	FUERZA AEROESPACIAL COLOMBIANA	Código:	GA-JEADA-FR-201
	FORMATO CERTIFICACIÓN PARA PAGO	Versión N°:	07
		Vigencia:	28-11-2024

AUTORIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN PAGO N° **FAC-S-2026-008014-CP**

FECHA: 15-09-2026

La suscrita ***CORONEL YOIS ANDREA CORRECHA RAMIREZ*** Ordenador del Gasto de ***ESUFA - SUJEM*** nombrada mediante ***Resolución No. 401 del 16-06-2025*** ; autoriza ***pago parcial CONTRATO: CTO-009-02-K-ESUFA-GRUAC-2026*** y certifica que los documentos aquí relacionados y anexos, cumplen con todos los requisitos para realizar el pago de acuerdo con lo establecido en la circular "Políticas y disposiciones de orden financiero para el pago de obligaciones contractuales y reglamentarias de la Fuerza Aeroespacial Colombiana"

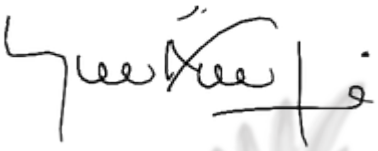
CONCEPTO	DESCRIPCION
PROVEEDOR	NELSON ARTURO JIMENEZ ACUÑA
TIPO DOC. DE IDENTIFICACIÓN	Cédula
No. DOC. DE IDENTIFICACIÓN	3094628
No DOC. SOPORTE	CTO-009-02-K-ESUFA-GRUAC-2026 OBJETO: PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE APOYO A LA GESTIÓN PARA EL ACOMPAÑAMIENTO Y COORDINACIÓN DEL SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN "INNOVATE" DE LA ESCUELA DE SUBOFICIALES FAC LOTE N°2 ASISTENTE TÉCNICO PARA LA TEMÁTICA INNOVACIÓN EN BIOENERGÍA Y BIOCOMBUSTIBLES
VALOR TOTAL	$32.401.723
VALOR A PAGAR	$3.363.500
VALOR LEGALIZACIÓN / ANTICIPO O PAGO ANTICIPADO	N/A
RUBRO PRESUPUESTAL AL MAXIMO NIVEL DE DESAGREGACIÓN	02-02-02-008-003-09----10----$3.363.500
NÚMERO DE LA ENTRADA DEL BIEN Y/O SERVICIO (SAP)	5003996732
NÚMERO DEL PEDIDO CON CARGO AL CONTRATO DEL BIEN Y/O SERVICIO RECIBIDO (SAP)	4500578086
VIGENCIA	ACTUAL
PAC MES	OCTUBRE DE 2026
BANCO	BANCO GNB SUDAMERIS
TITULAR	NELSON ARTURO JIMENEZ ACUÑA
TIPO DE CUENTA BANCARIA/ GIRO	Ahorros
NUMERO CUENTA	90090515460
ENDOSO Y/O CESIÓN DE DERECHOS (cuando aplique)	
TITULAR	N/A
NIT/C.C	N/A
BANCO	N/A
TIPO DE CUENTA BANCARIA	Ahorros
NUMERO CUENTA	90090515460

TIPO DOCUMENTO	DOCUMENTOS	N° FOLIOS
DIGITAL	Formato Certificación para pago	2
DIGITAL	Cuenta de Cobro	1

FAC-S-2026-008014-CP

DIGITAL	Los demás documentos que se hayan suscrito en el contrato y/o se requieran de acuerdo con la normatividad vigente.	***75***
	TOTAL FOLIOS	***78***

En constancia de lo anterior firman:



Coronel YOIS ANDREA CORRECHA RAMIREZ
Subdirector Y Jefe Estado Mayor

Elaboró: AS17. VINCHIRA / ALMIN TE. ARANZALEZ / DECOP Aprobó:TE. ARANZALEZ / DECOP

FUERZA AEROESPACIAL COLOMBIANA

FORMATO CERTIFICADO DE PLAN DE ADQUISICIONES - BIZAGI

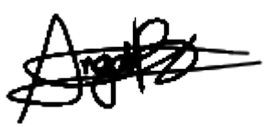
Ordenador del gasto:	ESUFA	PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE APOYO A LA GESTIÓN PARA EL ACOMPAÑAMIENTO Y COORDINACION DEL SEMILLERO DE INVESTIGACION INNOVATE DE LA ESCUELA DE SUBOFICIALES FAC	Vigencia:	
Código objeto contractual:	2026 - ESUFA00039		Fecha:	5/05/2026

Código Recurso	Proyecto Inversión	Producto Inversión	Código desagregado	Uso presupuestal	Descripción Uso presupuestal	Descripción	Código UNSPSC	Modalidad contratación	Unidad medida	Cantidad	Valor unitario	Suma de Valor total línea
Vigencia: 2026												
R-10			02-02-02-008-003	02-02-02-008-003-09	OTROS SERVICIOS PROFESIONALES, TÉCNICOS Y EMPRESARIALES N.C.P.	JEAES - ASISTENTE TÉCNICO PARA LA TEMÁTICA DESARROLLO DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS Y SISTEMAS AUTÓNOMOS.	80111501	CONTRATACIÓN DIRECTA	Global	1,00	32,401,723.00	32,401,723.00
R-10			02-02-02-008-003	02-02-02-008-003-09	OTROS SERVICIOS PROFESIONALES, TÉCNICOS Y EMPRESARIALES N.C.P.	JEAES - ASISTENTE TÉCNICO PARA LA TEMÁTICA INNOVACIÓN EN BIOENERGÍA Y BIOCOMBUSTIBLES.	80111501	CONTRATACIÓN DIRECTA	Global	1,00	32,401,723.00	32,401,723.00
											Total 02-02-02-008-003	**$ 64.803.446,00**
											Total Vigencia	**$ 64.803.446,00**

Total CPA: $ 64.803.446,00

Observaciones: SE REALIZA REDUCCIÓN DEL CPA CONFORME No FAC-S-2026-086327-CI del 30 de abril de 2026 / MDN-COGFM-FAC-COFAC-JEMFA-ESUFA-SUJEM-GRUAC.

Elaboró



_____
ST. ANGELICA PAOLA BARRETO RAMIREZ
ESPECIALISTA SEGUIMIENTO Y EVALUACION

Nota: Documento generado en Bizagi el día 5/05/2026 11:41 a. m. mediante caso CPA - 18129

Reporte Compromiso Presupuestal de Gasto Comprobante

Usuario Solicitante:	MHscabrera	Sergio Andres Cabrera Barbosa
Unidad ó Subunidad Ejecutora Solicitante:	15-01-05-012	FAC ESCUELA DE SUBOFICIALES FUERZA AEREA
Fecha y Hora Sistema:	2026-02-02-4:15 p. m.	

REGISTRO PRESUPUESTAL DEL COMPROMISO

Con base en el CDP No: 5826 de fecha 2026-01-14. Se hizo el registro presupuestal con el siguiente detalle

Número:	2826	**Fecha Registro:**	2026-02-02	**Unidad / Subunidad Ejecutora:**		15-01-05-012 FAC ESCUELA DE SUBOFICIALES FUERZA AEREA			
Vigencia Presupuestal	Actual	**Estado:**	Generado			**Tipo de Moneda:**	COP-Pesos	**Tasa de Cambio:**	0,00
Valor Inicial:	32.401.723,00	**Valor Total Operaciones:**	0,00			**Valor Actual:**	32.401.723,00	**Saldo x Obligar:**	32.401.723,00

TERCERO ORIGINAL

Identificación: Cédula de Ciudadanía	3094628	**Razón Social:**	NELSON ARTURO JIMENEZ ACUÑA	**Medio de Pago:**	Abono en cuenta

CUENTA BANCARIA

Número:	90090515460	**Banco:**	BANCO GNB SUDAMERIS S A	**Tipo:**	Ahorro	**Estado:**	Activa

ORDENADOR DEL GASTO

Identificación:	65776344	**Nombre:**	ANDREA CORRECHA RAMIREZ	**Cargo:**	SUBDIRECTOR Y JEFE DE ESTADO MAYOR DE LA ESCUELA DE SUBOFICIALES

CAJA MENOR				**VIÁTICOS**				**DOCUMENTO SOPORTE**					
Identificación:		**Fecha de Registro:**		**Genera Viáticos:**	No	**Num. Solicitud de Comisión:**		**Número:**	CTO-009-02-K-ESUFA-GRUAC-2026	**Tipo:**	CONTRATO DE PRESTACION DE SERVICIOS	**Fecha:**	2026-01-27

ÍTEM PARA AFECTACIÓN DE GASTO

DEPENDENCIA	POSICIÓN CATÁLOGO DE GASTO	FUENTE	RECURSO	SITUAC.	FECHA OPERACIÓN	VALOR INICIAL	VALOR OPERACIÓN	VALOR ACTUAL	SALDO X OBLIGAR
012 ESCUELA DE SUBOFICIALES FUERZA AEREA	A-02-02-02-008-003 SERVICIOS PROFESIONALES, CIENTÍFICOS Y TÉCNICOS (EXCEPTO LOS SERVICIOS DE INVESTIGACION, URBANISMO, JURÍDICOS Y DE CONTABILIDAD)	Nación	10	CSF		32.401.723,00	0,00		
					Total:	32.401.723,00	0,00	32.401.723,00	32.401.723,00

Objeto:	PRESTACION DE SERVICIOS DE APOYO A LA GESTIÓN PARA EL ACOMPAÑAMIENTO Y COORDINACION DEL SEMILLERO DE INVESTIGACION INNOVATE DE LA ESCUELA DE SUBOFICIALES FAC LOTE N°2 ASISTENTE TÉCNICO PARA LA TEMÁTICA INNOVACIÓN EN BIOENERGÍA Y BIOCOMBUSTIBLES

PLAN DE PAGOS

DEPENDENCIA DE AFECTACION DE PAC		POSICION DEL CATALOGO DE PAC		FECHA	VALOR A PAGAR	SALDO POR OBLIGAR	LINEA DE PAGO
012	ESCUELA DE SUBOFICIALES FUERZA AEREA	1-2	ANC - GASTOS GENERALES NACION CSF	2026-04-30	3.363.500,00	3.363.500,00	NINGUNO
012	ESCUELA DE SUBOFICIALES FUERZA AEREA	1-2	ANC - GASTOS GENERALES NACION CSF	2026-05-29	3.363.500,00	3.363.500,00	NINGUNO
012	ESCUELA DE SUBOFICIALES FUERZA AEREA	1-2	ANC - GASTOS GENERALES NACION CSF	2026-06-30	3.363.500,00	3.363.500,00	NINGUNO
012	ESCUELA DE SUBOFICIALES FUERZA AEREA	1-2	ANC - GASTOS GENERALES NACION CSF	2026-07-31	3.363.500,00	3.363.500,00	NINGUNO
012	ESCUELA DE SUBOFICIALES FUERZA AEREA	1-2	ANC - GASTOS GENERALES NACION CSF	2026-08-31	3.363.500,00	3.363.500,00	NINGUNO
012	ESCUELA DE SUBOFICIALES FUERZA AEREA	1-2	ANC - GASTOS GENERALES NACION CSF	2026-09-30	3.363.500,00	3.363.500,00	NINGUNO

012	ESCUELA DE SUBOFICIALES FUERZA AEREA	1-2	ANC - GASTOS GENERALES NACION CSF	2026-10-30	3.363.500,00	3.363.500,00	NINGUNO
012	ESCUELA DE SUBOFICIALES FUERZA AEREA	1-2	ANC - GASTOS GENERALES NACION CSF	2026-11-30	3.363.500,00	3.363.500,00	NINGUNO
012	ESCUELA DE SUBOFICIALES FUERZA AEREA	1-2	ANC - GASTOS GENERALES NACION CSF	2026-12-31	5.493.723,00	5.493.723,00	NINGUNO

YULDY ADELA SOLER MACIAS

Firmado digitalmente por YULDY ADELA SOLER MACIAS

MAYOR YULDY ADELA SOLER MACIAS

JEFE DEPARTAMENTO FINANCIERO

C.C. 41.948.047

DIAN

Formulario del Registro Único Tributario

001

2. Concepto 0 2 Actualización

4. Número de formulario 14741739347

(415)7707212489984(8020) 000001474173934 7

5. Número de Identificación Tributaria (NIT)	6. DV	12. Dirección seccional	14. Buzón electrónico
3 0 9 4 6 2 8	9	Impuestos de Bogotá 3 2	

IDENTIFICACIÓN

24. Tipo de contribuyente	25. Tipo de documento	26. Número de Identificación	
Persona natural o sucesión ilíquida 2	Cédula de Ciudadanía 1 3	3 0 9 4 6 2 8	

Lugar de expedición	28. País	29. Departamento	30. Ciudad/Municipio
COLOMBIA	1 6 9	Cundinamarca 2 5	Madrid 4 3 0

31. Primer apellido	32. Segundo apellido	33. Primer nombre	34. Otros nombres
JIMENEZ	ACUÑA	NELSON	ARTURO

35. Razón social

36. Nombre comercial	37. Sigla

UBICACIÓN

38. País	39. Departamento	40. Ciudad/Municipio
COLOMBIA 1 6 9	Bogotá D.C. 1 1	Bogotá, D.C. 0 0 1

41. Dirección principal: CL 152 94 A 67 IN 6 AP 302

42. Correo electrónico: naja52@yahoo.com

43. Código postal	44. Teléfono 1	45. Teléfono 2
1 1 1 1 6 1	3 0 0 3 3 4 3 8 5 0	

CLASIFICACIÓN

Actividad económica				Ocupación	
Actividad principal		Actividad secundaria		Otras actividades			
46. Código	47. Fecha inicio actividad	48. Código	49. Fecha inicio actividad	50. Código 1	2	51. Código	52. Número establecimientos
0 0 2 0	1 9 7 8 0 3 2 7	8 5 6 0	2 0 1 1 0 7 0 1	8 5 5 1	8 5 4 3	2 3 1 1	

Responsabilidades, Calidades y Atributos

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
53. Código 5	4 9																								

05- Impto. renta y compl. régimen ordinar

49 - No responsable de IVA

Usuarios aduaneros										Exportadores					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	55. Forma	56. Tipo	Servicio	1	2	3
54. Código												57. Modo			
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			58. CPC			

IMPORTANTE: Sin perjuicio de las actualizaciones a que haya lugar, la inscripción en el Registro Único Tributario -RUT-, tendrá vigencia indefinida y en consecuencia no se exigirá su renovación

Para uso exclusivo de la DIAN

59. Anexos SI [ ] NO [X] 60. No. de Folios: 0 61. Fecha 2021-02-19 / 11:00:27PM

La información suministrada a través del formulario oficial de inscripción, actualización, suspensión y cancelación del Registro Único Tributario (RUT), deberá ser exacta y veraz; en caso de constatar inexactitud en alguno de los datos suministrados se adelantarán los procedimientos administrativos sancionatorios o de suspensión, según el caso, Parágrafo del artículo 1.6.1.2.6 del Decreto 1625 del 2016. De igual manera al formalizar el trámite el usuario fue informado y acepta la política de tratamiento de datos ley 1581 de 2012.

Firma del solicitante:

Sin perjuicio de las verificaciones que la DIAN realice.

Firma autorizada:

984. Nombre JIMENEZ ACUÑA NELSON ARTURO

985. Cargo CONTRIBUYENTE

COPIA CERTIFICADO DOCUMENTO SIN COSTO

DOCUMENTO EQUIVALENTE A LA FACTURA EN ADQUISICIONES EFECTUADAS POR RESPONSABLES DEL IVA A PERSONAS NATURALES NO COMERCIANTES INSCRITAS COMO NO RESPONSABLES DE IVA (SEGÚN NUEVAS RESPONSABILIDADES DE LA LEY 193 DIC DE 2018)

Ciudad: Madrid, Cundinamarca
Fecha: 31 de AGOSTO 2026
Cuenta de cobro: 07

MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL

FUERZA AEROESPACIAL COLOMBIANA

ESCUELA DE SUBOFICIALES "CT. ANDRES M. DIAZ"

NIT 800.141.642-5

Dirección: Carrera 5 No 2-92 Sur
Madrid-Cundinamarca.

DEBE A**: NELSON ARTURO JIMENEZ ACUÑA**

NIT 3094628 9

No responsable de IVA

La suma de:

TRES MILLONES TRECIENTOS SESENTA Y TRES MIL QUINIENTOS M/C. ($ 3.363.500)

CANTIDAD	DESCRIPCION	V/UND	RTE FTE	TOTAL
1	PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE APOYO A LA GESTIÓN PARA EL ACOMPAÑAMIENTO Y COORDINACION DEL SEMILLERO DE INVESTIGACION "INNOVATE" DE LA ESCUELA DE SUBOFICIALES FAC LOTE N°2 ASISTENTE TÉCNICO PARA LA TEMÁTICA INNOVACIÓN EN BIOENERGÍA Y BIOCOMBUSTIBLES	3.363.500		$ 3.363.500
				$ 3.363.500

Atentamente,

Firma 

Nombre: NELSON ARTURO JIMENEZ ACUÑA
Cedula: 3.094.628
Teléfono: 300 3343850
Correo electrónico: naja52@yahoo.com

No responsable de IVA
No estoy obligado a expedir factura de venta según el artículo 616-2 del Estatuto Tributario.
Anexo copia del RUT (numeral 2, artículo 506 del Estatuto Tributario)
Sometido a retención art. 388 del E.T y articulo 206 de E.T numeral 10 me permito informar bajo la gravedad de juramento que no tengo contratadas dos o más personas en este servicio.
Declarante de renta SI_X_ NO

Madrid Cund, 31 de agosto de 2026.

Asunto; **INFORME DE ACTIVIDADES 07 (01 al 31 de agosto de 2026)**
CONTRATO. No 009-02-K-ESUFA-GRUAC-2026

OBJETO DEL CONTRATO
PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE APOYO A LA GESTIÓN PARA EL ACOMPAÑAMIENTO Y COORDINACION DEL SEMILLERO DE INVESTIGACION “INNOVATE” DE LA ESCUELA DE SUBOFICIALES FAC LOTE N°2 ASISTENTE TÉCNICO PARA LA TEMÁTICA INNOVACIÓN EN BIOENERGÍA Y BIOCOMBUSTIBLES.

Producto 1

Versión final de los artículos de los alumnos, frutos de los proyectos de investigación en las pasantías desarrollados en el semillero, listas para sustentación

Se desarrolla en el presente mes las revisiones de los artículos de los proyectos de investigación con el fin de establecer su aceptación para preparar las sustentaciones.
Artículos:

Adaptación de un sistema portátil de alimentación de mezclas SAF–Jet A para un banco de pruebas de biocombustibles en turbinas de gas aeronáuticas: pasantía técnica en la Escuela de Suboficiales

DS LADINO MANCIE BRAYAN STIV
DS SIERRA BUSTACARA SANDY XIMENA
AL2 MOJICA BARON JHENNER ALDEMAR
B.LADINO@esufa.edu.co
Escuela de Suboficiales CT. Andrés M. Díaz

Resumen— El trabajo tuvo como propósito apoyar la adaptación de un sistema portátil de alimentación de mezclas SAF–Jet A para su integración al banco de pruebas de biocombustibles AM37-T21, asociado a una turbina PT6A-61A. Se desarrolló como una investigación aplicada de desarrollo tecnológico, con alcance descriptivo-evaluativo y trabajo de campo. Se emplearon observación técnica estructurada, revisión documental, análisis funcional de alternativas de bombeo y un protocolo de verificación. El diagnóstico identificó fuentes de 115 V AC, 28 V DC y 26 V AC, protecciones eléctricas operativas, limitaciones de continuidad del flujo a bajo volumen y ausencia inicial de medición integrada de presión, caudal y temperatura. Con base en estos hallazgos se seleccionaron y organizaron una bomba de engranajes P/N RG34720, filtración tipo Spin-On, flujómetro, transmisor de presión, totalizador y sensor de temperatura dentro de una propuesta portátil. La verificación funcional permitió establecer compatibilidad preliminar entre los componentes y el banco, así como una mayor capacidad potencial de supervisión de las variables hidráulicas. No obstante, la evidencia disponible no incluyó series cuantitativas completas, repetibilidad, incertidumbre de medición ni certificados de calibración; por ello, los resultados sustentaron la viabilidad técnica preliminar del diseño y no una validación experimental definitiva.

Palabras clave— SAF, banco de pruebas, biocombustibles aeronáuticos, sistema de alimentación de combustible, PT6A-61A.

I. INTRODUCCIÓN

Durante el desarrollo de la pasantía, la descarbonización de la aviación había incrementado el interés por los combustibles sostenibles de aviación (Sustainable Aviation Fuel [SAF]) como alternativa para disminuir las emisiones del ciclo de vida del transporte aéreo. En ese contexto, la evaluación técnica de combustibles alternativos requirió instalaciones experimentales capaces de suministrar, controlar y registrar el combustible bajo condiciones definidas de ensayo (Air Transport Action Group, 2021; International Air Transport Association, 2022).

La especificación ASTM D7566 constituyó un referente para la calificación y liberación de componentes sintéticos destinados a mezclarse con combustible convencional. Su utilización dentro del estudio se limitó al contexto de calidad y trazabilidad del combustible; no se empleó como criterio para certificar el banco de pruebas ni el sistema portátil de alimentación. Esta delimitación permitió diferenciar los requisitos propios del combustible de la verificación funcional de la infraestructura experimental (ASTM International, 2022).

Los bancos de pruebas de turbinas permitieron reproducir condiciones controladas para observar variables relacionadas con la alimentación, la combustión y la respuesta del motor. En tales sistemas, el comportamiento hidráulico dependió de factores como la presión, el caudal, las pérdidas de carga, las condiciones de succión, la compatibilidad de materiales y la capacidad del sistema para evitar contaminación o interrupciones del suministro (Lefebvre & Ballal, 2010; Çengel & Cimbala, 2014).

En el banco AM37-T21 se inspeccionó el sistema de acondicionamiento de combustible Algae-X LG-X3000 y los equipos disponibles para trabajar con volúmenes reducidos. Durante esa inspección se observó que la configuración existente requería mejorar el control del suministro desde el punto de operación, integrar instrumentos de seguimiento y reducir el riesgo de interrupciones cuando disminuía el nivel de combustible.

También se identificaron tres alternativas de bombeo con diferencias de configuración, alimentación eléctrica y compatibilidad con hidrocarburos. En consecuencia, la elección de una alternativa no podía basarse únicamente en la disponibilidad del equipo, sino en su correspondencia con las condiciones de succión, la potencia requerida, el tipo de fluido, la trazabilidad de sus componentes y la capacidad de integrarse al circuito del banco (Karassik et al., 2008).

La limitante tecnológica identificada fue la ausencia de parámetros definidos de presión, caudal y temperatura en el sistema portátil, necesarios para garantizar un suministro constante de combustible de ensayo al motor. El banco GD-252-2/3 aporta únicamente la fuente de poder eléctrica; la caracterización corresponde al dispositivo diseñado.

A partir de esa situación se formuló el interrogante de trabajo: ¿de qué manera podía apoyarse la adaptación de un sistema portátil de alimentación de mezclas SAF–Jet A que fuera técnicamente compatible con las condiciones hidráulicas y eléctricas del banco AM37-T21 y que permitiera fortalecer el control de las variables requeridas durante las pruebas?

El objetivo general consistió en apoyar la adaptación de un sistema portátil de alimentación de mezclas para el banco de pruebas de biocombustibles utilizado en turbinas de gas aeronáuticas, mediante el diagnóstico de las condiciones existentes, la selección e integración técnica de componentes y la verificación funcional de la propuesta.

Para alcanzar ese propósito se establecieron tres objetivos específicos: diagnosticar las condiciones eléctricas, hidráulicas y de instrumentación del banco y las alternativas de bombeo disponibles; seleccionar e integrar los componentes requeridos para el sistema portátil de alimentación; y verificar la correspondencia entre el diseño, los componentes seleccionados y las condiciones reales del banco mediante instrumentos de observación y un protocolo técnico.

El alcance se concentró en el apoyo técnico al diagnóstico, diseño, integración y verificación funcional preliminar del sistema portátil. No se planteó certificar el equipo, demostrar desempeño del motor con diferentes proporciones de SAF ni establecer relaciones causales entre el combustible y variables de rendimiento. La eventual demostración de esas relaciones requeriría un programa experimental posterior con mezcla controlada, repeticiones, criterios de aceptación y tratamiento cuantitativo de los datos.

Desde el punto de vista metodológico, la pasantía se abordó como investigación aplicada porque utilizó conocimiento técnico para resolver una necesidad concreta del entorno de mantenimiento e investigación. El alcance fue descriptivo-evaluativo, debido a que se caracterizaron las condiciones del sistema y se contrastó la propuesta con criterios técnicos previamente definidos, sin configurar un experimento causal con manipulación y control de variables (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2023).

El análisis técnico se apoyó en principios de mantenimiento de sistemas de combustible y en criterios generales de selección de bombas, flujo interno e instrumentación. La literatura utilizada permitió relacionar la continuidad del suministro con las condiciones de succión, la potencia del accionamiento, las pérdidas hidráulicas y la compatibilidad de los elementos incorporados al circuito (Kroes et al., 2013; Karassik et al., 2008; Fox et al., 2015).

Para los aspectos de mantenimiento se tomó como referencia la documentación de la Federal Aviation Administration. Estos documentos se emplearon como orientación técnica general y no como sustituto de los manuales del fabricante ni como evidencia de certificación del sistema. La propia FAA indicó que sus manuales debían complementarse con la información específica del fabricante cuando se requiriera mayor detalle técnico (Federal Aviation Administration, 2023).

En consecuencia, la contribución del trabajo se centró en organizar un procedimiento trazable para pasar del diagnóstico inicial a una propuesta de integración y a una verificación funcional preliminar. Ese procedimiento permitió documentar hallazgos, justificar la selección de componentes y establecer qué evidencias adicionales debían obtenerse antes de declarar una validación experimental completa del sistema.

El estudio mantuvo además relación con el contexto de aviación sostenible, dado que una infraestructura experimental confiable constituye un soporte

necesario para desarrollar trabajos posteriores con SAF. No obstante, se mantuvo separado el análisis de sostenibilidad del combustible del análisis de funcionamiento del banco, evitando atribuir al sistema portátil resultados ambientales o de desempeño de la turbina que no fueron medidos en esta pasantía (International Civil Aviation Organization, 2023).

Con esta delimitación se buscó que la discusión se sustentara en la evidencia realmente disponible: condiciones observadas del banco, alternativas de bombeo, componentes seleccionados, planos de integración y verificaciones funcionales. Las afirmaciones relativas a caudal, presión, temperatura o estabilidad se interpretaron cualitativamente cuando el documento no aportó registros numéricos completos o certificados de calibración.

La estructura del artículo se organizó en metodología, resultados y discusión por objetivo, conclusiones y referencias. En los resultados, cada objetivo se presentó mediante selección y diseño de instrumentos de recolección, aplicación, organización de los datos y análisis de la información recolectada, con el propósito de mantener correspondencia entre la pregunta, los objetivos y la evidencia obtenida.

II. METODOLOGÍA / PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La pasantía se desarrolló como una investigación aplicada de desarrollo tecnológico, con alcance descriptivo-evaluativo y diseño de campo. Aunque se realizaron intervenciones físicas sobre componentes, el estudio no constituyó un experimento causal, porque no incluyó grupo de comparación, manipulación sistemática de una variable independiente ni un esquema de mediciones repetidas destinado a probar efectos. La clasificación respondió al propósito de caracterizar, adaptar y verificar técnicamente una solución en su contexto de uso (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2023).

La unidad de análisis correspondió al sistema portátil de alimentación y a su interfaz con el banco AM37-T21. La evidencia se obtuvo mediante observación técnica estructurada, revisión de documentación y fichas disponibles, análisis de alternativas de bombeo, inspección de la configuración eléctrica e hidráulica y aplicación de un protocolo de verificación funcional. La información se organizó en matrices y registros técnicos para mantener trazabilidad entre hallazgos, decisiones y resultados.

El procedimiento se estructuró en tres fases vinculadas con los objetivos específicos: diagnóstico del sistema existente, selección e integración de componentes y verificación funcional preliminar de la propuesta. En cada fase se mantuvo la secuencia de selección y diseño del instrumento, aplicación, organización de los datos y análisis de la información recolectada.

