DESDE 2013
https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/issue/archive
Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI
ISSN: 2007-6363

Publicación Semestral Pädi Vol. 14 No. Especial 3 (2026) 53-63

# Impacto del Plan de Control AIAG en retrabajos en PyMEs metalmecánicas
# Impact of the AIAG Control Plan on rework in metalworking SMEs

J. J. Reyes-Madrid [a], A. Juárez-Vite [b]*, H. Rivera-Gómez [a], J. R. Corona-Armenta [a], J. V. García-González [b]

[a] *Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.*

[b] *Área de electromecánica, Universidad Tecnológica de Tulancingo, 436442, Tulancingo, Hidalgo, México.*

**Resumen**

La presente investigación desarrolla e implementa un Plan de control basado en los lineamientos del Automotive Industry Action Group dentro de una PyME metalmecánica dedicada a la manufactura de tapas metálicas para filtros de aire utilizados en maquinaria pesada, autobuses, tractocamiones y tractores. El estudio se enfocó en procesos manuales de troquelado y conformado de lámina, donde existía una alta dependencia de la validación del supervisor para asegurar la calidad del producto. La metodología incluyó el análisis del proceso, identificación de características críticas, integración del AMEF y desarrollo del Plan de Control conforme a los requerimientos APQP. Como resultado, se estandarizaron actividades de inspección, métodos de medición, frecuencias de control y planes de reacción, fortaleciendo la trazabilidad y estabilidad operativa. Asimismo, se logró reducir el scrap en 38.8%, los retrabajos en 41.7% y las liberaciones del supervisor en 61.1%, lo que evidencia una reducción de la variabilidad y al fortalecimiento del aseguramiento de calidad en procesos manuales de manufactura metalmecánica.

*Palabras Clave:* Plan de Control, Troquelado de lámina, APQP, AIAG, Tapas para filtros.

**Abstract**

This study develops and implements a Control Plan based on the guidelines of the Automotive Industry Action Group (AIAG) in a metalworking SME dedicated to manufacturing metal end caps for air filters used in heavy machinery, buses, tractor-trailers, and tractors. The study focused on manual sheet-metal stamping and forming processes characterized by a high dependence on supervisor validation to ensure product quality. The methodology involved process analysis, identification of critical characteristics, integration of FMEA, and development of the Control Plan in accordance with APQP requirements. As a result, inspection activities, measurement methods, control frequencies, and reaction plans were standardized, strengthening process traceability and operational stability. Furthermore, scrap was reduced by 38.8%, rework by 41.7%, and supervisor product releases by 61.1%, demonstrating a reduction in process variability and strengthening quality assurance in manual metalworking manufacturing processes.

*Keywords:* Control Plan, Sheet Metal Stamping, APQP, AIAG, Air Filter End Caps.

## 1. Introducción

La industria metalmecánica figura entre los principales sectores estratégicos para el desarrollo económico mundial, como resultado de su estrecha vinculación con cadenas de suministro pertenecientes a industrias como la automotriz, transporte de carga, maquinaria agrícola, generación de energía y manufactura industrial. En este escenario productivo, las etapas de fabricación asociadas al estampado, troquelado y conformado de lámina representan operaciones esenciales para la manufactura de piezas metálicas de alta precisión, permitiendo la fabricación de importantes volúmenes de componentes con elevados niveles de repetibilidad y cumplimiento de especificaciones dimensionales. Dentro de los componentes producidos destacan las tapas metálicas empleadas en los mecanismos de filtrado del aire de entrada para motores de combustión interna utilizados en maquinaria pesada, autobuses, tractocamiones y equipos agrícolas. La importancia de estos componentes radica en su capacidad para salvaguardar los elementos filtrantes y garantizar el correcto desempeño de los mecanismos de suministro de aire, cuya falla puede

*Autor para la correspondencia: aseljuarez@utectulancingo.edu.mx
**Correo electrónico**: re435013@uaeh.edu.mx (Juan Jesús Reyes-Madrid), aseljuarez@utectulancingo.edu.mx (Asel Juarez-Vite), hriver06@hotmail.com (Héctor Rivera-Gómez), jrcorona@uaeh.edu.mx, (José Ramón Corona-Armenta), viridianagarcia@utectulancingo.edu.mx (J. Viridiana García-González)

**Historial del manuscrito:** recibido el 06/06/2026, última versión-revisada recibida el 15/09/2026, aceptado el 17/09/2026, publicado el 06/11/2026. **DOI:** https://doi.org/10.29057/icbi.v14iEspecial3.18090

CC BY NC ND

comprometer la eficiencia operativa y la vida útil de los equipos (Kalpakjian & Schmid, 2014; Groover, 2020).

