Realizar el modelado 3D detallado del sistema eléctrico, replicando fielmente la interfaz de cabina y los elementos de distribución de energía de la aeronave.

Hernández Quisaguano, Roberto Javier y Lema Muñoz, Dennis Alexander

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. Zurita Chango Marco Antonio

04 de septiembre de 2026

Latacunga

Reporte de verificación de contenidos



Informe de análisis
Compilatio Magister+ | CBTECH Plus-ECU

TESIS_LEMA_HERNANDEZ_2026 (3)-1

ID : a0751e748e7d16890b19c65ac132baf75ef7a220

5%
Textos sospechosos

Nombre del fichero : TESIS_LEMA_HERNANDEZ_2026 (3)-1.txt
Tamaño del archivo original : 2,11 MB
Número de palabras : 11.652

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 <1%

Sintáctica <1% Semántica 0% Traducciones

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.

Detección de IA 4%

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
Pasajes entre comillas, a menudo indicativos de una cita.

MARCO ANTONIO ZURITA CHANGO

Capt. Téc. Avc. Zurita Chango Marco Antonio

Director de Tesis

C.C.:0704458272

Departamento de Seguridad y Defensa

Carrera Tecnológica Superior en Ciencias Militares Aeronáuticas

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **"Realizar el modelado 3D detallado eléctrico, replicado fielmente la interfaz de cabina y los elementos de distribución de energía de la aeronave"** fue realizado por los señores **Hernández Quisaguano, Roberto Javier y Lema Muñoz, Dennis Alexander** 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 04 de septiembre del 2026

MARCO ANTONIO ZURITA CHANGO

Capt. Tec. Avc. Zurita Chango, Marco Antonio

Director de tesis

C.C.: 0704458272

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Seguridad y Defensa

Carrera de Tecnología Superior Universitaria en Ciencias Militares Aeronáuticas

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Hernández Quisaguano, Roberto Javier y Lema Muñoz Dennis Alexander,** con cédulas de ciudadanía N°1726403841 y 1756075709 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: "**Realizar el modelado 3D detallado del sistema eléctrico, replicado fielmente la interfaz de cabina y los elementos de energía de la aeronave.**" 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 04 de septiembre del 2026





Hernández Quisaguano, Roberto Javier

C.C.: 1726403841

Lema Muñoz, Dennis Alexander

C.C.:1756075709

Departamento de Seguridad y Defensa

Carrera de Tecnología superior Universitaria en ciencias militares aeronáuticas

Autorización de Publicación

Nosotros **Hernández Quisaguano, Roberto Javier y Lema Muñoz, Dennis Alexander**, con cédulas de ciudadanía n°1726403841 y 1756075709, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: "**Realizar el modelado 3D detallado del sistema eléctrico, replicado fielmente la interfaz de cabina y los elementos de energía de la aeronave.**" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 04 de septiembre del 2026

Hernández Quisaguano, Roberto Javier

C.C.:1726403841

Lema Muñoz, Dennis Alexander

C.C.:1756075709

Dedicatoria

Primeramente, dedicamos este trabajo a Dios, por brindarnos la fortaleza, sabiduría y perseverancia necesarias para superar cada uno de los obstáculos que se han presentado a lo largo de nuestra formación militar. A Él agradecemos por guiarnos siempre por el camino correcto, dándonos la voluntad y el valor para continuar adelante y cumplir cada una de las metas que nos hemos propuesto.

A nuestros padres, quienes han sido un pilar fundamental en nuestras vidas, por su amor incondicional, apoyo constante, sacrificios y consejos. Gracias por creer en nosotros y motivarnos a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles, impulsándonos a ser cada día mejores personas y profesionales.

A nuestras familias, por acompañarnos durante este importante proceso de formación, por su comprensión, cariño y palabras de aliento. Su apoyo ha sido fundamental para mantenernos firmes y perseverantes en el cumplimiento de nuestros objetivos y en la construcción de nuestro futuro dentro de la carrera militar.

Finalmente, dedicamos este trabajo a nuestros instructores y a todo el personal militar que ha contribuido con nuestra formación, compartiendo sus conocimientos, experiencias, disciplina y valores. Cada enseñanza recibida representa una base fundamental para nuestro crecimiento personal y profesional, y nos permitirá desempeñarnos con honor, responsabilidad, compromiso y lealtad al servicio de la República del Ecuador.

A todos ustedes, nuestro más sincero agradecimiento y reconocimiento, porque han sido parte esencial de este camino que hoy nos permite avanzar con orgullo y determinación hacia el cumplimiento de nuestros ideales.

Agradecimiento

En primer lugar, agradecemos a Dios por brindarnos la vida, salud, fortaleza y sabiduría necesarias para superar cada desafío durante nuestra formación, guiándonos siempre para alcanzar nuestros objetivos y prepararnos para servir con honor y compromiso a nuestra patria, el Ecuador.

A nuestros padres y familiares, expresamos nuestro eterno agradecimiento por su amor, apoyo incondicional, sacrificios y palabras de motivación, que nos permitieron seguir adelante durante todo este proceso y nunca rendirnos ante las dificultades.

Agradecemos profundamente a la Fuerza Aérea Ecuatoriana y, de manera especial, a la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea (ETFA), por brindarnos la oportunidad de formar parte de esta gloriosa institución y por las facilidades otorgadas para el desarrollo de la presente investigación, esperando que esta constituya un aporte para las futuras generaciones.

De igual manera, agradecemos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, a sus docentes, instructores y personal administrativo, por compartir sus conocimientos y experiencias, contribuyendo a nuestra formación académica y profesional.

Un especial agradecimiento a nuestro tutor de tesis, Capt. Tec. Avc. Zurita Chango Marco Antonio por su orientación, compromiso y dedicación durante el desarrollo de este proyecto, así como por sus valiosas recomendaciones que permitieron fortalecer nuestra investigación.

Índice de contenido

Carátula 1

Reporte de verificación de contenidos 2

Certificación 3

Responsabilidad de Autoría 4

Autorización de Publicación 5

Dedicatoria 6

Agradecimiento 7

Índice de contenido 8

Índice de Figuras 12

Resumen 13

Abstract 14

Capítulo I 15

Introducción 15

Planteamiento del problema 16

Formulación del problema o pregunta de investigación 17

Objetivos 17

Objetivo general 17

Objetivos específicos 17

Justificación 18

Capítulo III 20

Estado del arte 20

Marco teórico 22

Modelado tridimensional aplicado a sistemas aeronáuticos 22

Diseño asistido por computadora y modelos CAD *22*

Modelado paramétrico y ensamblaje en SolidWorks *23*

Sistema eléctrico aeronáutico y representación digital 24

Generalidades del sistema eléctrico en aeronaves de aviación general *24*

Corriente alterna y corriente continua en sistemas aeronáuticos *24*

Generación de electricidad: el alternador *25*

Almacenamiento de energía: la batería *26*

Distribución de la energía: buses eléctricos y circuit breakers *26*

Secuencia de operación eléctrica y relación con el modelo *27*

Interfaz de cabina *28*

Realidad virtual y realidad aumentada en mantenimiento *28*

Mantenimiento virtual *29*

Gemelos digitales y su relación con los modelos tridimensionales *30*

Modelado tridimensional como recurso para la formación técnica *30*

Capítulo III 31

Metodología 31

Enfoque de investigación 31

Tipo y diseño de investigación 31

Unidad de análisis, población y muestra 32

Técnica e instrumentos 32

Recursos y configuración del modelo 33

Trazabilidad y gestión de versiones 34

Criterios de presentación gráfica 34

Procedimiento 34

Plan de análisis y criterios de modelado 35

Validación y confiabilidad 36

Consideraciones éticas y delimitación técnica 36
Capítulo IV 38
Análisis y discusión de los resultados 38
Resultados de la recopilación y análisis de información técnica 38
Documentación técnica del sistema de generación y alimentación eléctrica 40
Componentes seleccionados para el modelado 40
Resultados del modelado tridimensional de los componentes 41
Instrument Panel — Panel base principal 42
Circuit-Breaker Panel (ítem 23) 42
GDU 620 Display (ítem 8) 43
GNS 430W — Navegación GPS/COM/NAV (ítem 12) 43
GMA 340/345 — Panel de audio (ítem 11) 44
Air Speed Indicator (ítem 10) 44
Altimeter (ítem 13) 44
Master Switch Panel — AVIONICS MASTER / FUEL PUMP / GEN/BAT Switch (ítem 2) 45
Análisis dimensional y geométrico de los modelos 45
Resultados del ensamblaje tridimensional 47
Verificación del modelo tridimensional 47
Resultados del cableado eléctrico de los componentes seleccionados 49
Resultado final del modelado 51
Discusión de los resultados 52
Cumplimiento de los objetivos de la investigación 53
Capítulo V 55
Conclusiones y recomendaciones 55
Conclusiones 55
Recomendaciones 57

Referencias 60

Apéndice 62

Índice de tablas

Tabla 1 Información técnica utilizada y su aplicación en el modelado 39

Tabla 2 Inventario definitivo de componentes modelados con nomenclatura oficial..... 41

Tabla 3 Cotas referenciales adoptadas para el modelado..... 46

Tabla 4 Matriz de verificación del modelo tridimensional..... 48

Tabla 5 Cableado modelado desde los componentes del panel hasta su destino en la aeronave 50

Tabla 6 Cumplimiento de los objetivos específicos..... 53

Resumen

El objetivo de esta investigación fue desarrollar una representación tridimensional del sistema eléctrico y de la interfaz de cabina de la aeronave Diamond DA-20 mediante un flujo de trabajo de diseño asistido por computadora. Se usó una metodología no experimental, de tipo documental, de desarrollo, cualitativa y técnica. Los datos generados a partir de la muestra que existe se organizan en una matriz documental, técnico de insumos y una ficha de verificación geométrica y dimensional. Se decidió que las 27 unidades funcionales: en panel, instrumentos, pantalla principal, módulo secundario, breakers, interruptores, batería, bloque de distribución y estructura posterior, son relevantes y trazables y su probable representación es posible. La organización del modelo como montaje de tipo académico fue documentada con vistas de componentes frontal, posterior, isométrica, explosada y acotada. La revisión comprobó la correlación interna de las cotas referenciales adoptadas por la geometría construida y la organización de los elementos en el conjunto. Según las conclusiones, la unión del gráfico, criterios de dimensión y control de versión convierte la información heterogénea en base 3D, que resulta útil para su visualización y en la formación técnica deluxe. A pesar de esto, las cuotas utilizadas no son datos certificados del fabricante y el producto no es un recurso de apoyo a manuales oficiales, simulaciones de funciones y documentaciones de mantenimiento. Se concluye que el modelo tiene fines académicos y se establecerán los lineamientos para las posteriores validaciones con medida directa y archivos nativos de SolidWorks.

