

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DIDÁCTICO DE TURBOFÁN IMPRESO EN 3D Y CON CONTROL ELECTRÓNICO

*DESIGN AND CONSTRUCTION OF A DIDACTIC MODEL OF
TURBOFAN PRINTED IN 3D AND WITH ELECTRONIC CONTROL*

Sandra Paola Pardo Valdez

Universidad Autónoma de Sinaloa, México
sandrapaolapardo.facite@uas.edu.mx

Erick Higuera Lizárraga

Universidad Autónoma de Sinaloa, México
erickhiguera.facite@gmail.com

Gema Esmeralda Guerrero Flores

Universidad Autónoma de Sinaloa, México
gemaguerrero.facite@uas.edu.mx

Christian García Mojardín

Universidad Autónoma de Sinaloa, México
20495730.garcia@ms.uas.edu.mx

Canek Portillo Jiménez

Universidad Autónoma de Sinaloa, México
canekportillo@uas.edu.mx

Deisy Carolina Romero González

Universidad Autónoma de Sinaloa, México
carolina.romero@info.uas.edu.mx

Recepción: 9/diciembre/2025

Aceptación: 25/marzo/2026

Resumen

La ingeniería aeronáutica requiere de herramientas prácticas para su aprendizaje. Sin embargo, no todas las universidades tienen acceso a un turbofán real, especialmente en escuelas donde la licenciatura fue recientemente introducida. Para atender esta necesidad, se desarrolló un prototipo didáctico a escala, tomando como referencia el Rolls-Royce Trent 900 utilizado en el Airbus A380. El diseño partió de un modelo tridimensional modificado para integrar un motor de corriente continua (CC) más accesible. Las piezas se fabricaron mediante

impresión 3D con ácido poliláctico (PLA). Se incluyó un circuito electrónico que controla la rotación del fan y un sistema de iluminación de diodos emisores de luz (LED) para resaltar las principales etapas del turbofán. Las pruebas confirmaron su funcionalidad en términos didácticos. Además, a través de exposiciones se concluyó que fue bien recibido por estudiantes. Este proyecto sirve como una herramienta interactiva, atractiva y económica para enseñar el funcionamiento de un turbofán.

Palabras Clave: Ingeniería aeronáutica, modelo didáctico, motor de reacción, proyecto integrador, turbofán.

Abstract

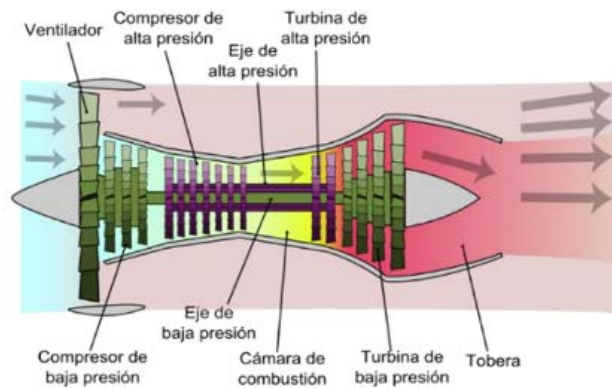
Aeronautical engineering requires practical tools for its learning. However, not all universities have access to a real turbofan, especially in schools where the bachelor's degree has been recently introduced. To meet this need, a scaled educational prototype was developed, taking as reference the Rolls-Royce Trent 900 used in the Airbus A380. The design was based on a three-dimensional model modified to integrate a more accessible direct current (DC) motor. The parts were manufactured through 3D printing using polylactic acid (PLA). An electronic circuit was included to control the rotation of the fan and a light-emitting diode (LED) system to highlight the main stages of the turbofan. The tests confirmed its functionality in didactic terms. Furthermore, through exhibitions, it was concluded that it was well received by students. This project serves as an interactive, attractive, and economical tool to teach the operation of a turbofan.

Keywords: Aeronautical engineering, didactic model, integrative project, reaction engine, turbofan.

1. Introducción

El turbofán es un motor a reacción, una variante de motor de turbina de gas que utiliza un ventilador de flujo guiado para proporcionar un alto rendimiento en el espectro de vuelo de alta subsónica y baja supersónica [Geatrix, 2012]. En la aviación comercial, los motores del tipo turbofán son los más utilizados debido al alto empuje que permite a las aeronaves alcanzar altas velocidades y realizar sus

vuelos con óptima eficiencia de combustible [Guevara, 2022]. En este artículo, se presenta el proceso de diseño y fabricación de un prototipo didáctico de turbofán a escala, fabricado mediante impresión 3D. En su estructura base se aloja un circuito electrónico diseñado por los propios autores, que controla la rotación del fan con un motor de corriente continua (CC) y regula un sistema de iluminación LED que simula las principales etapas de operación: admisión, compresión, combustión/expansión y escape (Figura 1). Si bien el prototipo no es un motor funcional en términos de propulsión, sí permite visualizar el movimiento rotacional del eje del turbofán y sus componentes.