La creciente globalización de los mercados y el incremento de la competitividad empresarial han impulsado cambios sustanciales en las estrategias de gestión del desempeño de la calidad. Esta transformación ha propiciado la transición desde modelos centrados en la inspección del producto finalizado hacia estrategias preventivas enfocadas en la identificación, evaluación y mitigación de riesgos desde las primeras etapas del diseño y estructuración de procesos. En este contexto, metodologías como la Planeación Avanzada de la Calidad del Producto (APQP), el Análisis Modal de Fallos y Efectos de Proceso (PFMEA) y los Planes de Control desarrollados por el Automotive Industry Action Group (AIAG) (organización internacional dedicada al desarrollo de estándares y herramientas para la gestión de calidad en la industria automotriz) han adquirido una relevancia estratégica al proporcionar mecanismos sistemáticos para identificar características críticas y establecer controles que garanticen la conformidad del producto a lo largo de las diferentes etapas de manufactura (Automotive Industry Action Group, 2024). Dentro de las denominadas Core Tools, el Plan de Control desempeña un papel fundamental al convertir los riesgos previamente detectados en el PFMEA en actividades específicas de supervisión, verificación y respuesta ante posibles desviaciones del proceso. Esta vinculación facilita la adopción de medidas preventivas orientadas a mitigar la aparición de fallas y mejorar su detección oportuna, fortaleciendo así el sistema que garantiza la calidad y mitigando los costos vinculados de productos fuera de especificación (Stamatis, 2019; Mitra, 2022). En este mismo sentido, diferentes estudios señalan que la implementación estructurada de los planes de control favorece la reducción de defectos, el fortalecimiento de la trazabilidad y el incremento de la estabilidad de las operaciones en ambientes manufactureros complejos (González-Aleu et al., 2021). De igual manera, estas herramientas contribuyen a disminuir la dependencia del conocimiento empírico acumulado por operadores y supervisores. La documentación formal de directrices de inspección, técnicas de medición, frecuencias de monitoreo y acciones de reacción permite uniformar las actividades operativas y facilitar el intercambio sistemático del conocimiento dentro de la compañía. Derivado de esto, se fortalecen los sistemas de gestión de calidad y se reduce la variabilidad atribuible al factor humano, favoreciendo una operación más consistente y controlada (Buer, Strandhagen, & Chan, 2018). De forma simultánea, el avance de la transformación digital en los entornos industriales ha favorecido la aparición de nuevos enfoques orientados al fortalecimiento de los sistemas de calidad. En este contexto, el paradigma de Quality 4.0 promueve la incorporación de tecnologías digitales, herramientas analíticas avanzadas y sistemas inteligentes que facilitan la toma de decisiones sustentada en datos y permiten anticipar posibles desviaciones en los procesos. Bajo esta visión, la integración de soluciones tecnológicas dentro de los mecanismos de control incrementa la transparencia y trazabilidad de las operaciones productivas, además de optimizar la capacidad de respuesta ante condiciones no previstas. Como consecuencia, las organizaciones manufactureras, independientemente de su tamaño, pueden fortalecer su competitividad, mejorar su desempeño operativo y aumentar la eficiencia de sus procesos (Antony, McDermott, & Sony, 2021). En México, la industria metalmecánica continúa representando un componente importante del sector manufacturero debido a su amplia vinculación con las redes de suministro pertenecientes a los sectores automotriz y de transporte. No obstante, una fracción considerable de pequeñas y medianas empresas mantiene esquemas operativos con una alta participación de actividades manuales, situación que limita la consolidación de sistemas documentados y enfoques preventivos de calidad (INEGI, 2024). Esta condición resulta particularmente relevante en procesos de troquelado y conformado de lámina, donde factores como el desgaste de herramentales, la orientación adecuada de los troqueles, las variables de operación y los métodos de inspección pueden influir en el logro de las especificaciones dimensionales y funcionales de los bienes elaborados (Escalante Vázquez, 2018). La implementación de estructuras organizadas de gestión del desempeño de la calidad se ha consolidado como una estrategia efectiva para fortalecer el desempeño organizacional y mejorar la estabilidad de las operaciones productivas. La estandarización de actividades mediante procedimientos, instrucciones de trabajo y controles operativos debidamente documentados fortalece la cultura de calidad y, al mismo tiempo, facilita la adaptación de la organización frente a cambios en las operaciones, favoreciendo el cumplimiento continuo de los requisitos y necesidades de los clientes (Oakland, 2014). Del mismo modo, la administración estructurada de riesgos ha adquirido un papel relevante como un componente fundamental para incrementar la confiabilidad de las operaciones y disminuir la recurrencia de problemas dentro de los sistemas de producción (Pyzdek & Keller, 2018). De forma adicional, las PyMEs manufactureras presentan retos asociados a la preservación y transferencia del conocimiento empresarial, además de la dependencia de personal altamente experimentado. En numerosos entornos productivos, las decisiones operativas continúan sustentándose en la experiencia de los supervisores y en el conocimiento especializado del personal clave, situación que puede generar vulnerabilidades ante ausencias, rotación de personal o incrementos en la carga de trabajo. Esta condición contrasta con los fundamentos impulsados por la manufactura esbelta y el control estadístico de procesos, los cuales buscan reducir los factores generadores de variabilidad y desarrollar sistemas capaces de mantener un desempeño estable independientemente del personal involucrado en su operación (Tortorella, Fogliatto, & Mac Cawley Vergara, 2020; Montgomery, 2020; Liker, 2021). Desde la perspectiva de la ingeniería de calidad, la confiabilidad de un proceso productivo requiere la presencia de controles claramente definidos que permitan supervisar las variables críticas, aplicar técnicas de medición confiables y establecer respuestas oportunas frente a desviaciones detectadas. Diversos estudios relacionados con manufactura inteligente y sistemas avanzados de monitoreo han demostrado que la implementación de herramientas estructuradas de control

