

Universidad Autónoma de Baja California

Facultad de Ingeniería

Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



Implementación del Estándar Aeroespacial 9145 en el Desarrollo de Productos Nuevos

T E S I S

Que presenta para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS:

Enrique Shakti Acuña Ruiz

Director de tesis:

Dra. Karla Isabel Velázquez Victorica

Codirector de tesis:

Dra. Luz del Consuelo Olivares Fong

Mexicali Baja California, México. 14 de octubre del 2025.

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mi familia, en especial a mi esposa Sofía, cuyo amor, paciencia y aliento hicieron posible este logro; a nuestra hija Melina, que es mi motivación hoy y siempre; y a mi madre Rita, que siempre ha estado presente con su cariño en cada desafío de mi vida.

Agradecimientos

Agradezco a mi directora de tesis, Dra. Karla Isabel Velázquez Victorica, por su constante dedicación y valioso apoyo a lo largo de este proceso académico.

Extiendo mi gratitud al Comité Evaluador de tesis, por su interés, disponibilidad y retroalimentación.

Finalmente, a la Universidad Autónoma de Baja California y a la Facultad de Ingeniería, por brindarme esta oportunidad de crecimiento profesional y personal.

RESUMEN de la tesis presentada por Enrique Shakti Acuña Ruiz como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS. Mexicali, Baja California, México; a 10 de junio del 2025.

Título de tesis: **“Implementación del Estándar Aeroespacial 9145 en el Desarrollo de Productos Nuevos”**.

En la industria aeroespacial, la cual es cada vez más competitiva, es de importancia para sus organizaciones implementar en sus operaciones los últimos estándares y requerimientos de la industria para seguir siendo competitivos en su cadena de suministro y mercado. Por lo que la presente investigación tiene como objetivo desglosar los requerimientos de la metodología Planificación Avanzada de la Calidad de Producto (APQP), la cual ha sido integrada por el estándar aeroespacial 9145, validar su impacto en el proceso de desarrollo de producto y documentar las mejores prácticas derivadas de su implementación en un caso de estudio aplicado en esta industria. La metodología de este estudio exploratorio se fundamentó en cuatro fases: (1) Revisión Teórica, (2) Definición de Requerimientos, (3), Diseño de la Metodología Específica y (4) Resultados y Conclusiones. Como resultados se obtuvo la efectiva implementación de la metodología a través de un análisis cuantitativo, el desarrollo una metodología genérica y una serie de recomendaciones generales que ayudarán a su implementación en distintos proyectos o industrias.

Palabras clave: Industria Aeroespacial, APQP, AS9145, Desarrollo de Productos Nuevos, Calidad.

ABSTRACT of thesis submitted by Enrique Shakti Acuña Ruiz as a partial requirement for the degree of MASTER OF SCIENCE. Mexicali, Baja California, Mexico; June 10, 2025.

Thesis title: **“Implementation of Aerospace Standard 9145 in New Product Development”**.

In the increasingly competitive aerospace industry, it is crucial for organizations to implement the latest industry standards and requirements in their operations to remain competitive within the aerospace supply chain and market. Therefore, the objective of this research is to break down the requirements of the Advanced Product Quality Planning (APQP) methodology—which has been integrated by Aerospace Standard 9145—validate its impact on the product development process, and document best practices derived from its implementation through a case study applied in this industry. The methodology for this exploratory study was based on four phases: (1) Theoretical Review, (2) Definition of Requirements, (3) Design of the Specific Methodology, and (4) Results and Conclusions. As result, the study achieved the effective implementation of the methodology through a quantitative analysis, the development of a generic methodology, and a series of general recommendations that will support its implementation across various projects or industries.

Keywords: Aerospace Industry, APQP, AS9145, New Product Development, Quality.

Tabla de Contenido

	<u>Página</u>
Capítulo 1. Planteamiento de la Investigación.....	9
1.1 Antecedentes	9
1.2 Planteamiento del Problema.....	14
1.3 Justificación.....	15
1.4 Objetivos	16
1.4.2 Objetivo General.....	16
1.4.1 Objetivos Específicos	16
1.5 Hipótesis.....	17
1.6 Preguntas de Investigación.....	17
Capítulo 2. Estado del Arte.....	18
2.1 Desarrollo de Productos Nuevos en la Industria	18
2.2 Gestión de Proyectos	23
2.3 Sistema de Gestión de Calidad (ISO 9001)	26
2.4 Sistema de Gestión de la Calidad en la Industria Aeroespacial (AS9100)	30
2.5 APQP en la Industria Aeroespacial (AS9145).....	33
2.6 Proceso de Aprobación de Piezas de Producción (PPAP).....	35
2.7 Estudio de Cienciometría.....	38
Capítulo 3. Marco Teórico	55
3.1 Objetivos de la Metodología APQP en la Industria Aeroespacial.	55
3.2 Implementación del Estándar Aeroespacial 9145 en la Industria Aeroespacial.	57
3.3 Fundamentos Generales de la Metodología APQP	59
3.4 Proceso de Gestión	65
3.5 Definición de Elementos y Entregables por Fases.....	69
3.5.1 Elementos y Entregables Correspondientes a la Fase 1: Planeación	69
3.5.2 Elementos y Entregables correspondientes a la Fase 2: Diseño y Desarrollo del Producto.....	76
3.6.3 Elementos y Entregables Correspondientes a la Fase 3: Diseño y Desarrollo del Proceso.....	85
3.6.4 Elementos y Entregables Correspondientes a la Fase 4: Validación del Proceso y del Producto	94

3.6.5 Elementos y Entregables Correspondientes a la Fase 5: Producción en Curso, Uso y Servicio Posterior a la Entrega.....	101
Capítulo 4. Metodología.....	106
4.1 Introducción.....	106
4.2 Análisis, Diagnóstico y Recopilación de Información	107
4.3 Evaluación de Requerimientos Externos	110
4.4 Planeación y cronograma del proyecto	112
4.5 Asignación del Equipo Multidisciplinario	114
4.6 Diagrama de Flujo General del Proceso APQP	115
4.7 Definición de Marco Metodológico	117
Capítulo 5. Análisis de Resultados.....	120
5.1 Generación de Elementos, Entregables y Mejores Practicas.....	122
5.1.1 Fase 1	122
5.1.2 Fase 2	128
5.1.3 Fase 3	133
5.1.4 Fase 4	143
5.2 Resultados de las Ejecuciones del Proceso de Producción	147
5.3 Resultados de las Pruebas de Instalación	149
Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones Generales	152
6.1 Conclusiones.....	152
6.2 Recomendaciones Generales.....	154
Referencias	158

Lista de Figuras

	<u>Página</u>
Figura 1. Cantidad de publicaciones por año sobre indicadores de innovación (1980-2015)....	19
Figura 2. Etapas del desarrollo de productos.	22
Figura 3. Los estándares de la IAQG.	33
Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de revisión de literatura.	40
Figura 5. Literatura científica referente a la metodología APQP publicada por año en la industria global manufacturera.	43
Figura 6. Literatura científica referente a la metodología APQP por industria manufacturera. ..	44
Figura 7. Literatura científica referente a la metodología APQP por área de conocimiento en la industria global manufacturera.	45
Figura 8. Literatura científica referente a la metodología APQP publicada por país.	46
Figura 9. Principales autores de literatura científica referente a APQP en la industria global manufacturera.	47
Figura 10. Principales afiliaciones de autores de literatura científica referente a APQP en la industria global manufacturera.	48
Figura 11. Diagrama de temas de tendencia.	49
Figura 12. Diagrama de evolución temática de 1997 a 2012.	49
Figura 13. Diagrama de evolución temática de 2013 a 2023.	50
Figura 14. Literatura científica referente a APQP publicada por año en la industria aeroespacial.	52
Figura 15. Literatura científica referente a APQP en la industria aeroespacial publicada por país.	53
Figura 16. Literatura científica referente a APQP en la industria aeroespacial publicada por país.	54
Figura 17. Gráfica que muestra comparación entre el uso de la metodología APQP y su no uso, en función del costo total de la calidad en el tiempo.	56
Figura 18. Los pilares necesarios para una efectiva implementación de los principios de APQP.	57
Figura 19. Principios de la metodología APQP.	59
Figura 20. Proceso de desarrollo de productos y Planificación Avanzada de la Calidad del Producto.	62
Figura 21. Proceso de Escalación APQP.	68
Figura 22. Fases metodológicas.	107
Figura 23. Elementos cubiertos en la documentación interna segregados por las fases 1 a 5 de la metodología APQP.	109
Figura 24. Estructura del cronograma del proyecto e integración de fases, elementos y entregables de la metodología APQP.	113
Figura 25. Metodología genérica en formato de diagrama de flujo del proceso APQP.	116
Figura 26. Diagrama de flujo general para la validación y aprobación de diseño, Elementos Críticos (CI) y Características Claves (KCs).	125
Figura 27. Cronograma resumido por hitos y actividades críticas.	127
Figura 28. Análisis de capacidad de maquinaria compartida con otros clientes.	136

Figura 29. Recomendaciones de entradas para la elaboración del PFMEA en base al estándar aeroespacial 13004.....	138
Figura 30. Carta recibida de un proveedor convertida en formato para confirmar su capacidad de producción de acuerdo con la demanda del programa.	141
Figura 31. Resultados de las pruebas de instalación.....	150
Figura 32. Fallos del producto en la prueba de instalación segregados por departamentos. ...	151
Figura 33. Formato recomendado del documento controlado usado para integrar y documentar entregables y evidencias de los elementos APQP.	157

Lista de Tablas

	<u>Página</u>
Tabla 1. Aspectos y hallazgos por autor con relación al desarrollo de productos nuevos.	21
Tabla 2. Definición de gestión de proyectos.	24
Tabla 3. Definición de Calidad.	27
Tabla 4. Ventajas de la implementación de la norma ISO 9001:2015.	29
Tabla 5. Objetivos del proceso de aprobación de piezas de producción (PPAP).	36
Tabla 6. Elementos del APQP segregados por fases de acuerdo con el departamento o función responsable en base a las recomendaciones de la AIQG.	64
Tabla 7. Elementos aplicables a la unidad de negocio en desarrollo.	111
Tabla 8. Marco Metodológico.....	118
Tabla 9. Análisis de validación de maquinaria.	135
Tabla 10. Resumen del análisis preliminar de capacidad en formato de tabla con datos simulados.....	140
Tabla 11. Indicadores Clave de Rendimiento (KPI).....	148
Tabla 12. Formato recomendado de reporte para pruebas de instalación.	150

Capítulo 1. Planteamiento de la Investigación

1.1 Antecedentes

En el panorama actual de la industria manufacturera, es esencial la planeación para obtener éxito en los objetivos de las organizaciones cuando se intenta introducir una nueva unidad de negocio, así como un nuevo producto o servicio, por lo que, “la planeación eficiente de los procesos de diseño es de vital importancia para cumplir con los plazos y presupuestos” (Eckert y Clarkson, 2010). Así mismo, es importante contar con los mecanismos pertinentes para asegurar la calidad de las salidas o resultados del proceso de desarrollo de productos; por esta razón, las organizaciones usualmente recurren a sistemas de gestión de calidad (por sus siglas en inglés QMS, Quality Management System) que “tienen registros comprobados de mejora en la calidad (de productos o servicios)” (Jain et al., 2013). Un sistema de gestión de calidad “se define como planear y establecer los procedimientos necesarios para documentar los procesos de la organización con el fin de satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes internos y externos” (Natarajan, 2017); en otras palabras, permiten a las organizaciones controlar, gestionar y documentar sus procesos para ayudar a garantizar que los productos se desarrollen y fabriquen dentro de las expectativas de sus clientes. Estos procesos incluyen el desarrollo de productos nuevos, que es imprescindible para las organizaciones que deseen seguir siendo relevantes para sus clientes, industria y el mercado en general.

El desarrollo de productos nuevos se puede definir como “un conjunto de actividades que empiezan con la percepción de una oportunidad de mercado y terminan con la producción, venta y entrega de un producto” (Ulrich et al., 2020), por lo que el desarrollo de un producto nuevo es un esfuerzo sistemático de una organización para satisfacer las necesidades de un mercado o cliente. Un producto nuevo puede tener diferentes clasificaciones según el interés de la parte involucrada; en la industria manufacturera es recurrente conceptualizar que un producto nuevo

puede calificarse en dos categorías, ya sea como productos nuevos desde el punto de vista del cliente y productos nuevos desde el punto de vista de la organización (Kwon et al. 2007); esta clasificación ayuda a determinar las expectativas de cada parte involucrada en el desarrollo de productos nuevos. Es decir, la consideración fundamental al evaluar un producto nuevo es si este puede ofrecer al cliente mejoras significativas en términos de beneficios y conveniencia. Desde la perspectiva de la organización, los productos nuevos pueden ser categorizados como "productos no continuos" o "productos continuos". Los primeros no tienen relación con productos existentes y, por lo general, requieren nuevas inversiones o la creación de un nuevo mercado. Por otro lado, los productos continuos nuevos son versiones mejoradas tecnológicamente que se diferencian de la tecnología original (Kwon, et al., 2007)., o son resultado de una mejora continua en base a la retroalimentación de usuarios o del mercado (Vineela, 2022). Como se mencionó anteriormente, estas diferencias determinarán las expectativas y acuerdos en los requerimientos y recursos necesarios para el desarrollo de estos productos nuevos entre el cliente y su proveedor.

Las organizaciones que busquen un sistema altamente especializado que ayude a desarrollar sus productos nuevos pueden recurrir a integrar en su sistema operativo organizacional, que Páscoa y Tribolet, (2015) definen como una serie de principios que interconectan entradas, procesos y salidas de una organización cuyo propósito es dar a sus recursos un modelo organizacional claro y simple que proporcione los medios para una administración exitosa, la metodología de Planificación Avanzada de la Calidad del Producto (Advanced Product Quality Planning, APQP por sus siglas en ingles) , ya que “es un sistema de calidad que puede comprender una amplia gama de prácticas y habilidades que son esenciales para el éxito y crecimiento de una industria” (Mittal, et al., 2012); por lo tanto, puede ayudar a reforzar los controles de prevención y detección de no conformidades en las etapas tempranas de desarrollo y producción para productos nuevos. Así mismo, esta metodología es útil en estos aspectos dado

que “para diseñar, comprender y dominar la planeación de la calidad del producto a menudo se emplea el concepto de Planificación Avanzada de la Calidad del Producto” (Bobrek y Sokovic, 2005). Con el fin de un correcto uso de la metodología APQP en las fases de diseño y desarrollo de producto, es fundamental que los diseñadores tengan presente sus conocimientos adquiridos y que cuenten con la habilidad de ponerlos en práctica, además de entender qué conocimientos adicionales necesitan y cómo obtenerlos. Para llevar a cabo un diseño adecuado, es importante comprender cómo las acciones de una sección del sistema tienen repercusiones y cómo estas pueden influir en otras partes de este (Gharajedaghi, 2011), esto para evitar retrabajos y revisiones innecesarias al diseño del producto que afecten al desarrollo del producto nuevo en cuestión de tiempo y costo.

En términos generales, “APQP es un método estructurado para definir y establecer los pasos necesarios para asegurar que un producto sea planeado, diseñado, fabricado y lanzado de manera efectiva para satisfacer las necesidades del cliente” (Chhim, et al., 2016) con esto, esta metodología busca garantizar a la organización que el desarrollo del producto nuevos sea eficiente y controlado. Para cumplir con estos objetivos, la metodología APQP expone un conjunto de actividades que deben realizarse en distintas fases del proceso de desarrollo de productos (Rocha y Salerno, 2014). Por consiguiente, la metodología APQP integra todas las facetas en desarrollo de un producto nuevo o unidad de negocio en una organización desde su planeación, diseño, producción y entrega de este al cliente.

Un beneficio notable de la Planificación Avanzada de la Calidad del Producto es “facilitar la comunicación con todos los involucrados para garantizar que todos los pasos requeridos se completen a tiempo” (Bobrek y Sokovic, 2005), donde las partes involucradas se pueden definir como el equipo multidisciplinario de la organización y su cliente; entonces pudiéramos agregar a las ventajas de la metodología APQP, la integración y comunicación efectiva de los equipos multidisciplinarios entre ellos, así como con su cliente en el desarrollo de un producto nuevo o

unidad de negocio, lo que es una interesante ventaja competitiva en el panorama actual de la industria manufacturera y del mercado de consumo, donde la comunicación entre equipos y cliente es decisiva si se desea sobresalir de la competencia en términos de calidad, tiempo y costo.

Mittal et al. (2012), señalan que, a finales de los años 80, un equipo de expertos de Ford, General Motors y Chrysler, los tres principales fabricantes de automóviles de EE. UU. desarrollaron la metodología APQP. Este equipo dedicó cinco años a analizar el proceso de desarrollo y producción de automóviles en los Estados Unidos, Europa y, especialmente Japón en aquel momento. Así mismo, desde que la metodología APQP “fue lanzada a través de un manual de referencia común en julio de 1994” (Chhim, et al., 2016); ha sido referencia para toda la industria manufacturera desde su publicación ya que, debido a la influencia de la industria automotriz y a los expertos de esta, la Planificación Avanzada de la Calidad del Producto se ha vuelto una práctica común en la producción y desarrollo de productos en las grandes empresas multinacionales y en las organizaciones que les proveen (Pulido y Quirarte, 2007).

Más allá del diseño y fabricación de productos en el sector manufacturero; la industria automotriz se encontró con la necesidad de controlar también los procesos de sus proveedores dado que “la calidad final del producto o servicio no solamente depende de el mismo, sino que es el resultado de sus componentes suministrados por sus proveedores” (Rewilak, 2012). Además, sobre este tema Rewilak (2012) añade que, como resultado de esa necesidad, se ha generado la exigencia y necesidad de supervisar los procedimientos de los subcontratistas con el fin de garantizar la calidad de los productos suministrados y cumplir con los plazos de entrega requeridos. Para abordar esta situación, se han creado sistemas formales de gestión de calidad, como el estándar ISO 9001 (Sistemas de Gestión de Calidad – Requisitos), a pesar de esto, los principales fabricantes de automóviles de EE. UU. concluyeron que los requerimientos contenidos en estos estándares no eran suficientes para proteger los intereses de los fabricantes

de automóviles respecto a la calidad y entrega oportuna de los productos necesarios para sus cadenas de suministro. Por lo tanto, la industria automotriz norteamericana, ha desarrollado requisitos adicionales para sus proveedores, que incluyen manuales de calidad, la metodología APQP y el Proceso de Aprobación de Piezas de Producción (Production Part Approval Process, por sus siglas en inglés, PAPP). Estos conceptos como señalan Pop et al. (2018) y Helmold, M., (2023) fueron documentados en 1994 en el sistema de gestión de calidad de la industria automotriz QS9000 (Requisitos del sistema de calidad en la industria automotriz) que actualmente fue reemplazada por el estándar ISO/TS 16949 (Sistemas de gestión de calidad).

Adicionalmente a la industria automotriz, la metodología APQP ha sido aplicada con éxito en diferentes industrias y sectores de producción; Ivert y Jonsson (2010) pusieron en práctica la Planificación Avanzada de la Calidad del Producto en una compañía química que produce, comercializa, vende y distribuye productos químicos. La implementación de la metodología APQP durante el lanzamiento de productos nuevos generó diversos beneficios, entre los cuales se destacó una mayor motivación entre los trabajadores, una comunicación efectiva además de una planeación y previsión adecuadas en los proyectos de desarrollo de productos nuevos. En otro caso documentado, Saux (2006) expone que se empleó planes de control de procesos y herramientas de la Planificación Avanzada de la Calidad del Producto en una organización dedicada a la fabricación de semiconductores de gas, lo que trajo consigo diversas ventajas como la disminución de los desperdicios de material, un cronograma de mantenimiento mejorado y mejoras en los procesos productivos. Así pues, la metodología APQP cuenta con el potencial de tener un impacto transformador en la industria en general puesto que puede proporcionar un sistema para optimizar y estandarizar los procesos de desarrollo de productos nuevos y sus costos asociados, facilitando la alineación de expectativas entre las organizaciones y sus clientes. La identificación y aplicación de mejores prácticas derivadas de la implementación de la metodología APQP pueden no solo elevar los estándares de calidad, sino también acelerar el

tiempo de comercialización al garantizar una gestión más eficiente de recursos y riesgos asociados al desarrollo de una nueva unidad de negocio o de un producto nuevo.

1.2 Planteamiento del Problema

La industria aeroespacial siempre ha tenido el desafío de mejorar su cadena de suministro y sus costos. Desde el inicio de esta industria en el sector comercial, esta se ha apoyado en la estandarización, mejora continua y control estadístico, lo que le ha permitido, junto a una exigencia de seguridad rigurosa, a contar con controles de calidad superiores a otras industrias, además de mejorar sus procesos de planeación, diseño y manufactura en sus componentes y ensamblajes. Para integrar y estandarizar estas herramientas, las organizaciones aeroespaciales bajo el Grupo Internacional de Calidad Aeroespacial (International Aerospace Quality Group, por sus siglas en inglés IAQG) se han focalizado en el éxito de otras industrias, como la automotriz, en el desarrollo e implementación la metodología APQP; por lo que han elaborado el estándar aeroespacial 9145 o AS9145 (Requisitos para la Planificación Avanzada de la Calidad del Producto y el Proceso de Aprobación de Piezas de Producción) para adaptar esta metodología a su industria con el propósito de transformar la forma en que sus productos se desarrollan, se validan y se lanzan al mercado (International Aerospace Quality Group [IAQG], 2025). Este estándar ha pasado de ser una ventaja competitiva que ofrecían las organizaciones a sus clientes como una manera de comprobar la robustez de su sistema de gestión de calidad y de su proceso de desarrollo de productos (Product Development Process, por sus siglas en inglés PDP), a convertirse en un requerimiento indispensable para la industria y sus miembros en los últimos años para seguir siendo atractivos a nuevas inversiones y proyectos, ya que este documento estandariza los requerimientos del proceso de desarrollo de a través del uso de la metodología APQP. El proceso de integrar este estándar, así como aplicarlo correctamente en una organización aeroespacial, es un gran reto en el panorama actual de la industria donde los recursos y tiempo son limitados.

En base a lo anterior y tomando como referencia el estándar aeroespacial 9145, la presente investigación buscar resolver y documentar la ejecución de la metodología APQP en la industria aeroespacial. Considerando esto, y a la incipiente literatura existente respecto a la implementación de esta metodología en el ramo aeroespacial; además de la necesidad de la organización para satisfacer los requerimientos de su cliente, se detecta la oportunidad de aplicar y documentar esta metodología en el desarrollo de productos nuevos en una nueva unidad de negocio en la industria aeroespacial.

1.3 Justificación

La implementación de la metodología APQP y el Proceso de Aprobación de Piezas de Producción en la industria aeroespacial bajo el estándar aeroespacial 9145 ayudará a las organizaciones en su necesidad de mejorar la calidad, reducir costos y garantizar la entrega a tiempo de productos en un entorno donde la precisión y la confiabilidad son críticas. Al implementar el estándar aeroespacial 9145, se establece un marco sistemático que permite anticipar y mitigar riesgos en todas las etapas del ciclo de vida del producto aeroespacial, desde el diseño hasta su producción. Contar con esta capacidad de implementación, más allá de un requerimiento, representa no solo fortalecer la confianza entre cliente-proveedor y asegurar la vigencia de las organizaciones en la industria aeroespacial, sino que contribuye a la excelencia en la entrega de productos que deben cumplir con los más altos estándares de calidad y seguridad, que son aspectos fundamentales en esta industria.

Adicionalmente, una vez que la metodología APQP se implemente en el proceso de desarrollo de producto; el tiempo y costo necesarios para desarrollar una nueva unidad de negocio se verán reducidos. Por lo que el documentar y aportar mejores prácticas para implementar el estándar aeroespacial 9145 puede ser de interés para las organizaciones aeroespaciales que deseen tener relevancia en la cadena de suministro de la industria.

Al ser un requisito nuevo en la industria aeroespacial, así como la falta de literatura y documentación de las mejores prácticas sobre esta implementación; esta investigación toma relevancia en el panorama actual manufacturero regional en el cual la industria aeroespacial tiene importante presencia.

1.4 Objetivos

1.4.2 Objetivo General

Implementar la metodología APQP bajo el estándar aeroespacial 9145 en el desarrollo de una nueva unidad de negocio y de sus productos nuevos, cumpliendo con los requerimientos y expectativas del cliente.

1.4.1 Objetivos Específicos

1. Analizar el sistema de gestión calidad de la organización para detectar los documentos o procedimientos que necesitan ser modificados o creados para implementar el estándar aeroespacial 9145 en el desarrollo de una nueva unidad de negocio.
2. Analizar los requerimientos del estándar aeroespacial 9145 para su implementación.
3. Analizar los requerimientos y entregables de la metodología APQP solicitados por el cliente para la nueva unidad de negocio.
4. Generar y presentar los entregables requeridos por el cliente.
5. Documentar y aportar mejores prácticas que permitan cumplir satisfactoriamente los requerimientos del estándar aeroespacial 9145 y del cliente en el desarrollo de productos nuevos en la nueva unidad de negocio.

1.5 Hipótesis

A través de la implementación del estándar aeroespacial 9145, ejecutando la metodología APQP por lo menos en un 80% en el desarrollo de productos nuevos; se satisfarán los requerimientos de la industria aeroespacial y del cliente en la nueva unidad de negocio.

1.6 Preguntas de Investigación

1. ¿Cómo mejora la metodología APQP a través del estándar aeroespacial 9145 el desarrollo de productos nuevos y/o nuevas unidades de negocio?
2. ¿Cómo influye la metodología APQP a través de estándar aeroespacial 9145 en el sistema de calidad de la organización?
3. ¿De qué manera la metodología APQP a través de estándar aeroespacial 9145 puede reducir el tiempo y costo en el desarrollo de productos nuevos en la organización?
4. ¿De qué manera la metodología APQP satisface los requerimientos del cliente en una nueva unidad de negocio en la industria aeroespacial?

Capítulo 2. Estado del Arte

2.1 Desarrollo de Productos Nuevos en la Industria

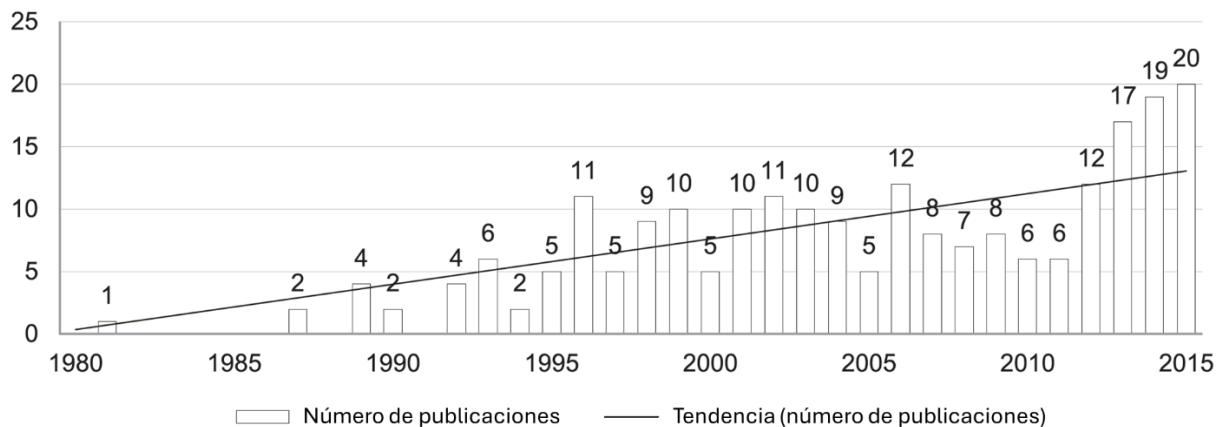
El desarrollo de productos nuevos ha sido un tema de gran relevancia tanto en la economía global y en toda la industria manufacturera ya que, de acuerdo con Jing et al., (2017), representa la vía principal de innovación tecnológica para las organizaciones manufactureras. En el contexto del desarrollo impulsado por la innovación, estas organizaciones deben concentrarse en fortalecer su capacidad de investigación y desarrollo (Innovation and Development, por sus siglas en inglés, I+D) de productos, de manera que puedan adaptarse ágilmente a la creciente necesidad de innovación tecnológica en el pro del desarrollo económico y social. Esto implica que las organizaciones manufactureras deben constantemente elevar sus habilidades y destreza en el desarrollo de productos nuevos con el fin de promover la innovación tecnológica. Esta innovación puede presentarse generalmente como menciona Kahn (2018) en siete tipos de desarrollo de productos: (1) reducción de costo, (2) mejoras de productos, (3) extensiones de línea del producto (nuevas características/opciones agregadas a una oferta de producto existente), (4) nuevos mercados, (5) nuevos usuarios (productos originales posicionados en nuevos mercados), (6) nuevas entradas de categorías (productos que son nuevos para la empresa, pero no nuevos para el consumidor) y (7) productos nuevos para el mundo (innovaciones tecnológicas que crean un mercado completamente nuevo que antes no existía).

Es importante para las organizaciones definir los equipos y a todas las partes involucradas en el desarrollo de productos nuevos puesto que como señala Songhori et al., (2019) “la estructura de los equipos en un proyecto de desarrollo de producto es esencial ya que influye significativamente no solo en el desempeño de los equipos sino también en el desempeño general del proyecto”. Además, se debe de considerar como parte integral de los involucrados a los proveedores pues estos desempeñan un papel crucial en el éxito del desarrollo de productos

nuevos debido a que pueden brindar a las empresas ventajas competitivas en cuanto a la tecnología empleada, mejoras en costos y en los plazos de entrega (Belderbos et al., 2015 citado por Delgado y Díez, 2023). Los proveedores pueden estar involucrados en objetivos específicos y en diferentes niveles en el desarrollo del producto, como ejemplifica Awan et al. (2018) en su investigación; en la cual el compromiso entre el proveedor y cliente fue esencial para la adopción de nuevas prácticas de sostenibilidad (en el medio ambiente).

Medir el desempeño en los desarrollos de productos nuevos y la innovación en esta tarea para asegurar su éxito, se ha convertido en una tendencia en la industria en los últimos años, debido a que como establecen Dziallas y Blind (2018), es fundamental disponer de indicadores precisos que permitan establecer las políticas necesarias (en las organizaciones) y una evaluación precisa de las propuestas presentadas por los diversos solicitantes de proyectos de desarrollo e innovación así como para monitorizar el avance de estos proyectos que reciben recursos. Esta creciente tendencia en establecer indicadores en la innovación y desarrollo por los investigadores está documentada por Dziallas y Blind (2018) en la siguiente figura.

Figura 1. Cantidad de publicaciones por año sobre indicadores de innovación (1980-2015).



Nota. Fuente: Dziallas y Blind (2018) (p.4).

Se puede observar en la gráfica previa que, en los últimos 20 años las publicaciones de investigación en indicadores de innovación aumentan significativamente, con un máximo en el último año (2015) en el que se documentó este indicador por parte de los autores.

El desarrollo de productos nuevos debe ser dinámico y adaptable a las nuevas tendencias globales en las industrias y sus mercados. El concepto de la cuarta revolución industrial que Minhwa Lee (2018) define como un “cambio revolucionario caracterizado por la omnipresente y móvil internet; sensores más baratos, más pequeños y potentes; además de aprendizaje artificial y automático” debe ser integrado al desarrollo de productos nuevos y los modelos de negocio de las organizaciones, debido a que este nuevo paradigma industrial está generando una reconfiguración en la manera en que se crea valor en los productos y servicios, dado que conlleva modificaciones en los desarrollos técnicos y productivos (Ibarra et al., 2018).

En la tabla 1 se comparan los puntos de vista de varios autores respecto a la actualidad y retos en la industria en el desarrollo de productos nuevos.

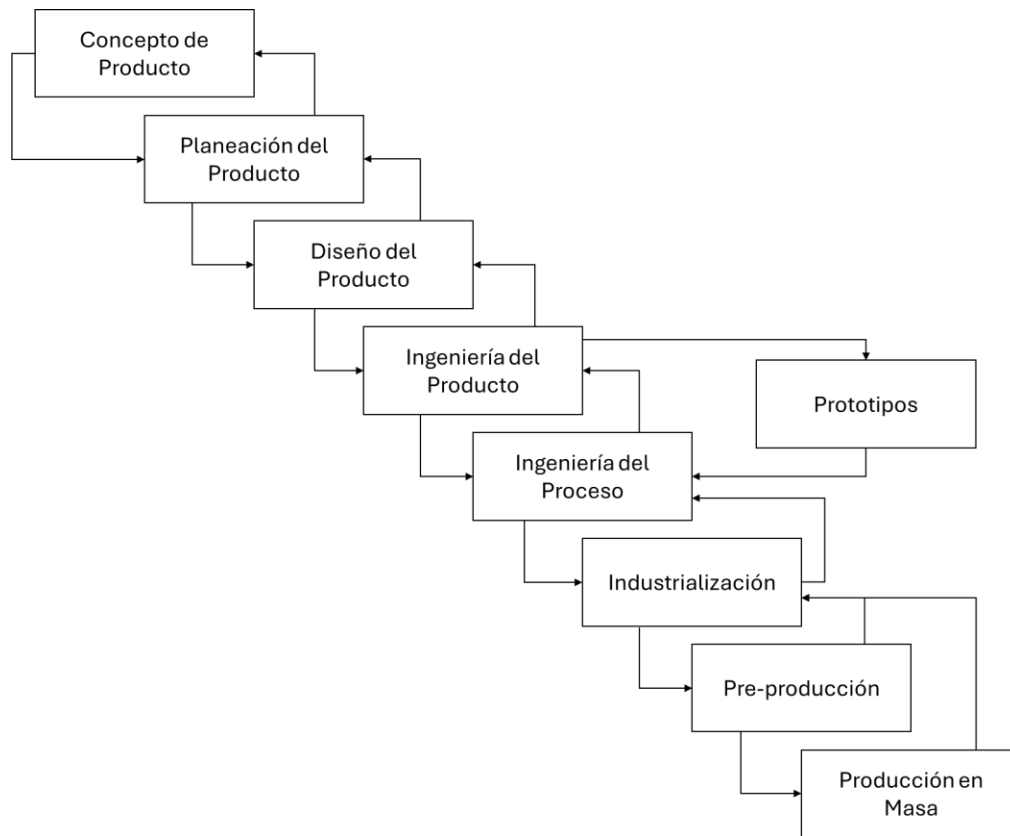
Tabla 1. Aspectos y hallazgos por autor con relación al desarrollo de productos nuevos.

Aspectos	Autores	Hallazgos	Énfasis
Desarrollo de productos nuevos y R&D (Research and Development por sus siglas en inglés) como innovación	Shuwei Jing et al. (2017)	El desarrollo de productos representa la vía principal de innovación tecnológica para las empresas manufacturera	Innovación tecnológica
	Kenneth B. Kahn (2018)	Siete tipos de desarrollo de productos nuevos	Desarrollo de Productos
Equipos y partes involucradas en el desarrollo de productos nuevos	Songhori et al. (2019)	Desempeño del proyecto en relación con el equipo de trabajo	Equipo multidisciplinario en el desarrollo de productos
	Belderbos et al. (2015) citado por Delgado y Díez (2023)	Papel proveedores en el desarrollo de productos nuevos	Proveedores
	Awan et al. (2018)	Relación cliente proveedor	Prácticas de sostenibilidad
Indicadores en desarrollo de productos e innovación	Dziallas y Blind (2018)	Estudio de cantidad de publicaciones por año sobre indicadores de innovación	Tendencia en indicadores de innovación

Nota: La fuente es tomada de varios autores. Elaboración propia.

Referente a la manera de afrontar los nuevos retos y paradigmas en el desarrollo de productos nuevos, los autores Songhori et al. (2019), Belderbos et al. (2015) (citado por Delgado y Díez, 2023) y Awan et al. (2018) coinciden que la integración de todas las partes asociadas en la organización en el desarrollo de productos nuevos es fundamental para el éxito de este proceso y por lo tanto de la organización; dado que, de acuerdo con Jing et al., (2017) un correcto proceso en el desarrollo del producto nuevo puede ser la clave para todo el proceso productivo de este sea exitoso. Tonchia (2018) ejemplifica esta afirmación al definir las etapas generales del desarrollo de productos como se muestra en la figura 2:

Figura 2. Etapas del desarrollo de productos.



Nota. Adaptado de Tonchia (2018) (p.52).

Como se puede observar en la figura anterior, el autor muestra además el flujo de interacción en los ciclos o bucles de retroalimentación entre estas etapas generales y sus funciones responsables dentro del desarrollo para asegurar una mejora continua en la realización del producto y en el cumplimiento de sus requerimientos.

Entonces, se puede afirmar que el desarrollo de nuevos productos afronta hoy un nuevo estatus quo en la manera cómo las organizaciones definen sus desarrollos e innovaciones, conforman e integran sus equipos multidisciplinarios, miden su eficacia y adaptan estos procesos al contexto de la economía global, de la industria y del mercado.

2.2 Gestión de Proyectos

La gestión de proyectos es una herramienta que debe ser utilizada para asegurar el éxito de los planes a futuro y las estrategias de las organizaciones, esto empezó a ser evidente a mediados de la década de los noventa cuando las organizaciones fueron sometidas a una gran presión competitiva para desarrollar productos de alta calidad en un periodo corto de tiempo (Kerzner, H., 2018), por lo que las organizaciones desde entonces han encontrado en la gestión de proyectos, una herramienta eficaz para asegurar la confianza de sus clientes al garantizar el correcto accionar de su proceso de desarrollos de productos nuevos. Esta herramienta no se limita solo al desarrollo de productos, sino que, como menciona Tonchia (2018), los proyectos y programas multiproyectos desempeñan un papel trascendental en todas las organizaciones; ya sean empresariales, industriales o gubernamentales, estos representan los medios para alcanzar los objetivos estratégicos de cualquier organización. Muestra de ello es que organizaciones como IBM, Microsoft, Siemens, Hewlett-Packard (HP) y Deloitte, han entendido que deben ser excepcionales en cuanto a su gestión de proyectos (Kerzner, 2022).

Un proyecto se puede definir como “un esfuerzo temporal emprendido para crear un producto, servicio o resultado único” (PMBOK Guide, 2013, citado por Heagney, 2018), por lo que un proyecto solamente se puede llevar a cabo una vez, si las actividades de este y sus resultados son repetitivos no puede ser considerado proyecto si no como un proceso. De acuerdo con Note (2015), (citado por Garwood, y Poole, 2018), Heagne (2018) y Turner (2022), un proyecto debe ser completado dentro de sus restricciones de tiempo, costo y especificaciones (o alcance) para su éxito; estas restricciones pueden tomarse al mismo tiempo como los objetivos impuestos por las organizaciones o partes interesadas en las salidas o resultados del proyecto para que este sea viable de acuerdo con sus intereses y necesidades. Adicionalmente al criterio del éxito de un proyecto, Koskela (2000) que es citado por Gubinelli et al. (2019) agrega que el éxito de un proyecto se determina mediante la gestión efectiva del contenido, cronograma y costos,

adaptándose a la creciente incertidumbre del entorno, por lo tanto, la gestión de proyectos debe establecer una base que permita un control efectivo y resultados previsibles. Por ende, la clave del éxito de un proyecto reside en su gestión la cual se puede definir en la siguiente tabla:

Tabla 2. Definición de gestión de proyectos.

