

**Gestión de proyectos en la industria aeroespacial en Ecuador:
experiencia con la modernización de aeronaves militares T-34C-1**

**Project management in the aerospace industry in Ecuador:
experience with the modernization of T-34C-1 military aircrafts**

Aníbal Lenin Jara-Olmedo ¹
Fuerza Aérea Ecuatoriana - Ecuador
lenin_jara@yahoo.com

Hernán Mauricio Quisimalin-Santamaria ²
Universidad Técnica de Ambato - Ecuador
hernanmquisimalin@uta.edu.ec

doi.org/10.33386/593dp.2025.1.2937

V10-N1 (ene-feb) 2025, pp 857-868 | Recibido: 25 de noviembre del 2024 - Aceptado: 16 de diciembre del 2024 (2 ronda rev.)

1 ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4492-0447>

2 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8491-8326>

Jara-Olmedo, A., & Quisimalin-Santamaria, H., (2025). Gestión de proyectos en la industria aeroespacial en Ecuador: experiencia con la modernización de aeronaves militares T-34C-1. 593 Digital Publisher CEIT, 10(1), 857-868, <https://doi.org/10.33386/593dp.2025.1.2937>

Descargar para Mendeley y Zotero

RESUMEN

El trabajo describe el programa de modernización de la aeronave T-34C-1 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana desarrollado en Ecuador por la Dirección de la Industria Aeronáutica DIAF. El marco para presentar los hechos es un proyecto complejo de productos y sistemas considerando que la reparación estructural y modernización de la aviónica incluye el desmontaje de todos los componentes para reconstruir la aeronave en un proceso de integración similar a uno de fabricación. El enfoque establece la adaptación de aspectos externos e internos de la organización de mantenimiento para un programa pionero en la industria aeroespacial nacional. Con base en la información histórica y técnica disponible, el trabajo presenta el estado inicial del programa de modernización, los retos de integración, las soluciones y el estado final tanto para el operador como para el integrador. Se hace énfasis en la adaptación de los mecanismos de integración, así como en las capacidades que el integrador tuvo que gestionar para el programa. Finalmente, este documento presenta lecciones aprendidas de la modernización, las cuales se mantienen vigentes en el tiempo y actualmente pueden servir como referencias para la planificación o determinación de requerimientos de proyectos mayores de mantenimiento o modernización de aeronaves militares. Los lineamientos establecidos son aplicables para el gerente del proyecto y los usuarios finales u operadores.

Palabras claves: aeronave, gestión de proyecto, industria aeroespacial, modernización.

ABSTRACT

The paper describes the Ecuadorian Air Force T-34C-1 aircraft modernization program developed in Ecuador by the Aeronautical Industry Directorate DIAF. The framework to present the facts is a complex products and systems project considering that the structural repair and modernization of the avionics includes the disassembly of all the components to rebuild the aircraft in an integration process similar to a fabrication one. The approach establishes the adaptation of external and internal aspects of the maintenance organization for a pioneer program in the national aerospace industry. Based on the historical and technical information available, the paper presents the initial state of the modernization program, integration challenges, solutions and the final state for both the operator and the integrator. Emphasis is placed on the adaptation of the integration mechanisms, as well as on the capabilities that the integrator had to manage for the program. Finally, this document presents lessons learned from the modernization, which remain valid over time and can currently serve as references for planning or determining the requirements of major maintenance projects or modernization of military aircrafts. The guidelines established are applicable for project manager and final users or operators.

Keywords: aerospace industry, aircraft, modernization, project management.

Introducción

Para el año 2004, los aviones Beechcraft T-34C-1 Turbo Mentor se hallaban orgánicamente asignados a la Escuela Superior Militar de Aviación “Cosme Renella Barbatto” (ESMA) de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, iniciando su operación con la llegada al país de 18 aeronaves, el 8 de diciembre de 1977, habiendo formado pilotos militares por más de 25 años, demostrando ser una de las mejores aeronaves de entrenamiento. Sin embargo, el mantenimiento de las aeronaves se había complicado debido a la complejidad en la adquisición de repuestos y su elevado costo pues muchos prácticamente se habían dejado de producir. Este hecho, sumado a las condiciones climáticas de la ciudad de Salinas en la provincia de Santa Elena, lugar de operaciones habituales, había ocasionado un deterioro en la estructura, partes y componentes de las aeronaves, desencadenando un incremento progresivo en el esfuerzo requerido para su mantenimiento.

Considerando el escenario anteriormente planteado, la Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE) fin satisfacer las necesidades institucionales y ante la necesidad de contar con una adecuada cantidad de aeronaves, en óptimas condiciones de aeronavegabilidad para cumplir con los planes de entrenamiento de la ESMA, estableció el requerimiento para efectuar trabajos de reparación estructural y modernización de la aviónica de la flota de aeronaves T-34C-1. El 28 de febrero de 2005 fue firmado el contrato 2004-d-023 (AVIONES T34C-1) entre la Honorable Junta de Defensa Nacional y la Dirección de la Industria Aeronáutica (DIAF), para la reparación estructural y modernización de la aviónica de la flota de aviones T-34C-1 de la ESMA. Por primera vez en el Ecuador una empresa nacional tenía bajo su entera responsabilidad un programa de modernización tan complejo y grande.