Fuente: [Balibrea, 2023]

Figura 1 Partes generales de un turbofán.

La iniciativa de creación del proyecto surge como parte de un enfoque de aprendizaje basado en proyectos, integrando conocimientos de diferentes asignaturas (proyectos integradores). Con dos objetivos principales: fortalecer el aprendizaje de los estudiantes a través de su participación directa en proyectos y obtener productos finales (prototipos didácticos) con potencial de ser un recurso de aprendizaje de las futuras generaciones de estudiantes de la Licenciatura en Ingeniería Aeronáutica. Además, este tipo de prototipos permite contribuir en la difusión y despertar el interés en la carrera para jóvenes egresados de bachillerato en búsqueda de opciones educativas. Esta última parte es especialmente significativa en esta carrera, de reciente creación, que se imparte en la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Espacio (FACITE) en la Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS). El desarrollo de prototipos didácticos como estrategia de enseñanza,

aprendizaje y adquisición de competencias tiene antecedentes sólidos. Desde la elaboración de proyectos de automatización industrial para el aprendizaje significativo a nivel bachillerato [Rojas, 2012], pasando por la elaboración de prototipos didácticos para confirmar el nivel de aprendizaje en la enseñanza de Electricidad y Magnetismo para estudiantes de ingeniería aeronáutica [Vega, 2010], hasta el desarrollo de prototipos didácticos utilizando dos tipos de métodos de manufactura en la ingeniería mecánica e industrial [Silva, 2024]. Un caso en particular donde se implementa una estrategia didáctica similar es en el IPN-UPIIG (Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Guanajuato del IPN). En dicho proyecto, desensamblan un turbofán GE-CF700 en desuso de una aeronave Sabreliner NA-75A para, después de realizar limpieza y lubricación, mostrarlo a estudiantes de diversas asignaturas de Ingeniería Aeronáutica que consideran tendría algún grado de aprovechamiento didáctico. Es importante señalar que se creó una estructura de soporte. Además, se cortaron, removieron y desmantelaron partes del turbofán para hacer visibles internamente las diferentes secciones que lo conforman [Luna, 2015]. Aunque se trata de un buen proyecto, obtener un avión real, incluso inhabilitado, para utilizar cualquiera de sus partes no es tarea sencilla, ya que requiere recursos significativos tanto económicos como de gestión de tiempo. Por otro lado, en el Centro de Investigación (NASA Glenn Research Center), ubicado en Cleveland, Ohio, han adquirido un motor a reacción de escala reducida completamente funcional. El motor denominado DGEN380 Aero-Propulsion Research Turbofan (DART) es utilizado con propósitos de investigación [Stutliff, 2023]. De esta forma, pueden realizar experimentos a escala reducida, pudiendo escalar los resultados posteriormente a una escala mayor. Principalmente, se han enfocado en el aprovechamiento del DART para investigaciones acústicas dirigidas por el grupo de trabajo de acústica en el laboratorio de propulsión aeroacústica (AAPL) [Stutliff, 2019]. Es un proyecto interesante, y aunque el prototipo posee dimensiones similares a los utilizados para los prototipos didácticos, no cae dentro de esta clasificación al ser completamente funcional con propósitos de investigación y no con fines didácticos. En Balibrea [2023], se presenta un trabajo que tiene el mayor grado de similitud respecto al que

aquí se presenta. Entre las principales diferencias, se tiene que ellos han optado por el motor tipo Rolls-Royce Trent 1000, en lugar del Rolls-Royce Trent 900. Sí mencionan que puede servir como un prototipo didáctico que ayude a comprender el proceso de funcionamiento de los motores turbofán; sin embargo, el trabajo se enfoca en el diseño y el uso de la técnica de impresión en 3D o fabricación aditiva. Hacen una descripción del método y proceso de impresión, oportunidades de mejora que consideran se pueden dar y ofrecen recomendaciones futuras para abaratar el proceso y hacerlo más eficiente. Por otro lado, aunque también incorporan un motor de CC, su control se realiza mediante un circuito electrónico adquirido previamente, sin desarrollo o implementación propia. Tampoco integran un circuito de iluminación. La base utilizada no se obtuvo mediante impresión 3D, sino que es de acrílico. Además, el costo del prototipo es más de cuatro veces superior al de la propuesta presentada en este trabajo. El proyecto presentado se destaca por ser una opción de bajo costo para implementar en universidades que desean mejorar la formación académica de estudiantes. Este prototipo, fabricado completamente mediante impresión 3D (exceptuando parte electrónica), incorpora un sistema que permite la rotación del fan. Contempla una base donde se integra un circuito electrónico que no solo controla manualmente el encendido y la velocidad de giro, sino que también regula la intensidad de luces LED dispuestas para resaltar las distintas etapas internas del turbofán, ofreciendo así una herramienta interactiva que combina atractivo visual con valor didáctico.