contribuye significativamente a mejorar la repetibilidad, la estabilidad operacional y el desempeño de procesos eficientes (Javaid et al., 2022). En este sentido, los modelos orientados a la excelencia operacional destacan que la estandarización y el enfoque preventivo son elementos esenciales para disminuir desperdicios, incrementar la productividad y fortalecer la competitividad de las empresas (Juran & De Feo, 2017; Slack, Brandon-Jones, & Johnston, 2022). Esta situación adquiere particular importancia en la producción de tapas metálicas destinadas a filtros de aire utilizados en maquinaria pesada, tractocamiones, autobuses y tractores, debido a que estos componentes deben satisfacer estrictas especificaciones dimensionales y funcionales para asegurar el desempeño eficiente de los sistemas de filtrado. Sin embargo, en muchas PyMEs del sector metalmecánico mexicano, la validación del cumplimiento de los requisitos del producto aún depende considerablemente de la experiencia y el juicio del personal encargado de las actividades de supervisión de producción, lo cual aumenta el riesgo de generar defectos, retrabajos, desperdicios y variabilidad en el proceso. Ante este escenario, la implementación de un Plan de Control basado en los lineamientos del AIAG representa una estrategia metodológica que permite documentar y estandarizar el conocimiento operativo, fortalecer el aseguramiento de la calidad y disminuir la dependencia de criterios subjetivos mediante la aplicación de mecanismos de control formales y sistemáticos.

Desde el enfoque organizacional, la normalización de las operaciones mediante herramientas de planeación avanzada de calidad favorece la construcción de sistemas productivos más robustos, sostenibles y menos dependientes del conocimiento individual. Este elemento cobra especial relevancia en las PyMEs, donde la formalización de las prácticas operativas y la gestión efectiva del conocimiento representan factores clave para asegurar la continuidad operativa, mejorar la competitividad y favorecer el crecimiento sostenible de la organización a largo plazo (Evans & Lindsay, 2020). El objetivo científico de este estudio es evaluar el efecto de la implementación de un Plan de Control basado en los lineamientos del AIAG sobre el aseguramiento del proceso y la estabilidad operativa en la manufactura de tapas metálicas para filtros de aire producidas mediante procesos manuales de troquelado en una PyME metalmecánica mexicana.

A diferencia de investigaciones previas centradas en la aplicación del Plan de Control en procesos altamente automatizados o dentro de la industria automotriz, este estudio documenta su implementación en una PyME metalmecánica mexicana caracterizada por operaciones manuales de troquelado y una elevada dependencia del criterio del supervisor para la liberación del proceso. La investigación aporta evidencia sobre la aplicabilidad de la metodología AIAG en procesos, proporcionando evidencia cuantitativa sobre su contribución al aseguramiento del proceso, la reducción de la variabilidad operativa y la disminución de la dependencia del conocimiento tácito.