El programa se desarrolló como un esfuerzo de la entonces naciente industria nacional para aeronaves militares, con una organización de mantenimiento que tenía una amplia experiencia en aeronaves comerciales pero que se encontraba dando sus primeros

pasos como proveedor de servicios para el sector Defensa. Al paso de los años, se puede establecer una mirada retrospectiva al desarrollo del programa de modernización para reflexionar sobre sus condiciones de inicio, los desafíos que se presentaron para la organización de mantenimiento, así como las alternativas y soluciones a los problemas presentados. Del análisis de este primer programa se establecen recomendaciones o lecciones aprendidas que actualmente siguen siendo aplicables en la industria aeroespacial, no solamente a los gestores de proyectos, sino también a los operadores que contratan este tipo de servicios.

Modernización de aeronaves militares

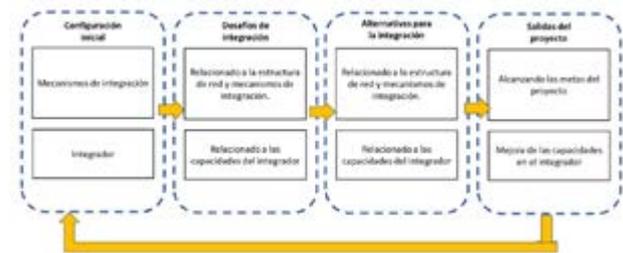
Para la elaboración de este artículo se ha considerado como referencia la metodología cualitativa, pues se establece una interpretación de un marco de estudio para proyectos de sistemas complejos enfocado a la modernización de aeronaves militares, lo que permite identificar lecciones aprendidas que pueden constituirse en una guía preliminar para el desarrollo de proyectos similares. Esto se alcanzó mediante el análisis de la información histórica y técnica disponible del programa de modernización de las aeronaves T-34C-1 de la FAE que se recopiló de reportes, informes y publicaciones sobre el tema realizados en la DIAF y Fuerza Aérea Ecuatoriana.

Considerando las limitaciones que pueden tener los presupuestos destinados para el sector Defensa, una de las alternativas más efectivas para mantener las flotas operativas y en condiciones acordes a las tecnologías actualizadas, es realizar la modernización de las aeronaves (Chovančík, 2018). La modernización de aviones militares es un proceso de mantenimiento mayor que, a través de la actualización de la tecnología de operación de los aviones, ayuda a que las aeronaves puedan seguir cumpliendo con las demandas de su misión (Nersisyan, 2020). El mantenimiento integral de todos sus sistemas y la incorporación de modernos equipos son la piedra angular y objetivo principal de una modernización.

Los sistemas aeroespaciales, dentro de los cuales se encuentran las aeronaves militares, son considerados sistemas de productos complejos (Complex Product Systems CoPS). Los CoPS se caracterizan por estar compuestos por componentes interconectados de tecnología avanzada, que tienen alto costo, requieren un rango amplio de conocimiento y capacidades, así como una extensa coordinación de producción y operación, y son fabricados en bajo volumen (Hobday, 1998). Con esta consideración previa, para el análisis de la modernización de los aviones T-34C-1 se toma como referencia una adaptación del marco de trabajo presentado por (Naghizadeh et al., 2017) para investigar la integración de un proyecto de sistemas de productos complejos, pues ese marco establece la experiencia de un proyecto de desarrollo de una aeronave en un país en vías de desarrollo, condiciones aplicables al programa de modernización en estudio.

El marco de referencia considera tanto la estructura y los mecanismos de integración como las capacidades del integrador que ejecutará el proyecto. En la industria aeroespacial, el concepto de integrador se aplica a empresas como Boeing, Airbus o Embraer, pues no solo diseñan y fabrican aeronaves, sino que gestionan la complejidad de las tecnologías y componentes que forman un avión (Woo et al., 2021). Debe notarse que el marco considera la configuración inicial de mecanismos de integración y las capacidades del integrador, para desarrollar posteriormente los desafíos relacionados así como las alternativas de integración, para finalmente establecer los resultados generales del proyecto al final del tiempo, ver Figura 1. Por tanto, lo que permite el marco de referencia es establecer evidencia a través de la información disponible, identificar los retos de un programa de modernización y establecer experiencias que resultan del contexto que enfrentan los integradores, así como los interesados del proyecto.