Autor	Gestión de Proyectos
Dennis Lock (2020)	Es la disciplina que planea, organiza y controla a las personas, dinero y recursos para que un proyecto sea completado exitosamente a pesar de los riesgos.
Project Management Institute, (2008) citado por Santolamazza (2019)	Conjunto de métodos, técnicas, procedimientos, reglas, plantillas y mejores prácticas utilizadas en un proyecto.
Chartered Institute of Building (2006) citado por Fewings y Henjeweile (2019)	Planeación general, coordinación y control de un proyecto desde su inicio hasta su terminación, enfocado a cumplir con los requerimientos del cliente para producir un proyecto funcional y financieramente viable que será completado sin peligro, a tiempo, y dentro del costo autorizado y los estándares de calidad requeridos.
Rowe (2020)	Es identificar los requerimientos del proyecto, planear y definir el trabajo necesario, poner en un cronograma las actividades para completar el trabajo, monitorear y controlar las actividades del proyecto, comunicar el progreso del proyecto a las partes interesadas y finalmente conducir las actividades hasta el final del proyecto.

Nota: La fuente es tomada de varios autores. Elaboración propia.

De acuerdo con las definiciones de los autores expuestas en la tabla 2, se puede deducir que la gestión de proyectos es el método empleado para el cumplimiento de los requerimientos acordados por las partes interesadas en actividades definidas asignando los recursos necesarios y disponibles en un periodo de tiempo determinado y en una secuencia definida que dará un resultado único esperado; en el cual como menciona Gubinelli (2019), se centra la

responsabilidad en un gerente de proyecto. Además, es conveniente mencionar el análisis y mitigación de riesgos o también conocido como gestión de riesgos, ya que esta herramienta “está inexorablemente ligada a la gestión de proyectos” (Nijhuis et al., 2018), dado que esta herramienta incluye los procesos necesarios para llevar a cabo una gestión de planeación, identificación, análisis, implementación de acciones de mitigación y seguimiento a los riesgos asociados al proyecto (Project Management Institute 2009, citado por Acebes et al., 2020).

De acuerdo con Tonchia (2018), las áreas de aplicación de una gestión de proyectos en una organización con enfoque industrial son: (1) desarrollo de productos nuevos, (2) servicio de diseño, (3) contrato o ingeniería bajo pedido, (4) reorganización de la organización y mejora del desempeño, (5) reformas de las administraciones públicas (sector público) y (6) investigación pública, privada y cooperación internacional.

Con relación al desarrollo de productos nuevos, esta actividad puede llevar a varios tipos de proyecto, como Investigación y Desarrollo, Diseño de Producto, Diseño y Construcción de Instalaciones y Lanzamiento de productos (Turner, 2022), lo que confirma la flexibilidad de la herramienta de gestión de proyectos en su aplicación para diversos tipos de desarrollo e industrias.

Considerando que “los productos nuevos se están desarrollando a un ritmo más rápido que nunca” (Kerzner, H., 2018), la gestión de proyectos es considerada como uno de los factores críticos del éxito de esta actividad (Briard et al., 2020). Por esta razón, la gestión de proyectos en el desarrollo de productos (o para cualquier otro fin), solo puede ser satisfactoria y llevarse a cabo con la ayuda de los recursos del equipo multidisciplinario (Tonchia, 2018) debido a que usualmente los proyectos involucran múltiples áreas como diseño, operaciones, ingeniería de manufactura, calidad, finanzas, legal etc. Por lo que un equipo multidisciplinario asegura que cada disciplina aporte su experiencia, evitando vacíos técnicos o errores por falta de perspectiva.

En resumen, la gestión de proyectos debe de ser considerada como un pilar crítico en las organizaciones, puesto que desempeña un papel vital en la obtención de metas estratégicas. Esta herramienta proporciona una estructura sistemática para planear, ejecutar y controlar las actividades requeridas para obtener los resultados esperados, a su vez que mitiga riesgos para la correcta terminación de un proyecto en el tiempo y costo asignados por la organización y su cliente.

2.3 Sistema de Gestión de Calidad (ISO 9001)

La calidad, que es imprescindible en cualquier industria y organización que desee tener éxito en sus operaciones; se puede definir como la capacidad de un objeto de estar conforme a los requerimientos del cliente y aportar valor a este. Este término, que es uno de los temas más recurrentes en cualquier industria; se ha definido por múltiples autores y organizaciones como se muestra en la tabla 3:

Tabla 3. Definición de Calidad.

Autor	Calidad
Betlloch-Mas, et al. (2018)	La calidad implica un conjunto de propiedades inherentes a un producto que permite caracterizarlo y valorarlo con respecto a los restantes de su especie.
Escuela Europea de Excelencia (EEE) (2015) citado por Palma eta al. (2018)	La calidad consiste en aquellas características de producto que se basan en las necesidades del cliente y que por eso brindan satisfacción del producto.
ISO 9000:2015 – Fundamentos y Vocabulario, (2015)	Grado en el que un conjunto de características inherentes de un objeto cumple con los requerimientos.
Montgomery, (2019)	Aptitud para usar.

Nota. La fuente es tomada de varios autores. Elaboración propia.

El concepto de la calidad como se muestra en la tabla anterior está sumamente relacionado a la satisfacción del cliente de las organizaciones y por ende al éxito de estas. Debido a esto, las organizaciones deben de asegurar que la calidad de sus operaciones se adhiera a las expectativas de sus clientes, para este fin, estas suelen utilizar sistemas de gestión de calidad (SGC), dado que son instrumentos utilizados para organizar, supervisar y mejorar las actividades cotidianas llevadas a cabo en las organizaciones (Betlloch-Mas, et al., 2018). Aunado a esto, Palma eta al., (2018) agrega que los sistemas de gestión de calidad son un conjunto de normas y estándares internacionales que integran un modelo entre sí con el propósito de garantizar el cumplimiento de los requerimientos de calidad que una organización necesita para satisfacer los acuerdos establecidos con sus clientes. Si se desea atender la necesidad de gestionar la calidad en las organizaciones, debe de ser una prioridad para estas integrar un sistema de gestión de calidad en su sistema operativo con el fin de obtener éxito con sus clientes, por lo que de acuerdo

con el documento ISO 9000:2015 – Fundamentos y Vocabulario, (2015) “un sistema de gestión de la calidad anima a las organizaciones a analizar los requerimientos del cliente, (así como) definir los procesos que contribuyen al logro de productos aceptables para el cliente”. Entonces, la implementación de un sistema de calidad y su posterior certificación debe ser un desarrollo e integración voluntaria, dada por los deseos, objetivos y políticas de las organizaciones (Bravi et al., 2019).

De acuerdo con Jijón y Anastacio (2018), la evolución de la calidad ha llevado al surgimiento de diversas filosofías, como la Gestión Total de la Calidad (Total Quality Management, por sus siglas en inglés, TQM), que busca ayudar a las organizaciones a cumplir sus objetivos. No obstante, la Gestión Total de la Calidad necesita modelos y pautas que sean adoptados por las organizaciones para lograr los beneficios deseados; en este sentido estos autores señalan que la norma ISO 9001 ampliamente reconocida a nivel mundial, representa uno de esos modelos, fomentando beneficios a través del cumplimiento de sus requerimientos. Se puede añadir que esta norma especifica un modelo de aseguramiento de la calidad para las organizaciones que deseen demostrar su capacidad para controlar sus procesos de diseño y producción de un producto o servicio (Threlfall, 1996, citado por Blasco-Torregrosa et al. 2019) por lo que se puede decir que “valora la capacidad de cumplir con los requerimientos del cliente” (Palma eta al., 2018). Esta norma que, como coinciden Astrini (2018), Unterreiner y Soler (2019) fue lanzada por primera vez en 1987 y que ha sido revisada varias veces desde entonces en los años 1994, 2000, 2008 y 2015; ha demostrado ser una práctica de gestión duradera y en constante evolución. La anteriormente mencionada norma ISO 9001 en su última versión del 2015 (ISO 9001:2015) añade como beneficios potenciales al implementarse los siguientes puntos:

1. La capacidad para proporcionar regularmente productos y servicios que satisfagan los requerimientos del cliente y regulatorios aplicables.
2. Facilitar oportunidades de aumentar la satisfacción del cliente.
3. Abordar los riesgos y oportunidades asociadas al contexto y objetivos de la organización.
4. La capacidad de demostrar conformidad con los requerimientos del sistema de gestión de calidad especificados.

A estos beneficios se les pueden sumar de acuerdo con Mayorga (2016) citado por Vélez y Vélez (2021) ventajas que pueden ser clasificadas como internas y externas de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 4. Ventajas de la implementación de la norma ISO 9001:2015.

Internas	Externas
Mejor estructura en las operaciones (de la organización)	Localización de nuevos mercados
Mejor comunicación y calidad de la información	Mejor imagen exterior
Definición clara de las responsabilidades dentro de la organización	Reducción de las auditorias hechas por los clientes
Conocimiento de las causas reales del (los) problema(s)	

Nota. Adaptado de Mayorga (2016) citado por Vélez y Vélez (2021).

Estas ventajas mencionadas en la anterior tabla han llevado a organizaciones de diferentes alcances, ya sean pequeñas, medianas o grandes, a buscar integrar esta norma a su sistema operativo organizacional; esto se puede confirmar dado que, de acuerdo con Pacana y Ulewicz (2020), “el certificado de cumplimiento de la norma ISO 9001 lo tienen más de un millón de organizaciones en 170 países, y el crecimiento medio anual en el mundo ronda el 15%”. Al ser

una norma ampliamente aplicada por las organizaciones, se puede concluir entonces que el contar con sistema de gestión de calidad robusto que les permita a las organizaciones certificarse en esta norma es de suma importancia para ser atractivos a clientes potenciales y seguir siendo relevantes en sus respectivas industrias.

2.4 Sistema de Gestión de la Calidad en la Industria Aeroespacial (AS9100)

En el año 2012 la industria aeroespacial, que de acuerdo con Prado et al. (2018) “es de los principales sectores económicos a nivel mundial” sus 100 principales organizaciones facturaron 665,970 millones de dólares lo que equivale al 5% del PIB global (PricewaterhouseCoopers, [PwC], 2013); en México es un sector industrial importante con más de 336 empresas asentadas en 18 estados de la república con una representación del 0.7% en el valor del PIB manufacturero (Secretaria de Relaciones Exteriores, [SRE], 2022) y en constante crecimiento, ya que la inversión extranjera directa (IED) desde enero de 1999 a septiembre del 2024 ha sido de 4,457 millones de dólares y en el último año 2024 de 232 millones de dólares; destacando a Baja California Norte dentro de los tres estados con más unidades de fabricación de equipo aeroespacial (Gobierno de México, [GOBMX] 2024); por lo que esta industria, debido a su relevancia, enfrenta la tarea de integrar estándares de seguridad muy exigentes debido a su relevancia mundial. Para los fabricantes aeroespaciales, supervisar su red de subcontratación extremadamente compleja mientras cumplen con las obligaciones de seguridad y calidad representa un gran desafío (Grijalvo, y and Sanz, 2020), como ejemplo tenemos a Airbus, uno de los principales participantes de esta industria, que de acuerdo con Titu y Pop (2019) alrededor del 80% de sus actividades son subcontratadas. Por lo que, la industria aeroespacial espera que sus operaciones subcontratadas sean eficientes, proporcionando la calidad y el rendimiento adecuados a un costo que sea rentable. Esta expectativa presiona a las organizaciones aeroespaciales a que cumplan con los estándares de calidad emergentes en la industria, dado

que el no cumplir con estos estándares podría resultar en la exclusión de la cadena de suministro aeroespacial (Williams et al., 2002, citado por Kumar et al, 2018).

Esta expectativa ha llevado al Grupo Internacional de Calidad Aeroespacial (International Aeroespacial Quality Group por sus siglas en inglés, IAQG), que de acuerdo a Gokhan et al., (2019) tiene como miembros a los principales fabricantes y participantes de la industria aeroespacial y de defensa; a crear el estándar AS9100 (Sistemas de Calidad - Modelo de Aseguramiento de la Calidad en el Diseño, Desarrollo, Producción, Instalación y Servicio) que como mencionan los autores Prado et al. (2018), Titu y Pop (2019), esta norma (AS9100 en América, SIAC 9100 en Asia y EN9100 en Europa) fue creada por la IAQG como una adaptación específica basada en la norma ISO 9001 para la industria aeroespacial, con 83 requerimientos adicionales creados especialmente para las necesidades de esta industria. Este estándar ha sido adoptado por compañías como Boeing, Airbus, Bombardier, Pratt and Whitney, Lockheed Martin, Goodrich, Messier-Dowty, GEAE, Rolls-Royce, entre otros.

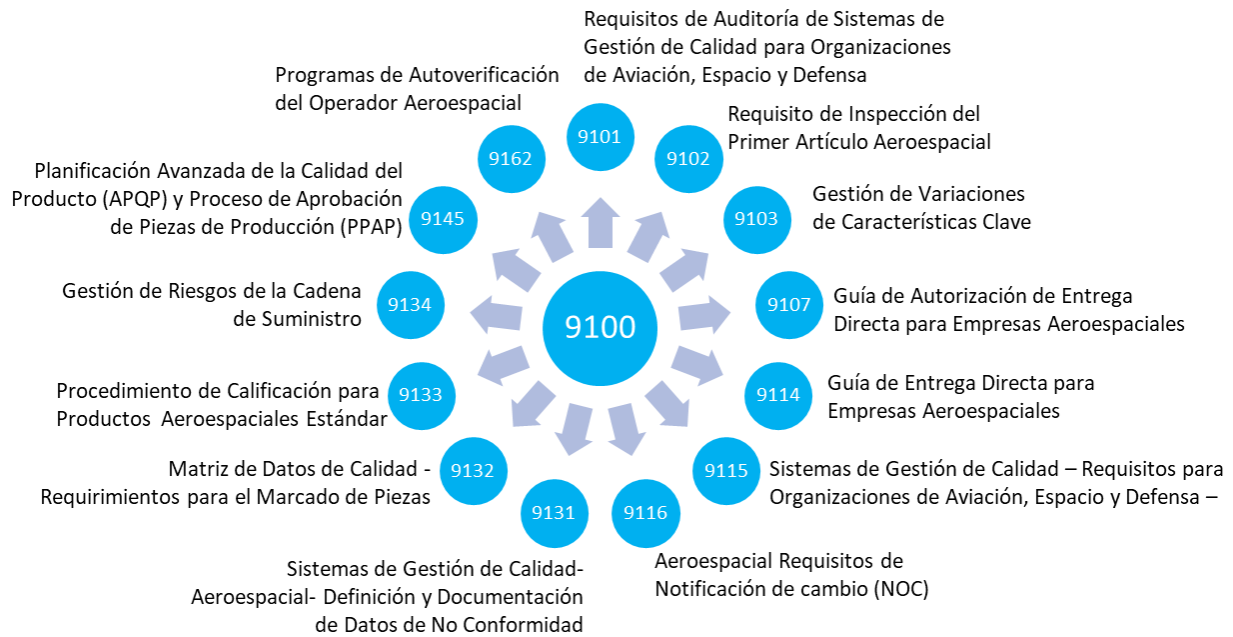
El estándar de calidad aeroespacial AS9100 establece requerimientos en el sistema de gestión de calidad para las organizaciones que forman parte de la industria aeroespacial. Estos requerimientos buscan que las organizaciones demuestren su capacidad para entregar productos de aviación que satisfagan las expectativas del cliente. Las organizaciones que deseen ser relevantes en la industria aeroespacial deben pasar por un proceso de certificación en el cual demuestren conformidad con los requerimientos de este estándar, ya que, de acuerdo con Grijalvo and Prida (2005) que son citados por Grijalvo y Sanz (2020), el cumplimiento del estándar AS9100 ha sido impulsado y supervisado por los principales fabricantes de la industria, por lo que su importancia se ha difundido ampliamente en toda la cadena de suministro aeroespacial. En este sentido, conforme a las regulaciones de la IAQG, no se permite que los participantes de la industria colaboren con un proveedor que no cuente con esta certificación; con esto la IAQG afirma su misión de "establecer y mantener una cooperación dinámica, basada en la confianza,

entre empresas aeroespaciales internacionales" (The International Aerospace Quality Group, [IAQG], 2021).

Los esfuerzos de la IAQG de implementar la norma AS9100 completamente en la industria y que se le dé un correcto seguimiento se ven plasmados en el uso de un portal en línea conocido como Sistema de Información de Proveedores Aeroespaciales en Línea (Online Aerospace Supplier Information System, por sus siglas en inglés OASIS). Esta aplicación web, desarrollada por el Grupo Internacional de Calidad Aeroespacial, alberga detalles acerca de proveedores certificados, historiales de auditorías, organismos de certificación acreditados, auditores y organismos de acreditación en la industria aeroespacial. OASIS registra a los proveedores que han obtenido certificación según las normativas de la IAQG para cumplir con los estándares del sistema de gestión de calidad aeroespacial (Dementyev y Semenov, 2019), esto para facilitar a las organizaciones a seleccionar a sus proveedores aeroespaciales y afianzar la confiabilidad de la cadena de suministro en esta industria.

De acuerdo con Pop et al. (2018) y al propio documento AS9100 (2016), existen otros estándares creados por la IAQG que han sido desarrollados para proporcionar información adicional a las organizaciones que estén estableciendo su sistema de gestión de calidad o busquen mejorarlo; estos estándares se muestran en la figura 3:

Figura 3. Los estándares de la IAQG.



Nota. Adaptado de Pop et al. (2018) (p.4).

Como se puede observar en la figura anterior, este documento engloba estándares para cada necesidad de las organizaciones aeroespaciales. Por lo tanto, se puede concluir que la implantación de un sistema de gestión de calidad guiado por la norma AS9100 debe de ser una prioridad para cualquier organización que espere operar como proveedor en la industria aeroespacial, ya sea como requerimiento reglamentario o para asegurar a sus clientes la satisfacción de sus necesidades.

2.5 APQP en la Industria Aeroespacial (AS9145)

En el año 2016, la metodología APQP fue adaptada y aplicada en la industria aeroespacial bajo el estándar aeroespacial 9145; este documento forma parte de los estándares que están integrados en el estándar aeroespacial 9100. Titu y Cupsan (2022) mencionan que, ya que la industria aeroespacial cuenta con requerimientos y necesidades distintas a las demás industrias, la IAQG ha creado esta versión normalizada de la metodología APQP diseñada para ajustarse a

las necesidades y requerimientos específicos de la industria. De acuerdo con Merriman (2022), “los mayores fabricantes de equipos originales de aviones comerciales y militares están comenzando a imponer estos requerimientos a su cadena de suministro” por lo que la integración de este estándar es un tema de gran interés para las organizaciones aeroespaciales que deseen ser considerados en la cadena de suministro de la industria aeroespacial.

En 2013, la IAQG publicó el Manual Aeroespacial APQP/PPAP (Aerospace APQP/PPAP Manual) en el que se establecen las directrices para la aplicación de la metodología APQP. En el año 2017, se lanza la revisión B de este manual donde se establecen modificaciones significativas, las cuales incluyen cambio de nombres y fusión de algunos de sus elementos, a su vez de una reorganización de estos y de sus entregables. Lo anterior, con el objetivo de alinear el manual con el documento AS9145.

Acorde al Manual Aeroespacial APQP/PPAP (2017), el estándar aeroespacial 9145 fue desarrollado por representantes de los tres sectores que integran la asociación IAQG, los cuales se definen como: Grupo de Calidad Aeroespacial de las Américas (Americas Aerospace Quality Group, por sus siglas en inglés, AAQG), Grupo de Calidad Aeroespacial Europeo (European Aerospace Quality Group, por sus siglas en inglés, EAQG) y el Grupo de Calidad Aeroespacial de Asia Pacifico (Asia Pacific Aerospace Quality Group, por sus siglas en inglés, APAQG). Esto con el objetivo de reducir riesgos antes de la liberación y uso de productos o servicios desarrollados de acuerdo con las características únicas de la industria aeroespacial tales como bajo volumen, ciclos de vida largos, así como altos niveles de regulación.

Al ser un estándar reciente en la industria Aeroespacial, es sumamente importante integrar rápidamente la metodología APQP al sistema de gestión de calidad de las organizaciones que deseen mantenerse vigentes en el mercado, considerando que esta metodología “está destinada a reducir o eliminar los requerimientos internos de las organizaciones alineándolos con los del estándar (AS9145) y con los de otras organizaciones en la industria aeroespacial” (Titu y Cupşan,

2022) por lo que esta integración puede apresurar la asignación a organizaciones como proveedores en la cadena de suministro de la industria.

De acuerdo con Titu y Cupsan (2019), los Fabricantes de Equipo Original (Original Equipment Manufacturer, por sus siglas en inglés, OEM) de la industria aeroespacial han reconocido los logros obtenidos mediante la metodología APQP implementada por los fabricantes pioneros de la industria y han solicitado a sus proveedores que adopten dicha metodología. Mediante esta acción, fabricantes como Airbus que utilizan la metodología APQP, han logrado generar una conciencia sólida en torno a la metodología respaldada por la demostración de éxitos, y han asegurado un continuo crecimiento y desarrollo de esta en la industria aeroespacial.

El estándar aeroespacial 9145 es aplicable tanto al desarrollo de productos nuevos como a aquellos productos existentes que requieren cambios que deben ser planeados, esto puede considerarse en el acuerdo contractual entre el cliente y el proveedor donde se establece el alcance de su aplicabilidad (AS9145, 2016). Los requerimientos establecidos en el estándar tienen como finalidad estandarizar requerimientos en el desarrollo, fabricación y aprobación de un producto (Titu y Cupşan, 2022), mejorar la calidad, evitar retrabajos, así como reducir tiempos y costos de entrega. Por consiguiente, la importancia del estándar aeroespacial 9145 radica en alinear los requerimientos en el proceso de desarrollo de productos desde su inicio hasta finalización; así como las expectativas técnicas y de gestión entre las organizaciones que actúan como proveedores y clientes en la industria aeroespacial.

2.6 Proceso de Aprobación de Piezas de Producción (PPAP)

El Proceso de Aprobación de Piezas de Producción (Production Part Approval Process, por sus siglas en inglés PPAP), es un “proceso que monitorea la ejecución de todas las actividades dentro del lanzamiento de un producto y de un proceso nuevo o modificado” (Balaz et al., 2018) que paralelamente, es un requerimiento que forma parte de las cinco herramientas centrales las

cuales de definen como (1) APQP, (2) Análisis de Modo y Efecto de Falla o AMEF (Failure Mode and Effects Analysis, por sus siglas en ingles FMEA), (3) Análisis del Sistema de Medición (Measurement System Analysis por sus siglas en inglés, MSA), (4) Control Estadístico de Procesos (Statistical process control, por sus siglas en inglés, SPC), y (5) PPAP en la norma automotriz ISO/TS 16949 y por el estándar aeroespacial 9145 (que establece al PPAP como parte integral de la metodología APQP). A su vez, el proceso de implementación y los requerimientos del Proceso de Aprobación de Piezas de Producción están documentados respectivamente en el manual del Grupo de Acción de la Industria Automotriz (Automotive Industry Action Group por sus siglas en inglés, AIAG) PPAP 4ta Edición (2006) y en el Manual Aeroespacial APQP/PPAP (2017) de la IAQG.

Los objetivos del Proceso de Aprobación de Piezas de Producción se pueden definir de acuerdo con los autores mostrados a continuación:

Tabla 5. Objetivos del proceso de aprobación de piezas de producción (PPAP).

Autor	Objetivo
Dian, M. (2019)	Establecer si la organización comprende correctamente todos los requerimientos del cliente en términos de documentos de diseño y si el proceso de fabricación es capaz de producir piezas capaces durante la producción en serie con la capacidad requerida.
Senova et al. (2021)	Definir los procedimientos que rigen el funcionamiento de la aprobación de piezas y componentes para una producción en masa, lo que constituye la base para la certificación y aprobación de los productos y materiales que integran el proceso de fabricación y el control durante la producción.
Balaz et al. (2018)	Garantizar que los productos cumplan con los requerimientos de calidad del cliente, con énfasis en el control de productos y procesos.
Bertoldi et al. (2020).	Solicitar al proveedor que informe que todas las especificaciones solicitadas por el cliente se han implementado en las piezas finales.
Manual Aeroespacial APQP/PPAP (2017)	Demostrar que el proceso de producción planeado tiene el potencial de producir productos que cumplan consistentemente con los requerimientos de diseño y especificaciones.

Nota. La fuente es tomada de varios autores.

Tomando en cuenta las anteriores definiciones, se puede deducir que el propósito del PPAP es servir como evidencia al cliente, que se han implementado las acciones necesarias para satisfacer los requerimientos acordados y establecido los procesos y controles de producción correctos para fabricar un producto con la calidad esperada. Asimismo, los autores Utkarsh, (2020) y Senova et al. (2021) concuerdan que el documento PPAP contribuye a asegurar que los requerimientos del producto, junto a los procesos seleccionados para la manufactura de este, se puedan replicar al ritmo y volúmenes de producción establecidos con el cliente. Este proceso es necesario como mencionan Rudolf y Roszak (2022), en los siguientes casos: (1) para una nueva pieza o producto, (2) en relación con la corrección de no conformidades en un producto previamente enviado al cliente, (3) para un producto modificado por un cambio en los registros de diseño, especificaciones o materiales, (4) en caso de cambios en el proceso de manufactura o lugar de producción del producto, (5) como resultado de un tiempo de inactividad de la producción de más de 12 meses.

Tomando en cuenta los requerimientos de la norma IATF 16949:2016 y el estándar 9145 (2016), la industria automotriz y aeroespacial requieren que las organizaciones cuenten con un proceso PPAP reconocido y aprobado por el cliente para cada producto cumplimiento con los elementos requeridos en sus respectivos manuales; para cumplir con estos elementos es necesario como menciona Somvanshi (2020), el involucramiento del equipo multidisciplinario. En conclusión, el PPAP es fundamental para que un nuevo desarrollo o modificación de un producto cumpla con los estándares de la industria aeroespacial y automotriz; asegurando calidad y consistencia en su producción, fortaleciendo la cadena de suministro de estas industrias y la confianza entre sus organizaciones.

2.7 Estudio de Cienciometría

Este estudio de cienciometría presenta un análisis de la literatura científica referente a la metodología APQP publicadas en las principales bases de datos Scopus y Web of Science en las cuales no se identificaron revisiones sistemáticas ni revisiones sistemáticas exploratorias (scoping review) o estudios de cienciometría. Este estudio cuenta con un segundo nivel de análisis de la metodología APQP en la industria aeroespacial. Dos revisores analizaron la literatura de forma independiente según los criterios de inclusión. La información obtenida se analizó por fecha de publicación mediante gráficos y análisis temático.

Un total de 207 artículos fueron analizados que después de aplicar los criterios de búsqueda, se tomaron en cuenta para este estudio un total de 99 artículos.

2.7.1 Preguntas de Revisión

Las preguntas que se abordaran en este estudio de cienciometría son las siguientes:

1. ¿Qué tendencia tiene la metodología APQP en la literatura científica relacionada a la industria global manufacturera desde su publicación como manual de referencia en 1994 por la industria automotriz?
2. Desde su adopción en 2016 por la industria aeroespacial; ¿qué impacto ha tenido el estándar aeroespacial 9145 y la metodología APQP en la literatura científica?

2.7.2 Método

2.7.2.1 Estrategia de Búsqueda

Se realizó la búsqueda con el objetivo de localizar estudios tanto publicados como no publicados por editoriales científicas. Además, se realizó la búsqueda limitada en las bases de datos Scopus y Web of Science (WoS) para identificar los artículos que contengan las palabras clave descritas en el siguiente apartado 2.7.22 en sus títulos y abstractos. La estrategia de búsqueda, incluyendo

todas las palabras clave identificadas y términos indexados, se adaptará para cada base de datos y fuente de información identificada.

No se toman en cuenta factores demográficos o de idioma. En cuanto a fecha, se tomarán en cuenta los artículos científicos publicados de 1994 al presente, debido a la publicación oficial de la metodología APQP en 1994.

En el presente estudio, se incluyen textos, artículos de opinión y científicos que abarquen en su contenido, estudios y análisis referentes a la metodología APQP y su aplicación en cualquier industria con un segundo nivel de estudio para la industria aeroespacial.

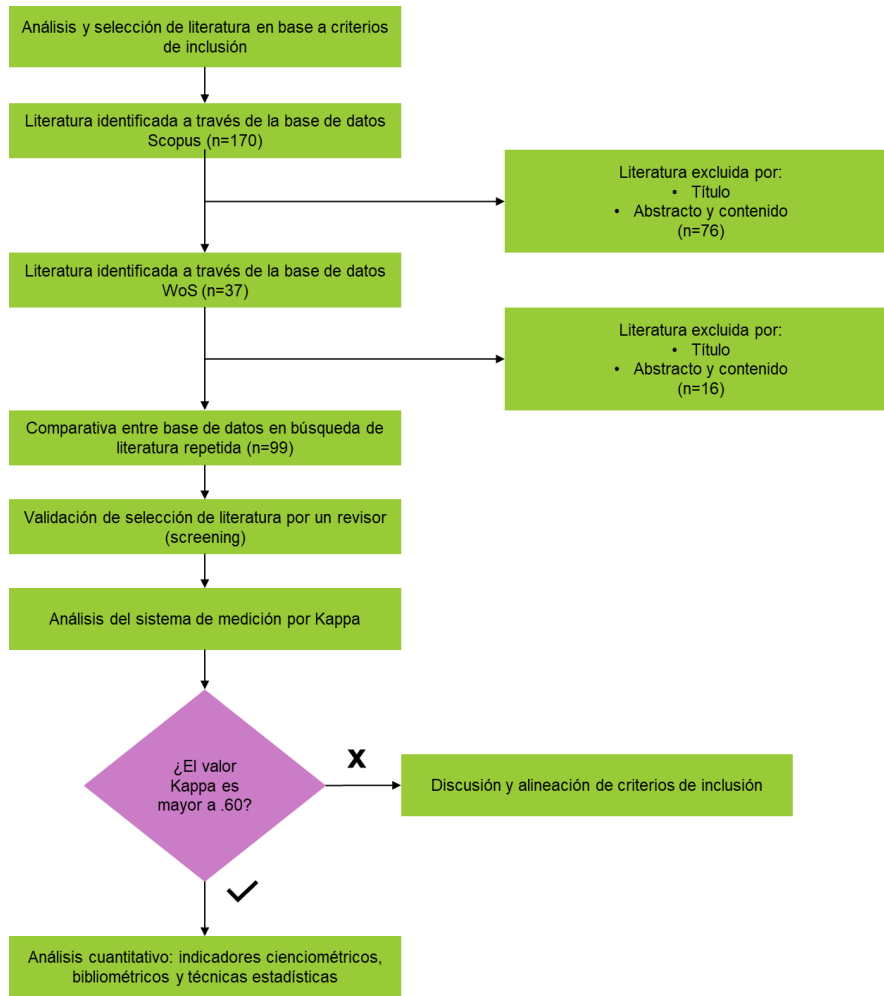
2.7.2.2 Cadena Lógica de Búsqueda

APQP, AS9145, Advanced Product Quality Planning, PAPP, IATF 16949.

2.7.2.3 Procedimiento de Selección de Estudios

Antes de la extracción de datos, se completa la fase de identificación de artículos en las bases de datos Scopus y Web of Science en las que se recuperaron 207 artículos; aplicando los criterios de inclusión descritos en el apartado anterior.

Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de revisión de literatura.



Nota. Fuente: Elaboración propia

La figura 4 muestra el diagrama de flujo de este procedimiento de selección, desde la identificación hasta la elegibilidad. Se identificaron 170 artículos en la base de datos Scopus y se excluyeron 76. En la base de datos Web of Science se identificaron 37 de los cuales se excluyeron 16 en base a los criterios establecidos. Se unificaron los artículos de bases de datos mediante revisión manual con un total de 99 artículos para su posterior análisis.

2.7.2.4 Análisis de Datos

Se utilizaron técnicas bibliométricas para analizar los metadatos de los artículos relacionados con las palabras clave y el año de publicación. Para este análisis se utilizó el software RStudio y Microsoft Excel para el procesamiento de los datos.

De acuerdo con Cobo et al. (2011), para visualizar un panorama general de la evolución temática, se debe primero detectar los temas de interés mediante el análisis de redes de co-palabras. Por lo que, se generaron diagramas de temas de tendencia que presentaban redes de palabras clave basadas en la co-ocurrencia de palabras clave a lo largo de los años.

Un diagrama estratégico es una herramienta utilizada para visualizar los temas más relevantes de un subperíodo específico. Los temas de palabras clave se agrupan basándose en dos parámetros: centralidad y rango de densidad. Según Molina et al., 2014, la densidad mide la relevancia interna de una red de palabras, mientras que la centralidad indica el grado de interacción de una red de palabras con otras redes. Un diagrama estratégico se interpreta según los parámetros de densidad y centralidad (Cobo et al., 2011). Por ejemplo, un tema con alta densidad y centralidad es un área de interés para la comunidad científica en un determinado período de tiempo. Por lo que, de acuerdo con Cobo et al., 2011, un diagrama estratégico mapea los temas de investigación en un espacio bidimensional, clasificados en cuatro categorías:

Los temas primarios (cuadrante superior derecho) están adecuadamente desarrollados y son cruciales para estructurar el campo de investigación.

Los temas básicos y transversales (cuadrante inferior derecho) son importantes, pero aún no están completamente desarrollados.

Los temas emergentes o en declive (cuadrante inferior izquierdo) están débilmente desarrollados y se consideran marginales.

Los temas especializados o periféricos (cuadrante superior izquierdo) están bien desarrollados, pero tienen importancia marginal para el campo.

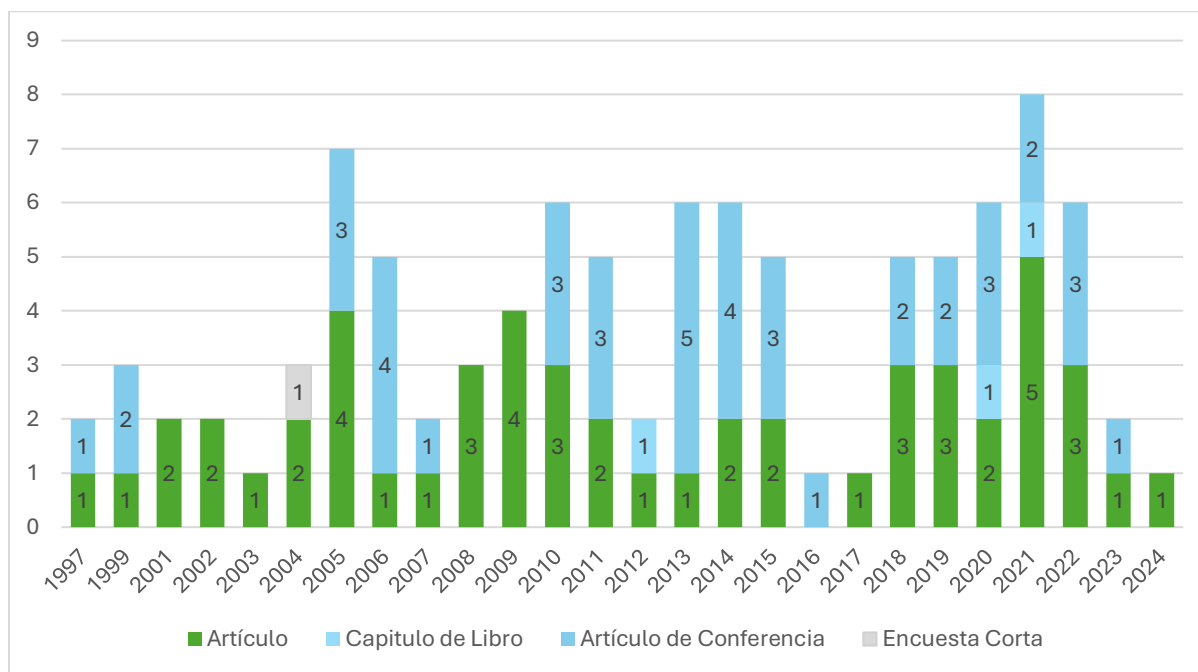
Respecto a los diagramas o gráficas, se optó por un enfoque sencillo de gráficas que permitan el análisis directo de los datos como el diagrama sectorial o gráfica circular, así como la gráfica de barras.

2.7.3 Resultados

2.7.3.1 Análisis de Primer Nivel: Metodología APQP en la Industria Global Manufacturera

La literatura seleccionada para el estudio (n=99), se analizó de acuerdo con (1) literatura científica publicada por año y por tipo de documento, (2) literatura científica referente a la metodología APQP por industria, (3) literatura científica referente a la metodología APQP por área de conocimiento, (4) literatura científica referente a la metodología APQP publicada por país, (5) principales autores de literatura científica referente a la metodología APQP, y (6) principales afiliaciones de autores de literatura científica referente a la metodología APQP.

Figura 5. Literatura científica referente a la metodología APQP publicada por año en la industria global manufacturera.

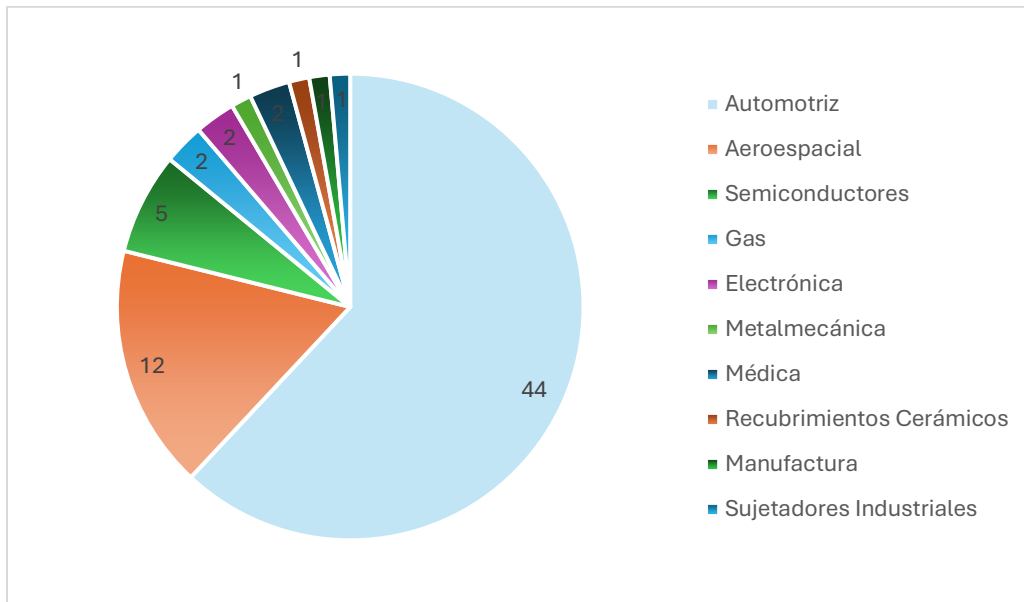


Nota. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la figura 5, la categoría de artículos científicos tiene una mayoría de 53%, seguido de artículos de conferencia con 43%, finalmente los capítulos de libro y encuestas cortas tienen un porcentaje marginal de 3% y 1 % respectivamente.