2.1 Diagnóstico del sistema existente

En la primera fase se caracterizaron las condiciones eléctricas, hidráulicas, de combustible e instrumentación del banco. Se diseñó una lista de observación técnica de 14 ítems para registrar disponibilidad de alimentación eléctrica, estado de protecciones, condición de la bomba y líneas, ausencia de fugas visibles, continuidad del flujo,

disponibilidad de medición y viabilidad preliminar de integración.

La inspección identificó fuentes de 115 V AC, 28 V DC y 26 V AC, así como protecciones eléctricas operativas. Estos datos se consideraron condicionantes de la selección del motor eléctrico y de los equipos de instrumentación. La referencia FAA se utilizó únicamente como orientación de prácticas generales; las especificaciones finales de conexión debían contrastarse con los datos del fabricante de cada componente (Federal Aviation Administration, 1998, 2023).

En el circuito de combustible se verificaron visualmente líneas, uniones y componentes, y se observó el comportamiento del suministro con niveles reducidos. La evidencia registró interrupciones del flujo cuando disminuía el nivel de combustible y mostró que no se disponía inicialmente de una medición integrada de presión, caudal y temperatura. Estos hallazgos constituyeron la línea base para la fase de selección.

El dispositivo diseñado se caracteriza por operar con una presión máxima de **10 bar (≈145 psi)**, un caudal de ensayo en el rango de **4–40 GPM (15–150 L/min)** y un control de temperatura entre **-20 °C y +110 °C**. Estos parámetros se sustentan en la instrumentación calibrada del banco GD-252-2/3 (flujómetros, indicadores de presión y termocupla), con trazabilidad internacional según certificados de calibración emitidos por CIMA Ltda. bajo norma NTC-ISO/IEC 17025:2005.

Las tres alternativas de bombeo disponibles se compararon cualitativamente considerando compatibilidad eléctrica, capacidad de succión, posibilidad de integración, compatibilidad con el fluido y trazabilidad técnica. Estos criterios se fundamentaron en principios de selección de bombas y mecánica de fluidos, en los que la condición de succión, la potencia y las características del fluido afectan el desempeño hidráulico (Karassik et al., 2008; Çengel & Cimbala, 2014).

2.2 Selección e integración del sistema portátil

En la segunda fase se seleccionaron los componentes a partir del diagnóstico y de la función requerida dentro del circuito. Se documentaron una bomba de combustible tipo engranajes P/N RG34720, un filtro roscable tipo Spin-On, un flujómetro de turbina DN50 IP65 de 24 VDC, un transmisor de presión PCM300, un totalizador mecánico, un sensor de temperatura y los accesorios necesarios para conexión y aislamiento Cada componente fue seleccionado considerando su rango de operación y compatibilidad con los parámetros de presión (0–10 bar), caudal (4–40 GPM) y temperatura (-20 °C a +110 °C) requeridos para el motor. (Omega Engineering, 2023)

La integración se realizó siguiendo el recorrido funcional del combustible: impulsión, filtración, medición y conducción hacia el banco. Se revisaron uniones, compatibilidad de alimentación y accesibilidad de los elementos. La selección se trató como una decisión técnica preliminar; por ello, la conformidad definitiva de cada componente con el combustible utilizado debía quedar respaldada por la ficha técnica original del fabricante y por la trazabilidad documental del elemento instalado.

Durante el montaje se verificó la ausencia de fugas visibles y se organizó el cableado de acuerdo con el voltaje de alimentación correspondiente. La documentación FAA se empleó como apoyo general para prácticas de mantenimiento, sin sustituir manuales del fabricante ni requisitos institucionales aplicables al banco (Federal Aviation Administration, 1998, 2023).

2.3 Verificación funcional preliminar

La tercera fase consistió en una verificación funcional de la propuesta mediante un protocolo con criterios de aceptación cualitativos: funcionamiento básico, ausencia de fugas visibles, lectura estable de los instrumentos, conteo continuo del volumen y compatibilidad eléctrica. Esta etapa permitió determinar si el sistema podía continuar hacia una fase experimental más exigente; no se consideró equivalente a una validación metrológica o de certificación.

La información se consolidó por variables: continuidad de flujo, presión, caudal, temperatura, volumen, compatibilidad hidráulica y compatibilidad

eléctrica. Cuando existieron registros de observación se utilizaron para comparar la condición inicial y la configuración integrada. Sin embargo, el manuscrito no aportó series numéricas completas, repeticiones, incertidumbre, curvas de calibración ni tolerancias de aceptación cuantitativas.

Por esta razón, el análisis fue predominantemente cualitativo-comparativo. Se establecieron correspondencias entre hallazgos, decisiones de diseño y comportamiento funcional observado, y se identificaron las limitaciones que debían ser atendidas en pruebas posteriores. La interpretación evitó inferir mejoras cuantitativas o desempeño sostenido cuando tales resultados no estaban documentados.

La propuesta constituye un apoyo técnico al diseño del sistema de combustible, organizando la integración de componentes y verificando su coherencia funcional. El banco aporta únicamente la fuente de poder eléctrica; la caracterización de presión, caudal y temperatura corresponde al dispositivo diseñado, que funciona como instrumento para el motor.

2.4 Criterios de rigor y trazabilidad

La consistencia del procedimiento se fortaleció mediante triangulación entre observación directa, documentación técnica disponible, planos de diseño y criterios bibliográficos. Cada conclusión se vinculó con evidencia registrada en las matrices o figuras. Para una etapa posterior se recomendó incorporar hojas de datos de fabricante, certificados de calibración, registros de caudal, presión y temperatura, repetibilidad y criterios de aceptación previamente definidos.

La metodología permitió, por tanto, sustentar la viabilidad técnica preliminar de la solución y describir el proceso de adaptación, sin exceder el nivel de evidencia realmente disponible. Esta delimitación resultó coherente con un estudio aplicado de carácter tecnológico y con el principio metodológico de relacionar de forma explícita objetivos, instrumentos, datos y alcance de las inferencias (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2023).

Tabla 1
Matriz de correspondencia metodológica

Fase	Actividad desarrollada	Instrumento o evidencia principal
Fase 1. Diagnóstico	Caracterización del sistema eléctrico, hidráulico, de combustible e instrumentación.	Lista de observación, inspección y documentación disponible.
Fase 2. Integración	Selección de componentes y organización del circuito portátil.	Matriz de componentes, fichas disponibles y plano.
Fase 3. Verificación	Contraste del diseño con criterios funcionales preliminares.	Protocolo de verificación, registros y planos.

Nota. La tabla relacionó las fases del procedimiento con la actividad desarrollada y la evidencia utilizada para responder los objetivos específicos.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Desarrollo del primer objetivo: diagnóstico del sistema existente

3.1.1 Selección y diseño de instrumentos de recolección de información

Para responder el primer objetivo se diseñó una lista de observación técnica de 14 ítems. El instrumento incluyó cuatro categorías: sistema eléctrico, sistema hidráulico y de combustible, instrumentación e integración/seguridad. Cada ítem se registró como “cumple” o “no cumple” y se complementó con una observación, lo que permitió convertir la inspección inicial en evidencia organizada y verificable.

FORMATO DE OBSERVACIÓN TÉCNICA

Proyecto: Adaptación del sistema portátil de alimentación de combustible del banco de pruebas AM37-T21.

Objetivo: Diagnosticar las condiciones técnicas del banco antes de la adaptación.

Lugar: Banco de pruebas, CAMAN.

Inspector: Técnico Jefe (RA) Jiménez Nelson.

Ítem	Sistema	Aspecto	Sí	No	Observación
1	Eléctrico	115 V AC disponible			
2	Eléctrico	28 V DC disponible			
3	Eléctrico	26 V AC disponible			
4	Eléctrico	Breakers operativos			
5	Hidráulico	Bomba: estado			
6	Combustible	Líneas: estado			
7	Combustible	Sin fugas visibles			
8	Combustible	Flujo continuo			
9	Instrum.	Medición presión			
10	Instrum.	Medición caudal			
11	Instrum.	Medición temperatura			
12	Integración	Motor/voltaje compatibles			
13	Seguridad	Cableado identificado			
14	Diagnóstico	Adaptación viable			

Apto para la adaptación: ☐

Requiere adecuaciones: ☐

No apto: ☐

Inspector: Técnico Jefe (RA) Jiménez Nelson

Firma: _____

El instrumento permitió registrar la disponibilidad de 115 V AC, 28 V DC y 26 V AC, el estado de las protecciones, las condiciones observables del circuito de combustible, la continuidad del flujo y la disponibilidad de instrumentación. Además, permitió separar los datos efectivamente observados de las decisiones que debían adoptarse durante la integración.

La lista se diseñó para apoyar una evaluación descriptiva y no para certificar el sistema. Por ello, sus resultados se interpretaron como evidencia técnica de campo y se contrastaron con documentación y criterios de ingeniería antes de establecer la viabilidad preliminar de la adaptación (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2023).

3.1.2 Aplicación de instrumentos

La lista se aplicó directamente al banco AM37-T21. La inspección confirmó la disponibilidad de las tres configuraciones eléctricas y de protecciones funcionales, así como la condición observable de las líneas y de la bomba existente. El hallazgo crítico se presentó en la continuidad del flujo: se registraron interrupciones cuando disminuyó el nivel de combustible. También se constató que la configuración inicial no integraba medición suficiente de presión, caudal y temperatura.

FORMATO DE OBSERVACIÓN TÉCNICA APLICADO

Proyecto: Adaptación del sistema portátil de alimentación de combustible del banco de pruebas AM37-T21.

Objetivo: Diagnosticar las condiciones técnicas del banco antes de la adaptación.

Lugar: Banco de pruebas, CAMAN.

Inspector: Técnico Jefe (RA) Jiménez Nelson.

Ítem	Sistema	Aspecto	Sí	No	Observación
1	Eléctrico	115 V AC disponible	X		Disponible.
2	Eléctrico	28 V DC disponible	X		Disponible.
3	Eléctrico	26 V AC disponible	X		Disponible.
4	Eléctrico	Breakers operativos	X		Operativos.
5	Hidráulico	Bomba: estado	X		Funcional en inspección.
6	Combustible	Líneas: estado	X		Sin daños visibles.
7	Combustible	Sin fugas visibles	X		No se observaron fugas.
8	Combustible	Flujo continuo		X	Interrupciones a bajo nivel.
9	Instrum.	Medición presión		X	No integrada inicialmente.
10	Instrum.	Medición caudal		X	No integrada inicialmente.
11	Instrum.	Medición temperatura		X	Requirió incorporación.
12	Integración	Motor/voltaje compatibles	X		Compatibilidad nominal.
13	Seguridad	Cableado identificado	X		Identificación funcional.
14	Diagnóstico	Adaptación viable	X		Viabilidad preliminar; requería pruebas.

Apto para continuar con la adaptación preliminar: ☒

Requiere adecuaciones antes de una validación experimental completa: ☒

No apto: ☐

Inspector: Técnico Jefe (RA) Jiménez Nelson

Firma: _____

La aplicación mostró que la disponibilidad eléctrica era compatible con la etapa de integración, pero que la selección del motor de 1/4 HP y de los instrumentos debía mantenerse asociada al voltaje y a las especificaciones de placa de cada equipo. La viabilidad se calificó como preliminar porque el hallazgo de discontinuidad del flujo y la falta inicial de instrumentación exigían adecuaciones antes de una prueba experimental completa.

Figura 1

Sistema de acondicionamiento de combustible inspeccionado durante el diagnóstico.



Nota. Registro incluido en el documento de pasantía. La imagen se utilizó como evidencia visual de la configuración existente durante la inspección técnica.

El registro fotográfico se complementó con la comparación de las alternativas de bombeo. La decisión de seleccionar una bomba de características aeronáuticas se fundamentó en la necesidad de compatibilidad con hidrocarburos, trazabilidad y posibilidad de integración; no obstante, la conformidad definitiva debía verificarse con la hoja de datos y documentación del fabricante del componente efectivamente instalado.

3.1.3 Organización de los datos recolectados

Los datos se organizaron por categorías de diagnóstico. En el sistema eléctrico se registraron tres fuentes de alimentación y protecciones disponibles; en el sistema de combustible se separaron condición física, ausencia de fugas visibles y continuidad del flujo; en instrumentación se registró la disponibilidad o ausencia de medición de presión, caudal y temperatura; y en integración se documentó la compatibilidad preliminar del motor, la identificación del cableado y la viabilidad de adaptación.

Esta organización corrigió la mezcla de observaciones presente en el formato inicial y permitió identificar con precisión qué aspectos cumplían y cuáles requerían intervención. El hallazgo de mayor relevancia fue la discontinuidad del flujo a bajo nivel, acompañado por la necesidad de incorporar instrumentos de seguimiento de las variables hidráulicas.

3.1.4 Análisis de la información recolectada

El análisis mostró que la disponibilidad eléctrica, por sí sola, no resolvía la problemática del sistema portátil. La continuidad del suministro dependió también de las condiciones de succión, del comportamiento de la bomba y del recorrido hidráulico. La discontinuidad registrada a bajo volumen justificó la evaluación de una alternativa de bombeo y la reorganización del circuito (Karassik et al., 2008; Çengel & Cimbala, 2014).

De igual manera, la ausencia inicial de medición integrada limitó la capacidad de distinguir si una variación operacional provenía de caudal, presión o temperatura. Por ello, el diagnóstico sustentó la incorporación de instrumentación como una mejora en la capacidad de observación del sistema, pero no permitió cuantificar una mejora de desempeño porque no se aportaron series numéricas comparables antes y después de la adaptación.

En síntesis, el primer objetivo permitió establecer una línea base técnicamente útil: el banco presentó condiciones eléctricas compatibles con una fase de integración, pero requirió mejorar continuidad del flujo e instrumentación. Esta conclusión se mantuvo dentro del alcance descriptivo de la evidencia registrada.

3.2 Desarrollo del segundo objetivo: selección e integración de componentes

El segundo objetivo se orientó a transformar los hallazgos del diagnóstico en una propuesta de sistema portátil. Para ello se evaluaron funciones

requeridas, compatibilidad hidráulica y eléctrica, posibilidad de inspección y trazabilidad de los componentes disponibles. La evidencia se organizó nuevamente en cuatro momentos metodológicos.

3.2.1 Selección y diseño de instrumentos de recolección de información

Como instrumento se empleó una matriz de componentes complementada con observación técnica y revisión de la información disponible de cada elemento. Se definieron como variables de selección la función dentro del circuito, el tipo de alimentación, la compatibilidad con combustible, la capacidad de incorporarse a la estructura y la posibilidad de facilitar inspección y mantenimiento.

La selección incluyó la bomba de engranajes P/N RG34720, filtro tipo Spin-On, flujómetro de turbina DN50 IP65 de 24 VDC, transmisor de presión PCM300, totalizador mecánico, sensor de temperatura y accesorios de conexión. Estos elementos se documentaron por la función que debían cumplir, sin atribuirles rangos metrológicos o certificaciones que no estuvieran demostrados en el expediente del proyecto. (Canada, 2024)

La matriz permitió verificar la coherencia funcional de la cadena de alimentación: bombeo, filtración, medición de caudal y presión, registro de volumen, seguimiento de temperatura y control mediante válvulas y conexiones. Para la instalación definitiva se consideró indispensable conservar la identificación exacta del fabricante, número de parte, rango de operación y compatibilidad química de cada componente.

Tabla 4

Componentes seleccionados para la propuesta de sistema portátil

Componente	Función dentro del sistema
Bomba de engranajes P/N RG34720	Suministrar combustible hacia el banco.
Filtro tipo Spin-On	Retener partículas antes de la instrumentación.
Flujómetro DN50 IP65 24 VDC	Permitir el seguimiento del caudal.
Transmisor PCM300	Permitir el seguimiento de la presión.
Totalizador mecánico	Registrar el volumen acumulado.
Sensor de temperatura	Permitir el seguimiento de la temperatura.
Válvulas, conexiones y accesorios	Dirigir, conectar y aislar el flujo.

Nota. Las funciones consignadas correspondieron al papel previsto de cada componente dentro del circuito. La conformidad definitiva debía verificarse con la documentación original del fabricante.

3.2.2 Aplicación de instrumentos

La matriz y la observación técnica se aplicaron durante la disposición de los componentes dentro del sistema portátil. Se verificaron la secuencia funcional del circuito, el acceso a conexiones, la ubicación del filtro y de los instrumentos, la ausencia de interferencias evidentes y la correspondencia de los voltajes de alimentación con los equipos seleccionados.

La integración se organizó con la bomba como elemento de impulsión, seguida de filtración e instrumentación. El flujómetro se destinó al seguimiento del caudal; el PCM300, al seguimiento de la presión; el totalizador, al volumen acumulado; y el sensor de temperatura, al comportamiento térmico. Las conexiones se revisaron para mantener continuidad física y facilitar aislamiento durante actividades de mantenimiento. (Siemens, 2022)

La verificación eléctrica se limitó a comprobar la compatibilidad nominal de alimentación con las fuentes disponibles y la organización del cableado. No se consideró una certificación eléctrica. Para una implementación definitiva debían utilizarse diagramas de conexión, protecciones y especificaciones de fabricante aplicables a cada equipo, además de los procedimientos institucionales de seguridad.

Tabla 5

Protocolo de verificación funcional para la integración del sistema portátil

Paso de inspección	Acción realizada	Criterio de aceptación
Inspección general	Inspección física y funcional	Funcionamiento básico; sin fugas visibles.
Filtro Spin-On	Comprobar instalación y sellado	Sin fugas visibles; recorrido continuo.
Flujómetro	Confirmar lectura	Lectura funcional y estable.
Transmisor PCM300	Comprobar presión indicada	Lectura funcional y estable.
Totalizador	Registrar volumen	Conteo continuo.
Sensor de temperatura	Comprobar lectura	Lectura funcional y estable.
Conexiones hidráulicas	Inspeccionar uniones	Ausencia de fugas visibles.
Sistema eléctrico	Confirmar voltaje y cableado	Compatibilidad nominal.

Nota. El protocolo permitió comprobar criterios funcionales preliminares antes de una fase experimental instrumentada; no sustituyó pruebas metrológicas, de durabilidad ni de certificación.

3.2.3 Organización de los datos recolectados

La información de integración se consolidó en registros de observación, matriz de componentes y protocolo de verificación. Los datos se clasificaron por presión, caudal, temperatura, volumen, continuidad del flujo, filtración, estanqueidad visible y compatibilidad eléctrica. Esta estructura facilitó relacionar cada componente con una variable y con un criterio de funcionamiento esperado.

La organización permitió establecer qué variables podían ser observadas con la instrumentación propuesta y cuáles requerían una fase posterior de medición controlada. El flujómetro, el transmisor, el totalizador y el sensor de temperatura ampliaron la capacidad potencial de registro; sin embargo, el documento no incorporó una base de datos con valores, unidades, frecuencia de muestreo, repeticiones o incertidumbre para comparar cuantitativamente el desempeño.

Por tanto, los registros se interpretaron como evidencia de integración funcional y no como resultados metrológicos. Esta distinción resultó necesaria para preservar la trazabilidad del estudio y evitar que la presencia de un instrumento se confundiera con la demostración de precisión, exactitud o estabilidad de sus mediciones.

La información quedó organizada de manera que una fase posterior pudiera incorporar columnas de valor medido, unidad, tolerancia, criterio de aceptación, resultado y observaciones, permitiendo transformar el protocolo cualitativo en un registro experimental auditable.

3.2.4 Análisis de la información recolectada

El análisis indicó que la propuesta aumentó la capacidad de supervisión del circuito al incorporar puntos específicos para observar caudal, presión, temperatura y volumen. Esta mejora se entendió como capacidad de monitoreo disponible y no como incremento cuantitativamente demostrado de confiabilidad, debido a que no se aportaron series comparativas antes y después de la integración.

Desde el punto de vista hidráulico, la secuencia de bombeo, filtración e instrumentación fue coherente con los principios generales de conducción de fluidos. No obstante, la estabilidad real del flujo debía establecerse mediante mediciones repetidas y criterios definidos de presión y caudal; sin estos datos no resultó metodológicamente válido afirmar que la adaptación eliminara por completo las interrupciones observadas (Karassik et al., 2008; Fox et al., 2015).

La compatibilidad eléctrica nominal se consideró favorable para continuar con la integración, siempre condicionada a la documentación técnica del fabricante, los dispositivos de protección y los procedimientos de instalación. La AC 43.13-1B se

mantuvo como referencia general únicamente cuando fuera directamente aplicable y no contradijera datos de fabricante (Federal Aviation Administration, 1998).

En conjunto, el segundo objetivo produjo una configuración técnicamente organizada y un protocolo para comprobar su funcionamiento preliminar. La principal fortaleza fue la trazabilidad entre problema, componente y variable; la principal limitación fue la ausencia de evidencia cuantitativa suficiente para declarar una validación de desempeño.

3.3 Desarrollo del tercer objetivo: verificación técnica de la propuesta

El tercer objetivo se orientó a verificar la correspondencia entre el diseño, la disposición de los componentes y las condiciones identificadas en el banco. La evidencia estuvo constituida por el plano general, el modelo tridimensional, el esquema funcional, las características consignadas para los componentes y el protocolo de verificación. Esta fase se interpretó como verificación técnica documental y funcional preliminar.

3.3.1 Selección y diseño de instrumentos de recolección de información

Se seleccionaron como instrumentos de verificación el plano de diseño, el modelo tridimensional, las fichas técnicas disponibles y el protocolo funcional. Los criterios de revisión fueron continuidad del recorrido del combustible, accesibilidad, posibilidad de inspección, ubicación de la instrumentación, compatibilidad nominal de alimentación y correspondencia entre la función prevista y el componente seleccionado.

La revisión permitió comprobar que la propuesta reservó espacio para bomba, filtro, flujómetro, transmisor de presión, totalizador, sensor de temperatura, válvulas y conexiones. La disposición buscó facilitar la inspección y el mantenimiento, aspectos relevantes en sistemas aeronáuticos y de laboratorio; sin embargo, tales características se consideraron de diseño hasta contar con evidencia de operación repetida (Kroes et al., 2013).

El protocolo se diseñó con criterios de aceptación observables para cada elemento. Se evitó utilizar términos como “certificado”, “garantizado” o “validado definitivamente” cuando no existieron resultados de ensayo, tolerancias cuantitativas o documentación del fabricante que respaldaran esas afirmaciones.

3.3.2 Aplicación de instrumentos

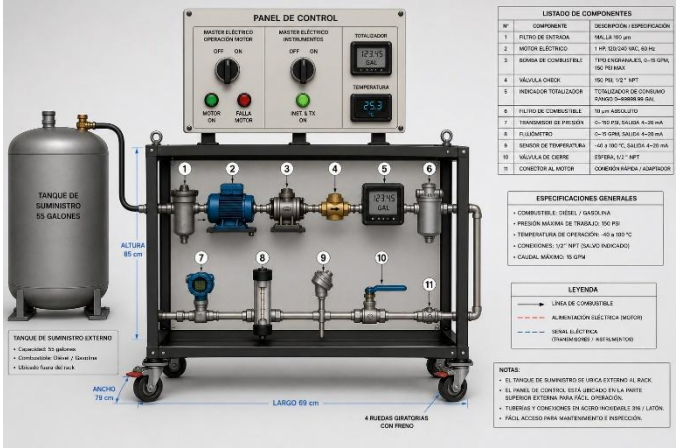
La aplicación consistió en comparar la distribución propuesta con los componentes físicos disponibles y con las condiciones eléctricas e hidráulicas registradas. Se verificó la correspondencia funcional entre cada elemento y su ubicación en el circuito, así como la posibilidad de acceder a las conexiones y a los instrumentos para inspección, sustitución o mantenimiento.

La bomba de engranajes se ubicó como elemento de impulsión; el filtro se dispuso antes de los puntos principales de medición; y los instrumentos se distribuyeron para observar caudal, presión, volumen y temperatura. La configuración resultó coherente con la función prevista de cada componente, aunque la magnitud real de las variables debía confirmarse posteriormente mediante registros calibrados y repetibles.

La comparación también mostró compatibilidad nominal con las fuentes de 115 V AC, 28 V DC y 26 V AC identificadas en el banco. La conexión definitiva de cada equipo quedó condicionada a su placa, hoja de datos, protección correspondiente y diagrama del fabricante, siguiendo el principio de que la documentación técnica específica prevaleció sobre guías generales de mantenimiento (Federal Aviation Administration, 1998, 2023).

Figura 2

Diseño general propuesto del sistema portátil de alimentación de combustible.



Nota. Plano de diseño incluido en el documento de pasantía. La figura representó la disposición general propuesta para los componentes del sistema portátil.

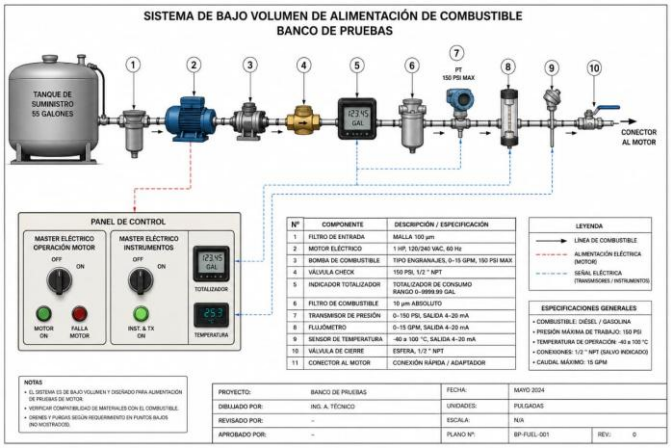
3.3.3 Organización de los datos recolectados

Los resultados de la verificación se organizaron mediante una relación entre componente, función, variable asociada y evidencia disponible. Esta clasificación permitió seguir el recorrido del combustible desde la impulsión hasta la entrega al banco y reconocer los puntos previstos para filtración y medición.

La información se agrupó en continuidad del flujo, presión, caudal, temperatura, volumen, compatibilidad hidráulica, compatibilidad eléctrica, accesibilidad y mantenibilidad. Esta organización permitió determinar qué aspectos habían sido comprobados por observación o revisión documental y cuáles permanecían pendientes de medición experimental.

Figura 3

Esquema funcional propuesto del sistema portátil de alimentación de combustible.



Nota. Esquema incluido en el documento de pasantía. Se utilizó para relacionar el recorrido del combustible, los componentes y los puntos de instrumentación previstos.

El análisis documental del diseño mostró una distribución orientada a facilitar acceso e inspección. La propuesta mantuvo un recorrido continuo entre los principales elementos y reservó puntos diferenciados para instrumentación. Estas características constituyeron criterios favorables de mantenibilidad del diseño, pero debían verificarse durante la operación real con el sistema completamente instalado.

La organización por evidencia permitió establecer una matriz de cierre conceptual: los aspectos de diseño y compatibilidad nominal quedaron sustentados por planos y observación; la continuidad funcional se apoyó en pruebas preliminares; mientras que precisión, incertidumbre, estabilidad temporal, repetibilidad y desempeño con diferentes mezclas SAF–Jet A quedaron pendientes de una fase experimental instrumentada.

3.3.4 Análisis de la información recolectada

El análisis del tercer objetivo confirmó que la propuesta respondió de forma coherente a los problemas identificados en el diagnóstico: incorporó bombeo, filtración, instrumentación y una estructura que facilitó acceso a los elementos. La principal contribución consistió en convertir una necesidad operativa en una configuración técnica documentada y susceptible de ser probada de manera sistemática.

No obstante, la verificación realizada no demostró por sí sola que el sistema mantuviera de manera estable un caudal, una presión o una temperatura dentro de tolerancias específicas. Tampoco se documentaron en el artículo ciclos repetidos, incertidumbre de los instrumentos, calibración o comparación estadística. Por esa razón, se concluyó únicamente que existió viabilidad técnica preliminar para continuar con pruebas experimentales.

La interpretación también diferenció la compatibilidad nominal de la conformidad certificada. La disponibilidad de un voltaje compatible y la ubicación funcional de un componente fueron condiciones necesarias, pero no suficientes para declarar cumplimiento técnico definitivo. La etapa siguiente debía incorporar documentación de fabricante, procedimientos de ensayo, criterios de aceptación y registro de resultados.

En síntesis, el tercer objetivo cerró el ciclo metodológico al relacionar diagnóstico, selección, diseño y verificación. La evidencia disponible respaldó la factibilidad de continuar el desarrollo del sistema portátil como plataforma de apoyo para futuras pruebas con combustibles sostenibles, sin atribuir al trabajo resultados experimentales que no fueron medidos.