Figura 1
 Marco de trabajo para analizar el desarrollo del programa de modernización T-34C-1 empresas



Para comprender mejor el enfoque como sistemas de productos complejos es necesario revisar cual fue el proceso completo de modernización de las aeronaves T-34C-1, que resultó ser una integración similar de sistemas y componentes a las que realizan los fabricantes de aeronaves (Vinueza, 2006). Para realizar trabajos de mantenimiento mayor como eran la reparación estructural y la modernización de la aviónica se desarmaron totalmente las aeronaves, retirando una a una sus partes, incluyendo las alas, la cabina, el motor, los equipos y componentes internos, para tener únicamente la estructura básica del fuselaje sin ningún componente en el interior. A partir de ello se podía realizar los primeros trabajos que eran las inspecciones no destructivas a las aeronaves, pruebas no invasivas que determinaban el estado de las estructuras verificando que no existan grietas, rajaduras o cualquier otro síntoma de desgaste de los metales pues cualquier grieta o corrosión encontrada debía ser reparada.

En paralelo, todos los componentes desensamblados de la aeronave eran sujetos a mantenimiento para que partes, repuestos y accesorios volvieran a tener una condición inicial lista para la operación. Este mantenimiento incluía también a grandes componentes como eran los paneles de instrumento, las cabinas o las alas. Todos estos elementos posteriormente se ensamblarían nuevamente en el fuselaje para volver a reconstruir la aeronave como originalmente estaba concebida. Un elemento fundamental de toda modernización de aeronaves es el cambio el equipamiento electrónico, generalmente conocido como aviónica, que

incluye componentes y cableado. En este programa, dentro de las mejoras efectuadas se realizó el cambio a nuevos sistemas de comunicación y navegación, incluyendo la instalación de indicadores y las unidades de control de dichos sistemas. Estas actualizaciones requirieron la aplicación de ingeniería de aviónica para el diseño, compatibilidad, integración y pruebas de mencionado equipamiento.

Posteriormente se volvía a armar la aeronave, prácticamente desde cero, asegurando que todos los sistemas, tanto los nuevos como los que mantuvieron su configuración original, estuvieran correctamente interconectados y que cientos de cables, conectores y tuberías hicieran un recorrido configurado por toda la aeronave, asegurando las conexiones requeridas como un gran sistema nervioso central que permitiría controlar a la aeronave. Finalmente, tras este minucioso proceso de armado de la aeronave se realizaban las pruebas funcionales de los sistemas eléctricos, electrónicos, mecánicos e hidráulicos que permitirían determinar la adecuada operación de componentes, sistemas y en general de la aeronave modernizada. Esta fase era el paso previo al vuelo de verificación funcional o comúnmente conocido como vuelo de prueba que sería el último escalón en el programa de modernización. En este vuelo los pilotos de la ESMA realizaban las verificaciones generales en los procedimientos normales de encendido, taxeo y prueba del motor en tierra, para posteriormente ya en el aire verificar principalmente controles de vuelo, respuesta y actitud de la aeronave, así como la condición de los motores, luego de lo cual si la aeronave no presentaba ningún reportaje era entregada formalmente al operador.

Configuración inicial

El programa de modernización de aeronaves T-34C-1 tenía identificado posibles riesgos durante la puesta en marcha del proyecto, entre los principales se puede señalar, problemas con la provisión de partes y repuestos, variación de costo de insumos y procesos, requerimiento de servicios no disponibles en el mercado, información técnica incompleta por parte del

operador, entre otros, atribuibles principalmente a la antigüedad de la flota a modernizar (Troya, 2007). Por tanto, la DIAF como contratista principal o integrador, debía estar preparada para afrontar una posible materialización de los riesgos del proyecto, de manera que anticipando las situaciones se las pudiera resolver de una manera ágil y que afecte lo menor posible el alcance, tiempo y costo del proyecto.

(Nagaraju et al., 2019) identifican entre las variables que fortalecen la generación y gestión de capacidades tecnológicas de una organización a los años de operación en la industria aeroespacial, el tamaño de la empresa y la interacción o colaboración horizontal y vertical con empresas extranjeras. En relación a estas variables, la DIAF como empresa de mantenimiento ya llevaba 13 años desde su fundación en 1992, siendo en el Ecuador la empresa de mayor tamaño en el segmento. Sus capacidades se orientaban a proporcionar mantenimiento mayor a aeronaves comerciales Boeing B727 nacionales y extranjeras, contando entre sus principales servicios especializados las inspecciones no destructivas aplicables a estructuras y las inspecciones y reparaciones de equipos de aviónica. Estos servicios le permitieron crear nexos e interacción directamente con empresas internacionales como la fabricante de aeronaves Boeing o la empresa norteamericana de aviónica Bendix King, de la cual era representante en el Ecuador. Estos vínculos comerciales, logísticos y técnicos previamente establecidos se constituyeron la línea base para el desarrollo de una red de aprovisionamiento y de nuevas capacidades para el programa de modernización.

En relación a las complejas actividades de fabricación de aeronaves, equipos y partes, las empresas que realizan servicios de mantenimiento necesitan menor inversión en instalaciones, tecnología o conocimiento (Mamoru, 2020) (Simões et al., 2020). Por lo ello, la industria aeroespacial en países en desarrollo aprovecha entre otros aspectos la provisión de mano de obra intensiva, servicios de bajo costo o la ubicación geográfica cercana al operador que les da una ventaja competitiva frente a otras empresas

extranjeras (Liangrokapart & Sittiwatethanasiri, 2023). Bajo estas consideraciones, la DIAF debía considerar las limitaciones de capacidades financieras y de equipamiento de partida del programa de modernización, para establecer estrategias de gestión de talento humano, producción y logística, que les permitan incrementar sus capacidades y competencias para el desarrollo del proyecto aprovechando las condiciones y ubicación geográfica dentro del mercado en Ecuador.