Palabras clave: Diseño asistido por computadora, Diamond DA-20, interfaz de cabina, modelado tridimensional, sistema eléctrico.

.

Abstract

This study aimed to build a 3D picture of the electrical system and cockpit controls for the Diamond DA-20 plane using computer design. We did a hands-on, technical study, collecting facts without altering them. Information was organized with graphs, parts lists, and a form for verifying shapes and sizes. We selected 27 key elements, categorizing them into the primary dashboard, instruments, main display, a secondary unit, circuit breakers, switches, the energy source, a linking part, and the rear support. The build was put together for a course, featuring pictures of parts, the front, back, different angles, taking it apart, and its measurements. A check showed the measurements we picked matched the shapes we made, and everything fit together nicely. The research showed that mixing pictures, measurement rules, and update records turns different data into a real 3D foundation for looking at and figuring out the airplane. However, the measurements are not known factory standards, and this work is not a replacement for official books, how it runs, or fixing guides. We can say the model works for school and gives a good base to check later with real measurements and the plane's own design files.

Keywords: Design aided by computers, pilot's control panel, a Diamond DA-20 plane, electric setup, shaping in three dimensions

Capítulo I

Introducción

La modelación informática de sistemas de ingeniería integra información geométrica, dimensional y funcional de manera tal que facilita la visualización y la documentación. La integración en el ámbito aeronáutico supone trabajar con referencias verificables por la complejidad de las piezas y la relación espacial existente entre los componentes de una aeronave. Con esto, se logra que los datos sean de conocimiento público, y cualquier persona o empresa puede obtenerlos y utilizarlos, siempre que puedan comprobar la procedencia que allí se expone. Si la procedencia no se conoce, quedará automáticamente excluido, y sólo podrá hacerse con los datos que se expusieron a la licitación pública.

La aeronave Diamond DA-20 constituye el objeto de estudio de esta investigación, específicamente en lo relacionado con su sistema eléctrico y su interfaz de cabina. El propósito consiste en obtener una representación tridimensional de los componentes seleccionados, de su geometría general y de su disposición relativa dentro del conjunto, sin atribuir al modelo capacidades de simulación funcional que no forman parte del alcance.

Para la elaboración del modelo se utiliza SolidWorks como diseño asistido por computador. El protocolo es un proceso que engloba la recogida de documentación técnica, planos, diagramas, fotos, referencias dimensionales, identificación de componentes posterior, modelado individual de cada pieza, montaje en ensamblajes y comprobación de que corresponden a las fuentes utilizadas.

La ausencia de documentos técnicos específicos del fabricante es un requisito fundamental del proyecto. Por ende, se valoran solamente aquellas características que puedan ser comprobadas con información suficientemente documentada, gráfica o dimensional. Las formas, dimensiones o configuraciones que no puedan comprobarse se excluyen o se identifican expresamente como aproximaciones, con el fin de evitar que una inferencia sea presentada como un dato técnico real.

El resultado esperado es un recurso digital de carácter académico y técnico. Este recurso permitirá observar de manera integrada los elementos incluidos en el alcance, conservar la trazabilidad de las referencias empleadas y establecer una base geométrica para posteriores aplicaciones de visualización, capacitación o desarrollo de entornos inmersivos.

Planteamiento del problema

El análisis de un sistema aeronáutico exige el reconocimiento de sus componentes, el conocimiento de su ubicación y el conocimiento de las relaciones que se establecen entre ellos y el conjunto. Cuando la información está repartida entre esquemas, planos, fotografías, manuales y medidas parciales, la interpretación espacial es parcial. La dificultad aumenta si, a partir de imágenes bidimensionales o de referencias que no contienen todas las dimensiones de la pieza, hay que reconstruir la pieza.

Santana et al. (2021) comprobaron que la geometría de una pieza mecánica puede reconstruirse mediante la digitalización de proyecciones ortogonales y su posterior incorporación a un entorno CAD. Este antecedente evidencia que la obtención de un modelo virtual depende de la calidad de las referencias, de un procedimiento ordenado y de la verificación de las características geométricas antes de utilizar el modelo en etapas posteriores.

En el caso del Diamond DA-20, no se dispone de documentación técnica completa para todos los componentes del sistema eléctrico y de la interfaz de cabina que podrían formar parte de la representación. Clasificar y contrastar la información disponible antes de definir qué elementos pueden modelarse y cuál es el nivel de detalle técnicamente justificable para cada uno.

La inexistencia de un ensamblaje digital desarrollado bajo el alcance específico de este proyecto impide disponer de una vista integrada de los componentes seleccionados. La información bidimensional permite reconocer conexiones o formas generales, pero no siempre facilita comprender la posición relativa, el volumen, las interferencias o la relación geométrica entre piezas.

Por tanto, el problema de investigación se concentra en transformar información técnica heterogénea en una representación tridimensional coherente, conservando la trazabilidad de los datos y evitando incorporar geometrías no verificadas. El modelo deberá integrar las piezas seleccionadas, mantener correspondencia con las referencias disponibles y declarar las limitaciones derivadas de la falta de información.

Formulación del problema o pregunta de investigación

¿Cómo desarrollar un modelo tridimensional del sistema eléctrico y de la interfaz de cabina de la aeronave Diamond DA-20 mediante SolidWorks, a partir de la información técnica, gráfica y dimensional disponible?

Objetivos

Objetivo general

Realizar el modelado 3D detallado del sistema eléctrico, replicando fielmente la interfaz de cabina y los elementos de distribución de energía de la aeronave.

Objetivos específicos

1. Relevamiento fotográfico y técnico del panel de breakers, batería, alternador e interruptores principales.
2. Modelado individualizado de cada elemento del panel para permitir interacciones visuales precisas en el entorno virtual.
3. Optimización de polígonos para asegurar que el sistema eléctrico no comprometa el rendimiento de los cuadros por segundo (FPS) del simulador.

Justificación

El modelo tridimensional se desarrolla por la necesidad de tener digitalmente organizado los componentes considerados en el proyecto. El empleo de CAD permite transformar datos de documentos técnicos, planos, diagramas o fotografías y medidas, en piezas y ensamblajes, que necesita para entender la forma y la colocación espacial.

Desde el punto de vista técnico, el proyecto integra información que inicialmente se encuentra dispersa y establece una relación verificable entre cada referencia y la geometría construida. Cruz et al. (2021) señalan que los sistemas CAD permiten crear, modificar y documentar objetos en dos y tres dimensiones, lo que favorece la precisión del diseño y la realización de ajustes antes de una etapa de fabricación o aplicación.

Desde la perspectiva académica, la representación tridimensional complementa los esquemas y las fotografías al permitir que el usuario observe volúmenes, posiciones relativas y relaciones entre componentes. García et al. (2021) demostraron que el modelado aeronáutico puede utilizarse como un recurso formativo por ser una actividad que vincula la lectura de documentación con la reconstrucción digital y la visualización del conjunto.

Al usar SolidWorks, podemos tomar un conocimiento en modelado paramétrico, creación de pieza y definición de relaciones de ensamblaje y documentación técnica. La herramienta permite modificar dimensiones o restricciones sin necesidad de volver a construir la pieza, siempre que el modelo esté organizado por parámetros y operaciones coherentes.

La necesidad de una gestión transparente de las limitaciones documentales también motiva la investigación. Una vez que se frustren todos los intentos de verificar una determinada dimensión o característica, dicha situación se registrará en las fichas de análisis y en el nivel de detalle del modelo. Por lo tanto, la fidelidad no será considerada como reproducción exacta, sino como correspondencia efectiva demostrable con el material de referencia.

El producto final tendrá un interés académico y de una representación técnica. No reemplazará los manuales del fabricante, ni podrá ser usado para certificar, fabricar, modificar o

realizar mantenimiento sobre una aeronave real. Su valor se hallará en la estructuración de la información, la visualización del sistema estudiado y la posibilidad de servir como base para futuras investigaciones con datos más completos.

Capítulo III

Estado del arte

La transformación digital de la ingeniería ha favorecido el uso de modelos tridimensionales, simulación, realidad virtual, realidad aumentada y gemelos digitales. Estas tecnologías no cumplen la misma función, pero comparten la necesidad de disponer de información técnica organizada y de representaciones digitales coherentes con el objeto físico.

Como punto de partida, Rozo (2020) identificó la simulación, la realidad virtual, los datos entre las tecnologías vinculadas con la Industria 4.0. Su revisión muestra que la digitalización industrial no depende de una sola herramienta, sino de la articulación entre modelos, datos, conectividad y procesos.

En cuanto a las herramientas de diseño Mercado (2020) analizó la evolución del software de simulación destacando la función del CAD en la creación, modificación, análisis y optimización de productos. El estudio diferencia entre el dibujo bidimensional y el modelado tridimensional, y pone en evidencia que los modelos digitales son prácticas que pueden ser conservadas, compartidas y mejoradas en el correr del desarrollo de un proyecto.

Más tarde, Santana et al. (2021) propusieron un procedimiento para la obtención de un modelo CAD de una pieza prismática a partir de proyecciones ortogonales digitalizadas. El modelo que se obtuvo posee las condiciones geométricas adecuadas para un trabajo de simulación, lo que pone de manifiesto la importancia de la reconstrucción de la forma a partir de referencias medibles y de hacer la verificación de la geometría, antes de volver a emplearla.

García et al. (2021) en el sector aeronáutico desarrollan el modelado y la recreación virtual de una aeronave histórica en base a planos realizados a mano, documentos validables y registros que se cuentan. Los componentes de la aeronave incluyeron fuselaje, alas, empenaje, tren de aterrizaje y elementos de cabina, constituyendo un antecedente directo de cómo lidiar con información incompleta y heterogénea para obtener una representación digital integrada.

La intervención industrial de estas herramientas también fue verificada por Cruz et al. (2021), quienes opinan que la implementación CAD-CAM optimiza procesos, disminuye errores y documenta con exactitud las piezas. Aunque su análisis va al conformado de materiales, sus aportes apoyan la utilidad del modelado que se puede considerar como etapa previa para organizar soluciones geométricas y técnicas.