IV. CONCLUSIONES

El primer objetivo permitió establecer una línea base del banco AM37-T21. Se verificó la disponibilidad de 115 V AC, 28 V DC y 26 V AC y de protecciones eléctricas funcionales; asimismo, se identificó una limitación de continuidad del flujo al disminuir el nivel de combustible y la ausencia inicial de una medición integrada de presión, caudal y temperatura. Estos hallazgos justificaron la necesidad de adaptar el sistema portátil y orientaron la selección de componentes.

El segundo objetivo permitió estructurar una configuración compuesta por bomba de engranajes P/N RG34720, filtro Spin-On, flujómetro, transmisor de presión PCM300, totalizador, sensor de temperatura y accesorios de conexión. La organización funcional de estos elementos amplió la capacidad potencial de observación del circuito y facilitó relacionar cada variable con un punto de medición. La conformidad definitiva de los componentes quedó condicionada a la documentación técnica original del fabricante.

El tercer objetivo permitió verificar la coherencia entre el diseño propuesto, los componentes disponibles y las condiciones nominales del banco. Los planos y el protocolo de verificación mostraron una disposición que favoreció accesibilidad, inspección y mantenimiento. Sin embargo, la evidencia disponible sustentó una viabilidad técnica preliminar y no una validación experimental completa del desempeño hidráulico o metrológico del sistema.

La principal limitación consistió en que el artículo no presentó series cuantitativas completas de caudal, presión, temperatura y volumen, ni información sobre frecuencia de muestreo, repetibilidad, incertidumbre, calibración o tolerancias de aceptación. Por ello, no fue posible cuantificar el grado de mejora de estabilidad del flujo ni afirmar desempeño sostenido. Esta delimitación fortaleció la validez académica de las conclusiones al mantenerlas dentro del alcance real de la evidencia.

Para continuar el proyecto se recomendó ejecutar un protocolo experimental con valores de referencia y criterios de aceptación previamente definidos, al menos tres repeticiones por condición, registro trazable de mezcla SAF–Jet A, certificados de calibración y hojas de datos de los componentes, además de una matriz de cierre entre requisito, medición y resultado. Esta fase permitiría transformar la propuesta técnicamente viable en un sistema experimental plenamente caracterizado.

V. REFERENCIAS

Air Transport Action Group. (2021). *Waypoint 2050.*

ASTM International. (2022). *ASTM D7566-22: Standard specification for aviation turbine fuel containing synthesized hydrocarbons.*

Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2014). *Fluid mechanics: Fundamentals and applications* (3rd ed.). McGraw-Hill.

Federal Aviation Administration. (1998). *AC 43.13-1B: Acceptable methods, techniques, and practices—Aircraft inspection and repair.* U.S. Department of Transportation.

Federal Aviation Administration. (2023). *Aviation Maintenance Technician Handbook—Powerplant (FAA-H-8083-32B).* U.S. Department of Transportation.

Fox, R. W., Pritchard, P. J., & McDonald, A. T. (2015). *Introduction to fluid mechanics* (8th ed.). Wiley.

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2023). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (2.ª ed.). McGraw Hill.

International Air Transport Association. (2022). *Sustainable aviation fuel (SAF) guidance material.*

International Civil Aviation Organization. (2023). *Guidance on potential policies and coordinated approaches for the deployment of sustainable aviation fuels.*

Karassik, I. J., Messina, J. P., Cooper, P., & Heald, C. C. (2008). *Pump handbook* (4th ed.). McGraw-Hill.

Kroes, M. J., Watkins, W. A., Delp, F. D., & Sterkenburg, R. (2013). *Aircraft maintenance and repair* (7th ed.). McGraw-Hill.

Lefebvre, A. H., & Ballal, D. R. (2010). *Gas turbine combustion: Alternative fuels and emissions* (3rd ed.). CRC Press.

Apoyo en el estudio técnico para la sustitución de la hélice por un sistema dinamométrico en el motor PT6A-61A: pasantía técnica en el banco de pruebas de biocombustibles de la Escuela de Suboficiales FAC

PACHON CARLOS, VALDERRAMA JUAN.
c.PACHON@esufa.edu.co
j.VALDERRAMA@esufa.edu.co
Escuela de Suboficiales CT. Andrés M. Díaz

***Resumen*—**El estudio evaluó la viabilidad técnica de sustituir la hélice utilizada como elemento de carga en el banco AM37T-21 por un sistema dinamométrico para el motor PT6A-61A. Se desarrolló una investigación aplicada, de alcance descriptivo-evaluativo y diseño no experimental, sustentada en análisis documental, caracterización técnica y comparación de alternativas. Se revisaron manuales del fabricante, documentación institucional y literatura científica sobre bancos de ensayo, dinamometría, supervisión y monitoreo vibracional. Como referencia documental preliminar para el dimensionamiento se adoptó el punto de 850 SHP a 2000 rpm reportado para el PT6A-61A, equivalente a aproximadamente 633,8 kW y a un torque calculado de 3,03 kN·m. Este punto no se presenta como límite definitivo del motor instalado en el banco y deberá confirmarse mediante su placa de identificación, serial/configuración y manual aplicable, indicando número de publicación, revisión, fecha y página. El análisis mostró que la sustitución es técnicamente plausible, pero no permitió demostrar mejoras cuantitativas de precisión o repetibilidad, debido a que no se aportaron series de datos comparables entre el sistema con hélice y un dinamómetro instalado. Se establecieron requerimientos de acoplamiento, protección, instrumentación, PLC/SCADA y monitoreo vibracional, y se formuló una ruta de validación posterior. Se concluyó que la decisión de implementación debe quedar condicionada a la selección de un dinamómetro cuya curva de potencia-torque cubra el punto de operación, a la ingeniería de detalle y a pruebas metrológicas y dinámicas.

***Palabras clave*—**PT6A-61A, dinamómetro, banco de pruebas, torque, SCADA, vibraciones.

I. INTRODUCCIÓN

Los bancos de prueba para motores aeronáuticos permiten reproducir condiciones de operación controladas, registrar variables del sistema y sustentar decisiones de mantenimiento, investigación y desarrollo. En motores turbohélice, el elemento que absorbe la potencia debe ser compatible con el rango de velocidad y torque del eje, mantener estabilidad de carga y permitir mediciones trazables. La literatura reciente ha resaltado que el desempeño de las turbinas de gas depende de múltiples variables operacionales y ambientales, por lo que el diseño del sistema de medición y monitoreo resulta determinante para interpretar los ensayos (Taha et al., 2023).

En la Escuela de Suboficiales de la Fuerza Aeroespacial Colombiana se ha empleado el banco AM37T-21 para ensayos con un motor identificado por los autores como PT6A-61A. No obstante, su identificación documental no se considera cerrada mientras no se disponga de una fotografía legible de la placa, modelo completo, número de serie y configuración, así como del manual aplicable con número de publicación, revisión, fecha y efecto por serial cuando corresponda. De manera similar, la documentación de McCauley relaciona la familia 4HFR34C774 y el conjunto 4HFR34C774/94LPA-0 con determinadas instalaciones Piper PA-42/PT6A-61; esta asociación se utilizó únicamente como referencia documental y no como confirmación de la hélice instalada. El modelo, sufijo, número de parte

y elegibilidad de la hélice del banco deberán verificarse directamente mediante su placa y la documentación técnica aplicable (McCauley Propeller Systems, s. f.). El manuscrito inicial atribuyó a la hélice pérdidas de precisión y repetibilidad, así como elevadas vibraciones. Sin embargo, no se suministraron series de datos repetidos, espectros de vibración, incertidumbres de medición ni criterios de aceptación que permitieran cuantificar esas diferencias. En consecuencia, el problema se reformuló como una necesidad de caracterizar técnicamente la línea base y determinar si un sistema dinamométrico podría ofrecer un entorno de carga más controlable, sin asumir de antemano que la hélice es inadecuada o que el dinamómetro garantiza mejores resultados.

El PT6A-61A se ha utilizado previamente en el mismo entorno institucional para estudios experimentales con combustibles alternativos. En una investigación publicada sobre este motor se reportaron 850 SHP de potencia al eje y 2000 rpm de salida en condiciones de referencia, además de variaciones experimentales que afectaron variables como flujo de combustible, temperatura interturbina y desempeño del motor (Gonzalez Caranton et al., 2021). Estos antecedentes justificaron la necesidad de fortalecer la trazabilidad de las variables del banco y de diferenciar entre fluctuaciones propias del motor, del combustible, del ambiente y del sistema de carga.

Los dinamómetros constituyen una alternativa ampliamente utilizada para ensayos de motores y turbinas porque permiten absorber y medir potencia mediante mecanismos hidráulicos, electromagnéticos o eléctricos. En bancos de aeromotores, Lu et al. (2022) señalaron que el dinamómetro forma parte crítica del sistema de ensayo y que su condición mecánica debe monitorearse para identificar desbalance, desalineación y fallas de rodamientos. De manera complementaria, Froude (s. f.-a) documenta el uso de dinamómetros hidráulicos, de corrientes parásitas y de corriente alterna en bancos para turboejes y turbohélices, con sistemas integrados de control y adquisición.

El control y la adquisición digital de datos también resultan relevantes para una modernización del banco. Un sistema SCADA permite centralizar variables, alarmas, tendencias y registros históricos, siempre que se defina una arquitectura de sensores, acondicionamiento, control lógico e interbloqueos coherente con la criticidad del ensayo (Boyer, 2010). El monitoreo vibracional debe integrarse como evidencia de condición dinámica y no como una declaración genérica de seguridad; estudios recientes han mostrado la utilidad del análisis espectral y de señales vibroacústicas para diagnosticar equipos rotativos y montajes de motores en bancos de ensayo (Nail et al., 2024; Szymański et al., 2024).

A partir de esta problemática se formuló la pregunta orientadora: ¿qué condiciones técnicas, metrológicas, estructurales y de control deberían cumplirse para sustituir de manera viable la hélice empleada como sistema de carga por un dinamómetro en el banco AM37T-21 del motor PT6A-61A? El objetivo general consistió en analizar esa viabilidad técnica. Como objetivos específicos se establecieron: caracterizar la línea base del motor y del sistema de carga; determinar los requerimientos y comparar familias de dinamómetros; y definir una arquitectura conceptual de integración mecánica, de instrumentación, control y monitoreo vibracional.

Tabla 1

Antecedentes técnicos seleccionados y aporte al estudio

Fuente	Aporte principal	Aplicación al proyecto
Taha et al. (2023)	Revisó variables operacionales y ambientales que afectan el desempeño de turbinas de gas.	Sustentó la necesidad de registrar contexto operacional y no atribuir toda variación al sistema de carga.
Lu et al. (2022)	Aplicó monitoreo y diagnóstico de fallas a un dinamómetro de banco de aeromotor.	Respaldó la inclusión de condición dinámica, alineación y diagnóstico del tren rotativo.
Nail et al. (2024)	Empleó análisis espectral y un sistema neuro-difuso para monitoreo vibracional de turbomaquinaria.	Apoyó la propuesta de adquisición de vibraciones y análisis por frecuencia.
Szymański et al. (2024)	Evaluó empíricamente el montaje de un motor aeronáutico mediante señales vibroacústicas.	Mostró que la calidad del montaje debe verificarse con mediciones y no solo por inspección visual.

Nota. Se incluyeron únicamente antecedentes verificables y directamente vinculados con bancos de ensayo, monitoreo y montaje. Las conclusiones de estas fuentes no se trasladaron automáticamente al banco AM37T-21; se utilizaron como referentes para estructurar criterios de análisis.

II. METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló como una investigación aplicada de desarrollo tecnológico, con alcance descriptivo-evaluativo y diseño no experimental. Esta clasificación fue coherente con el propósito de diagnosticar una configuración existente, establecer requerimientos y formular una propuesta conceptual sin manipular experimentalmente el sistema de carga. De acuerdo con Hernández Sampieri y Mendoza Torres (2023), el alcance y el diseño deben corresponder con la evidencia disponible y con la forma en que se recolectan y analizan los datos; por ello no se clasificó el trabajo como experimento ni se atribuyeron efectos causales a una solución aún no instalada.

La unidad de análisis estuvo constituida por el conjunto motor PT6A-61A–banco AM37T-21 y por la documentación técnica asociada. Se emplearon como fuentes primarias los manuales del fabricante aportados por los estudiantes, el protocolo institucional de pruebas y la información disponible del sistema de carga. Como fuentes secundarias se utilizaron artículos científicos, libros especializados y documentación técnica de fabricantes de dinamómetros. El análisis documental se aplicó de forma sistemática para extraer especificaciones, restricciones, variables y criterios de diseño, siguiendo principios de trazabilidad y contraste entre fuentes (Bowen, 2009).

Se jerarquizaron las fuentes para reducir errores de identificación y aplicabilidad. En primer nivel se ubicaron la placa del motor, la placa de la hélice y las publicaciones vigentes de sus fabricantes; en segundo nivel, la documentación institucional del banco; en tercer nivel, la literatura científica revisada por pares; y, finalmente, la documentación comercial de fabricantes de dinamómetros. Para cada especificación se registraron el elemento al que aplica, modelo o configuración, número de serie cuando fue procedente, título del documento, número de publicación, revisión, fecha, sección o página, valor extraído y estado de la evidencia. Se utilizaron tres estados: “verificado en fuente primaria”, “reportado y pendiente de verificación primaria” y “no disponible”. Ningún valor pendiente o contradictorio se utilizó como criterio definitivo de adquisición o diseño.

El procedimiento se organizó por objetivos y, para cada uno, se utilizaron cuatro momentos metodológicos: selección y diseño del instrumento de recolección de información; aplicación del instrumento; organización de los datos recolectados; y análisis de la información recolectada. Esta secuencia permitió separar la obtención de evidencia de su interpretación y evitó presentar como resultados medidos las características esperadas de un sistema dinamométrico todavía no instalado.

Para el primer objetivo se diseñó una ficha de caracterización técnica con las categorías potencia, velocidad de salida, torque, sistema de carga, variables instrumentadas, comportamiento vibracional y evidencia disponible. Para el segundo objetivo se construyó una matriz de requerimientos y comparación de tecnologías de absorción. Para el tercero se utilizó una matriz de integración que relacionó subsistemas mecánicos, sensores, PLC/SCADA, protección y monitoreo vibracional con la evidencia que deberá generarse en una futura fase de validación.

No se dispuso de una base de datos completa de corridas repetidas con hélice, ni de un dinamómetro instalado para realizar ensayos comparativos. Por tanto, la precisión, repetibilidad y reducción de vibración no se evaluaron estadísticamente. La comparación se restringió a un análisis técnico de capacidades y requerimientos, y las afirmaciones del manuscrito original que indicaban mejoras demostradas fueron reemplazadas por conclusiones de viabilidad preliminar y necesidades de validación.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización de la línea base del motor y del sistema de carga

3.1.1 Selección y diseño de instrumentos de recolección de información

Se diseñó una ficha de caracterización técnica para consolidar los parámetros que condicionaban la selección del sistema de absorción. El instrumento incluyó potencia al eje, velocidad de salida, torque, identificación del sistema de carga, condiciones de montaje, variables disponibles en el banco y evidencia de vibración. La selección de estas categorías respondió a la necesidad de convertir la documentación del motor y del banco en requerimientos de ingeniería verificables.

Se definió además un criterio de estado de evidencia con tres niveles: dato verificado en fuente técnica; dato reportado en el manuscrito pero pendiente de soporte primario; y dato no disponible. Esta clasificación fue necesaria porque el documento original mezclaba especificaciones del fabricante con observaciones operacionales sin indicar su procedencia ni aportar registros suficientes para cuantificar precisión, repetibilidad o vibración.

3.1.2 Aplicación de instrumentos

a ficha se aplicó a la documentación disponible del motor, al protocolo institucional del banco y a la literatura experimental. Gonzalez Caranton et al. (2021) reportaron para el PT6A-61A un punto de referencia de 850 SHP y 2000 rpm. La potencia se convirtió al Sistema Internacional mediante $P=850\times0{,}745699872=633{,}8$ kW. Para 2000 rpm, la velocidad angular es $\omega=2\pi(2000/60)=209{,}44$ rad/s. Por tanto, el torque correspondiente es T=P/ω=633800/209,44=3026 N\cdotpm, equivalente aproximadamente a 3,03 kN·m o 2232 lb·ft. Este resultado es un valor calculado a partir de una referencia documental y no una medición directa del torque del motor instalado. Su utilización como punto definitivo de diseño queda condicionada a la identificación física del motor y a la verificación del manual aplicable.

Como control cruzado se revisó la captura identificada como “Table 506, PT6A-61A Engine Operating Limits”. La imagen muestra 1050 SHP, 1700 rpm de Np y 2230 lb·ft de torque para determinadas condiciones de operación. Sin embargo, los tres valores no son simultáneamente coherentes: 2230 lb·ft a 1700 rpm corresponden aproximadamente a 538,3 kW o 722 SHP, mientras que 1050 SHP a 1700 rpm requerirían aproximadamente 4398 N·m o 3244 lb·ft. Además, la captura no permite identificar número de publicación, revisión, fecha, página ni aplicabilidad por serial. Por estas razones, se registró como evidencia contradictoria pendiente de verificación y no se utilizó para modificar automáticamente el punto preliminar de 850 SHP y 2000 rpm.

En cuanto a la hélice, el manuscrito inicial utilizó la denominación “HHFR34C774-A”, la cual no pudo verificarse directamente mediante fotografía o registro de placa. La documentación consultada identifica la familia McCauley 4HFR34C774 y relaciona el conjunto 4HFR34C774/94LPA-0 con determinadas instalaciones PA-42-720/PT6A-61. Esta relación no demuestra que dicho conjunto corresponda a la hélice del banco AM37T-21. En consecuencia, la identificación permaneció como dato reportado pendiente de verificación directa del modelo completo, sufijo, número de parte, número de serie y documento de elegibilidad aplicable.

Durante la pasantía se reportaron cualitativamente condiciones vibracionales en diferentes regímenes del motor; sin embargo, no se aportaron registros que identificaran puntos y orientación de medición, tipo y especificación del acelerómetro, unidades, amplitudes RMS, pico o pico-pico, espectros de frecuencia, rpm asociada, frecuencia de muestreo, número de repeticiones, condiciones operacionales o criterios de aceptación. En consecuencia, no se calificó la vibración como alta ni se atribuyó su causa a la hélice. El hallazgo se limitó a una condición reportada que justifica una futura caracterización vibracional capaz de diferenciar contribuciones del motor, hélice, alineación, soportes, estructura y demás elementos rotativos.

Tabla 2

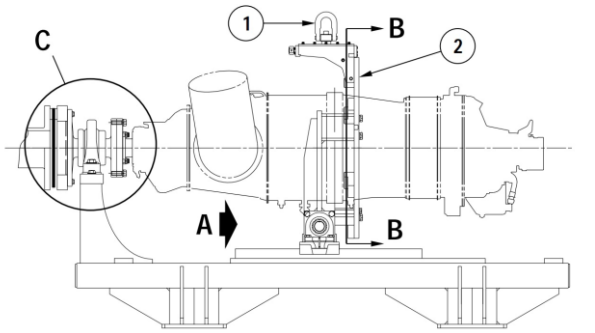
Parámetros de referencia y estado de la evidencia para la línea base

Variable	Referencia utilizada	Implicación técnica
Potencia al eje	850 SHP ≈ 633,8 kW	El dispositivo de absorción debe cubrir el punto de potencia y disponer de margen de ingeniería definido en la fase de detalle.
Velocidad de salida	2000 rpm	La curva del dinamómetro debe admitir la potencia y el torque requeridos específicamente a esta velocidad.
Torque estimado	≈ 3,03 kN·m (≈ 2232 lb·ft)	Constituye un criterio mínimo de capacidad del tren de carga; debe confirmarse con datos oficiales de la variante instalada.
Hélice reportada	Familia McCauley 4HFR34C774	Se debe verificar modelo/sufijo exacto y elegibilidad para el motor del banco antes de usar sus datos como referencia.
Vibración	Condición reportada, sin serie cuantitativa	Se requiere línea base con sensores calibrados, ubicación definida, rpm y espectro para atribuir causas.
Repetibilidad	Sin corridas repetidas suficientes	No fue posible calcular desviación estándar, coeficiente de variación ni incertidumbre del sistema actual.

Nota. La potencia, velocidad y torque se utilizaron como referencia de ingeniería. La capacidad final del dinamómetro deberá verificarse en la curva del fabricante y con la documentación vigente del motor. La ausencia de registros repetidos fue tratada como una limitación y no como evidencia de bajo desempeño.

Figura 1

Configuración del motor y zona de salida para el sistema de carga



Nota. Tomado del Overhaul Manual PT6A-60/PT6A-61 series aportado por los estudiantes. La figura se utilizó únicamente para identificar la interfaz conceptual de salida y no constituye un plano de diseño del acoplamiento dinamométrico.

3.1.3 Organización de los datos recolectados

Los datos se organizaron en la matriz de línea base presentada en la Tabla 2, separando valores de referencia, observaciones y vacíos de evidencia. Esta organización permitió establecer qué parámetros podían utilizarse para dimensionamiento preliminar y cuáles requerían una nueva campaña de medición. La trazabilidad evitó convertir observaciones cualitativas en resultados cuantitativos.

Se identificaron como variables prioritarias para una futura línea base el torque, Np, potencia calculada, temperaturas de operación, presiones relevantes, flujo de combustible y vibración. Cada registro deberá asociarse a fecha, régimen del motor, combustible empleado, condiciones ambientales, configuración del banco, estado de calibración de los instrumentos y observaciones de la prueba.

3.1.4 Análisis de la información recolectada

El análisis mostró que el requerimiento principal no era simplemente reemplazar la hélice, sino disponer de un sistema capaz de absorber de forma controlada la potencia y el torque del motor dentro de una arquitectura de medición trazable. La hélice puede cumplir legítimamente la función de carga en un banco de turbohélice; por ello, su sustitución solo se justificará si una línea base demuestra que la configuración existente limita los objetivos de investigación o seguridad del AM37T-21.

El punto preliminar de 633,8 kW y 3,03 kN·m a 2000 rpm demuestra por qué la selección no puede basarse únicamente en la potencia nominal. El dinamómetro hidráulico Froude F24, por ejemplo, presenta una potencia publicada de 750 kW, superior a 633,8 kW, pero un torque máximo de 2700 N·m, inferior a los aproximadamente 3026 N·m requeridos. A 2000 rpm, ese límite de torque permitiría absorber como máximo $P=T\omega=2700\times209{,}44=565{,}5$ kW. Por tanto, existiría un déficit aproximado de 326 N·m y el equipo no cubriría el punto analizado, aunque su placa indique una potencia nominal superior. La selección definitiva deberá realizarse sobre la curva torque–velocidad certificada y no mediante la comparación aislada de valores nominales (Froude, s. f.-b).

3.2 Determinación de requerimientos y comparación de alternativas dinamométricas

3.2.1 Selección y diseño de instrumentos de recolección de información

Se diseñó una matriz de requerimientos para comparar familias de dinamómetros sin anticipar una selección comercial. Los criterios incluyeron curva torque–velocidad, potencia y torque continuos, capacidad transitoria, velocidad máxima, respuesta dinámica, estabilidad y rango de control de carga, inercia equivalente, disipación térmica, infraestructura hidráulica o eléctrica, exactitud del sistema de torque y velocidad, método de calibración, integración con la adquisición de datos, mantenibilidad, disponibilidad de repuestos, seguridad funcional, dimensiones, masa, costo de adquisición y costo del ciclo de vida. El cumplimiento por potencia nominal se consideró necesario, pero no suficiente.

Se consideraron tres familias tecnológicas: dinamómetros hidráulicos o water brake, dinamómetros de corrientes parásitas y dinamómetros de corriente alterna. La documentación de Froude confirma que las tres tecnologías se emplean en bancos de motores y que los equipos hidráulicos tipo F cuentan con variantes de alta potencia y aplicaciones para turbohélices y turboejes (Froude, s. f.-a, s. f.-b).

3.2.2 Aplicación de instrumentos

La matriz se aplicó utilizando como punto de diseño 633,8 kW y 3,03 kN·m a 2000 rpm. Se descartó cualquier criterio basado únicamente en la potencia nominal del catálogo, porque la capacidad útil depende simultáneamente de torque y velocidad. También se incluyó la necesidad de soportar transitorios y de disponer de un margen de diseño definido por la ingeniería de detalle y por la curva certificada del fabricante.

El análisis técnico no sustentó la afirmación inicial de que un dinamómetro eléctrico fuera necesariamente la opción más adecuada. Los sistemas hidráulicos ofrecen alta capacidad de absorción y son comunes en aplicaciones de turboprop; los de corrientes parásitas presentan respuesta rápida y control conveniente, pero requieren disipación térmica; y los de corriente alterna ofrecen control avanzado e incluso regeneración, a costa de mayor infraestructura eléctrica y complejidad. La conveniencia depende del perfil de ensayo, servicios disponibles, presupuesto, mantenibilidad y curva de operación.

Tabla 3

Comparación técnica preliminar de familias de dinamómetros

Tecnología	Ventajas relevantes	Condiciones críticas para el AM37T-21
Hidráulico (water brake)	Alta capacidad de absorción; tecnología consolidada para turboprop; control de carga y medición de torque.	Requiere circuito de agua, disipación térmica y verificación de torque ≥3,03 kN·m a 2000 rpm.
Corrientes parásitas	Respuesta rápida; control estable; integración electrónica relativamente directa.	Debe verificarse capacidad continua, refrigeración, torque a baja velocidad y comportamiento térmico.
AC regenerativo	Control bidireccional preciso; posibilidad de motorización/regeneración; alta integración digital.	Mayor costo e infraestructura eléctrica; requiere evaluación de convertidores, potencia instalada y seguridad funcional.

Nota. La tabla constituye una preselección conceptual. No se recomendó un modelo comercial definitivo porque no se aportaron curvas completas, requerimientos de ciclo, presupuesto, servicios auxiliares ni restricciones dimensionales del banco.

3.2.3 Organización de los datos recolectados

Los resultados de la comparación se organizaron por requisito mínimo, ventaja potencial y condición de cierre. Se priorizaron la curva torque-velocidad, la capacidad térmica continua, la respuesta transitoria, la calibración del sistema de torque, la compatibilidad con 2000 rpm y la posibilidad de integrarse con un sistema de control y adquisición.

Esta organización mostró que la capacidad nominal en kW no debe utilizarse de manera aislada. El punto de operación del PT6A-61A exige simultáneamente potencia y torque elevados; por tanto, el proveedor deberá demostrar mediante curva certificada que el equipo seleccionado cubre el régimen máximo y los puntos parciales de ensayo sin exceder límites térmicos, mecánicos o de velocidad.

3.2.4 Análisis de la información recolectada

El estudio permitió establecer la viabilidad técnica preliminar de emplear un dinamómetro, pero no autorizó una selección final. La alternativa deberá definirse después de comparar curvas del fabricante, requerimientos de servicios, inercia equivalente, disipación, disponibilidad de repuestos, calibración, capacidad de control y costo del ciclo de vida.

La sustitución tampoco debe evaluarse únicamente por la expectativa de reducir vibraciones. Un dinamómetro introduce un nuevo tren rotativo compuesto por acoplamientos, ejes, rodamientos y elementos de soporte; estos componentes pueden generar desbalance, desalineación y resonancias propias. Lu et al. (2022) documentaron precisamente la necesidad de monitorear la condición de dinamómetros en bancos de aeromotores. Por ello, la decisión técnica requiere una evaluación dinámica del conjunto completo.

3.3 Definición de la arquitectura conceptual de integración

3.3.1 Selección y diseño de instrumentos de recolección de información

Para el tercer objetivo se diseñó una matriz de integración que relacionó los subsistemas mecánico, metrológico, de control, seguridad y monitoreo de condición. El instrumento se orientó a identificar qué requisito debía quedar documentado antes de fabricar o adquirir componentes y qué evidencia sería necesaria para validar posteriormente la modificación.

Se definieron como variables mínimas torque, velocidad del eje, potencia calculada, temperaturas, presiones, flujo de combustible y vibración. La arquitectura conceptual incluyó sensores con

calibración trazable, acondicionamiento de señal, PLC o controlador de tiempo real, SCADA, registro histórico, alarmas e interbloqueos. La frecuencia de muestreo, exactitud, incertidumbre y límites de alarma quedaron expresamente pendientes de ingeniería de detalle.