Las organizaciones que desean realizar una transición para prestar servicios a aeronaves militares pueden aprovechar la experiencia adquirida del mantenimiento en aeronaves comerciales, y viceversa, sin embargo, se requiere establecer las diferencias entre la dinámica y requerimientos de cada uno de estos segmentos (Hodges & Mo, 2018). La DIAF al disponer de capacidades certificadas con la autoridad aeronáutica nacional (DGAC) y autoridades internacionales como la Federal Aviation Administration (FAA) de los Estados Unidos, disponía de estándares, procedimientos y controles de calidad y producción para las actividades de mantenimiento, de acuerdo a normas y regulaciones de la autoridad aeronáutica, que fueron adaptadas para este programa de modernización. Se debe establecer que, a la fecha de inicio del programa, no se contaba con normativa específica para aeronaves militares en lo referente a reparaciones, instalaciones y modificaciones que se realizarían en la subsecuente línea de producción.

Desafíos de integración

Una organización que es nueva en programas de modernización, debe superar barreras tecnológicas y de aprovisionamiento del mercado aeronáutico establecido (Ahrens, 2020), por lo que requiere gestionar redes complejas de producción y aprovisionamiento, con un nivel de integración de capacidades que requiere colaboraciones y alianzas para acceder a los recursos de otras empresas (Alinaghian & Razmdoost, 2018). La aeronave T-34C-1, originalmente de la década de los 70 y al ser una versión especial realizada para la FAE,

presentaba dificultades en la obtención de partes y repuestos pues estaban descontinuadas sus líneas de producción. De manera similar, debido a la antigüedad de algunos equipos, los servicios de reparación y overhaul, tanto en el país como en el exterior, eran escasos o inexistentes. Por ello fue necesario identificar talleres que seguían proveyendo de servicios especializados a ciertos componentes, este fue el caso de reparación de las vigas de las alas en Estados Unidos. Sin embargo, estas externalidades provocaron cambios o retrasos en la programación del proyecto, pues entraron a espera de hasta 6 meses en las líneas de producción y servicios de empresas en el extranjero.

De acuerdo a los archivos e informes sobre las ofertas presentadas a la Fuerza Aérea para el programa de modernización, se debe señalar que existió visibles diferencias en cuanto a costos individuales por avión, así como totales por la flota de aeronaves. El rango de ofertas de empresas extranjeras variaba desde un 59% hasta un 139 % de precios más elevados en relación con la oferta presentada por la industria nacional (Vinuesa, 2006). Además, la DIAF presentó una oferta cerrada, es decir se cubría cualquier daño oculto encontrado, a diferencia de las ofertas de empresas extranjeras que se presentaron con cláusulas de “over and above”, esto quiere decir que consideraban los daños ocultos como costos adicionales a la oferta inicial.

Bajo este esquema de incluir los daños ocultos, la DIAF debía realizar trabajos adicionales críticos e importantes que pudieran salir durante la inspección de la aeronave y que no estaban inicialmente considerados por el operador. Estos imprevistos podían afectar la programación del contrato tanto por la adquisición de material y servicios relacionados, como por el tiempo adicional que se requeriría para solventar estas reprogramaciones. Por tanto, la DIAF debía establecer una constante revisión y adecuación de tiempos y recursos para la producción, que permitiera determinar las mejores alternativas de factibilidad técnica y económica para cumplir con los requerimientos del contrato dentro de un presupuesto establecido.

Alternativas para la integración

En la industria aeroespacial el suministro se aleja del enfoque de empresas integradas verticalmente, para convertirse en una red de suministro global de muchas empresas que realizan diferentes funciones (Santos et al., 2019). Esta gestión permite explorar las mejores fuentes de insumos en lo que respecta no solo al material sino también al conocimiento y por tanto mantener la competitividad de una empresa (Caliari et al., 2023). Por esa razón, las organizaciones de mantenimiento en países en vías de desarrollo deben establecer fuertes relaciones comerciales e integración con sus proveedores con el objetivo de poder sobrevivir en el restringido mercado aeronáutico (Kazeminia, 2021). Para ello, la red de aprovisionamiento de la DIAF se amplió con proveedores de productos y servicios adicionales a los fabricantes, pues tuvo que determinar intercambiables para muchos conectores, partes y componentes que habían salido del mercado o cuya reparación iba más allá de lo económicamente rentable. Sin embargo, otros servicios tuvieron que ser desarrollados como capacidades locales ante la ausencia de proveedores o tiempos de espera no compatibles con la planificación del programa. Es así que trabajos como la reparación de las alas y las carlingas (cubiertas transparentes protectoras de la cabina de pilotos), que inicialmente estaban consideradas realizarse en el exterior, fueron finalmente planificadas y ejecutadas a nivel local fin adecuar los tiempos, aprovechando períodos libres entre actividades y evitando los costos y tiempo de traslados al exterior, así como la espera entre 6 y 8 meses en línea de producción de un proveedor extranjero.