La siguiente figura 6 desglosa los artículos científicos por industrias las cuales fueron objeto de estudio por temas relacionados a la metodología APQP. De los 99 artículos seleccionados, se descartaron 28 artículos no relacionados con una industria en específico.

Figura 6. Literatura científica referente a la metodología APQP por industria manufacturera.

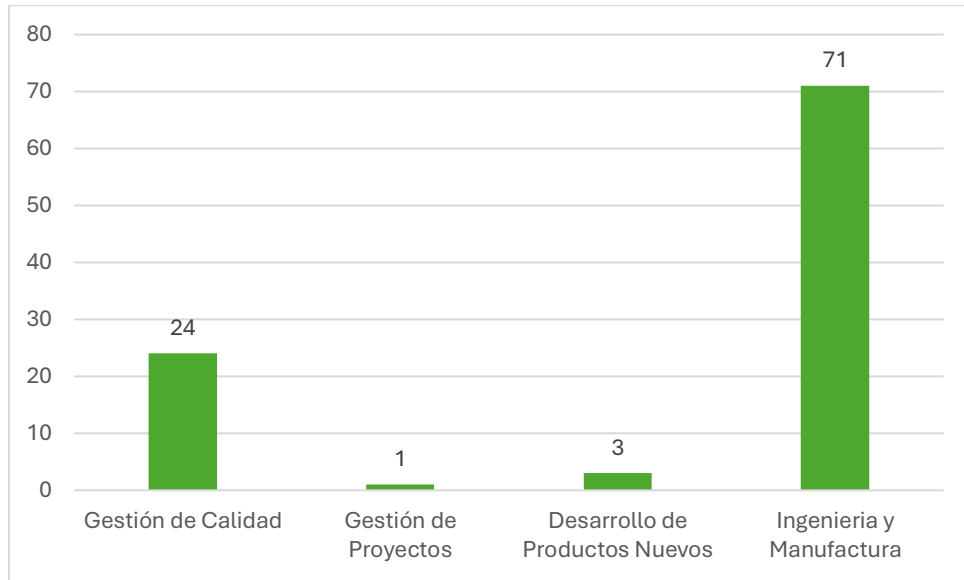


Nota. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura anterior, la industria automotriz cuenta con la mayor proporción de artículos relacionados (62%) lo que se puede considerar un estado común ya que como se ha mencionado anteriormente; la metodología APQP fue creada por esta industria y aplicada desde 1994. La industria aeroespacial es la siguiente industria relevante (17%) ya que desde su adopción en 2016 ha crecido el interés en su integración, por lo que esta investigación es también de interés para su estudio.

Las áreas de conocimiento en la cuales la literatura se ha enfocado respecto a la metodología APQP se pueden segregar en la siguiente figura:

Figura 7. Literatura científica referente a la metodología APQP por área de conocimiento en la industria global manufacturera.

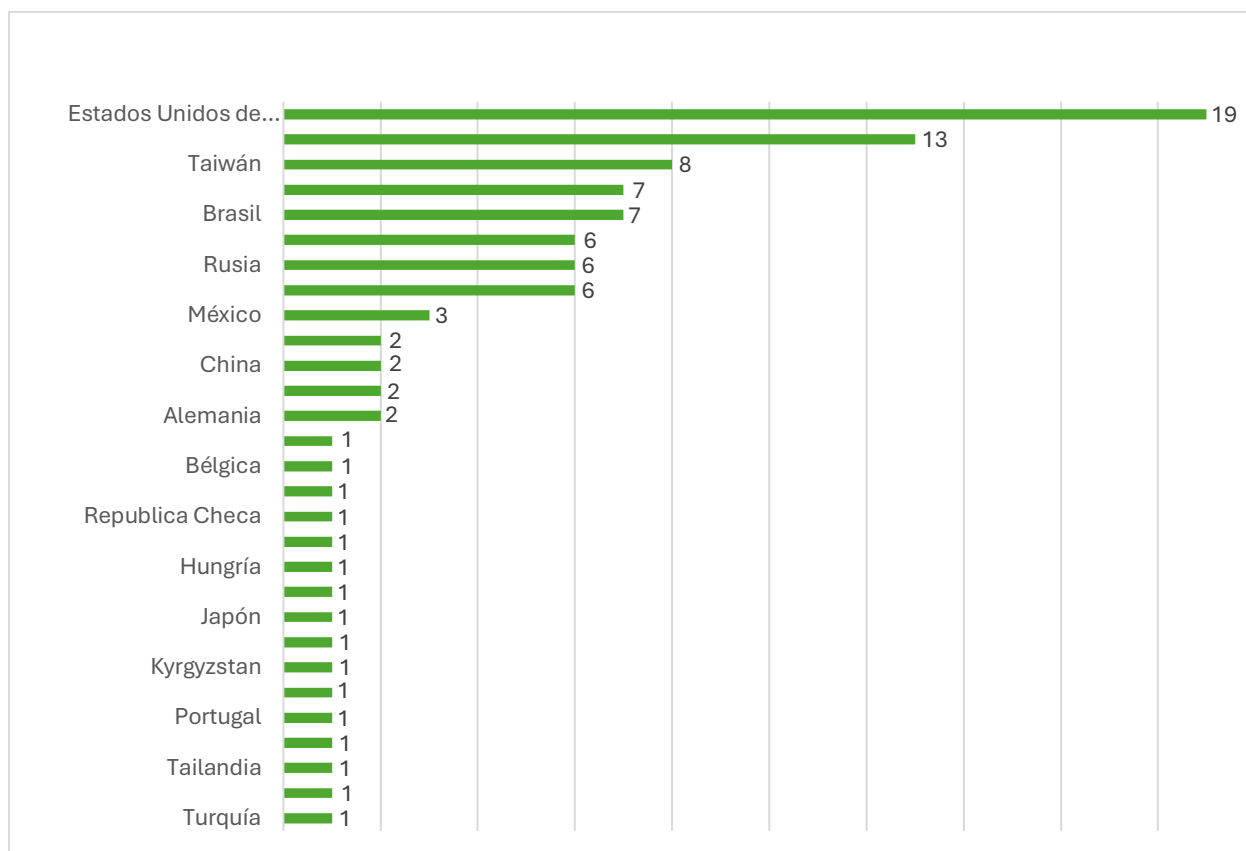


Nota. Fuente: Elaboración propia.

El área de conocimiento con mayor presencia es naturalmente la ingeniería y manufactura (72%), ya que este tema tiene un origen profesionalizante en el área de conocimiento de Ingeniería. La gestión de calidad tiene un peso significativo (24%), debido a que la metodología APQP está destinada a reforzar los sistemas de gestión de calidad de las organizaciones.

Los países con mayor producción de literatura son Estados Unidos De América con 19% seguido de Rumania con 13%, Taiwán con 8%, India y Brasil con 7%, Polonia, Rusia y Reino Unido con 6% como se muestra en la figura 8:

Figura 8. Literatura científica referente a la metodología APQP publicada por país.



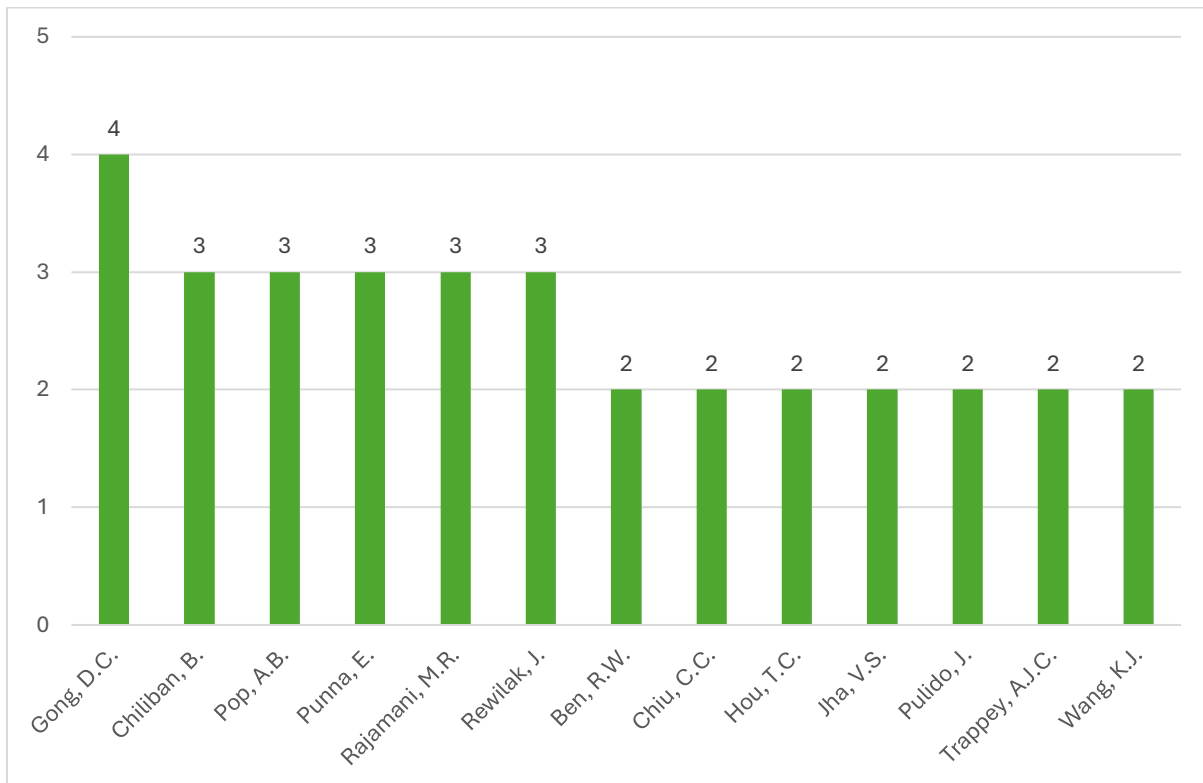
Nota. Fuente: Elaboración propia.

El que EE. UU. este en primer lugar en cuanto a producción de literatura está relacionado a la figura 6 (Literatura Científica Referente a la Metodología APQP por Industria), ya que la metodología APQP fue originada como se mencionó anteriormente en el apartado de antecedentes de este documento, por los tres principales fabricantes de automóviles de EE. UU., por tanto, es de esperar que esta metodología tenga un impacto mayor en la literatura de este país. Es relevante recalcar que México ocupa la novena posición que se puede atribuir a la presencia relevante de la industria automotriz y aeroespacial en el país.

Los autores que más han contribuido a la literatura referente a la metodología APQP son el Dr. Dah-Chuan Gong con 4 artículos publicados seguido de los Doctores Bogdan Chiliban, Alina

Bianca Pop, Eshwaraiah Punna, Mani Rathinam Rajamani y Jan Rewilak con 3 artículos cada uno como se expone en la figura 9:

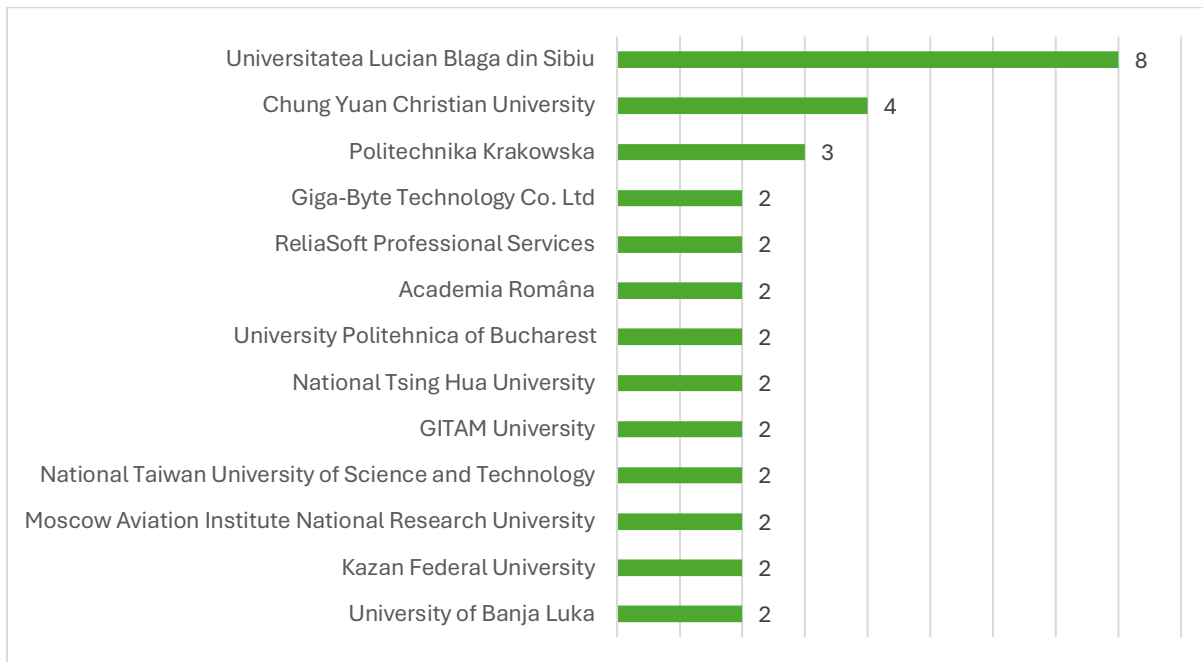
Figura 9. Principales autores de literatura científica referente a APQP en la industria global manufacturera.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Respecto a las afiliaciones con más contribuciones, para este estudio, se consideró en la gráfica de la figura 10 solamente las instituciones que cuenten con 2 o más artículos publicados. Los datos son coherentes con los análisis previos de países con más contribuciones y autores, ya que la Universitatea Lucian Blaga din Sibiu situada en Rumania es la que cuenta con mayor participación que en análisis de artículos con país tiene el segundo puesto en contribuciones (13%) seguida de Chung Yuan Christian University con sede en Taiwán.

Figura 10. Principales afiliaciones de autores de literatura científica referente a APQP en la industria global manufacturera.

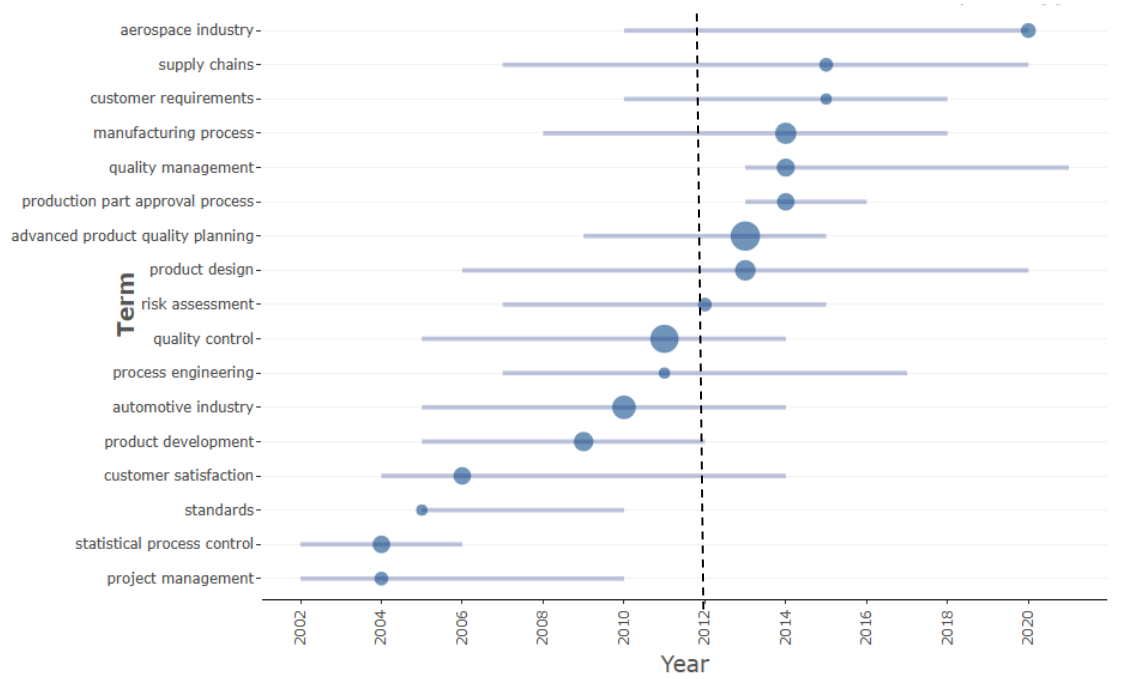


Nota. Fuente: Elaboración propia.

En base a la gráfica anterior se puede establecer que la generación de artículos en los países con más contribuciones como Rumania y Taiwán está parcialmente centralizada mientras que en EE. UU, el país con más literatura producida está totalmente descentralizada ya que ninguna afiliación pasa de una contribución.

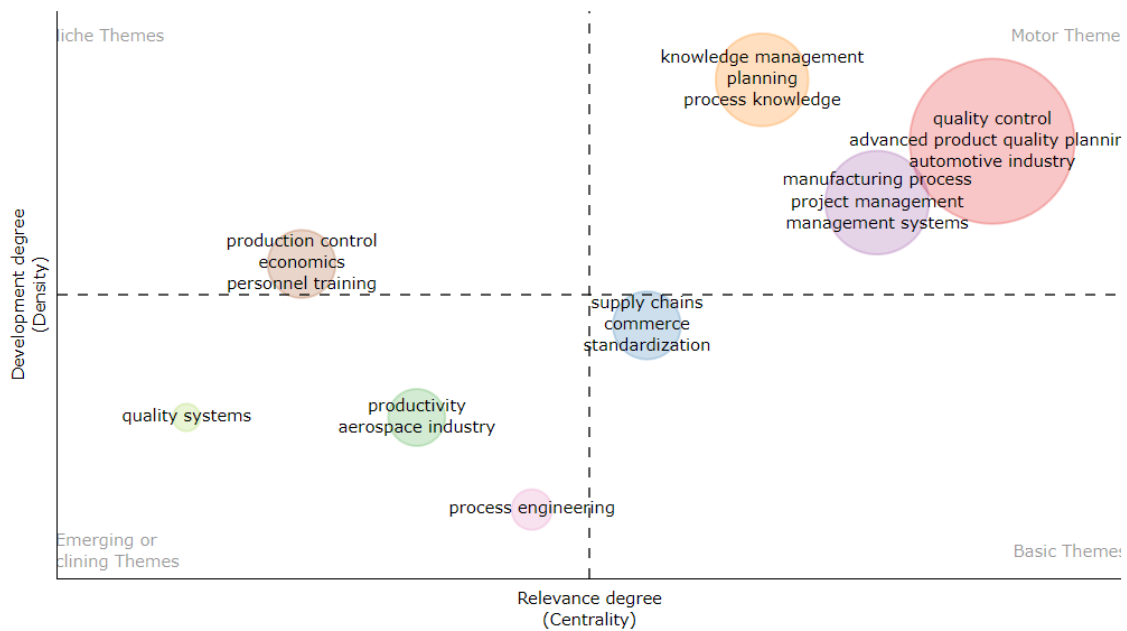
La tendencia de los temas de la literatura publicada referente a la metodología APQP se pueden apreciar en la figura 11 en la cual se identificó que antes del 2012 los temas salientes eran relacionados a la industria automotriz, procesos productivos y control de calidad, y después del año 2012 los temas se enfocan en la industria aeroespacial, cadena de suministros, requerimientos del cliente, diseño de productos y gestión de calidad; temas de relevancia actual y que la industria manufacturera está enfocada en mejorar. Por lo que se optó este año como punto de corte para el diagrama estratégico que se muestra en las figuras 12 y 13.

Figura 11. Diagrama de temas de tendencia.



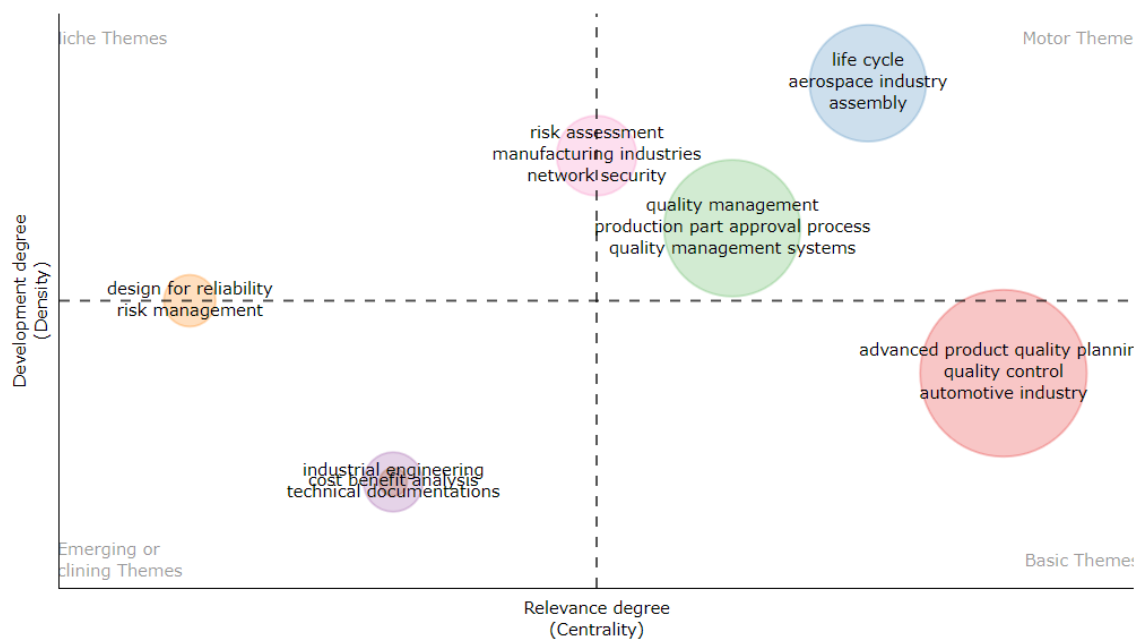
Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Diagrama de evolución temática de 1997 a 2012.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Diagrama de evolución temática de 2013 a 2023.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

El diagrama de evolución temática en la figura 12 corresponde al periodo de 1997 a 2012 y el gráfico 13 al periodo de 2013 a 2023. En el diagrama del periodo 1998-2012, se puede observar cómo los temas relacionados a la industria automotriz, gestión de proyectos, control de calidad y a la gestión de conocimientos que se define como “un marco para diseñar estrategias, estructuras y procesos organizacionales para que una organización pueda utilizar lo que sabe para aprender y crear valor económico y social para sus clientes y comunidades” (Awad, 2007, citado por Jasin, M, et al., 2024) son temas impulsores en la literatura (cuadrante superior derecho) algo que puede considerarse lógico, ya que en los inicios de la metodología APQP (1994) estos temas fueron los cimientos al estudiar este tema dado que estos se refieren a sus orígenes (industria automotriz) y a su objetivo (control de calidad). En contraparte, se puede observar como en el diagrama del periodo 2013-2023 han aparecido los temas como gestión de calidad (que paso en el diagrama del periodo 1998-2012 de tema emergente a tema impulsor en este periodo), ciclo de vida (del producto) e industria aeroespacial. Esto se debe como se mencionó anteriormente,

a los nuevos temas de relevancia e interés actual en la industria manufacturera global y a la adopción de la metodología APQP por la industria aeroespacial en 2016 como tema de investigación. Como nota importante, tenemos en este periodo la evaluación de riesgos como tema con centralidad entre los temas de especializados con los temas impulsores, esto es explicable con el creciente interés de esta herramienta en los últimos años por la industria manufacturera.

En temas básicos (cuadrante inferior derecho) podemos observar temas como la cadena de suministro y la estandarización en el diagrama del periodo 1998-2012 son temas con alta centralidad ya que estos han sido temas básicos de interés dentro de la metodología APQP. Por su parte, en el diagrama para el periodo 2013-2023 se pueden observar cómo temas básicos (control de calidad e industria automotriz) los temas considerados impulsores en el diagrama del periodo 1998-2012, puesto que estos temas pasaron a formar una base importante para el estudio de la metodología APQP.

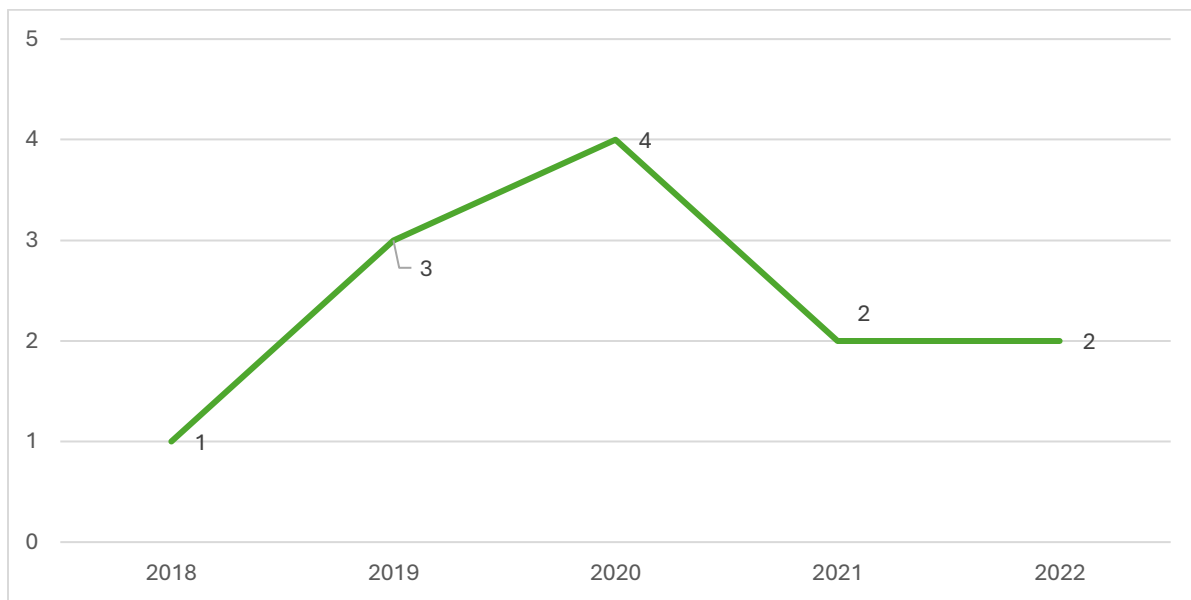
Los temas especializados o periféricos (cuadrante superior izquierdo) se caracterizan por tener alta densidad y baja centralidad; es decir que, aunque están debidamente desarrollados, tienen poca interacción con otros temas presentes en la literatura. Estos temas debido a su poca relevancia, se puede observar cómo han desaparecido de un periodo a otro.

Finalmente, en temas emergentes (cuadrante inferior izquierdo) en el diagrama del periodo 1998-2012, podemos observar como punto más significativo, que en este diagrama se tiene la industria aeroespacial como tema emergente, pero en el diagrama del periodo 2013-2023 se tiene como tema impulsor, esto debido a su adopción del APQP en la industria aeroespacial como estándar.

2.7.4 Análisis de Segundo Nivel: Metodología APQP en la Industria Aeroespacial

El siguiente análisis compete a la literatura disponible referente a la metodología APQP en la industria aeroespacial. Como se puede observar en la figura 14, 11 artículos han sido publicados desde el 2016.

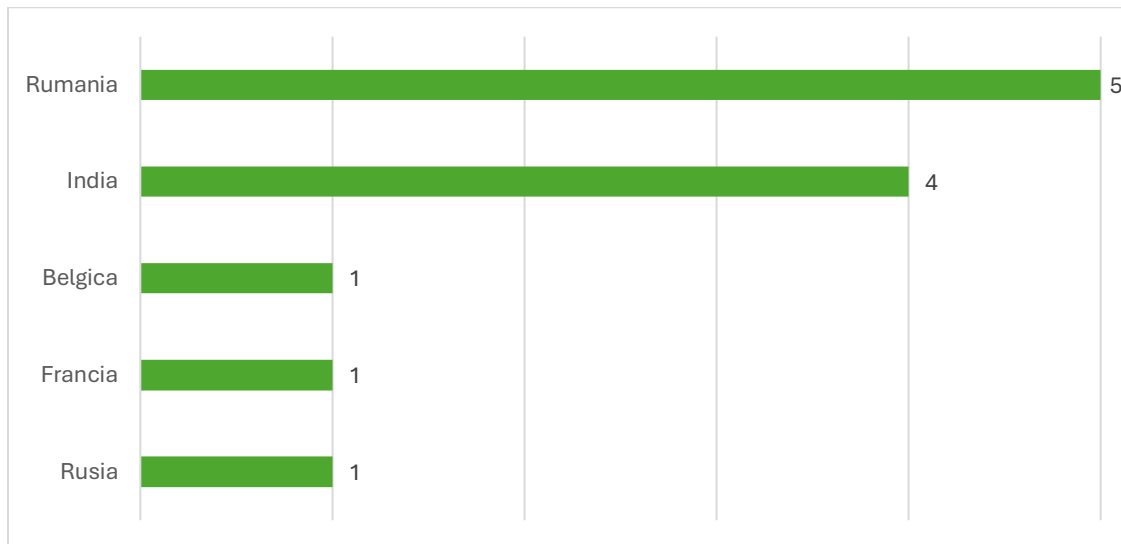
Figura 14. Literatura científica referente a APQP publicada por año en la industria aeroespacial.



Nota. Fuente: Elaboración propia

De estos 11 artículos Rumania vuelve a tener una importancia relevante como en el análisis anterior de literatura global, pero esta vez como primer puesto con 42% del total seguido de India con 33%; esto también se ve reflejado en la siguiente figura:

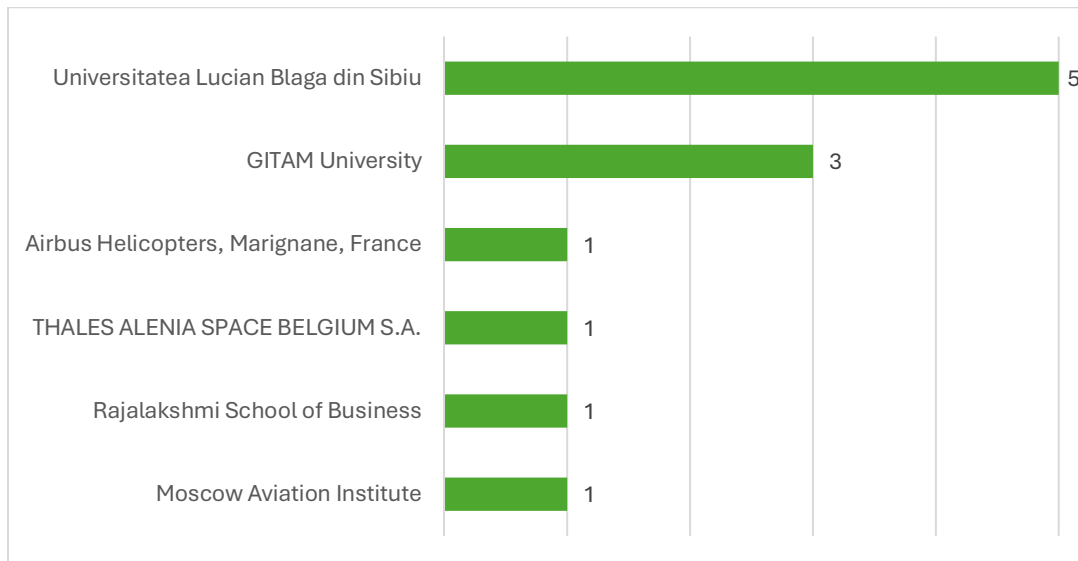
Figura 15. Literatura científica referente a APQP en la industria aeroespacial publicada por país.



Nota. Fuente: Elaboración propia

La relevancia de Rumania e India se ve reflejada en las aportaciones por afiliaciones de autores como se establece en la figura 16, ya que la Universitatea Lucian Blaga din Sibiu y la GITAM University están situadas en Rumania e India respectivamente.

Figura 16. Literatura científica referente a APQP en la industria aeroespacial publicada por país.



Nota. Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el análisis presentado, la metodología APQP ha tenido un impacto moderado en la literatura científica, ya que cuenta con un número limitado de artículos desde su publicación en 1994. La literatura se ha enfocado en la parte de ingeniería y gestión de calidad, pilares de esta metodología; las industrias con mayor impacto son la automotriz y aeroespacial, algo esperado ya que son las únicas industrias que han adoptado esta metodología en los requerimientos de sus sistemas de gestión de calidad. Por último, la literatura cuenta una tendencia a temas relevantes en todas las industrias en los últimos años como la cadena de suministro, requerimientos del cliente y diseño de producto.

De acuerdo con el segundo nivel análisis, se puede deducir que la investigación de la metodología APQP integrada en el estándar aeroespacial 9145 en la literatura no ha tenido un gran impacto desde su adopción por la industria aeroespacial, por lo que se detecta la necesidad de generar más literatura que estudie la aplicación de esta metodología y su impacto en esta industria y sus organizaciones.

Capítulo 3. Marco Teórico

3.1 Objetivos de la Metodología APQP en la Industria Aeroespacial.

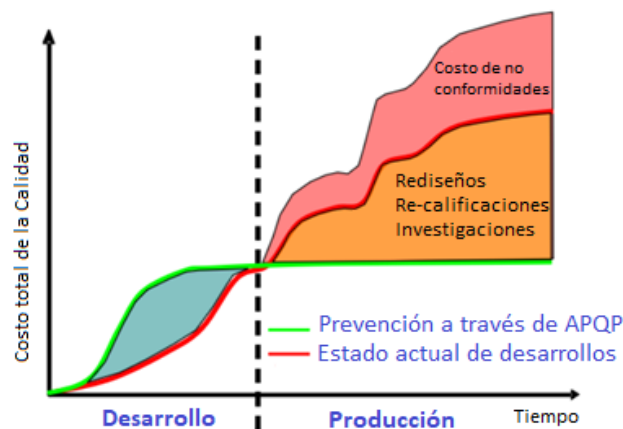
El Manual Aeroespacial APQP/PPAP (2017) menciona que el objetivo de la metodología APQP es garantizar que los productos nuevos cumplan con las necesidades y expectativas del cliente, por lo que su alcance abarca el cumplimiento tanto de los requerimientos del producto como el plazo y la entrega de este. Para lograr esto, es necesario seguir los pasos adecuados en el momento oportuno dentro del proceso de desarrollo del producto. Un proyecto APQP exitoso siempre comenzará con un plan de proyecto detallado que se basa en fechas clave para el cliente; para implementar este plan, se debe utilizar un enfoque de gestión de proyectos que constantemente identifica y mitiga los riesgos, supervisa el estado de las actividades elementos y entregables, además que eleva los problemas que puedan surgir a la alta gerencia según sea necesario. Este enfoque garantiza alertas tempranas que son efectivas para permitir la entrega oportuna del producto y con la calidad deseada por el cliente.

El objetivo del APQP como sistema “se basa en la optimización de la calidad del producto y tiene un enfoque preventivo” (Titu y Pop, 2021), ya que, al seguir el orden de los elementos de la metodología, se asegura que el desarrollo del producto este siguiendo un proceso adecuado que minimiza el riesgo de errores. Como parte de los propósitos de la metodología APQP, el documento AS9145 (2016) añade que el propósito principal de esta normativa es definir una metodología estandarizada para el desarrollo y fabricación de productos nuevos dentro de los sectores de aviación, espacio y defensa, con el fin de asegurar la entrega puntual de productos de alta calidad que cumplan con los objetivos establecidos en términos de costos y rendimiento. A este propósito general se pueden añadir los siguientes tres propósitos específicos desarrollados por Pop et al.,2022:

1. Utilizar la gestión de proyectos para obtener una entrega de productos oportuna y de calidad mediante el seguimiento de los entregables claves del proyecto.
2. Utilizar un enfoque multidisciplinario para apoyar una participación y comunicación efectivas.
3. Desarrollar un pensamiento proactivo y preventivo.

En términos de costos, al tener un enfoque en la calidad desde las etapas iniciales de planeación del proyecto y desarrollo del producto, se produce una considerable disminución en el costo derivado de no conformidades una vez que el producto ha sido lanzado y a lo largo de su vida útil. La siguiente gráfica muestra una comparativa entre la aplicación de la metodología APQP (marcada en línea verde) y la omisión de esta (marcada en línea roja) en el desarrollo de productos nuevos; además de mostrar la función entre el costo total de la calidad a través del tiempo.

Figura 17. Gráfica que muestra comparación entre el uso de la metodología APQP y su no uso, en función del costo total de la calidad en el tiempo.



Nota. Adaptado de EATON, Advanced Product Quality Planning (APQP) and Production Part Approval Process (PPAP) (2015) (p.13).

En base a la gráfica anterior, se puede concluir que el objetivo de la metodología APQP en la industria aeroespacial es garantizar la calidad en el desarrollo de productos nuevos, causando una reducción de costos desde su diseño hasta su producción, evitando rediseños y recalificaciones (de materiales o de características de diseño) para satisfacer las expectativas de rentabilidad del cliente y de su proveedor.

3.2 Implementación del Estándar Aeroespacial 9145 en la Industria Aeroespacial.

Como estipula el documento AS9145 (2016), la correcta implementación de la metodología APQP debe de contar con el respaldo y compromiso de la alta gerencia de la organización desde el inicio del proceso de desarrollo del producto; así como con la conformación de equipos en el proyecto que incluyan a todas las funciones y partes involucradas, además de procurar que se cumpla con el plan de proyecto acordado para llevar a cabo las actividades necesarias. Por consiguiente, esta implementación debe de estar sustentada como menciona el Manual Aeroespacial APQP/PPAP (2017), en tres pilares tal como se muestra en la figura 18:

Figura 18. Los pilares necesarios para una efectiva implementación de los principios de APQP.



Nota. Adaptado de Aerospace APQP/PPAP Manual (2017) (p.5).

Los pilares presentados en la figura anterior tienen como objetivo la satisfacción del cliente, ayudando a crear las condiciones necesarias para la entrega del producto o servicio con la calidad esperada y en el tiempo de entrega acordado. Estos pilares se definen como:

Compromiso organizacional y apoyo de gerencia. La aplicación de la metodología APQP es una elección estratégica liderada por gerencia que depende del respaldo de toda la organización. Los datos producidos a lo largo del proceso APQP permite a la administración supervisar y controlar el progreso de las actividades relacionadas con el desarrollo de productos nuevos o que requieran modificaciones. Al identificar los riesgos y dar seguimiento al estado de los elementos y entregables de la metodología, se fomenta la toma de acciones y decisiones necesarias para superar los retos que puedan impedir el cumplimiento de los requerimientos necesarios para garantizar la entrega puntual del producto.