3.3.2 Aplicación de instrumentos

En los componentes mecánico y de protección se identificó la necesidad de un acoplamiento dimensionado para el torque de servicio y los transitorios, verificación de alineación, análisis torsional, evaluación estructural de la bancada, guardas físicas y parada de emergencia. La lógica de protección deberá considerar, como mínimo, sobre-torque, sobrevelocidad, pérdida de carga, pérdida de lubricación o presión de aceite, temperaturas fuera de límite, vibración excesiva, pérdida de señales críticas y falla de servicios auxiliares. Los valores numéricos, retardos y acciones asociadas a cada condición no se definieron en esta fase; deberán obtenerse del manual aplicable, del análisis de riesgos y de una matriz causa–efecto aprobada antes de las pruebas.

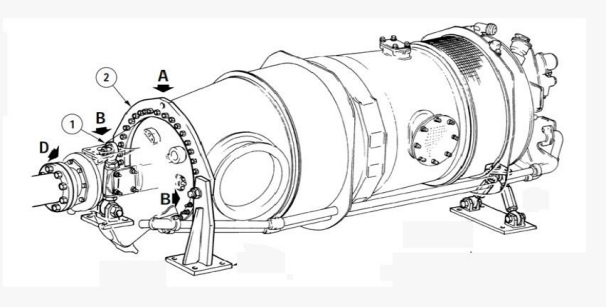
En el componente de control se planteó un lazo de regulación de carga coordinado con el régimen del motor, con secuencias de arranque, incremento de carga, estabilización, descarga y parada. El SCADA deberá registrar valores, unidades, calidad de señal, tiempo de adquisición, alarmas y eventos. Boyer (2010) sustenta el papel de SCADA como sistema de supervisión y adquisición, pero su implementación no sustituye la necesidad de definir sensores, exactitud y lógica de seguridad.

La arquitectura PLC/SCADA se presenta como una propuesta conceptual y no como un sistema implementado. En la evidencia incorporada al artículo no se aportaron una lista definitiva de entradas y salidas, código PLC validado, pantallas HMI operativas, base de datos, tendencias reales, registros históricos ni pruebas de alarmas e interbloqueos. Estos elementos deberán desarrollarse y conservarse como evidencias de la fase de ingeniería de detalle y puesta en servicio. Si alguno fue elaborado durante la pasantía, deberá identificarse expresamente como prototipo o producto documental y anexarse con su versión, fecha y responsable.

Para el monitoreo vibracional se propuso una línea base previa y posterior a la modificación, utilizando acelerómetros instalados en puntos repetibles del motor, soportes y dinamómetro. La comparación deberá realizarse a regímenes equivalentes y mediante indicadores de dominio temporal y espectral. Nail et al. (2024) y Szymański et al. (2024) evidenciaron que el análisis de vibración permite identificar cambios de condición y evaluar el comportamiento del montaje cuando existe una metodología de adquisición definida.

Figura 2

Vista del conjunto PT6A y ubicación del sistema de medición de torque



Nota. Tomado del Overhaul Manual PT6A-60/PT6A-61 series aportado por los estudiantes. La figura se utilizó como referencia para reconocer la ubicación funcional de la medición de torque; no reemplaza el diseño del nuevo tren de acoplamiento.

Tabla 4

Requerimientos mínimos para la fase de ingeniería de detalle y validación

Subsistema	Requisito mínimo	Evidencia de cierre
Mecánico	Acoplamiento ≥ torque de diseño; alineación; análisis torsional y estructural; guardas.	Memoria de cálculo, plano, tolerancias, análisis de esfuerzos y verificación de montaje.
Dinamómetro	Curva que cubra ≥633,8 kW y ≥3,03 kN·m a 2000 rpm, más margen definido.	Ficha del fabricante y curva certificada para el punto de operación.
Metrología	Torque, rpm y variables del motor con sensores adecuados y trazables.	Certificados de calibración, incertidumbre, rango, exactitud y plan de verificación.
Control/SCADA	Lazo de carga, interbloqueos, alarmas, registro histórico y sincronización temporal.	Lista de E/S, lógica, pruebas funcionales, registros de eventos y archivos de datos.
Vibración	Línea base y comparación a regímenes equivalentes.	Ubicación de sensores, frecuencia de muestreo, espectros, amplitudes y criterios de aceptación.
Seguridad	Parada de emergencia, sobrevelocidad, sobre-torque, pérdida de señal/servicios y guardas.	Análisis de riesgos, matriz causa-efecto y prueba de interbloqueos.

Nota. Los requerimientos constituyen condiciones de diseño y validación, no resultados ya ejecutados. La ingeniería final deberá adoptar los límites del fabricante y la normativa institucional aplicable.

3.3.3 Organización de los datos recolectados

La información se organizó como una arquitectura de trazabilidad desde el requisito hasta la evidencia de cierre. Esta estructura permitió diferenciar las características que deben definirse en diseño de aquellas que deben demostrarse durante la puesta en servicio. En particular, se separó la especificación de un sensor de la evidencia metrológica que confirmará su aptitud, y la propuesta de un interbloqueo de la prueba funcional que deberá demostrar su actuación.

Se estableció una secuencia de validación futura compuesta por revisión de diseño, inspección de montaje, verificación de calibraciones, pruebas sin carga, pruebas de carga parcial, pruebas a régimen definido, corridas repetidas y evaluación de comportamiento dinámico. Cada fase deberá disponer de criterios de aceptación previamente establecidos y de un registro que permita reproducir el resultado.

3.3.4 Análisis de la información recolectada

El análisis indicó que la modernización del banco debe abordarse como un sistema y no como el reemplazo aislado de la hélice. La capacidad de carga, el acoplamiento, el soporte estructural, la instrumentación, la lógica de control, los servicios auxiliares y la dinámica rotacional interactúan entre sí. Una selección adecuada del dinamómetro podría perder validez si el acoplamiento introduce resonancias, si el sensor de torque no está calibrado o si el SCADA registra señales sin sincronización suficiente.

La comparación de precisión y repetibilidad requerirá un protocolo experimental con corridas repetidas bajo condiciones equivalentes de régimen, combustible, condiciones ambientales, configuración del banco y estado de calibración. Para evaluar repetibilidad deberán calcularse, según corresponda, media, desviación estándar, rango y coeficiente de variación. Para evaluar precisión deberán definirse resolución, exactitud, trazabilidad de calibración, incertidumbre de medición y referencia de comparación. Solo después de comparar cuantitativamente la configuración con hélice y la configuración dinamométrica podrá afirmarse que existe una mejora. Hasta entonces, precisión y repetibilidad se mantienen como criterios de diseño pendientes de validación.

3.4 Limitaciones del estudio

El estudio no contó con un dinamómetro instalado ni con datos experimentales obtenidos mediante dicho sistema. Tampoco se aportaron curvas completas de torque-velocidad de una alternativa comercial seleccionada, memoria de cálculo del acoplamiento, análisis torsional, análisis estructural de la bancada, datos de alineación, especificaciones definitivas de sensores, lista de entradas y salidas del PLC ni programación SCADA. En consecuencia, la propuesta se mantuvo en nivel conceptual.

No se suministraron registros suficientes de pruebas repetidas con hélice para cuantificar precisión, repetibilidad o incertidumbre, ni una línea base vibracional con amplitudes y espectros. Por esta razón, no se establecieron porcentajes de mejora ni reducción de vibración. Estas limitaciones deberán resolverse antes de utilizar el estudio como soporte para adquisición, fabricación o puesta en servicio.

IV. CONCLUSIONES

La revisión técnica permitió establecer que la sustitución de la hélice por un sistema dinamométrico fue conceptualmente viable como alternativa de modernización del banco AM37T-21, siempre que el equipo seleccionado cubra simultáneamente la potencia y el torque del PT6A-61A en su régimen de operación. A partir de 850 SHP y 2000 rpm se obtuvo un requerimiento aproximado de 633,8 kW y 3,03 kN·m, que deberá verificarse con la documentación oficial vigente del motor.

La caracterización evidenció que el documento inicial no contenía información suficiente para demostrar que la hélice fuera responsable de pérdidas cuantificadas de precisión o repetibilidad. Se identificaron observaciones de vibración y limitaciones de control, pero no existieron series repetidas, espectros ni incertidumbres que permitieran establecer magnitud o causalidad. Por ello, se definió como requisito previo una línea base metrológica y vibracional del sistema actual.

La comparación de tecnologías mostró que no

podía justificarse de manera rigurosa la selección automática de un dinamómetro eléctrico. Los sistemas hidráulicos, de corrientes parásitas y de corriente alterna presentaron ventajas y restricciones distintas. La selección final deberá sustentarse en la curva torque-velocidad, capacidad continua, respuesta de carga, infraestructura disponible, disipación térmica, calibración, mantenibilidad y costo del ciclo de vida.

La arquitectura conceptual definió que la implementación requerirá integrar acoplamiento, bancada, protección mecánica, sensores, control de carga, PLC/SCADA, interbloqueos y monitoreo vibracional. Estos componentes deberán ser objeto de ingeniería de detalle y de una validación escalonada antes de operar a plena potencia.

El estudio no demostró todavía una mejora real de precisión, repetibilidad, seguridad o vibración, debido a que no se ejecutó una comparación experimental entre ambos sistemas de carga. El aporte principal consistió en transformar la propuesta inicial en un conjunto trazable de requerimientos técnicos y de evidencia necesaria para una fase posterior de diseño, adquisición, instalación y validación.

V. REFERENCIAS

Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. Qualitative Research Journal, 9(2), 27–40. https://doi.org/10.3316/QRJ0902027

Boyce, M. P. (2012). Gas turbine engineering handbook (4th ed.). Butterworth-Heinemann.

Boyer, S. A. (2010). SCADA: Supervisory control and data acquisition (4th ed.). International Society of Automation.

Froude. (s. f.-a). Aircraft engine test stands. https://www.froudedyno.com/applications/aircraft-engine-test-stand

Froude. (s. f.-b). Standard hydraulic dynamometers: F type. https://www.froudedyno.com/products/dynamometers/standard-hydraulic-dynamometers-f-type

Gonzalez Caranton, A. R., Silva Leal, V., Bayona-Roa, C., Mayorga Betancourt, M. A., Betancourt, C., Cortina, D., Jimenez Acuña, N., & López, M. (2021). Experimental investigation of the mechanical and thermal behavior of a PT6A-61A engine using mixtures of JETA-1 and biodiesel. Energies, 14(11), 3282. https://doi.org/10.3390/en14113282

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2023). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (2.ª ed.). McGraw-Hill.

Jiménez Acuña, N. A. (s. f.). Protocolo de pruebas del motor PT6A-61A [Documento técnico interno]. Escuela de Suboficiales de la Fuerza Aeroespacial Colombiana.

Lu, W., Wang, C., & Gao, F. (2022). Research on condition monitoring and fault diagnosis technology of dynamometer in aero-engine test bed. Journal of Physics: Conference Series, 2336, 012022. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2336/1/012022

McCauley Propeller Systems. (s. f.). Piper Cheyenne III and IIIA: Propeller conversion information (STC SA00785CH). Textron Aviation.

Nail, B., Djaidir, B., Tibermacine, I. E., Napoli, C., Haidour, N., & Abdelaziz, R. (2024). Gas turbine vibration monitoring based on real data using neuro-fuzzy system. Diagnostyka, 25(1), 1–9. https://doi.org/10.29354/diag/181190

Pratt & Whitney Canada. (2015). Maintenance manual: PT6A-60 and PT6A-61 series turboprop engines (P/N 3034342, ATA 72-00-00).

Pratt & Whitney Canada. (2015). Overhaul manual: PT6A-60 and PT6A-61 series turboprop engines (P/N 3034343, ATA 72-00-00).

Szymański, G. M., Waligórski, M., & Misztal, W. (2024). Assessment of the effectiveness of mounting the aircraft piston combustion engine on a test stand. Combustion Engines, 198(3), 82–92. https://doi.org/10.19206/CE-186702

Taha, S., Ismail, F., & Thiruchelvam, S. (2023). Gas turbine performance monitoring and operation challenges: A review. Gazi University Journal of Science, 36(1), 154–171. https://doi.org/10.35378/gujs.948875

APOYO A LA ADECUACIÓN DEL SISTEMA DE CABLEADO E INSTALACIONES ELÉCTRICAS DEL BANCO DE PRUEBAS DE BIOCOMBUSTIBLE AM37T-21 MEDIANTE CRITERIOS EWIS

DS. Johan Arenas Salazar · DS. Josué Alejandro Arévalo Plazas · DS. Santiago Castañeda Olivares
JE.ARENAS@esufa.edu.co · JO.AREVALO@esufa.edu.co · S.CASTANEDA@esufa.edu.co
Programa Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico · Escuela de Suboficiales CT. Andrés M. Díaz

RESUMEN

El estudio tuvo como propósito apoyar la adecuación del sistema de cableado e instalaciones eléctricas del banco de pruebas de biocombustible AM37T-21 mediante la adaptación de criterios aplicables a los Electrical Wiring Interconnection Systems (EWIS). Se desarrolló como una investigación aplicada de alcance descriptivo-evaluativo y diseño no experimental, con predominio cualitativo, apoyada en análisis documental, observación técnica estructurada y trazado funcional de circuitos. El procedimiento se organizó en tres fases vinculadas con los objetivos específicos: diagnóstico del estado del sistema, adaptación de criterios EWIS al entorno del banco y estructuración documental de una arquitectura estandarizada.

En el diagnóstico se evaluaron ocho categorías técnicas. Cuatro se clasificaron con nivel de riesgo alto —vibración, condiciones térmicas, exposición a fluidos y protección mecánica— y cuatro con nivel medio —ruteo, sujeción, separación de circuitos e identificación—. Posteriormente se formularon criterios de adecuación para materiales, segregación, protección, identificación, documentación y mantenimiento. En la tercera fase se digitalizaron y organizaron los diagramas de adquisición de señales y la lógica funcional del SCADA, y se estructuró un protocolo de validación. El manuscrito no aportó registros cuantitativos de continuidad, resistencia de aislamiento o rigidez dieléctrica; por ello, los resultados sustentaron una línea base técnica y una propuesta documentada de adecuación, pero no una certificación EWIS ni una validación operacional completa. El trabajo fortaleció la trazabilidad técnica del banco y definió prioridades para intervenciones posteriores.

Palabras clave: EWIS, cableado aeronáutico, banco de pruebas, biocombustibles, mantenimiento aeronáutico, trazabilidad técnica.

1. INTRODUCCIÓN

El banco de pruebas de biocombustible AM37T-21 se utilizó como plataforma experimental para el estudio de variables asociadas al funcionamiento de un motor aeronáutico y al comportamiento de combustibles alternativos bajo condiciones controladas. Dentro de esta infraestructura, el sistema de cableado, los arneses y la cadena de adquisición de señales tuvieron una función crítica, debido a que cualquier deterioro, pérdida de identificación, interferencia o conexión deficiente podía afectar la confiabilidad de la información registrada durante los ensayos.

La Federal Aviation Administration (FAA) había desarrollado un conjunto de criterios para los Electrical Wiring Interconnection Systems (EWIS). La Advisory Circular AC 25.1701-1 proporcionó orientación para la certificación de sistemas EWIS en aeronaves de categoría transporte conforme a 14 CFR Part 25, Subpart H; la AC 25-26 desarrolló criterios para la documentación de prácticas estándar de cableado; y la AC 25-27A incorporó el análisis zonal mejorado como apoyo a las instrucciones de aeronavegabilidad continuada (FAA, 2007a, 2007b, 2010).

Debido a que el AM37T-21 correspondió a un banco de pruebas y no a una aeronave de categoría transporte sometida a certificación FAA, dichos documentos se utilizaron como referentes técnicos adaptados

y no como demostración de cumplimiento regulatorio. Esta distinción resultó necesaria para evitar que una guía de buenas prácticas se interpretara como certificación del equipo. Para el componente de mantenimiento también se consideró la AC 120-102B, que había descrito la incorporación de instrucciones EWIS de aeronavegabilidad continuada en programas de mantenimiento de operadores (FAA, 2024).

La pertinencia del proyecto también se relacionó con la necesidad de contar con infraestructura experimental técnicamente confiable para estudios sobre combustibles de aviación de menor impacto ambiental. La Organización de Aviación Civil Internacional había reconocido la sostenibilidad de los combustibles de aviación como parte de las estrategias internacionales de reducción de emisiones y había establecido criterios específicos para combustibles elegibles bajo CORSIA (OACI, s. f.). Aunque el trabajo no evaluó el combustible desde el punto de vista ambiental, la calidad del sistema de medición resultó necesaria para obtener datos experimentales trazables.

El diagnóstico preliminar del banco había evidenciado intervenciones no estandarizadas, identificación parcial del cableado, rutas con organización insuficiente, elementos de sujeción inadecuados y exposición de conductores a vibración, temperatura y fluidos. Estas condiciones justificaron una revisión sistemática del sistema eléctrico y de su documentación, con el propósito de establecer una línea base y orientar una adecuación técnicamente sustentada.

A partir de esta situación se formuló la pregunta de investigación: ¿de qué manera podía apoyarse la adecuación del sistema de cableado e instalaciones eléctricas del banco de pruebas de biocombustible AM37T-21 mediante criterios EWIS adaptados a su contexto técnico y operativo? El objetivo general consistió en apoyar dicha adecuación mediante el diagnóstico del estado del sistema, la adaptación de criterios técnicos EWIS y la estructuración documental de una arquitectura estandarizada que fortaleciera la seguridad, la mantenibilidad y la trazabilidad de la cadena de adquisición de datos.

Para alcanzar el objetivo general se definieron tres objetivos específicos: (1) diagnosticar el estado del sistema de arneses e instalaciones eléctricas del banco AM37T-21, identificando deficiencias, riesgos y desviaciones respecto de los criterios técnicos seleccionados; (2) aplicar de manera referencial los lineamientos EWIS pertinentes al entorno del banco, considerando vibración, temperatura, exposición a fluidos, ruteo, sujeción, protección e identificación; y (3) diseñar y documentar una arquitectura estandarizada del sistema eléctrico y de adquisición de señales, incorporando criterios de ruteo, materiales, protección, identificación y verificación técnica.

2. METODOLOGÍA

2.1 Enfoque, alcance y diseño

La investigación se desarrolló como un estudio aplicado de alcance descriptivo-evaluativo y diseño no experimental de corte transversal. Se adoptó un predominio cualitativo porque el interés principal se concentró en caracterizar el estado del sistema, contrastarlo con criterios técnicos y documentar una propuesta de adecuación, sin manipular deliberadamente variables. Esta decisión metodológica se ajustó a la lógica de los estudios no experimentales y descriptivos expuesta por Hernández Sampieri y Mendoza Torres (2023).

La unidad de análisis estuvo constituida por el sistema de cableado y arneses del banco AM37T-21, sus rutas, elementos de sujeción, protecciones, identificación, documentación técnica y relación funcional con los canales de adquisición de señales y el SCADA. El análisis documental se utilizó para revisar planos, registros técnicos y documentos normativos; la observación estructurada permitió contrastar estos criterios con las condiciones visibles del banco. La complementariedad de ambas técnicas respondió al uso de documentos como fuente sistemática de datos descrito por Bowen (2009).

2.2 Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección

Las fuentes técnicas externas incluyeron las Advisory Circular AC 25.1701-1, AC 25-26, AC 25-27A y AC 120-102B de la FAA. Estas se emplearon como marco de referencia para diseño, documentación, inspección y mantenimiento de cableado, reconociendo expresamente que su ámbito regulatorio original no correspondió al banco de pruebas. Como fuentes internas se utilizaron los planos y diagramas disponibles del AM37T-21, la documentación de operación y mantenimiento accesible durante la pasantía y los diagramas funcionales del sistema de adquisición y del SCADA.

Se utilizaron tres instrumentos principales: una matriz de observación técnica para el diagnóstico, una matriz comparativa para la adaptación de criterios EWIS y un protocolo de diseño y validación para la arquitectura propuesta. De manera auxiliar se emplearon multímetros y comprobadores de continuidad para apoyar el trazado funcional de circuitos. Dado que el manuscrito no incluyó lecturas cuantitativas de esas verificaciones, dichos instrumentos auxiliares se consideraron apoyo al reconocimiento del sistema y no evidencia de validación eléctrica final.

2.3 Categorías de análisis y criterio de priorización

La matriz diagnóstica se organizó en ocho categorías: vibración, condiciones térmicas, exposición a fluidos, ruteo del cableado, sistemas de sujeción, protección mecánica, separación entre circuitos e identificación de conductores. Para hacer explícita la priorización aplicada durante el diagnóstico, se consideró riesgo alto cuando la condición observada implicó exposición directa del cableado a un mecanismo de degradación o daño sin protección suficiente; se consideró riesgo medio cuando la desviación se relacionó principalmente con organización, segregación, sujeción o trazabilidad documental sin evidencia de falla inmediata.

La clasificación se utilizó como herramienta de priorización técnica y no como estimación probabilística de seguridad. Por tanto, los niveles alto y medio no representaron probabilidades cuantificadas de falla ni sustituyeron un análisis formal de seguridad del sistema. Esta precisión delimitó el alcance de los resultados y evitó atribuir al estudio una capacidad de certificación que no fue demostrada.

2.4 Procedimiento

El procedimiento se ejecutó en tres fases. En la primera se revisó la documentación disponible, se realizó la observación estructurada del sistema y se organizaron los hallazgos en la matriz diagnóstica. En la segunda se contrastaron las condiciones encontradas con los criterios técnicos seleccionados de la documentación FAA y se formularon acciones de adecuación relacionadas con ruteo, sujeción, protección, identificación y mantenimiento. En la tercera se reorganizó la documentación gráfica de la adquisición de señales y del SCADA, y se estructuró un protocolo de validación para una fase posterior.

La información se analizó mediante comparación por categorías y triangulación entre evidencia documental, observación técnica y representación gráfica del sistema. Los hallazgos se resumieron en tablas de trazabilidad y se calcularon frecuencias simples de las categorías de riesgo para facilitar su interpretación. No se aplicaron pruebas estadísticas inferenciales porque el estudio no trabajó con una muestra probabilística ni con variables cuantitativas destinadas a contrastar hipótesis.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Objetivo específico 1. Diagnóstico del sistema de arneses e instalaciones eléctricas

3.1.1 Selección y diseño de instrumentos de recolección de información

Para el primer objetivo se seleccionaron el análisis documental y la observación técnica estructurada. La matriz de diagnóstico integró las ocho categorías definidas en la metodología y vinculó cada una con una descripción de la condición observada y un nivel de prioridad. La revisión documental permitió identificar los criterios técnicos relevantes, mientras que la observación directa permitió verificar cómo se encontraban representados en el banco. Esta combinación fortaleció la coherencia entre el referente técnico y la evidencia disponible (Bowen, 2009).

3.1.2 Aplicación de instrumentos

La aplicación de la matriz evidenció arneses con sujeción insuficiente expuestos a vibración constante, cables próximos a fuentes de calor sin protección térmica suficiente y residuos de fluidos en zonas de cableado sin protección adecuada. También se observaron rutas desordenadas, ausencia de una separación claramente documentada entre circuitos, elementos de sujeción que no podían ser trazados a una especificación técnica dentro del manuscrito, protección mecánica insuficiente y etiquetado parcial de conductores.

La revisión de planos y documentación mostró vacíos de detalle en el ruteo y en la identificación. A su vez, los procedimientos consultados no evidenciaron un programa específico de inspección del cableado con el nivel de sistematicidad recomendado para sistemas EWIS. Estas brechas resultaron relevantes porque la FAA había enfatizado la necesidad de considerar el entorno de instalación, la protección frente al deterioro y la documentación estandarizada en el diseño y mantenimiento de cableado aeronáutico (FAA, 2007a, 2007b, 2010).

3.1.3 Organización de los datos recolectados

Tabla 1

Matriz diagnóstica del sistema eléctrico del banco AM37T-21

Categoría	Hallazgo registrado	Prioridad	Implicación técnica
Vibración	Arneses con sujeción insuficiente y exposición a vibración constante.	Alto	Prioridad de intervención en sujeción y protección frente al movimiento.
Condiciones térmicas	Cableado próximo a fuentes de calor sin aislamiento o barrera térmica suficiente.	Alto	Prioridad de protección térmica y revisión de rutas.
Exposición a fluidos	Residuos de combustibles o lubricantes en zonas de cableado sin protección suficiente.	Alto	Prioridad de protección y compatibilidad de materiales.
Ruteo del cableado	Rutas desorganizadas y sin criterios de segregación claramente documentados.	Medio	Reorganización documental y física según factibilidad técnica.
Sistemas de sujeción	Puntos de sujeción insuficientes y elementos sin trazabilidad técnica demostrada.	Medio	Revisión de soportes y selección según especificación aplicable.
Protección mecánica	Ausencia de recubrimientos en zonas expuestas a abrasión o desgaste.	Alto	Incorporación de protección mecánica compatible con el entorno.
Separación de circuitos	No se documentaron distancias o criterios claros entre líneas de potencia y señal.	Medio	Definición de segregación y control de interferencias.
Identificación	Etiquetado parcial y no estandarizado.	Medio	Normalización de identificación y actualización de planos.

Nota. La matriz reorganizó los hallazgos del diagnóstico original. La prioridad correspondió a una clasificación técnica cualitativa y no a una probabilidad cuantificada de falla.

3.1.4 Análisis de la información recolectada

De las ocho categorías evaluadas, cuatro se clasificaron con prioridad alta y cuatro con prioridad media. En términos descriptivos, el 50 % de las categorías se concentró en condiciones asociadas con exposición directa a mecanismos de deterioro —vibración, temperatura, fluidos y abrasión—, mientras que el 50 %

restante correspondió a debilidades de organización, sujeción, segregación e identificación. Esta distribución mostró que la problemática no se limitó a un componente aislado, sino que involucró simultáneamente protección física y gestión técnica del cableado.

La presencia conjunta de vibración, calor, fluidos y protección mecánica insuficiente resultó consistente con los factores de deterioro que las guías EWIS habían buscado controlar mediante criterios de diseño, instalación e inspección. Sin embargo, el diagnóstico no demostró una tasa de fallas ni permitió estimar la confiabilidad cuantitativa del banco. Por ello, el resultado se interpretó como una línea base de desviaciones y prioridades de intervención, no como una evaluación formal de aeronavegabilidad.

3.2 Objetivo específico 2. Adaptación de criterios EWIS al entorno del banco de pruebas

3.2.1 Selección y diseño de instrumentos de recolección de información

Para el segundo objetivo se diseñó una matriz comparativa que relacionó cada hallazgo del diagnóstico con un criterio técnico de adecuación. La AC 25.1701-1 se utilizó para aspectos de diseño e instalación; la AC 25-26 orientó la documentación de prácticas de cableado; la AC 25-27A aportó elementos de inspección y análisis zonal; y la AC 120-102B se empleó como referencia para la incorporación sistemática de tareas EWIS en programas de mantenimiento (FAA, 2007a, 2007b, 2010, 2024).

El instrumento se estructuró para diferenciar tres elementos que en la versión inicial del trabajo aparecían mezclados: el hallazgo observado, el criterio técnico adoptado y el alcance real de la acción. Esta separación permitió distinguir entre medidas propuestas, documentación efectivamente desarrollada y verificaciones que todavía requerían evidencia cuantitativa.

3.2.2 Aplicación de instrumentos

La matriz se aplicó a los hallazgos de ruteo, sujeción, protección térmica y mecánica, exposición a fluidos, identificación, documentación y validación. Para cada categoría se definió una acción de adecuación técnicamente compatible con el entorno del banco. Se evitó utilizar expresiones genéricas como “certificado” cuando el documento no aportó números de parte, especificaciones de material o certificados de conformidad; en su lugar, se estableció que los componentes debían seleccionarse de acuerdo con la especificación aplicable, la carga eléctrica, la temperatura, la exposición a fluidos y las condiciones de instalación.

También se estableció que la segregación entre potencia y señal debía documentarse y verificarse de acuerdo con la arquitectura real, y que la identificación de conductores debía mantenerse coherente entre el cableado, los planos y los registros de mantenimiento. La aplicación de estos criterios tuvo carácter de adaptación técnica al banco y no de certificación FAA, dado que las Advisory Circular utilizadas habían sido emitidas para ámbitos regulatorios específicos distintos del equipo estudiado.