2. Métodos

El desarrollo del prototipo didáctico de motor turbofán se estructuró en siete etapas (Figura 2): concepción de la idea; búsqueda, selección y adquisición del diseño del prototipo; modificaciones del diseño; impresión en 3D del diseño estructural; ensamblaje; diseño e implementación del circuito electrónico y pruebas.

Concepción de la idea

El desarrollo de este proyecto surgió del interés de tener un acercamiento a sistemas empleados en la industria aeroespacial, con un enfoque específico en la

aeronáutica. Además, este proyecto se realiza considerando la integración de conocimientos adquiridos en las asignaturas de Planeación y Evaluación de Proyectos, y Análisis de Circuitos Eléctricos, impartidas en el tercer semestre de esta licenciatura.

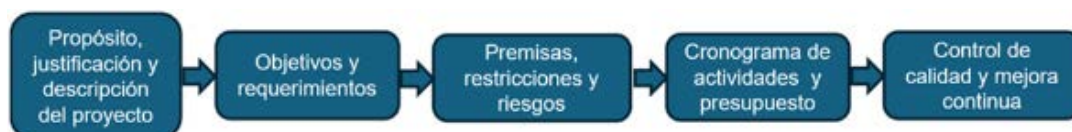


Fuente: elaboración propia

Figura 2 Proceso de desarrollo para la construcción del prototipo.

La elección del motor turbofán respondió a su relevancia y complejidad, pues es utilizado por el avión Airbus A380, considerado el avión de pasajeros más grande del mundo y un hito en la aviación comercial. Se trata de un motor de alto índice de derivación, en el que gran parte del empuje proviene de la acción del ventilador exterior, no del núcleo del motor (donde ocurre la combustión). Esta característica se traduce en un menor consumo de combustible, una notable reducción del ruido del motor y menores emisiones de dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno [Cantwell, 2024]. Finalmente, en esta fase también se estableció la planeación del proyecto, la cual abarca las etapas que se muestran en la Figura 3.

Para más información respecto a las etapas se remite al lector a los documentos correspondientes [Pardo, 2025]. Se consideró como un proyecto viable, que una vez concluido, serviría como una herramienta valiosa para la comunidad estudiantil de Ingeniería Aeronáutica, para comprender de una manera más visual el funcionamiento de este sistema. En otras palabras, se ha planteado que este prototipo va más allá del conocimiento que pueda ser adquirido por las personas involucradas durante el proceso de creación de éste, sino que beneficia a otros estudiantes de la carrera e incluso a aspirantes de nuevo ingreso.

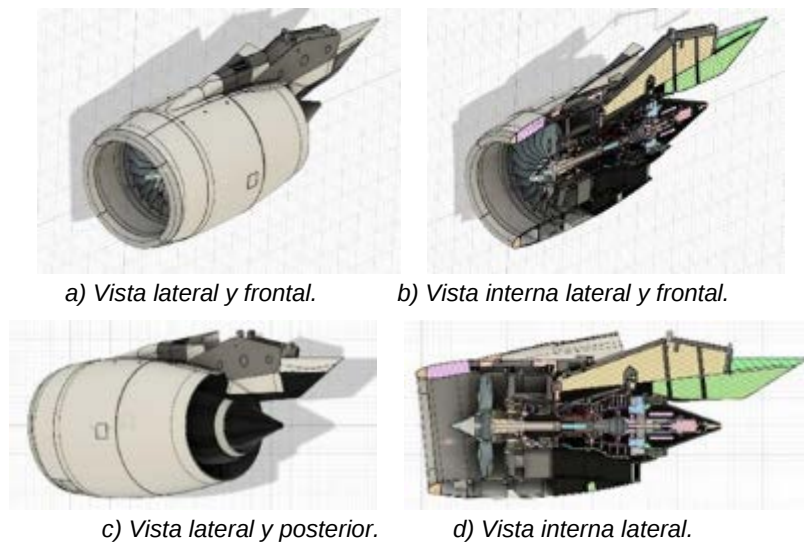


Fuente: elaboración propia

Figura 3 Planeación como parte de la fase inicial o concepción de la idea.