Las organizaciones que requieren aprovechar una ventana de oportunidad en el mercado aeronáutico deben desarrollar sus capacidades innovadoras (Pereira et al., 2022) o dinámicas, que son aquellas donde modifican su base de recursos para mantener una ventaja competitiva (Vértesy, 2017), esto incluye el desarrollo de nuevos productos o servicios, gestionar redes complejas de producción, la integración de recursos o el manejo de conocimiento (Holtström,

2022) . Para el desarrollo de las capacidades dinámicas requeridas, la DIAF debía realizar el levantamiento de toda la información técnica, así como procedimientos y procesos aplicables al programa de modernización, teniendo como línea base únicamente los datos de mantenimiento disponibles del operador, es decir de la ESMA (Játiva, 2007). Bajo estas consideraciones, el programa ejecutó como paso inicial la modernización de un único avión prototipo, que fue la aeronave T-34C-1 matriculada como FAE 034, con las modificaciones necesarias en los sistemas de aviónica y todos los servicios de mantenimiento y daños ocultos encontrados, en un tiempo total de ejecución de 14 meses.

Dentro de la gestión de la industria aeroespacial, (López et al., 2015) establecen que el conocimiento ingresa y sale de una organización, y por tanto se gana o pierde, a través de mecanismos tan diversos como la ingeniería inversa, la comunicación informal de los empleados o incluso la contratación de un trabajador. En este marco, el traspaso del Centro de Investigación y Desarrollo, de la Fuerza Aérea a la DIAF en marzo de 2004, un año antes del inicio del programa de modernización, permitió integrar laboratorios y equipamiento especializado, pero sobre todo obtener la experiencia de personal altamente calificado en áreas de ingeniería aeronáutica, mecánica y electrónica que contribuyeron al desarrollo desde cero de la ingeniería requerida para el programa de modernización. Debe señalarse que el Centro de Investigación traía como uno de sus intangibles principales la experiencia adquirida en trabajos especializados de diseño e instalación realizados para aeronaves de combate de la FAE y proyectos de investigación o desarrollo tecnológico como eran los programas en aeronaves remotamente tripuladas.

Adicionalmente se tenía que gestionar la red de producción. Para ello, un aspecto fundamental en el proyecto fueron los resultados iniciales obtenidos de los trabajos de inspección, reparación e integración en el primer prototipo, al cuantificarse in situ los recursos necesarios para una aeronave, lo que permitió ajustar las estadísticas y proyecciones preliminares

en cuanto a tiempo y personal para una modernización en serie. La proyección inicial preveía el empleo de 8.000 horas hombre por avión, sin contar los daños ocultos, empezando con una línea de producción de tres aeronaves al mismo tiempo, con base inicial de nueve meses para cada aeronave, con el empleo de 35 técnicos en total. El prototipo permitió visualizar todos los trabajos requeridos y una mejor predicción de daños ocultos que podían aparecer en las demás aeronaves que tenían pendiente el proceso de modernización. Por tanto, con la experiencia obtenida con el prototipo, y luego de un ajuste de la planificación se dimensionó una línea de producción de tres aeronaves en simultáneo, con proyección promedio de 25.000 horas por aeronave, 7 meses con la participación de 114 técnicos (Gerencia de Producción, 2007).

El desarrollo del prototipo inicial del T-34C-1 estableció la necesidad de integrar de manera inmediata personal altamente calificado para realizar las actividades y dar soporte al proyecto, difícil tarea en un mercado aeronáutico pequeño como el que tenía Ecuador en dicha época. Además, considerando la gestión del talento humano, aun obteniendo personal capacitado, es difícil desarrollar su conocimiento y experiencia en el ámbito aeronáutico, pues el ciclo de aprendizaje es largo (d'Armagnac et al., 2021). Con estas consideraciones, la DIAF contrató 70 tecnólogos graduados en el Instituto Superior Técnico Aeronáutico (ITSA), entidad a la época regentada por la FAE. Estos técnicos pertenecían a las especialidades de mecánica aeronáutica en estructuras y motores, electrónica con mención en instrumentación y aviónica, y finalmente de logística y transporte. Sin embargo, al ser personal con poca experiencia, la DIAF implementó un programa intensivo de dos meses de On Job Training (OJT), donde se aprendía nuevas habilidades y competencias mientras se realizaban las tareas diarias, fin proporcionar los conocimientos a un personal que sería apoyo para el personal inicialmente designado al proyecto, que ya contaba con experiencia en programas de mantenimiento en general, y en la aeronave T-34C-1 en particular.