3.2.3 Organización de los datos recolectados

Tabla 2

Matriz de adaptación de criterios EWIS al banco AM37T-21

Aspecto	Hallazgo base	Criterio técnico adoptado	Alcance documentado
Ruteo y segregación	Rutas desorganizadas; separación no documentada.	Definición de rutas, puntos de cruce y segregación entre potencia y señal según arquitectura real.	Criterio de adecuación formulado.
Sujeción	Puntos insuficientes y trazabilidad técnica incompleta.	Selección de soportes compatibles con diámetro, carga, vibración y ambiente de instalación.	Criterio de adecuación formulado.
Protección mecánica	Zonas expuestas a abrasión.	Fundas, pasamuros o barreras de protección según riesgo de roce o contacto.	Criterio de adecuación formulado.
Protección térmica	Proximidad a fuentes de calor.	Reubicación cuando fuera posible o protección térmica compatible con la temperatura esperada.	Criterio de adecuación formulado.
Protección frente a fluidos	Exposición a residuos de combustible o lubricante.	Selección de materiales compatibles y protección de zonas susceptibles de contaminación.	Criterio de adecuación formulado.

Aspecto	Hallazgo base	Criterio técnico adoptado	Alcance documentado
Identificación	Etiquetado parcial.	Codificación permanente y correspondencia entre conductor, plano y registro técnico.	Criterio de adecuación formulado.
Documentación	Planos con detalle insuficiente.	Actualización digital de diagramas, rutas, señales y puntos de conexión.	Evidencia documental desarrollada.
Validación	No se incorporaron resultados eléctricos cuantitativos al artículo.	Protocolo con continuidad, aislamiento y otras pruebas pertinentes según el circuito y la especificación aplicable.	Protocolo definido; ejecución cuantitativa no demostrada.

Nota. La tabla diferenció las medidas formuladas de la evidencia efectivamente incorporada al estudio. Los criterios FAA se utilizaron como referencia técnica adaptada y no como declaración de cumplimiento regulatorio.

3.2.4 Análisis de la información recolectada

El análisis mostró que la mejora del sistema dependió de un enfoque integrado y no únicamente del reemplazo de conductores. La organización de rutas, la protección frente al ambiente, la identificación y la documentación tuvieron el mismo valor metodológico que la selección física de materiales, porque permitieron controlar errores de intervención y mejorar la trazabilidad. Esta perspectiva coincidió con la orientación de las guías FAA hacia prácticas estándar de cableado, inspección y mantenimiento sistemático (FAA, 2007b, 2010, 2024).

El principal aporte de esta fase consistió en transformar hallazgos generales en criterios verificables de adecuación. No obstante, el documento no aportó evidencia suficiente para afirmar que todas las medidas hubieran sido implementadas físicamente ni que el sistema hubiera alcanzado una condición de conformidad EWIS. En consecuencia, el resultado se interpretó como una especificación técnica de intervención y una base para la ejecución y verificación posterior.

3.3 Objetivo específico 3. Diseño y documentación de una arquitectura estandarizada

3.3.1 Selección y diseño de instrumentos de recolección de información

Para el tercer objetivo se utilizaron como instrumentos el levantamiento documental de la arquitectura existente, los diagramas digitales del sistema de adquisición y del SCADA, una matriz de trazabilidad documental y un protocolo de validación. La información se organizó de manera que cada señal, función y componente pudiera relacionarse con su representación gráfica y con los criterios técnicos adoptados para el cableado.

El diseño asistido por computador y la digitalización de los diagramas se emplearon para mejorar la legibilidad y la trazabilidad de la documentación, sin presentar esa reorganización gráfica como evidencia de una modificación física completa del banco. Esta delimitación fue importante porque los resultados disponibles demostraron el desarrollo documental de la arquitectura y la propuesta de adecuación, pero no incluyeron un conjunto completo de mediciones posteriores a la intervención.

3.3.2 Aplicación de instrumentos

Se digitalizó el diagrama funcional de adquisición de señales y se identificaron los principales canales relacionados con velocidad, flujo de combustible, presión y temperatura de aceite, temperaturas del motor, temperatura del combustible y temperatura ambiente. También se identificaron los módulos de adquisición de datos, la integración de señales hacia el SCADA PT6 y el bloque destinado al almacenamiento de mediciones.

Tabla 3.

Descripción funcional de los elementos del sistema SCADA del banco de pruebas AM37T-21

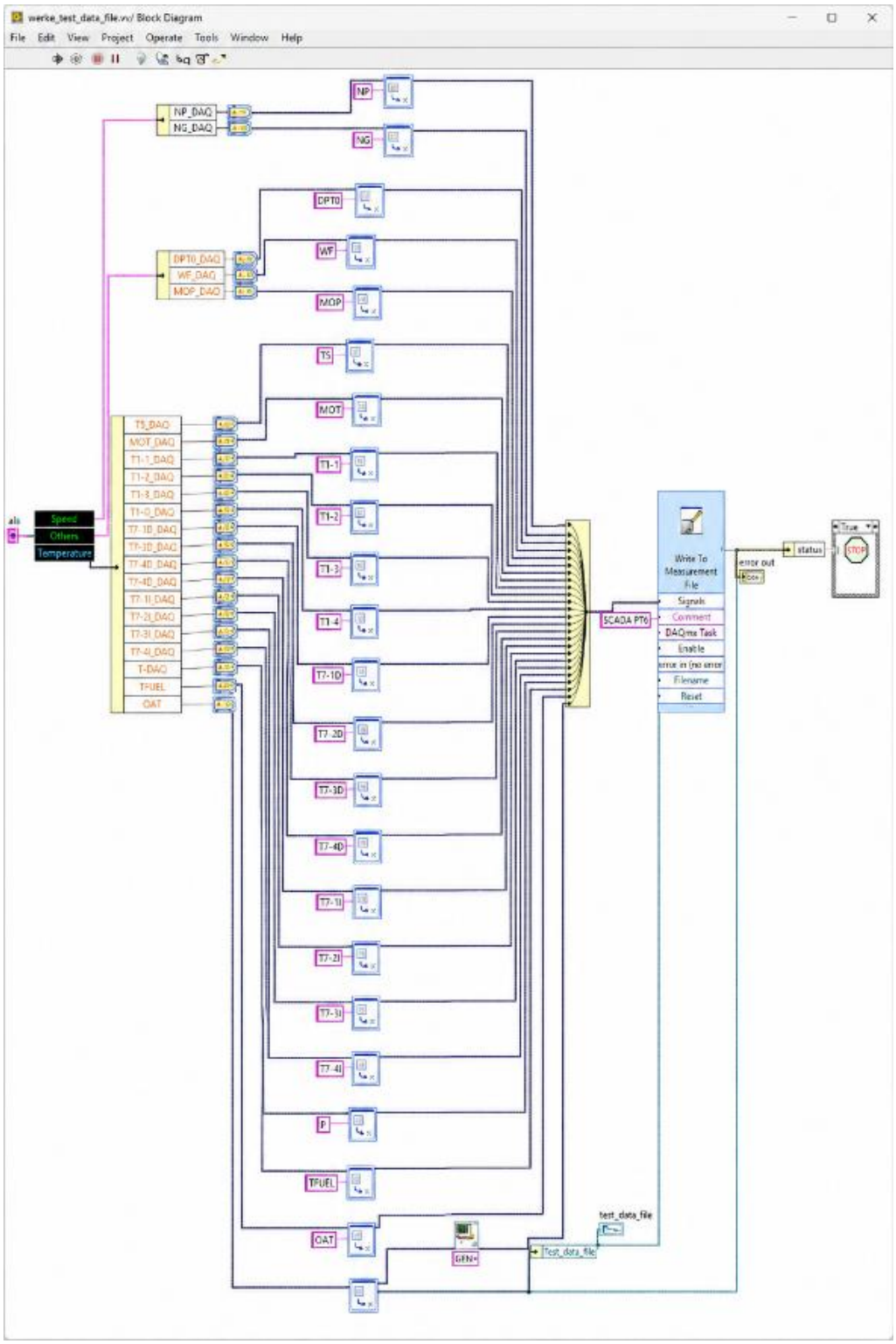
Elemento del sistema	Variable / señal	Función dentro del banco de pruebas
Dispositivos de campo	Sensores y transmisores	Captan las variables de operación del motor.
Tacómetro Ng	RPM Ng	Registra la velocidad del generador de gases.
Tacómetro Np	RPM Np	Registra la velocidad del conjunto de potencia.
Sensor T1	Temperatura T1	Mide la temperatura en la entrada del compresor.
Sensor T3	Temperatura T3	Mide la temperatura a la salida del compresor.
Sensor T5	Temperatura T5	Registra la temperatura de operación del motor.
Sensor T7	Temperatura T7	Registra la temperatura de los gases de escape.
Transmisores de presión	Presión de aceite, combustible y P3	Permiten registrar las condiciones de presión del motor.
Arneses eléctricos	Señales de los sensores	Transmiten las señales desde el motor hacia el sistema de adquisición.
Sistema DAC	Señales adquiridas	Recibe e integra las señales provenientes de los dispositivos de campo.
MTU	Señales del sistema	Integra las conexiones entre adquisición y procesamiento.
Servidor / computador	Datos procesados	Permite procesar, visualizar y registrar la información obtenida.
Sistema SCADA	Variables de operación	Supervisa y permite visualizar las condiciones del motor durante las pruebas.

*Nota***.** Elaboración propia a partir del esquema funcional del sistema SCADA del banco de pruebas AM37T-21 suministrado para el desarrollo del proyecto

La tabla 3 permite interpretar los principales elementos representados en el plano del sistema SCADA del banco de pruebas AM37T-21 y establecer la relación existente entre los dispositivos de campo, los arneses eléctricos, el sistema de adquisición de datos y la interfaz de supervisión. Esta organización facilita la comprensión del recorrido de las señales generadas por los sensores y transmisores instalados en el motor hasta su procesamiento y visualización en el sistema SCADA, constituyendo además un apoyo para las actividades de inspección, mantenimiento y trazabilidad del cableado eléctrico.

Figura 1

Arquitectura funcional de adquisición y registro de señales del banco AM37T-21



Nota. Elaboración propia a partir del diagrama técnico utilizado durante la pasantía. La figura documentó el flujo de señales hacia el sistema de adquisición y almacenamiento; no constituyó por sí sola evidencia de validación eléctrica del cableado.

Tabla 4

Principales señales y componentes del sistema de adquisición

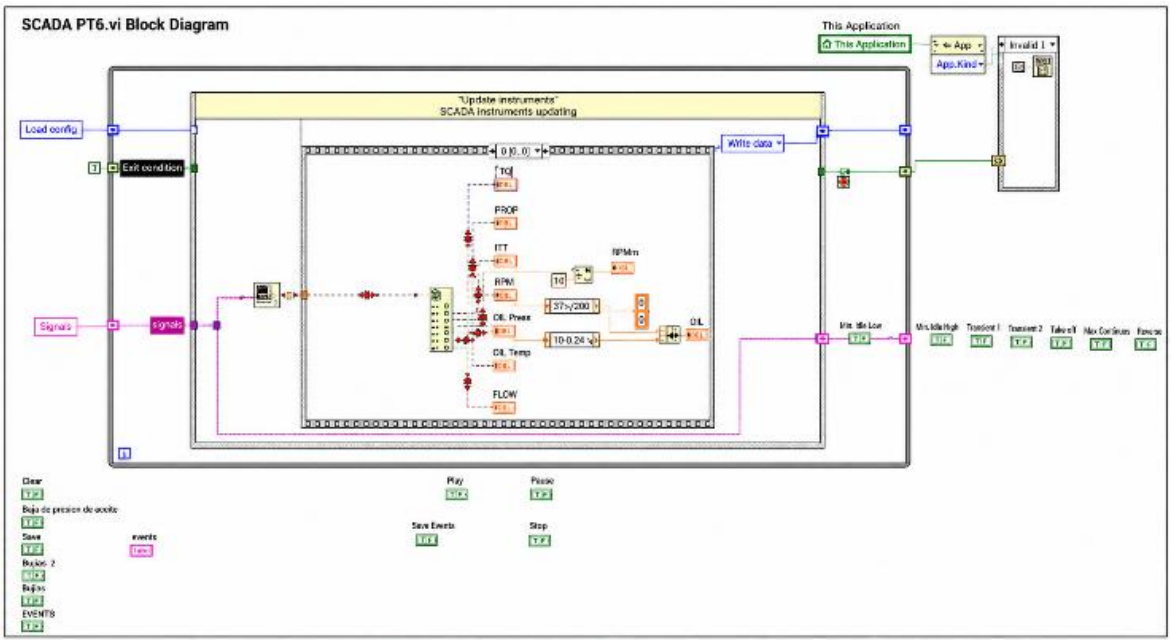
Señal o componente	Función documentada	Relevancia para el banco
NP y NG	Velocidad de hélice y del generador de gases.	Seguimiento del régimen operacional del motor.
WF	Flujo de combustible.	Seguimiento del consumo durante las pruebas.
MOP y MOT	Presión y temperatura de aceite.	Seguimiento del sistema de lubricación.
T1, T5 y T7	Temperaturas en estaciones del motor.	Caracterización del comportamiento térmico.
TFUEL y OAT	Temperatura de combustible y temperatura ambiente.	Condiciones de referencia para interpretación.
Módulos DAQ	Adquisición y digitalización de señales.	Interfaz entre sensores y procesamiento.
SCADA PT6	Integración y supervisión de señales.	Visualización centralizada del banco.
Write to Measurement File	Almacenamiento de mediciones.	Trazabilidad y conservación de datos experimentales.

Nota. La tabla se construyó a partir de la lectura del diagrama funcional del banco. Las denominaciones se conservaron porque correspondieron a las siglas técnicas utilizadas en la arquitectura original.

En un segundo diagrama se documentó la lógica del SCADA implementada en LabVIEW. Se identificaron funciones de carga de configuración, recepción de señales, actualización de instrumentos, procesamiento de variables de operación, registro de datos, manejo de eventos y alarmas, y controles de ejecución. La representación permitió relacionar la arquitectura física de adquisición con la lógica de supervisión y almacenamiento.

Figura 2

Diagrama funcional del SCADA PT6 implementado en LabVIEW



Nota. Elaboración propia a partir del diagrama funcional disponible durante la pasantía. La figura se utilizó para documentar la lógica de procesamiento y control del SCADA.

Tabla 5

Componentes principales de la lógica funcional del SCADA

Componente	Función documentada	Relevancia operativa
Load Config	Carga de la configuración inicial.	Preparación de parámetros para la ejecución del ensayo.
Signals	Recepción de señales desde los módulos de adquisición.	Ingreso de variables al sistema de procesamiento.
Update Instruments	Actualización de indicadores del SCADA.	Supervisión visual de variables durante la operación.

Componente	Función documentada	Relevancia operativa
TQ, PROP, ITT y RPM	Procesamiento de variables de torque, hélice, temperatura y revoluciones.	Seguimiento de variables principales del motor.
OIL Press, OIL Temp y FLOW	Procesamiento de presión de aceite, temperatura de aceite y flujo.	Seguimiento de lubricación y consumo.
Condiciones de prueba	Clasificación de regímenes como idle, transitorios, take off, máximo continuo y reversa.	Organización de la información por condición operacional.
Write Data	Orden de registro de variables procesadas.	Conservación de la información de cada prueba.
Events y alarmas	Registro de eventos y condiciones anormales.	Apoyo a la detección de novedades durante el ensayo.
Play, Pause y Stop	Control de ejecución del programa.	Inicio, pausa o finalización de la adquisición.

Nota. La tabla resumió la información visible en el diagrama funcional del SCADA y se utilizó para facilitar la lectura técnica de la arquitectura de procesamiento.

3.3.3 Organización de los datos recolectados

La información de la fase de diseño se organizó en cinco grupos: criterios de cableado, protección y sujeción; identificación; documentación gráfica; lógica de adquisición y procesamiento; y validación. Esta organización permitió vincular la evidencia del diagnóstico con la propuesta de adecuación y con los diagramas funcionales, evitando que los planos se presentaran como elementos aislados.

Tabla 6

Matriz de trazabilidad documental para el diseño de la arquitectura

Documento o evidencia	Área de análisis	Uso metodológico en el proyecto
FAA AC 25.1701-1	Diseño e instalación EWIS.	Criterios de protección, ruteo, segregación e instalación utilizados como referencia.
FAA AC 25-26	Documentación de prácticas de cableado.	Estandarización documental, identificación y trazabilidad.
FAA AC 25-27A	Inspección y análisis zonal de EWIS.	Priorización de zonas expuestas a deterioro y enfoque preventivo.
FAA AC 120-102B	Incorporación de ICA EWIS en mantenimiento.	Estructuración de criterios para inspección y registro periódico.
Planos internos AM37T-21	Arquitectura de señales y conexiones.	Identificación de canales, módulos DAQ y relación con SCADA.
Diagramas LabVIEW/SCADA	Lógica de procesamiento y almacenamiento.	Trazabilidad entre adquisición, visualización y registro.
Protocolo de validación	Continuidad, aislamiento y verificaciones eléctricas pertinentes.	Base para una fase posterior de comprobación con registros cuantitativos.

Nota. La matriz mostró la relación entre las fuentes técnicas y las actividades desarrolladas. Las Advisory Circular de la FAA se trataron como referentes adaptados al banco y no como certificación de cumplimiento.

3.3.4 Análisis de la información recolectada

La documentación desarrollada permitió consolidar una representación más ordenada de la cadena que se extendió desde los sensores y módulos DAQ hasta el SCADA y el almacenamiento de datos. Este resultado aportó trazabilidad técnica porque facilitó la identificación de señales, funciones y puntos de relación entre hardware y software. También proporcionó una base para futuras intervenciones de mantenimiento y para la verificación del cableado asociado a canales críticos.

La arquitectura estandarizada se interpretó como una propuesta documental y técnica apoyada en criterios EWIS, no como un sistema ya certificado. La evidencia disponible permitió afirmar que se reorganizaron y digitalizaron diagramas, se definieron criterios de adecuación y se estructuró un protocolo de validación. No permitió afirmar, con el mismo nivel de certeza, que se hubiera ejecutado una campaña completa de pruebas eléctricas ni que el banco hubiera sido validado bajo condiciones dinámicas después de la intervención.

3.4 Limitaciones del estudio

El estudio presentó tres limitaciones principales. Primero, el manuscrito no incluyó valores medidos de continuidad, resistencia de aislamiento, rigidez dieléctrica, temperatura del cableado o niveles de interferencia antes y después de la adecuación. Segundo, no se documentó una campaña controlada de verificación bajo vibración, temperatura y exposición a fluidos que permitiera comparar el desempeño del sistema antes y

después de las medidas propuestas. Tercero, las guías FAA utilizadas tuvieron un ámbito regulatorio diferente al del banco AM37T-21 y, por tanto, su empleo solo pudo interpretarse como referencia técnica adaptada.

Estas limitaciones no invalidaron el diagnóstico ni la documentación desarrollada, pero restringieron el alcance de las conclusiones. La fase posterior debía incluir registros cuantitativos, criterios de aceptación previamente definidos, evidencia fotográfica o de trazabilidad de cada intervención y una matriz de cierre que relacionara hallazgo, acción ejecutada, prueba realizada, resultado obtenido y responsable técnico.

4. CONCLUSIONES

El primer objetivo permitió establecer una línea base técnica del sistema de cableado e instalaciones eléctricas del banco AM37T-21. Se identificaron ocho categorías de análisis y se clasificaron cuatro con prioridad alta y cuatro con prioridad media. Los hallazgos de mayor criticidad estuvieron asociados con vibración, temperatura, exposición a fluidos y protección mecánica, mientras que las restantes debilidades se concentraron en ruteo, sujeción, segregación e identificación.

El segundo objetivo permitió traducir los hallazgos en criterios concretos de adecuación relacionados con organización de rutas, selección de componentes según especificación aplicable, protección mecánica y térmica, compatibilidad frente a fluidos, identificación permanente y documentación técnica. La utilización de las guías EWIS fortaleció la lógica preventiva del proyecto; sin embargo, estas se aplicaron como referentes técnicos y no como evidencia de certificación regulatoria del banco.

El tercer objetivo permitió documentar la arquitectura funcional de adquisición de señales y la lógica del SCADA, relacionando sensores, módulos DAQ, procesamiento y almacenamiento de información. La digitalización de los diagramas y la matriz de trazabilidad mejoraron la comprensión del sistema y establecieron una base documental para mantenimiento, capacitación e intervenciones posteriores.

La evidencia incorporada al estudio sustentó el diagnóstico, la priorización de necesidades y el diseño de una propuesta de adecuación, pero no demostró una validación eléctrica final ni una mejora cuantitativa de confiabilidad. En consecuencia, no se atribuyó al proyecto un cumplimiento EWIS certificado. Se concluyó que la contribución principal consistió en estructurar una línea base, criterios de intervención y documentación técnica que debían ser complementados con una fase posterior de ejecución y verificación cuantitativa.

REFERENCIAS

Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal, 9*(2), 27–40. https://doi.org/10.3316/QRJ0902027

Federal Aviation Administration. (2007a). *AC 25.1701-1: Certification of electrical wiring interconnection systems on transport category airplanes*. U.S. Department of Transportation. https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/73476

Federal Aviation Administration. (2007b). *AC 25-26: Development of standard wiring practices documentation*. U.S. Department of Transportation. https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/74383

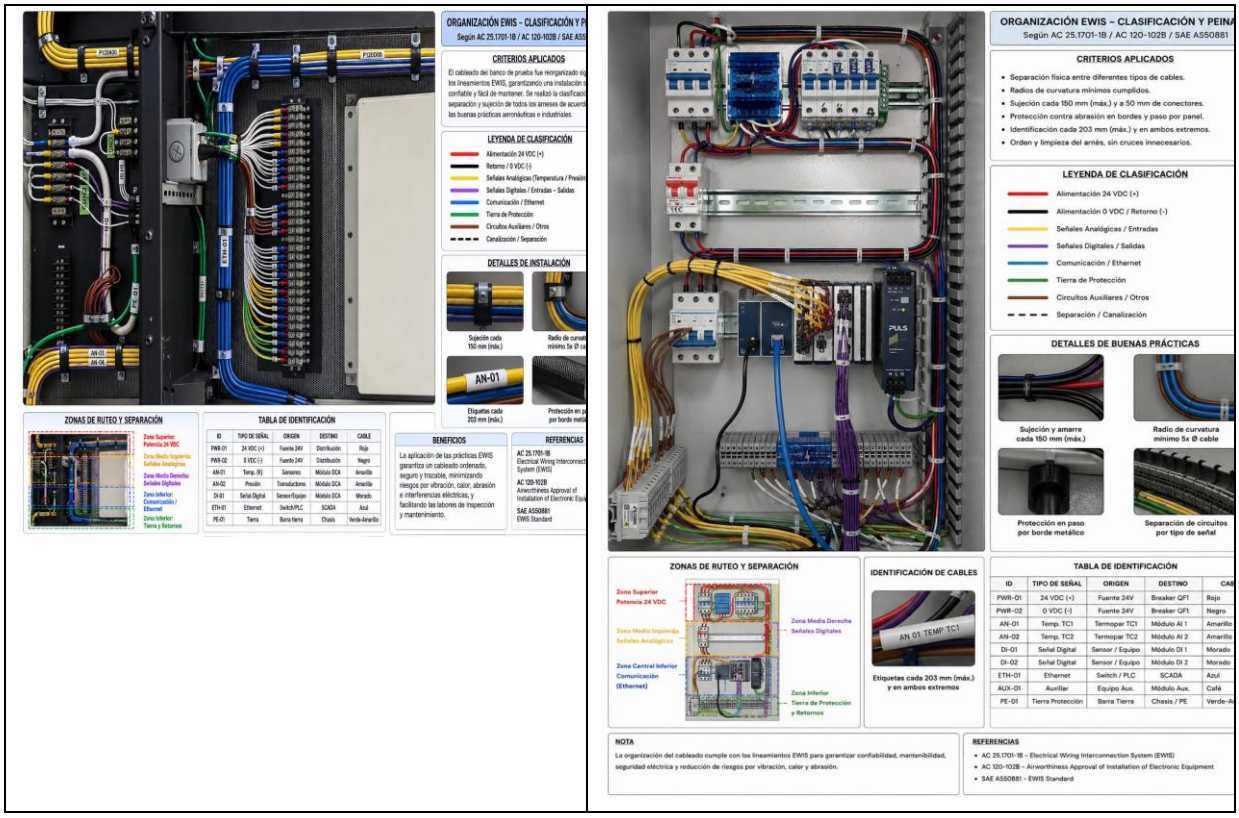
Federal Aviation Administration. (2010). *AC 25-27A: Development of transport category airplane electrical wiring interconnection systems instructions for continued airworthiness using an enhanced zonal analysis procedure*. U.S. Department of Transportation. https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/319197

Federal Aviation Administration. (2024). *AC 120-102B: Incorporation of electrical wiring interconnection systems instructions for continued airworthiness into an operator's maintenance program*. U.S. Department of Transportation. https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/1042770

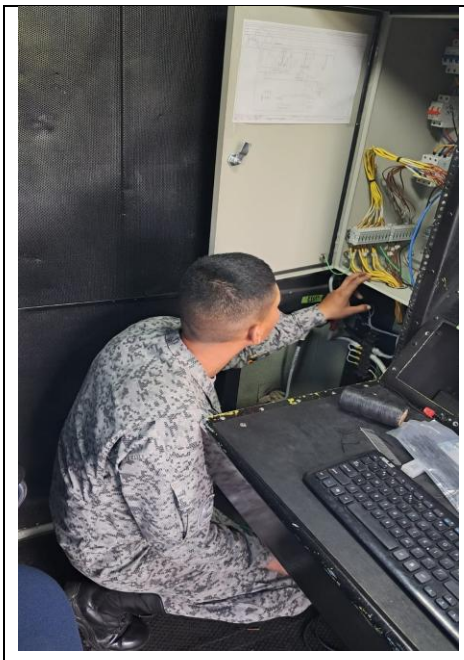
Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2023). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (2.ª ed.). McGraw Hill.

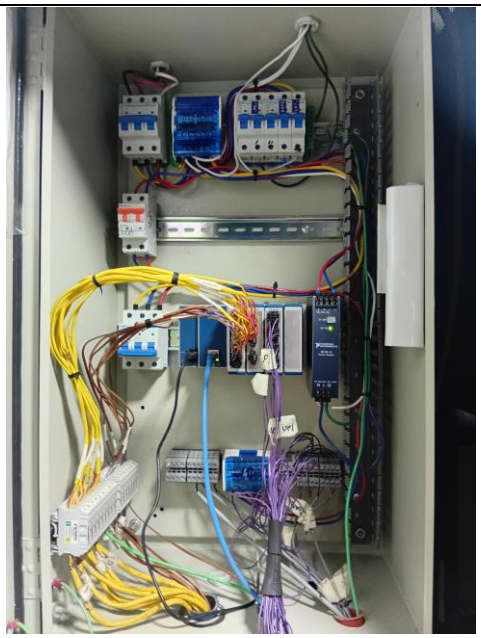
Organización de Aviación Civil Internacional. (s. f.). *Sustainability of aviation fuels*. Recuperado el 22 de agosto de 2026, de https://www.icao.int/CORSIA/fuels-sustainability

PROPUESTA DISEÑO Y ESTANDARIZACIÓN CABLEADO EWIS



INICIO RESTAURACIÓN Y EVALUACIÓN





Apoyo en el diseño del montaje de los mandos de operación del motor PT6A-61A para el banco de pruebas de biocombustibles AM37-T21: una pasantía técnica en la Escuela de Suboficiales FAC

Púa Gravini, Sebastián Andrés. Rincón Caballero, Michael Steven. S.PUA@esufa.edu.co, MI.RINCON@esufa.edu.co
Escuela de Suboficiales CT. Andrés M. Díaz

Resumen—La pasantía examinó el sistema de mandos de operación asociado al motor PT6A-61A del banco de pruebas AM37-T21 y apoyó la formulación de una propuesta de montaje orientada a mejorar su integración mecánica, su mantenibilidad y la trazabilidad de la operación. El estudio se desarrolló como investigación aplicada de desarrollo tecnológico, con alcance descriptivo-evaluativo y diseño no experimental. Se utilizaron observación técnica estructurada, análisis documental y matrices de trazabilidad para caracterizar la condición inicial, identificar los requerimientos funcionales de los mandos de potencia, hélice y condición, y organizar los criterios de diseño. La evidencia disponible permitió documentar un cuadrante de accionamiento mecánico, una transmisión por cables y una interfaz de monitoreo del banco; sin embargo, no se aportaron series pre y posintervención que permitieran demostrar estadísticamente reducción de histéresis, mejora de precisión o incremento de repetibilidad. Como resultado, se establecieron requerimientos de alineación, recorrido, holgura, accesibilidad, aseguramiento, documentación del reglaje e integración con la adquisición de datos. Se concluyó que la propuesta constituyó una base técnica para una fase posterior de implementación y validación cuantitativa, la cual debía sustentarse en límites del fabricante, calibración de instrumentos, registros sincronizados y análisis metrológico.