La evolución de los recursos digitales ha conducido a representaciones que superan al modelo geométrico estático. Chicaiza et al. (2024), explican que un gemelo digital incorpora una entidad virtual, una contraparte física y vínculos de información que permiten reflejar el estado o el comportamiento del sistema durante su ciclo de vida. Esta distinción impide denominar gemelo digital a cualquier archivo CAD que no mantenga sincronización con un activo real.

En el campo del mantenimiento, Álvarez et al. (2024) estudiaron el uso de realidad aumentada para supervisar equipos y procesos industriales. Los autores describen aplicaciones relacionadas con visualización contextual, capacitación y asistencia técnica, y señalan que la información digital debe asociarse de forma clara con los componentes físicos sobre los que se ejecuta la tarea.

Recientemente, Abad et al. (2025) desarrolló una práctica formativa con realidad aumentada para titulaciones de ingeniería, en la que el alumnado vinculó documentación técnica, variables de proceso y procedimientos guiados mediante imágenes de una instalación real.

Este trabajo pone de manifiesto que un entorno inmersivo necesita contar con contenidos digitales previamente estructurados y modelos o referencias que sean capaces de representar los elementos en él de interés.

Los antecedentes analizados muestran un trayecto desde la utilización del CAD para documentar geometrías hacia sistemas que combinan modelos con datos, interacción y asistencia contextual. Sin embargo, la literatura germana trata principalmente procesos

industriales generales, piezas mecánicas, patrimonio aeronáutico o instalaciones de mantenimiento, mientras que son menos frecuentes los trabajos que se centran en la representación académica del sistema eléctrico y la interfaz de cabina de una aeronave de instrucción específica.

Este estudio se desarrollará. Su colaboración se basa en el modelo 3D en SolidWorks del sistema eléctrico y la interfaz de cabina del Diamond DA-20. El producto no será en sí un simulador ni un gemelo digital, pero puede servir como primer recurso en futuras visualizaciones o capacitaciones, teniendo en cuenta que se preparen estudios con información funcional y validación.

Marco teórico

Modelado tridimensional aplicado a sistemas aeronáuticos

El modelado 3D es el procedimiento que permite construir un objeto tridimensional, a partir de entidades geométricas que se sitúan sobre los tres ejes. El diseño técnico tiene como función describir en ingeniería, el modo, las dimensiones, el volumen y la relación entre las piezas. La exactitud del resultado depende de las especificaciones de referencia utilizadas y del nivel de detalle necesario en función del propósito del trabajo.

García et al. (2021), su trabajo demuestra que el modelado aeronáutico se puede estructurar en subconjuntos, además de que la fotografía puede aportar a la información cuando no haya planos completos reconocidos debidamente.

En el presente estudio, el modelo tridimensional se limita a los componentes seleccionados del sistema eléctrico y de la interfaz de cabina. El diseño busca mantener la forma general, las dimensiones medibles y la relación de posición. No tiene la intención de replicar cada elemento interno ni de sustituir la documentación oficial del fabricante.

Diseño asistido por computadora y modelos CAD

El diseño asistido por computadora se compone de herramientas que sirven para crear, modificar, analizar o documentar representaciones geométricas. Un modelo CAD puede

contener sketches, operaciones, relaciones, dimensiones y propiedades que definen una pieza o un ensamblaje. Esta estructura facilita efectuar cambios controlados y conservar un historial del proceso de construcción.

Mercado (2020) señala que el CAD se utiliza para mejorar la productividad del diseñador, elevar la calidad del diseño y favorecer la comunicación mediante documentación digital. La diferencia principal entre el dibujo 2D y el modelado 3D radica en que este último incorpora superficies y sólidos que permiten observar el objeto desde múltiples vistas y analizar su configuración espacial.

Los programas CAD permiten obtener representaciones precisas del objeto y cambiar el diseño sin tener que repetir todo el proceso realizado manualmente. (Cruz, et al., 2021) Para esta investigación, tales capacidades resultan relevantes, ya que las piezas deberán adaptarse en caso de que la verificación muestre diferencias dimensionales o interferencias de ensamble.

Modelado paramétrico y ensamblaje en SolidWorks

El modelado paramétrico es una forma de organizar la geometría mediante dimensiones, restricciones y relaciones que controlan la forma de la pieza. Un cambio que se aplique a un parámetro puede influir en las operaciones dependientes, lo que exige mantener croquis bien definidos y un orden lógico de construcción. La forma de trabajar es útil para mejorar la trazabilidad de decisiones geométricas.

El ensamblaje digital comprende la integración de piezas individuales en un entorno común y la fijación de relaciones de posición entre caras, ejes, planos o puntos. Estas relaciones permiten reflejar la situación relativa, verificar compatibilidad de componentes, así como detectar interferencias que no presentan necesariamente en un plano 2D.

Santana et al. (2021) demostraron que una geometría reconstruida puede importarse a un programa CAD y utilizarse como modelo virtual cuando presenta características verificables. En este proyecto, el mismo principio se aplica al transformar cada referencia disponible en una pieza controlada antes de incorporarla al ensamblaje general.

Sistema eléctrico aeronáutico y representación digital

Generalidades del sistema eléctrico en aeronaves de aviación general

Las aeronaves de aviación general requieren de un sistema eléctrico funcional para operar sus instrumentos de vuelo, equipos de navegación, luces y demás sistemas de a bordo. A diferencia de la electricidad de uso doméstico, que funciona con corriente alterna, la mayoría de los aviones ligeros trabajan con corriente continua a tensiones de 14 o 28 voltios según el diseño del fabricante. En el caso particular del Diamond DA-20, el sistema opera a 14 voltios de corriente continua y se estructura sobre tres elementos centrales: el alternador como fuente de generación, la batería como dispositivo de almacenamiento y los buses eléctricos como red de distribución. Conocer esta arquitectura es fundamental para comprender la función de cada componente representado en el modelo tridimensional desarrollado en esta investigación.

Corriente alterna y corriente continua en sistemas aeronáuticos

El funcionamiento del sistema eléctrico de una aeronave involucra dos tipos de corriente eléctrica que cumplen roles distintos dentro de la cadena de generación y distribución de energía.

La corriente continua —CC— se caracteriza por mantener un flujo de electrones en una dirección constante a lo largo del circuito. Esta estabilidad la hace especialmente adecuada para alimentar instrumentos de vuelo, sistemas de aviónica y baterías, que necesitan tensión sostenida para operar correctamente. El Diamond DA-20 utiliza este tipo de corriente como base de su sistema eléctrico, con una tensión nominal de 14 voltios en todos los circuitos de distribución de cabina.

La corriente alterna —CA— funciona de manera diferente: el sentido del flujo de electrones se invierte periódicamente a una frecuencia expresada en hercios. Esta

característica la hace conveniente para el transporte de energía eléctrica a larga distancia en redes industriales y domésticas, donde puede transformarse fácilmente a distintos niveles de tensión. En aviación, la corriente alterna se emplea en aeronaves de mayor porte para sistemas de alta demanda energética como motores hidráulicos, equipos de deshielo y sistemas de presurización, generalmente a 115 voltios y 400 hercios.

En el DA-20, la corriente alterna interviene de forma interna en el proceso de generación: el alternador produce originalmente corriente alterna mediante la rotación de bobinas en un campo magnético, pero esta corriente es transformada inmediatamente en corriente continua por un puente rectificador de diodos integrado en el propio alternador, antes de ser enviada hacia el sistema de distribución. Por tanto, la totalidad del cableado de distribución de cabina opera en corriente continua a 14 voltios, aunque el proceso generativo involucre internamente corriente alterna. Esta distinción es relevante para entender la naturaleza de los componentes modelados, todos pertenecientes al circuito de corriente continua que alimenta la interfaz de cabina del DA-20.

Generación de electricidad: el alternador

La fuente principal de energía eléctrica durante el vuelo es el alternador, un componente mecánicamente acoplado al motor de la aeronave. El funcionamiento se basa en la inducción electromagnética. Al rotar un conjunto de conductores dentro de un campo magnético, se produce una diferencia de potencial que genera la corriente eléctrica. Esta corriente, que es alterna, se rectifica en sus propias instalaciones a continua para ser posteriormente distribuido en el avión.

El alternador en el Diamond DA-20 tiene una tensión de salida regulada de aproximadamente 14 voltios que es capaz de alimentar en forma simultánea todos los sistemas eléctricos instalados y mantener la batería en carga en condiciones normales. Cuando el motor

supera la velocidad mínima de generación, el alternador asume la totalidad de la carga eléctrica de la aeronave, mientras la batería permanece en estado de carga pasiva. El interruptor GEN, visible en el Master Switch Panel del DA-20, controla la conexión del alternador al bus principal y forma parte de los componentes representados en el modelo tridimensional de esta investigación.

Almacenamiento de energía: la batería

La batería cumple dos funciones de importancia crítica en el sistema eléctrico de la aeronave. Antes de poner en marcha el motor, es la única fuente disponible para alimentar los sistemas que se utilizan durante las comprobaciones previas al vuelo. Durante el vuelo, actúa como respaldo de emergencia ante una fallar del alternador. También, proporciona energía a los sistemas esenciales, el tiempo requerido para llevar a cabo procedimientos.

La batería, de tipo plomo-ácido sellada, cuenta con una capacidad que permite que los sistemas se mantengan funcionando para que estos produzcan un aporte limitado en un tiempo cierto. Su posición física en la zona posterior del fuselaje, su bandeja de montaje y los puntos de conexión de sus terminales fueron tomados como referencias para la representación geométrica incluida en este trabajo. El interruptor BAT del Master Switch Panel gestiona su conexión al bus principal y es el primer control que el piloto activa al comenzar cualquier procedimiento eléctrico en tierra.

Distribución de la energía: buses eléctricos y circuit breakers

Una vez que la energía es generada por el alternador o aportada por la batería, se distribuye hacia los distintos sistemas de la aeronave a través de los buses eléctricos. Un bus se puede definir como un conductor que se pone en conexión común los circuitos de todos los equipos consumidores y sobre el cual se desarrolla el reparto centralizado de energía.

En el DA-20 existen dos buses que tienen funciones que diferencian. El bus principal recibe corriente de la batería y del alternador, y alimenta algunos de los sistemas que deben operar independientemente del estado de la aviónica, como las luces de navegación y la bomba eléctrica y el sistema de arranque. El bus de aviónica es, en cambio, un bus secundario que se activa por el interruptor AVIONICS MASTER del panel. La energiza a propósito el piloto. Esto tiene como resultado que los picos de tensión no afecten a los equipos electrónicos sensibles durante el arranque de motor. A este bus están conectados el GDU 620 Display, el GNS 430W, el GMA 340/345, el SL 40 COM 2 y los demás equipos de aviónica indicados en el diagrama oficial del panel.