## 2. Revisión de la literatura

De acuerdo con la Guía de Referencia del Plan de Control emitida por el Automotive Industry Action Group (AIAG), esta herramienta se concibe como un documento formal y estructurado que establece los procedimientos, métodos y controles requeridos para supervisar y gestionar las distintas etapas involucradas en los procesos de manufactura. Su finalidad es asegurar que los productos satisfagan de manera continua las especificaciones y requerimientos del cliente, mediante la definición y documentación de las características críticas del producto y del proceso, los métodos de inspección y medición, las frecuencias de control y las acciones a implementar cuando se detecten desviaciones respecto a lo planificado (AIAG, 2024). Desde esta perspectiva, el Plan de Control funciona como un instrumento de gestión que facilita el monitoreo y control de las variables clave del proceso productivo, contribuyendo al mantenimiento de los niveles de calidad requeridos en el producto terminado. Aunque tradicionalmente su aplicación se orientó principalmente a la verificación de características del producto, los enfoques actuales promueven una visión más amplia e integrada, en la que las variables del producto y del proceso son consideradas de manera conjunta, reconociendo que ambas influyen directamente en la obtención de resultados consistentes y en el aseguramiento de la calidad (Martensen, 2024). Históricamente, el Plan de Control formaba parte del manual de Planeación Avanzada de la Calidad del Producto (APQP), donde se reconocía como una de las fases fundamentales para la verificación y control de las etapas de fabricación asociadas a la manufactura. Los lineamientos para su elaboración se encontraban establecidos en el manual APQP and Control Plan Reference Manual de AIAG, particularmente en su segunda edición (Vandenbemden, 2024). No obstante, en marzo de 2024, AIAG publicó la primera edición independiente de la guía denominada Control Plan Reference Guide, otorgando al Plan de Control un carácter autónomo como parte del conjunto de herramientas fundamentales (Core Tools) de la industria automotriz. Esta evolución responde a diversos factores, entre los que destacan la actualización de conceptos derivada de la implementación de la norma IATF 16949 y del manual AIAG-VDA FMEA, la incorporación de lecciones aprendidas acumuladas durante casi tres décadas de aplicación industrial y la influencia de las tecnologías digitales emergentes en los procesos de manufactura. De forma complementaria, la nueva edición proporciona una metodología más robusta para diseñar, aplicar y actualizar planes de control, atendiendo uno de los aspectos que más frecuentemente origina no conformidades durante las auditorías de certificación IATF. La estructura del documento incluye lineamientos para su desarrollo, aplicación y actualización, así como ejemplos, formatos y orientaciones específicas para diversos sectores industriales, evidenciando la relevancia cada vez mayor de esta metodología en los sistemas actuales de gestión del desempeño de la calidad.

Las investigaciones recientes destacan el papel del Plan de Control como un factor fundamental para incrementar la competitividad y eficiencia de los procesos productivos bajo el enfoque de Industria 4.0. Slancová y Plura (2024) analizaron las etapas de fabricación asociadas a la planeación de las etapas que generan la calidad a través de la identificación de entradas y salidas críticas de información, detectando limitaciones en su disponibilidad y proponiendo estrategias de digitalización de procesos para incrementar el desempeño organizacional. De manera similar, Hillnhagen et al. (2023) analizaron el impacto de los planes de control sobre la planificación y gestión de la producción en cadenas de suministro complejas, integrando el modelo HaSupMo y la norma ISO 9001 con el fin de robustecer la administración de la calidad y optimizar el rendimiento logístico. Por su parte, Qiang et al. (2023) propusieron un esquema conjunto de producción y mantenimiento, control estadístico y planes de control para procesos continuos, obteniendo incrementos relevantes en el desempeño operativo y disminución de costos. En el sector de fabricación de semiconductores, Dilosi et al. (2026) implementaron planes de control automatizados apoyados mediante un Modelo de Referencia de Datos y un indicador de desempeño específico, logrando identificar controles redundantes y áreas susceptibles de optimización en los mecanismos de detección. Adicionalmente, Zhang et al. (2022) evidenciaron la eficacia de integrar planes de control con técnicas estadísticas de monitoreo en la fabricación de componentes aeronáuticos, logrando avances en la calidad del producto y en la supervisión de los procesos. De igual forma, Antonio-Benito et al. (2020) aplicaron herramientas APQP y PPAP en la fabricación de cilindros hidráulicos, alcanzando la normalización de las operaciones y la conformidad con los requerimientos del cliente. Finalmente, Oancea et al. (2026) integraron metodologías AMFE bajo el enfoque AIAG-VDA mediante la incorporación de inteligencia artificial y tecnologías del Internet de las cosas (IoT), consiguiendo avances en la gestión y valoración de riesgos, disminución de problemas repetitivos y consolidación de las etapas de fabricación asociadas a la mejora continua. A partir de la revisión de la literatura científica, se identificó que el Plan de Control se posiciona como una de las metodologías más importantes en la gestión de calidad gracias a su contribución a prevenir defectos, disminuir la variación y robustecer los mecanismos de garantía de calidad. No obstante, a pesar de su amplia adopción en distintos sectores industriales y de los beneficios reportados por las organizaciones que la implementan, la evidencia científica disponible sobre aplicaciones prácticas documentadas continúa siendo limitada. En consecuencia, este estudio cobra importancia al documentar la aplicación de un Plan de Control en una organización del sector metalmecánico dedicada al estampado de lámina, así como a la producción de tapas para filtros de aire utilizados en equipos de servicio pesado. Con ello, se pretende generar evidencia práctica acerca de la utilización de esta herramienta en condiciones reales de producción, aportando al desarrollo del conocimiento científico vinculado con la administración de la calidad, los procesos de mejora continua y la normalización de operaciones industriales.