Búsqueda, selección y adquisición del diseño

Se optó por un diseño preexistente, ya que tiene múltiples ventajas, siendo la principal el requerimiento de un menor tiempo de desarrollo del proyecto. Cabe aclarar que el diseño original solo incluye los elementos estructurales del turbofán, sin tomar en cuenta lo correspondiente al circuito electrónico. Debido a esto, se tuvieron que realizar algunas adecuaciones. No obstante, el hecho de que no se tenga que comenzar desde cero permite enfocar los conocimientos en el circuito, lo cual es uno de los objetivos principales de este proyecto. Este motor es bastante complejo [Rolls-Royce plc, 2015]; diseñarlo desde cero requiere un alto nivel de experiencia y de tiempo, lo cual no es lo más conveniente dado el contexto de creación de este prototipo. Durante la investigación se identificó, a través de la plataforma Cults3D, el modelo desarrollado por Robert Wiley, el cual fue adquirido para su utilización en este proyecto [Wiley, 2025]. En la Figura 4 se muestran algunas imágenes del diseño del turbofán con diferentes perspectivas, incluyendo una visualización tanto de la parte interna como externa.



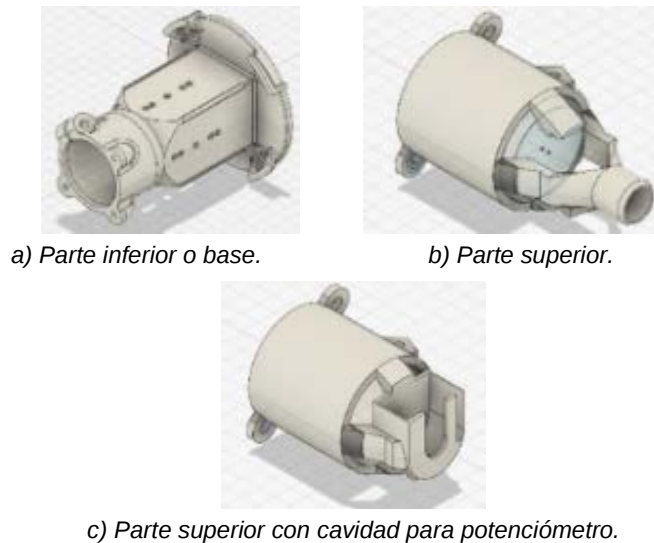
Fuente: [Wiley, 2025]

Figura 4 Imágenes del diseño del turbofán (exterior e interior).

Cabe destacar que, aunque se ha elegido este diseño, no será usado exactamente como fue adquirido, sino que se le han realizado algunas modificaciones para que se alinee a las necesidades y requerimientos del prototipo.

Modificaciones del diseño

Ha sido necesario realizar algunas modificaciones. Una de las más significativas fue la del soporte donde va montado el motor. El diseño original incluía un motor que no estaba disponible en México al momento de la creación del prototipo. Para solucionar esto, se eligió un motor que fuera asequible y cumpliera con las características que se buscaban: lograr que las partes móviles tuvieran un movimiento más eficiente y fluido [Pardo, 2025]. Esto implicó una modificación en las dimensiones del soporte del motor, cuidando que el diseño exterior del prototipo turbofán no fuera alterado por los cambios en su base. La Figura 5 muestra las partes del diseño del soporte del motor y del potenciómetro. Estos se aumentaron en diámetro y longitud para albergar al motor adquirido.



Fuente: [Wiley, 2025]

Figura 5 Imágenes del diseño del turbofán (contenedor del motor y potenciómetro).

La Figura 6a muestra la evolución (de derecha a izquierda) de los cambios realizados de la parte superior. La pieza de la derecha ha sido resultado de la impresión del diseño original; la pieza del medio es la pieza con la primera modificación: diámetro y altura del cilindro. Finalmente, la pieza de la izquierda se imprime con el compartimento del potenciómetro.

La Figura 6b muestra el cambio de dimensiones en las piezas embonadas. La pieza de la izquierda resulta del diseño modificado, pero aún sin incorporar el receptáculo

para colocar el potenciómetro. Finalmente, la Figura 6c muestra la pieza completa en su versión final.



a) *Modificaciones parte superior.*



b) *Comparación.*



c) *Pieza completa (pieza semicompleta preliminar).*

Fuente: elaboración propia

Figura 6 Impresiones del contenedor del motor y potenciómetro.

La Figura 7 muestra el cono posterior del turbofán. Dentro de él se colocan las piezas de soporte del motor y el potenciómetro.



a) *Perspectiva de la base.*



b) *Perspectiva de la perilla de control.*

Fuente: elaboración propia

Figura 7 Cono posterior del turbofán.

Observe la base (Figura 7a) y la perilla de control del potenciómetro (Figura 7b). De la misma forma, fue necesario corregir el archivo del diseño de la base donde va

montado el prototipo entero, puesto que, durante el proceso de preparación para la impresión, el laminador detectó que una de las piezas de la base no tenía la geometría completa. Esto significa que la pieza no es completamente sólida, sino un conjunto de caras incompletas. Para solucionar este problema, se utilizó el software Meshmixer, donde se reparó manualmente la malla 3D, para asegurar que la pieza fuera sólida y apta para la impresión.

