 3D de Realidad Aumentada para mejorar la capacidad espacial en estudiantes de ingeniería. *Revista InveCom, 5*(2), e502086. https://doi.org/10.5281/zenodo.13901014

Cabero, J., Valencia, R., & Llorente, C. (2022). Ecosistema de tecnologías emergentes: realidad aumentada, virtual y mixta. *Revista Tecnología, Ciencia y Educación*, (23), 7–22. https://doi.org/10.51302/tce.2022.1148

Díaz, M. (2021). Modelado 3D de precisión en procesos de digitalización de escultura construida. *AusArt, 9*(2), 113–125. https://doi.org/10.1387/ausart.23077

Díaz, M. (2023). Retopología de mallas aplicada a modelos 3D de patrimonio cultural para la mejora de la visualización interactiva en realidad virtual y realidad aumentada. *Ge-conservación, 24*(1), 87–98. https://doi.org/10.37558/gec.v24i1.1147

Durañona, P., & Costa, C. (2021). Análisis cualitativo de aplicaciones de realidad virtual en empresas manufactureras usando investigación bibliométrica: un estudio de la perspectiva latinoamericana. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, 13*(26), 62–83. https://periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/view/v13n2604

Martínez, S., Lores, B., & Ruiz, J. (2024). Efectividad de las tecnologías inmersivas para potenciar el aprendizaje en educación superior: una revisión sistemática. *Edutec, Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, (90), 54–73. https://doi.org/10.21556/edutec.2024.90.3391

Rodríguez, M., Poblano, E., Alvarado, L., González, A., & Rodríguez, M. (2021). Validación por juicio de expertos de un instrumento de evaluación para evidencias de

aprendizaje conceptual. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo, 11*(22), e080. https://doi.org/10.23913/ride.v11i22.960

Sandoval, A., & Tabash, F. (2021). Realidad virtual como apoyo innovador en la educación a distancia. *Innovaciones Educativas, 23*(especial), 120–132. https://doi.org/10.22458/ie.v23iespecial.3622

Santa, R., García, C., & Infante, J. (2024). Inteligencia artificial para la creación de modelos 3D aplicados en un ambiente de realidad virtual. *Ciencia y Poder Aéreo, 19*(2), 112–121. https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.825

Apéndices