Los circuit breakers o disyuntores térmicos, encargados de proteger de forma individual cada circuito, interrumpen de forma automática el paso de corriente cuando un circuito se sobrecarga o se produce un cortocircuito. En el DA-20, en el panel de fusibles (item 23 del diagrama oficial), los fusibles están organizados en cinco secciones funcionales (cada una con su propia identificación): LIGHTS, AVIONICS, SYSTEM, ENGINE y ELECTRICAL. Esta organización ayuda a localizar y restablecer rápidamente cualquier circuito que se vea afectado en funcionamiento.

Secuencia de operación eléctrica y relación con el modelo

El recorrido de la energía eléctrica en el DA-20 sigue una secuencia lógica que explica la disposición de los componentes en el panel y justifica las decisiones de posicionamiento adoptadas durante el modelado. En tierra, antes del arranque, la activación del interruptor BAT conecta la batería al bus principal y pone a disposición la energía necesaria para las verificaciones previas. En esta etapa el alternador permanece inactivo al no existir movimiento del motor.

Al poner en marcha el motor, el alternador comienza a funcionar, y luego de alcanzar su velocidad de generador, asume el total de la carga de la aeronave y carga la batería. El regulador de tensión que ya está dentro del sistema debe asegurarse que esto no se produzca de forma continua. La activación posterior del AVIONICS MASTER energiza el bus aviónico y activa los equipos Garmin y otros instrumentos electrónicos del panel.

La cadena que combina generación, almacenamiento y distribución define la lógica funcional de los componentes del Instrument Panel del DA-20 y sirvió de guía a las decisiones de organización adoptadas durante el desarrollo del ensamblaje 3D. Toda representación que se construye en este trabajo es de tipo geométrica y no funcional, lo cual quiere decir que el modelo que se generó no simula corrientes, tensiones ni comportamiento ante fallas, sino que reproduce la geometría y disposición visual de los elementos utilizando las referencias técnicas disponibles.

Interfaz de cabina

La cabina que reúne los elementos a través de los cuales el piloto recibe información o actúa sobre determinados sistemas. Son instrumentos; indicadores; interruptores; selectores: dispositivos de protección y otras estructuras que integran el panel. La totalidad espacial del diseño se ve a través de la relación de cada elemento entre sí.

La localización relativa es importante, ya que la comprensión de la interfaz no se basa solo en la forma de cada elemento. La orientación, separación, alineación y relación en el panel también se interponen. El montaje servirá para delinear estas condiciones según las referencias de uso.

Realidad virtual y realidad aumentada en mantenimiento

La realidad virtual elimina la experiencia real que la persona en un espacio físico tiene, mientras que la realidad aumentada añade unas herramientas que interactúa con el entorno

real. Ambas tecnologías pueden utilizar modelos tridimensionales, imágenes, instrucciones y datos para apoyar procesos de visualización, formación o asistencia técnica.

Álvarez et al. (2024) identificaron que la realidad aumentada puede facilitar la visualización de información contextual y el apoyo a técnicos durante actividades de supervisión y mantenimiento. Estas aplicaciones requieren que los contenidos digitales se relacionen correctamente con el equipo físico, por lo que la calidad del modelo y de la documentación condiciona la utilidad del sistema.

Abad et al. (2025) mostraron además que la realidad aumentada puede integrarse en la formación de ingeniería mediante procedimientos guiados, variables de proceso y documentación vinculada con una instalación real. En relación con esta tesis, estas experiencias se consideran aplicaciones futuras posibles, pero no forman parte del producto que se desarrollará.

Mantenimiento virtual

El mantenimiento virtual utiliza representaciones digitales para analizar o practicar actividades relacionadas con intervención, inspección o montaje sin depender permanentemente del activo físico. Un entorno de este tipo puede requerir modelos de componentes, herramientas, secuencias y reglas de interacción. El nivel de detalle debe responder a la tarea que se desea representar.

Rozo (2020) ubica la realidad virtual y la simulación entre las tecnologías que apoyan la transformación de procesos industriales. En una aplicación aeronáutica, el modelo geométrico puede constituir uno de los insumos del entorno virtual, pero debe complementarse con información funcional, procedimientos y validación antes de utilizarse para entrenamiento de mantenimiento.

Gemelos digitales y su relación con los modelos tridimensionales

Un modelo tridimensional describe principalmente la geometría de un objeto. Un gemelo digital, en cambio, representa una entidad física y mantiene vínculos de información que permiten reflejar estados, comportamiento o cambios durante el ciclo de vida.

Chicaiza et al. (2024) diferencian el modelo digital, la sombra digital y el gemelo digital según el grado de intercambio de información entre la entidad física y la virtual. Bajo esta clasificación, el producto de la investigación corresponde a un modelo digital tridimensional, porque no recibirá datos operativos de una aeronave ni mantendrá sincronización bidireccional con ella.

Modelado tridimensional como recurso para la formación técnica

Las representaciones tridimensionales pueden apoyar la formación técnica al mostrar volúmenes y relaciones espaciales que no siempre se perciben con claridad en esquemas bidimensionales. Su utilidad crece cuando el modelo mantiene relación con la documentación, se puede observar en la totalidad desde diferentes vistas y distingue elementos verificados de aproximaciones.

En su investigación, García et al. (2021) tocó el tema de una vinculación de modelado aeronáutico y el desarrollo de competencias de diseño y recreación virtual en estudiantes de ingeniería. Este antecedente confirma la viabilidad de la utilización del modelo Diamond DA-20 como recurso académico que permite reconocer sus componentes y comprender su disposición general. Esto no equivale a pedir autorización para intervenir una aeronave.

En resumen, CAD, modelado paramétrico, ensamblajes, realidad virtual, realidad aumentada y gemelos digitales son recursos digitales que tienen un alcance diferente en el continuo de objetos digitales. La investigación se centra en la creación de una base geométrica verificable en SolidWorks, la cual estará delimitada al sistema eléctrico y la cabina del Diamond DA-20.

Capítulo III

Metodología

Enfoque de investigación

El componente cualitativo permitió revisar, interpretar y organizar información documental, gráfica y dimensional, mientras que el componente aplicado se concretó en la construcción de una representación tridimensional del sistema eléctrico y de la interfaz de cabina del Diamond DA-20.

Marcelino et al. (2024) explican que el análisis documental comprende etapas de búsqueda, selección, recolección, clasificación, análisis, interpretación y presentación. Las fases fueron empleadas para transformar la información dispersa en criterios que permiten su verificación, en lo que respecta a la identificación, geometría, dimensión y localización relativa.

Se echa en falta el contraste de hipótesis y el trabajo con sujetos humanos. Se hizo una evaluación de la evidencia e información sobre la pertinente, el origen, la claridad dimensional y su capacidad para disponer en forma o posición. Se simplificó o se definió con referencia a cota de modelado, en ausencia de comprobar.

Tipo y diseño de investigación

Según su finalidad, la investigación fue aplicada, porque integró conocimientos de sistemas aeronáuticos y diseño asistido por computadora, para resolver la necesidad de una representación técnica. Debido a su ámbito de trabajo fue descriptiva, porque identificó componentes caracterizó la información y documentó la geometría del conjunto.

El diseño no fue experimental, documental y desarrollo tecnológico. Las variables de funcionamiento de la aeronave no fueron manipuladas. La materia de análisis estuvo compuesta por artículos científicos, referencias gráficas, esquemas, registros de dimensión y documentación de trabajo. El producto fue un ensamblaje tridimensional, las vistas técnicas y el archivo de intercambio.

Los autores explicitan que la revisión documental se refiere al procedimiento que se realiza sobre los textos que se analizan. En línea con esto, cada uno de los datos utilizados se asoció con una función en el modelo: identificador, geometría, escala, conexión, localización o verificación.

Unidad de análisis, población y muestra

El componente funcional que se puede representar dentro del sistema eléctrico y del sistema de cabina. La población conceptual se encuentra integrada por instrumentos, controles eléctricos, dispositivos de protección y elementos de alimentación y distribución, además de paneles y soportes estructurales asociados.

La toma de muestras se realizó de forma no probabilística e intencionada. Se seleccionaron 27 funciones porque cumplen cuatro condiciones: tienen relación directa con el sistema objeto de estudio, son relevantes en la interfaz, existen suficientes referencias para su construcción y puede construirse una geometría coherente. Se excluyeron las partes internas no visibles. Se excluyeron los componentes cuya identificación no puede tomarse como cierta. Se omitieron los detalles que hubieran dotado de precisión a la realidad cuya verdad no se ha verificado.

La muestra incluye un panel mayor, seis círculos, una pantalla principal, un módulo auxiliar, ocho breakers, cinco interruptores, una batería, un bloque de distribución y tres elementos trasero soporte. Los conductores fueron esquemáticos, pero no contaron como componentes.

Técnica e instrumentos

La actividad principal fue la investigación documental. Se utilizó una matriz que registró el tipo de fuente, el dato extraído, la unidad de medida, el componente al que pertenece, la aplicación en el modelado y las observaciones respecto a su confianza. La matriz hizo posible identificar aquellos datos utilizados de forma directa, proporciones provenientes de diversos

enfoques gráficos, así como las cotas que han sido únicamente adoptadas para un adecuado dimensionamiento del modelo académico.

La herramienta de evaluación de segundo instrumento fue la ficha técnica de componente. Se tomaron nota del nombre, categoría, función general, características geométricas, dimensiones de modelado, ubicación relativa, simplificaciones y nivel de detalle. Este tercer instrumento fue una lista de comprobación que sirvió para hacer una comparación entre las cotas proyectadas y las dimensiones finales del conjunto, además de registrar la modificación que se hace.

CAD software, la estructura de la geometría fue organizada con una lógica paramétrica de bocetos, extrusiones, revoluciones, patrones y relaciones de ensamblaje. Se elaboraron las vistas finales en proyección ortográfica e isométrica, las cuales fueron exportadas con calidad alta para su inclusión en el documento.

Recursos y configuración del modelo

El ambiente de trabajo fue configurado en mm como unidad principal, así como una estructura de archivo separada por componentes, ensamblaje, vistas y exportaciones. Esta organización permitió modificar un elemento sin que alterara el resto y manteniendo una versión identificada del todo.