Impresión en 3D

Para la fabricación aditiva se ha utilizado una impresora 3D de la marca Creality 3d-K1, con tecnología de impresión FDM (modelado por deposición fundida), con dimensiones de $355 \times 355 \times 480 \text{ mm}$, y una velocidad de impresión de hasta 600 mm/s . Durante la selección del material, se evaluaron diversas opciones y se determinó que el PLA (ácido poliláctico) resultaba el más adecuado por sus propiedades. Este material permite reproducir geometrías complejas con configuraciones estándar, admite velocidades de impresión elevadas y presenta un costo reducido, lo que contribuye a acortar los tiempos de fabricación. En la Figura 8, se muestra el interior de la impresora con la impresión de una de las piezas del turbofán denominada ventilador o fan. La impresión completa del modelo se había estimado inicialmente en 300 h ; sin embargo, gracias a la elección del filamento y a la experiencia previa en impresión 3D, el tiempo total se redujo a 210 h .



Fuente: elaboración propia

Figura 8 Impresión 3D de la pieza denominada fan o ventilador.

Ensamblaje

El diseño 3D del prototipo incluye tolerancias y espacios para ensamblar el turbofán con tuercas y tornillos específicos. Después de conseguir los materiales y

herramientas necesarias, se continuó con el proceso de ensamblaje. Primero, se ensambló la parte interna (Figura 9). Tras la integración del núcleo, se pintaron las piezas que lo requerían antes de incorporarlas al conjunto del turbofán.



a) Compresor (azul).



b) Cámara de combustión y turbina (negro y rojo).



c) Fan y cubierta (gris y blanco).

Fuente: elaboración propia

Figura 9 Ensamblado del turbofán.

Algunas piezas se fabricaron directamente en color azul, rojo o negro, lo que facilitó la identificación de las diferentes secciones. Otras fueron impresas en color blanco y posteriormente pintadas en una segunda etapa, como las vistas frontales, componentes internos adyacentes al fan y la sección de salida de gases (Figura 10). Después de concluir de pintar las piezas se finalizó la etapa de ensamblaje, uniendo el núcleo con la carcasa.

Diseño e implementación del circuito electrónico

El circuito electrónico tiene la función de controlar el motor (encendido, apagado y cambio de velocidad), así como el encendido de las luces interiores del núcleo del turbofán.



a) Pintando piezas color blanco.



b) Secándose la pintura gris.



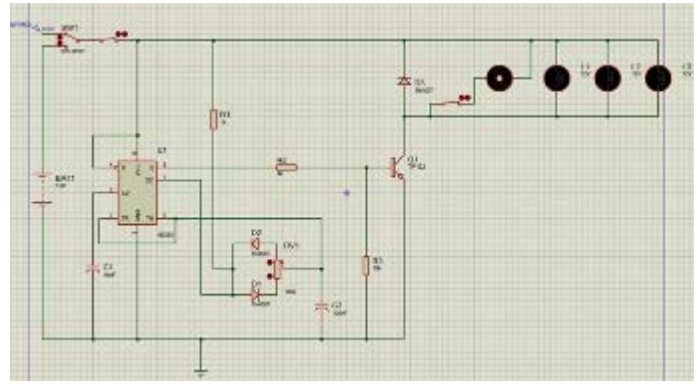
c) Retocado de pintura (otras piezas).

Fuente: elaboración propia

Figura 10 Proceso de pintado de piezas impresas en 3D.

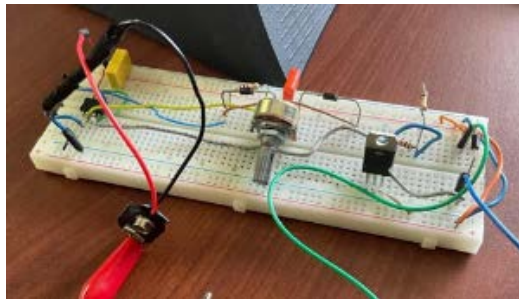
El circuito para el control del motor se basa en el circuito integrado temporizador NE555. Este temporizador en modo astable produce una onda cuadrada, y el ancho de pulso cambia según el ajuste del resistor variable (potenciómetro). La modificación de este parámetro altera el ciclo de trabajo (*duty cycle*) de la señal, lo que regula la conducción del transistor encargado de energizar el motor de corriente continua (CC). La velocidad de rotación del motor es proporcional a las variaciones del ciclo de trabajo [UTC, 2025]. Por otra parte, se conectaron diodos LEDs en paralelo al motor de CC con el propósito de iluminar la estructura interna del turbofán, y mejorar la visualización de sus componentes. El diagrama esquemático del circuito, elaborado en el software de simulación Proteus 8.9, se muestra en la Figura 11. Se implementó el circuito primeramente en una tablilla para prototipos (*protoboard*). Una vez que se validó su funcionamiento, se procedió a montarlo en una placa perforada de baquelita, donde se soldaron con estaño los componentes del circuito (Figura 12). La placa de baquelita perforada da muy buena flexibilidad y opciones de organización de los componentes; no requiere de técnicas de impresión

especializada (PCB), ni manejo de químicos como el ácido férrico. Por otro lado, observe que en la Figura 12b ya no aparece el potenciómetro. Hay que recordar que este se coloca junto con el motor dentro del cono posterior del prototipo de turbofán. Para información más específica del circuito y de los diferentes componentes, puede consultar la documentación en [Pardo, 2025].