Índice de Términos— AM37-T21, PT6A-61A, mandos de motor, control mecánico, ATA 76, DAQ/SCADA, trazabilidad metrológica.

I. INTRODUCCIÓN

Los bancos de ensayo de motores permitieron desarrollar actividades de formación, diagnóstico e investigación bajo condiciones controladas. En estos entornos, la calidad del resultado dependió no solo del comportamiento del motor, sino también de la capacidad de accionar los mandos de manera repetible, conocer su recorrido y registrar las variables operacionales con suficiente trazabilidad.

El banco AM37-T21 empleó un motor PT6A-61A y un conjunto de mandos mecánicos para actuar sobre los sistemas de control asociados a potencia, hélice y condición. Durante la pasantía se documentó un cuadrante de accionamiento y una transmisión por cable. La observación cualitativa reportó respuesta no uniforme y presencia de holguras; no obstante, el expediente suministrado no incluyó curvas entrada-salida, mediciones de juego mecánico ni ciclos repetidos que permitieran cuantificar histéresis o no linealidad.

El PT6A perteneció a la familia de motores turbohélice de turbina libre de Pratt & Whitney. La documentación pública del fabricante ubicó a los modelos PT6A medianos, entre ellos la serie A-61, en una clase mecánica aproximada de 850 a 1050 shp. Debido a que los sistemas de control del motor son sensibles a los ajustes de instalación, los procedimientos de reglaje, recorrido y aceptación debieron remitirse al manual vigente y a la configuración real del motor del banco, no a valores genéricos (Pratt & Whitney, s. f.; Federal Aviation Administration [FAA], 2023).

El sistema de numeración ATA se utilizó como esquema de organización de la información de mantenimiento. A4A iSpec 2200 estableció el estándar industrial de numeración de sistemas; por

ello, ATA 76 se interpretó como una referencia de clasificación para controles de motor y no como una norma que, por sí sola, certificara un ajuste o una instalación. Los criterios de aceptación debieron provenir de la documentación técnica aplicable al PT6A-61A y al montaje específico del banco (Airlines for America, 2025).

La problemática se concentró en la ausencia de una trazabilidad completa entre la condición mecánica de los mandos, la respuesta del motor y los datos registrados durante cada ensayo. Aunque se observó instrumentación analógica y una interfaz digital de monitoreo, no se entregaron registros sincronizados que relacionaran posición de mando, tiempo de respuesta, ITT, Ng, Np, torque y flujo de combustible. Esta carencia limitó la posibilidad de afirmar mejoras cuantitativas de precisión o repetibilidad.

En consecuencia, la pregunta orientadora se formuló así: ¿qué requerimientos técnicos y metodológicos debían considerarse para apoyar el diseño del montaje de los mandos de operación del PT6A-61A en el banco AM37-T21, preservando la seguridad, la mantenibilidad y la posibilidad de validar posteriormente su desempeño con datos trazables?

El objetivo general consistió en apoyar el diseño del montaje de los mandos de operación del motor PT6A-61A para el banco AM37-T21. Los objetivos específicos fueron: caracterizar la condición técnica y operativa del sistema de mandos existente; identificar los requerimientos funcionales y documentales de los controles de potencia, hélice y condición; y estructurar una propuesta de montaje con criterios verificables de integración mecánica, seguridad, accesibilidad y adquisición de datos.

El trabajo se sustentó metodológicamente en investigación aplicada y análisis de evidencia. Hernández Sampieri y Mendoza Torres (2023) señalaron la necesidad de mantener correspondencia entre problema, objetivos, diseño, técnicas e interpretación. Para el componente documental se aplicó el análisis de documentos como fuente sistemática de evidencia, de acuerdo con Bowen (2009).

II. METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló como un estudio aplicado de desarrollo tecnológico, de alcance descriptivo-evaluativo y diseño no experimental. Se utilizó un predominio cualitativo apoyado por parámetros técnicos del motor y de la instrumentación. No se clasificó como experimental porque el material entregado no documentó una manipulación controlada de variables con comparación cuantitativa pre y posintervención.

La unidad de análisis estuvo constituida por el sistema de mandos de operación del PT6A-61A instalado en el banco AM37-T21. Se examinaron el cuadrante, los elementos de transmisión mecánica, las interfaces con los sistemas del motor, la instrumentación disponible y la arquitectura de monitoreo observada durante la pasantía.

Las fuentes de información estuvieron conformadas por observación técnica directa, fotografías del banco, matrices elaboradas por los estudiantes, literatura de diseño y control, documentación pública del PT6A y referencias de mantenimiento. Para cualquier reglaje definitivo se estableció como fuente primaria obligatoria el manual vigente del fabricante correspondiente al modelo, número de serie y configuración real del motor.

El análisis documental se aplicó mediante fichas de extracción que registraron documento, propósito, variable técnica, criterio de diseño, evidencia y limitación. Esta técnica permitió organizar información heterogénea sin convertir la revisión bibliográfica en evidencia de una prueba ejecutada (Bowen, 2009).

La evaluación metrológica se delimitó con base en el Vocabulario Internacional de Metrología. Se diferenció repetibilidad, precisión, exactitud, error e incertidumbre, y se estableció que una mejora cuantitativa solo podía sostenerse con mediciones repetidas, condiciones declaradas, instrumentos calibrados y estimación de incertidumbre (Joint Committee for Guides in Metrology [JCGM], 2008, 2012).

Tabla 1
Matriz de trazabilidad metodológica por objetivo

Objetivo	Técnica e instrumento	Producto de análisis
1. Caracterizar la condición inicial	Observación técnica estructurada / Lista de chequeo y matriz diagnóstica	Condición observada, evidencia y limitaciones
2. Identificar requerimientos	Análisis documental / Ficha de revisión y matriz de requisitos	Mandos, interfaces, variables y fuente técnica
3. Estructurar la propuesta	Análisis de diseño y trazabilidad / Matriz requisito–solución–evidencia	Criterios de montaje y validación pendiente

Nota. La matriz relacionó cada objetivo con una técnica y una evidencia concreta. No se incluyó una fase experimental porque no se aportó un conjunto de datos suficiente para efectuar una comparación pre y posintervención.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Objetivo 1. Caracterización de la condición técnica y operativa

3.1.1. Selección y diseño de instrumentos de recolección de información

Se seleccionó la observación técnica estructurada debido a que el primer objetivo buscó describir la configuración existente y reconocer condiciones que requirieran verificación posterior. La lista de chequeo incluyó cuadrante, transmisión mecánica, recorrido, holguras, fijaciones, acceso del operador, instrumentación y seguridad. Cada observación se vinculó con evidencia visible o con una necesidad de medición.

3.1.2. Aplicación de instrumentos

La aplicación se efectuó sobre el banco AM37-T21 durante actividades funcionales documentadas por los estudiantes. Las fotografías mostraron el accionamiento de las palancas y la lectura simultánea de instrumentos del panel. Se registró una respuesta mecánica percibida como no uniforme en la transmisión; sin embargo, no se aportaron mediciones de desplazamiento, fuerza de accionamiento, juego, retorno o tiempo de respuesta.

Figura 1
Accionamiento de los mandos e instrumentación durante la verificación funcional del banco AM37-T21



Nota. Fotografías aportadas por los autores durante la pasantía. La evidencia permitió documentar la operación del cuadrante y la lectura del panel, pero no sustituyó una medición cuantitativa de histéresis, recorrido o tiempo de respuesta.

La fase práctica comprendió un acumulado de **70 horas de operación** en el banco AM37-T21, destinadas principalmente a la validación de biocombustible procesado por Ecopetrol. A través de este protocolo experimental, se ajustaron los diferentes rangos operacionales de potencia para establecer las pruebas funcionales y caracterizar el comportamiento del motor PT6A-61A. Cada ajuste se logró manipulando la palanca de potencia para regular las revoluciones del generador de gas (Ng), mientras se monitoreaban simultáneamente los demás parámetros de control como el torque, las revoluciones de la hélice (Np), la temperatura operacional del motor (ITT), la presión y temperatura de aceite, y el flujo de combustible.

Durante este proceso operativo, se identificó una limitación crítica: **no se produjeron movimientos de aceleración dinámicos**, lográndose únicamente puntos de ajuste estáticos para la estabilización de potencia. Al intentar accionar el mando, se evidenció un fenómeno de **"Banda Muerta"** (*deadband*), definido como un desplazamiento libre o un movimiento del mando de potencia de **una pulgada y media (1.5 in)** y un desfase angular máximo de **8 grados hacia adelante** que no generaba ninguna reacción o respuesta en el motor.

Esta discrepancia desalineó por completo el procedimiento de reglaje ordenado por el manual de mantenimiento del avión PA-42-720 (ATA 76-10-00, Parte Número 761-523, con fecha de revisión del 15 de mayo de 2012), específicamente en el procedimiento del cable de control de la palanca de potencia (*Power Lever Control Cable*). Debido a estas holguras y recorridos no efectivos, el sistema no proporcionaba ni una condición de seguridad aceptable ni una lectura rápida en los transitorios, impidiendo ejecutar pruebas de aceleración y obligando a operar bajo un esquema de ajuste fijo puramente estático

Figura 2

Formato de prueba funcional del motor PT6A-61A.

CONDICION	TORQUE	RPM NP	ITT °C	RPM NG %	OIL PRESS PSI	OIL TEM °C	FUEL FLOW PPH
Starting			1000	56/58	200 MAX	40/140	120/160
Min Idle low			750	63	60 MIN	40/104	
Min Idle Hi			750	69/71	60 MIN	40/104	
Transient		1995		86	105/135	40/104	
Transient		1995		92	105/135	40/104	
Take off	1895	2000 max	820	100/104	105/135	40/104	
Max Continuos	1895	2000 max	775	96/98	105/135	40/104	
Reverse		1750	760		90/135	104	

Nota. Formato utilizado como referencia para el registro y verificación de parámetros durante las pruebas funcionales del motor.

3.1.3. Organización de los datos recolectados

Tabla 2

Matriz diagnóstica depurada del sistema de mandos

Elemento	Hallazgo y evidencia	Necesidad de cierre
Cuadrante de mandos	Palancas mecánicas instaladas y operables (Fotografía/observación)	Verificar identificación y recorrido permitido por mando
Transmisión mecánica	Respuesta cualitativamente no uniforme y holgura percibida (Observación)	Cuantificar juego, deadband y curva entrada-salida
Instrumentación	Panel analógico e interfaz digital visibles (Fotografía)	Confirmar variables, tasa de adquisición, almacenamiento y sincronización
Variables del motor	Se observaron indicadores asociados a parámetros operacionales (Panel del banco)	Aportar registros originales de ITT, Ng, Np, torque y flujo si fueron medidos
Reglaje y aceptación	Se describieron actividades de ajuste, pero sin límites trazables (Texto del manuscrito)	Identificar manual, tarea, revisión, límites y valores realmente aplicados

Nota. Se distinguió entre lo observado y lo que requería medición. La presencia de un efecto cualitativo no se interpretó como cuantificación de histéresis ni como demostración de una falla certificada.

3.1.4. Análisis de la información recolectada

El análisis mostró que el principal vacío no fue únicamente mecánico, sino de trazabilidad. La observación permitió justificar una intervención de diseño, pero no permitió determinar cuánto variaba la respuesta entre movimientos sucesivos ni qué fracción de esa variación provenía del cable, las articulaciones, el reglaje, el operador o el propio sistema de combustible.

En control y metrología, los conceptos de deadband, precisión y repetibilidad requieren definiciones y procedimientos de medición explícitos. Por ello, las expresiones “eliminó histéresis”, “mejoró la precisión” o “incrementó la repetibilidad” fueron retiradas como conclusiones demostradas. Se conservaron como hipótesis técnicas que debían verificarse en una fase posterior mediante datos repetidos y trazables (Ogata, 2010; JCGM, 2012).

3.2. Objetivo 2. Identificación de requerimientos funcionales y documentales

3.2.1. Selección y diseño de instrumentos de recolección de información

Se seleccionó el análisis documental para relacionar los mandos requeridos con sus interfaces funcionales, las variables de supervisión y la documentación que debía controlar el diseño. La ficha documental separó fuentes primarias del

fabricante, referencias regulatorias o formativas y literatura académica.

3.2.2. Aplicación de instrumentos

La revisión identificó tres grupos de accionamiento relevantes para el banco: potencia, hélice y condición. También se organizaron como variables de supervisión ITT, Ng, Np, torque y flujo de combustible, debido a su utilidad para interpretar la respuesta del motor durante los cambios de mando. La función y los límites exactos de cada mando quedaron condicionados a la configuración específica del PT6A-61A y a la documentación vigente del fabricante.

Se corrigió el tratamiento de ATA 76. El sistema ATA se utilizó como clasificación documental de controles de motor; no se consideró una norma autónoma de aceptación del reglaje. La aprobación de recorridos, ajustes, torques, fijaciones y seguridades debía quedar sustentada en la tarea de mantenimiento o instrucción del fabricante aplicable al motor del banco (Airlines for America, 2025; FAA, 2023).

3.2.3. Organización de los datos recolectados

Tabla 3

Requerimientos técnicos y documentales del sistema de mandos

Subsistema / función	Criterio de diseño	Fuente requerida
Mando de potencia: Interfaz con sistema de control de combustible	Recorrido continuo, topes, baja holgura, fijación y accesibilidad	Manual vigente del fabricante; registrar tarea y revisión
Mando de hélice: Interfaz con control/gobernador de hélice	Recorrido, sentido, topes, ausencia de interferencia y aseguramiento	Manual vigente del fabricante y documentación del montaje
Mando de condición: Selección de condición/corte según configuración	Identificación inequívoca, recorrido, bloqueo y seguridad	Manual vigente del fabricante y procedimiento del banco
Adquisición de datos: Lectura de variables del motor	Canales identificados, unidades, sincronización, almacenamiento	Arquitectura DAQ/SCADA, hojas de datos y calibración
Estructura y ergonomía: Soporte del cuadrante y acceso del operador	Rigidez, mantenibilidad, visibilidad y prevención de accionamiento involuntario	Memoria de diseño y verificación dimensional

Nota. La tabla no asignó valores de reglaje que no estuvieran disponibles en el expediente. Los límites definitivos debieron tomarse de la documentación técnica primaria aplicable.

3.2.4. Análisis de la información recolectada

El análisis evidenció que el diseño debía preservar una cadena de mando mecánica sin interferencias, con topes y recorridos verificables, y que la evaluación del resultado debía relacionar el movimiento del operador con la respuesta del motor. La literatura de diseño mecánico sustentó el control de holguras, rigidez, fijaciones y elementos flexibles, mientras que el handbook de la FAA reforzó la necesidad de complementar información general con instrucciones específicas del fabricante (Budynas & Nisbett, 2015; FAA, 2023).

También se identificó una debilidad bibliográfica del manuscrito original: se citaban de manera genérica FAA, EASA y “ATA 76” sin precisar documento, tarea o alcance. La versión ajustada priorizó fuentes verificables y dejó como requisito de cierre la identificación exacta del manual Pratt & Whitney Canada, número de publicación, revisión y fecha realmente consultados.

3.3. Objetivo 3. Estructuración de la propuesta de montaje y validación posterior

3.3.1. Selección y diseño de instrumentos de recolección de información

Para el tercer objetivo se utilizó una matriz de trazabilidad requisito–solución–evidencia. El instrumento se diseñó para impedir que una característica propuesta se presentara como resultado validado sin una prueba asociada. Se consideraron integración mecánica, ergonomía, seguridad,

instrumentación, mantenibilidad y verificación funcional.

3.3.2. Aplicación de instrumentos

La propuesta organizó el cuadrante de mandos, la transmisión mecánica y la interacción con la instrumentación del banco. Se observó una interfaz digital capaz de visualizar variables; no obstante, el expediente no incluyó archivos de registro, configuración de canales, frecuencia de muestreo ni evidencia de sincronización entre posición de mando y parámetros del motor. En consecuencia, la interfaz se trató como evidencia de capacidad de monitoreo y no como demostración de una cadena DAQ completamente validada.

Figura 3

Interfaz de monitoreo observada en el banco de pruebas AM37-T21



Nota. Fotografía aportada por los autores. Para sustentar una adquisición de datos validada debieron documentarse canales, unidades, resolución, frecuencia de muestreo, almacenamiento, calibración y correspondencia temporal con las acciones sobre los mandos.

3.3.3. Organización de los datos recolectados

Tabla 4

Trazabilidad entre requerimiento, propuesta y evidencia

Solución planteada	Evidencia	Verificación pendiente
Alineación, ajuste y soporte del sistema de transmisión	Propuesta/ observación	Medición de juego y curva entrada-salida pendiente
Ubicación ergonómica del cuadrante y rotulado	Propuesta de diseño	Evaluación con operador y verificación dimensional pendiente
Procedimiento de inspección y reglaje	Descripción técnica	Debe vincularse a tarea y límites del manual real
Integración con monitoreo digital	Interfaz visible	Logs sincronizados y arquitectura DAQ pendientes
Fijaciones, aseguramientos y criterios de aborto	Requisitos de diseño	Lista de verificación y prueba funcional documentada pendientes

Nota. La trazabilidad evitó confundir diseño con validación. Se mantuvieron como pendientes todas las verificaciones que requerían medición o documentación primaria no aportada.

3.3.4. Análisis de la información recolectada

La propuesta resultó técnicamente coherente como base de rediseño porque relacionó la condición observada con requisitos verificables. Sin embargo, no fue posible establecer un porcentaje de mejora ni demostrar estadísticamente mayor repetibilidad. Las fotografías y descripciones respaldaron la existencia del montaje y de una interfaz de monitoreo, pero no sustituyeron una campaña de ensayos.

Para una validación cuantitativa se requirió definir previamente el mensurando, el instrumento, la incertidumbre y la condición de repetibilidad. El JCGM estableció que la repetibilidad se refiere a precisión bajo un conjunto específico de condiciones, por lo que debía medirse mediante observaciones repetidas y no mediante apreciación visual. De igual manera, la incertidumbre debía acompañar los resultados cuando se pretendiera comparar desempeño (JCGM, 2008, 2012).

Tabla 5

Protocolo mínimo recomendado para la validación cuantitativa posterior

Variable	Medio de medición	Tratamiento mínimo
Posición de entrada/salida	Sensor de desplazamiento o escala calibrada	Ciclos repetidos; error, retorno, deadband/histéresis
Acción del mando vs. respuesta registrada	DAQ sincronizado	Marcas temporales y repetición por condición
ITT, Ng, Np, torque, flujo	Canales calibrados del banco	Promedio, dispersión y comparación en condición equivalente
Variables seleccionadas en pruebas sucesivas	Mismo procedimiento e instrumentación	Desviación estándar/CV cuando proceda y condición declarada
Topes, fijaciones, bloqueo, emergencia	Lista de chequeo y prueba funcional	Criterios de aceptación provenientes del manual aplicable

Nota. El protocolo se formuló como recomendación metodológica; no se presentaron estos resultados como ejecutados. La selección final de instrumentos debía considerar rango, resolución, calibración e incertidumbre.

3.4. DISCUSIÓN

El ajuste metodológico modificó la interpretación central del trabajo. El manuscrito original describía un diseño “descriptivo-experimental” y afirmaba que la propuesta había incrementado precisión, estabilidad y repetibilidad. Dado que no se presentaron datos cuantitativos comparables, esas afirmaciones se reformularon como beneficios esperados que requerían validación.

La integración de los datos del protocolo de pruebas y las 70 horas de operación con biocombustible de Ecopetrol permitió constatar que el uso de un "ajuste fijo" fue una medida paliativa ante una deficiencia mecánica severa. La imposibilidad de efectuar pruebas de aceleración —causada directamente por la banda muerta de 1.5 pulgadas y el desfase de 8 grados en la palanca— demuestra que el montaje actual vulnera las directrices del fabricante.

Mientras que los parámetros estacionarios (como ITT, Ng, Np y Torque en condiciones de ralentí o máxima continuidad) pudieron registrarse mediante puntos estáticos de ajuste, la respuesta dinámica del motor quedó comprometida. Esto confirma que la referencia al manual de mantenimiento del PA-42-720, bajo la norma ATA 76-10-00 (Parte Número 761-523 del 15 de mayo de 2012), no es un mero requisito formal, sino el estándar técnico imperativo que el rediseño propuesto debe resolver para garantizar la linealidad, la seguridad y la correcta transmisión de los mandos en futuras campañas de pruebas.

Desde la perspectiva del control, una transmisión mecánica puede presentar juego, fricción, deadband y efectos de retorno que alteran la correspondencia entre entrada y salida. No obstante, la atribución específica de histéresis al sistema observado exigía una curva de carga y descarga o, al menos, ciclos medidos de posición. Por ello, el estudio distinguió entre indicio técnico y resultado cuantificado (Ogata, 2010).

La integración digital también se abordó con cautela. Los sistemas ciberfísicos y la adquisición de datos favorecieron la trazabilidad y el análisis cuando existió una arquitectura documentada y datos almacenados; una pantalla por sí sola no demostró calidad metrológica ni sincronización. La digitalización debió apoyarse en identificación de sensores, escalamiento, frecuencia de muestreo, alarmas, registro histórico y control de versiones (Lee et al., (2015).

En términos de mantenimiento aeronáutico, el trabajo evidenció que la clasificación ATA facilitó la organización del sistema, pero no reemplazó las instrucciones del fabricante. Esta distinción fue crítica para evitar que una referencia de capítulo se utilizara como criterio de aceptación de reglajes, torques o recorridos que dependían de la configuración real del PT6A-61A.

3.5. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

La principal limitación estuvo asociada a la ausencia de una base de datos pre y posintervención. No se

aportaron series temporales de ITT, Ng, Np, torque, flujo de combustible, posición de mando o tiempo de respuesta que permitieran calcular dispersión, error, histéresis o repetibilidad.

Tampoco se incorporaron certificados de calibración, incertidumbre de los canales, resolución de sensores, frecuencia de muestreo o arquitectura completa del sistema DAQ/SCADA. Por esta razón, no se formuló una conclusión metrológica sobre mejora de precisión.

La documentación técnica primaria del motor no quedó identificada con suficiente trazabilidad. Se mencionaron manuales y ATA 76-10-00, pero faltaron número exacto de publicación, revisión, fecha, tarea y aplicabilidad. La versión final dejó este aspecto como requerimiento obligatorio para la entrega definitiva.

La evidencia disponible permitió sustentar una propuesta de diseño y una verificación funcional cualitativa, pero no una certificación, aprobación de aeronavegabilidad ni validación operacional completa del banco.

IV. CONCLUSIONES

La caracterización del sistema permitió documentar un cuadrante de accionamiento mecánico, una transmisión por cable y una instrumentación de banco utilizada durante verificaciones funcionales. Se identificaron indicios cualitativos de holgura y respuesta no uniforme; sin embargo, la información disponible no permitió cuantificar histéresis, error o repetibilidad.

La revisión técnica permitió organizar los mandos de potencia, hélice y condición y relacionarlos con las variables de supervisión ITT, Ng, Np, torque y flujo de combustible. Se estableció que ATA 76 funcionó como sistema de clasificación documental y que los límites de reglaje y aceptación debían provenir del manual vigente del fabricante aplicable a la configuración real del PT6A-61A.

La propuesta de montaje integró criterios de alineación, recorrido, fijación, accesibilidad, seguridad, mantenibilidad y monitoreo. Esta propuesta constituyó una base de ingeniería para una fase posterior, pero la evidencia aportada no permitió afirmar que hubiera eliminado holguras ni mejorado cuantitativamente la precisión o la estabilidad del motor.

La interfaz digital observada evidenció capacidad de visualización de parámetros, aunque no se demostró una cadena completa de adquisición metrológicamente caracterizada. Se estableció como requisito posterior documentar sensores, canales, calibración, frecuencia de muestreo, almacenamiento y sincronización con las acciones sobre los mandos.

Se recomendó completar la validación mediante ensayos repetidos, un protocolo predefinido y criterios de aceptación trazables. Esta fase debía incluir datos originales, tratamiento estadístico, estimación de incertidumbre y evidencia del reglaje conforme a la documentación técnica primaria del motor.

V. REFERENCIAS

Airlines for America. (2025). iSpec 2200: Information standards for aviation maintenance (Rev. 2025.1). A4A Publications.

Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. Qualitative Research Journal, 9(2), 27–40. https://doi.org/10.3316/QRJ0902027

Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). Shigley’s mechanical engineering design (10th ed.). McGraw-Hill Education.

Doebelin, E. O., & Manik, D. N. (2011). Measurement systems: Application and design (6th ed.). McGraw-Hill.

Federal Aviation Administration. (2007). Type Certificate Data Sheet E4EA, Revision 24: Pratt & Whitney Canada PT6 series engines. U.S. Department of Transportation.

Federal Aviation Administration. (2023). Aviation Maintenance Technician Handbook—Powerplant (FAA-H-8083-32B). U.S. Department of Transportation.

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2023). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (2.ª ed.). McGraw Hill.

Joint Committee for Guides in Metrology. (2008). Evaluation of measurement data—Guide to the expression of uncertainty in measurement (JCGM 100:2008). BIPM.

Joint Committee for Guides in Metrology. (2012). International vocabulary of metrology—Basic

and general concepts and associated terms (VIM) (3rd ed., JCGM 200:2012). BIPM.

Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters, 3, 18–23. https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001

Ogata, K. (2010). Modern control engineering (5th ed.). Prentice Hall.

Pratt & Whitney. (s. f.). PT6A engine. https://www.prattwhitney.com/products/general-aviation-engines/pt6a

Apoyo para la implementación de un mezclador estático de combustibles en el banco de pruebas AM37-T21

Ds. Beltran, Kevin
Ds. Brochel, Juan
Ds. Hernández, Kevin
Escuela de Suboficiales CT. Andrés M. Díaz

***Resumen*—** El artículo presenta las actividades realizadas durante una pasantía de apoyo a la implementación del mezclador estático del banco AM37-T21. El equipo está ubicado en el Comando Aéreo de Mantenimiento y se encuentra bajo la responsabilidad de la Escuela de Suboficiales CT. Andrés M. Díaz. La intervención se concentró en tres necesidades del montaje: revisar la estructura, organizar el cableado y mejorar la disposición de los instrumentos.

El estudio correspondió a una investigación aplicada de desarrollo tecnológico, con alcance descriptivo y diseño no experimental. Para reconstruir el proceso se revisó el proyecto previo de la Universidad ECCI, se observó el banco y se ordenó la información mediante matrices de diagnóstico, seguimiento y revisión. Cada objetivo se abordó a partir del instrumento utilizado, su aplicación, los datos organizados y el análisis de los hallazgos.

La inspección encontró una distribución desequilibrada del peso, bombas sin aislamiento frente a vibraciones, empalmes manuales protegidos con cinta, mangueras de difícil manejo e instrumentos sin etiquetas visibles de calibración. Como apoyo se elaboró una propuesta gráfica para ubicar dos bombas sobre una placa, con separaciones sugeridas de 10 cm y una holgura inferior de 15 cm; además, se reorganizaron los instrumentos. El banco no se probó con combustible. Según el antecedente de la Universidad ECCI, fue concebido para trabajar con Jet A-1 y biodiésel, un producto derivado de biomasa; estos se mencionan únicamente como parte de su finalidad original. El aporte se limita al diagnóstico, la organización física y la formulación de criterios sujetos a comprobación.

***Índice de Términos*—** banco AM37-T21, mezclador estático, apoyo a la implementación, Jet A-1, combustible derivado de biomasa, montaje, cableado, instrumentación.

I. INTRODUCCIÓN

El banco AM37-T21 reúne una estructura de soporte, líneas de conducción, componentes eléctricos, válvulas e instrumentos de lectura. La relación entre estos elementos determina qué tan fácil resulta reconocer el recorrido del sistema, revisar sus conexiones y acceder a los puntos de operación. Por esa razón, su implementación no depende solamente de instalar el mezclador.