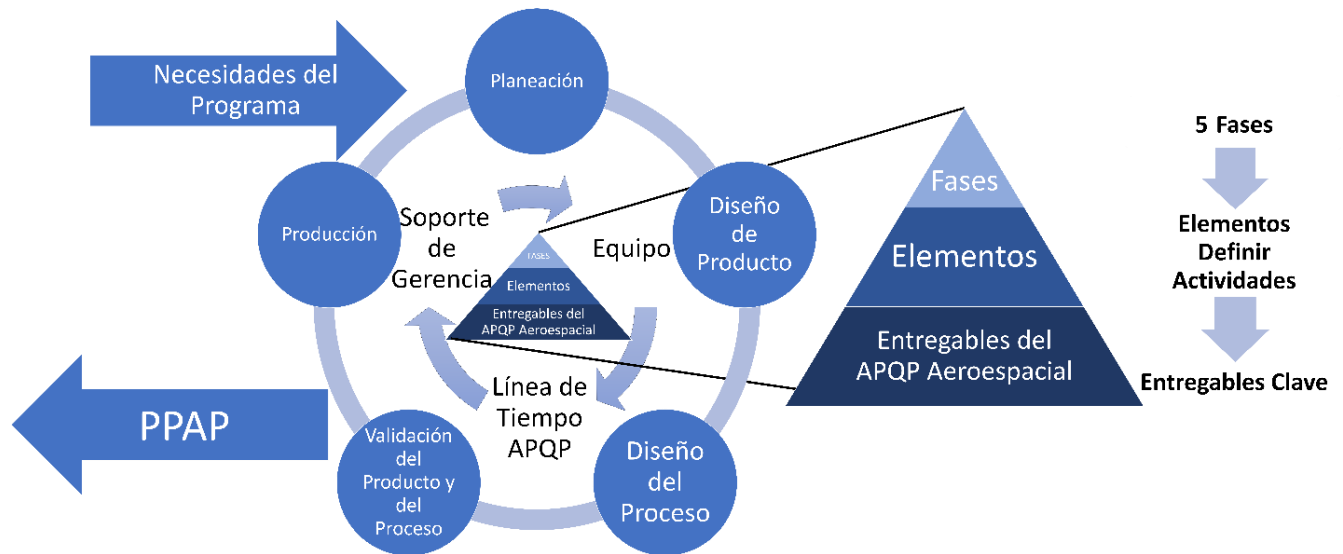
Equipo multidisciplinario. La utilización de equipos multidisciplinarios fomenta la unidad en los objetivos en toda la organización; fortalece el compromiso y la sincronización con el cronograma del proyecto, y asegura una comunicación eficaz entre las distintas funciones. Estos equipos deben contar con representantes de las funciones o departamentos relevantes y de las partes interesadas correspondientes al proyecto en cuestión. Al definir de manera clara las funciones y responsabilidades, el plan general del proyecto asegura el cumplir con las actividades puntualmente.

Planeación efectiva del proyecto. El plan del proyecto o cronograma se fundamenta en los requerimientos del cliente y en las fechas de los objetivos establecidos. Toda la información y actividades claves se deben documentar de manera formal en el plan de proyecto. El avance de este debe supervisarse y ser revisado de acuerdo con el plan acordado.

3.3 Fundamentos Generales de la Metodología APQP

De manera conjunta con los pilares de la metodología APQP, el Manual Aeroespacial APQP/PPAP (2017), puntualiza los principios de esta metodología como fases, elementos y entregables; de los cuales se muestra su estructura en la siguiente figura:

Figura 19. Principios de la metodología APQP.



Nota. Adaptado de Aerospace APQP/PPAP Manual (2017) (p.6).

En la figura anterior se observa como las necesidades del programa (o unidad de negocio) son procesadas a través de estos principios, compuestos por fases, elementos y entregables; dando como resultado de este proceso el documento Proceso de Aprobación de Piezas de Producción en el cual se garantiza que los productos cumplan con los requerimientos y necesidades del cliente. Las definiciones de estos principios de acuerdo con el Manual Aeroespacial APQP/PPAP (2017) son:

Fases. El enfoque principal de la metodología APQP implica la segmentación en cinco fases clave del desarrollo del producto en las cuales actividades específicas deben de llevarse a cabo; estas fases se definen como: Planeación, Diseño y Desarrollo del Producto, Diseño y Desarrollo

del Proceso, Validación del Producto y del Proceso, y, por último, Producción en Curso, Uso y Servicio Posterior a la Entrega. Esta división en fases establece roles y responsabilidades diferenciados entre departamentos como Gerencia de Proyectos, Ingeniería de Diseño e Ingeniería de Producción. Es importante mencionar que, en ocasiones, algunas de estas etapas pueden llevarse a cabo de manera simultánea dependiendo de las necesidades del proyecto y de los acuerdos con el cliente. La conclusión de cada fase está establecida por la terminación de hitos o actividades claves que apoyan el cumplimiento del proyecto.

Elementos. Cada fase se descompone en elementos como subetapas, que suelen seguir un flujo lineal de acuerdo con los requerimientos de cada una de las mismas; aunque en ocasiones, es necesario permitir desviaciones en sus interacciones. Como, por ejemplo, retroalimentaciones entre elementos de diferentes etapas no consecutivas. Los elementos se pueden definir como las actividades que deben ser completados para el cierre de las diferentes fases.

Entregables. Tienen el objetivo de recopilar la información generada por los elementos y son altamente importantes debido a que deben ser documentados, por lo que pueden servir como evidencia ante auditorías. Por definición, los entregables son evidencia que las actividades y requerimientos necesarios para cumplir con los elementos han sido completados.

De acuerdo con los documentos AS9145 (2016) y al Manual Aeroespacial APQP/PPAP (2017). Las fases del APQP se describen de la siguiente manera:

Fase 1: Planeación. El propósito de esta fase es establecer la estructura del proyecto, sus objetivos (técnicos, de calidad y de costo) así como las actividades necesarias para su éxito. Esto mediante la identificación y documentación de las entradas del proyecto tales como requerimientos del cliente, datos históricos, conocimientos previos, regulaciones aplicables, especificaciones técnicas y experiencia organizacional. Durante esta etapa se define el concepto

del producto y del proceso, además se constituye el equipo multidisciplinario y se establece el plan del proyecto.

Fase 2: Diseño y Desarrollo del Producto. En esta fase se convierten los requerimientos técnicos, de calidad y de costos en un diseño de producto controlado, verificado y validado por el cliente y su proveedor. La validación del diseño se alcanza mediante el desarrollo y uso de prototipos, o partes de producción en pruebas que simulan la instalación del cliente y exponen el producto a condiciones extremas que pueden ser requeridas por contrato o regulaciones específicas. Por otra parte, durante esta fase se identifican los procesos de producción preliminares, proveedores potenciales y se evalúa la factibilidad de que el producto pueda ser fabricado de acuerdo con los requerimientos establecidos en el tiempo y cantidad acordados.

Fase 3: Diseño y Desarrollo del Proceso. Durante esta fase es necesario planear, diseñar y desarrollar los procesos y métodos de producción necesarios para que la fabricación del producto sea constante y que satisfaga los requerimientos técnicos, de calidad y de costos mientras se cumple el ritmo de demanda requerido por el cliente. En esta etapa se debe asegurar que los proveedores relevantes en la cadena de suministro entiendan los requerimientos del programa.

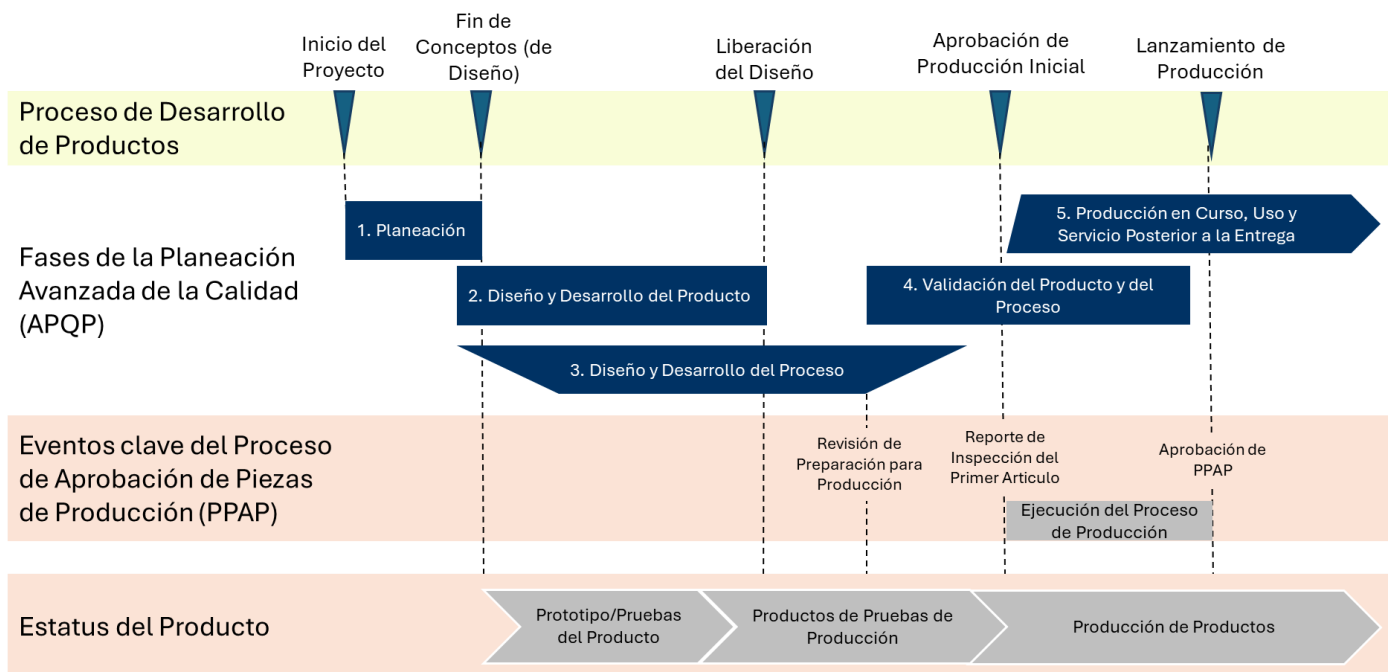
Fase 4: Validación del Producto y del Proceso. El objetivo de esta fase es verificar que el producto cumple con los requerimientos de diseño, y que los procesos de producción demuestren su capacidad para fabricar de manera constante el producto de acuerdo con la demanda del cliente. La validación del producto y su proceso se lleva a cabo mediante la aprobación del cliente del elemento clave PPAP.

Fase 5: Producción en Curso, Uso y Servicio Posterior a la Entrega. En esta fase final, se asegura que los requerimientos del cliente se cumplan a través del tiempo mediante el uso de herramientas como control de procesos, lecciones aprendidas y mejora continua. Del mismo

modo, en esta fase se incluyen actividades que deben ser realizadas después del PPAP como reducción de defectos y costos, así como mejoras en el proceso, producto y su tiempo de ciclo.

Referente al proceso de desarrollo de productos, el estándar aeroespacial 9145 (2016) ilustra este proceso de manera general y como la metodología APQP se integra a través de sus cinco fases a este tal como se expone en la figura 20:

Figura 20. Proceso de desarrollo de productos y Planificación Avanzada de la Calidad del Producto.



Nota. Adaptado de AS9145 (2016) (p.4).

Se puede observar en la figura anterior que la metodología APQP abarca cada una de las etapas del proceso de desarrollo y lo extiende más allá del lanzamiento de producto con actividades relacionadas a servicios posteriores que incluyen mantenimientos, reparaciones y revisiones del producto en servicio, así como la supervisión y evaluación de indicadores claves de calidad.

Con relación a los elementos, estos aseguran el correcto desarrollo del proyecto al supervisar que los entregables claves y sus requerimientos sean proporcionados de acuerdo con las expectativas del cliente y en cumplimiento con los tiempos requeridos por el plan del proyecto. Aunque se sugiere una secuencia a nivel de fases en acuerdo con el documento AS9145 (2016) y al Manual Aeroespacial APQP/PPAP (2017), estos pueden comenzar antes según las necesidades del proyecto o del cliente. La finalización de los elementos se debe supervisar como parte del proceso de gestión del proyecto, puesto que cuando estos se ejecutan de manera oportuna y conforme a los requerimientos de la metodología APQP, se garantiza una entrega del producto con la calidad y en el tiempo esperados por el cliente. La aplicabilidad de estos elementos se establece según el documento AS9145 (2016): “cuando este estándar (AS9145) se transmite como un requisito contractual general, el alcance de aplicabilidad se establece entre la organización y el cliente”. Por lo que la aplicabilidad de cada uno de los elementos de la metodología APQP pueden ser acordadas según sean las necesidades del cliente y de su proveedor.

Es de gran importancia definir el departamento o función responsable de cada uno de estos elementos, por lo cual la IAQG ha emitido sus recomendaciones en el Manual Aeroespacial APQP/PPAP (2017) tal como se resume en la tabla 6:

Tabla 6. Elementos del APQP segregados por fases de acuerdo con el departamento o función responsable en base a las recomendaciones de la AIQG.

Fase APQP	Elemento	Función Responsable
Fase 1: Planeación	Entradas del Proyecto	Departamento de Programas
	Requerimientos de Diseño del Producto	Departamento de Ingeniería de Diseño
	Especificación del Producto del Fabricante	Departamento de Ingeniería de Diseño
	Objetivos del Proyecto: Seguridad, Calidad, Cronograma y Costo	Departamento de Programas
	Lista preliminar de Elementos Críticos y Características Claves del Producto	Departamento de Ingeniería de Diseño
	Lista Preliminar de Materiales	Departamento de Ingeniería de Manufactura
	Diagrama de Flujo del Proceso Preliminar	Departamento de Ingeniería de Manufactura
	Revisión de Declaración de Trabajo	Departamento de Contratos a Clientes o Departamento de Desarrollo de Negocios
	Plan de Abastecimiento Preliminar	Departamento de Desarrollo de Proveedores o Departamento de Compras
	Plan del Proyecto	Departamento de Programas
Fase 2: Diseño y Desarrollo del Producto	Análisis de Riesgos de Diseño	Departamento de Ingeniería de Diseño
	Registros de Diseño	Departamento de Ingeniería de Diseño
	Lista de Materiales	Departamento de Ingeniería de Diseño
	Diseño para Fabricación y Montaje, Tolerancias, etc.	Departamento de Ingeniería de Diseño
	Diseño para Mantenimiento, Reparación y Revisión	Departamento de Ingeniería de Manufactura
	Requerimientos Especiales, Incluidos Elementos Críticos y Características Claves del Producto	Departamento de Ingeniería de Diseño
	Análisis de Riesgos Preliminar del Plan de Abastecimiento	Departamento de Ingeniería de Manufactura
	Especificación de Empaque	Departamento de Desarrollo de Proveedores o Departamento de Compras
	Informe de Revisión de Diseño	Departamento de Programas
	Plan de Desarrollo para la Fabricación del Producto	Departamento de Ingeniería de Manufactura
	Plan de Verificación y Validación del Diseño, y Resultados Asociados	Departamento de Desarrollo de Nuevos Productos
	Evaluación de Factibilidad	Departamento de Ingeniería de Diseño
	Diagrama de Flujo del Proceso	Departamento de Programas
	Plan de Diseño de Distribución de la Planta de Producción	Departamento de Ingeniería de Manufactura
Fase 3: Diseño y Desarrollo del Proceso	Plan de Preparación de Producción	Departamento de Ingeniería de Manufactura
	Análisis de Modo y Efecto de Falla del Proceso	Departamento de Ingeniería de Manufactura
	Características Clave del Proceso	Departamento de Ingeniería de Manufactura
	Plan de Control (Preliminar)	Departamento de Ingeniería de Manufactura
	Evaluación Preliminar de Capacidad	Departamento de Ingeniería de Calidad
	Documentación de la Estación de Trabajo	Departamento de Ingeniería de Manufactura
	Plan de Análisis del Sistema de Medición	Departamento de Ingeniería de Manufactura
	Plan de Gestión de Riesgos de la Cadena de Suministro	Departamento de Ingeniería de Calidad
	Aprobaciones de Manejo de Materiales, Empaque, Etiquetado y Marcado de Piezas	Departamento de Desarrollo de Proveedores o Departamento de Compras
	Resultados de la Evaluación de Preparación para la Producción	Departamento de Ingeniería de Manufactura
	Ejecuciones del Proceso de Producción	Departamento de Ingeniería de Manufactura
	Análisis del Sistema de Medición	Departamento de Ingeniería de Manufactura
	Estudios de Capacidad del Proceso Inicial	Departamento de Ingeniería de Manufactura
	Plan de Control	Departamento de Ingeniería de Calidad
Fase 4: Validación del Proceso y del Producto	Verificación de Capacidad	Departamento de Ingeniería de Manufactura
	Resultados de la Validación del Producto	Departamento de Ingeniería de Manufactura
	Inspección del Primer Artículo	Departamento de Ingeniería de Pruebas
	Proceso de Aprobación de Piezas de Producción	Departamento de Ingeniería de Calidad
	Requerimientos Específicos del Cliente	Departamento de Ingeniería de Manufactura
	Medición de Desempeño	Departamento de Ingeniería de Calidad
	Indicadores Clave de Rendimiento en Mantenimiento, Reparación, Revisión y Plan(es) para Alcanzar los Objetivos Establecidos	Gerente de Programas
	Acciones de Mejora Continua	Departamento de Servicio al Cliente
	Lecciones Aprendidas	Departamento de Ingeniería de Manufactura
		Departamento de Ingeniería de Calidad
	Gerente de Proyectos	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Conforme a la tabla anterior, se puede apreciar de manera práctica la importancia de la integración del equipo multidisciplinario para cumplir con todos los elementos. Es importante mencionar que la función o departamento expuesto por la AIQG tiene un carácter de recomendación y los responsables de cada elemento pueden cambiar de organización a organización dependiendo de la estructura de estas o sus necesidades.

Los entregables de acuerdo con el Manual Aeroespacial APQP/PPAP (2017), son los resultados específicos definidos para cada elemento y estos representan los resultados reales derivados de las actividades del equipo multidisciplinario y sirven como base para evaluar la calidad de los elementos de la metodología APQP. Cada elemento puede necesitar uno o varios entregables para su finalización y es recomendable utilizar formatos estandarizados siempre que sea posible en su realización.

La evaluación de los entregables garantiza el término y cumplimiento de las actividades de los elementos por lo que, para cada uno de estos, existen una serie de listas de verificación recomendadas por la IAQG incluidas en los siguientes documentos SCM (Supply Chain Management Handbook): SCM 7.2.4 (fase 1), SCM 7.2.5 (fase 2), SCM 7.2.6 (fase 3), SCM 7.2.7 (fase 4) y SCM 7.2.8 (fase 5) (IAQG, 2021). Estas listas incluyen un conjunto de preguntas simples diseñadas para obtener respuestas afirmativas o negativas y establecer una escala de calificación. Estas listas de verificación se emplean como método de evaluación de la calidad de los entregables y como vía para documentar evidencia de desviaciones y acciones correctivas.

3.4 Proceso de Gestión

De acuerdo con el Manual Aeroespacial APQP/PPAP (2017), el proceso de gestión de la metodología APQP se puede dividir en 11 actividades principales las cuales se definen en los siguientes puntos:

Identificación del producto. El enfoque de la metodología APQP es adecuado para una variedad de productos, independientemente de su complejidad. Es relevante determinar el tipo de proyecto que se llevara a cabo ya sea desarrollo de producto nuevo o modificación de un producto existente para delimitar el alcance de la metodología. Este alcance además debe basarse en una evaluación de riesgos que abarque tanto el producto como sus subsistemas. Por lo general, las categorías de riesgo incluyen aspectos tecnológicos, procesos de producción, cadena de suministro, criticidad del producto y su nivel de complejidad.

Asignación del equipo. Es esencial identificar de manera formal a todos los miembros del equipo multidisciplinario del proyecto y especificar sus roles dentro de dicho equipo. Las funciones principales comprenden del líder del proyecto, los responsables de los entregables y el líder APQP, que se define como el encargado o responsable de la implementación de la metodología APQP.

Revisión de aplicabilidad de cada elemento. Dependiendo de las características particulares del producto, algunos elementos o entregables pueden no aplicarse. Esta aplicabilidad debe de acordarse entre el cliente y su proveedor.

Identificación de los subcomponentes del producto y creación de la Declaración de Trabajo. Cuando sea necesario, el producto final debe de dividirse en subcomponentes. Además, se definirá una Declaración de Trabajo (Statement of Work por sus siglas en inglés, SOW) para establecer qué se debe hacer y cuándo según las necesidades del proyecto. Esta Declaración de Trabajo formal también determina los hitos clave del proyecto que sirven como base para la planeación de las actividades APQP.

Definición de fabricación o compra de subcomponentes. La decisión de fabricar el producto o sus subcomponentes internamente o subcontratar total o parcialmente, debe tomarse lo antes posible en la fase de planeación.

Definición de requerimientos en secuencia al fabricante. Los requerimientos se transmiten en secuencia para cada producto y/o subcomponente subcontratado. Los requerimientos técnicos se documentan en una especificación, mientras que los no técnicos se detallan en una Declaración de Trabajo. Estos documentos son esenciales para establecer acuerdos entre el cliente y el proveedor.

Actualización de aplicabilidad de cada elemento APQP. La aplicabilidad de los elementos de la metodología APQP deben ser evaluados de nuevo de acuerdo con la retroalimentación del proveedor. Para las actividades que son responsabilidad del proveedor, el responsable de cada una de ellas debe ser identificado y documentado.

Actualización de la Declaración de Trabajo. La formalización de los requerimientos actualizados en la Declaración de Trabajo, que comprenden de los requerimientos técnicos y no técnicos (es decir, los requerimientos APQP), se puede llevar a cabo durante una reunión formal al comienzo del proyecto APQP entre el cliente y su proveedor.

Acuerdo en los tiempos de evaluación basado en riesgos y creación del plan de APQP. Una vez que todas las partes han definido y acordado las actividades, responsabilidades y plazos, el líder de APQP debe de crear el plan de APQP que sienta las bases para determinar la frecuencia de las evaluaciones APQP e integrarlo al plan del proyecto general.

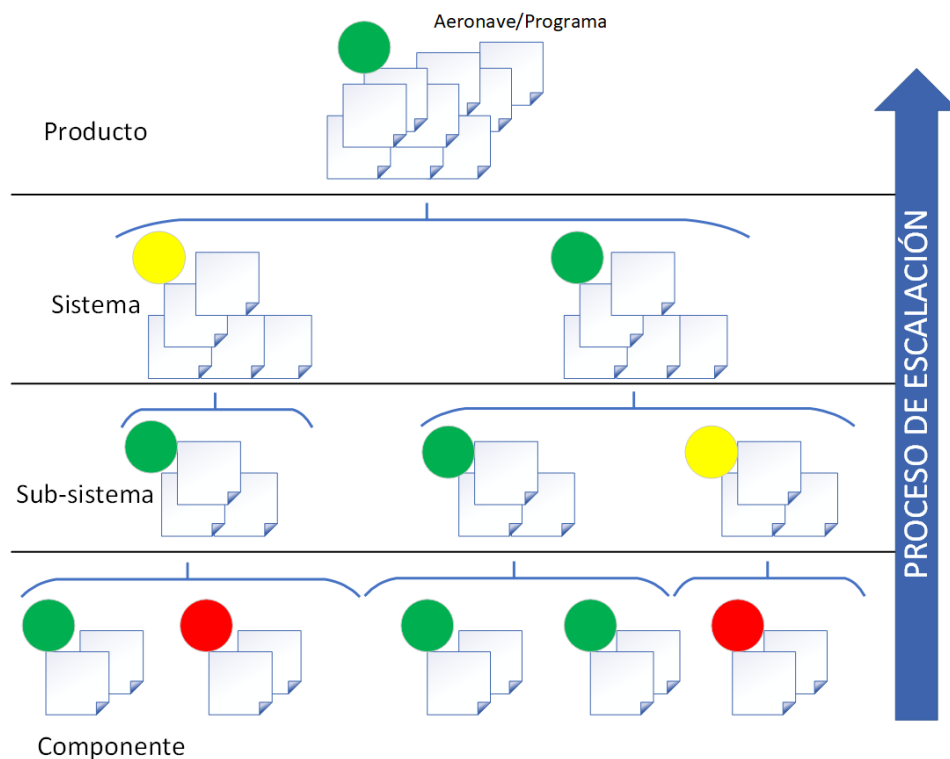
Realizar evaluaciones basadas en las listas de verificación de los elementos. A través de listas de verificación APQP, se realiza una evaluación periódica de la calidad de los elementos y sus entregables para asegurar que se completen a tiempo y con el nivel de calidad esperado.

Escalación de problemáticas, retroalimentación y soporte de gerencia. La gerencia debe recibir reportes periódicos que sintetizan los resultados de estas evaluaciones. La estructura de estos reportes debe ser definida por la organización, pero se debe de mantener de manera simple. Generalmente se proporciona un estado basado en colores (rojo/amarillo/verde) basado

en la evaluación para cada elemento y producto. El estatus de los subcomponentes es agrupado a través del desglose del producto, es decir es evaluado de abajo hacia arriba según sea el nivel del subcomponente.

El impacto de los entregables con evaluación rojo/amarillo son evaluados de abajo hacia arriba, por lo tanto, esta evaluación la realizan en conjunto proveedor y cliente entre los niveles del producto. Cuando un producto llega tarde (rojo/amarillo) el equipo del proyecto necesita crear un plan de recuperación que debe ser compartido al cliente. El equipo de proyecto debe de evaluar el impacto en la entrega del producto afectado hasta llegar al nivel superior del producto para asegurar la entrega a tiempo de este. En la siguiente figura 21 se muestra el proceso de escalación de acuerdo con los niveles o capas del producto:

Figura 21. Proceso de Escalación APQP



Nota. Adaptado de Aerospace APQP/PPAP Manual (2017) (p.12).

Este proceso de escalación y de creación del reporte de evaluación puede ser utilizado dentro de la organización o con proveedores externos. El uso principal de este reporte es detectar posibles retrasos en la cadena de suministro y tener un plan de acción con las acciones requeridas para mitigar las consecuencias en la medida posible.

3.5 Definición de Elementos y Entregables por Fases

Como se definió anteriormente en la sección 2.3 Fundamentos generales del APQP, los elementos son las actividades o pasos necesarios para completar cada una de las fases de la metodología APQP y estos a su vez contienen entregables que se definen como “resultados específicos definidos para cada elemento” (Manual Aeroespacial APQP/PPAP, 2017). Actualmente el documento AS9145 en su primera revisión (2016) y el Manual Aeroespacial APQP/PPAP (2017), cuentan con 47 elementos repartidos en 5 fases (Fase 1: Planeación, Fase 2: Diseño y Desarrollo del Producto, Fase 3: Diseño y Desarrollo del Proceso, Fase 4: Validación del Producto y del Proceso y Fase 5: Producción en Curso, Uso y Servicio Posterior a la Entrega). En los siguientes apartados se definirá de manera general, de acuerdo al Manual Aeroespacial APQP/PPAP (2017), los elementos, entregables y responsables de estos divididos por las fases anteriormente mencionadas.

3.5.1 Elementos y Entregables Correspondientes a la Fase 1: Planeación

3.5.1.1 Entradas del Proyecto

Para maximizar las posibilidades de éxito en el lanzamiento del producto, es fundamental fomentar la participación y el aporte de una variedad de fuentes. La información necesaria para este elemento incluye lecciones aprendidas de diseños previos, experiencia de proveedores, datos de referencia del mercado, la capacidad de fabricación actual, datos internos y externos sobre el rendimiento del producto, información sobre su confiabilidad, datos de garantía y

cualquier otra fuente relevante. Las entradas del proyecto deben provenir de 5 fuentes principales:

1. Requerimientos regulatorios.
2. Necesidades del cliente, tales como actividades clave e hitos del proyecto, volúmenes planeados, el tiempo de vida del programa o unidad de negocio, requerimientos y expectativas del producto y procesos asociados.
3. Desempeño de producto: problemas externos y externos históricos de productos similares, requerimientos de calidad, técnicos y de confiabilidad.
4. Lecciones aprendidas: mejores prácticas, gestión de proyectos, no conformidades de calidad, datos, prácticas, así como procedimientos de productos y procesos similares.
5. Estrategia de la organización: plan de negocio, estrategias de comercialización, industriales y técnicas.

Entregables: Declaración de Trabajo donde se gestionan y registran los cambios.

Responsable: Departamento de Programas o Departamento de Desarrollo de Negocios.

3.5.1.2 Requerimientos de Diseño del Producto

Los requerimientos técnicos de diseño deben ser generados en base a los deseos y necesidades del cliente, así como a requerimientos regulatorios. Estos requerimientos deben ser definidos como los objetivos que el diseño debe de cumplir. Generalmente se incluyen elementos a esto requerimientos como materiales, restricciones especiales de proceso, peso, criterios de apariencia, rendimiento funcional y confiabilidad. El objetivo de los requerimientos de diseño del producto es establecer y ordenar las restricciones al igual que las expectativas del producto en cuestión. Estos requerimientos se revisan y se acuerdan de forma mutua con el cliente. Como resultado, se define una lista preliminar de Elementos Críticos (Critical Items por sus siglas en

inglés, CIs) y Características Claves (Key Characteristics, por sus siglas en inglés, KCs), los cuales se definirán más adelante en este documento.

Entregables:

- Configuración controlada técnica de producto.
- Documentación de los requerimientos de diseño acordados entre proveedor y cliente.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Diseño.

3.5.1.3 Especificación del Producto del Fabricante

La organización responsable del diseño del producto debe demostrar a través de una especificación de producto clara que comprende los requerimientos del cliente y que tiene la capacidad de cumplir con todos ellos, incluyendo los aspectos técnicos, de proceso, de confiabilidad y de calidad. Esta especificación de producto se deben considerar las mejores prácticas de la organización en relación con su proceso de diseño y las limitaciones existentes al definir los requerimientos del producto. La Especificación del Producto del Fabricante debe ser revisada y aprobada por la autoridad del Departamento de Diseño de la organización.

Entregables: Especificación del producto del fabricante aprobada y controlada por la organización y el cliente.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Diseño.

3.5.1.4 Objetivos del Proyecto: Seguridad, Calidad, Cronograma y Costo

Es fundamental que el proyecto defina sus objetivos y métricas en cuanto a seguridad del producto, confiabilidad, calidad, capacidad de producción y tiempo de vida útil del producto. Estos objetivos deben estar alineados con las expectativas del cliente, requerimientos regulatorios y los objetivos específicos del proyecto. La calidad del producto debe ser supervisada a través de la vida del producto (desarrollo, producción en serie y rendimiento en servicio).

Objetivos adicionales al proyecto pueden incluir durabilidad de producto (puede incluir el tiempo de vida del producto), mantenibilidad del producto (incluyendo tiempo medio para la falla del producto y objetivos de confiabilidad operativa), plan del proyecto el cual su objetivo es definir los hitos y el tiempo de ejecución de acuerdo con el proceso de desarrollo del producto. Es necesario definir y acordar el costo del producto y del proyecto, que incluyen actividades asociadas a estos como desarrollo, producción, adquisiciones necesarias y logística.

Todos los objetivos y métricas del proyecto deben ser acordados con el cliente, además de ser específicos, medibles y cumplidos en el tiempo estipulado en el plan del proyecto.

Entregables: Lista acordada entre el proveedor y cliente de Indicadores Clave de Rendimiento que cubran la calidad, seguridad, fabricación, vida útil, durabilidad y mantenibilidad del producto, cronograma y costos del proyecto.

Responsable: Departamento de Programas.

3.5.1.5 Lista preliminar de Elementos Críticos y Características Claves del Producto

Los elementos críticos son aquellos que impactan considerablemente el desarrollo, fabricación y uso del producto; tales como funciones, partes, software o procesos. Las características claves son atributos que, al variar, impactan significativamente en los elementos críticos o al producto mismo. Este impacto abarca aspectos como la seguridad, rendimiento, ajuste, forma, funcionalidad, capacidad de fabricación y la vida útil del producto. Estas características requieren acciones específicas para asegurar su adecuada gestión durante los procesos de diseño y producción.

El cliente y el proveedor deben de aportar sus conocimientos del producto y de los procesos de manufactura para determinar los elementos críticos y características claves de estos.

Entregables: Lista preliminar de elementos críticos y características claves acordada entre cliente y proveedor.

Responsable:

- Departamento de Ingeniería de Diseño
- Departamento de Ingeniería de Manufactura.

3.5.1.6 Lista Preliminar de Materiales

La gestión de productos complejos se facilita dividiéndolos en subsistemas manejables mediante la estructura de desglose del producto (Product Breakdown Structure por sus siglas en inglés, PBS). Estos subsistemas forman la base de la lista preliminar de materiales necesarios para el nuevo producto que dan el inicio de las tomas de decisiones en relación con compras tempranas en el proyecto. La organización debe establecer una lista preliminar de materiales utilizando la estructura de desglose del producto además y considerando las propuestas iniciales del producto y de su proceso. Esta lista servirá como punto de partida para el diseño del producto y de su proceso, así como para las actividades de selección de proveedores de materiales o procesos externos.

Entregables:

- Estructura de desglose del producto por subsistemas, jerarquía de ensambles y componentes.
- Lista preliminar de materiales.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Diseño.

3.5.1.7 Diagrama de Flujo del Proceso Preliminar

El diagrama de flujo preliminar describe anticipadamente la secuencia de actividades de la manufactura del producto. Abarcando desde la recepción de materiales hasta el envío al cliente.

Un diagrama de flujo preliminar correctamente definido facilita la planeación temprana del proceso de producción, incluyendo logística, selección de proveedores, instalaciones y equipos. Debe incluir actividades críticas como las que requieren plazos de entrega más largos o requerimientos adicionales.

Entregables: Diagrama de flujo del proceso preliminar firmado y por los departamentos de Ingeniería de Diseño, Ingeniería de Manufactura, Producción, Desarrollo de Proveedores y Calidad.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Manufactura.

3.5.1.8 Revisión de Declaración de Trabajo

La Declaración de Trabajo (SOW) es un documento clave que define el alcance del trabajo que debe de llevar a cabo el fabricante, asegurando que tanto el cliente como el proveedor estén de acuerdo con los entregables y el cronograma del proyecto. Este debe de incluir:

- Entregables y fechas límite
- Actividades y responsabilidades.
- Recursos necesarios para el proyecto.
- Especificaciones y procedimientos.
- Administración del proyecto (establece el proceso para la toma de decisiones, la comunicación y la gestión de cambios).

La Declaración de Trabajo debe ser revisada por el cliente y su proveedor para asegurar que todos los requerimientos son entendidos y alcanzables para el proveedor.

Entregables: Declaración de Trabajo firmada por el cliente y su proveedor.

Responsable: Departamento de Contratos a Clientes o Departamento de Desarrollo de Negocios.

3.5.1.9 Plan de Abastecimiento Preliminar

Una vez definida la lista preliminar de materiales (BOM), la organización tomará las primeras decisiones sobre qué fabricar internamente y qué se comprará o se subcontratará. Es importante hacerlo con prontitud para que los proveedores seleccionados se integren al proceso de planeación desde el inicio del proyecto.

El plan de abastecimiento preliminar es necesario para identificar y seleccionar a los proveedores que sustentaran el desarrollo del nuevo producto y la producción de componentes, materiales o procesos subcontratados. Este plan debe considerar el plan general del proyecto y adaptarse a los compromisos acordados con el cliente.

Entregables:

- Decisiones de que se fabricará internamente y que se comprará o se subcontratará.
- Plan de abastecimiento preliminar.
- Requerimientos identificados y acordados con los proveedores.

Responsable: Departamento de Desarrollo de Proveedores.

3.5.1.10 Plan del Proyecto

El plan del proyecto establece el alcance, actividades y los entregables requeridos por la metodología APQP. Los entregables y actividades requeridas por la metodología pueden variar según la complejidad del producto, los riesgos y los requerimientos del cliente. El equipo de planeación debe evaluar la aplicabilidad de los entregables al proyecto, tal como se menciona en el estándar aeroespacial 9145 (2016).

En el plan del proyecto se deben de incluir fechas de inicio y finalización programadas para los entregables de la metodología APQP, alineadas con las necesidades del cliente, la unidad de negocio y del proyecto; además de las personas responsables asignada a estos y a sus

actividades asociadas. Es fundamental que el plan del proyecto contemple fechas clave determinadas por el cliente, como la primera entrega o la certificación del producto.

Este plan se utiliza para establecer fechas para los entregables claves en los subensambles y componentes que forman parte del producto. Además, se deben añadir revisiones del plan de proyecto periódicas de acuerdo con las necesidades del cliente y del proveedor.

Este plan debe ser acordado y comunicado a todas las partes interesadas como clientes y proveedores según sea necesario. El plan de proyecto es la base del compromiso del equipo multidisciplinario para asegurar el éxito del proyecto en tiempo y forma.

Entregables: Plan de proyecto que incluye actividades, fechas de entrega y responsables.

Responsable: Departamento de Programas.

3.5.2 Elementos y Entregables correspondientes a la Fase 2: Diseño y Desarrollo del Producto

3.5.2.1 Análisis de Riesgos de Diseño

El análisis de riesgos de diseño es una herramienta que se emplea para detectar posibles modos de falla relacionados con diversos aspectos del producto, como su desempeño, durabilidad, manufacturabilidad, confiabilidad y costo. Este análisis, llevado a cabo por la organización responsable del diseño, debe realizarse en etapas tempranas del proyecto para abordar los riesgos identificados antes de finalizar el diseño.

Es recomendable utilizar la metodología Análisis de Modo y Efecto de Falla de Diseño (Design Failure Mode and Effect Analysis por sus siglas en inglés, DFMEA) como registro de esta actividad el cual tiene como referencia el documento técnico SAE J1739.

Este análisis de riesgos de diseño es un documento dinámico que se actualiza a lo largo del ciclo de vida del producto. Existe una estrecha relación entre el análisis de riesgos de diseño y el

análisis de modo y efecto de falla del proceso (Process Failure Mode and Effects Analysis por sus siglas en inglés, PFMEA), ya que se debe de tomar en cuenta que las actualizaciones en uno pueden afectar al otro.

Entregables:

- Análisis de riesgos de diseño.
- Acciones recomendadas para la mitigación de riesgos.
- Identificación de Elementos Críticos (CI) y Características Claves (KCs).

Responsable: Departamento de Ingeniería de Diseño.

3.5.2.2 Registros de Diseño

Los registros de diseño son el resultado del proceso de diseño y se basan en los requerimientos del diseño del producto y de la Declaración de Trabajo (SOW) establecidos en la fase 1.

Estos registros son documentos de ingeniería que definen los aspectos del producto. Incluyen: dibujos físicos o electrónicos/digitales, modelos (3D/2D) digitales, software, especificaciones de proceso especiales, especificaciones de materiales, especificaciones complementarias, especificaciones del cliente, funciones del producto (entradas/salidas), empaque del producto (tamaño y peso), especificaciones de apariencia (si es requerido) y características claves del producto.

Los registros de diseño también pueden incluir cambios de ingeniería que aún no se han incorporado a la especificación de ingeniería liberada.

Entregables: Documentación de la especificación o definición de ingeniería del producto, que deben satisfacer los requerimientos definidos en la fase 1. Esta documentación debe ser aprobada por la autoridad del Departamento de Diseño del proveedor y el cliente.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Diseño.

3.5.2.3 Lista de Materiales

La Lista de Materiales (BOM) es el listado completo de los componentes y materiales incluidos en los registros de diseño requeridos para la fabricación del producto terminado. La lista de materiales preliminar, establecida en la fase 1, evoluciona a lo largo del proceso de diseño en la fase 2, por lo que, en esta etapa, la lista de materiales debe ser terminada y aprobada para la producción del producto. Es preciso añadir que cualquier modificación posterior se debe de controlar mediante el proceso de gestión de configuración del producto.

Entregables: Lista de materiales final.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Diseño.