Las familias geométricas fueron definidas antes de iniciar el modelado. Los cuerpos prismáticos pudieron ser utilizados para paneles, soportes, módulos, batería y bloque de distribución. Los cuerpos de revolución se utilizaron en instrumentos, breakers, terminales y conectores. Los patrones lineales dejaron repetir componentes distinguiendo a intervalos uniformes.

La paleta de materiales tenía un fin exclusivamente visual. Se emplearon tonalidades grises para los paneles y soportes, negro para los módulos y envolventes, cobre para la distribución y se diferenciaron diferentes colores en los recorridos esquemáticos. Se representaron en 3D con colores. Se refuerzan otros colores en lugares diferentes.

Trazabilidad y gestión de versiones

Cada elemento fue dotado de un nombre funcional y de una categoría. La cota adoptada, operación geométrica principal, posición dentro del panel, versión aceptada figuran en la ficha técnica. Este registro posibilitó enlazar las decisiones de modelado con las imágenes que fueron utilizadas en la interpretación de los resultados.

El control de versiones aplicado en la documentación fue el estado de boceto inicial, ensamblaje en revisión y ensamblaje final. Se consideró que una versión era final cuando su vista frontal, su vista posterior y su vista isométrica no mostraban superposiciones o contradicciones entre sí.

Se realizaron modificaciones en la separación de componentes, la profundidad de los cuerpos y el orden de los recorridos esquemáticos. La referencia se mantuvo inalterada a lo largo del proceso. Con esto nos referimos que las cotas generales del panel, no se modificaron una vez aceptada la envolvente.

Criterios de presentación gráfica

Las imágenes fueron generadas con fondo neutro, proyección ortográfica o isométrica, contornos visibles y adecuada resolución para impresión. Las vistas fueron ensambladas de la misma manera. No se incluyó texto dentro del modelo, salvo en la que tiene cotas. Esto es así, dado el cálculo geométrico.

La selección de vistas presento una función concreta. La vista frontal documentó la interfaz, la posterior mostró alimentación y distribución, la isométrica explicó profundidad y relación espacial, la explotada evidenció la integración por grupos y las vistas de detalle facilitaron reconocer cada familia de componentes.

Procedimiento

El procedimiento se ejecutó en seis fases consecutivas e iterativas. Una inconsistencia detectada durante la verificación obligó, cuando fue necesario, a revisar la ficha correspondiente y modificar la geometría antes de consolidar la versión final.

1. Reunión de datos. Se recolectaron las referencias académicas, gráficas, y dimensionales pertinentes al modelado aeronáutico, sistema eléctrico y la interfaz de cabina.
2. Clasificación, análisis. Los datos se agruparon según el componente y el tipo de dato que estos aportaban: identificación, forma, dimensión, conexión, localización o criterio de verificación.
3. Elección de piezas. Se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión hasta el inventario de 27 unidades funcionales.
4. Diseño personalizado. Se desarrollaron partes representativas por medio de parámetros expresados en milímetros y operaciones geométricas que fueron coherentes a la forma de cada uno de los componentes.
5. Juntar las partes. Las piezas se colocaron en base a relaciones espaciales que mantuvieron la disposición funcional del panel, los instrumentos, los controles y los elementos eléctricos traseros.
6. Chequeo e historial. Se contrastaron las cotas previstas con la geometría final, se revisaron interferencias y se obtuvieron vistas frontal, posterior, isométrica, explotada y acotada.
7. García et al. (2021) a partir de documentación gráfica y técnica generaron componentes aeronáuticos para finalmente integrarlos en una recreación virtual.

Plan de análisis y criterios de modelado

Se realizó el análisis por comparación progresiva. Se revisó primero la suficiencia de la información para cada componente. Después se definieron las operaciones geométricas y las cotas de modelado. Finalmente se comparó el resultado con la ficha técnica y con la disposición general del ensamblaje.

Se tomó los milímetros como unidad estándar. El ancho del panel era de 937 mm, la altura máxima 340 mm y el espesor 50 mm. Los instrumentos circulares tienen un diámetro

nominal de 80 mm. Estas medidas lograron ser invariables para todas las vistas, pero se declararon como cotas referenciales de modelado y no como dimensiones certificadas del fabricante.

De acuerdo a Santana et al. (2021), la vista frontal es la referencia principal para la distribución, mientras que las vistas posterior e isométrica han permitido revisar profundidad, soportes y recorridos esquemáticos.

Validación y confiabilidad

La correspondencia de los instrumentos con los objetivos de la investigación se logró como una forma de validez de contenido. Las diferentes casillas de la matriz y de las piezas deben proporcionar una información necesaria para identificar, modelar, ensamblar o verificar un componente.

La fiabilidad se fortaleció por el uso homogéneo de unidades, así como por la repetición de medidas en las vistas y control de versiones y el segundo control entre las fichas y el ensamblaje. El control se realizó tomando en consideración geometría general, dimensiones elegidas, posición relativa, integración de partes, visualización de interferencias y nivel de detalle coherente.

Se resolvieron las diferencias que se encontraban al momento del ensamblaje de las imágenes. La aceptación no quiere decir certificación de aeronavegabilidad, sino que los parámetros declarados son coherentes con la representación construida.

Consideraciones éticas y delimitación técnica

La investigación se lleva a cabo mediante la aplicación de responsabilidad académica, transparencia y reconocimiento autores. Las ideas o publicaciones externas se reconocieron por medio de citas y referencias. Las imágenes que fueron presentadas del modelo fueron elaboradas por uno mismo, no corresponden a la aeronave.

El artefacto tiene fines pedagógicos y representación técnica. No corresponde a un diseño aprobado, a una simulación operativa, a un gemelo digital, a un manual de

mantenimiento, ni a una autorización para la fabricación o modificación de una aeronave. Esta delimitación se mantuvo en el análisis de los resultados, en las conclusiones y en las recomendaciones.

Capítulo IV

Análisis y discusión de los resultados

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos durante el desarrollo del modelo tridimensional del sistema eléctrico y de la interfaz de cabina del Diamond DA-20. La presentación sigue la secuencia metodológica establecida: recopilación de información técnica, selección de componentes con base en la nomenclatura oficial del fabricante, modelado tridimensional individual de cada pieza, ensamblaje e integración del panel completo, verificación dimensional y resultado final. Las figuras evidencian tanto las referencias técnicas que se han utilizado, así como los modelos desarrollados en SolidWorks, en los que se puede apreciar una relación entre la información de origen y la geometría construida.

El resultado debe tomarse como una rigurosa representación académica. Las cotas declaradas se asocian a parámetros de modelado que se han tomado para estructurar el conjunto en base a la información disponible. Las comparaciones realizadas indican la consistencia interna del modelo, pero no garantizan correspondencia dimensional con una aeronave concreta.

Resultados de la recopilación y análisis de información técnica

La recopilación de información permitió organizar cinco categorías de evidencia técnica. La documentación oficial del fabricante aportó el diagrama del Instrument Panel with G500/G1000 Display con su leyenda completa de 28 elementos numerados, los diagramas funcionales del sistema eléctrico y los planos de instalación de componentes. Esta documentación estableció la nomenclatura oficial de cada elemento del panel, constituyendo la referencia principal para la identificación y clasificación de los componentes modelados. La información documentada, y las fotografías del panel real, refuerzan visualmente la imagen y la disposición de lo instalado. El procedimiento metodológico fue guiado por las referencias académicas. Los archivos de referencia en STEP proporcionaron geometría verificable para los

modelos que fueron de mayor precisión. Por último, las cotas referenciales adoptadas garantizaron un escalonamiento uniforme del ensamblaje.

Desglosó cada uno de los elementos de la interfaz de cabina en el diagrama oficial del panel. Los componentes de mayor relevancia para este proyecto, según la leyenda oficial, son: GDU 620 Display (ítem 8), Engine RPM (ítem 9), Air Speed Indicator (ítem 10), GMA 340/345 (ítem 11), GNS 430W (ítem 12), Altimeter (ítem 13), GTX 330 (ítem 14), Magnetic Compass (ítem 15), Exhaust Gas Temperature —EGT— (ítem 16), Fuel Pressure Indicator (ítem 17), Cylinder Head Temperature —CHT— (ítem 18), Oil Temperature Indicator (ítem 19), Fuel Quantity Indicator (ítem 20), Circuit-Breaker Panel (ítem 23), Oil Pressure Indicator (ítem 24), Master Switch Panel con AVIONICS MASTER, FUEL PUMP y GEN/BAT Switch (ítem 2), y Light Switch Panel (ítem 6).

Tabla 1

Información técnica utilizada y su aplicación en el modelado

Tipo de información	Información obtenida	Aplicación en el modelado
Diagrama oficial del panel	Instrument Panel with G500 Display con leyenda de 28 elementos numerados	Nomenclatura oficial, identificación y clasificación de todos los componentes
Diagramas del sistema eléctrico	Diagrama funcional de alimentación: Battery, Relay, Bus, EPU Switch, Breaker	Jerarquía eléctrica y relaciones funcionales entre componentes
Planos de instalación	Firewall Mounted Battery Installation: Battery Tray, Master Relay, Starter	Ubicación relativa y geometría de componentes posteriores
Registros fotográficos	Fotografías del panel real: aviónica, instrumentos, breakers y consola	Referencia visual para aspecto, distribución y proporciones
Archivos STEP	GNS 430W v10 — geometría verificable del equipo Garmin	Modelado de alta fidelidad del equipo de navegación

Tipo de información	Información obtenida	Aplicación en el modelado
Cotas referenciales	Dimensiones adoptadas en mm para panel e instrumentos	Control de escala y proporción del ensamblaje

Nota. La nomenclatura de todos los componentes sigue la leyenda oficial del diagrama del fabricante.

Documentación técnica del sistema de generación y alimentación eléctrica

Adicionalmente al diagrama del panel, la recopilación incluyó los diagramas funcionales del sistema de alimentación eléctrica del DA-20. El diagrama de alimentación identificó como componentes del circuito primario: la batería (Battery) como fuente de energía, el Battery Relay como control de conexión al Main Bus, el Battery Switch y el Battery Breaker como dispositivos de mando y protección, y el Main Bus como barra central de distribución. El sistema EPU External Power Unit engloba el EPU Switch, EPU Relay, EPU Receptacle, EPU Plug, la Reverse Polarity Diode y el EPU Annunciator. El plano de instalación en el firewall brindó información sobre la Battery Tray, el Anchor Strap, el Master Relay, el positivo, la Ground Connection, el negativo y el sistema de ventilación.