## 3. Método

La investigación se sustenta en la implementación de la metodología Plan de Control, orientada a detectar, supervisar y evitar desviaciones potenciales en las operaciones productivas, con lo que contribuye a garantizar la calidad bajo un enfoque preventivo. Su principal objetivo consiste en garantizar que los productos fabricados cumplan en conformidad permanente con los requerimientos y especificaciones del cliente, mediante la documentación sistemática de las características críticas del producto y del proceso, las técnicas de medición y verificación, los intervalos de control y los planes de respuesta ante posibles no conformidades (AIAG, 2024). Como parte de las herramientas fundamentales o Core Tools, el Plan de Control ocupa una posición estratégica puesto que facilita transformar los riesgos previamente detectados durante el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF) en mecanismos específicos de seguimiento y control. Bajo esta perspectiva, una vez determinados los modos de falla potenciales, esta herramienta establece los controles necesarios para prevenir su ocurrencia y garantizar que los atributos críticos de calidad permanezcan dentro de los parámetros de diseño. Además, define qué características deben ser verificadas, los instrumentos de medición requeridos, la periodicidad de las verificaciones, los responsables de su ejecución, las condiciones bajo las cuales deben realizarse las verificaciones y las acciones correctivas a implementar cuando se detecten desviaciones en relación con los requisitos establecidos (AIAG, 2024; Stamatis, 2019).

El estudio fue realizado en una organización del sector metalmecánico especializada en actividades de maquilado, troquelado y fabricación de tapas para filtros de aire utilizados en maquinaria pesada. Durante el diagnóstico inicial se identificó una producción continua de tapas metálicas que presentaban diversas características críticas de calidad susceptibles de variación, las cuales generaban recurrentes interrupciones dentro de las operaciones de manufactura, retrabajos y afectaciones en la eficiencia operativa. Con el fin de atender estas situaciones, se implementaron de forma estructurada las fases establecidas por la metodología del Plan de Control, enfocando el análisis en aquellas características y operaciones que representaban mayores costos e impactos para la empresa. Con base en esta implementación se establecieron mecanismos de control orientados a mejorar la estabilidad del proceso, reducir la variabilidad y fortalecer la garantía de la calidad del producto. A continuación, se presenta la metodología utilizada para la aplicación de la herramienta en el entorno de estudio.

### *3.1. Definición del objetivo y alcance del Plan de control*

La etapa inicial para la aplicación del Plan de Control consiste en definir de manera precisa el objetivo y los límites del estudio. Para ello, es indispensable definir con precisión el proceso, producto, servicio o sistema que será objeto de evaluación. A su vez, para asegurar un análisis adecuado y eficiente, resulta indispensable contar con datos específicos

relacionados con la operación del sistema, sus requisitos y las expectativas del cliente y los parámetros a ser controlados.

### *3.2. Conformación de un equipo transversal*

La conformación de un grupo multidisciplinario resulta fundamental para realizar una evaluación efectiva del Plan de Control. Dicho equipo debe integrarse por especialistas en la metodología, ingenieros de producción y encargados de las operaciones analizadas. La participación de distintas áreas de conocimiento permite definir los parámetros críticos a controlar desde diferentes enfoques, garantizando un análisis completo del proceso e identificando de manera más precisa las áreas potenciales de mejora.

### *3.3. Identificación de maquinaria y características*

Como parte del Plan de Control, la identificación de los equipos utilizados y de las características del proceso permite documentar los parámetros de operación y los puntos críticos de control. Esta información asegura la estabilidad del proceso, mejora la trazabilidad y facilita el monitoreo, mantenimiento y normalización de las actividades operativas, favoreciendo garantizar la calidad del producto final.

### *3.4. Determinación de las especificaciones, técnicas de evaluación y responsabilidad de la operación*

Como parte del Plan de Control, la definición de requisitos, métodos de evaluación y funciones asignadas de operación resulta fundamental para asegurar la conformidad con los estándares de calidad. Esta fase consiste en definir las características críticas del componente y del proceso, así como los criterios de aceptación, los métodos de medición, la frecuencia de verificación y los planes de reacción necesarios para asegurar la conformidad del producto y del proceso. Bajo esta perspectiva, se asignan responsabilidades específicas al personal involucrado en cada operación, asegurando el correcto seguimiento de las tareas de monitoreo, la identificación temprana de anomalías y la implementación de medidas correctivas orientadas a preservar la estabilidad y el desempeño del sistema productivo.

### *3.5. Establecer el tamaño y la frecuencia de la muestra*

Como parte del Plan de Control, el establecimiento del tamaño y la periodicidad del muestreo constituye una actividad fundamental para asegurar un monitoreo adecuado del proceso y del producto. Esta actividad consiste en definir el tamaño de la muestra, estableciendo el número de unidades que serán inspeccionadas por lote, así como la frecuencia con la que deberán realizarse las verificaciones para asegurar el control del proceso. La correcta determinación del muestreo permite detectar oportunamente desviaciones, garantizar la estabilidad del proceso y optimizar los recursos destinados a la inspección y controlar la calidad.