Salidas del proyecto

Considerando los sectores Aeroespacial y de Defensa, (Rodríguez-Segura et al., 2016) plantean que las condiciones necesarias para el éxito de un proyecto dependen como uno de sus factores principales de la participación de los clientes/ usuarios en el proyecto. En el caso del programa de modernización de las aeronaves T-34C-1, la ESMA tenía más de dos décadas de experiencia en el mantenimiento y operación de la aeronave, es por ello que la interacción constante de la DIAF con técnicos y pilotos del operador permitió comprender de mejor manera a la aeronave, sus problemas y posibles soluciones, al mismo tiempo que mantenía como eje de acción el concepto o necesidad operacional del usuario final, en este caso la FAE. Con estas condiciones, luego de un programa de modernización que fue pionero en el Ecuador, la FAE recibió las aeronaves T-34C-1 permitiendo una alta disponibilidad de aeronaves de entrenamiento en la ESMA, las cuales, hasta su fecha retiro de servicio decidido en el año 2017, alcanzaron 40 años de operación y obtuvieron un récord a nivel escuadrón de 120.000 horas de vuelo (Guapacaza, 2019).

Por otro lado, la DIAF a través de la modernización obtuvo la capacidad de gestión de programas de mantenimiento para aeronaves militares, considerando no solamente los aspectos técnicos que requería la actualización de la plataforma T-34C-1, sino también los aspectos logísticos, de aprovisionamiento y organizacionales que tuvieron que adaptarse desde una condición inicial orientada a aeronaves comerciales. A diferencia del programa de modernización, los contratos de aviación comercial tenían condiciones contractuales donde el principal esfuerzo de la DIAF era orientado únicamente a la prestación del servicio de mantenimiento pues los clientes manejaban su propio aprovisionamiento y gestión logística.

Otra capacidad obtenida fue el desarrollo de ingeniería de diseño y producción. La realización de la documentación técnica de una aeronave se constituye en un activo intelectual muy significativo para cualquier organización

que busca crear valor (Pereira et al., 2022). De manera paralela, la creación de procedimientos de trabajo para reparación, modificación, instalación y pruebas de partes, componentes y sistemas creó una línea base para el desarrollo de otros programas que fueron desarrollados posteriormente para aeronaves militares no solamente de la Fuerza Aérea, sino también de otras fuerzas militares y segmentos estatales del Ecuador.

En los países donde existen mayores restricciones económicas, el desarrollo de la industria aeroespacial es limitada en áreas que requieren altos niveles de inversión o tecnología. Sin embargo, los servicios de mantenimiento pueden tener mayores oportunidades vista su capacidad de operar en forma independiente de las grandes corporaciones y aprovechando las necesidades del mercado gracias a su ubicación en áreas cercanas a los operadores (Karunakaran et al., 2020). Por tanto, el programa de modernización de las aeronaves T-34C-1 fue la oportunidad de establecer proyectos nacionales de mantenimiento mayor para el sector Defensa en el Ecuador. En el historial de programas desarrollados se destacan la instalación de sensores electro ópticos en aeronaves de ala fija y rotatoria de la Aviación Naval, modernización de aviónica de helicópteros Gazelle para el Ejército, o incluso inspecciones 2Y y 4Y para aeronaves C-295 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

Lecciones aprendidas.

En base a la evidencia obtenida de la modernización de las aeronaves T-34C-1, ver Tabla 1, se pueden establecer consideraciones o punto importantes que se deben verificar cuando se establezca la planificación y se determinen los requerimientos de un proyecto de adquisición, modernización o incluso mantenimiento de aeronaves / sistemas / componentes. Estas reflexiones se pueden aplicar tanto para los operadores como para los gestores y ejecutores de los proyectos.

Tabla 1.
Síntesis de evidencia encontrada en el marco de trabajo escogido para el programa T-34C-1

Fase del programa	Aspectos	Evidencia del programa T-34C-1
Configuración inicial	Mecanismos de integración	Relación con clientes de aviación comercial Colaboración con empresas extranjeras Existencia de nexos comerciales con empresas internacionales
	Integrador	Mano de obra intensiva Servicios de bajo costo Existencia de procedimientos de control de calidad y producción
Desafíos de integración	Relacionado a la estructura de red y mecanismos de integración	Barreras tecnológicas Problemas de aprovisionamiento partes, repuestos y componente Escasez de servicios especializados
	Relacionados a las capacidades del integrador	Control de tiempo y recursos disponibles Solución a daños ocultos dentro de parámetros del proyecto
Alternativas para la integración	Relacionado a la estructura de red y mecanismos de integración	Establecer red de suministros globales Ampliación de red de servicios
	Relacionados a las capacidades del integrador	Desarrollo de prototipo Desarrollo local de servicios especializados Transferencia de ingeniería de diseño Integración de personal altamente calificado
Salidas del proyecto	Alcanzando las metas del proyecto	Aeronaves modernizadas para el operador Optimización de recursos del integrador
	Mejora de las capacidades en el integrador	Gestión técnica y logística de programas militares Disponibilidad de ingeniería de diseño y producción

Uno de los puntos iniciales en la selección de una oferta de un servicio aeronáutico es el análisis de la experiencia que tiene la organización que realizará el proyecto en las áreas motivo de los trabajos: estructural, electricidad, trenes, mantenimiento de las aeronaves, entre otras. Mayor experiencia en trabajos similares puede permitir que la organización realice una propuesta y costeo más cercano a la que será implementada. Una pregunta interesante es responder cuales han sido los trabajos previos

de fabricación/modernización/integración de sistemas aeronáuticos, relacionados con el objeto del proyecto y que han sido realizados previamente con éxito.