Componentes seleccionados para el modelado

Se procedió a la definición del inventario definitivo de componentes a modelar a partir del diagrama oficial del panel y de la documentación técnica recogida, con la nomenclatura oficial del fabricante. La selección priorizó los elementos con mayor relevancia funcional dentro del sistema eléctrico y de la interfaz de cabina, para los cuales existía información geométrica suficiente. Los componentes se organizaron según las categorías funcionales establecidas en la metodología.

Tabla 2

Inventario definitivo de componentes modelados con nomenclatura oficial

Componente (nomenclatura oficial)	**Ítem diagrama**	**Categoría**	**Nivel de detalle**
Instrument Panel — Panel base principal	—	Estructural	Medio
Circuit-Breaker Panel	23	Protección eléctrica	Medio
GDU 620 Display	8	Aviónica / Visualización	Medio-alto
GNS 430W	12	Navegación y comunicación	Alto
GMA 340/345 — Panel de audio	11	Audio y comunicación	Medio
Air Speed Indicator	10	Instrumentación de vuelo	Alto
Altimeter	13	Instrumentación de vuelo	Alto
Master Switch Panel (AVIONICS MASTER / FUEL PUMP / GEN/BAT)	2	Control eléctrico	Medio

Nota. La identificación de los ítems coincide con el texto oficial del panel con pantalla G500 que se encuentra en el mantenimiento del DA-20.

Resultados del modelado tridimensional de los componentes

El modelado individual fue hecho de acuerdo al orden funcional del sistema: elemento estructural base, equipos de aviónica y visualización, instrumentos de vuelo analógicos y

controles eléctricos. Se consideran tres componentes: El cuerpo principal de la garra, el cuerpo secundario y el soporte del servomotor. Para cada uno de ellos se utilizan operaciones paramétricas de extrusión, revolución y patrones lineales. Todo ello en SolidWorks. Asimismo, se establecen cotas en milímetros y se referencian geográficamente a la documentación técnica oficial y a los registros fotográficos.

Cada modelo es nombrado de acuerdo a la designación oficial que lo identifica en el plano del fabricante.

Instrument Panel — Panel base principal

El Panel de Instrumentos es el elemento estructural que define la forma general de la interfaz de la cabina y sobre el que se montan todos los demás elementos. Se procedió a modelar la forma arqueada característica del Diamond DA-20 que podemos observar en el diagrama oficial. (parte superior semicircular, extremos rectos laterales y borde inferior recto de la consola) El diseño incluye las aberturas a los lados con los mandos que se utilizarán para el control, la apertura al GDU 620 Display y el stack de aviónica en el centro-izquierdo y el espacio a la derecha del Circuit-Breaker Panel. El espesor del panel que fue adoptado fue 12 mm, el valor referencia proporcional a las fotos en dominio.

Circuit-Breaker Panel (ítem 23)

El Circuit-Breaker Panel fue modelado como un componente independiente con geometría en forma de L escalonada, tal como se identifica para poder reproducir lo que se encuentra en el esquema oficial y los registros fotográficos del panel real. Según la leyenda oficial, este panel agrupa los breakers organizados en cinco secciones funcionales: LIGHTS, AVIONICS, SYSTEM, ENGINE y ELECTRICAL. Cada breaker fue modelado individualmente como un elemento cilíndrico con pulsador frontal diferenciado y cuerpo posterior, distribuidos mediante patrón lineal con separación uniforme en sus respectivas filas. En el sector derecho

del panel se incorporaron adicionalmente el Hourmeter (ítem 21) representado como display rectangular y el Aux Power Outlet (ítem 22) representado como mando circular, ambos identificados en la leyenda oficial del fabricante.

GDU 620 Display (ítem 8)

El GDU 620 Display es el equipo de aviónica que más se impone en la cabina del DA-20. Se dice que la historia oficial del fabricante de este componente corresponde al display principal del G500/G1000, que combina el Primary Flight Display (PFD) y el Multi-Function Display (MFD). El modelado permitió la creación de la carcasa exterior rectangular con el bisel frontal diferenciado, las dos pantallas como superficies planas con la profundidad característica del equipo, los botones de función laterales, los mandos giratorios dobles en las esquinas inferiores y los controles de la fila central inferior. La marca GARMIN fue incluida como elemento identificador en el borde superior de la carcasa. La vista isométrica evidencia el volumen del equipo mientras que la vista frontal muestra con detalle la distribución de controles.

GNS 430W — Navegación GPS/COM/NAV (ítem 12)

El GNS 430W se debe a la unidad de navegación y comunicación del stack de aviónica (item 12 en el diagrama oficial de esta intervención) y se realizó un modelo de la unidad utilizando un STEP de referencia que se importó a SolidWorks y se ajustó a las condiciones de ensamble. Esta misma pantalla rectangular central, los selectores COM/VLOC del lateral izquierdo, los dos mandos giratorios de sintonización a cada extremo, los botones CDI, OBS, MSG, FPL y PROC de la fila inferior, los controles NAV, MENU, CLR y ENT del lateral derecho. La etiqueta GNS 430W aparece en la parte superior derecha del aparato. La utilización del archivo STEP permitió ofrecer un nivel de fidelidad geométrica superior a aquellos elementos que han sido modelados solamente en base a fotografías.

GMA 340/345 — Panel de audio (ítem 11)

El panel de audio del sistema de comunicaciones, reconocido como ítem 11 en la leyenda oficial, es el GMA 340/345. Fue modelado como un componente prismático horizontal que ocupa la primera posición del stack de aviónica, justo encima del GNS 430W. El modelo comprende las dos filas superiores de botones de selección de audio, los selectores centrales de modo, y las luces indicadoras LED, representadas con material diferenciado en color verde, y los dos mandos giratorios de volumen en los extremos laterales. La carcasa fue construida con perfil rectangular y el espesor proporcional al GNS 430W para mantener coherencia visual en el stack.

Air Speed Indicator (ítem 10)

El Air Speed Indicator corresponde al instrumento analógico de velocidad, identificado como ítem 10 en la leyenda oficial del panel. Se lo modeló como si fuera un instrumento circular con bisel octagonal, replicando las características del instrumento ubicado en la parte alta del panel del DA-20. La bola tiene una escala de velocidad en nudos con los arcos de operación diferenciados por color: verde, para el rango de velocidad normal de operación; amarillo, para el rango de precaución; y marca roja, para velocidad de nunca exceder Vne. En el anillo exterior se reflejan los valores TRUE AIRSPEED y la aguja indicadora modelada como pieza independiente con pivote central que permita futura animación y el mando de ajuste lateral. El cuerpo cilíndrico posterior fue construido con las proporciones del estándar de 3 pulgadas (Ø 80 mm).

Altimeter (ítem 13)

El Altimeter corresponde al instrumento analógico de altitud, identificado como ítem 13 en la leyenda oficial. Fue modelado siguiendo la misma familia paramétrica de instrumentos circulares del panel, compartiendo el bisel octagonal y el cuerpo cilíndrico posterior con el Air Speed Indicator. La esfera reproduce la escala numérica del 0 al 9 con graduaciones de 100 en

100 pies, la inscripción ALT al centro y las dos agujas indicadoras: la aguja larga para cientos de pies y la aguja corta para miles de pies. Se colocó la ventanilla lateral del millage en el sector derecho de la esfera y el comando de ajuste de presión barométrica Kollsman en la parte inferior izquierda. La imagen dibujada a un ángulo que da una perspectiva tridimensional a la vista.

Master Switch Panel — AVIONICS MASTER / FUEL PUMP / GEN/BAT Switch (ítem 2)

El Master Switch Panel reúne los tres interruptores principales de gestión eléctrica del DA-20, conocidos oficialmente como ítem 2 por la leyenda del fabricante (en la foto): el AVIONICS MASTER (que corta todo el bus de aviónica), el FUEL PUMP Switch (que activa la bomba de combustible eléctrica) y el GEN/BAT Switch (que corta el generador y la batería del bus principal). Este panel fue modelado como un volumen prismático alargado, que además incluye los controles adicionales de la consola inferior, los switches de la sección LIGHTS MAP, STROBE, POSITION y TAXI del ítem 6, y los mandos centrales de regulación. Los interruptores toggle fueron modelados de forma individual en un patrón lineal con separación uniforme, diferenciando el bloque del sector derecho donde se encuentran los mandos de mayor jerarquía eléctrica.

Análisis dimensional y geométrico de los modelos

Una vez completado el modelado individual, se realizó el análisis de correspondencia entre las dimensiones adoptadas y las referencias disponibles para cada componente. El análisis diferencia las cotas verificadas a partir de documentación técnica oficial o archivos STEP de las cotas referenciales adoptadas a partir de proporciones visuales y fotografías.

Tabla 3

Cotas referenciales adoptadas para el modelado

Componente (nomenclatura oficial)	Ítem	Dimensión de referencia	Dimensión del modelo	Condición
Instrument Panel — ancho total	—	960 mm (proporcional a fotografías)	960 mm	Referencial
Instrument Panel — altura máxima	—	372 mm (proporcional a fotografías)	372 mm	Referencial
Instrument Panel — espesor	—	12 mm (estimación visual)	12 mm	Referencial
GDU 620 Display	8	269 × 162 mm (referencia visual)	269 × 162 mm	Referencial
GNS 430W	12	159 × 55 mm (archivo STEP)	159 × 55 mm	Verificado
GMA 340/345	11	159 × 41 mm (referencia visual)	159 × 41 mm	Referencial
Air Speed Indicator / Altimeter	10, 13	Ø 80 mm (estándar 3")	Ø 80 mm	Referencial
Circuit-Breaker Panel	23	Proporcional al panel base	Ajustado al ensamblaje	Referencial

Nota. Las cotas verificadas se obtuvieron de la documentación oficial, archivos STEP. Las cotas referenciales se tomaron proporcionalmente, no corresponden a dimensiones validadas por el fabricante.

Resultados del ensamblaje tridimensional

Cuando el modelado de las partes se completó, se optó el ensamblaje del Instrument Panel del DA-20 (o panel de instrumentos) en conjunto. La integración usó como principal referencia el diagrama del fabricante “Instrument Panel with G500 Display”, que indica la posición numerada de cada elemento, más los registros fotográficos del panel real.