3.5.2.4 Diseño para Fabricación y Montaje, Tolerancias, etc.

Este elemento (Design for Manufacturing and Assembly, por sus siglas en inglés, DFMA), resalta la importancia de la cooperación entre los Departamentos de Ingeniería de Diseño e Ingeniería de Manufactura, para asegurar que:

- El diseño tenga en cuenta los procesos de producción.
- Se realice un análisis de ensamble para confirmar que el producto funcione y se pueda fabricar según lo previsto.
- Se considere los procesos de ensamble y la capacidad de las herramientas y equipos, asegurando que las piezas encajen adecuadamente y que las herramientas, incluidos los dispositivos de inspección, se puedan utilizar en el producto y en su proceso.
- Se garantice la disponibilidad de materiales durante la vida útil del producto, con un plan establecido tomando en cuenta la obsolescencia, además de considerar el uso de materiales alternativos si es necesario.

- Durante este análisis, se debe prestar especial atención a los modos de falla en el proceso del producto, para establecer acciones que busquen eliminarlos mediante cambios en el diseño.

Entregables: Un diseño del producto que cumpla con los requerimientos del cliente, con las métricas de calidad de la unidad de negocio, estándares de manufactura, costos y tiempos de entrega además de los requerimientos de pruebas necesarios.

Responsable:

- Departamento de Ingeniería de Diseño.
- Departamento de Ingeniería de Manufactura.

3.5.2.5 Diseño para Mantenimiento, Reparación y Revisión

La expectativa en la extensa longevidad de los productos aeroespaciales genera una necesidad constante de mantenimiento, reparación y revisión, lo cual requiere una colaboración estrecha entre los ingenieros de diseño, manufactura y el equipo de soporte técnico post venta. Es fundamental que el diseño facilite el mantenimiento con herramientas de diagnóstico y componentes que sea intercambiables fácilmente. Además, se debe asegurar que los componentes puedan repararse y recalibrarse según sea necesario y posible. Cuando se requieran reparaciones fuera de un taller especializado, el diseño debe permitir el uso de herramientas portátiles, además de considerar factores ergonómicos y ambientales. El diseño del producto debe contemplar las necesidades de desmontaje y montaje durante la revisión de este.

Durante el proceso de diseño, es importante tener en cuenta los posibles modos de falla en los procesos de mantenimiento, reparación y revisión e integrar soluciones preventivas siempre que sea posible. Como complemento, se deben desarrollar pruebas al producto para evaluar la efectividad de los propuestos procesos de reparación.

Entregables:

- Una solución al diseño que garantiza que la reparación y revisión del producto cumpla con los objetivos de tiempo de entrega y costos acordados.
- Una lista de pruebas o procedimientos de reparación propuestos que se validarán en el plan de pruebas de verificación y validación del diseño.

Responsable:

- Departamento de Ingeniería de Diseño.
- Departamento de Ingeniería de Manufactura.
- Soporte Técnico de Post Venta.

3.5.2.6 Requerimientos Especiales, Incluidos Elementos Críticos y Características Claves del Producto

Los requerimientos especiales presentan un riesgo significativo de incumplimiento, especialmente cuando están en el límite de las capacidades de la industria o de la organización que actúa como proveedor. Factores como la complejidad del producto o proceso, la experiencia previa, así como la madurez del producto y del proceso se consideran al determinar estos requerimientos.

Durante la etapa de diseño y análisis de riesgos, se revisan los elementos críticos y características clave preliminares identificados en la fase inicial de la metodología APQP. A esta lista preliminar, se deben de añadir nuevas características clave que controlen los nuevos riesgos identificados que no puedan ser eliminados o controlados mediante el diseño del producto. Las características claves y elementos críticos se deben documentar en los registros de diseño, y su finalización es un resultado del análisis de riesgos de diseño en conjunto con el análisis de modo y efecto de falla del proceso.

Entregables: Lista de Elementos Críticos (CI) y Características Claves (KCs).

Responsable: Departamento de Ingeniería de Diseño.

3.5.2.7 Análisis de Riesgos Preliminar del Plan de Abastecimiento

La identificación temprana de riesgos asociados con la selección de proveedores debe ser llevada a cabo para iniciar acciones de mitigación tan pronto como sea posible. Estos riesgos pueden abarcar aspectos como tecnología, logística, tiempos de entrega, obsolescencia de piezas y dependencia de fuentes únicas. Seleccionar a los proveedores de manera adecuada es el primer paso para reducir los riesgos asociados.

El análisis de riesgos preliminar del plan de abastecimiento debe incluir:

- Capacidad de producción.
- Capacidad de los productos para cumplir su función.
- Rendimiento histórico (calidad y puntualidad de entregas anteriores).
- Estabilidad financiera.
- Certificaciones necesarias.
- Cumplimiento de requerimientos regulatorios.
- Logística y ubicación.
- Costo total.
- Evaluación de nuevos proveedores.
- Requerimientos específicos del cliente.

Es esencial que los proveedores, tanto los actuales como potenciales; proporcionen información para este análisis de riesgos y su respectivo plan de mitigación.

El análisis de riesgos del plan de abastecimiento comienza en esta etapa y se revisa periódicamente en todas las fases posteriores de la metodología APQP.

Entregables: Un plan de abastecimiento con riesgos identificados y plan de mitigación de riesgos, desglosado por cada proveedor propuesto.

Responsable:

- Departamento de Ingeniería de Manufactura
- Departamento de Desarrollo de Proveedores
- Departamento de Programas.

3.5.2.8 Especificación de Empaque

Para asegurar el éxito en el lanzamiento de un nuevo producto, es importante definir y planear detalladamente todos los nuevos empaques requeridos para el manejo y envío del nuevo producto hacia subcontratistas o al cliente. Esta planeación debe de tomar en cuenta la modificación de cualquier empaque preexistente.

Entregables: Especificación de empaque acordada con el cliente.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Manufactura.

3.5.2.9 Informe de Revisión de Diseño

Una revisión de diseño es un análisis programado y sistemático de los dibujos de ingeniería, especificaciones, requerimientos, materiales y cualquier cambio relacionado con los requerimientos del producto. Su objetivo es mantener informados a los miembros pertinentes de la organización, a la alta gerencia y, si es aplicable, al cliente; sobre el avance de las actividades asociadas a la verificación del diseño; así como identificar posibles problemas, proponer acciones correctivas, revisar los cambios propuestos en el diseño y autorizar el avance al siguiente paso en el proceso de desarrollo. Cada revisión debe demostrar el cumplimiento de los requerimientos

de diseño, además de integrar los requerimientos estipulados en el documento Diseño para Mantenimiento, Reparación y Revisión al igual que en el Análisis de Riesgos de Diseño.

Entregables: Informes de revisión de diseño que expongan el estado actual del cumplimiento de los requerimientos de diseño, riesgos de diseño y las acciones de mitigación.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Diseño.

3.5.2.10 Plan de Desarrollo para la Fabricación del Producto

Un plan de desarrollo para la fabricación del producto establece los criterios de producción, inspección y secuencias de ensamble que se llevarán a cabo para crear productos preliminares para las evaluaciones de productos y procesos. La aprobación del plan por parte del cliente puede ser necesaria. Este plan debe incluir:

- Identificación de las fuentes de material, componentes y ensambles.
- Especificación de los niveles mínimos de madurez tecnológica y de manufactura para cada producto o pieza.
- Detalle de los procesos de manufactura.
- Cantidad de piezas necesarias.
- Establecimiento de un cronograma detallado de actividades de manufactura, inspección y presentación de avances.

Las lecciones aprendidas durante el proceso de manufactura pueden revelar la necesidad de cambios en este o en el diseño del producto.

Entregables:

- Plan de desarrollo para la fabricación del producto.
- Informes que documenten el resultado del proceso de manufactura incluyendo un registro de las no conformidades que surjan junto con soluciones propuestas.

Responsable: Departamento de Desarrollo de Productos Nuevos.

3.5.2.11 Plan de Verificación y Validación del Diseño, y Resultados Asociados

Las actividades de verificación y validación del diseño se llevan a cabo para asegurar que se cumplan con los requerimientos del cliente. Estas actividades pueden abarcar pruebas de prototipos, análisis y simulaciones computarizadas, así como simulaciones físicas y funcionales. El plan de verificación y validación de diseño debe detallar un cronograma detallado de las actividades mencionadas, además del equipo, inspecciones y reportes necesarios.

Las pruebas de prototipos deben de incluir los criterios de éxito para cada prueba en componentes individuales o ensambles, así como las pruebas específicas requeridas por el cliente. Los resultados se documentan en reportes de ingeniería y se revisan durante las revisiones de diseño, pudiendo ser compartidos con clientes u organismos reguladores para propósitos de certificación.

Entregables:

- Plan de Verificación y Validación de Diseño.
- Informes de ingeniería que documenten la evidencia que se han cumplido los requerimientos técnicos de diseño.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Diseño.

3.5.2.12 Evaluación de Factibilidad

El fabricante debe revisar los registros de diseño para evaluar la factibilidad de la manufactura y asegurar que el producto pueda ser producido, calificado, probado, empaquetado y entregado según los requerimientos y especificaciones establecidos, dentro del presupuesto y del plan acordados. El resultado de esta revisión es un compromiso establecido en el acuerdo entre los Departamentos de Diseño, Manufactura, Producción y Calidad. Este compromiso se documenta

en un reporte que evalúa cada elemento como favorable o desfavorable, así como recomendaciones sobre cómo proceder. Además, el reporte debe mencionar cualquier cambio necesario para cumplir con los requerimientos o estándares de los elementos desfavorables identificados al igual que su impacto en el desarrollo del producto.

Entregables: Un Informe de factibilidad acordado con el equipo multidisciplinario que cumpla con los siguientes puntos:

1. Detección todos los elementos desfavorables con su impacto y acciones para mitigar o eliminar los riesgos asociados.
2. Documentación del compromiso de la organización en fabricar el producto con los requerimientos dados por el cliente y organismos reguladores.
3. Confirmación por parte de los Departamentos de Manufactura y Producción que el producto se puede fabricar con éxito.

Responsable: Departamento de Programas.

3.6.3 Elementos y Entregables Correspondientes a la Fase 3: Diseño y Desarrollo del Proceso

3.6.3.1 Diagrama de Flujo del Proceso

El diagrama de flujo de proceso (Process Flow Diagram por sus siglas en inglés, PFD) es una representación visual de las operaciones necesarias para fabricar un producto, desde la recepción de materia prima hasta su entrega al cliente. Esto incluye tanto las operaciones internas como las externas, así como procesos alternativos. Es crucial que el diagrama de flujo de proceso contenga los detalles suficientes para describir claramente todo el proceso de fabricación. Esta actividad debe comenzar después de la liberación del diseño preliminar y se basa en el diagrama de flujo del proceso preliminar creado en la fase 1. Este documento se debe

actualizar conforme cambia la secuencia de las operaciones a través de la maduración del desarrollo del producto; estas revisiones deben ser documentadas y controladas.

Entregables: Diagrama de flujo del proceso aprobado por los Departamentos de Ingeniería, Operaciones y Calidad.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Manufactura.

3.6.3.2 Plan del Diseño de Distribución de la Planta de Producción

El diseño de distribución de la planta de producción debe de mostrar de manera clara la distribución de todos los procesos involucrados en la producción, inspección y prueba del producto, incluyendo los puntos de control de calidad. Se deben considerar factores como un flujo eficiente de materiales y una optimización del espacio, mejorar el valor agregado del espacio, al igual que minimizar el transporte y manejo de materiales, partes y ensambles. Para respaldar este objetivo, pueden emplearse principios de Manufactura Esbelta como el mapa de flujo de valor.

Entregables: Plan del Diseño de Distribución de la Planta de Producción aprobado por los Departamentos de Operaciones y Calidad.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Manufactura.

3.6.3.3 Plan de Preparación de Producción

El fabricante debe identificar y planear la compra e instalación de equipos, herramientas, accesorios y plantillas requeridos para la producción, inspección y la calificación del producto.

Esta tarea implica lo siguiente:

- Analizar la capacidad de los equipos e instalaciones actuales.
- Evaluar la necesidad de capacidad adicional en los equipos existentes y si se requiere la renovación o modificación de algún equipo, herramienta, plantilla o accesorio.

- Determinar si se necesitan nuevos equipos, herramientas e instalaciones para implementar nuevos procesos.
- Identificar las habilidades, capacitaciones y mano de obra necesarias, incluyendo certificaciones externas.

El fabricante debe elaborar un plan de preparación de producción y evaluar regularmente su avance para detectar y corregir inmediatamente cualquier retraso o problema.

Entregables:

- Un Plan de Preparación de Producción que cubra todos los aspectos en la obtención y calificación de mano de obra, herramientas, instalaciones y equipos.
- Un cronograma de revisiones periódicas del progreso en el Plan de Preparación de Producción acordado internamente en la organización y con el cliente.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Manufactura.

3.6.3.4 Análisis de Modo y Efecto de Falla del Proceso

El análisis de modo y efectos de falla del proceso es un método estructurado para evaluar el riesgo de un proceso de producción mediante la identificación y documentación de posibles modos de falla. Este análisis implica identificar fallas potenciales, clasificar factores como gravedad y frecuencia de ocurrencia, y definir las acciones para mitigar riesgos.

El equipo multidisciplinario lleva a cabo este análisis durante el diseño y desarrollo del proceso de manufactura y se actualiza continuamente para reflejar cambios en el proceso y abordar los nuevos riesgos asociados. Las características clave del producto y elementos críticos definidos previamente en la fase 2 se deben de documentar y evaluar en el en este análisis.

Este documento está estrechamente relacionado con el Análisis de Riesgos de Diseño, por lo que se requiere coordinar sus actualizaciones entre ambos.

Entregables: Análisis de modo y efecto de falla del proceso y plan de acción para reducir riesgos críticos aprobado por el equipo multidisciplinario y el cliente.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Manufactura.

3.6.3.5 Características Clave del Proceso

Las características claves del proceso pueden actuar tanto a las entradas y salidas del proceso de manufactura. Las características claves del proceso como entradas son los parámetros del proceso que, cuando se monitorean y regulan dentro de los límites establecidos, garantizan la capacidad de del proceso de producción de fabricar productos conformes. Las características claves del proceso como salidas son las características del producto o del proceso que, al medirse y compararse con los límites definidos, validan la capacidad del proceso de producción de fabricar productos conformes. Por lo que estos parámetros clave, al mantenerse bajo control, minimizan la variabilidad del proceso que podría influir en la calidad del producto. La mayoría de las características claves del proceso se identifican a través del análisis de modo y efecto de falla del proceso, sin embargo; también pueden surgir de los requerimientos del cliente o de mejores prácticas de experiencias previas.

Entregables: Lista de Características Clave del Proceso.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Manufactura.

3.6.3.6 Plan de Control (Preliminar)

El Plan de Control es un documento que vincula los pasos del proceso de manufactura con las actividades clave de inspección y control con el fin de garantizar la calidad del producto. Su propósito es documentar los métodos de control usados para controlar las características del diseño del producto y las variables de su proceso de producción. Este plan de control debe de

documentar las características claves, métodos de medición, frecuencias de inspección y límites de control para reducir la variabilidad del producto y de su proceso de producción.

El plan debe de detallar cómo se controla y verifica la calidad del producto en cada etapa del proceso de manufactura, incluyendo planes de reacción en caso de productos no conformes o de un proceso inestable. Este plan se desarrolla y debe de madurar a lo largo de cada fase del desarrollo del producto. Además, debe de definir claramente a los responsables de cada uno de los controles de calidad y sus actividades asociadas a las diferentes fases del proceso de producción.

El plan de control debe ser acordado entre el Departamento de Calidad, de Producción y de Ingeniería de Manufactura; y si es requerido, por el cliente.

Entregables: Plan de Control firmado y aprobado por los Departamentos de Calidad y Producción.

Responsable:

- Departamento de Ingeniería de Manufactura.
- Departamento de Ingeniería de Calidad.

3.6.3.7 Evaluación Preliminar de Capacidad

Se debe de llevar a cabo una evaluación preliminar de capacidad al comienzo de la fase de planeación y desarrollo del proceso de producción para determinar los recursos necesarios para satisfacer la tasa de demanda del cliente. Esta evaluación abarca la revisión de la capacidad de equipos de producción existentes, equipos de inspección y pruebas, personal capacitado o calificado e instalaciones. En caso de ser necesarios equipos o recursos adicionales, se debe elaborar un plan detallado para garantizar que se cumplan las necesidades de capacidad y

garantizar el éxito del plan del proyecto. El plan debe revisarse continuamente para asegurar la finalización a tiempo de sus actividades.

Entregables:

- Análisis Preliminar de Capacidad.
- Plan detallado de actividades para garantizar la capacidad requerida por el cliente.

Responsable:

- Departamento de Ingeniería de Manufactura.
- Departamento de Ingeniería Industrial.

3.6.3.8 Documentación de la Estación de Trabajo

Es necesario contar con una documentación en la estación de trabajo para todos los productos y etapas de producción, desde la fabricación de prototipos hasta la producción en serie. Esta documentación del proceso de producción debe abarcar todos los controles especificados en el plan de control para garantizar la conformidad del producto y de su proceso. La documentación de la estación de trabajo incluye:

- Hojas de producción controladas que detallan las actividades secuenciales necesarias para la realización del producto.
- Instrucciones detalladas del proceso, materiales, herramientas, equipos de producción y criterios de calidad.
- Instrucciones de inspección de calidad para evaluar el producto, incluyendo herramientas y accesorios de medición, así como el registro de los datos obtenidos.
- Horario y frecuencia de programas de mantenimiento de las estaciones de trabajo.
- Listas de verificación y gráficas de control estadístico de procesos.
- Ayudas visuales para monitorizar el estado del proceso en tiempo real.

Todos los documentos de las estaciones de trabajo deben ser controlados y actualizados para reflejar los últimos cambios del proceso y de los requerimientos de diseño.

Entregables: Documentación de la estación de trabajo completa y accesible.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Manufactura.

3.6.3.9 Plan de Análisis del Sistema de Medición

Los sistemas de medición documentados en el Plan de Control deben ser capaces de verificar si el producto y el proceso cumplen con sus requerimientos. En esta fase 3, se eligen los instrumentos de medición y se establece un plan Análisis de Sistemas de Medición (Measurement System Analysis por sus siglas en inglés, MSA) para validarlos en la fase 4 cuando este sistema sea ejecutado. Este plan debe asegurar la exactitud (bias), repetibilidad, reproducibilidad, estabilidad, linealidad y resolución del sistema de medición.

La variación excesiva en los sistemas de medición puede llevar a decisiones incorrectas sobre la conformidad del producto y del proceso. El MSA evalúa diversas fuentes de variación, como inspectores, métodos de inspección, componentes, equipos de medición y las condiciones ambientales; con el objetivo de identificar y corregir la variación a un nivel aceptable.

Entregables: Plan que identifique los sistemas de medición a evaluar, incluidas las personas responsables de evaluarlos y un cronograma detallado para estas actividades.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Manufactura y/o Departamento de Ingeniería de Calidad.

3.6.3.10 Plan de Gestión de Riesgos de la Cadena de Suministro

La gestión de riesgos en la cadena de suministro es importante para mantener la calidad y la consistencia en las entregas de los materiales e insumos necesarios para la producción del producto. Una vez que se han seleccionado todos los proveedores requeridos, es necesario

realizar un análisis detallado para identificar y evaluar posibles riesgos. Este análisis debe centrarse en los proveedores de alto riesgo o aquellos que suministran componentes críticos, prestando especial atención a aquellos que proveerán componentes o materiales de diseño nuevo o que se considere fuera de su oferta típica.

Se deben identificar datos relevantes sobre los proveedores, como su capacidad, calidad, nivel de inventarios, métodos de logística, tiempos de entrega y estado financiero, para evaluar adecuadamente los riesgos asociados. Una vez identificados, los riesgos deben ser priorizados y abordados con planes de acción para mitigar los más relevantes.

Entregables: Análisis de riesgos y su plan de mitigación asociado.

Responsable: Departamento de Desarrollo de Proveedores.

3.6.3.11 Aprobaciones de Manejo de Materiales, Empaque, Etiquetado y Mercado de Piezas

Establecer métodos adecuados de manejo de materiales asegura que los productos estén protegidos de manera efectiva contra daños, corrosión o contaminación durante su fabricación, traslado entre procesos, transporte externo y almacenamiento. Se deben considerar controles específicos para prevenir daños por objetos extraños (Foreign Object Debris por sus siglas en inglés, FOD) y descargas electrostáticas (Electrostatic Discharge por sus siglas en inglés, ESD).

El diseño del empaque debe garantizar que el producto no sufra daños físicos y que la calidad de este no se vea comprometida durante su transporte, entrega y almacenamiento. Los materiales y métodos de empaque se diseñan para cumplir con los estándares internos y los requerimientos del cliente y de seguridad ambiental, además de cuidar la integridad física de los operadores. También se debe considerar el reciclaje de los materiales del empaque según sea necesario. Se realizará una evaluación del empaque en la siguiente fase 4, cuando el producto esté disponible para su almacenamiento y entrega.

Los requerimientos del etiquetado y marcado de las piezas se especifican generalmente por el cliente a través de dibujos de ingeniería y especificaciones. Durante esta etapa, el fabricante debe confirmar que comprende y que cuenta con la capacidad de ejecutar estos requerimientos; la aprobación del cliente es necesaria para este elemento.

Entregables:

- Métodos de manejo de materiales definidos y documentados.
- Requerimientos de empaque, etiquetado y marcado de piezas definidos y acordados entre el proveedor y su cliente.

Responsable:

- Departamento de Ingeniería de Manufactura.
- Departamento de Ingeniería de Calidad.

3.6.3.12 Resultados de la Evaluación de Preparación para la Producción

El fabricante debe realizar una evaluación de la preparación para la producción (Production Readiness Review por sus siglas en inglés, PRR) para verificar que el proceso de producción esté correctamente documentado y preparado para producir un producto que cumpla con los requerimientos del cliente. Esta revisión es realizada por el equipo multidisciplinario que incluye al menos, personal de ingeniería de manufactura, ingeniería de calidad y de operaciones. Esta evaluación abarca tanto una revisión de la documentación de la estación de trabajo, así como una inspección física de las instalaciones y equipos de producción. Además, se debe evaluar el estado actual de la cadena de suministro.

Todos los aspectos del proceso de fabricación deben ser cubiertos por esta revisión, desde equipos, herramientas, software, plan de control, documentación, disponibilidad de materiales y suministros, así como la capacitación del personal.

Los resultados de esta evaluación, junto con las acciones correctivas necesarias, deben ser documentados para resolver o mitigar cualquier riesgo o problema identificado. La gerencia de la organización debe confirmar el cierre o mitigación de todas las acciones pendientes antes de iniciar la producción del producto. Una vez completado este elemento, el proceso de producción está listo para la producción del primer artículo. Cualquier cambio en el proceso después de esta revisión debe manejarse mediante el proceso de gestión de cambios del fabricante.

Entregables:

- Proceso de manufactura final documentado.
- Plan de acción para la resolución o mitigación de riesgos asociados.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Manufactura.

3.6.4 Elementos y Entregables Correspondientes a la Fase 4: Validación del Proceso y del Producto

3.6.4.1 Ejecuciones del Proceso de Producción

La ejecución del proceso de producción se debe realizar para validar que todos los procesos destinados a la producción en serie cumplan con los estándares de calidad requeridos y satisfagan la demanda del cliente. Para lograrlo, es importante que el fabricante utilice únicamente procesos de producción finales acordados entre el equipo multidisciplinario, al igual que los equipos, herramientas y operadores entrenados específicos para este proceso. Durante esta ejecución, el equipo asignado al proyecto debe estar disponible para abordar cualquier problemática que pueda surgir.

Se debe prestar especial atención a la seguridad, ergonomía y prevención de daños por objetos extraños (FOD). Además de la producción del producto, se debe validar el sistema de apoyo al

proceso de manufactura del producto, como el suministro de componentes, mantenimiento preventivo y logística interna.

Es esencial observar cuidadosamente los procesos durante la producción y recopilar datos para documentar cualquier problema que pueda surgir. Esto incluye datos sobre la eficiencia de producción, cumplimiento de las instrucciones de trabajo, inspecciones de calidad según el plan de control, riesgos observados y posibles fuentes de FOD, así como cuestiones de seguridad y ergonomía.

Los productos fabricados durante esta ejecución se utilizan para recopilación de datos para la generación del documento PPAP, lo que incluye datos numéricos para determinar la capacidad inicial del proceso. Cualquier problema identificado durante la producción debe ser corregido para mejorar el proceso de producción y la documentación asociada, con el objetivo de reducir riesgos y variación en la producción en serie.

Entregables:

- Cantidad adecuada de productos necesarios para completar los entregables de Inspección del primer artículo (First Article Inspection, por sus siglas en inglés, FAI) y PPAP.
- Confirmación de que el sistema de manufactura respaldará las necesidades de producción.
- Identificación de problemas en el proceso de producción.
- Plan de acción para dar seguimiento a los problemas identificados hasta su cierre.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Manufactura.

3.6.4.2 Análisis del Sistema de Medición

El objetivo de este elemento es ejecutar el Plan de Análisis del Sistema de Medición según se describió en la fase 3, y evaluar la variabilidad introducida por los sistemas de medición. Las fuentes de variación comprenden de los equipos y herramientas de medición, operadores y las condiciones ambientales del piso de producción. La organización debe garantizar que todos los métodos de medición y herramientas de verificación documentadas en el plan de control sean adecuados, precisos y permitan cumplir con la demanda requerida por el del cliente.

Entregables:

- Resultados del análisis del sistema de medición de acuerdo con el plan de análisis de sistemas de medición establecido en la fase 3.
- Plan de acción para aquellos sistemas de medición que no cumplan con los criterios de aceptación.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Manufactura.

3.6.4.3 Estudios de Capacidad del Proceso Inicial

Los primeros análisis de capacidad del proceso indican que, al combinar el recurso humano, maquinaria, equipos, métodos, materiales e inspecciones, se puede lograr un proceso de producción para un producto que cumpla consistentemente con los requerimientos de diseño. Es necesario realizar estos análisis en las características clave del producto y del proceso que estén especificados en el plan de control. Durante las primeras ejecuciones del proceso de producción, se deben recolectar datos sobre estas características para calcular la capacidad del proceso utilizando índices Cpk (o Ppk si es requerido). El número mínimo de muestras necesario para este análisis se determina entre el cliente y el fabricante, siendo típicamente al menos 25 muestras, aunque puede ser menor si se justifica estadísticamente. Si el valor objetivo de Cpk (o

Ppk) no se alcanza, se deben implementar medidas para reducir la variación por debajo del valor deseado.

Entregables:

- Índices Cpk (y Ppk si es requerido) calculados a partir de las primeras ejecuciones del proceso de producción.
- Plan de acción para reducir de variación de los procesos donde los índices de Cpk están por debajo del valor de aceptación establecido.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Manufactura.

3.6.4.4 Plan de Control

El Plan de Control describe el método para supervisar y asegurar la calidad en cada fase del proceso de producción, incluyendo el plan de reacción ante desviaciones y no conformidades. Todas las características que se deseen controlar deben estar especificadas en este plan, considerando las variables clave del proceso y determinando el nivel adecuado de supervisión necesario.

El proceso de desarrollo del plan comienza en la fase 3, usualmente con el plan de control de preproducción (o preliminar), sirviendo como base para el plan de control de producción. Las primeras ejecuciones del proceso de producción permiten revisar y ajustar el plan de control según sea necesario.

El Plan de Control se debe actualizar continuamente para reflejar los controles vigentes en el proceso de producción a lo largo de la unidad de negocio.

Entregables: Revisión final del Plan de Control de Producción aprobado.

Responsable:

- Departamento de Ingeniería de Manufactura
- Departamento de Ingeniería de Calidad.

3.6.4.5 Verificación de Capacidad

La Verificación de Capacidad se lleva a cabo para demostrar la capacidad del fabricante de cumplir con la demanda del cliente que se estableció en el pronóstico de producción. Durante esta verificación, el fabricante debe analizar varios aspectos, como el tiempo de operación disponible del equipo de producción, los períodos de inactividad (por ejemplo, cambios de turno, mantenimiento del equipo), tiempo de ciclo, eficiencia y tasa de defectos. El objetivo es asegurar que la capacidad disponible sea adecuada para satisfacer el pronóstico de demanda de producción. Además, se evalúa la capacidad general de la planta, la capacidad para realizar pruebas y cualquier capacidad compartida con otros clientes (por ejemplo, producción de piezas de otras unidades de negocio o programas utilizando las mismas herramientas o equipos). Esta verificación de capacidad se debe aplicar a todos los niveles de la cadena de suministro.

Entregables: Capacidad verificada para cumplir con la demanda del cliente.

Responsable:

- Departamento de Ingeniería de Manufactura.
- Gerencia de Operaciones.

3.6.4.6 Resultados de la Validación del Producto

Las pruebas de validación son las pruebas funcionales realizadas del producto o material para garantizar que se cumplan los requerimientos de ingeniería del cliente. Esta prueba debe realizarse utilizando producto o material producido a partir de herramientas, equipos y procesos de producción siempre que sea posible.

Entregables: Resultados de todas las pruebas realizadas de acuerdo con el plan de validación de diseño.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Manufactura y/o Ingeniería de Pruebas.

3.6.4.7 Inspección del Primer Artículo

El objetivo de la Inspección del primer artículo (FAI) es presentar evidencia objetiva, derivadas de la evaluación del primer artículo manufacturado durante el inicio de la producción, de que todos los requerimientos de ingeniería, diseño y especificaciones técnicas sean comprendidos, documentados, verificados y cumplidos de la manera esperada por el cliente. La inspección del primer artículo implica un proceso de inspección físico y funcional completo, independiente y documentado, para confirmar que los procesos de producción definidos hayan generado un producto en conformidad a lo requerido en los planos de ingeniería, la orden de compra, las especificaciones de ingeniería y otros documentos de diseño aplicables. Esta evaluación debe cumplir con los estándares establecidos por el estándar aeroespacial 9102 (Requisitos de Inspección del Primer Artículo Aeroespacial) cuando sea requerido en el contrato por el cliente.

Entregables: Reporte de Inspección del primer artículo aprobado.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Calidad.

3.6.4.8 Proceso de Aprobación de Piezas de Producción

El propósito del PPAP es demostrar que el proceso de producción tiene la capacidad de generar productos que consistentemente cumplen con los requerimientos de diseño y sus especificaciones.

Este proceso implica que el fabricante presente la documentación PPAP con la evidencia necesaria para demostrar el cumplimiento de un conjunto específico de requerimientos. Para materializar los beneficios de la metodología APQP, es determinante que los documentos que

dan soporte al PPAP se generen durante la fase APQP correspondiente según se describe en el Manual Aeroespacial APQP/PPAP (2017) y en el estándar aeroespacial 9145 (2016).

El envío del documento PPAP puede ser clasificado por el cliente como:

- Aprobado: cuando se cumplen todos los requerimientos del PPAP.
- Aprobado provisionalmente: indicando cumplimiento parcial de los requerimientos del PPAP con restricciones.
- Rechazado: cuando los requerimientos mínimos del PPAP no se cumplen.

El envío del PPAP debe ser aprobado o aprobado provisionalmente por el cliente antes de que el fabricante pueda liberar el producto para su envío.

Los cambios en el diseño del producto y/o en el proceso de producción pueden requerir un nuevo envío de PPAP dependiendo de la naturaleza del cambio y los requerimientos del cliente.

Entregables: PPAP aprobado.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Calidad.

3.6.4.9 Requerimientos Específicos del Cliente

El cliente tiene la opción de incluir actividades y/o requerimientos que vayan más allá de lo requerido por el estándar aeroespacial 9145; estos requerimientos se conocen como Requerimientos Específicos del Cliente en el documento PPAP. Los requerimientos adicionales pueden solicitar requerimientos o racionales adicionales sobre entregables y datos proporcionados por el fabricante. Es importante identificar estos requerimientos durante la fase de planeación del proyecto, asignándolos al departamento de la organización correspondiente y estableciendo un cronograma claro.

Entregables: Identificación y cumplimiento de requerimientos específicos del cliente.

Responsable: Departamento de Ingeniería de Calidad.

3.6.5 Elementos y Entregables Correspondientes a la Fase 5: Producción en Curso, Uso y Servicio Posterior a la Entrega

3.6.5.1 Medición de Desempeño

Es necesario asegurar que el producto fabricado continúe cumpliendo con todos los requerimientos, para esto, el fabricante debe establecer un método de supervisión en el rendimiento tanto en el entorno de producción como en el entorno del cliente, y actuar en consecuencia con la información disponible.

Los indicadores clave de rendimiento (Key Performance Indicators por sus siglas en inglés, KPI) se emplean para evaluar diferentes funciones y procesos críticos para alcanzar objetivos establecidos. Estos indicadores suelen abarcar metas de costos del programa, niveles de satisfacción del cliente (en calidad y entrega a tiempo), rendimiento de proveedores, costos por calidad deficiente, costos por garantías, desempeño del producto en campo (tiempo medio hasta su fallo), entre otros.

Los índices de calidad proporcionan una medida cuantitativa de la capacidad del fabricante para mantener y mejorar la consistencia del producto dentro de las especificaciones y alcanzar los objetivos de desempeño. Estos índices suelen incluir medidas como Cpk, partes por millón (PPM), tasas de no conformidades, defectos por millón de oportunidades (Defects per Million Opportunities, por sus siglas en inglés, DPMO), rendimiento de primera pasada (First Pass Yield por sus siglas en inglés, FPY), entre otros.

Es importante incluir en las mediciones de desempeño el indicador de entregas a tiempo (On-Time Delivery, por sus siglas en inglés, OTD) para mantener una entrega puntual del producto al nivel deseado por el cliente a lo largo de su ciclo de vida. El análisis de capacidad debe demostrar

la habilidad del fabricante para satisfacer la demanda del cliente en el pronóstico de producción visible. Cualquier cambio en la demanda debe ser identificado y abordado tan pronto como sea comunicado por el cliente.

Cuando los objetivos del proyecto no se alcanzan y/o el producto no cumple con los niveles deseados por el cliente, es necesario tomar medidas para determinar la causa raíz e implementar las acciones correctivas correspondientes.

Entregables:

- Métricos que demuestren claramente el desempeño real frente a objetivos y requerimientos.
- Plan de acción para implementar acciones correctivas según sea necesario.

Responsable: Gerente de Programas o Proyectos.

3.6.5.2 Indicadores Clave de Rendimiento en Mantenimiento, Reparación, Revisión y Plan(es) para Alcanzar los Objetivos Establecidos

Los servicios de mantenimiento, reparación y revisión (Maintenance, Repair and Overhaul, por sus siglas en inglés, MRO) deben de incluir la documentación necesaria, entrenamientos especializados, inventario definido de repuestos y las herramientas requeridas para mantener el producto en condiciones óptimas, ya sea en el campo o en cualquier ubicación designada. Esto implica también la disponibilidad de personal técnico capacitado para abordar cualquier problema que pueda surgir con el producto en su entorno de aplicación.

El objetivo principal de la organización debe ser ofrecer servicios de MRO a tiempo y sin errores. Esto implica establecer indicadores clave de rendimiento adecuados, como el tiempo medio (del producto) hasta el fallo, el tiempo de respuesta del departamento de servicio al cliente,

retroalimentación del cliente y confiabilidad operativa, así como planes para supervisar y alcanzar el nivel de servicio esperado por el cliente.

La planeación de los servicios de mantenimiento, reparación y revisión debe prever las instalaciones, documentación, herramientas, mantenimientos periódicos y piezas de repuesto necesarias. Los criterios de revisión deben ser creados y aprobados como parte de la planeación de calidad entre el proveedor y su cliente. La planeación de MRO debe considerarse durante la fase 2 de desarrollo del producto, según lo establecido en el elemento "Diseño para mantenimiento, reparación y revisión".

La organización debe esforzarse continuamente por aumentar el tiempo medio hasta el fallo del producto y reducir los tiempos de respuesta de las actividades de MRO para proporcionar el mejor servicio posible al cliente.

Entregables:

- Plan para proporcionar los servicios MRO necesarios.
- Plan de mejora según sea necesario

Responsable: Departamento de Servicio al Cliente.

3.6.5.3 Acciones de Mejora Continua

Una colaboración efectiva entre el cliente y su proveedor es decisiva para mejorar el desempeño, calidad, costo y tiempo de entrega del producto. El fabricante debe investigar, evaluar e implementar mejoras en costos, entregas y tiempos, así como buscar oportunidades para mejorar el desempeño del producto y la satisfacción del cliente a lo largo de su vida útil.

Cuando un producto no cumple con las expectativas del cliente, es necesario identificar la causa raíz y tomar medidas correctivas, ya sea relacionada con el diseño o el proceso de producción. La organización que actúa como proveedor debe liderar este proceso de investigación y

corrección. Para esta actividad se recomienda de tomar de referencia el estándar aeroespacial 9136 (Metodología de análisis de causa raíz y resolución de problemas).

Reducir la variación en los procesos de producción es crítico para aumentar el rendimiento del producto y promover acciones de mejora continua que se enfoquen en la calidad del producto. Esto implica monitorear los procesos, especialmente aquellos que su salida sea parte de las características clave, y utilizar análisis estadístico para identificar oportunidades de reducción de variación.

Se debe desarrollar e implementar planes de acción y comunicar cualquier cambio en el producto o proceso al cliente; actualizando la documentación correspondiente como registros de diseño y análisis de riesgos. Además, puede requerirse una actualización del documento PPAP como parte de este proceso.

Entregables: Análisis de datos del proceso de producción y plan de acciones para su mejora.

Responsable:

- Departamento de Ingeniería de Manufactura.
- Departamento de Ingeniería de Calidad.

3.6.5.4 Lecciones Aprendidas

El objetivo de las Lecciones Aprendidas es evitar la repetición de problemas y aprovechar las experiencias positivas. La organización debe contar con un proceso para documentar y aplicar estas lecciones con el fin de mejorar el proceso de desarrollo y fabricación del producto para productos futuros. Se deben tomar en cuenta contribuciones de todos los departamentos involucrados en el proyecto a medida que se completan las diferentes fases de la metodología APQP.

La revisión de las lecciones aprendidas sirve como un espacio para discutir abiertamente sobre problemas pasados e identificar oportunidades de mejora. Los estándares operativos y de diseño deben de actualizarse en base a estas lecciones según sea necesario.

El proyecto APQP se considera concluido cuando se han implementado las acciones necesarias para alcanzar los objetivos establecidos del programa y se han documentado las lecciones aprendidas.

Entregables:

- Registro de lecciones aprendidas.
- Actividades exitosas documentadas y estandarizadas para futuros programas.
- Plan(es) de acción para actividades de mejora.

Responsable: Gerente de Proyectos.

Capítulo 4. Metodología

4.1 Introducción

Este capítulo analiza la implementación de la metodología APQP en una nueva unidad de negocio la cual fue la primera en requerir por obligación contractual entre la organización y su cliente, los requerimientos del estándar aeroespacial 9145 desde el inicio del proceso de desarrollo de producto. Como se mencionó en el punto 3.3 (Fundamentos generales de la metodología APQP) de este estudio, el estándar aeroespacial 9145 es flexible al limitar el alcance de la aplicabilidad de este de acuerdo con las necesidades del programa, por lo que cliente y proveedor optaron por limitar los elementos aplicables; estableciendo un acuerdo de desarrollar e implementar la metodología APQP en sus 5 fases con 29 elementos de los 47 establecidos.