También es importante establecer la relación de la organización que ejecuta el proyecto con los fabricantes o proveedores, es decir la facilidad con que se pueden obtener partes, repuestos, asesoramiento, información técnica. Los proyectos de modernización por lo general se dan en aeronaves con varios años de servicio, por tanto, durante la realización de los trabajos se pueden encontrar daños ocultos o tareas adicionales que requieren un adecuado soporte técnico, muchas veces a nivel de fabricante.

Para un proyecto de modernización, especialmente si incluye una flota de varios aviones, es necesario determinar las facilidades y capacidades que tiene el integrador para montar una línea de producción. Esto implica la infraestructura física, que no solamente es el hangar donde se realizarán los trabajos en las aeronaves, sino también talleres, bodegas, oficinas, entre otros. Pero adicional a esta parte física se debe considerar la estructura de soporte y apoyo administrativo que tendrá la organización para la ejecución de los trabajos.

Cuando se planifica y proyecta la modernización de aviones militares, es necesario establecer inspecciones preliminares para determinar el verdadero estado de las aeronaves. La fuente de información básica de una planificación son los informes, reportes y estadísticas del operador de la aeronave. Adicionalmente, es recomendable realizar reuniones con el personal de mantenimiento del operador para establecer problemas recurrentes o históricos de las aeronaves. La recopilación de toda esta información permite establecer estimaciones más exactas, tanto de los requerimientos como de los costos de reparación y recuperación de los aviones.

A pesar de un análisis previo adecuado, durante la realización de los trabajos, pueden aparecer discrepancias o los llamados daños

ocultos. Para estos trabajos que constituyen costos adicionales, se debe especificar si serán contabilizados como un servicio excepcional más allá de lo que normalmente se puede esperar (over and above) o serán incluidos dentro de la propuesta. Para el caso over and above, el operador debe autorizar la realización de los trabajos adicionales en base al reporte y cuantificación de los daños. En caso de que todo esté incluido, la entidad que realiza el proyecto debe considerar un presupuesto estimativo de daños ocultos, el cual se verá reflejado desde un principio en la propuesta del proyecto. En el sector aeronáutico se puede considerar una referencia de la industria la estimación para daños ocultos como valores adicionales que pueden llegar al 60% de los costos del proyecto.

Cuando se requieren proyectos de mantenimiento mayor para aeronaves, la determinación de trabajos y el cálculo de precios generalmente se basa en el modelo y condición actual de la aeronave, período de servicio, cotizaciones preliminares de aprovisionamiento de partes y repuestos, así como en la información proporcionada por el operador al momento de realizarse el proyecto. Sin embargo, los proyectos de modernización de flotas, por sus montos y alcances requieren varias etapas de planificación y aprobación, por lo cual se debe considerar que debido a este amplio horizonte de tiempo las condiciones de las aeronaves varían debido a la operación, así como a los trabajos de mantenimiento que se siguen realizando. Adicionalmente, los costos deben provisionar aspectos como inflación anual, imprevistos y trabajos adicionales que puedan presentarse.

Conclusiones

El programa de modernización T-34C-1 en su momento fue un proyecto pionero para la industria aeroespacial nacional en Ecuador. El programa presentó varios problemas a la organización de mantenimiento, principalmente por el estado y antigüedad de las aeronaves que influyó directamente en cambios en la planificación inicial de los trabajos y actividades proyectadas. Se ha analizado la situación inicial del integrador y del proyecto, estableciendo

las soluciones presentadas a los desafíos encontrados, que fueron tanto externos como internos. Al exterior de la organización, uno de los principales problemas fue la dificultad en el aprovisionamiento de productos y servicios. Por otro lado, a nivel interno el integrador tuvo que adecuarse técnica, logística y organizacionalmente a un programa que era nuevo para su trayectoria. En base a las evidencias presentadas se han establecido reflexiones actuales presentadas como lecciones aprendidas, que pueden considerarse como una guía inicial a nivel macro, tanto para operadores como para integradores que estén interesados en ejecutar un programa de modernización de aeronaves.