La distribución de los órganos del ensamblaje como está en el Diagrama Oficial, está en tres zonas. La GDU 620 Display es el componente dominante de la zona izquierda (item 8), acompañado en los laterales por el Panel de Interruptor de Luz (item 6) y los agujeros de los comandos. La avionica rack se instaló en el compartimento central en el siguiente orden, en disposición vertical: superior GMA 340/345 (ítem 11); intermedia GNS 430W (ítem 12); inferior Master Switch Panel (ítem 2) en la consola de esta zona. La zona superior incorporó el Engine RPM (ítem 9), el Air Speed Indicator (ítem 10), el Altimeter (ítem 13) y los demás instrumentos analógicos identificados en el diagrama. La zona derecha alojó el Circuit-Breaker Panel (ítem 23) con su geometría en L escalonada.

Durante el proceso de integración fue necesario calibrar las separaciones entre los equipos del stack de aviónica para respetar las proporciones observadas en el diagrama oficial y las fotografías del panel real. Se requirió un diseño escalonado en la geometría en L del Circuit-Breaker Panel que respetara el espacio diferenciado del sector superior derecho del Instrument Panel. Los cambios realizados están documentados y aparecen en la versión final del ensamblaje.

Verificación del modelo tridimensional

La geometría que se construyó fue comparada sistemáticamente con el diagrama oficial del fabricante, los registros fotográficos del panel real y las referencias técnicas que se utilizaron. Los criterios evaluados abarcaron la nomenclatura y clasificación de componentes, la

correspondencia geométrica, la ubicación relativa dentro del ensamblaje, la integración entre piezas y la coherencia del nivel de detalle alcanzado.

Tabla 4

Matriz de verificación del modelo tridimensional

Criterio	Resultado	Evidencia	Observación
Nomenclatura oficial	Cumple	Diagrama fabricante + Tabla 2	Todos los componentes identificados con ítem y nombre oficial del manual
Geometría general	Cumple	Figuras 4 a 12	Formas y proporciones coherentes con referencias fotográficas y diagrama oficial
Cotas adoptadas	Cumple	Tabla 3	Consistencia paramétrica interna; GNS 430W verificado con archivo STEP
Ubicación relativa	Cumple	Figura 13 vs. diagrama oficial	Distribución coherente con posición numerada en el diagrama del fabricante
Integración del ensamblaje	Cumple	Vista frontal Figura 13	Todos los componentes posicionados y alineados sin interferencias mayores

Criterio	Resultado	Evidencia	Observación
Interferencias visuales	Cumple con ajustes	Revisión durante ensamblaje	Se corrigieron separaciones del stack y posición del Circuit-Breaker Panel
Nivel de detalle	Cumple	Inventario Tabla 2 y figuras	Adecuado para representación académica del Instrument Panel del DA-20

Nota. La verificación evalúa consistencia interna y correspondencia con el diagrama oficial. No constituye certificación aeronáutica.

Resultados del cableado eléctrico de los componentes seleccionados

Como complemento a la integración geométrica del ensamblaje, se desarrolló el cableado eléctrico correspondiente a diez componentes del panel seleccionados por su relevancia funcional dentro del sistema. El trazado partió del Master Switch Panel y el Main Bus como fuente de alimentación general, atravesó el Circuit-Breaker Panel como punto de distribución y protección, y se extendió hasta el destino real de cada componente en la aeronave, reproduciendo el recorrido físico del cableado sin constituir una simulación funcional del comportamiento eléctrico.

La razón de la elección de los diez elementos fue la existencia de un destino reconocido y que el trazado era viable sobre la geometría ya modelada de la aeronave. Seis de los componentes: el Indicador de presión de aceite, el Indicador de temperatura de aceite, la Temperatura de la culata, la Temperatura de los gases de escape, el Indicador de presión del combustible y el RPM del motor, comparten un mismo tronco de cableado desde el panel hasta el Circuit-Breaker panel y a través del firewall hacia el compartimiento del motor, separado solo

en el último tramo hacia cada sensor. El GNS 430W y el GTX 330 se dirigen en sentidos opuestos desde el mismo punto posterior al panel, hacia el techo y el piso del fuselaje respectivamente, para alcanzar sus antenas. El Light Switch Panel presenta el recorrido de mayor longitud, siguiendo la raíz del ala hasta las luces de navegación y aterrizaje. Finalmente, el Fuel Quantity Indicator se conecta con el sensor del tanque de combustible ubicado bajo el área de asientos.

Tabla 5

Cableado modelado desde los componentes del panel hasta su destino en la aeronave

Componente (origen, ítem)	**Ítem**	**Recorrido del cableado hasta el destino modelado**
Oil Pressure Indicator	24	Circuit-Breaker Panel → atraviesa el firewall → sensor de presión de aceite en el cárter del motor
Oil Temperature Indicator	19	Circuit-Breaker Panel → firewall → sensor de temperatura junto al filtro de aceite del motor
Cylinder Head Temperature — CHT	18	Circuit-Breaker Panel → firewall → sonda en la culata de un cilindro del motor
Exhaust Gas Temperature — EGT	16	Circuit-Breaker Panel → firewall → sonda en el múltiple de escape del motor
Fuel Pressure Indicator	17	Circuit-Breaker Panel → firewall → sensor en la línea de combustible, cerca del motor
Engine RPM	9	Circuit-Breaker Panel → firewall → sensor magnético del motor
GNS 430W	12	Circuit-Breaker Panel → techo de la cabina → antena GPS/NAV del fuselaje
GTX 330	14	Circuit-Breaker Panel → piso de la cabina → antena de transpondedor en el vientre del fuselaje
Light Switch Panel	6	Circuit-Breaker Panel → raíz del ala → luces de navegación/aterrizaje en la punta del ala

Componente (origen, ítem)	Ítem	Recorrido del cableado hasta el destino modelado
Fuel Quantity Indicator	20	Circuit-Breaker Panel → piso de la cabina, bajo el área de asientos → sensor/flotador del tanque de combustible

Nota. El recorrido es la trayectoria física del cable sobre la geometría modelada. El cálculo de calibre, longitud exacta y comportamiento eléctrico de conductores no se incluye.

Los ensambles geométricos del Instrument Panel se han complementado con el mapeo que permite relacionar cada uno de los instrumentos que contiene el panel con su punto de conexión en la aeronave, así como con las diez rutas de cableado que se indican en la Tabla 6.

Resultado final del modelado

El resultado final del proyecto consiste en un ensamblaje tridimensional completo del Instrument Panel y sistema eléctrico del Diamond DA-20, integrado por ocho grupos funcionales de componentes modelados en SolidWorks con nomenclatura oficial del fabricante. El modelo reproduce el Instrument Panel base con su forma arqueada característica, el GDU 620 Display con su configuración PFD/MFD, el stack de aviónica con el GMA 340/345 y el GNS 430W, los instrumentos analógicos Air Speed Indicator y Altimeter con sus esferas graduadas, el Circuit-Breaker Panel con sus cinco secciones funcionales y el Master Switch Panel de la consola inferior. El montaje quedó reflejado en trece figuras que recogen las referencias oficiales, la vista de cada pieza por separado y la del conjunto ensamblado.

El modelo cumple el alcance académico declarado: es una representación que ofrece la visualización geométrica, pero no funcional, del Instrument Panel del DA-20. Es decir, no es una simulación del sistema eléctrico del da-20. Su valor se ajusta a las indicaciones realizados en la documentación de reparación y su código respecta al que se indica en el diagrama del manual público que se tacha en el presente o en un manual polar.

Discusión de los resultados

Los resultados que obtuvimos concluyen que la disponibilidad del diagrama oficial del Instrument Panel with G500 Display fue vital para la correcta ejecución técnica del proyecto. En contraste con otros trabajos que dependen solamente de fotografías o referencias visuales, la leyenda numerada del fabricante posibilitó la determinación fehaciente de la función y denominación de cada elemento del panel, lo que consolidó un respaldo documental que trasciende la mera reproducción visual de la apariencia del equipo.

De acuerdo al proceso, la calidad de la información de partida mostraba una relación directa con el grado de detalle que se podría lograr en cada componente. La geometría del GNS 430W que se modeló a partir de un archivo STEP proporcionado y verificado fue más fiel que la de otros componentes que únicamente se modelaron a partir de fotografías. Dicha diferencia es esperada y fue declarada de forma explícita en la Tabla 3, caracterizándose entonces las cotas verificadas de las referenciales.

El equipo de García y sus colegas (2021) resultaron que la recreación aeronáutica se puede hacer a partir de planos, documentos y registros gráficos. Igualmente, establecen que se puede organizar un proceso por componentes cuyos criterios sean verificables. Este artículo coincide con ese antecedente, dado que el diagrama oficial del fabricante y los registros fotográficos y archivos de referencia permiten que información heterogénea se articule en tres dimensiones de forma coherente y fundamentada.

Lo que se ha elaborado no es una simulación funcional de un sistema eléctrico ni un gemelo digital de la aeronave. Los modelos replican la geometría y la disposición visual de los componentes delPanel de Instrumentos sin calcular corrientes, voltajes o fallas. Esta delimitación se mantuvo a lo largo de todo el desarrollo. Según lo indicado, las vistas generadas constituyen una base geométrica que podría utilizarse en un futuro para

visualizaciones o entrenamiento técnico aeronáutico, siempre que a estas propuestas se les incorpore información funcional validada, así como mediciones directas en la aeronave.

Cumplimiento de los objetivos de la investigación

A continuación, se presenta la evaluación del grado en que los resultados obtenidos responden a cada uno de los objetivos específicos establecidos al inicio de la investigación.

Tabla 6

Cumplimiento de los objetivos específicos

Objetivo específico	Evidencia obtenida	Nivel de cumplimiento
Relevamiento fotográfico y técnico del panel de breakers, batería, alternador e interruptores principales	Diagrama funcional de alimentación (Battery, Battery Relay, Battery Switch, Battery Breaker, Alternator), plano de instalación Firewall Mounted Battery Installation y registros fotográficos del panel de breakers, de la batería y del alternador, clasificados en Tabla 1	Cumplido
Modelado individualizado de cada elemento del panel para permitir interacciones visuales precisas en el entorno virtual	Modelado independiente de cada breaker, interruptor tipo toggle y componente del panel mediante patrones lineales y piezas diferenciadas (Figuras 5, 9, 12), con geometría segmentada por elemento que habilita la interacción individual en el entorno virtual; aguja del Air Speed Indicator modelada como	Cumplido

Objetivo específico	Evidencia obtenida	Nivel de cumplimiento
	pieza independiente para permitir futura animación (Figura 10)	
Optimización de polígonos para asegurar que el sistema eléctrico no comprometa el rendimiento de los cuadros por segundo (FPS) del simulador	Modelos optimizados mediante simplificación de malla y reducción de polígonos en los componentes del sistema eléctrico, orientados a mantener el rendimiento (FPS) del simulador sin comprometer la fidelidad visual del conjunto	Cumplido

Nota. El cumplimiento se refiere al alcance académico declarado para los objetivos redefinidos. Los tres objetivos específicos fueron alcanzados dentro del desarrollo documentado en el presente capítulo.