### *3.6. Método de control y plan de reacción*

Como parte del Plan de Control, los mecanismos de control y las acciones de respuesta representan componentes fundamentales para mantener la estabilidad y conformidad del proceso. El método de control define las técnicas, instrumentos y procedimientos utilizados para monitorear las características críticas del producto y del proceso, asegurando la conformidad con los requisitos definidos. De manera complementaria, el plan de respuesta define las acciones que deben implementarse cuando se detecta una desviación o no conformidad, incluyendo la contención del producto, ajustes al proceso, notificación al personal responsable e implementación de medidas correctivas. La integración de ambos elementos permite una respuesta oportuna ante fallas, minimizando riesgos y fortaleciendo la garantía de la calidad del proceso.

### *3.7. Seguimiento y revisión*

Como parte del Plan de Control, las actividades de seguimiento y revisión permiten evaluar la eficacia de los controles aplicados y promover la mejora continua. Esta fase contempla supervisar los resultados alcanzados, verificar la conformidad con los requisitos establecidos y analizar posibles desviaciones o áreas de oportunidad. En este contexto, implica la actualización constante del Plan de Control considerando modificaciones en las operaciones, resultados de auditorías, reclamos de clientes o nuevas condiciones operativas. La correcta ejecución del seguimiento y revisión permite mantener la estabilidad del proceso, prevenir fallas recurrentes y fortalecer la garantía de la calidad dentro de la empresa.

## 4. Desarrollo del caso

### *4.1. Diseño metodológico*

La investigación corresponde a un estudio aplicado, con enfoque cuantitativo, alcance descriptivo y diseño no experimental de tipo longitudinal con comparación antes-después, desarrollado mediante un estudio de caso en una pequeña y mediana empresa (PyME) mexicana del sector metalmecánico dedicada a la manufactura de tapas metálicas para filtros de aire utilizados en maquinaria pesada, tractores, autobuses y tractocamiones. El periodo de análisis comprendió las etapas previa y posterior a la implementación del Plan de Control basado en los lineamientos de AIAG. Para evaluar su impacto se compararon indicadores de desempeño del proceso, específicamente el porcentaje de scrap, el número de retrabajos y la cantidad de liberaciones efectuadas por el supervisor de producción. La comparación de estos indicadores permitió determinar el efecto de la estandarización de las actividades de inspección, la definición de características críticas, los métodos de medición, las frecuencias de control y los planes de reacción sobre la estabilidad del proceso y el aseguramiento de la calidad.

### *4.2. Definición del objetivo y alcance del Plan de control*

La investigación se enfocó en el análisis de una tapa superior, mostrada en la Figura 1, con el propósito de

identificar las características críticas de calidad que requieren monitoreo y control a lo largo del sistema de producción. Para tal efecto, se analizaron las diferentes operaciones involucradas en la fabricación del componente, entre ellas la inspección de materia prima, el corte mediante cizalla lineal, el troquelado del disco, la operación de embutido del cono y el troquelado del cono exterior, el repujado de la ceja exterior, la operación de troquelado de la perilla, la inspección del material galvanizado, la verificación final y el embalaje del producto concluido. La interacción y secuencia de estas actividades se presentan en la Figura 2 a través del diagrama de flujo asociado al proceso de fabricación.



Figura 1. Tapa superior del filtro de aire

Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

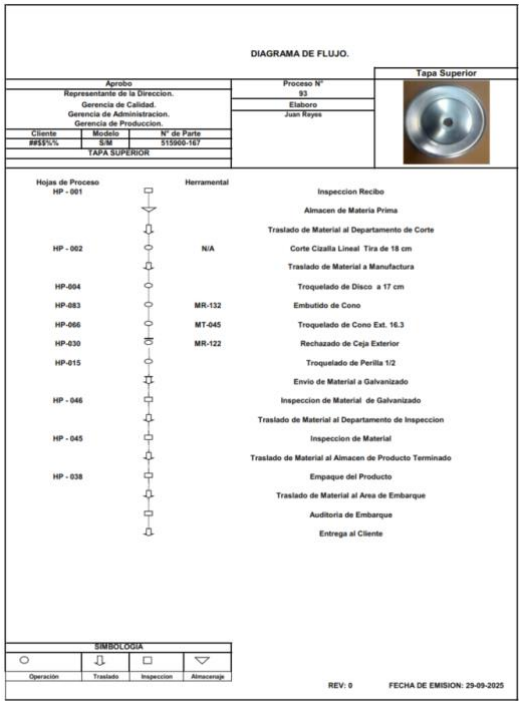



Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de la tapa

Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

### *4.3. Conformación de un equipo transversal*

Durante esta etapa se integró un equipo multidisciplinario conformado por representantes de las áreas de Calidad, Producción y Administración, incorporando además al personal responsable de coordinar y gestionar los procesos correspondientes a cada departamento.