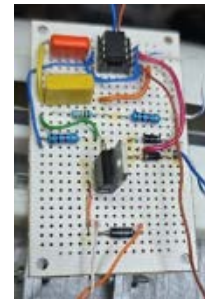


Fuente: elaboración propia

Figura 11 Diagrama esquemático del circuito electrónico.



a) En protoboard.



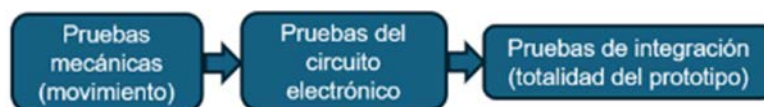
b) En placa de baquelita perforada.

Fuente: elaboración propia

Figura 12 Implementación del circuito electrónico.

Pruebas

Las pruebas de funcionamiento incluyen un procedimiento con tres partes principales (Figura 13): mecánicas, del circuito electrónico y de integración.



Fuente: elaboración propia

Figura 13 Procedimiento de pruebas.

Las pruebas mecánicas consistieron en probar la rotación adecuada de las partes móviles en el interior del prototipo. Se comprobó que no existiera rozamiento o fricción excesiva que dificultara las revoluciones del eje del turbofán y del motor de CC. Las pruebas del circuito electrónico se realizaron por secciones: se prueba la parte del circuito correspondiente al control del motor y, por otro lado, se verifica el circuito correspondiente al control de luces. A su vez, para cada circuito, el proceso de implementación, desarrollo y prueba ha sido gradual. Esto significa que primero se fueron armando y probando el funcionamiento de partes del circuito conforme se tenía el circuito final. Una vez completado y validado el circuito en su totalidad, se procedió con la integración y pruebas correspondientes del circuito electrónico con el prototipo impreso en 3D. Las pruebas de integración de la totalidad del prototipo (incluyendo el circuito de regulación de luces y control del motor) se realizaron también por partes, llevando a cabo múltiples pruebas de funcionamiento. Se siguió un procedimiento incremental: incorporar un componente, verificar su funcionamiento, fijarlo de forma permanente y continuar con el siguiente. En Pardo [2025], se puede visualizar un par de pruebas de iluminación, además de una prueba de movimiento con el turbofán prácticamente integrado.

3. Resultados

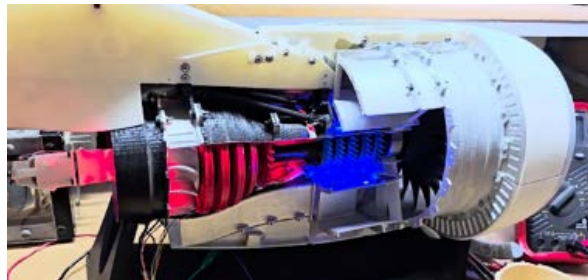
El prototipo de turbofán a escala reducida impreso en 3D que se ha obtenido como resultado del proyecto se muestra a continuación. En la Figura 14 se muestra al prototipo junto con herramientas empleadas para su elaboración, dentro de una de las áreas de trabajo de la FACITE.



Fuente: elaboración propia

Figura 14 Turbofán y herramientas de trabajo.

La Figura 15 muestra el turbofán con un acercamiento a la parte interna iluminada, sobre una mesa de pruebas con instrumentos alrededor. El prototipo es completamente funcional en términos didácticos e interactivos. Las diferentes partes o componentes se observan claramente; incluso los distintos colores y las luces interiores permiten una mejor identificación. El movimiento controlable del ventilador proporciona una representación más precisa del funcionamiento de un turbofán a escala real, facilitando su comprensión en un contexto educativo.



Fuente: elaboración propia

Figura 15 Prototipo didáctico de turbofán en operación.

Se ha realizado una encuesta de cuatro preguntas de opción múltiple a alumnos de nuevo ingreso relativas al impacto que han tenido las exposiciones en la elección de la carrera que han elegido estudiar [Pardo, 2025]. En la Tabla 1 se presenta un resumen de las respuestas más relevantes elegidas por los estudiantes.

Tabla 1 Resumen de respuestas relevantes.