Referencias bibliográficas

- Ahrens, R. (2020). The importance of being European: Airbus and West German industrial policy from the 1960s to the 1980s. *Journal of Modern European History*, 18(1), 63–78. <https://doi.org/10.1177/1611894419894475>
- Alinaghian, L., & Razmdoost, K. (2018). How do network resources affect firms' network-oriented dynamic capabilities? *Industrial Marketing Management*, 71, 79–94. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2017.12.006>
- Caliari, T., Ribeiro, L. C., Pietrobelli, C., & Vezzani, A. (2023). Global value chains and sectoral innovation systems: An analysis of the aerospace industry. *Structural Change and Economic Dynamics*, 65, 36–48. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.strueco.2023.02.004>
- Chovančík, M. (2018). Defense industrialization in small countries: Policies in Czechia and Slovakia. *Comparative Strategy*, 37(4), 272–285. <https://doi.org/10.1080/01495933.2018.1497321>
- d'Armagnac, S., Al Ariss, A., & N'Cho, J. (2021). Talent management in turbulent times: Selection, negotiation, and exploration strategies for talent management in the aeronautics and space industries. *International Journal of Human Resource Management*, 0(0), 1–29. <https://doi.org/10.1080/09585192.2021.1879205>
- Gerencia de Producción. (2007). *Situación del programa T-34C-1*.
- Guapacaza, P. (2019). Escuela Superior Militar de Aviación “Cosme Rennella Barbatto.” *Sobrevuelo*, 16, 7–11.
- Hobday, M. (1998). Product complexity, innovation and industrial organisation. *Research Policy*, 26, 689–710.
- Holtström, J. (2022). Business model innovation under strategic transformation. *Technology Analysis and Strategic Management*, 34(5), 550–562. <https://doi.org/10.1080/09537325.2021.1914329>
- Játiva, M. (2007). *Hitos históricos CID DIAF*.
- Karunakaran, C. S., Babu, J. A., & Sheriff, J. K. (2020). Indian MRO industry: Business retention and development opportunities pre COVID-19. *Materials Today: Proceedings*, 37(Part 2), 1865–1868. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.451>
- Kazeminia, A. (2021). Unfolding the airbus' strategic growth: A successful case. *Scandinavian Journal of Management*, 37(1), 101137. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scaman.2020.101137>
- Liangrokapart, J., & Sittiwatethanasiri, T. (2023). Strategic direction for aviation maintenance, repair, and overhaul hub after crisis recovery. *Asia Pacific Management Review*, 28(2), 81–89. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apmrv.2022.03.003>
- López, J., Jordá-Borrell, R., Antonio, G., & Cabrera, C. (2015). Application of a regression model to a technology transfer conducts of andalousian aerospace cluster. *Revista de Estudios Regionales*, 103, 189–220. <https://www.researchgate.net/publication/286933408>
- Mamoru, K. (2020). Mechanism of Triple Helix Circulation, Cluster-Engine, and Cluster-Reactor: A Case Study on Greater-Montreal Aerospace Cluster. *Investigación En Economía de Máquinas*. 27, 51, 27–51.
- Nagaraju, S. C., Raghavendra, N. V., Shekar, G. L., & Ahamadulla Khan, P. M.

- (2019). Acquisition of Technological Capability by Firms in the Aerospace Cluster of Bengaluru. *The Asian Journal of Technology Management (AJTM)*, 12(1), 58–69. <https://doi.org/10.12695/ajtm.2019.12.1.5>
- Naghizadeh, M., Manteghi, M., Ranga, M., & Naghizadeh, R. (2017). Managing integration in complex product systems: The experience of the IR-150 aircraft design program. *Technological Forecasting and Social Change*, 122, 253–261. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.06.002>
- Nersisyan, L. (2020). *Russian Combat Aviation: Procurement, Modernization, and Future Outlook*. <http://kremlin.ru/events/president/news/63560/photos#>.
- Pereira, B. A., Lohmann, G., & Houghton, L. (2022). Technology trajectory in aviation: Innovations leading to value creation (2000–2019). *International Journal of Innovation Studies*, 6(3), 128–141. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijis.2022.05.001>
- Rodríguez-Segura, E., Ortiz-Marcos, I., Romero, J. J., & Tafur-Segura, J. (2016). Critical success factors in large projects in the aerospace and defense sectors. *Journal of Business Research*, 69(11), 5419–5425. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.04.148>
- Santos, C., Abubakar, S., Barros, A. C., Mendonça, J., Dalmarco, G., & Godsell, J. (2019). Joining Global Aerospace Value Networks: Lessons for Industrial Development Policies. *Space Policy*, 48, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2019.01.006>
- Simões, P. C., Moreira, A. C., & Dias, C. M. (2020). Portugal's changing defense industry: Is the triple helix model of knowledge society replacing state leadership model? *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 6(4), 1–19. <https://doi.org/10.3390/joitmc6040183>
- Troya, A. (2007). *Problemas presentados durante el desarrollo del Programa T-34C-1*.
- Vértesy, D. (2017). Preconditions, windows of opportunity and innovation strategies: Successive leadership changes in the regional jet industry. *Research Policy*, 46(2), 388–403. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.09.011>
- Vinueza, E. (2006). *Programa de modernización de 12 aviones T-34C-1*.
- Woo, A., Park, B., Sung, H., Yong, H., Chae, J., & Choi, S. (2021). An Analysis of the Competitive Actions of Boeing and Airbus in the Aerospace Industry Based on the Competitive Dynamics Model. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 7(3), 192. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/joitmc7030192>