La organización acepto este desafío y lo convirtió en una oportunidad de rediseñar y revisar sus procesos para cumplir con los requerimientos del estándar aeroespacial 9145, en el contexto de un sector industrial con grandes retos en la aplicación sistemática de la metodología APQP; este desafío establece principios en la organización para elevar su competitividad y calidad como participante en la cadena de suministro aeroespacial.

Este proyecto se realizó involucrando a las distintas funciones de la organización, incluyendo Ingeniería de Diseño, Ingeniería de Manufactura, Gerencia de Programas, Desarrollo de Proveedores y Compras, Producción, Calidad y Operaciones.

A continuación, en la figura 22 se muestra la metodología empleada en este caso de estudio, la cual consiste en 5 fases en las cuales se analiza y evalúa la capacidad actual de la organización para cumplir los requerimientos del cliente y del estándar aeroespacial 9145, se realiza la planeación del proyecto, se generan los entregables necesarios, se valida y evalúa el impacto del proceso APQP en el programa y en la organización y por último, se plantean acciones de seguimiento y lecciones aprendidas durante este proceso.

Figura 22. Fases metodológicas.



Nota. Fuente elaboración propia.

La descripción de cada una de las 5 fases mostradas en la figura anterior será desarrollada en los siguientes apartados.

4.2 Análisis, Diagnóstico y Recopilación de Información

Para analizar la capacidad y el cumplimiento actual alcanzado por la organización en la implementación e integración del estándar aeroespacial 9145 en su sistema de gestión de calidad, es necesario realizar un análisis en la documentación existente en la organización que apoya al cumplimiento de este estándar. Durante este análisis, el documento AS9145 (2016), el Manual Aeroespacial APQP/PPAP (2017) y las listas de verificación SCM 7.2.4 (fase 1), SCM 7.2.5 (fase 2), SCM 7.2.6 (fase 3), SCM 7.2.7 (fase 4) y SCM 7.2.8 (fase 5) se consideran con el fin de evaluar la conformidad del sistema de gestión de calidad de la organización con el mencionado estándar.

En base al análisis diagnóstico, se detecta que la organización cuenta con documentación para alinear sus procesos con los requerimientos del estándar aeroespacial 9145, desarrollada desde

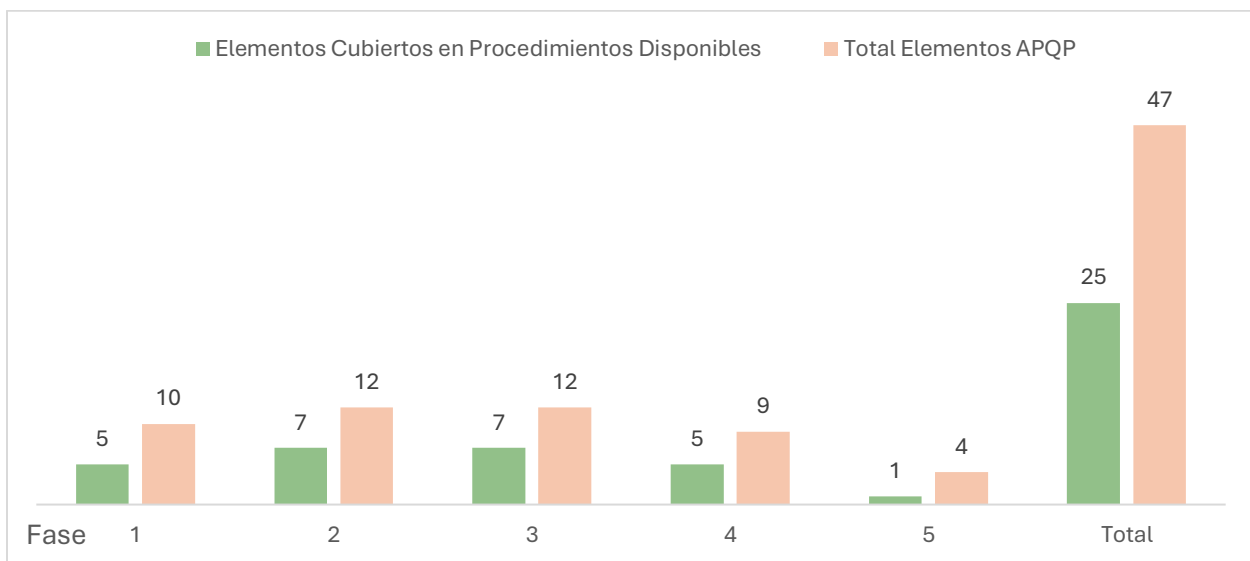
la petición de sus clientes de mostrar cumplimiento con el estándar; sin embargo, esta documentación en el momento del análisis, no se encuentra en su versión final, por lo que se debe realizar un análisis de lo existente, con el propósito de identificar las modificaciones necesarias para estar de acuerdo con lo establecido en el documento AS9145. El objetivo de esta actividad, por lo tanto, es realizar una evaluación de lo que se ha llevado a cabo y se ha aplicado a en el sistema de gestión de calidad en la organización, identificando los puntos sobre los que no existe un conocimiento pleno y para los que las capacidades actuales no parecen ser adecuadas. Este análisis actúa como guía en la determinación e implementación de la documentación a realizar o modificar, con el fin de tener un proceso APQP más robusto que pueda ser implementado en su totalidad en el programa, ya que como se mencionó anteriormente, el cliente ha impuesto como requerimiento contractual la aplicación de la metodología según el documento AS9145.

La organización dispone en su sistema de gestión de calidad, con un procedimiento documentado principal (el cual se referirá esta investigación como “Planeación Avanzada de Producción”) para condensar la incorporación de los departamentos o funciones requeridas para satisfacer los requerimientos del cliente en una nueva unidad de negocio o proyecto, sustentado en el estándar aeroespacial 9145 y por consecuencia en la metodología APQP; definiendo claramente las interdependencias de las áreas funcionales responsables de cada elemento y proceso operativo. En este documento se define lo que la unidad de negocio debe lograr dentro de cada fase de su desarrollo, además menciona la forma específica de lograrlo señalando los respectivos procesos o procedimientos documentados en el sistema de gestión de calidad para cada función de la organización.

En el análisis de este documento, se encuentra que integra los lineamientos del estándar aeroespacial 9145, mencionando las 5 fases de la metodología APQP y sus 47 elementos definidos en el manual de referencia el Manual Aeroespacial APQP/PPAP. No obstante, el

alcance del procedimiento se limita de manera general a mencionar los elementos y sus responsables, pero no profundiza en sus entregables y sus listas de verificación asociadas, lo cual restringe la visibilidad de todos los requerimientos asociados a los elementos en su implementación y cumplimiento. En el análisis de este procedimiento principal, que se limita a documentar los procedimientos específicos para la realización de los elementos APQP, se observa que se cubren 25 de los 47 elementos mencionados en el documento AS9145 y en el Manual Aeroespacial APQP/PPAP. En la siguiente figura 23, se muestra el resultado de este análisis al nivel de cumplimiento de esta documentación respecto elementos y fases de la metodología APQP.

Figura 23. Elementos cubiertos en la documentación interna segregados por las fases 1 a 5 de la metodología APQP.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Como se expone en la figura anterior, 25 (40%) de los elementos no cuentan con un procedimiento documentado, por lo que la organización debe trabajar paralelamente en documentar e integrar estos elementos y entregables en su sistema de gestión de calidad con el proceso de desarrollo de producto. Es pertinente mencionar que, aunque esta documentación

cumple con los elementos y entregables de la metodología APQP, ya que varios de los elementos de la metodología son procedimientos o herramientas de uso común en la industria manufacturera, actualmente estos documentos internos no mencionan directamente al estándar aeroespacial 9145 y a las listas de verificación asociadas a los elementos; por lo que como trabajo futuro se recomienda trabajar en nuevas revisiones de esta documentación para integrar el estándar en sus propósitos y alcances.

De acuerdo con este análisis, se puede considerar que el sistema de gestión de calidad de la organización actualmente no cuenta completamente con la madurez requerida para cumplir con cada uno de los requerimientos de la metodología APQP. Sin embargo, esta falta de documentación se puede cubrir mediante el análisis de los requerimientos del estándar aeroespacial 9145, su manual de referencia y las listas de verificación asociadas a cada fase y elemento conforme el avance del proyecto; lo cual permite cubrir los requerimientos de la metodología.

4.3 Evaluación de Requerimientos Externos

Como se mencionó en el apartado *4.1 Introducción*, la organización y su cliente acordaron contractualmente desarrollar la metodología APQP en sus 5 fases con 29 elementos de los 47 establecidos en el documento AS9145 y en el Manual Aeroespacial APQP/PPAP. En la siguiente tabla, se muestran los elementos requeridos:

Tabla 7. Elementos aplicables a la unidad de negocio en desarrollo.

Fase 1: Planeación	Elemento Requerido
Entradas del Proyecto	X
Requerimientos de Diseño del Producto	✓
Especificación del Producto del Fabricante	X
Objetivos del proyecto: seguridad, calidad, cronograma y costo	✓
Lista preliminar de Elementos Críticos y Características Claves del Producto	✓
Lista Preliminar de Materiales	✓
Diagrama de Flujo del Proceso Preliminar	X
Revisión de Declaración de Trabajo	X
Plan de Abastecimiento Preliminar	X
Plan del Proyecto	✓
Fase 2: Diseño y Desarrollo del Producto	
Análisis de Riesgos de Diseño	X
Registros de Diseño	✓
Lista de Materiales	✓
Diseño para Fabricación y Montaje, Tolerancias, etc.	X
Diseño para Mantenimiento, Reparación y Revisión	X
Requerimientos Especiales, Incluidos Elementos Críticos y Características Claves del Producto	✓
Análisis de Riesgos Preliminar del Plan de Abastecimiento	X
Especificación de Empaque	✓
Informe de Revisión de Diseño	✓
Plan de Desarrollo para la Fabricación del Producto	✓
Plan de Verificación y Validación del Diseño, y Resultados Asociados	✓
Evaluación de Factibilidad	X
Fase 3: Diseño y Desarrollo del Proceso	
Diagrama de Flujo del Proceso	✓
Plan del Diseño de Distribución de la Planta de Producción	✓
Plan de Preparación de Producción	✓
Análisis de Modo y Efecto de Falla del Proceso	✓
Características Clave del Proceso	✓
Plan de Control (Preliminar)	X
Evaluación Preliminar de Capacidad	✓
Documentación de la Estación de Trabajo	X
Plan de Análisis del Sistema de Medición	X
Plan de Gestión de Riesgos de la Cadena de Suministro	X
Aprobaciones de Manejo de Materiales, Empaque, Etiquetado y Marcado de Piezas	✓
Resultados de la Evaluación de Preparación para la Producción	X

Fase 4: Validación del Proceso y del Producto	
Ejecuciones del Proceso de Producción	✓
Análisis del Sistema de Medición	X
Estudios de Capacidad del Proceso Inicial	X
Plan de Control	✓
Verificación de Capacidad	✓
Resultados de la Validación del Producto	✓
Inspección del Primer Artículo	✓
Proceso de Aprobación de Piezas de Producción	✓
Requerimientos Específicos del Cliente	✓
Fase 5: Producción en Curso, Uso y Servicio Posterior a la Entrega	
Medición de Desempeño	X
Indicadores Clave de Rendimiento en Mantenimiento, Reparación, Revisión y Plan(es) para Alcanzar los Objetivos Establecidos	✓
Acciones de Mejora Continua	✓
Lecciones Aprendidas	✓

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La exclusión de estos elementos se debe a experiencias previas de otras unidades de negocio en la organización con el cliente o a la naturaleza técnica del producto; se puede tomar como ejemplo el elemento “Diagrama de Flujo del Proceso Preliminar” que en base a colaboraciones previas entre las partes involucradas; se tiene claro por parte del cliente, los procesos de la organización en un producto similar al producto nuevo por desarrollar.

4.4 Planeación y cronograma del proyecto

En relación con el cronograma para la implementación de la metodología APQP en la nueva unidad de negocio y al desarrollo de sus productos nuevos, se recomienda utilizar el software Microsoft Project o similar, que permita un fácil establecimiento de las dependencias entre las actividades y recursos del proyecto para observar claramente el impacto si es necesario agregar, eliminar o modificar estos. Por otra parte, en relación con las dependencias entre las actividades, este software facilita la apreciación de la repercusión en el cronograma si la fecha de comienzo o terminación de estas tareas fue modificada y evaluar si esta acción representa un riesgo en el

cumplimiento de los elementos o entregables e iniciar una acción de mitigación. En este cronograma, se identifican las actividades y sus subtareas asociadas, dependencias, hitos, personas, departamentos (o funciones) responsables, etapas del proyecto, así como fases, elementos y entregables de la metodología APQP; tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 24. Estructura del cronograma del proyecto e integración de fases, elementos y entregables de la metodología APQP.

	Task Name	Duration	Start	Finish	% Complete	Predecessors	Successors	Department	Resource Names	APQP
1	Nombre del proyecto				99%					
2	Etapa del Proyecto 1				100%					
3	Requerimientos de Diseño del Producto				100%			Diseño	Gerente de Diseño	Fase 1
4	Objetivos del Proyecto: Seguridad, Calidad, Cronograma y Costo				100%			Programas	Gerente de Programas	Fase 1
5	Lista preliminar de Elementos Críticos y Características Claves del Producto				100%			Diseño	Gerente de Diseño	Fase 1
6	Lista Preliminar de Materiales				100%			Diseño	Gerente de Diseño	Fase 1
7	Plan del Proyecto				100%			Programas	Gerente de Programas	Fase 1
8	Actividad Genérica 1				100%			Diseño	Gerente de Diseño	
9	Actividad Genérica 2				100%			Diseño	Gerente de Diseño	
10	Actividad Genérica 3				100%			Diseño	Gerente de Diseño	
11	Etapa del Proyecto 2				100%					
282	Etapa del Proyecto 3				100%					
796	Etapa del Proyecto 4				100%					
855	Etapa del Proyecto 5				100%					
879										
880										
881										

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Considerando la figura anterior, es recomendable tener en cuenta para la asignación de duración y recursos de cada tarea; actividades comparables, experiencias y datos técnicos previos de otras unidades de negocio o productos similares para establecer la duración del proyecto lo más realista posible al comienzo de este y así evitar correcciones posteriores al cronograma.

Es importante señalar que esta planeación y cronograma del proyecto directamente forma parte de los elementos de la fase 1 (plan de proyecto) de la metodología APQP, por lo que otras actividades no directamente relacionadas a la metodología, pero importantes para el desarrollo

de la unidad de negocio tal como certificaciones, pruebas, elaboración de documentos técnicos y evaluaciones de diseño deben ser tomadas en cuenta.

4.5 Asignación del Equipo Multidisciplinario

La asignación del equipo multidisciplinario responsable para la implementación de la metodología APQP en la unidad del negocio está dada como se mencionó anteriormente, por el procedimiento interno “Planeación Avanzada de Producción” en la organización, no obstante, el procedimiento se limita a establecer departamentos responsables y no a las funciones específicas del equipo encargado de cada elemento, entregables y actividades según sea necesario.

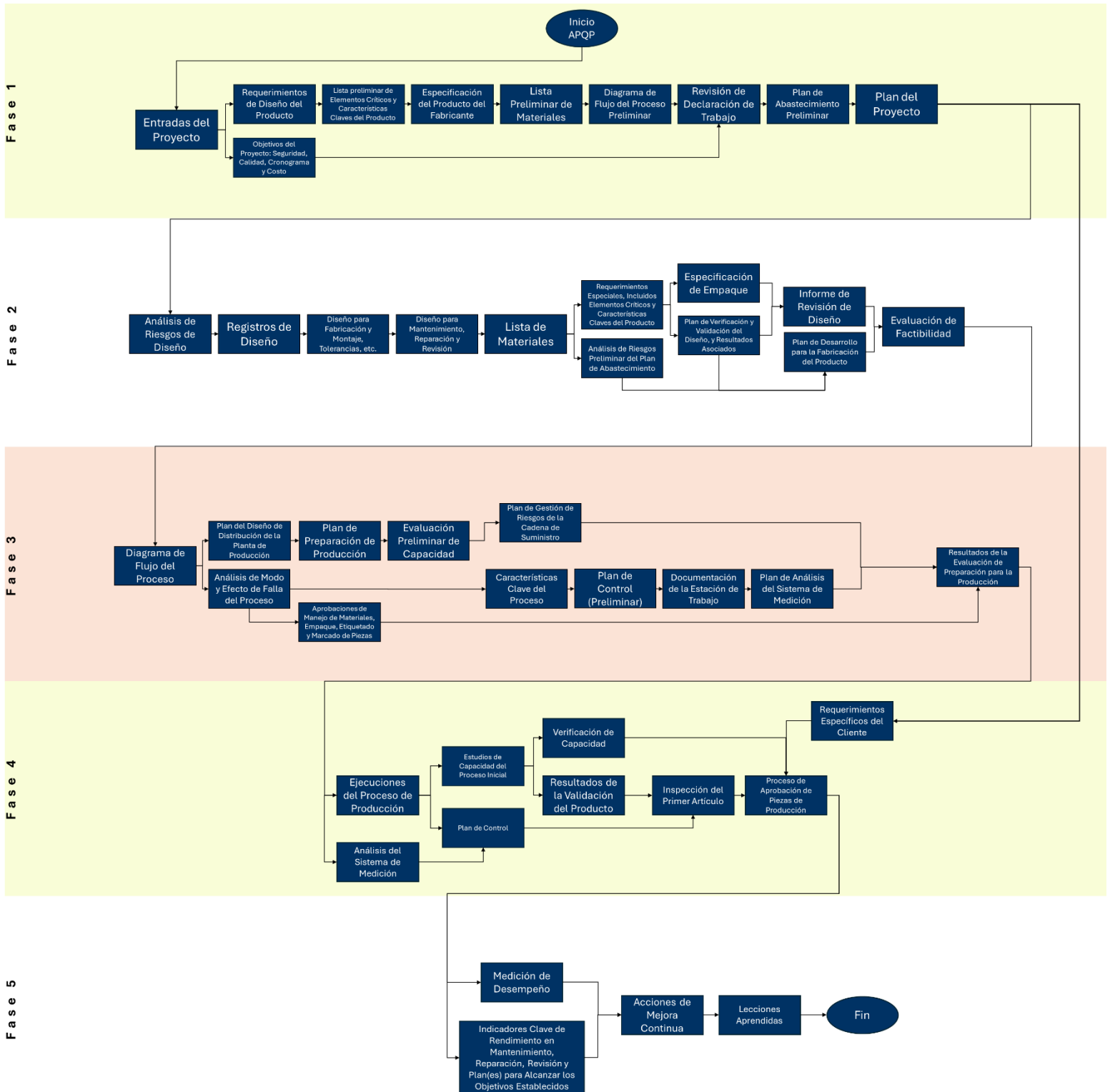
Para asignar a la persona correcta para cada actividad, primero se asegura que todos los miembros de los departamentos o funciones asignadas a la unidad de negocio en desarrollo estén entrenados en el procedimiento “Planeación Avanzada de Producción”, así como en los procesos documentados generados por cada función disponibles en el sistema de calidad de la organización asociados a los elementos de la metodología APQP. Para los elementos que no están cubiertos actualmente en el sistema de gestión de calidad de la organización, se realizaron entrenamientos especiales para el entendimiento de los requerimientos del estándar aeroespacial 9145, su manual de referencia y las listas de verificación asociadas a cada elemento.

Una vez terminado el entrenamiento, se lleva a cabo una reunión con la gerencia y supervisión de cada función de la organización para la designación de la persona responsable de cada elemento, entregable y actividad de la metodología APQP en la nueva unidad de negocio (tal como se mencionó en el apartado anterior, esta información fue integrada como es requerido, al elemento “Plan del Proyecto” de la fase 1, así como en la generación y modificación de la documentación para la integración completa del estándar aeroespacial 9145 en el sistema de gestión de calidad de la organización.

4.6 Diagrama de Flujo General del Proceso APQP

Según lo establecido anteriormente, el documento AS9145 (2016) y el Manual Aeroespacial APQP/PPAP (2017) sugieren una secuencia de la metodología a nivel de fases; por otra parte, en cuanto a la realización de los elementos, el estándar aeroespacial 9145 actualmente no especifica una secuencia de estos; esta tarea se ve parcialmente reflejada en su manual de referencia, al especificar una numeración de los elementos, entradas, y entregables necesarios para su realización. Sin embargo, al analizar estos requerimientos, se puede establecer una metodología genérica en formato de diagrama de flujo como parte de las aportaciones de esta investigación que permita observar las interacciones entre estos elementos y su secuencia de ejecución, así como ser un documento de referencia al momento de replicarse en proyectos similares; tal como se muestra en la figura 25 expuesta a continuación:

Figura 25. Metodología genérica en formato de diagrama de flujo del proceso APQP.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

La visibilidad del proceso APQP y las interacciones de sus elementos, de acuerdo con el diagrama de flujo anterior, puede ayudar al equipo multidisciplinario a optimizar los recursos disponibles al mostrar los elementos específicos que son posibles de realizar en paralelo sus actividades y entregables.

4.7 Definición de Marco Metodológico

Para una implementación efectiva del proceso APQP, en este apartado se define el marco metodológico describiendo de manera sistemática el enfoque y los procesos empleados en esta investigación, la cual se fundamenta en un estudio de caso real de desarrollo de un nuevo producto en la industria aeroespacial. Se adopta la estructura de las cinco fases de la metodología APQP acorde al documento AS9145, garantizando así la generación de mejores prácticas en su implementación, así como una validación cuantitativa de esta metodología.

En la siguiente tabla, se describe el marco metodológico empleado para la realización de las fases de la metodología APQP, tomando como referencia los requerimientos de sus fases, elementos y entregables descritos el marco teórico de esta investigación.

Tabla 8. Marco Metodológico.

Fase APQP	Objetivo Metodológico	Técnicas	Instrumentos
<p>Fase 1: Planeación</p>	<p>Se establece el alcance del proyecto, se validan los requerimientos del cliente y del estándar AS9145</p>	<p>Revisión documental</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Documento AS9145. • Manual Aeroespacial APQP/PPAP. • Listas de verificación SCM. • Requerimientos técnicos de cliente, del programa y contractuales. • Lecciones aprendidas y datos de programas similares • Software Microsoft Project. • Gráfica de Gantt.
<p>Fase 2: Diseño y Desarrollo del Producto</p>	<p>Generar y validar el diseño detallado de los productos nuevos conforme a requerimientos del cliente</p>	<p>Revisión documental</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión documental de requerimientos técnicos de cliente. • Regulaciones aplicables. • Lecciones aprendidas y datos técnicos de diseño de programas similares de la organización. • Requerimientos contractuales.
		<p>Modelado por computadora del producto</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Software CATIA.

Fase 3: Diseño y Desarrollo del Proceso	Definir y validar el proceso de manufactura y empaque que asegure la calidad del producto. Evaluar capacidad de producción preliminar y de la cadena de suministro	Mapeo de procesos	<ul style="list-style-type: none"> • Diagrama de flujo. • PFMEA. • Plan de Control. • Corridas piloto de producción. • Análisis de capacidad de maquinaria. • Requerimientos de empaque del cliente y regulaciones ambientales.
		Planeación y pronóstico de compras y producción	<ul style="list-style-type: none"> • Requerimientos de demanda del cliente. • Software de planeación de recursos empresariales (Enterprise Resource Planning, por sus siglas en inglés, ERP).
Fase 4: Validación del Proceso y del Producto	Asegurar que el producto y el proceso cumplen los requerimientos del cliente	Pruebas y análisis de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis del sistema de medición. • Pruebas dimensionales. • Plan de control. • Análisis estadístico. • PPAP.
Fase 5: Producción en curso, Servicio de Uso y Post Venta	Monitorear la producción en serie, mantenimiento y reparación del producto en campo y establecer acciones de mejora continua	Auditorías internas y externas	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores clave de rendimiento. • Datos históricos de calidad y producción. • Software Microsoft Project.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Este marco metodológico ofrece una ruta clara y estructurada para implementación de la metodología APQP. Al combinar técnicas revisión documental y análisis de datos para cada una de las cinco fases del proceso de desarrollo del producto, y al documentar los hallazgos de mejores prácticas, se fortalece la capacidad de replicar esta implementación. De esta manera, esta investigación no solo documenta el caso de estudio, sino que aporta una guía práctica que promueve la eficiencia en la implementación de esta metodología en proyectos similares u otras industrias.

Capítulo 5. Análisis de Resultados

En este capítulo, se muestran los resultados obtenidos tras aplicar la metodología genérica propuesta (figura 25) y se presentan las mejores prácticas generadas durante la realización de los entregables y elementos APQP en el proceso de desarrollo de producto de la nueva unidad de negocio, con el objetivo de asegurar una implementación efectiva del proceso APQP. Además, se añaden resultados y conclusiones con relación a esta implementación para evaluar su impacto cuantitativamente. Por último, se identifican puntos clave que las organizaciones del sector manufacturero pueden considerar al momento de implementar esta metodología.

En el presente caso de estudio, se concluyeron 23 de los 29 elementos acordados con el cliente, esto derivado de cambios en las prioridades de la organización; por lo que el último elemento terminado fue “Resultados de la Validación del Producto” por lo tanto los siguientes elementos quedan inconclusos en el proceso de desarrollo del producto: (1) Inspección del Primer Artículo, (2) Proceso de Aprobación de Piezas de Producción, (3) Requerimientos Específicos del Cliente, (4) Indicadores Clave de Rendimiento de Mantenimiento, Reparación, Revisión y Plan(es) para Alcanzar los Objetivos Establecidos, (5) Acciones de Mejora Continua y (6) Lecciones Aprendidas. Sin embargo, fue posible la realización del elemento clave de la fase 4 “Ejecuciones del Proceso de Producción” lo cual permitió la validar la eficiencia de la metodología genérica

propuesta a través de variables cuantitativas o indicadores clave de rendimiento tales como tiempo de ciclo, rendimiento de primera pasada y eficiencia general del equipo, las cuales se analizarán a detalle en los siguientes apartados. Igualmente, en estos apartados se consolida la información generada en las fases anteriores de esta investigación para evaluar el desempeño del programa, identificar oportunidades de mejora y documentar las lecciones aprendidas que servirán de guía para futuros proyectos. A continuación, se describen las actividades clave de esta etapa:

1. Recolección de datos y análisis estadístico.
 - A. Extracción de datos de producción (tiempos de ciclo, índices de rechazo, tiempo de funcionamiento de maquinaria, etc.) generados durante el elemento “Ejecuciones del Proceso de Producción”.
 - B. Extracción de datos de los resultados obtenidos en las pruebas de instalación generadas en el elemento “Resultados de la Validación del Producto”.
 - C. Análisis estadístico de los incisos A y B.
2. Comparativa contra objetivos establecidos.
 - D. Contraste de los valores obtenidos en indicadores clave de rendimiento con los objetivos establecidos en el elemento “Objetivos del Proyecto: Seguridad, Calidad, Cronograma y Costo”.

5.1 Generación de Elementos, Entregables y Mejores Practicas

5.1.1 Fase 1

5.1.1.1 Requerimientos de Diseño del Producto

Se recibe por parte del cliente, dos documentos que definen los requerimientos técnicos y de diseño necesarios para el nuevo producto. El primero de ellos llamado "Documento de Requerimientos Técnicos Generales" (General Technical Requirement Document, por sus siglas en inglés, GTRD) el cual define los requerimientos técnicos que son aplicables a todos los sistemas, subsistemas, estructuras y sus componentes de la aeronave; engloba la documentación y referencias aplicables, información técnica y características clave de la aeronave, escenarios operacionales, roles y responsabilidades de los proveedores, tiempo de vida esperado de los componentes, información y requerimientos de certificación de componentes y materiales, lista de las autoridades de certificación, requerimientos y restricciones de interfaces, instalación, confiabilidad, reparaciones, inspecciones y mantenimiento. Este documento captura estos requerimientos generales para evitar la duplicación de estos en el segundo documento proporcionado "Documento de Requerimientos Técnicos (específicos para el programa)" (Technical Requirement Document, por sus siglas en inglés, TRD) el cual establece la normas regulatorias aplicables además de los requerimientos generales y específicos para el diseño, desarrollo, rendimiento, interfaz, integridad de los componentes, capacidad de producción, confiabilidad, mantenimiento, tiempo de vida útil, seguridad, pruebas de certificación, manufactura y garantías de calidad específicos del producto nuevo por desarrollar. Este documento, además, establece una matriz que determina las responsabilidades y roles del cliente y su proveedor como líder, participante, soporte, aprobador o validador en actividades específicas para cumplir con los requerimientos establecidos.

En función de estos documentos otorgados por el cliente, el proveedor, como dueño del diseño, debe de demostrar que comprende su alcance y requerimientos, además de demostrar su

capacidad de cumplirlos mediante objetivos de diseño claramente definidos. Para llevar a cabo esto, el departamento de diseño debe crear un documento que detalle el análisis de los requerimientos del producto y como estos serán satisfechos, ya sea por conceptos de diseño, documentación, pruebas, materiales y datos históricos o lecciones aprendidas de otros productos similares. Esta documentación debe ser establecida como una configuración técnica de producto controlada para asegurar que estos requerimientos y especificaciones se mantengan coherentes y rastreables durante el desarrollo del producto.

5.1.1.2 Objetivos del Proyecto: Seguridad, Calidad, Cronograma y Costo

Los objetivos del proyecto y sus métricas, como se establece en el apartado marco teórico, incluyen seguridad, rendimiento, calidad, capacidad de producción, confiabilidad y tiempo vida útil del producto. Estos objetivos técnicos, por lo general se establecen en el elemento “Requerimientos de Diseño del Producto”. Con respecto a los objetivos de capacidad de producción y calidad, estos pueden de ser acordados a nivel contractual de acuerdo con la demanda de cliente; por último, el establecimiento una lista acordada entre proveedor y cliente de los indicadores clave de rendimiento para estos objetivos relacionados al cronograma del proyecto y costos, se definen tomando en cuenta unidades de negocio similares, así como los intereses del cliente. Esta lista se debe documentar y en ella se establecen los responsables de cada indicador clave. Para su seguimiento se sugiere establecer una junta semanal con todas las partes interesadas además de una revisión a nivel gerencial cada tres meses.

5.1.1.3 Lista preliminar de Elementos Críticos y Características Claves del Producto

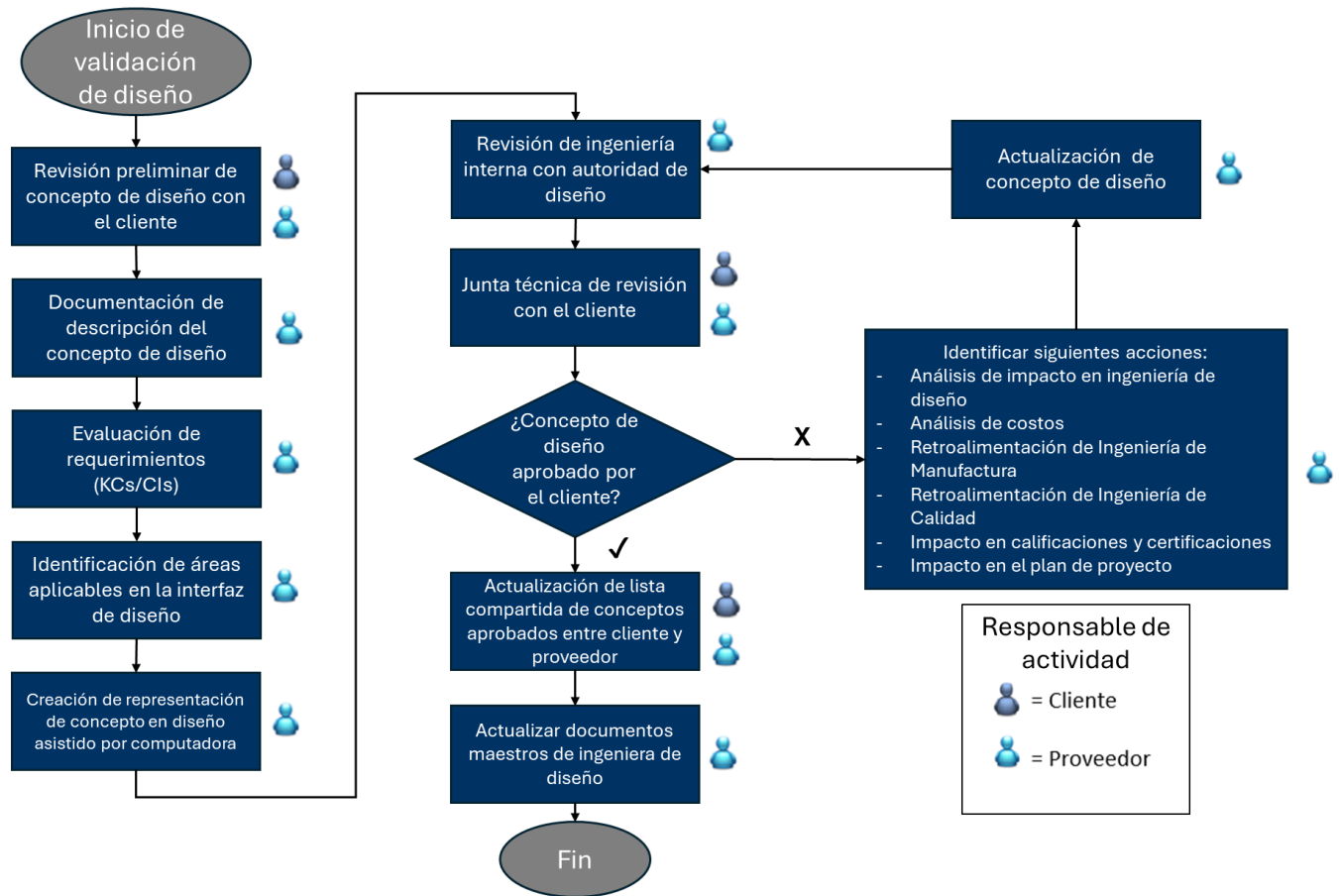
En la creación de la lista preliminar de elementos críticos y características claves se consideran varias entradas externas (como por ejemplo los requerimientos del cliente mencionados en el “Documento de Requerimientos Técnicos”) e internas como:

Procedimientos documentados y listas de verificación. Es importante definir en la organización mediante documentación, la autoridad de diseño encargada de validar la lista preliminar de elementos críticos y características claves ya estas deben ser evaluadas para evitar costos innecesarios asociados al cumplimiento de estas características a nivel diseño hasta su impacto en la manufactura del producto. Además, es buena práctica crear y documentar una serie de listas de verificación internas, en base a experiencias previas y lecciones aprendidas, que ayuden a evaluar si los elementos y características definidas cumplen con los filtros necesarios para ser consideradas como tales.

Lecciones aprendidas y experiencias previa. Estos elementos críticos y características claves pueden ser propuestos en base a experiencias previas, lecciones aprendidas y documentación generadas de unidades de negocio similares, tales como el Análisis Modal de Fallos y Efectos del Diseño (AMFED) y listas de elementos críticos y características claves. En este caso de estudio, el cliente y la organización contaron con la ventaja de estar al momento del desarrollo de este programa, trabajando en otro programa sumamente similar; lo que facilitó la creación de esta lista y su posterior aprobación.

Al ser requerido que esta lista sea aprobada por el cliente, es importante que este comprenda el proceso de validación de diseño, por lo que se recomienda establecer un diagrama de flujo que establezca claramente este proceso ya que está inherentemente asociado a los elementos críticos y características claves. En la siguiente figura se muestra de manera general como puede ser establecido este proceso:

Figura 26. Diagrama de flujo general para la validación y aprobación de diseño, Elementos Críticos (CI) y Características Claves (KCs).



Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior se aprecia la definición de la autoridad de cada actividad para establecer claramente la forma de trabajar para su aprobación por parte del cliente, lo cual es fundamental para cumplir con el entregable de este elemento. Para llevar a cabo este diagrama de flujo, es sumamente necesario que el cliente y su proveedor acuerden la forma de trabajo necesaria para cumplir con las expectativas de diseño y los elementos que derivan de este.

5.1.1.4 Lista Preliminar de Materiales

En este elemento es necesario definir los sub componentes necesarios mediante una estructura de desglose del producto para identificar los materiales primarios que se usarán tomando en cuenta los requerimientos de diseño del producto, acuerdos comerciales establecidos, demanda, costos y experiencias en programas similares. Esta lista preliminar está sujeta a cambios que se reflejan a través de la maduración del proyecto en el elemento de la fase 2 “Lista de Materiales”; de acuerdo con los resultados de pruebas y certificaciones establecidas en los documentos que definen los requerimientos técnicos y de diseño necesarios para el producto nuevo.

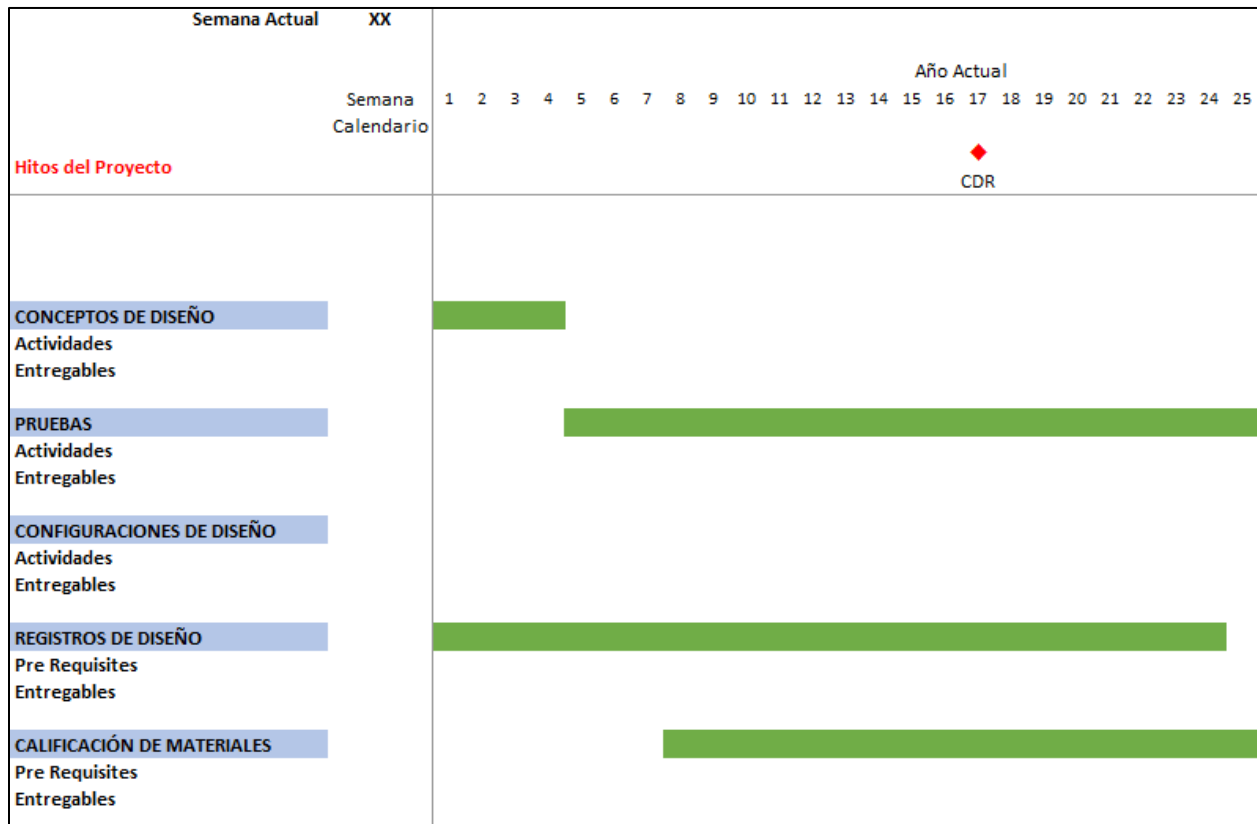
5.1.1.5 Plan del Proyecto

El plan o cronograma del proyecto se trabaja como se describe en el punto anterior 4.4 “Planeación y Cronograma del Proyecto”, implementando todas actividades asociadas a la metodología APQP y al proyecto en general. Sin embargo, es importante señalar que el cronograma puede sufrir varios cambios a través de la vida del proyecto, ya que el factor de bucles en las revisiones de documentos técnicos debido a diferentes puntos de vista o expectativas entre los departamentos de ingeniería de las partes involucradas generalmente no es tomando en cuenta; además que al planear los tiempos para estas actividades, se necesita tomar en cuenta la capacidad del cliente en atender estas revisiones o aprobaciones técnicas; por lo que se recomienda ampliamente tomar estos factores en cuenta para realizar un plan de proyecto adecuado.