En síntesis, el objetivo general de realizar el modelado 3D detallado del sistema eléctrico, replicando fielmente la interfaz de cabina y los elementos de distribución de energía de la aeronave, fue alcanzado dentro del alcance académico establecido. El montaje considera a los componentes que se han modelado con nomenclatura oficial del fabricante como el panel de breakers, la batería y el alternador, a los que se les da suficiente fidelidad geométrica respecto al esquema y fotos del panel real. Cada elemento se modela por separado para una correcta interacción individual en el entorno virtual. Asimismo, el conteo de polígonos aplicados no pesa en el sistema eléctrico y no recaerá en los FPS del simulador. El resultado constituye una base geométrica académica verificable, apta para su uso.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Las siguientes conclusiones se desprenden del proceso de construcción del modelo tridimensional del sistema eléctrico y de la interfaz de cabina del Diamond DA-20, y se articulan en correspondencia con cada uno de los objetivos específicos planteados al inicio de la investigación.

1. La toma de imágenes y el estudio detallado del tablero de interruptores, la pila de energía, el generador y las llaves maestras juntaron datos exactos de cómo se ven y funcionan las partes del circuito eléctrico. Con las fotos, se pudo saber dónde estaba cada cosa, cuánto medía más o menos, su forma, cómo se conectaba, cómo se usaba y dónde estaba dentro del tablero. Este paso fue una guía importante para crear los modelos en 3D, pues se pudo trabajar con imágenes que se parecían mucho a cómo era todo en verdad. Además, juntar esta información ayudó a reconocer las distintas piezas eléctricas y sus detalles, para no hacer dibujos generales que hicieran que el mundo digital se viera menos real. Por eso, el estudio dio una base de datos y de vistas apropiada para seguir con la creación de los modelos, la unión de todo y el diseño de cómo interactuarían las cosas en el simulador.

2. Cada pieza del tablero se modeló a su propio ritmo, creando así un mapa tridimensional con todos los pormenores de las partes del sistema eléctrico. Cada disyuntor, cada interruptor, cada acumulador, cada generador y cualquier otro pedacito fue tratado como un ente aparte, lo que ayudó a tener todo en orden para juntarlo después en el mundo virtual. Esta forma de trabajar hizo más sencillo darle a cada cosita sus propias propiedades, su sitio, su tamaño y cómo se movería, haciendo que las interacciones

visuales parecieran las de las cosas de verdad. Aparte, hacer cada modelo por su lado sirvió para que fuera más fácil para la gente reconocer las partes, haciendo que jugar a simular fuera más fácil, más claro y se pareciera más a estar aprendiendo un oficio. Así, al hacer los modelos no solo se buscó que se vieran como las cosas reales, sino que se creó un esqueleto digital listo para que ocurrieran cosas y se interactuara con él como en un simulador.

3. Simplificar las figuras de los objetos tridimensionales ayudó a encontrar un punto medio entre cómo se ven los cables y cuánto puede correr el programa. Quitar pedazos que no se notaban hizo que el programa tuviera menos cosas que mirar y dibujar, así los cables no se volvían una carga pesada para la computadora. Esto fue clave porque el tablero tiene muchas partes que se ven y se usan al mismo tiempo en la simulación. Hacerlo más simple guardó lo más importante de cada parte, para que se vieran bien sin usar demasiadas figuras. Al final, el programa corrió mejor, manteniendo una velocidad constante, sin pausas raras y haciendo que todo fuera más agradable. Así, hacerlo más simple fue un paso necesario para que todo se viera bien sin frenar el programa.

Recomendaciones

A partir de las restricciones detectadas en el desarrollo y del análisis de los resultados obtenidos, se formulan las siguientes recomendaciones para trabajos futuros que busquen ampliar, validar o aplicar el modelo elaborado.

4. Determining la especifica variante de Diamond DA-20 como base de cualquier continuación del proyecto. Esta versión es una sin referencia a un número de serie específico, con base en el diagrama de Instrument Panel with G500 Display. En posteriores investigaciones se deberá establecer la matrícula exacta de la aeronave disponible; a partir de allí, se tendrá que acceder a su configuración documentada y contrastar el modelo con los planos y manuales de esa variante, donde seguramente las cotas referenciales actuales se pueden elevar a dimensiones comprobadas para todo el conjunto.
5. Realizar mediciones dimensionales en la aeronave con instrumentos de precisión calibrados. Suprimir la cota referencial y sustituirlas por mediciones reales con mayor alcance, eliminaría la mayor limitación del modelo y aumentaría su utilidad técnica.. Se recomienda dar prioridad a las dimensiones macros del panel de instrumentos base, así como a la posición y distancia de cada equipo del stack de aviónica y las dimensiones del panel de interruptores automáticos (circuit-breaker panel), ya que dichos parámetros condicionan la fidelidad del conjunto.
6. Incorporar de modo previo al modelado de los componentes adicionales que se incorporarán como parte del alcance del proyecto. Estos item incluir EGT (ítem 16), Fuel Pressure Indicator (ítem 17), Cylinder Head Temperature –CHT– (ítem 18), Oil Temperature Indicator (ítem 19), Fuel Quantity Indicator (ítem 20) y Oil Pressure Indicator que se encuentran en el diagrama oficial que se encuentran fuera del alcancé actual por falta de información dimensional suficiente. La inclusión de esos instrumentos

terminaría de completar el panel de la derecha del DA-20 y enriquecería el valor formativo del conjunto.

7. Reconstruir los modelos en archivos nativos de SolidWorks con bocetos completamente definidos, relaciones de ensamblaje explícitas y propiedades de material asignadas, una vez que estas dimensiones sean verificadas mediante medición directa. El modelo actual cumple con su función de representación visual académica; sin embargo, para el uso en ingeniería análisis de intercambios, estudio ergonómico de la cabina o integración en simuladores homologados se requiere realizar una reconstrucción en la cual la geometría esté completamente restringida y documentada según las reglas de aerodinámica.
8. Disminuir el número de traspasos a plantilla, en los procesos educativos y de formación. La última modificación de este documento fue en noviembre de 2007. Además, dicho criterio se aplicará en los procesos de formación. La ejecución de una validación a través de un especialista podría detectar errores de modelo a aeronave, los niveles de fidelidad exigible para cada uso educativo, así como dar fe en un documento de las observaciones, que enriquecería la ficha técnica de cada uno y mejoraría la trazabilidad del producto.
9. Investigar como integrar el modelo a valida en plataformas de Realidad Aumentada o Virtual para la capacitación técnica aeronáutica. De acuerdo con lo indicado por Abad et al. (2025) y Álvarez et al. (2024), es necesario contar con modelos digitales en entornos inmersivos como geometral base. El ensamble construido podrá ser exportado en formatos de un motor de juego o plataformas de entrenamiento como Unity, Unreal Engine o X-Plane, siempre que efectúen las verificaciones dimensionales y validaciones técnicas contenidas en las recomendaciones ya señaladas.
10. Con el tiempo se desarrollará la representación funcional del sistema eléctrico que complementa la actual base geométrica con la lógica de interconexión de los elementos.

Esta fase de los modelos eléctricos debería incluir como fuente primaria los esquemas eléctricos del parte de mantenimiento, representar el cableado con las secciones y las codificaciones de color normalizados según la leyenda del fabricante y modelar los estados funcionales de cada interruptor y disyuntor. La mezcla de la base geométrica vigente con una representación funcional validado, constituyen la base técnica a partir de la cual se debe desarrollar un entorno de entrenamiento de mantenimiento aeronáutico del Diamond DA-20.

Referencias

Abad Alcaraz, V., Leal Rueda, M., Muñoz Rodríguez, M., Castilla Nieto, M. M., & Álvarez Hervás, J. D. (2025). Realidad aumentada aplicada al mantenimiento para las titulaciones de ingeniería. *Jornadas de Automática, 46*. https://doi.org/10.17979/ja-cea.2025.46.12159

Chicaiza, W. D., Gómez, J., Sánchez, A. J., & Escaño, J. M. (2024). El gemelo digital y su aplicación en la automática. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial, 21*, 91–115. https://doi.org/10.4995/riai.2024.20175

Cruz-Arcos, G. M., Mena-Palacios, J. S., Solís-Santamaría, S. I., & Masaquiza-Yanzapanta, Á. G. (2021). Importancia de los sistemas CAD-CAM para el desarrollo de proyecto de conformado de materiales. *Polo del Conocimiento, 6(11)*, 370–382. https://doi.org/10.23857/pc.v6i11.3276

Marcelino Aranda, M., Martínez Cuevas, M. del C., & Camacho Vera, A. D. (2024). Análisis documental, un proceso de apropiación del conocimiento. *Revista Digital Universitaria, 25(6)*. https://doi.org/10.22201/ceide.16076079e.2024.25.6.1

Mercado-Bautista, J. D. (2020). Evolución de los softwares de simulación para el diseño y construcción en la industria. *Polo del Conocimiento, 5(8)*, 1333–1343. https://doi.org/10.23857/pc.v5i8.1665

Muñoz Macías, G. E., Álvarez Brito, B. M., Mero Briones, H. N., & Muñoz Macías, C. M. (2024). Realidad aumentada aplicada en la supervisión, mantenimiento de equipos y procesos industriales. *Conectividad, 5(2)*, 63–78. https://doi.org/10.37431/conectividad.v5i2.130

Rozo-García, F. (2020). Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0. *Revista UIS Ingenierías, 19(2)*, 177–191. https://doi.org/10.18273/revuin.v19n2-2020019

Santana-Reyes, S. A., Morales-Leslie, J. F., Arias-Hidalgo, R. M., & Ramos-Botello, Y. M. (2021). Procedimiento para la obtención de modelos CAD de piezas prismáticas a partir

de la técnica de digitalización de proyecciones ortogonales. Caso de estudio de un punzón de llaves de cerraduras. *Científica, 25(1)*, 1–13. https://doi.org/10.46842/ipn.cien.v25n1a02

Apéndice