Durante la pasantía se identificó la necesidad de ordenar el montaje desde un punto de vista práctico. Además de revisar soportes, cables e instrumentos, se elaboró una propuesta gráfica para definir la ubicación de dos bombas dentro del bastidor y su relación con el mezclador. El esquema permitió representar el conjunto mediante vistas frontal y lateral.

Un mezclador estático incorpora elementos fijos dentro de un conducto. Su principio de funcionamiento ha sido estudiado en diferentes aplicaciones industriales (Ghanem et al., 2014; Thakur et al., 2003). En este artículo, esa información se utiliza únicamente para reconocer el tipo de equipo intervenido y contextualizar las actividades de apoyo a su implementación.

El punto de partida fue un trabajo de grado elaborado en la Universidad ECCI (Arizala Triana, 2023). Este documento describe el ensamble anterior

del banco y presenta sus componentes principales. La pasantía se desarrolló sobre ese antecedente: el equipo se encuentra en el Comando Aéreo de Mantenimiento (CAMAN) y su responsabilidad corresponde a la Escuela de Suboficiales CT. Andrés M. Díaz (ESUFA).

De acuerdo con el antecedente de la Universidad ECCI, el banco fue concebido para trabajar con Jet A-1 y biodiésel, un combustible líquido derivado de biomasa (Arizala Triana, 2023). Durante la pasantía no se utilizaron combustibles ni se realizaron pruebas de operación con estos productos. Por ello, se mencionan únicamente para explicar la finalidad original del banco y no como parte de los resultados obtenidos.

La pregunta que orientó el trabajo fue: ¿cómo contribuyeron las actividades de la pasantía a la implementación del mezclador estático del banco AM37-T21? El objetivo general consistió en apoyar y documentar la adecuación de la estructura, la propuesta de ubicación de las bombas, el ordenamiento del cableado y la disposición de los instrumentos.

Se plantearon tres objetivos específicos: identificar la condición inicial del montaje; describir las adecuaciones y la propuesta de distribución de sus componentes estructurales, eléctricos e instrumentales; y revisar de forma preliminar la organización e integración general del montaje.

II. METODOLOGÍA

La investigación fue aplicada, de desarrollo tecnológico y alcance descriptivo, con diseño no experimental y revisión técnica preliminar. Esta clasificación corresponde a una pasantía en la que se documentó una intervención técnica y se revisaron aspectos observables del montaje, sin manipular variables ni establecer relaciones causales (Hernández Sampieri & Mendoza Torres, 2023).

La unidad de análisis fue el montaje del mezclador estático asociado al banco AM37-T21 en CAMAN, bajo la responsabilidad de la ESUFA. Se consultó el trabajo de grado de la Universidad ECCI, se realizó observación directa del equipo y se revisó el material gráfico aportado por los autores. La revisión documental permitió diferenciar la información del proyecto antecedente de las actividades desarrolladas en la pasantía (Bowen, 2009).

Se emplearon tres instrumentos de registro. El primero fue una matriz de diagnóstico para revisar la distribución del peso, el apoyo de las bombas, el recorrido del cableado, el estado de las mangueras y la identificación de los instrumentos. El segundo fue una matriz de seguimiento que relacionó cada componente con la actividad desarrollada y su soporte, incluido el esquema estructural elaborado por los autores. El tercero fue una lista de revisión del montaje parcial. Los aspectos sin respaldo suficiente quedaron pendientes de comprobación.

Tabla 1

Relación entre objetivos, instrumentos y resultados esperados

Objetivo	Instrumento	Resultado esperado
1. Identificar el estado inicial	Matriz de diagnóstico y observación	Descripción de estructura, conductores, conexiones e instrumentos.
2. Describir adecuaciones y propuesta	Matriz de seguimiento de actividades	Relación entre componente, tarea, esquema estructural y soporte.
3. Revisar la integración general del montaje	Lista de comprobación preliminar	Observación del montaje, accesos, instrumentos y disposición de los componentes.

Nota. Cada instrumento se vinculó con un objetivo y con el tipo de información que permitía registrar.

El procedimiento comenzó con la lectura del antecedente ECCI y la observación del banco junto con el técnico jefe de la reserva activa Nelson Jiménez. Después se revisaron la distribución de las bombas, el balance visible de la estructura, los empalmes y el recorrido del cableado, el ensamble de las mangueras y las etiquetas de los instrumentos. Con estos hallazgos se elaboró la propuesta de distribución, se organizaron los instrumentos y se registraron las correcciones que aún estaban pendientes. Por último, se revisó el estado general alcanzado por el montaje.

La información se comparó siguiendo una secuencia sencilla: condición encontrada, actividad realizada y resultado visible. Las lecturas de los instrumentos no se presentaron como mediciones confiables cuando no se contaba con certificados de calibración, fichas técnicas o registros originales. Tampoco se asignaron valores numéricos que no hubieran sido obtenidos durante la pasantía.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Objetivo 1. Diagnóstico de las condiciones iniciales del sistema.

En esta etapa se revisó cómo estaba acomodado el banco AM37-T21 antes de realizar las actividades de apoyo. Esta inspección se llevó a cabo junto con el técnico jefe de la reserva activa Nelson Jiménez, quien acompañó el reconocimiento de la estructura, el espacio disponible para las bombas, el recorrido del cableado, los instrumentos y las conexiones visibles. También se consultó el trabajo previo de la Universidad ECCI para identificar los componentes del sistema. A partir de esta revisión se reconocieron los elementos que necesitaban organización y se definieron las actividades de apoyo para el montaje.

3.1.1. Selección y diseño de instrumentos de recolección de información

La matriz de diagnóstico reunió cuatro componentes del banco: estructura, sistema eléctrico, instrumentación y conexiones generales. Su diseño tomó como referencia los elementos descritos en el proyecto antecedente (Arizala Triana, 2023, pp. 35-39). Para cada componente se registró lo observado y la necesidad de apoyo identificada.

3.1.2. Aplicación de instrumentos

La inspección comenzó por el balance del bastidor y el espacio ocupado por las bombas. Se observó que las dos estaban concentradas en la zona inferior, apoyadas directamente sobre la base y sin elementos de aislamiento frente a vibraciones. Esta distribución hacía menos estable el traslado del equipo y debía corregirse antes de una futura operación. En el cableado de los motores se encontraron empalmes manuales cubiertos únicamente con cinta aislante y un recorrido que requería una sujeción más segura. En la parte hidráulica, la disposición general se consideró adecuada mediante inspección visual; sin embargo, las mangueras eran gruesas, de difícil manejo y tenían un recorrido poco práctico hacia los recipientes. Los instrumentos se encontraron en buen estado físico, pero no portaban etiquetas visibles de calibración.

3.1.3. Organización de los datos recolectados

Tabla 2

Condiciones identificadas al revisar el montaje

Componente	Condición encontrada	Forma de revisión
Estructura y soportes	Peso concentrado en la zona inferior; bombas apoyadas sobre la base y sin aislamiento frente a vibraciones.	Inspección visual de la distribución del peso y del apoyo de las bombas.
Cableado	Recorrido poco seguro y empalmes manuales cubiertos únicamente con cinta aislante.	Revisión visual del recorrido, los empalmes y la protección existente.
Instrumentos	Buen estado físico, pero sin etiquetas visibles que permitieran verificar la calibración.	Inspección del estado, la identificación y las etiquetas de los equipos.
Líneas y conexiones	Mangueras gruesas, de difícil manejo y con un recorrido poco práctico hacia los recipientes.	Inspección visual del ensamble y del recorrido hidráulico.

Nota. Las observaciones describen el estado del conjunto; no corresponden a una certificación técnica.

3.1.4. Análisis de la información recolectada

La revisión mostró que las novedades estaban relacionadas entre sí. La concentración del peso en la parte inferior justificó replantear la ubicación y el apoyo de las bombas; los empalmes y el recorrido del cableado exigían correcciones de seguridad; y las mangueras necesitaban una ruta que facilitara su conexión con los recipientes. Aunque los instrumentos presentaban buen estado físico, su trazabilidad metrológica no pudo verificarse. Estos hallazgos orientaron las actividades de apoyo, pero no corresponden a resultados de funcionamiento del banco.

3.2. Objetivo 2. Adecuaciones e integración técnica del sistema

En esta etapa se organizaron los instrumentos visibles y se desarrolló una propuesta para distribuir mejor el peso de las bombas dentro del banco AM37-T21. El cableado y las mangueras se inspeccionaron para dejar identificadas las correcciones pendientes, sin presentarlas como reparaciones terminadas. Las actividades quedaron respaldadas mediante el esquema estructural, las matrices de seguimiento y el registro fotográfico de la pasantía.

3.2.1. Selección y diseño de instrumentos de recolección de información

Para el segundo objetivo se preparó una matriz que permitió relacionar el hallazgo inicial con la actividad realizada y el componente intervenido. Los criterios fueron ajuste, orden, protección y

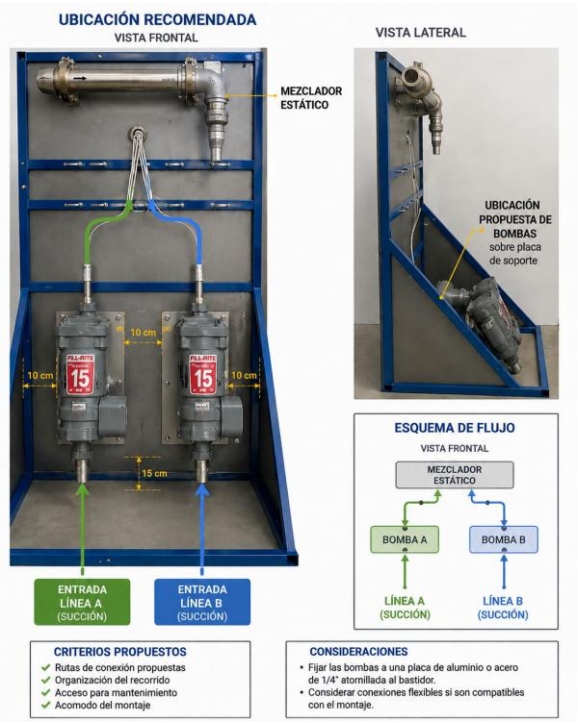
accesibilidad. El proyecto de la ECCI sirvió como apoyo para reconocer la caja eléctrica, los conductores, las líneas y los instrumentos (Arizala Triana, 2023, pp. 38-39).

3.2.2. Aplicación de instrumentos

Como aporte estructural se elaboró un esquema de ubicación con vistas frontal y lateral. La propuesta sitúa dos bombas en la parte inferior del bastidor, debajo del mezclador estático, sobre una placa de soporte. El dibujo establece como referencia 10 cm entre los equipos y sus espacios laterales, además de 15 cm hasta la zona inferior. Las trayectorias A y B representan entradas de succión del esquema; no identifican dos combustibles realmente utilizados.

Figura 1

Propuesta de distribución estructural, ubicación de bombas y recorrido del sistema



Nota. *Esquema elaborado por los autores como apoyo a la organización estructural del banco. Las líneas A y B representan recorridos de succión; las separaciones señaladas son criterios propuestos y no corresponden a mediciones validadas ni a resultados experimentales.*

Durante la pasantía se limpiaron y acomodaron los instrumentos para facilitar su identificación y lectura. También se revisaron el recorrido del cableado, los empalmes visibles y la disposición de las mangueras. Esta revisión permitió registrar las correcciones que todavía requerían intervención técnica. No se realizó circulación de combustible, prueba hidráulica, calibración ni medición de estabilidad o vibraciones.

Figura 2

Acomodo y revisión de instrumentos durante la intervención del banco



Nota. *Archivo fotográfico de los autores, 14 de abril de 2026. Actividad realizada con la supervisión del técnico jefe de la reserva activa Nelson Jiménez.*

El 9 de abril de 2026, en CAMAN, se organizaron los flujómetros y demás instrumentos a diferentes alturas para facilitar la lectura y buscar una distribución más equilibrada del peso sobre el soporte. Esta fue una estructuración parcial, pues aún faltaban mangueras y conexiones.

Figura 3

Estructuración parcial y organización de los flujómetros



Nota. *Archivo fotográfico de los autores, CAMAN, 9 de abril de 2026. La imagen muestra una estructuración parcial del banco; todavía faltaban mangueras y conexiones y no se realizó una prueba de funcionamiento.*

3.2.3. Organización de los datos recolectados

Tabla 3

Actividades realizadas sobre los componentes del banco

Componente	Actividad realizada	Respaldo correspondiente
Estructura	Elaboración de vistas frontal y lateral para ubicar dos bombas sobre una placa.	Esquema propio con separaciones sugeridas de 10 cm y 15 cm.
Cableado	Revisión del recorrido, los empalmes y la protección visible; identificación de correcciones pendientes.	Matriz de seguimiento e inspección visual del cableado.
Instrumentos	Limpieza, acomodo y organización de los flujómetros y demás instrumentos.	Fotografías del proceso y de la estructuración parcial del banco.
Conexiones generales	Revisión del ensamble, el grosor y el recorrido de las mangueras hacia los recipientes.	Registro visual e identificación de ajustes pendientes.

***Nota**. La tabla diferencia las actividades realizadas de las correcciones que todavía estaban pendientes al finalizar la intervención.*

3.2.4. Análisis de la información recolectada

La propuesta responde a la concentración de peso observada en la zona inferior del equipo. Plantea ubicar las dos bombas sobre una placa de aluminio o acero de 1/4 de pulgada, atornillada al bastidor, con 10 cm de separación entre bombas y hacia los costados, además de 15 cm de holgura inferior. Su propósito es ordenar la carga y facilitar el acceso a las conexiones. La reducción de vibraciones no fue medida, y la corrección del cableado y del recorrido de las mangueras quedó pendiente de ejecución y comprobación.

3.3. Objetivo 3. Revisión preliminar del montaje

Para cumplir este objetivo se revisó el estado alcanzado por el banco AM37-T21 después de las actividades de apoyo. Se observaron la organización de los instrumentos, la distribución propuesta de las bombas y las condiciones pendientes del cableado y de las mangueras. Como todavía faltaban conexiones y el banco no había sido utilizado con combustible, esta etapa correspondió a una revisión visual de un montaje parcial y no a una verificación funcional.

3.3.1. Selección y diseño de instrumentos de recolección de información

La lista de revisión incluyó la distribución visible de los soportes, el estado de los empalmes, el recorrido de las mangueras, el acceso a las válvulas y la presencia de etiquetas en los instrumentos. El antecedente ECCI describe un manómetro y un medidor digital identificado como PRO-K24 o K24-A (Arizala Triana, 2023, pp. 47, 54). La identificación exacta del equipo instalado debe comprobarse directamente en su placa o ficha.

3.3.2. Aplicación de instrumentos

La revisión general del banco se realizó sin utilizar combustible. Se confirmó una mejor organización visual de los instrumentos y se relacionaron los demás componentes con la propuesta estructural. Sin embargo, aún faltaban mangueras y conexiones, y continuaban pendientes las correcciones del cableado, el aislamiento de las bombas y la verificación de la calibración. El esquema se utilizó para explicar una alternativa de ubicación, no para demostrar que todas sus dimensiones hubieran sido ejecutadas.

3.3.3. Organización de los datos recolectados

Tabla 4

Aspectos revisados en el montaje general

Aspecto	Condición revisada	Alcance del resultado
Soportes	Distribución del peso, apoyo de las bombas, placa de soporte y separaciones propuestas.	Criterios gráficos; el aislamiento y la estabilidad requieren implementación y prueba.
Conductores	Recorrido, empalmes manuales y protección visible del cableado.	Revisión física; las correcciones quedaron pendientes y no constituyen certificación eléctrica.
Accesos	Ubicación de líneas, mangueras, válvulas y conexiones.	Reconocimiento visual; el recorrido de las mangueras requiere ajuste.
Instrumentos	Estado físico, acomodo, acceso y presencia de etiquetas de calibración.	Buen estado visible, pero sin trazabilidad metrológica comprobada.
Montaje general	Disposición parcial del banco, todavía sin algunas mangueras y conexiones.	Revisión visual; no corresponde a una prueba de operación.
Seguimiento	Relación entre observación, tarea y soporte.	Descripción organizada de las actividades de la pasantía.

***Nota.** Los resultados corresponden a observación directa y no reemplazan las verificaciones especializadas que deba realizar la dependencia responsable.*

3.3.4. Análisis de la información recolectada

El ejercicio permitió diferenciar lo que quedó organizado de lo que aún requería intervención. Se contó con una propuesta para redistribuir las bombas y con un mejor acomodo de los instrumentos, mientras que el aislamiento de las bombas, los empalmes eléctricos, el recorrido de las mangueras y la trazabilidad de los instrumentos permanecieron pendientes. Sin comprobación del montaje completo, no es posible afirmar que las recomendaciones hayan mejorado el funcionamiento o la seguridad operacional del sistema.

3.4. Discusión

El aporte propio de la pasantía se reconoce en el diagnóstico del montaje, el esquema de distribución de las bombas y las fotografías del acomodo de los instrumentos. La revisión permitió identificar una concentración de peso en la zona inferior, ausencia de aislamiento en las bombas, empalmes manuales en el cableado, mangueras de difícil manejo y falta de etiquetas visibles de calibración. Estos hallazgos muestran que el apoyo a la implementación no consistió en probar el proceso de mezcla, sino en organizar el conjunto y dejar definidos los puntos que debían corregirse antes de una futura puesta en servicio.

El trabajo de la Universidad ECCI documentó el ensamble inicial, los elementos estructurales, el sistema eléctrico y varios instrumentos (Arizala Triana, 2023). La pasantía retomó ese antecedente para revisar el montaje existente en CAMAN. La literatura sobre mezcladores estáticos aporta contexto técnico, pero no reemplaza los resultados que deberían obtenerse mediante pruebas específicas (Ghanem et al., 2014).

El antecedente ECCI proyectó el banco para trabajar con Jet A-1 y biodiésel, un combustible derivado de biomasa (Arizala Triana, 2023). Sin embargo, durante la pasantía el banco no fue utilizado con combustible. Por esta razón, estos productos se mencionan únicamente como parte del propósito original del diseño y no como elementos evaluados durante la intervención. Las letras A y B se conservaron como identificación de las rutas de succión representadas en el esquema.

En la revisión del cableado se consideraron criterios generales de organización y protección. La circular AC 25.1701-1 se consultó como referente sobre sistemas de interconexión eléctrica (Federal Aviation Administration, 2007). Su aplicación corresponde a aeronaves de categoría transporte; por lo tanto, no certifica el banco ni sustituye las disposiciones internas que resulten aplicables.

3.5. Limitaciones del estudio

El artículo no reúne planos eléctricos o hidráulicos finales, fichas completas de los equipos, certificados de calibración ni actas de aceptación. Tampoco incluye pruebas de estabilidad durante la operación, mediciones de vibración, continuidad o aislamiento eléctrico, pruebas de presión o estanqueidad, ni series de caudal, presión o temperatura. Por esta razón, los hallazgos sobre estructura, cableado, mangueras e instrumentos se limitan a la inspección visual y al acompañamiento técnico realizado durante la pasantía.

La fuente base corresponde al trabajo de Grace Arizala Triana, presentado en 2023 ante la Universidad ECCI, en el programa de Tecnología en Mecánica Automotriz y la Dirección de Ingeniería Mecánica. El lugar de ejecución y la dependencia responsable fueron precisados por los autores: CAMAN y Escuela de Suboficiales CT. Andrés M. Díaz, respectivamente.

IV. CONCLUSIONES

La inspección inicial permitió identificar cuatro novedades principales: una distribución poco equilibrada del peso, bombas sin aislamiento frente a vibraciones, empalmes y recorrido del cableado que requerían corrección, y mangueras de difícil manejo. Los instrumentos presentaban buen estado físico, pero su trazabilidad metrológica no pudo comprobarse por falta de etiquetas visibles de calibración. Este diagnóstico orientó las actividades de apoyo y las recomendaciones para continuar la implementación del banco AM37-T21.

Como resultado propio se elaboró un esquema frontal y lateral que propone ubicar dos bombas sobre una placa de soporte, con separaciones de referencia de 10 cm y una holgura inferior de 15 cm. La propuesta también se respaldó con fotografías de la limpieza y la organización de los flujómetros. Esta actividad correspondió a una estructuración parcial, pues aún faltaban mangueras y conexiones.

La revisión preliminar confirmó la organización de los instrumentos y permitió reconocer las tareas que aún estaban pendientes. Como faltaban mangueras y conexiones, no se consideró que el montaje estuviera terminado. Tampoco se utilizaron combustibles ni se realizaron pruebas de funcionamiento. El Jet A-1 y el combustible derivado de biomasa se mencionan únicamente como parte del antecedente y de la finalidad original del banco.

El trabajo ECCI constituye el antecedente del banco. Los autores aportaron después la propuesta estructural y el apoyo al montaje del equipo ubicado

en CAMAN, bajo la responsabilidad de la Escuela de Suboficiales CT. Andrés M. Díaz.

Recomendaciones para cierre técnico

Para continuar con el cierre técnico se recomienda comprobar la distribución del peso y definir una fijación para las bombas que incluya elementos adecuados de aislamiento frente a vibraciones. También se deben corregir los empalmes manuales, asegurar el recorrido del cableado y utilizar medios de conexión y protección apropiados para los motores. En el sistema hidráulico conviene revisar el diámetro, la flexibilidad, el ensamble y la ruta de las mangueras para facilitar su manejo hacia los recipientes. Antes de utilizar los instrumentos, se deben identificar sus modelos y números de serie y verificar sus certificados o etiquetas de calibración. Una vez instaladas las mangueras y conexiones faltantes, el personal responsable deberá realizar las verificaciones eléctricas, de estanqueidad y de funcionamiento previstas por la dependencia, antes de cualquier prueba con los combustibles contemplados para el banco.

V. REFERENCIAS

VI. Referencias

Arizala Triana, G. (2023). *Ensamble de un banco de mezclado estático de combustibles Jet A-1 y biodiesel para su uso en turbinas de aviación.* Universidad ECCI. Bogotá D. C.: Universidad ECCI, Dirección de Ingeniería Mecánica.

Bowen, G. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal, 9*(2), 27-40. Obtenido de https://doi.org/10.3316/QRJ0902027

Federal Aviation Administration. (2007). *AC 25.1701-1: Certification of electrical wiring interconnection systems on transport category airplanes.* U.S. Department of Transportation. Obtenido de https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentid/73476

Ghanem, A., Lemenand, T., Della Valle, D., & Peerhossaini, H. (2014). Static mixers: Mechanisms, applications, and characterization methods-A review. *Chemical Engineering Research and Design, 92*(2), 205-228. Obtenido de https://doi.org/10.1016/j.cherd.2013.07.013

Hernández Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. (2023). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (2 ed.). McGraw Hill.

Thakur, R., Vial, C., Nigam, K., Nauman, E., & Djelveh, G. (2003). Static mixers in the process industries-A review. *Chemical Engineering Research and Design, 81*(7), 787-826. Obtenido de https://doi.org/10.1205/026387603322302968

PRODUCTO 2.

Informe avance que detalle, el proceso de los proyectos de investigación de las pasantías en el semillero

INFORME DE ACTIVIDADES – MES DE AGOSTO

Semillero de Investigación «INNOVATE»

Pasantía Tecnologías de Mantenimiento

Periodo: agosto 2026

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe detalla las actividades desarrolladas durante el mes de agosto en el marco del semillero de investigación «INNOVATE», correspondientes a la pasantía en Tecnologías de Mantenimiento. En este periodo se avanzó en el 25% del proceso final de los seis proyectos de investigación programados, abarcando inspecciones eléctricas, adecuación de instalaciones, capacitación en seguridad, ejecución de pruebas funcionales y avances en diseño, selección de componentes y estudios técnicos para los distintos proyectos vinculados al Banco de Pruebas de Biocombustibles y al motor PT6A-61A.

2. ACTIVIDADES PRINCIPALES REALIZADAS

2.1 Adecuación e inspección de cableado e instalaciones eléctricas

En el marco del proyecto «Apoyo a la adecuación del sistema de cableado e instalaciones eléctricas del Banco de Pruebas de Biocombustible AM37T-21 mediante criterios EWIS», se efectuaron las inspecciones finales de:

Cableado de los sistemas eléctricos de entrada de potencia al banco de pruebas.

Sistemas de alimentación para los distintos sistemas de transmisión del motor PT6A-61A.

Instrumentación analógica de cabina de control.

Arneses del sistema SCADA correspondiente a la medición de presiones (aceite, combustible, par y presión neumática P3).

2.2 Capacitación en seguridad y protocolos de prueba

Se dictó instrucción sobre seguridad y procedimientos en rampa, conforme al Mensaje Técnico FAC 918, en preparación a las pruebas funcionales del motor.

Se socializó el protocolo de seguridad dirigido a personal visitante y asistentes a pruebas en los bancos AM37T-20/21.

2.3 Pruebas preliminares y funcional del motor

Se realizaron pruebas preliminares de verificación y energización de los sistemas de potencia e instrumentación.

Se cumplió con el procedimiento de inspección prepruebas.

Se ejecutó la prueba funcional del motor PT6A-61A conforme al protocolo establecido, con participación de los pasantes y supervisión técnica del personal de Tecnologías de Mantenimiento (TS José Caro, TS Iván Cabrera) y asistencia del Escuadrón de Investigación.

FOTOGRAFIAS REFERNTES DE LAS PRUEBAS.









3. AVANCE POR PROYECTO

N.º	Proyecto	Estado y avance	Actividades pendientes
1	Adaptación de sistema portátil de alimentación de mezclas SAF–Jet A	Se seleccionaron los componentes del diseño del Banco de Suministro de Bajo Volumen, aprovechando existencias de ESUFA.	Ensamble del equipo
2	Implementación de mezclador estático de combustibles en AM37-T21	Se completó el armado del mezclador.	Prueba funcional del equipo
3	Diseño de mandos de operación del motor PT6A-61A en AM37-T21	Se definió el posicionamiento de componentes de mando y rutas de arneses y cable teleflex.	Ensamble final + reglaje y regulación técnica del motor
4	Estudio técnico para sustitución de hélice por sistema dinamométrico en PT6A-61A	En revisión: análisis de características del motor y del banco para selección del dinamómetro.	Concluir estudio técnico y definir equipo adecuado
5	Diseño conceptual de bancada para motor de cilindros opuestos (AVGAS)	Diseño preliminar pendiente de datos.	Recepción del motor IO-360 de EMAVI para evaluación y definición final del diseño

4. CONCLUSIONES

Se alcanzó la meta programada para el periodo:

- En agosto se completó el 25% del proceso final de los proyectos de pasantía, cumpliendo los cronogramas establecidos.
- La infraestructura eléctrica y de instrumentación del banco AM37T-21 está inspeccionada y verificada: Las revisiones finales de cableado, alimentación, instrumentación y red SCADA garantizan el cumplimiento de criterios EWIS y las condiciones de seguridad para operar los sistemas de medición y control.
- Se cuenta con protocolos y personal capacitado para la operación segura: La instrucción conforme al Mensaje Técnico FAC 918 y la socialización de normas de prueba permitieron ejecutar con éxito la prueba funcional del motor PT6A-61A, bajo supervisión técnica y con participación de los pasantes.
- La mayoría de proyectos registra avance positivo y en curso: Cuatro de los cinco proyectos específicos se encuentran en fase de ejecución o ensamble, con

definiciones técnicas y selección de componentes ya realizadas; solo queda completar las etapas de prueba, ensamble final y regulación.

- Existe una dependencia externa que condiciona el proyecto 5: El diseño de la bancada para motor de cilindros opuestos no puede avanzar hasta recibir el motor IO-360 de EMAVI, por lo que su entrega es prioritaria para no retrasar el cronograma.
- El trabajo conjunto entre pasantes, personal técnico e investigación garantiza calidad y seguimiento: La supervisión especializada y la participación del Escuadrón de Investigación fortalecen el proceso formativo y técnico de la pasantía.

REFERENCIA FOTOGRAFICA DE INSPECCION SISTEMAS ELECTRICO





TJRA Nelson Jiménez Acuña
Asesor Técnico de Pasantía.

Producto 3.

Apoyar en la planeación de las actividades a desarrollar en la semana del

INFORME DE ACTIVIDADES.