La revisión y evaluación del progreso del proyecto es una actividad crítica mediante hitos de este tal como la Revisión Preliminar del Diseño (Preliminary Design Review o PDR por sus siglas en inglés), Revisión Crítica del Diseño (Critical Design Review o CDR por sus siglas en inglés) y la Revisión de Preparación para la Producción (Production Readiness Review o PRR por sus siglas en inglés) donde la alta gerencia de ambas partes deben de estar involucradas, por lo que

importante presentar un estatus claro y entendible. Para este propósito, es conveniente presentar un cronograma en formato de gráfica de Gantt en el cual se sintetice los hitos del proyecto, actividades críticas en progreso, por empezar y terminadas, además de los impactos de actividades retrasadas o agregadas tal como se muestra en la figura 27:

Figura 27. Cronograma resumido por hitos y actividades críticas.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

En esta figura se muestra una porción recortada de este cronograma resumido que permite observar la fecha (se aconseja usar semana calendario como formato) de inicio y fin de los hitos del proyecto, las actividades y entregables críticos asociados a estos, para así exponer de una manera concisa y rápida, el panorama general del proyecto. Este formato puede ser modificado en caso de ser necesario agregando las actividades, hitos o semanas necesarias según las necesidades del proyecto.

5.1.2 Fase 2

5.1.2.1 Registros de Diseño

De acuerdo con los requerimientos y necesidades del desarrollo del producto de esta nueva unidad de negocio, como formato de entregable de los registros de diseño se acordó contar con dibujos de diseño del producto en 2D y 3D. Es necesario que estos dibujos de diseño asistido por computadora sean aprobados por la autoridad de diseño, departamento de manufactura y de calidad de la organización, así como por el cliente.

Es indispensable para cumplir con los requerimientos técnicos del cliente, contar con toda la información necesaria de este que pueda influir en el proceso de desarrollo del diseño del producto que tiene como salida los dibujos técnicos del producto. Para esto es importante contar con los siguientes procesos y documentos definidos y acordados:

1. Proceso de diseño entre proveedor y cliente, incluyendo el proceso de notificaciones de cambios de ingeniería, proceso de envío, validación y aprobación de dibujos de diseño del producto, así como autoridades de diseño definidas de ambas partes.
2. Proceso interno de diseño definido del proveedor, incluyendo procedimientos con pautas de diseño, herramientas, listas de verificación y procesos de aprobación.
3. Pautas de diseño definidas, incluyendo interfaz de diseño, requerimientos técnicos, lista de tolerancias definidas y lista de materiales preliminar.
4. Proceso de gestión de configuración interno del proveedor para controlar las revisiones futuras de los dibujos de diseño del producto.
5. Evaluación de capacidad y productividad, incluyendo horas y recursos humanos de cliente y proveedor para la creación y aprobación de los dibujos de diseño del producto.

Es necesario contar con un plan definido y acordado con el cliente para llevar esta tarea a tiempo de acuerdo con el plan del proyecto; por lo que es importante llevar a cabo una minuciosa

evaluación de la capacidad y productividad, incluyendo horas y recursos humanos del cliente y proveedor para la creación y aprobación de los dibujos de diseño del producto.

5.1.2.2 Lista de Materiales

La lista de materiales final es la maduración y validación de la lista de materiales preliminar realizada en la fase 1. En esta etapa, se validan los materiales mediante pruebas y calificaciones de acuerdo con especificaciones de materiales acordadas y aprobadas con el cliente; esto en conformidad con los requerimientos documentados en el elemento “Requerimientos de Diseño del Producto”. En este caso de estudio, como se expuso anteriormente, estos requerimientos fueron contenidos en el “Documento de Requerimientos Técnicos (específicos para el programa)”. Esta lista debe ser validada por el departamento de manufactura después de un análisis de factibilidad para asegurar que el producto sea realizable con los materiales elegidos.

5.1.2.3 Requerimientos Especiales, Incluidos Elementos Críticos y Características Claves del Producto

Este elemento es la lista terminada de características claves y elementos críticos del producto iniciada en la fase 1. Para la maduración y actualización de esta lista, se recomienda tener en cuenta la experiencia y oportunidades detectadas que son obtenidas en el desarrollo de los registros de diseño, en el análisis de modo y efecto de falla de diseño, la lista final de materiales y los posibles cambios de la interfaz de diseño por parte del cliente. Esta lista es compartida al departamento de manufactura para su implementación y seguimiento en el análisis de modo y efecto de falla del proceso de producción.

5.1.2.4 Especificación de Empaque

La propuesta de la especificación de empaque es presentada al cliente tomando en cuenta los requerimientos contractuales de la unidad de negocio, el diseño del producto, requerimientos del cliente y regulaciones de exportación e importación. Además, es apropiado considerar

experiencias y soluciones de otros programas similares; lo que puede facilitar la creación de esta especificación y su posterior aprobación del cliente, así como del departamento de tráfico y logística interno de la organización. Esta especificación madura a través del desarrollo del diseño en esta fase 2 y se debe de documentar su versión final en el elemento de la fase 3 “Aprobaciones de Manejo de Materiales, Empaque, Etiquetado y Marcado de Piezas”. Además, se debe tener en cuenta para la creación de los elementos futuros de la fase 3 como el diagrama de flujo del proceso y el diseño de distribución de la planta de producción.

5.1.2.5 Informe de Revisión de Diseño

Es apropiado que en este elemento se tome en cuenta como un hito del proyecto para revisar entre todos los grupos de interés (stakeholders, por su definición en inglés) incluyendo a alta gerencia de la organización y del cliente, el estatus de cada uno de los entregables del departamento de diseño como los registros y soluciones de diseño, calificación de materiales, certificaciones a nivel sistema, documentación necesaria, elementos críticos y características claves del producto así como el análisis de modo y efecto de falla de diseño. Además del estatus, se debe de revisar detalladamente las barreras que impiden o ralentizan la realización de los entregables de diseño incluyendo acciones correctivas o de mitigación a cada una de estas, evaluación de costos asociados, así como los cambios en el organigrama y responsabilidades en la organización y el cliente. Por último, es conveniente analizar el plan del proyecto para evaluar su avance general, así como sus riesgos asociados; estableciendo acciones correspondientes para minimizarlos. Este informe se debe de documentar junto a las acciones previamente mencionadas junto a sus responsables y fechas compromiso.

5.1.2.6 Plan de Desarrollo para la Fabricación del Producto

El plan de desarrollo de producto es una actividad conjunta entre los departamentos de ingeniería de diseño y manufactura; aunque el departamento de manufactura es el responsable de este

elemento, se necesita por parte del departamento de diseño un documento controlado que establezca los requerimientos de diseño que los departamentos de manufactura y producción deben cumplir. Para este caso de estudio, este documento se nombra “Especificaciones de Proceso” el cual incluye especificaciones y entregables de diseño como la lista de materiales, requerimientos dimensionales y técnicos, criterios de inspección visuales, conceptos de diseño, requerimientos de seguridad, así como los elementos críticos y características claves del producto. Con estas entradas, el departamento de manufactura debe de integrar en este plan los siguientes documentos:

1. Diagrama de flujo del proceso preliminar.
2. Diseño preliminar de distribución de la planta de producción.
3. Lista de herramientas, maquinaria e instalaciones necesarias para la producción e inspección.
4. Plan detallado de la compra de herramientas, maquinaria y modificaciones de instalaciones; además de otras actividades como diseño de experimentos, estudios de capacidad y tiempos, así como la creación de métodos y procedimientos de manufactura.

Estos documentos deben ser integrados en el plan de desarrollo de producto junto con la fecha estimada para la creación de sus versiones finales, las cuales están directamente ligadas la fase 3 de la metodología APQP.

5.1.2.7 Plan de Verificación y Validación del Diseño, y Resultados Asociados

El plan de verificación y validación puede considerarse un elemento crítico ya que este entregable garantiza al cliente como la organización cumple todos los requerimientos técnicos establecidos en el elemento “Requerimientos de Diseño del Producto” y descritos en este caso de estudio en el “Documento de Requerimientos Técnicos (específicos para el programa)” en donde se describen las evidencias de cumplimiento para cada uno de estos requerimientos técnicos, que

documentos contienen estas evidencias, la autoridad correspondiente para su aprobación, así como la fase del proyecto y fecha que deben de llevarse a cabo.

Es de importancia que en la realización de este plan estén involucrados las autoridades de diseño competentes de la organización y su cliente, ya que se debe de acordar las expectativas de las evidencias; a su vez de tomar precauciones en la definición del cumplimiento de los requerimientos técnicos, debido a que involucra recursos disponibles del proyecto e impacta en cada una de las fases de este.

En este caso de estudio, para documentar este entregable; se consideran las siguientes secciones de información:

1. Sección e índice del “Documento de Requerimientos Técnicos (específicos para el programa)” describiendo que cuales serían las evidencias de cumplimiento en que se encuentra el requerimiento.
2. Nombre y número de parte del producto impactado por este requerimiento.
3. Descripción del requerimiento técnico.
4. Fase del proyecto aplicable.
5. Tipo de evidencia de cumplimiento (documento de ingeniería, reporte de prueba, procedimiento, memorándum de ingeniería o análisis de ingeniera).
6. Nombre o número de los documentos que contendrán la evidencia de cumplimiento.
7. Estatus actual de la evidencia de cumplimiento (en progreso, en validación, en retrabajo o aprobada).
8. Fecha estimada de entrega de evidencia de cumplimiento.
9. Autoridad responsable de verificación y aprobación.
10. Lista de riesgos y acciones de mitigación.
11. Comentarios y notas.

Por último, el plan de verificación y validación se aprueba por el cliente y sus actividades deben de integrarse a las actividades del plan del proyecto. Este documento es prerequisite del entregable de la fase 4 “Resultados de la Validación del Producto”, donde se documentan todos los resultados asociados a este plan y el cual se abordará más adelante en su respectiva fase en este documento.

5.1.3 Fase 3

5.1.3.1 Diagrama de Flujo del Proceso

Como primera actividad de la fase 3, el diagrama de flujo de proceso en esta fase completa su maduración desde el diagrama de flujo del proceso preliminar y se encarga de iniciar la documentación relacionada a la manufactura del producto. Es importante contar con las entradas de diseño como los registros de diseño, lista de materiales y características claves del producto suficientemente maduras para poder establecer un flujo de proceso que requiera cambios mínimos en el futuro. Para el caso de estudio, se cuenta con un 80% del total de los registros de diseño, lo que permite la elaboración del diagrama de flujo de proceso sin contratiempos. Asimismo, se tuvo la necesidad de producir especímenes de prueba para las diferentes certificaciones y calificaciones necesarias para la validación de diseño y materiales, permitiendo realizar estudios de tiempos y movimientos para facilitar la elaboración de la versión final del diagrama de flujo del proceso. Por último, contar con un programa similar con el cliente ya en fase de producción, favorece con una dirección clara en cuanto a la determinación de conceptos de producción como operaciones de manufactura, características claves del proceso, equipo, herramientas, pruebas, inspección y empaque.

5.1.3.2 Plan del Diseño de Distribución de la Planta de Producción

En el diseño de distribución de la planta de producción se incluye el diseño de la línea de producción el cual lo constituyen conceptos y cantidades de maquinaria, herramientas, espacio,

operadores, puntos de inspección, áreas de disposición de residuos, así como el flujo de materia prima e inventario; tomando en cuenta el diseño actual del producto como cantidades, dimensiones, requerimientos técnicos y de demanda del programa. Como se mencionó anteriormente, al tener la necesidad de fabricar especímenes de prueba para las diferentes certificaciones necesarias; se tiene disponible un estudio de tiempos y movimientos, el cual se toma en cuenta para la definición de los conceptos expuestos anteriormente; este análisis a su vez contribuye a corroborar al cliente que se tomaron las entradas correctas para definir este diseño de planta. Adicionalmente, es aconsejable considerar herramientas de mejora continua como los ocho desperdicios, estudios de ergonomía y lecciones aprendidas de otros programas similares. Por último, se debe incluir el diseño del área de envío, el cual es diseñado y su espacio necesario calculado en base a programas similares, en diseño actual del producto, requerimientos de demanda, así como en los requerimientos técnicos y ambientales del empaque.

Es importante asegurar los recursos de capital necesarios para la obtención e instalación del equipo y maquinaria con la alta gerencia de la organización, esto para evitar contratiempos y tener de acuerdo las expectativas en cuanto costo y presupuesto del programa. Adicionalmente, es preciso integrar en el plan del proyecto, todas las actividades necesarias para llevar a cabo este diseño de distribución de la planta de producción para asegurar que, al término de estas tareas, este de acuerdo con las necesidades de la organización y del cliente.

5.1.3.3 Plan de Preparación de Producción

El plan de preparación de producción se inicia presentando al cliente y documentando, un análisis de las máquinas y equipo (incluyendo el equipo necesario para inspección) de sus capacidades y especificaciones; y como estas satisfacen los requerimientos técnicos del producto. En este caso de estudio, se realizó la siguiente tabla:

Tabla 9. Análisis de validación de maquinaria.

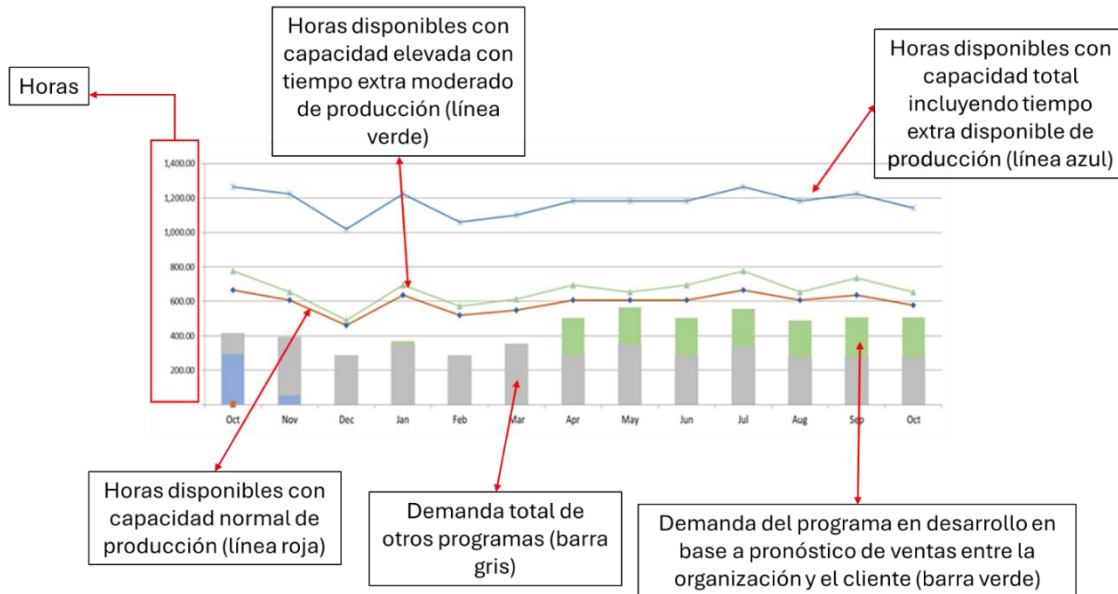
Nombre de la Maquina	Proceso en que se Usara la Maquina	Marca/Tipo/Modelo	Rango de Operación o Especificaciones de la Maquinaria	Prueba de Cumplimiento	Requerimiento Técnico del Producto

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la columna de la tabla anterior “Prueba de Cumplimiento’ es necesario listar evidencia como hojas técnicas de la maquinaria del proveedor, diseño de experimentos, análisis estadísticos o pruebas de producción; que demuestren que la maquina o equipo tiene la capacidad de cumplir con los requerimientos técnicos del producto.

Por otra parte, de acuerdo con los requerimientos del elemento y su lista de verificación, es necesario demostrar la capacidad de producción de la maquinaria compartida con otros clientes de la organización; esto para asegurar que la cantidad de maquinaria actual es suficiente para soportar la demanda de todos los programas de la organización, en la siguiente figura se presenta un ejemplo del análisis realizado, en formato de gráfica de barras, del caso de estudio:

Figura 28. Análisis de capacidad de maquinaria compartida con otros clientes.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la gráfica de barras de la figura 28, se le presentan al cliente tres diferentes escenarios, el primero de ellos con las horas disponibles de acuerdo con la capacidad normal de producción, es decir sin contar horas extras, en el que se puede observar que la capacidad de la maquinaria es suficiente para la demanda pronosticada del programa; la cual es representada con la barra color verde en la gráfica mostrada. El segundo escenario se toma en cuenta la capacidad de producción de la organización con tiempo extra moderado y, por último, el tercer escenario contempla la máxima capacidad de producción tomando en cuenta el máximo tiempo disponible de producción al mes; con el propósito de identificar la necesidad de adquirir maquinaria compartida adicional.

En cuanto al equipo y maquinaria específica para la línea de producción de la nueva unidad de negocio, se tomó en cuenta el diagrama de flujo de proceso, el estudio de tiempos y movimientos mencionado anteriormente y el diseño actual del producto; con los cuales se determinó el tiempo

ciclo del producto y se pudo establecer el número de maquinaria necesaria para cumplir con la demanda de la unidad de negocio.

Finalmente, es preciso presentar al cliente el plan de adquisición e instalación de la maquinaria y equipo, además del plan de contratación y capacitación del recurso humano necesario para la operación de la línea de producción, así como sus fechas de término de acuerdo con el plan de ventas acordado con el cliente; estas actividades deben de integrarse al plan del proyecto.

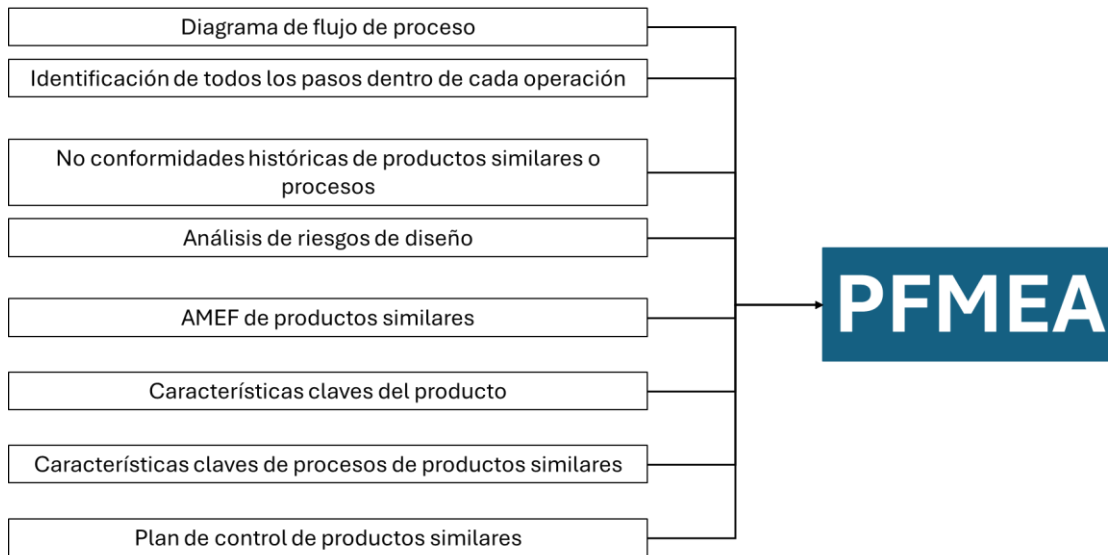
5.1.3.4 Análisis de Modo y Efecto de Falla del Proceso

Se recomienda realizar el análisis de modo y efecto de falla del proceso en base al estándar aeroespacial 13004 o AS13004 (Análisis de Modo y Efecto de Falla del Proceso y Planes de Control) el cual es la guía recomendada por la IAQG que “define los requerimientos para la identificación, evaluación, mitigación y prevención de riesgos en el proceso de manufactura” (Society of Automotive Engineers [SAE], 2024). De este estándar se exponen a continuación las siguientes recomendaciones generales:

1. Generar el análisis de modo y efecto de falla del proceso por número de parte en específico o familia.
2. Considerar todas las características de diseño y sus especificaciones técnicas.
3. Incluir las actividades desde el recibo de materia prima hasta el envío al cliente del producto final.
4. Se debe de considerar el criterio de calificación de severidad, ocurrencia y detección del estándar para determinar el Número de Prioridad de Riesgo o NPR por sus siglas (Risk Priority Number, RPN, por sus siglas en ingles).

En cuanto las entradas de datos y documentos tomados en cuenta, las recomendaciones del documento AS13004 (2024) se muestran en la figura 29:

Figura 29. Recomendaciones de entradas para la elaboración del PFMEA en base al estándar aeroespacial 13004.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Considerando la figura 29, el PFMEA entregado al cliente toma de los elementos anteriores de la metodología APQP como el diagrama de flujo del proceso y las características claves del producto, como principales entradas para la primera revisión de este documento. Este documento se modificará y madurará a lo largo de la vida del producto debido a cambios futuros en el diseño del producto y del proceso, rendimiento de calidad que pueda afectar al cálculo NPR y a las acciones de mejora recomendadas para mitigar los modos de falla con mayor índice NPR.

5.1.3.5 Características Clave del Proceso

La lista de características claves del proceso se realiza tomando en cuenta entradas como el DFMEA y el PFMEA (tomando de ambos los riesgos con el índice NPR más alto), la lista de elementos críticos y características claves del producto, lecciones aprendidas y datos históricos de no conformidades de otros programas similares. Esta lista debe integrarse en una revisión

adicional del diagrama de flujo del proceso para identificar claramente los procesos claves y acciones adicionales necesarias tales como pruebas e inspecciones.

Es importante que este elemento sea revisado por el cliente y la alta gerencia de la organización, ya que el establecer un proceso como crítico, conlleva una serie de acciones como inspeccionar el resultado del proceso, documentar estos datos, así como controlar la variación de este ya sea mediante control estadístico de procesos u otros medios. Estas acciones pueden representar costos adicionales para la unidad del negocio que deben evaluarse para verificar si es factible la implementación de estos controles.

5.1.3.6 Evaluación Preliminar de Capacidad

En la realización de este elemento es fundamental contar con la asistencia del cliente para verificar los requerimientos de demanda inicial y de mediano plazo del programa, así como revisar el estatus actual del proyecto en cuanto a las fechas asociadas a las actividades críticas, esto para evitar cálculos erróneos en la planeación y determinación de recursos como materiales, personas, maquinaria y equipo necesario para producir a la tasa de demanda requerida en la fecha deseada por el cliente. En cuanto al plan de adquisición de estos recursos, es pertinente tomar como referencia el plan de preparación de producción descrito anteriormente. De este plan se puede tomar el tiempo ciclo del producto, lo que permite la planeación de producción para satisfacer la demanda del cliente. Se sugiere mostrar una tabla que sintetice los puntos más importantes de este análisis al cliente; la siguiente tabla muestra el formato a seguir:

Tabla 10. Resumen del análisis preliminar de capacidad en formato de tabla con datos simulados.

	Año				
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5
Ventas programadas con el cliente	0	0	0	0	20
Producción regular	1	5	7	7	8
Eficiencia de producción proyectada	45%	47%	53%	57%	60%
Contratación de recursos humanos para operación crítica 1	2	5	10	5	0
Contratación de recursos humanos para operación crítica 2	5	5	10	5	0
Contratación de recursos humanos para operación crítica 3	10	5	10	0	0
Contratación de recursos humanos total	17	15	30	10	0
Adquisición de maquinaria crítica	0	2	0	0	0
Adquisición de materia prima crítica	5	7	1	0	0

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se muestran las acciones críticas del análisis de capacidad, tal como la rampa necesaria en la tasa de producción para completar las primeras órdenes del cliente, además de la contratación del recurso humano para soportar este incremento sostenido de producción. Es pertinente remarcar que esta tabla es un resumen para una rápida comprensión del cliente, pero los datos y cálculos para llegar a estos resultados deben ser documentados, mostrados y explicados al cliente como evidencia.

En cuanto a la capacidad de los proveedores de materia prima, se debe de informar a los proveedores los requerimientos de material necesarios para el cumplimiento de la rampa de producción en formato de carta emitida por la organización; de la cual los proveedores deben de responder en una carta propia confirmando su capacidad. Por cuestiones de privacidad, los proveedores pueden no mostrar datos sensibles en cuanto a su capacidad de producción, por lo que se recomienda optar por este entregable como evidencia para el análisis preliminar de capacidad como se muestra en la siguiente figura:

Figura 30. Carta recibida de un proveedor convertida en formato para confirmar su capacidad de producción de acuerdo con la demanda del programa.

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> Logo Corporativo del Proveedor </div>	Dirección, Teléfono y Pagina Web															
<p>Fecha de creación de la carta</p> <p>Nombre de la persona a que va dirigido</p> <p>Posición que ocupa dentro de la organización</p> <p>Dirección de la organización</p> <p>Asunto: Pronóstico y capacidad para el programa en desarrollo.</p> <p>Estimado cliente:</p> <p>Su organización solicitó a "XXXX" (nombre del proveedor) la confirmación de nuestra capacidad para apoyar la rampa de producción y al cronograma de proyecto del programa "XXXX" (nombre de la unidad de negocio en desarrollo) de acuerdo con los requerimientos recibidos el día XX/XX/XX.</p> <p>En términos generales, no vemos obstáculos para poder cumplir con estos volúmenes en el presente año en lo que respecta a capacidad de producción, mano de obra, materiales, etc. Nosotros como proveedor esperamos ver estos volúmenes reflejados en sus pronósticos de compra a corto plazo para ayudarnos a prepararnos en cada trimestre calendario.</p> <p>Los siguientes números de pieza están disponibles en apoyo a este programa:</p>																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Numero de Parte del Cliente</th> <th style="width: 20%;">Descripción del Cliente</th> <th style="width: 20%;">Numero de parte del Proveedor</th> <th style="width: 20%;">Descripción del Proveedor</th> <th style="width: 20%;">Especificación del Material</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		Numero de Parte del Cliente	Descripción del Cliente	Numero de parte del Proveedor	Descripción del Proveedor	Especificación del Material										
Numero de Parte del Cliente	Descripción del Cliente	Numero de parte del Proveedor	Descripción del Proveedor	Especificación del Material												
<p>Le recordamos que nuestros plazos de entrega estándar son de 4 a 6 semanas, y que todos los pedidos se registrarán por el alcance y los términos de nuestro acuerdo de suministro vigente.</p> <p>Por favor, hágame saber si necesita información adicional o si desea discutirlo con más detalle.</p> <p>Atentamente,</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> Nombre y Firma del Remitente </div>																

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Cada proveedor involucrado debe firmar su carta, las cuales se entregan al cliente para confirmar que la capacidad de producción y los tiempos de entrega de los proveedores no será un obstáculo para cumplir con su demanda.

5.1.3.7 Aprobaciones de Manejo de Materiales, Empaque, Etiquetado y Marcado de Piezas

En este elemento se debe analizar y demostrar al cliente como el manejo de materiales dentro la organización, desde su recepción, transformación, empaque, etiquetado, almacenamiento y hasta su entrega al cliente, puede garantizar que el producto estará libre de daño y de objetos extraños mediante métodos o procedimientos debidamente documentados en el sistema de gestión de calidad de la organización. Estos procedimientos se deben complementar con el diagrama de flujo de proceso, PFMEA, plan de control y el diseño de distribución de la planta de producción. Este conjunto de procedimientos y documentos garantizan que el manejo y empaque de los materiales este propiamente documentado y que todos los departamentos involucrados de la organización conozcan los requerimientos y procesos asociados.

En esta fase, se retoma la especificación del empaque realizado en la fase 2 y se complementa con los avances y últimas entradas del diseño del producto, respecto a cantidades, dimensiones y las especificaciones de marcado y etiquetado requeridas por el cliente, las cuales deben de ser documentadas en los registros de diseño e integradas al proceso de manufactura en los procedimientos y documentación pertinentes. Adicionalmente, es necesario considerar las regulaciones ambientales aplicables.

Para completar la especificación de empaque, es crucial tomar en cuenta los requerimientos del cliente en cuanto a cómo se enviará el producto, es decir, número de cajas y de qué manera organizada (configuraciones) se enviará el producto. Esta definición tiene un impacto en los costos y recursos del programa ya que establece el recurso humano, tiempo, material (cajas,

bolsas, etc.) y tiempo necesario para empacar el producto; además qué determina la cantidad de producto final cabe en el medio de transporte previamente acordado con el cliente. Por lo que es crítico analizar este impacto, presentar costos y hallazgos al cliente y a la alta gerencia de la organización para la toma de decisiones.

5.1.4 Fase 4

5.1.4.1 Ejecuciones del Proceso de Producción

En el inicio de la fase 4, las ejecuciones del proceso de producción validan todo el trabajo de las fases previas de la metodología APQP; es por esto que se recomienda que los principales stakeholders del proyecto estén presentes, esto incluye pero no está limitado, a representantes de los departamentos de diseño, manufactura, calidad, gerencia de programas, ingeniería de proyectos, mantenimiento, desarrollo de proveedores o compras, así como una representación adecuada de los departamentos involucrados por parte del cliente. Es importante contar con las máquinas, herramientas y estaciones de trabajo en su configuración definitiva aprobada por los departamentos de manufactura y calidad. Así mismo, se debe de contar con los métodos o procedimientos de manufactura, dibujos de diseño, diagrama de flujo del proceso, PFMEA y plan de control disponibles y actualizados en la estación del trabajo y en sistema de gestión de calidad de la organización. En relación con el número de piezas, este debe estar de acuerdo con los requerimientos del FAI y PPAP previamente acordados entre la organización y el cliente; además es recomendable establecer previamente objetivos en esta ejecución tales como la validación del tiempo de ciclo del producto, eficiencia, tiempo de cambio de herramientas, ergonomía, adherencia a instrucciones de trabajo, entrenamientos, efectividad del proceso de inspección y de las acciones de mitigación ligadas a riesgos asociados al proceso establecidas en el PFMEA.

En este caso de estudio, se siguieron las recomendaciones dadas anteriormente incluyendo una validación al desempeño del proceso de empaque. Entre los hallazgos detectados por el equipo multidisciplinario de la organización y el cliente se encuentran como puntos principales:

1. Oportunidades de mejora en los herramientas en relación con evitar modos de fallas.
2. Oportunidades de mejora en los métodos de trabajo.
3. En general, el tiempo ciclo estuvo 10% por encima de lo establecido.

Respecto al hallazgo número tres, se llega a la conclusión por el equipo multidisciplinario que la causa raíz de este problema está relacionada a la inexperiencia de los operadores en la manufactura de algunos conceptos nuevos de diseño del producto; sin embargo, para seguimiento de este hallazgo, se sugiere establecer un plan de seguimiento y acciones correctivas para alcanzar el tiempo ciclo deseado. En cuanto a los demás hallazgos y sus acciones correctivas, estos deben ser documentados e integrados en un plan de acción para su seguimiento.

5.1.4.1 Plan de Control

Aunque el elemento de la fase 3 “Plan de Control (Preliminar)” no fue requerido por el cliente en el presente caso de estudio, se recomienda trabajar el documento plan de control desde la realización del diagrama de flujo del proceso y el PFMEA, ya que estos dos documentos están fuertemente relacionados con el plan de control, dado que el plan de control define controles y verificaciones derivados de las características claves del producto y del PFMEA, ubicándolos en los mismos procesos documentados en el diagrama de flujo del proceso. Esto para asegurar que el documento este lo suficientemente maduro al inicio de esta fase 4 y se pueda evaluar su madurez en las ejecuciones del proceso producción y realizar las modificaciones necesarias para su aprobación final después de esta evaluación.

Para este caso de estudio, tampoco se requirió el elemento “Análisis del Sistema de Medición” de la fase 4 debido a la confianza de cliente en la organización dada por el hecho de contar con programa similar con el cliente ya en fase de producción; sin embargo, al revisar la lista de verificación de este elemento se encontró que esta va fuertemente dirigida a evaluar la integración del sistema de medición en el plan de control, por lo que se tuvo que realizar el análisis del sistema de medición causando un retraso en la finalización del elemento. Esta omisión es debido a una inadecuada revisión y comprensión de los requerimientos de la metodología APQP y sus documentos, por tal razón, se recomienda encarecidamente revisar los requerimientos de las listas de verificación asociadas a los elementos.

5.1.4.2 Verificación de Capacidad

El elemento verificación de capacidad se llevó a cabo paralelamente con el elemento ejecuciones del proceso de producción ya que este último proporciona datos necesarios para asegurar que el tiempo ciclo y de cambio de herramientas, ratio de no conformidades, rendimiento de primera pasada, eficiencia general del equipo (Overall Equipment Efficient), por sus siglas en inglés, OEE) y la capacidad actual de producción puedan satisfacer la demanda del cliente aun en su punto máximo. Adicionalmente, es recomendable analizar junto con el cliente si es necesario la creación de un plan de acción para aumentar la capacidad de producción en caso de un futuro aumento de demanda en la unidad de negocio.

Ya que esta verificación no se limita a factores de producción, si no que involucra adicionalmente la capacidad de los proveedores de la organización de suplir los materiales y servicios necesarios para la manufactura del producto; en este elemento se comprueba los resultados del análisis preliminar de capacidad (elemento de la fase 3) dando como evidencia los siguientes puntos:

1. Visibilidad en la planeación de la organización y el método usado para analizar la capacidad de sus proveedores.

2. Evidencia de que todos los proveedores están cumpliendo con los tiempos de entrega planeados y en las cantidades requeridas.
3. Evaluación y análisis de riesgo en relación con la capacidad de los proveedores.
4. Evidencias que demuestren que los requerimientos han sido transmitidos a los proveedores.
5. Cálculo del Plan Maestro de Producción (Master Production Schedule, por sus siglas en inglés, MPS) y del Plan de Requerimientos de Materiales (Material Requirements Planning, por sus siglas en inglés, MRP), basado en el pronóstico del cliente.

En caso de no contar con la evidencia requerida o no poder demostrar el cumplimiento de estos requerimientos, un plan de acción y de mitigación de riesgos debe ser acordado y documentado con el cliente.

5.1.4.3 Resultados de la Validación del Producto

En este elemento la organización y su cliente acordaron empezar este elemento desde la fase 3 de la metodología APQP con pruebas de instalación del producto en la aeronave, esto para validar conceptos de diseño y asegurar que estén de acuerdo con la interfaz de diseño o Maqueta Digital (Digital Mock-Up, por sus siglas en inglés, DMU) la cual una representación virtual en 3D del sistema que se utiliza mayormente para verificar ensamblaje, tolerancias, interferencias y movimiento entre componentes. De igual manera, en estas pruebas de instalación se validaron los procesos de manufactura al evaluar la conformidad del producto. Si la instalación del producto es compleja o existen limitaciones en el acceso a los sistemas donde se realizarán las pruebas en cuanto a disponibilidad, se sugiere seccionar las pruebas por zonas o configuraciones, esto además permitirá una mejor evaluación del producto y un análisis más sencillo de los resultados de la instalación; lo cual facilitará realizar cambios focalizados en el diseño en caso de ser necesario. En este caso de estudio, se documentaron los resultados de estas pruebas de instalación tomando en cuenta los siguientes puntos:

1. Se documentó el número de fallos en el producto.
2. Se realizó un análisis de causa raíz de cada fallo para determinar el departamento responsable (diseño, manufactura, producción o calidad).
3. Se desarrolló un análisis de segundo nivel para detectar los modos de fallas asociados y se creó un diagrama de Pareto para priorizar los cambios en el producto o proceso.
4. Se creó y se acordó con el cliente, un plan de acción para corregir y evitar futuros errores en el producto.

Finalmente, en este elemento se debe crear un reporte donde se documenten los resultados de las actividades acordadas en el elemento de la fase 2 “Plan de Verificación y Validación del Diseño, y Resultados Asociados”. En este reporte se debe mostrar claramente como los resultados obtenidos satisfacen los requerimientos del producto y de no ser así, adjuntar la evidencia necesaria de las desviaciones aprobadas por el cliente. Adicionalmente, si algún requerimiento no es satisfecho y su resultado o evidencia no es aceptado como desviación, es necesario crear un plan de acciones que permitan cumplir con el requerimiento y mitigar los riesgos que puedan surgir en su uso. En esta etapa todos los registros de diseño deben de estar aprobados por el cliente y los departamentos relevantes de la organización, ya que estos documentos de diseño es la principal evidencia que el diseño ha sido completado y está de acuerdo con los requerimientos del producto.

5.2 Resultados de las Ejecuciones del Proceso de Producción

En la siguiente tabla se presenta el análisis de los resultados obtenidos durante las ejecuciones del proceso de producción los cuales se contrastaron con los indicadores claves de rendimiento establecidos en el elemento “Objetivos del Proyecto: Seguridad, Calidad, Cronograma y Costo”.

Tabla 11. Indicadores Clave de Rendimiento (KPI).

Indicador	Objetivo	Resultado Actual	Diferencia
Tiempo ciclo promedio (minutos)	20	22	+2
Rendimiento de primera pasada o FPY (%)	80	90	+10
Eficiencia general del equipo o OEE (%)	45	69	+24

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo resultados mostrados en la tabla anterior y a los hallazgos descritos en el elemento “Ejecuciones del Proceso de Producción” en el apartado 5.1.4.1, se puede observar cómo no se alcanzó por una mínima diferencia, el tiempo ciclo promedio del producto esperado. Sin embargo, esta diferencia, de acuerdo con el análisis de la organización y el cliente realizado, no supone un riesgo al cumplimiento de la demanda de producción a corto plazo; además, se estableció un plan de seguimiento y acciones correctivas para alcanzar la meta acordada. A pesar de este indicador y a que el proceso de manufactura del producto es de nuevo desarrollo, se muestra un rendimiento que supera las expectativas del cliente y de la organización en cuanto indicadores críticos como FPY y OEE; lo que permite dar certeza a la organización que la implementación del estándar ha sido efectiva y que puede ser un referente en caso de que se requiera replicar a otros proyectos.