No. Reactivo	Opción elegida como respuesta	Porcentaje de alumnos (%)
1	Indican que se han enterado de la existencia de la carrera de Ingeniería Aeronáutica a través de estas exposiciones de proyectos	5.3
2	Las exposiciones de proyectos influyeron en la decisión de ingresar a la carrera de Ingeniería Aeronáutica, pero no fueron el factor principal	10.5
3	Mencionan haber asistido a las exposiciones de proyectos	5.3
4	Afirman tener conocimiento de las exposiciones de proyectos que organiza la Facultad	57.9

Fuente: [Pardo, 2025]

4. Discusión

El prototipo validó su utilidad como recurso didáctico en dos presentaciones públicas. La primera tuvo lugar en la exposición de proyectos de las asignaturas

Planeación y Evaluación de Proyectos, y Análisis de Circuitos Eléctricos, dirigida principalmente a estudiantes y docentes de la carrera de Ingeniería Aeronáutica (Figura 16). Este evento no solo ofreció una experiencia formativa directa a los participantes del proyecto, sino que también permitió que estudiantes de otros semestres conocieran el trabajo desarrollado por sus compañeros.



Fuente: elaboración propia

Figura 16 Exposición de proyectos de ingeniería aeronáutica.

Este tipo de actividades fomenta la interacción académica, el intercambio de conocimientos y la consolidación de habilidades mediante metodologías de aprendizaje basadas en proyectos. La cobertura de esta actividad está documentada en la nota institucional y video demostrativo [DCSUAS-1, 2025].

La segunda participación se dio en la Primera Feria de Ciencias de la Tierra y el Espacio [DCSUAS-2, 2025], evento con mayor alcance en términos de número de asistentes y difusión, incluyendo a estudiantes interesados en cursar alguna carrera profesional. De acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 1, más de la mitad de los alumnos de nuevo ingreso encuestados (57.9%) tienen conocimiento de las exposiciones de proyectos que se han realizado, aunque solo el 5.3% ha asistido presencialmente. Los alumnos de nuevo ingreso cursaban el bachillerato cuando se realizaron exposiciones, por lo tanto, se infiere que se han enterado de estas a través de los medios de comunicación, incluyendo las redes sociales. Por otro lado, el 5.3% de los encuestados menciona que se ha enterado de la existencia de la

carrera a través de las exposiciones realizadas. Además, el 10.5% ha afirmado que las exposiciones influyeron en su decisión de ingreso, aunque no de forma absoluta. Este ejercicio de elaboración de proyectos ha permitido un reforzamiento y aprendizaje de diversas áreas del conocimiento. Se ha incursionado en el proceso de diseño e impresión en 3D o fabricación aditiva, incluyendo el manejo de software especializado correspondiente. Se ha adquirido conocimiento respecto a circuitos eléctricos, estudiando el funcionamiento de diversos componentes electrónicos, el uso de software de simulación y la implementación práctica de los circuitos. Todo lo anterior, bajo una planeación estructurada, con objetivos bien definidos y siguiendo un cronograma de actividades. Además, se ha evaluado la factibilidad del proyecto de acuerdo con premisas, restricciones y riesgos. Finalmente, se han adquirido de forma paralela conocimientos significativos acerca de la composición y funcionamiento del turbofán.

5. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado el desarrollo de un prototipo didáctico a escala de un turbofán, diseñado con el propósito de ser una herramienta visual para el aprendizaje, específicamente de este tipo de motores, en la carrera de Ingeniería Aeronáutica en la Universidad Autónoma de Sinaloa. El prototipo fue desarrollado siguiendo un enfoque metodológico que abarcó desde la concepción de la idea, el diseño y la impresión 3D, hasta el ensamblaje, la pintura y la implementación de un circuito electrónico que permite ajustar tanto la velocidad del motor eléctrico como la intensidad de las luces LED. Esto hace al prototipo más interactivo para el aprendizaje; a la vez, permite aplicar los conocimientos a lo largo del curso. Este proyecto destaca la importancia de herramientas didácticas bien diseñadas para el aprendizaje de este tipo de conceptos y presenta una base sobre la cual se pueden construir proyectos más avanzados para que los estudiantes de la carrera tengan una experiencia más cercana a la práctica que combina diseño, tecnología y teoría. Por otro lado, se ha elaborado una encuesta cuyos resultados indican que el 10.5% de los alumnos de nuevo ingreso encuestados han tomado la decisión de estudiar Ingeniería Aeronáutica, en parte, debido a las exposiciones de proyectos que se

organizaron en la primera mitad de este año. Este proyecto ha formado parte de las exposiciones y, a pesar de lo relativamente reciente de este tipo de actividades, sí se puede afirmar que ha existido cierto impacto. Como posible trabajo futuro se contempla el expandir las funciones didácticas, añadiendo al prototipo el sistema de reversa, combustible y enfriamiento.