PLANEACIÓN DE LA SEMANA DEL TECNÓLOGO — ESUFA del 13 al 16 de octubre del 2026

ACTIVIDADES REALIZADAS EN LA ETAPA DE PLANEACIÓN

En el marco de la planeación de la Semana del Tecnólogo de la Escuela de Suboficiales FAC (ESUFA), se definieron y distribuyeron tareas en tres áreas fundamentales:

Planeación Logística

Coordinación de espacios, tiempos y recursos para la exhibición y evaluación de pósteres.
Organización de los espacios destinados a eventos.
Coordinación de atención en procedimiento logístico.

Planeación Documental por evento.

Recopilación y organización de la información del programa del, actividades del
Establecimiento de los lineamientos, contenidos y estructura que deben cumplir los pósteres. Para el proceso de evaluación. (15 de octubre)
Acompañamiento y coordinación Cine Foro (THE MARTIAN el RESTE)

Planeación de Apoyo y Acompañamiento

Acompañamiento en la elaboración de pósteres en conjunto con los alumnos integrantes de los Semilleros de Investigación de la Tecnología de Mantenimiento Aeronáutico.
Orientación y guía en la estructuración visual y de contenidos, teniendo como eje central los proyectos de investigación desarrollados en el semillero.
Objetivo principal: que el póster represente de forma clara y ordenada las actividades, programas y proyectos que se desarrollan en ESUFA.
Pilares / Proyectos: Presentación ordenada de los 6 proyectos que integran la pasantía y el trabajo del semillero.



PASANTÍAS DE INVESTIGACIÓN APLICADA

MODERNIZACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS AM37T-21

Formación técnica, práctica estándar y seguridad operacional

TECNOLOGÍA EN MANTENIMIENTO AERONÁUTICO · ESUFA — CAMAN

PROPÓSITO FORMATIVO

El banco AM37T-21 es un ambiente real de aprendizaje donde los alumnos integran mantenimiento aeronáutico, operación segura, investigación formativa y modernización tecnológica.

La pasantía conecta la teoría con tareas verificables sobre el motor PT6A-61A y sus sistemas de apoyo.

APRENDER · APLICAR · VERIFICAR

Documentar cada intervención y decidir con criterio técnico y cultura de seguridad.



MOTOR PT6A-61A

Corazón del entorno práctico de formación

IMPACTO EN EL ALUMNO

- **Competencia técnica**
  Interpreta manuales, inspecciona sistemas y ejecuta tareas con método.
- **Juicio profesional**
  Analiza condiciones, reconoce límites y sustenta decisiones.
- **Cultura de seguridad**
  Identifica peligros, aplica barreras y comunica novedades.
- **Innovación aplicada**
  Propone mejoras y valida soluciones en un entorno aeronáutico real.

APLICABILIDAD DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA Y OPERACIONAL

PRÁCTICAS ESTÁNDAR AERONÁUTICAS

Control de herramientas y FOD, orden y limpieza, uso de EPP, torque, inspección, identificación, listas de chequeo y registro de la tarea.

MAMAE FAC

Orienta la ejecución normalizada del mantenimiento, los niveles de intervención, la disciplina documental, la trazabilidad y el cumplimiento de procedimientos autorizados.

SEGURIDAD OPERACIONAL

Integra identificación de peligros, evaluación del riesgo, barreras preventivas, reporte de novedades y aprendizaje continuo antes, durante y después de la práctica.

MENSAJE TÉCNICO 918

Relaciona la formación con prácticas de operación en línea de vuelo y mantenimiento de segundo nivel, dentro del alcance técnico y las autorizaciones institucionales.

PROYECTOS QUE MODERNIZAN EL BANCO Y FORTALECEN LA FORMACIÓN



1. Mezclador estático

Homogeneidad y control de mezclas

DIAGNÓSTICO · DISEÑO · VALIDACIÓN



2. Sistema portátil

Alimentación de bajo volumen

DIAGNÓSTICO · DISEÑO · VALIDACIÓN



3. Adecuación EWIS

Cableado seguro y trazable

DIAGNÓSTICO · DISEÑO · VALIDACIÓN



4. Mandos de operación

Control e integración funcional

DIAGNÓSTICO · DISEÑO · VALIDACIÓN



5. Sistema dinamométrico

Carga controlada y medición

DIAGNÓSTICO · DISEÑO · VALIDACIÓN



6. Bancada motores opuestos

Adaptación e instrumentación

DIAGNÓSTICO · DISEÑO · VALIDACIÓN

BENEFICIOS PARA LA FORMACIÓN

- Mayor dominio de manuales, órdenes técnicas y procedimientos.
- Ejecución disciplinada de prácticas estándar aeronáuticas.
- Mejor capacidad para diagnosticar, medir, registrar y verificar.
- Apropiación de la Seguridad Operacional como criterio de trabajo.
- Experiencia en investigación aplicada, trabajo en equipo e innovación.

IMPACTO INSTITUCIONAL

- Fortalece las capacidades prácticas de la Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico.
- Consolida el AM37T-21 como infraestructura de formación, investigación y experimentación.
- Promueve cumplimiento documental, confiabilidad técnica y prevención del riesgo.
- Aporta a la sostenibilidad, la modernización y la soberanía tecnológica de la FAC.

FORMAR EN UN ENTORNO REAL PARA MANTENER, OPERAR E INNOVAR CON SEGURIDAD

ESUFA · CAMAN · SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN · 2026

BANCO GNB SUDAMERIS
NIT. 860.050.750-1

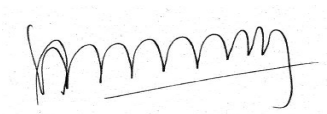
CERTIFICA QUE:

NELSON ARTURO JIMENEZ ACUÑA,

identificado(a) con cédula de ciudadanía número 3.094.628, mantiene un vínculo comercial con esta Entidad a través de la Cuenta de Ahorros No. 90090515460, con fecha de apertura 8 de marzo de 2000

Se expide a solicitud del cliente, en la ciudad de Bogotá D.C., a los treinta y un (31) días del mes de agosto de 2026

Cordialmente,



GERENCIA CANALES DE ATENCIÓN

VIGILADO SUPERINTENDENCIA FINANCIERA DE COLOMBIA

ACTA DE RECIBO A SATISFACCIÓN DE BIENES Y SERVICIOS

PARCIAL: _X_____ TOTAL: _____	FECHA 01/SEPTIEMBRE/2026
CONTRATO No.	009-02-K-ESUFA-GRUAC-2026
FECHA SUSCRIPCIÓN	27/01/2026
OBJETO	PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE APOYO A LA GESTIÓN PARA EL ACOMPAÑAMIENTO Y COORDINACION DEL SEMILLERO DE INVESTIGACION “INNOVATE” DE LA ESCUELA DE SUBOFICIALES FAC LOTE N°2 ASISTENTE TÉCNICO PARA LA TEMÁTICA INNOVACIÓN EN BIOENERGÍA Y BIOCOMBUSTIBLES
FORMA DE PAGO	LA NACIÓN - MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL - FUERZA AEROESPACIAL COLOMBIANA pagará al contratista el valor adjudicado del contrato, de la manera en que se indica a continuación: TREINTA Y DOS MILLONES CUATROCIENTOS UN MIL SETECIENTOS VEINTITRES PESOS M/CTE ($32.401.723)

No. PAGOS	CORTE ENTREGA	VALOR	PAC
1	28 de febrero 2026	$ 3.363.500	abr-26
2	31 de marzo 2026	$ 3.363.500	may-26
3	30 de abril 2026	$ 3.363.500	jun-26
4	30 de mayo 2026	$ 3.363.500	jul-26
5	30 de junio 2026	$ 3.363.500	ago-26
6	31 de julio 2026	$ 3.363.500	sep-26
7	31 de agosto 2026	$ 3.363.500	oct-26
8	30 de septiembre 2026	$ 3.363.500	nov-26
9	31 de octubre 2026	$ 3.363.500	DICIEMBRE 2026 Y/O CUENTAS POR PAGAR - PRIMER TRIMESTRE VIGENCIA 2027 DE ACUERDO CON DISPONIBILIDAD DE PAC
10	19 de noviembre 2026	$ 2.130.223	DICIEMBRE 2026 Y/O CUENTAS POR PAGAR - PRIMER TRIMESTRE VIGENCIA 2027 DE ACUERDO CON DISPONIBILIDAD DE PAC

	FUERZA AEROESPACIAL COLOMBIANA	Código:	DE-DEAJU-FR-006
	FORMATO ACTA DE RECIBO A SATISFACCIÓN DE BIENES Y SERVICIOS – CONTRATO O CONVENIO	Versión N°:	08
		Vigencia:	12-03-2026

CONTRATISTA	NELSON ARTURO JIMENEZ ACUÑA
INTERVENTOR (si aplica)	No aplica
SUPERVISOR	T1. MAHECHA MAHECHA OSCAR HUMBERTO
VALOR INICIAL	TREINTA Y DOS MILLONES CUATROCIENTOS UN MIL SETECIENTOS VEINTITRES PESOS M/CTE ($32.401.723)
FECHA DE INICIO	02-02-2026
PLAZO DE EJECUCIÓN (DE ENTREGA)	A partir del 2 DE FEBRERO DEL 2026 con el cumplimiento de los requisitos de ejecución del contrato y suscripción del acta de inicio, hasta el 19 DE NOVIEMBRE DE 2026.

MODIFICACIONES AL CONTRATO		
Modificatorio No. 1	No aplica	No aplica
Modificatorio No. 2	No aplica	No aplica
Modificatorio No. 3	No aplica	No aplica

SUSPENSIÓN Y REINICIOS **Si el contrato/convenio ha tenido alguna suspensión, así como sus respectivos reinicios, se deberán registrar las fechas correspondientes a las respectivas actas. En caso contrario, deberá indicarse N/A.**	
Suspensión No. 1	No aplica
Ampliación Suspensión	No aplica
Reinicio	No aplica
FORMA DE PAGO FINAL	No aplica
PLAZO DE EJECUCIÓN FINAL	No aplica
VALOR FINAL DEL CONTRATO	No aplica

En Madrid, Cundinamarca, el día 01 del mes de septiembre de 2026, la señora Coronel Yois Andrea Correcha Ramírez, en su calidad de Ordenador del Gasto, el señor T1. Mahecha Mahecha Oscar Humberto en su calidad de supervisor por parte del MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL – FUERZA AEROESPACIAL COLOMBIANA-- ESCUELA DE SUBOFICIALES “CT. ANDRÉS M. DÍAZ” y el señor Nelson Arturo Jiménez Acuña en su calidad de Contratista; efectúan el correspondiente recibo parcial, de los servicios correspondientes al objeto contractual descrito en el citado contrato.

Luego de adelantar la inspección a los servicios se estableció que estos cumplen con los requerimientos, normas y/o especificaciones técnicas y la entrega se cumplió dentro del plazo contractual establecido. A continuación, se describen pormenorizadamente los bienes entregados y/o servicios prestados, así:

DESCRIPCIÓN DE OBRAS RECIBIDAS	**CANTIDAD**	**OBSERVACIONES GENERALES**
No aplica	No aplica	No aplica
DESCRIPCIÓN DE BIENES RECIBIDOS	**CANTIDAD**	**OBSERVACIONES GENERALES**
No aplica	No aplica	No aplica
DESCRIPCION DE SERVICIOS RECIBIDOS	**CANTIDAD**	**OBSERVACIONES GENERALES**

Prestación de servicios de apoyo a la gestión para el acompañamiento y coordinación del semillero de investigación “innóvate” de la escuela de suboficiales FAC lote N°2 asistente técnico para la temática innovación en bioenergía y biocombustibles.	No aplica	En el lapso comprendido entre el 01 al 31 de agosto de 2026, se recibieron a satisfacción los servicios relacionados con las tareas estipuladas en la ficha técnica, así: **Producto 1:** Versiones finales de los artículos de investigación de los alumnos, fruto de los proyectos de investigación de las pasantías desarrollados en el semillero, listos para su sustentación. **Producto 2:** Informe de avance, que detalle el progreso de los proyectos de investigación de las pasantías en el semillero. **Producto 3:** Apoyo en la planeación de las actividades a desarrollar en la semana del tecnólogo de la ESUFA.
DESCRIPCIÓN DE OBRAS, BIENES Y SERVICIOS ADICIONALES OFRECIDOS **(Ofrecidos por el contratista y que fueron objeto de ponderación y escogencia del contratista, para seguimiento por parte del supervisor)**	**CANTIDAD**	**OBSERVACIONES GENERALES**
No aplica	No aplica	No aplica
ANEXOS O ACTIVIDADES SOPORTE DE LA (S) FACTURA (S) A CANCELAR **(Este espacio se diligencia únicamente para contratos de servicios de transporte (terrestre, aéreo o fluvial), servicios de operadores logísticos o aquellos cuyo objeto corresponda a servicios logísticos, así como para servicios de atención de eventos institucionales. En la fila correspondiente,**	**CANTIDAD**	**OBSERVACIONES GENERALES**
No aplica	No aplica	No aplica

PERSONAL REQUERIDO PARA LA EJECUCION DEL SERVICIO (EXIGIDO EN LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS)		
NOMBRES Y APELLIDOS	**CARGO**	**OTROS (TARJETA PROFESIONAL/TITULO PROFESIONAL O TECNICO)**
No aplica	No aplica	No aplica

AUMENTO VIDA ÚTIL DE LOS BIENES, EFECTIVIDAD OPERATIVA, CAPACIDAD PRODUCTIVA Y CALIDAD DE LOS BIENES

El pago de este recibo a satisfacción incrementa el valor y/o la vida útil del bien a intervenir.

- **Incrementa el valor del bien:**
  SI: ____ NO: _X___

Valor del incremento: $_____ (Valor parcial o total correspondiente a este pago)

- **Una vez ejecutado el 100% del contrato, incrementa vida útil del bien:**

  SI: ____ NO: _X___ Años a incrementar: _____

- **En caso de ser el pago final de un contrato de obra o mantenimiento mayor sobre un bien inmueble, indique si el bien se encuentra en condiciones de uso, una vez ejecutado el 100% del Contrato:** Ejemplo: NO, La obra es una primera fase, se ejecuta la totalidad del contrato, sin embargo, el bien inmueble no se encuentra en condiciones de USO.

SI____ NO _X___

SITUACIÓN FINANCIERA

DETALLE DEL PAGO	VALOR	OBSERVACIONES
VALOR INICIAL	$ 32.401.723	
VALOR ADICIÓN / REDUCCIÓN (SEGÚN APLIQUE)	$ 0	
VALOR FINAL	$ 32.401.723	
PAGO ANTICIPADO O ANTICIPO	$ 0	
PRIMER PAGO PARCIAL PAC ABRIL	$ 3.363.500	Cuenta de cobro 01
SEGUNDO PAGO PARCIAL PAC MAYO	$ 3.363.500	Cuenta de cobro 02
TERCER PAGO PARCIAL PAC JUNIO	$ 3.363.500	Cuenta de cobro 03
CUARTO PAGO PARCIAL PAC JULIO	$ 3.363.500	Cuenta de cobro 04
QUINTO PAGO PARCIAL PAC AGOSTO	$ 3.363.500	Cuenta de cobro 05
SEXTO PAGO PARCIAL PAC SEPTIEMBRE	$ 3.363.500	Cuenta de cobro 06
SEPTIMO PAGO PARCIAL PAC OCTUBRE	$ 3.363.500	Cuenta de cobro 07
PAGO SALDO PAC	$ 8.857.223	

OBSERVACIONES

No aplica

EN CONSTANCIA, FIRMAN QUIENES INTERVINIERON

Nelson Arturo Jiménez Acuña C.C. 3.094.628 **CONTRATISTA**	Técnico Primero MAHECHA MAHECHA OSCAR HUMBERTO **SUPERVISOR**

Coronel Yois Andrea Correcha Ramírez
ORDENADOR DEL GASTO

	FUERZA AEROESPACIAL COLOMBIANA	Código:	GA-JEADA-FR-132
	FORMATO DE IMPUTACION DE BIENES Y SERVICIOS POR RUBRO PRESUPUESTAL	Versión No:	4
		Vigencia:	18/11/2024

Jefatura o Unidad:	**ESUFA**
Nombre del Supervisor de Contrato	**T1. MAHECHA MAHECHA OSCAR HUMBERTO**
Ordenador del Gasto	**ESUFA**
No. Contrato	**009-02-K-ESUFA-GRUAC-2026**
Objeto del contrato	**PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE APOYO A LA GESTIÓN PARA EL ACOMPAÑAMIENTO Y COORDINACION DEL SEMILLERO DE INVESTIGACION "INNOVATE" DE LA ESCUELA DE SUBOFICIALES FAC LOTE N°2 ASISTENTE TÉCNICO PARA LA TEMÁTICA INNOVACIÓN EN BIOENERGÍA Y BIOCOMBUSTIBLES**
Valor inicial del contrato	**$ 32.401.723,00**
Adición	**$ 0,00**
Reducción	**$ 0,00**
Valor final del contrato	**$ 32.401.723,00**

IMPUTACIÓN DEL RUBRO A SU MAXIMO NIVEL DE DESAGREGACIÓN (Funcionamiento USO PRESUPUESTAL) (Inversión PROYECTO DE INVERSIÓN)		USO PRESUPUESTAL (solo para recurso 11)	DESCRIPCIÓN USO PRESUPUESTAL	DESCRIPCIÓN	VALOR APROPIACION POR RUBRO
	RECURSO				
02-02-02-008-003-09	10		OTROS SERVICIOS PROFESIONALES, TÉCNICOS Y EMPRESARIALES N.C.P	JEAES-ASISTENTE TÉCNICO PARA LA TEMATICA INNOVACIÓN EN BIOENERGIA Y BIOCOMBUSTIBLES.	**$ 32.401.723,00**
TOTAL VIGENCIA **2026**					**$ 32.401.723,00**
TOTAL VIGENCIAS					**$ 32.401.723,00**
			Control - Su contrato se ha modificado en: (En caso de diferencia, modificar valores de rubros de acuerdo a modificatorio y ultimo CPA)		**$ 0,00**

No. PAGO	MES DE PAGO	MES AMORTIZACIÓN O LEGALIZACIÓN	DETALLE DEL PAGO	RUBRO	USO PRESUPUESTAL (solo para recurso 11)	DESCRIPCION	VALOR PARA TRAMITE DE PAGO POR RUBRO	VALOR TOTAL PARA PAGO	SALDOS
1	ABRIL		PAGO PARCIAL VG ACTUAL	02-02-02-008-003-09-10		JEAES-ASISTENTE TÉCNICO PARA LA TEMATICA INNOVACIÓN EN BIOENERGIA Y BIOCOMBUSTIBLES.	$ 3.363.500,00	$ 3.363.500,00	$ 29.038.223,00
2	MAYO		PAGO PARCIAL VG ACTUAL	02-02-02-008-003-09-10		JEAES-ASISTENTE TÉCNICO PARA LA TEMATICA INNOVACIÓN EN BIOENERGIA Y BIOCOMBUSTIBLES.	$ 3.363.500,00	$ 3.363.500,00	$ 25.674.723,00
3	JUNIO		PAGO PARCIAL VG ACTUAL	02-02-02-008-003-09-10		JEAES-ASISTENTE TÉCNICO PARA LA TEMATICA INNOVACIÓN EN BIOENERGIA Y BIOCOMBUSTIBLES.	$ 3.363.500,00	$ 3.363.500,00	$ 22.311.223,00
4	JULIO		PAGO PARCIAL VG ACTUAL	02-02-02-008-003-09-10		JEAES-ASISTENTE TÉCNICO PARA LA TEMATICA INNOVACIÓN EN BIOENERGIA Y BIOCOMBUSTIBLES.	$ 3.363.500,00	$ 3.363.500,00	$ 18.947.723,00
5	AGOSTO		PAGO PARCIAL VG ACTUAL	02-02-02-008-003-09-10		JEAES-ASISTENTE TÉCNICO PARA LA TEMATICA INNOVACIÓN EN BIOENERGIA Y BIOCOMBUSTIBLES.	$ 3.363.500,00	$ 3.363.500,00	$ 15.584.223,00
6	SEPTIEMBRE		PAGO PARCIAL VG ACTUAL	02-02-02-008-003-09-10		JEAES-ASISTENTE TÉCNICO PARA LA TEMATICA INNOVACIÓN EN BIOENERGIA Y BIOCOMBUSTIBLES.	$ 3.363.500,00	$ 3.363.500,00	$ 12.220.723,00
7	OCTUBRE		PAGO PARCIAL VG ACTUAL	02-02-02-008-003-09-10		JEAES-ASISTENTE TÉCNICO PARA LA TEMATICA INNOVACIÓN EN BIOENERGIA Y BIOCOMBUSTIBLES.	$ 3.363.500,00	$ 3.363.500,00	$ 8.857.223,00
				TOTALES			**$ 23.544.500,00**	**$ 23.544.500,00**	**$ 8.857.223,00**

FIRMA (Supervisor del Contrato)	
POSTFIRMA	T1. MAHECHA MAHECHA OSCAR HUMBERTO
FECHA	1/09/2026

PAGOSIMPLE | AUTOLIQUIDACION CONSOLIDADA

Fecha creación reporte: 2026-09-03, 07:55:34 PM **Tipo Planilla:** I: PLANILLA INDEPENDIENTES **Numéro Planilla:** 1084076968

Periodo Cotización: agosto de 2026 **Periodo Servicio:** agosto de 2026 **Referencia pago (PIN):** 8824217080

PAGADO 31/08/2026 EN HORARIO EXTENDIDO

I. DATOS DEL APORTANTE

Razón Social	NELSON ARTURO JIMENEZ ACUNA		
Documento	CC3094628	**Dirección**	CL 152 NORTE #94 A - 67 PINAR TORRE 6
Tipo de Empresa	INDEPENDIENTE	**Teléfono**	3003343850
Tipo Persona	NATURAL	**Forma Presentación**	ÚNICO
Ciudad	BOGOTA D.C.	**Departamento**	BOGOTA D.C.
Representante Legal		**Identificación**	
Total Afiliados	1	**ARP**	POSITIVA DE SEGUROS

II. DETALLE DEL APORTANTE

Datos del Afiliado				Novedades																				Pensiones			Salud			Riesgos			Cajas			Parafiscales					Total
Identificación	Apellidos y Nombres	Tipo Cotizante	Subtipo Cotizante	ING	RET	RET P	TDE	TAE	TDP	TAP	VSP	COR	VST	SLN	IGE	LMA	VAC	AVP	VCT	IRP	Días AFP	Días EPS	Días ARP	Días CCF	Administradora	IBC Pensión	Aporte Pensión	Administradora	IBC Salud	Aporte Salud	Tarifa	IBC Riesgos	Aporte Riesgos	Administradora	IBC Caja	Aporte Caja	Aporte SENA	Aporte ICBF	ESAP	Aporte Ministerio	Total
CC 3094628	NELSON ARTURO JIMENEZ ACUNA	59	05																	0	0	30	30	0	(NIN-AF) NINGUNA AFP	$ 0	$ 0	(MIN001) ADRES MIN001 antes FOSYGA	$ 1.750.905	$ 218.900	2,436	$ 1.750.905	$ 42.700	(NIN-CC) NINGUNA CCF	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0	$ 261.600

III.TOTALES

IBC Pensión	IBC Salud	IBC Riesgos	IBC Cajas	Aportes Pensión	Aportes Salud	Aportes Riesgos	Aportes Cajas	Aportes Sena	Aportes ICBF	Aportes ESAP	Aportes Min Educación	(Incapacidades, Licencias, Saldos a Favor) EPS	Incapacidades ARP	SUBTOTAL SIN INTERESES DE MORA	TOTAL INTERESES DE MORA	TOTAL FINAL
$ 0	$ 1.750.905	$ 1.750.905	$ 0	$ 0	$ 218.900	$ 42.700	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0	$ 0	$ 261.600	$ 0	$ 261.600

Líneas de Servicio FonoSIMPLE: Bogotá 601 4446634 - Cali: 602 5540577 - Medellín: 604 5146669 - Bucaramanga: 607 6438000 - Cartagena: 605 6945444 - Pereira: 606 3402582 - Barranquilla: 605 3618850 - Resto del País: 018000 971 971 - ¡Más que Fácil, SIMPLE!

¡El Poder de lo SIMPLE!

Antes de imprimir, asegúrese que sea realmente necesario. Proteger el medio ambiente está en nuestras manos.

CERTIFICADO

Bogotá, D.C.

No. 690

CERTIFICACION DE TIEMPO DE SERVICIO TITULAR

LA CAJA DE RETIRO DE LAS FUERZAS MILITARES

CERTIFICA:

Que revisado el expediente administrativo **EL SEÑOR TÉCNICO JEFE (RA) DE LA FUERZA AEREA JIMENEZ ACUÑA NELSON ARTURO,** identificado con CÉDULA DE CIUDADANÍA No. 3,094,628, se pudo establecer que mediante resolución No. 4682 del 04 DE OCTUBRE DE 2011, se le reconocio Asignación de Retiro, a partir del 17/09/2011 33 AÑOS 11 MESES Y 6 DIAS.

La presente se expide a solicitud del interesado, el martes, 30 de junio de 2026.

Cordialmente,

Milena Estepa

Profesional de Defensa Heidi Milena Estepa Hueso
Coordinadora Centro Integral de Servicio al Usuario

Elaboró : Sede Electronica CREMIL

Cuentas bancarias de tercero

Usuario Solicitante:	MHmvinchir	Maria Elsy Vinchira Reyes
Unidad ó Subunidad Ejecutora Solicitante	15-01-05-012	FAC ESCUELA DE SUBOFICIALES FUERZA AEREA
Fecha y Hora Sistema:	2026-09-15-11:20 a. m.	

Tipo Doc. Identidad	Número Documento Identidad	Nombre del Tercero	Entidad Financiera	Tipo de Cuenta Bancaria	Número de Cuenta Bancaria	Nombre Cuenta Bancaria	Tipo de Moneda	Sucursal	Estado de la Cuenta	Vigencia de utilización de Cta Bancaria en la U/S Ejecutora
Unidad ó SubUnidad Ejecutora 15-01-05-012-FAC ESCUELA DE SUBOFICIALES FUERZA AEREA										
Cédula de Ciudadanía	3094628	NELSON ARTURO JIMENEZ ACUÑA	BANCO GNB SUDAMERIS S A	Ahorro	90090515460	NELSON ARTURO JIMENEZ ACUÑA	Pesos		Activa	2030/02/06

Cuenta por pagar – Comprobante.

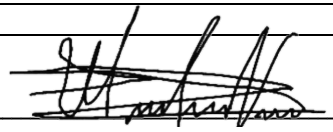
Usuario Solicitante:	MHmvinchir	Maria Elsy Vinchira Reyes
Unidad ó Subunidad Ejecutora Solicitante:	15-01-05-012	FAC ESCUELA DE SUBOFICIALES FUERZA AEREA
Fecha y Hora Sistema:	15/09/2026 12:00:00 a. m.	

CUENTAS POR PAGAR								
Número:	94826	**Fecha Registro:**	2026-09-15	**Unidad / Subunidad Ejecutora:**	15-01-05-012 FAC ESCUELA DE SUBOFICIALES FUERZA AEREA			
Estado:	Radicada	**Tipo de Cuenta x Pagar:**	Adquisicion de Servicios a Personas Declarantes	**Nro. Compromiso:**	2826	**Nro. Cdp:**	5826	
Caja Menor-Identif.:		**Caja Menor-Fecha Registro:**		**Tipo de Moneda:**	COP-Pesos	**Tasa de Cambio:**	0,00	
Valor Antes del Iva:	3.363.500,00	**Valor Iva:**	0,00	**Valor Total:**	3.363.500,00	**Valor Total Moneda Original:**	0,00	
TERCERO								
Identificación:	3094628	**Razón Social:**	NELSON ARTURO JIMENEZ ACUÑA					

DOCUMENTOS SOPORTE-DATOS ADMINISTRATIVOS					
Número:	07	**Tipo**	CUENTA DE COBRO	**Fecha:**	2026-09-15

DOCUMENTOS SOPORTE RECIBIDOS	
CODIGO	**DESCRIPCION**
11	CUENTA DE COBRO
12	CUMPLIDO A SATISFACCION

Objeto.:	CTO-CTO-009-02-K-ESUFA-GRUAC-2026



AS17. MARIA ELSY VINCHIRA REYES
FIRMA RESPONSABLE