5.3 Resultados de las Pruebas de Instalación

Con respecto a los resultados de las pruebas de instalación, se realizó un reporte en conjunto con el cliente para documentar el rendimiento del producto en condiciones normales de instalación de acuerdo con los siguientes tres objetivos:

1. Forma.

- Verificar que el proceso de manufactura es capaz de producir con las dimensiones y tolerancias esperadas.
- Evaluar el etiquetado y marcado de las piezas.
- Evaluar el método de entrega (empaquete/kit).

2. Ajuste.

- Validar el diseño de las piezas mediante el indicador FPY durante la instalación.
- Validar posibles interferencias del producto en áreas seleccionadas del DMU (ajuste del producto con otros sistemas de la aeronave).
- Validar los dibujos técnicos y secuencia de instalación.
- Validar las dimensiones y tolerancias de los dibujos técnicos 3D y 2D.

3. Funcionalidad.

- Demostrar capacidad de los conceptos de diseño de cumplir con los requerimientos de funcionalidad.

El desempeño del producto en relación con estos objetivos se analizó de acuerdo con la tabla 12 a modo de ejemplo:

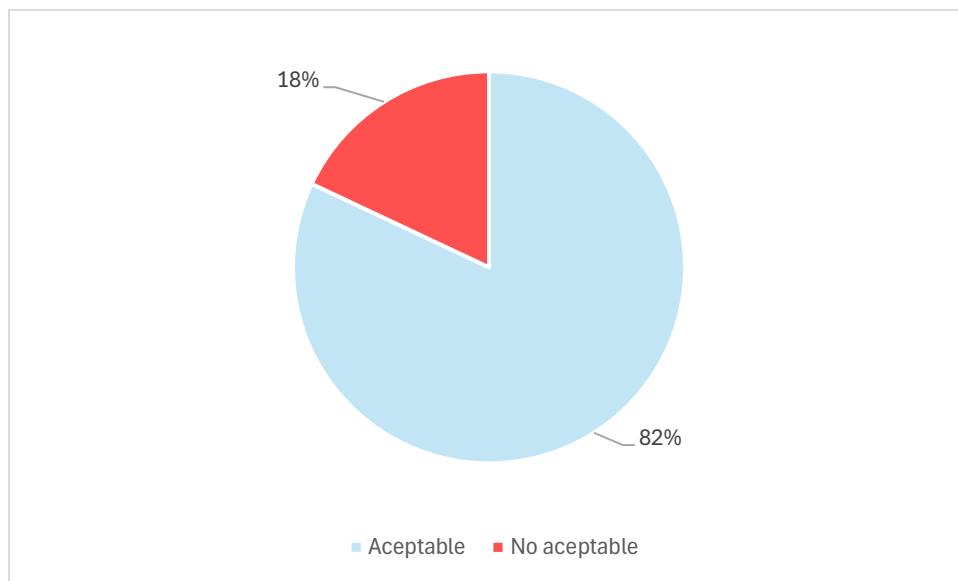
Tabla 12. Formato recomendado de reporte para pruebas de instalación.

Numero de Parte	Fallo	Criterio de aceptación	Causa raíz del fallo	Departamento responsable	Forma	Ajuste	Funcionalidad	Fotografía del Fallo
XX-XX	Característica de diseño ausente en el producto	No aceptable	Revisión obsoleta del dibujo técnico usado en la manufactura del producto.	Diseño	✓	X	✓	

Nota. Elaboración propia.

El formato de la tabla anterior y su contenido fue aprobado por el cliente para evitar retrasos y retrabajos por posibles diferentes criterios de evaluación. En cuanto a los resultados generales de esta prueba de instalación, la meta de aceptación acordada entre el cliente y la organización fue de 80%; estos resultados se presentan en la gráfica expuesta en la figura 31:

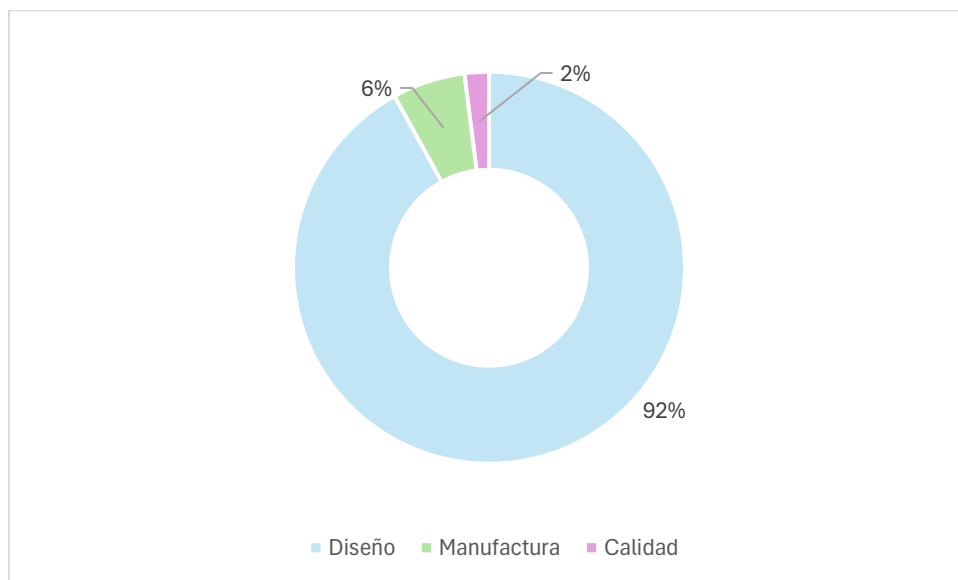
Figura 31. Resultados de las pruebas de instalación.



Nota. Elaboración propia.

Se puede apreciar como el producto alcanza la meta impuesta por el cliente y la organización con un índice de 82% de aceptación. Como se mencionó anteriormente, es recomendable segregar las no conformidades del producto por modos de falla para realizar un análisis en formato de diagrama de Pareto para atacar rápidamente los modos de falla más representativos además de diferenciarlos por departamento responsable; esto para asignar las acciones correctivas pertinentes al equipo correcto. En la siguiente figura se muestran estos resultados:

Figura 32. Fallos del producto en la prueba de instalación segregados por departamentos.



Nota. Elaboración propia.

En esta figura se puede apreciar como del total de los fallos del producto en la instalación, el 92% fue por causa de diseño; es importante mencionar que en el análisis realizado de segundo nivel en forma de diagrama de Pareto, mencionado en el apartado *4.6.4.3 Resultados de la Validación del Producto*, se encontró que la causa raíz mayoritaria en estos fallos de diseño fue por no contar con un sistema de gestión de configuración interno establecido, es decir, un sistema que gestione los cambios de revisiones de los registros de diseño, lo que llevo a manufacturar producto con revisiones obsoletas de los dibujos técnicos de diseño. Es necesario puntualizar

que este sistema forma parte de los entregables del elemento “Registros de Diseño” de la fase 2, sin embargo, al ser una actividad compleja se obtuvo la aprobación del cliente mostrando una versión preliminar no operativa del sistema y un plan asociado para su terminación, el cual su fecha conclusión era más tardía que las pruebas de instalación del producto; por lo que el control de revisiones se llevó manualmente.

Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones Generales

6.1 Conclusiones

La implementación de la metodología APQP adaptada al estándar aeroespacial 9145 en el desarrollo de esta nueva unidad de negocio ha demostrado ser altamente beneficiosa en varios aspectos clave. En primer lugar, permitió estructurar de forma clara y sistemática, las fases del proceso de desarrollo del producto garantizando que los entregables y las responsabilidades quedaran definidos y alineados con los requerimientos del cliente. Esta disciplina metodológica facilitó la integración multidisciplinaria de las diferentes funciones de la organización mejorando la comunicación y reduciendo ambigüedades en las etapas críticas de desarrollo.

En términos de resultados operativos, los indicadores de desempeño superaron varias de las metas establecidas originalmente, como un resultado en el rendimiento de primera pasada del 90% frente al objetivo del 80 % y un OEE del 69 % que supera con holgura al 45 % previsto. Estos logros reflejan una mejora tangible en la eficiencia de los procesos y en la conformidad dimensional y funcional del producto, así como una reducción en los riesgos de fallo en su diseño, producción y uso gracias a la aplicación efectiva de planes de control y análisis de modo y efecto de falla.

No obstante, también se identificaron limitaciones. El no terminar con la fase 5 de la metodología debido a como se mencionó con anterioridad, a cambios en las prioridades de la organización,

limita en una proporción no significativa, la evaluación de la metodología APQP con relación al desempeño de la producción en serie en la unidad de negocio. Se puede añadir a esta limitante, la carga de trabajo requerida para cubrir los elementos del estándar aeroespacial 9145 que resultó más de lo esperado y, en algunos casos, llevó a omisiones de elementos (por ejemplo, el elemento “Análisis del Sistema de Medición” de la fase 4) que retrasaron la finalización de entregables críticos. Asimismo, desviaciones u omisiones tomadas por las partes involucradas pueden tener repercusiones en el proyecto, como por ejemplo la falta de implementación del sistema de gestión de configuración que ocasionó la producción de piezas con planos obsoletos. Finalmente, actividades como bucles de revisión para la aprobación de elementos y entregables representan algunos puntos no considerados por la metodología; aunque estos puntos pueden ser mitigados por lecciones aprendidas de programas o productos similares; las cuales si son contempladas en esta.

Referente al caso de estudio, la implementación del estándar aeroespacial 9145 ha probado ser una vía de desarrollo para aumentar la competitividad, calidad y confianza como proveedor en la cadena de suministro aeroespacial de la organización, al tiempo que revela áreas de mejora en su sistema de gestión de calidad, en su proceso de desarrollo de producto y en la optimización de sus recursos. La experiencia adquirida sienta las bases para refinar todos sus procesos relacionados a la realización de un producto, incorporar lecciones aprendidas y avanzar hacia un enfoque a la calidad aún más sólido en futuros desarrollos en la industria de aviación, espacio y defensa.

En conclusión, la implementación de la metodología APQP en la industria de aviación, espacio y defensa puede tener una ligera variación tomando en cuenta la cultura operativa de las organizaciones, el producto a desarrollar y los requerimientos contractuales acordados entre las partes involucradas. Por lo que este tema de investigación provee una vista general de los requerimientos de la metodología APQP y su uso en el proceso de desarrollo de productos

nuevos, apoyándose en una serie de recomendaciones que fueron tomadas del caso de estudio mencionado de manera exitosa en esta industria. Estos lineamientos y recomendaciones generales se visualiza su aplicación en diferentes desarrollos y en diversas industrias ya que, aunque la metodología APQP este estandarizada en la industria aeroespacial y automotriz; la necesidad de estandarizar y controlar el proceso de desarrollo de productos permite que su alcance sea aplicable a cualquier organización que desee mantener este proceso crítico enfocado al cliente, a la calidad y a su rentabilidad. Sin embargo, quedan como temas relevantes para futuras investigaciones, la digitalización de la metodología APQP mediante herramientas de la industria 4.0 para mejorar la gestión de entregables, una comparativa en los beneficios y limitaciones en la adopción de la metodología entre PYMES (pequeñas y medianas empresas) y grandes corporativos, así como su aplicación en otros sectores industriales.

6.2 Recomendaciones Generales

Para una correcta implementación de la metodología APQP y, por lo tanto, una exitosa finalización en el desarrollo de un producto nuevo; se sugiere tomar en cuenta las siguientes recomendaciones para mitigar las limitantes y errores que puedan surgir en los objetivos estratégicos y operativos descritos a continuación.

Análisis del sistema de gestión de calidad de la organización (objetivo estratégico). La organización debe contar un robusto sistema de gestión de calidad que integre la documentación y procedimientos necesarios para la correcta realización de los elementos y entregables. En caso de tener la limitante de no contar con los procedimientos necesarios, se sugiere realizar estos antes del inicio del desarrollo del producto o del proyecto; si esto no es posible, es aceptable realizar esta actividad en paralelo siempre y cuando el cliente este de acuerdo. Por último, es recomendable que la organización cuente con un documento o procedimiento interno que establezca una estrategia para el desarrollo de productos nuevos el cual debe de incluir al menos

los pasos sistemáticos, responsabilidades y actividades necesarias para cumplir con los requerimientos técnicos y administrativos durante el desarrollo; este procedimiento debe de estar de acuerdo con los lineamientos y requerimientos el estándar aeroespacial 9145, su manual de referencia y las listas de verificación asociadas a cada elemento.

Entrenamiento e integración del equipo multidisciplinario (objetivo operativo). Al ser un pilar para una efectiva implementación de la metodología APQP, la correcta selección del equipo multidisciplinario debe de estar en línea con los procedimientos internos de la organización y las recomendaciones de Manual Aeroespacial APQP/PPAP (2017); no obstante, usualmente en los procedimientos se comete el error de establecer solamente a los departamentos responsables y no a las funciones específicas del equipo encargado de cada elemento, entregable y actividad según sea necesario. Para asignar a la persona idónea para cada actividad, es recomendable asegurar que todos los miembros de los departamentos asignados al proyecto estén entrenados en la metodología APQP así como en sus requerimientos y documentos asociados, ya que el no contar con un conocimiento adecuado, puede llevar a omisiones, retrabajos y una baja calidad de los elementos y entregables entregados al cliente, por lo que es importante que el equipo conozca las expectativas y alcance de la metodología para una correcta realización de estos. Además, se debe asegurar que cuenten con los entrenamientos necesarios en los procedimientos internos de la organización asociados a los elementos y entregables de la metodología APQP. Para los elementos o entregables que no estén cubiertos en ese momento por estos procedimientos internos, es posible realizar entrenamientos especiales para el entendimiento de sus requerimientos de acuerdo con el estándar aeroespacial 9145, al Manual Aeroespacial APQP/PPAP, a las listas de verificación de cada elemento y a otros estándares aeroespaciales asociados.

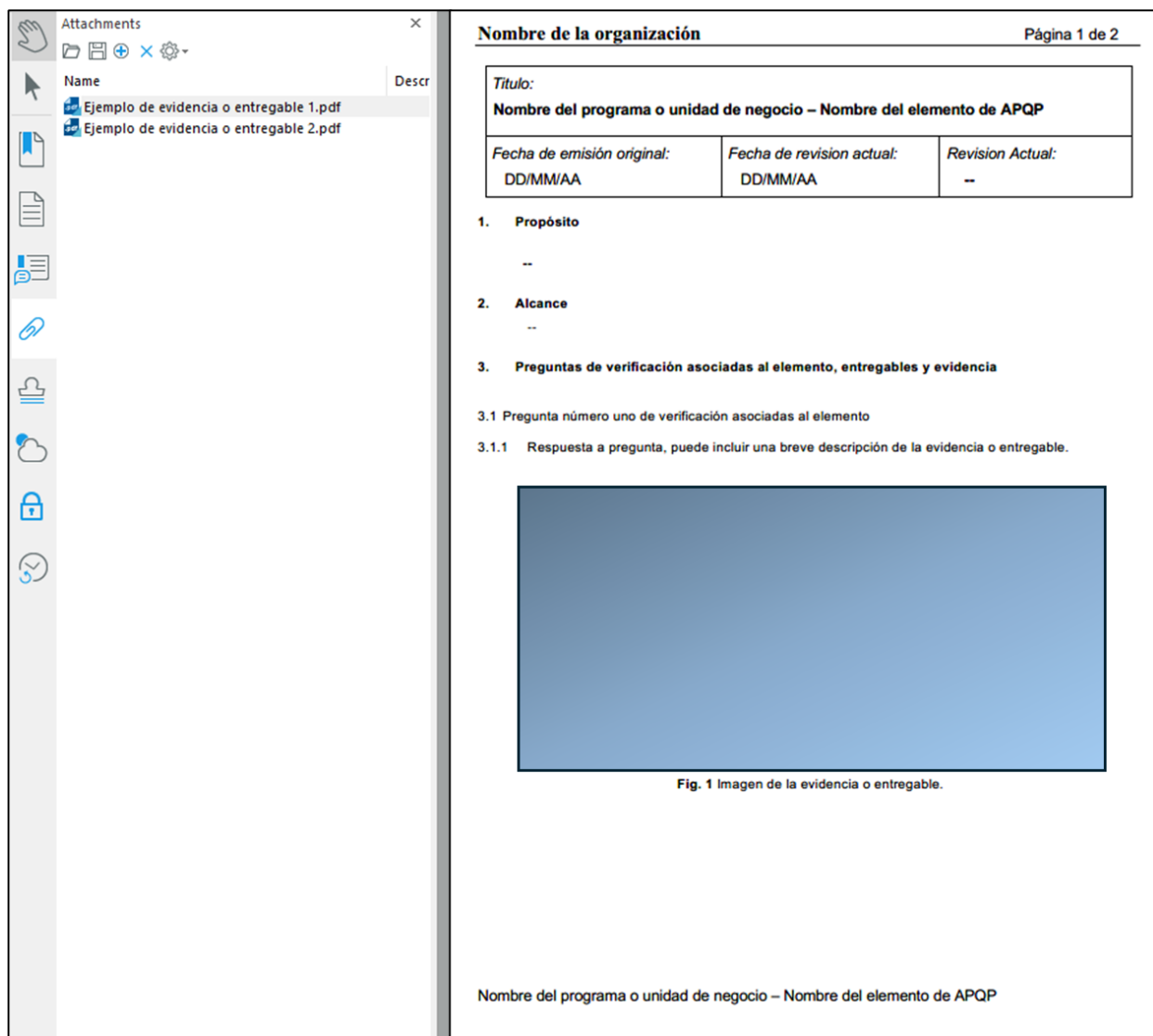
Análisis de requerimientos (objetivo operativo). Es crucial comprender y documentar los requerimientos y expectativas del cliente para establecer y acordar en conjunto la aplicabilidad

de los elementos de la metodología APQP en el desarrollo del producto nuevo; esto para evitar errores u omisiones que conlleven a volver a fases anteriores del proyecto; al igual que ayudar a tener una planeación efectiva de los recursos, asegurando el cumplimiento del proyecto dentro de los límites de estos.

Plan o cronograma del proyecto (objetivo operativo). Como se mencionó anteriormente, la planeación efectiva del proyecto es parte de los requerimientos de la implementación de la metodología APQP; sin embargo, es conveniente remarcar la importancia de su correcta realización a través de un plan del proyecto documentado y aprobado por el cliente que integre todas las actividades y sus subtareas asociadas, dependencias, hitos, personas y departamentos responsables, etapas del proyecto, así las como fases, elementos y entregables de la metodología APQP. Estimar erróneamente la duración de las tareas puede generar sobrecarga y conflictos de recursos, retrasos, dificultad para gestionar riesgos, así como pérdida de credibilidad y confianza del cliente. Por lo cual es recomendable tener en cuenta para la asignación del tiempo y recursos de cada tarea; actividades comparables, experiencias y datos técnicos previos de otras unidades de negocio o productos similares para establecer la duración del proyecto lo más realista posible al comienzo de este y así evitar correcciones posteriores al cronograma.

Documentación del cumplimiento de elementos, entregables y listas de verificación asociadas (objetivo operativo). Al contar cada elemento con una lista de verificación asociada, puede ser complicado organizar y documentar de manera efectiva cada una de las evidencias requeridas para cumplir con los requerimientos de la metodología. De acuerdo con las lecciones aprendidas en el presente caso de estudio, se recomienda tener un documento controlado por elemento que albergue cada respuesta, entregable y evidencia asociada a este; tal como se presenta en la figura 33:

Figura 33. Formato recomendado del documento controlado usado para integrar y documentar entregables y evidencias de los elementos APQP.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la figura anterior, es necesario adjuntar al documento los entregables o evidencias asociadas a las repuestas de las listas de verificación; estos archivos adjuntos deben de estar debidamente especificados en una lista de referencias controladas dentro de este documento. Es importante mencionar que este formato y método de trabajo debe ser aprobado por el cliente.

Referencias

- Acebes, F., Pajares, J., González-Varona, J. M., and López-Paredes, A. (2020). Project Risk Management from the Bottom-Up: Activity Risk index. *Central European Journal of Operations Research*, 29(4), 1375-1396. <https://doi.org/10.1007/s10100-020-00703-8>
- Aerospace APQP/PPAP Manual (2017). SCMh Section 7.2.3 APQP Revision Letter: B. www.iaqg.org/scmh Section 7.2
- Aerospace Standard AS13004™ (2024). SAE International <https://www.sae.org/standards/content/as13004a/>
- Aerospace Standard AS9145™ (2016). SAE International. <https://doi.org/10.4271/AS9145>
- Astrini, N. J. (2018). ISO 9001 and Performance: A Method Review. *Total, Quality Management and Business Excellence*, 32(1-2), 5-32. <https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1524293>
- Awan, U., Kraslawski, A., Huiskonen, J., (2018). A Collaborative Framework for Governance Mechanism and Sustainability Performance in Supply Chain. Freitag, Michael, Kotzab, Herbert, Pannek, J. (Eds.), *Dynamics in Logistics: Proceedings of the 6th International Conference LDIC 2018*. Springer International Publishing AG, Bremen, pp. 67-75. *Lecture Notes in Logistics*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-74225-0>.
- Awan, U., Sroufe, R., and Kraslawski, A. (2019). Creativity Enables Sustainable Development: Supplier Engagement as a Boundary Condition for the Positive Effect on Green Innovation. *Journal of Cleaner Production*, 226, 172-185. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.308>
- Balaz, M., Polo, G., Belan, L., Korenko, M., Findura, P., and Pristavka, M. (2018). Processes of Quality Planning and Quality Assurance in Automotive. *Agricultural, Forest and Transport Machinery and Technologies* (ISSN: 2367– 5888) Volume V – Issue 1.

- Belderbos, R., Carree, M., Lokshin, B., and Sastre, J. F. (2015). Inter-Temporal Patterns of R&D Collaboration and Innovative Performance. *The Journal of Technology Transfer*, 40(1), 123-137. <https://doi.org/10.1007/s10961-014-9332-4>
- Bertoldi, A., Gherardini, F., and Leali, F. (2020). Implementation of a Quality Framework on the Launch Phase of an Automated Assembly Line for Top Class Automotive Chassis. *IOP Conference Series*, 836, 012003. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/836/1/012003>
- Betlloch-Mas, I., Ramón-Sapena, R., Abellán-García, C., and Pascual-Ramírez, J. (2019). Implantación y Desarrollo de un Sistema Integrado de Gestión de Calidad Según la Norma ISO 9001:2015 en un Servicio de Dermatología. *Actas Dermo-Sifiliográficas*, 110(2), 92-101. <https://doi.org/10.1016/j.ad.2018.08.003>
- Blasco-Torregrosa, M., Soler, V. G., and Bernabeu, E. P. (2019). Metodología de Integración: ISO 9001, ISO 31000 y Six Sigma. *3C Empresa*, 8(1), 76-91. <https://doi.org/10.17993/3cemp.2019.080137.76-91>
- Bobrek, M. Sokovic. (2005). Implementation of APQP-concept in design of QMS. *Journal of Materials Processing Technology*, Volumes 162–163, 2005, pp. 718-724, ISSN 0924-0136. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.02.225>
- Bravi, L., Murmura, F., and Santos, G. (2019). The ISO 9001:2015 Quality Management System Standard: Companies' Drivers, benefits and Barriers to its Implementation. *Quality, Innovation, Prosperity*, 23(2), 64. <https://doi.org/10.12776/qip.v23i2.1277>
- Briard, R., Bhuiyan, N., Sicotte, H., and Keshani, P. (2020). Critical Success Factors in New Product Development Projects in a Weak Matrix Structure: An Aerospace Case Study. *The Journal of Modern Project Management*, 8(2). <https://doi.org/10.19255/jmpm02403>

- Carriel Palma, R. J., Barros Merizalde, C. K., and Fernandez Flores, F. M. (2018). Sistema de Gestión y Control de la Calidad: Norma ISO 9001:2015. *RECIMUNDO*, 2(1), 625-644. <https://doi.org/10.26820/recimundo/2.1.2018.625-644>
- Chhim, P., Chinnam, R.B. y Sadawi, N. (2019). Product Design and Manufacturing Process Based Ontology for Manufacturing Knowledge Reuse. *J Intell Manuf* 30, 905–916. <https://doi.org/10.1007/s10845-016-1290-2>
- Cobo MJ, López-Herrera AG, Herrera-Viedma E, Herrera F (2011) An Approach for Detecting, Quantifying, and Visualizing the Evolution of a Research Field: A Practical Application to the Fuzzy Sets Theory Field. *J Informet* 5(1):146–166. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.10.002>
- D. Das, E. Elburn, M. Pecht and B. Sood (2019). Evaluating Impact of Information Uncertainties on Component Reliability Assessment. *IEEE International Reliability Physics Symposium (IRPS)*, Monterey, CA, USA, 2019, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1109/IRPS.2019.8720470>
- Delgado-Verde, M., and Díez-Vial, I. (2023). New Product Development and Supplier Involvement: The Role of R&D collaboration with Supporting Organizations. *The Journal of Technology Transfer*. <https://doi.org/10.1007/s10961-023-09998-6>
- Dementyev, A. S., and Semenov, V. P. (2019). Development Prospects of Certification Services for Compliance with ISO 9001 Requirements Through Implementation of an Online Portal - Database. *2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*. <https://doi.org/10.1109/eiconrus.2019.8656706>
- Dian, M. (2019). The Quality of Supplied Parts and Their Influence on Manufactured Quality in Serial Production. *Quality Production Improvement-QPI*. <https://doi.org/10.2478/cqpi-2019-0069>.

- Doshi, J.A., Desai, D. (2017). Overview of Automotive Core Tools: Applications and Benefits. *J. Inst. Eng. India Ser. C* 98, 515–526. <https://doi.org/10.1007/s40032-016-0288-z>
- Dziallas, M., and Blind, K. (2019). Innovation Indicators Throughout the Innovation Process: An Extensive Literature Analysis. *Technovation*, 80-81, 3-29. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2018.05.005>
- EATON, Advanced Product Quality Planning (APQP) and Production Part Approval Process (PPAP), CQD-116, Rev 1, 2015.
- Eckert, C.M., Clarkson, P.J. (2010). Planning Development Processes for Complex Products. *Res Eng Design* 21, 153–171. <https://doi.org/10.1007/s00163-009-0079-0>
- Fewings, Peter and Henjewe, Christian. (2019). Construction Project Management: An Integrated Approach. <https://doi.org/10.1201/9781351122030>
- Garwood, D. A., and Poole, A. H. (2018). Project Management as Information Management in Interdisciplinary Research: “Lots of Different Pieces Working Together”. *International Journal of Information Management*, 41, 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.03.002>
- Gharajedaghi, J. (2011). *Systems Thinking: Managing Chaos and Complexity: A Platform for Designing Business Architecture*. Elsevier.
- Gobierno de México (14 de mayo del 2005). Fabricación de Equipo Aeroespacial (Rama industrial 3364). <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/industry/aerospace-product-and-parts-manufacturing?yearSelectorGdp=timeOption0#investment>
- Gokhan, M and Yücel, Muhteşem and Ayvaz, Berk. (2019). Causal Loop Analysis and Improvement Areas of AS9100 Aerospace Quality Management System Implementation in Turkish Aerospace and Defense Industry Supply Chain. <https://www.researchgate.net/publication/334231235>

- Gorotiza Vélez, G. L., and Romero-Vélez, E. M. (2021). El Sistema de Gestión de Calidad con ISO 9001:2015 como Estrategia para el Mejoramiento de los Procesos de la Comercializadora ITM. *Polo del Conocimiento: Revista Científico - Profesional*, 6(4), 270-294. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i4.2561>
- Grijalvo, M., and Sanz-Samalea, B. (2020). Exploring EN 9100: Current Key Results and Future Opportunities – A Study in the Spanish Aerospace Industry. *Ekonomiska Istrazivanja-Economic Research*, 34(1), 2712-2728. <https://doi.org/10.1080/1331677x.2020.1838312>
- Gubinelli, S., Cesarotti, V., and Introna, V. (2019). The evolution of Project Management (PM): How Agile, Lean and Six Sigma are changing PM. *The Journal of Modern Project Management*, Special Issue: Vol.7 Num.3. <https://doi.org/10.19255/JMPM02107>
- Gutiérrez Pulido, Humberto y Quirarte, Abel. (2007). *Planificación Avanzada de la Calidad del Producto (APQP): Conceptos Básicos y un Caso Práctico*. e-Gnosis Num.005.
- Heagney, J. (2018). *Fundamentals of Project Management*. Amacom.
- Helmold, M. (2023). *Virtual and Innovative Quality Management Across the Value Chain. Management for professionals*. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-30089-9>
- Heras-Saizarbitoria, I. (2018). *ISO 9001, ISO 14001, and New Management Standards*. Springer eBooks. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-65675-5>
- IATF 16949:2016, Automotive Industry Action Group, 2016.
- Ibarra, D., Ganzarain, J., and Igartua, J. I. (2018). Business Model Innovation Through Industry 4.0: A Review. *Procedia Manufacturing*, 22, 4-10. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.002>

- International Aerospace Quality Group (14 de mayo del 2025). Unlocking Aerospace Excellence: AS9145's APQP and PPAP Standards – IAQG. <https://iaqg.org/unlocking-aerospace-excellence-as9145s-apqp-and-ppap-standards/>
- International Organization for Standardization (2015). ISO 9000:2015 Sistemas de Gestión de la Calidad —Fundamentos y Vocabulario. Ginebra, Suiza: ISO.
- Jain, Jinesh and Dangayach, G. and Agarwal, G. (2013). Evidence of Supply Chain Management in Indian Manufacturing Firms: A Survey. *International Journal of Management Science and Engineering Management*. 6. 198-209. <https://doi.org/10.1080/17509653.2011.10671164>
- Jasin, M., Anisah, H. U., Fatimah, C. E. A., Azra, F. E. A., Suzanawaty, L., and Junaedi, I. W. R. (2024). The Role of Digital Literacy and Knowledge Management on Process Innovation in SMEs. *International Journal of Data and Network Science*, 8(1), 337-344. <https://doi.org/10.5267/j.ijdns.2023.9.020>
- Jijón, A. F. B., and Anastacio, M. M. B. (2018). Factores Claves del Éxito de las Organizaciones que han Adoptado la Norma ISO 9001. *INNOVA Research Journal*, 3(2), 123-135. <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n2.2018.425>
- Jing, S., Li, R., Yan, J., Yang, F., and Chen, C. (2017). Research on Optimization of Product Development Value Stream. *Cluster Computing*. <https://doi.org/10.1007/s10586-017-1068-0>
- Kahn, K. B. (2018). Understanding innovation. *Business Horizons*, 61(3), 453-460. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.01.011>
- Kapil Mittal, Prabhakar Kaushik and Dinesh Khanduja (2012). Evidence of APQP in Quality Improvement: An SME Case Study. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 7:1, 20-28. <https://doi.org/10.1080/17509653.2012.10671203>
- Kart T, Steven D. y Maria C., (2020). *Product Design and Development (7th ed.)* MC GRAW HILL.

- Kerzner, H. (2018). *Project Management Best Practices: Achieving Global excellence*. John Wiley and Sons.
- Kerzner, H. (2022). *Project Management Metrics, KPIs, and Dashboards: A Guide to Measuring and Monitoring Project Performance*. John Wiley and Sons.
- Kjellsdotter, Linea and Jonsson, Patrik. (2010). The Potential Benefits of Advanced Planning and Scheduling Systems in Sales and Operations Planning. *Industrial Management and Data Systems - IMDS*. 110. 10.1108/26355771080001563.
- Kumar, P. (2018). Investigating the Benefits and Challenges of the Implementation of ISO 9001 and ISO 14001 in the Aerospace Industry. In *8th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, <https://doi.org/10.46254/AN08.20180471>.
- Lee, M. H., Yun, J. J., Pyka, A., Won, D. K., Kodama, F., Schiuma, G., Park, H. S., Jeon, J., Park, K. B., Jung, K. H., Yan, M., Lee, S. Y., and Zhao, X. (2018). How to Respond to the Fourth Industrial Revolution, or the Second Information Technology Revolution? Dynamic New Combinations Between Technology, Market, and Society Through Open Innovation. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 4(3), 21. <https://doi.org/10.3390/joitmc4030021>
- Lock, D. (2020). *Project management*. Routledge.
- Lutters, E. (2014). *Product Development*. En Springer eBooks (pp. 991-992). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20617-7_6464
- Merriman, R.A. (2022). Statistical process control implementations within the aviation industry. *Journal of Management and Engineering Integration*, 15, pp.100-109. <https://doi.org/10.62704/10057/24829>

- Molina KI, Ricci N, de Moraes S, Perracini M (2014) Virtual reality using games for improving physical functioning in older adults: a systematic review. *J Neuroeng Rehabil* 11(1):156. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-156>
- Montgomery, D. C. (2019). *Introduction to Statistical Quality Control*. John Wiley and Sons.
- Natarajan, D. (2017). *Introducing Quality Management System*. In: *ISO 9001 Quality Management Systems. Management and Industrial Engineering*. En Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54383-3_1
- Nijhuis, S., Vrijhoef, R., and Kessels, J. (2018). Tackling Project Management Competence Research. *Project Management Journal*, 49(3), 62-81. <https://doi.org/10.1177/8756972818770591>
- Note, M. (2015). *Project Management for Information Professionals*. Chandos Publishing.
- Paashuis, V. J. (1998). *The Organization of Integrated Product Development*. *Advanced manufacturing series*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3615-6>
- Pacana, A., and Ulewicz, R. (2020). Analysis of Causes and Effects of Implementation of the Quality Management System Compliant with ISO 9001. *Polish Journal of Management Studies*, 21(1), 283-296. <https://doi.org/10.17512/pjms.2020.21.1.21>
- Pascoa, C., and Tribolet, J. (2015). *Organizational Operating Systems, an Approach*. *Procedia Computer Science*, 64, 180-187. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.479>
- Pop, B.A., Pop, G.I., Oprean, C., And Titu, A.M. (2022). Implementation Of APQP as a Defect Prevention Measure in an Aeronautical Industry Organization. *Acta Technica Napocensis - Series: Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering*, 65(1s). <https://atnamam.utcluj.ro/index.php/Acta/article/view/1752>

- Pop, B.A., Titu A.M., Constantin, O., Costel, C., Victor, S. A., and Stefan, T. (2018). Contributions Concerning the Possibility of Implementing the APQP Concept in the Aerospace Industry. MATEC Web of Conferences. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201817808013>
- Prado-Román, C., Del-Castillo-Peces, C., and Idoeta, C. M. (2018). A Study on External and Internal Motivations and its Influence on the Results of Implementing EN 9100 Standard. En Springer eBooks (pp. 255-269). https://doi.org/10.1007/978-3-319-75990-6_16
- PriceWaterhouseCoopers. (2013). Aerospace and Defense: 2012 year in review and 2013. <https://www.pwc.com.br/pt/publicacoes/setores-atividade/assets/defesa-espaco-aereo/pwc-aerospace-defense-year-in-review-and-forecast-may2013.pdf>
- Rewilak, J., and Tokaj, T. (2012). Measurement of Effectiveness of new Products Implementation Process According to APQP/PPAP Requirements – Proposition of Indices. Management and Production Engineering Review, 3, 69-79. <https://doi.org/10.2478/v10270-012-0035-8>
- Rocha, J. R. P., and Salerno, M. S. (2014). O papel do APQP-Advanced Planning for Product Quality no desenvolvimento de produtos: Análise de casos na relação montadora-autopeças. En Gestao e Producao, 21(2), 231–243. <https://doi.org/10.1590/0104-530X1139>
- Rowe, S. F. (2020). Project Management for Small Projects, Third Edition. Berrett-Koehler Publishers.
- Rudolf, Lukasz & Roszak, Marek. (2022). Tools of Product Quality Planning in the Production Part Approval Process. Archives of Materials Science and Engineering. 118. 67-74. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.2591>.
- Santolamazza, A., Introna, V., Cesarotti, V., and Benedetti, M. (2019). A Simulation Approach for Evaluating the Impact of Human Behaviour on Project Scheduling. The Journal of Modern Project Management, 7(3). <https://doi.org/10.19255/jmpm02107>

Saux, D. (2006). The Effective use of Process Control Plans and Process Failure Mode Effects Analysis in a Gas Semiconductor Manufacturing Environment. CS Mantech Conference. Vancouver, British.

Secretaria de Relaciones Exteriores de México. (4 de noviembre del 2022). El Papel de México en la Industria. <https://portales.sre.gob.mx/atlasprospectivo/es/el-papel-de-mexico-en-la-industria-sef>

Senova, A., Stofova, L., Szaryszova, P., and Dugas, J. (2021). Superstructure of ISO/TS 16949 for the Measurement of Material-Technological Parameters of the Products in Automotive Production. *Management Systems in Production Engineering*, 29(3), 178-183. <https://doi.org/10.2478/mspe-2021-0022>

Society of Automotive Engineers (14 de mayo del 2025). Process Failure Mode and Effects Analysis (PFMEA) and Control Plans AS13004. <https://www.sae.org/standards/content/as13004a/>

Sok Kwon, Kang Koon Lee y Young H. Park (2007), A Study on a Methodology of Integrating Lean DFSS and Advanced Product Quality Planning (APQP) in ISO/TS16949. *International Journal of Quality Innovation/v.8, no.3,2007, pp.173-187.* <http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200709905959461.page>

Somvanshi, U. (2020). Quality Control in Automobile Manufacturing Industries. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology.* <https://doi.org/10.22214/ijraset.2020.6120>

Somvanshi, Utkarsh. (2020) An Analysis of Incorporation of Lean Tools Inside Quality Control Tools. *International Journal of Science and Research (IJSR).* 10.21275/SR20712000656.

- Songhori, M. J., Tavana, M., and Terano, T. (2019). Product development Team formation: Effects of Organizational- and Product-Related Factors. *Computational and Mathematical Organization Theory*, 26(1), 88-122. <https://doi.org/10.1007/s10588-019-09302-8>
- The International Aerospace Quality Group (14 de mayo del 2025). Oasis. <https://iaqg.org/tools/oasis-v3/>
- Titu, A.M., and Cupsan, V. C. (2019). Review of Advanced Product Quality Planning (APQP) in the Aerospace Industry. 11th Research/Expert Conference with International Participation "QUALITY 2019", ISSN 1512-9268.
- Titu, M. A, and Pop, B.A., (2021). Improving the Quality of the Analysis Process of Technical Documentation in Aerospace Organization. In *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*, 2021, Issue 9.
- Titu, M. A, Cupsan, V.C. (2022). Breakdown of the Product Quality Assurance Flow Within the Advanced Product Quality Planning (APQP) Methodology in the Aerospace Industry. In: Karabegovic, I., Kovacevic, A., Mandzuka, S. (eds) *New Technologies, Development and Application V. NT 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 472. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05230-9_11
- Titu, M. A., and Pop, G. I. (2019). Regarding Quality Management System in Aerospace Industry Organizations. *Materials Science Forum*. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.957.221>
- Tonchia, S. (2018). *Project Organization and Resource Management*. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56328-1_11
- Turner, J. R. (2022). *The Handbook of Project-Based Management*. Prentice Hall.

Unterreiner, J., and Soler, V. G. (2019). Pequeñas y Medianas Empresas y la Norma ISO 9001. 3C Tecnología, 8(3), 84-97. <https://doi.org/10.17993/3ctecno/2019.v8n3e31.84-97>

Vineela Komandla, (2022) Enhancing Product Development Through Continuous Feedback Integration, ESP Journal of Engineering and Technology Advancements, 2(4): 105-115. <https://doi.org/10.56472/25832646/ESP-V2I4P118>