6. Referencias y Bibliografía

- [1] Balibrea, P. Diseño y fabricación de un modelo a escala mediante técnicas de fabricación aditiva de un turbofán Rolls-Royce Trent 1000. Trabajo de fin de grado. 233, Universidad Politécnica de Cartagena, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Grado en Ingeniería Mecánica. Cartagena, España. Septiembre, 2023.
- [2] Cantwell, B. J. Aircraft and Rocket Propulsion. Chapter 5: The turbofan Cycle, Stanford Aeronautics & Astronautics, Stanford, California, Estados Unidos. Abril, 2024.
- [3] DCSUAS-1, (2025). Alumnos de la Licenciatura en Ingeniería Aeronáutica de la UAS realizan helicópteros, aeronaves, turbinas y diversos prototipos a tamaño escala. Exposición de Proyectos de Alumnos de Ingeniería en Aeronáutica, Sinaloa, México. <https://dcs.uas.edu.mx/noticias/11150/alumnos-de-la-licenciatura-en-ingenieria-aeronautica-de-la-uas-realizan-helicopteros-aeronaves-turbinas-y-diversos-prototipos-a-tamano-escala>.
- [4] DCSUAS-2, (2025). Inauguran primera Feria de Ciencias de la Tierra y el Espacio en la FACITE-UAS. Primera Feria de Ciencias de la Tierra y el Espacio, Sinaloa, México. <https://dcs.uas.edu.mx/noticias/11640/inauguran-primera-feria-de-ciencias-de-la-tierra-y-el-espacio-en-la-facite-uas>.
- [5] Geatrix, D. R. Powered Flight: The Engineering of Aerospace Propulsion (Turbofan Engines). Springer. Londres, 2012.
- [6] Guevara, F. A. J., Tapia, L. A. C., Caisaguano, J. R. Z., Escola, D. I. B. Fabricación de los Fan Blades de materiales compuestos de un motor Turbofán de uso Aeronáutico. Dominio de las Ciencias, 8(2), pp. 1134-1151. Abril, 2022.

- [7] Luna González, J., Martínez Zavala, A. I., García Sevilla, A. Aprovechamiento del motor turbofán GE-CF700 para fines didácticos. Proyecto de investigación. Ingeniería Aeronáutica. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Guanajuato-Instituto Politécnico Nacional (UPIIG-IPN), Guanajuato, México. Noviembre, 2015.
- [8] Pardo, V. S. P., Higuera, L. E., Portillo, J. C., Guerrero, F. G. E., García, M. C., (2025). Documentos generados – Proyecto turbofán. Ingeniería Aeronáutica-FACITE-UAS. Sinaloa, México. https://universidadautono220-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/canekportillo_ms_uas_edu_mx/EuryGOBf5o9Akp_KIc4K_FgBTRUk3JUyFBQI01yx9m30wA?e=jRgqHe.
- [9] Rojas Eslava, B., Moreno Ibarra, A., Calixto González, E. Elaboración de un prototipo didáctico para el desarrollo de competencias en jóvenes de bachillerato. *Innovación Educativa*, Vol. 12, núm. 60. septiembre-diciembre, 2012.
- [10] Rolls-Royce plc. Trent 900 infographic, the most reliable engine for the Airbus A380. Rolls-Royce plc, Reino Unido, agosto, 2015.
- [11] Silva, R. J. A., Sandoval, O. S., Gutiérrez, T. A. Aguilar, M. J. D., Maldonado, A. R. Desarrollo de prototipos didácticos para la enseñanza en Ingeniería: comparación entre Manufactura Aditiva y Sustractiva. *Memorias del XXX Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, pp. 216-226, Querétaro, septiembre, 2024.
- [12] Stutliff, D. L., Nark, D. M., Jones, M. G., Shiller, N. H. Design and acoustic efficacy of a broadband liner for the inlet of DGEN aero-propulsion research turbofan. In the 25th AIAA/CEAS Aeronautics Conference, Delft, Países Bajos, 2019.
- [13] Stutliff, D. L., Upadhyay, P., Gold, J. DGEN380 Aeropropulsion Research Turbopan (DART) – Status Update. Acoustic Technical Working Group, Cleveland, Ohio, October, 2023.
- [14] UTC Unisonic Technologies Co., LTD. NE555 Liner Integrated Circuit Datasheet. UTC Unisonic Technologies Co., LTD, Taiwan. 2025.

- [15] Vega, P. S., Vega, P. J. Calderas, P. M. G. Estrategia de enseñanza en la ingeniería mediante el desarrollo de prototipos didácticos. Memorias V Congreso Internacional de Innovación Educativa, 102-107, Yucatán, México. 13-15 de octubre, 2010.
- [16] Wiley, R., (2025). Motores a reacción. Cults3d.
<https://cults3d.com/es/usuarios/RTWILEYRC/modelos-3d>.