### *4.4. Identificación de maquinaria y características*

Durante esta etapa se documentaron las actividades requeridas para la fabricación de las tapas, así como la maquinaria, herramentales y características sujetas a control. Los detalles correspondientes se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: *Identificación de maquinaria y características del proceso*

| No. De Función | Nombre de Proceso descripción de la operación | Maquina/Dispositivo Plantilla, herramienta Para manufactura | CARACTERISTICAS | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | No. | Producto | Proceso |
| HP-001 | INSPECCION RECIBO | | 1 | Espesor | |
| | | | 2 | APARIENCIA Ver instrucción de inspección | |
| HP-002 | CORTE CIZALLA LINEAL | CIZALLA LINEAL | 3 | APARIENCIA Ver instrucción de inspección | |
| | | | 4 | Medida | |
| HP-004 | TROQUELADO DE DISCO | Troqueladora Herramental | 5 | Rebaba | |
| | | | 6 | Mochos | |
| | | | 7 | Diámetro de Disco | |
| HP-019 | PRENSADO DE CONO | Prensadora Herramental | 8 | Fisura | |
| | | | 9 | Arruga | |
| | | | 10 | Diámetro Interior | |
| | | | 11 | Altura de Cono. | |
| HP-08 | TROQUELADO DIA.EXTERIOR Y CONO | Troquelado Herramental | 12 | Diámetro Exterior | |
| | | | 13 | Descentrado | |
| | | | 14 | Rebaba | |
| HP-030 | REPUJADO DE CEJA EXTERIOR | Torno de Repujado Herramental | 15 | Arruga | |
| | | | 16 | Altura de Ceja | |
| | | | 17 | Diámetro Exterior | |
| | | | 18 | Planicidad | |
| HP-015 | TROQUELADO DE PERILLA | Troqueladora herramental | 19 | Rebaba | |
| | | | 20 | Descentrada | |
| | | | 21 | Diámetro interior. | |
| HP-046 | INSPECCIÓN DE MATERIAL GALVANIZADO PROVEEDOR EXTERNO | | 22 | Apariencia | |
| HP-045 | INSPECCIÓN DE MATERIAL | | 23 | Ver instrucción de inspección | |
| HP-038 | EMPAQUE DEL PRODUCTO | | 24 | Ver hoja Especificación | |

Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio

### *4.5. Determinación de las especificaciones, técnicas de evaluación y responsabilidad de la operación*

En esta sección se establecieron las especificaciones aplicables, los métodos de evaluación y las responsabilidades asociadas a cada operación. La información detallada puede consultarse en la Tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones, métodos de evaluación y responsabilidades de operación

| No. De Función | Nombre de Proceso descripción de la operación | Maquina/Dispositivo Plantilla, herramienta Para manufactura | CARACTERISTICAS No. | Producto | Proceso | METODOS Especificación / Tolerancia del producto /proceso | Técnica de la Evaluación de Medición | Responsabilidad de la operación |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HP-001 | INSPECCION RECIBO | | 1 | Espesor | | 0.03 CALIBRE 22 | Micrómetro MI-06 | Supervisor de Calidad |
| | | | 2 | APARIENCIA Ver instrucción de inspección | | VISUAL | VISUAL | Supervisor de Calidad |
| HP-002 | CORTE CIZALLA LINEAL | CIZALLA LINEAL | 3 | APARIENCIA Ver instrucción de inspección | | VISUAL | VISUAL | Operador |
| | | | 4 | Medida | | TIRA DE 18 CM | Flexómetro CM-07 | Supervisor de Calidad |
| HP-004 | TROQUELADO DE DISCO | Troqueladora Herramental | 5 | Rebaba | | VISUAL | VISUAL | Operador |
| | | | 6 | Mochos | | VISUAL | VISUAL | Operador |
| | | | 7 | Diámetro de Disco | | 17 CM | Flexómetro | Operador |
| HP-019 | PRENSADO DE CONO | Prensadora Herramental | 8 | Fisura | | VISUAL | VISUAL | Operador |
| | | | 9 | Arruga | | VISUAL | VISUAL | Operador |
| | | | 10 | Diámetro Interior | | 4,280+/-0,015 | Calibrador CA-02 | Supervisor. Calidad |
| | | | 11 | Altura de Cono. | | 1,06+/-0,015 | Calibrador CA-02 | Supervisor. Calidad |
| HP-08 | TROQUELADO DIA.EXTERIOR Y CONO | Troquelado Herramental | 12 | Diámetro Exterior | | 16,3 cm | Calibrador CA-02 | Supervisor. Calidad |
| | | | 13 | Descentrado | | +/- .010 | Calibrador CA-02 | Supervisor. Calidad |
| | | | 14 | Rebaba | | VISUAL | VISUAL | Operador |
| HP-030 | REPUJADO DE CEJA EXTERIOR | Torno de Repujado Herramental | 15 | Arruga | | VISUAL | VISUAL | Operador |
| | | | 16 | Altura de Ceja | | 0,410+/-0,030 | Calibrador CA-02 | Supervisor. Calidad |
| | | | 17 | Diámetro Exterior | | 5,595+/-0,015 | Calibrador CA-02 | Supervisor. Calidad |
| | | | 18 | Planicidad | | +/- .010 | LAINA LN-01 | Supervisor. Calidad |
| HP-015 | TROQUELADO DE PERILLA | Troqueladora herramental | 19 | Rebaba | | VISUAL | VISUAL | Operador |
| | | | 20 | Descentrada | | +/- .010 | Calibrador CA-02 | Supervisor. Calidad |
| | | | 21 | Diámetro interior. | | 0,500+/-0,015 | Calibrador CA-03 | Supervisor. Calidad |
| HP-046 | INSPECCIÓN DE MATERIAL GALVANIZADO PROVEEDOR EXTERNO | | 22 | Apariencia | | Ver Instrucción de Inspección | Visual | Operador |
| HP-045 | INSPECCIÓN DE MATERIAL | | 23 | Ver instrucción de inspección | | | Visual | Jefe de Area |
| HP-038 | EMPAQUE DEL PRODUCTO | | 24 | Ver hoja Especificación | | | Visual | Almacen Producto Terminado |

Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

### *4.6. Establecer el tamaño y la frecuencia de la muestra*

Durante esta etapa se definieron el tamaño de muestra y la periodicidad de inspección requeridos para el control del proceso, la mayoría se establecieron por recomendaciones de los clientes y experiencia de la empresa. Los resultados se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Tamaño y frecuencia de muestreo del proceso

| No. De Función | Nombre de Proceso descripción de la operación | Maquina/Dispositivo Plantilla, herramienta Para manufactura | CARACTERISTICAS No. | Producto | Proceso | METODOS Especificación /Tolerancia del producto /proceso | Técnica de la Evaluación de Medición | Responsabilidad de la operación | MUESTRA Tamaño | MUESTRA Frecuencia |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HP-001 | INSPECCION RECIBO | | 1 | Espesor | | 0.03 CALIBRE 22 | Micrómetro MI-06 | Supervisor de Calidad | 5 | Lote |
| | | | 2 | APARIENCIA Ver instrucción de inspección | | VISUAL | VISUAL | Supervisor de Calidad | 5 | Lote |
| HP-002 | CORTE CIZALLA LINEAL | CIZALLA LINEAL | 3 | APARIENCIA Ver instrucción de inspección | | VISUAL | VISUAL | Operador | 5 | Lote |
| | | | 4 | Medida | | TIRA DE 18 CM | Flexómetro CM-07 | Supervisor de Calidad | 5 | Lote |
| HP-004 | TROQUELADO DE DISCO | Troqueladora Herramental | 5 | Rebaba | | VISUAL | VISUAL | Operador | 3 | Inicio de Producción |
| | | | 6 | Mochos | | VISUAL | VISUAL | Operador | 3 | Inicio de Producción |
| | | | 7 | Diámetro de Disco | | 17 CM | Flexómetro | Operador | 3 | Inicio de Producción |
| HP-019 | PRENSADO DE CONO | Prensadora Herramental | 8 | Fisura | | VISUAL | VISUAL | Operador | 1 | X PZAS LOTE |
| | | | 9 | Arruga | | VISUAL | VISUAL | Operador | 1 | X PZAS LOTE |
| | | | 10 | Diámetro Interior | | 4,280+/-0,015 | Calibrador CA-02 | Supervisor. Calidad | 3 | Inicio de Producción |
| | | | 11 | Altura de Cono. | | 1,06+/-0,015 | Calibrador CA-02 | Supervisor. Calidad | 3 | Inicio de Producción |
| HP-08 | TROQUELADO DIA.EXTERIOR Y CONO | Troquelado Herramental | 12 | Diámetro Exterior | | 16,3 cm | Calibrador CA-02 | Supervisor. Calidad | 1 | c/30 piezas |
| | | | 13 | Descentrado | | +/- .010 | Calibrador CA-02 | Supervisor. Calidad | 1 | c/30 piezas |
| | | | 14 | Rebaba | | VISUAL | VISUAL | Operador | 1 | C/10 piezas |
| HP-030 | REPUJADO DE CEJA EXTERIOR | Torno de Repujado Herramental | 15 | Arruga | | VISUAL | VISUAL | Operador | 1 | c/30 piezas |
| | | | 16 | Altura de Ceja | | 0,410+/-0,030 | Calibrador CA-02 | Supervisor. Calidad | 1 | c/30 piezas |
| | | | 17 | Diámetro Exterior | | 5,595+/-0,015 | Calibrador CA-02 | Supervisor. Calidad | 3 | Inicio de Producción |
| | | | 18 | Planicidad | | +/- .010 | LAINA LN-01 | Supervisor. Calidad | 3 | Inicio de Producción |
| HP-015 | TROQUELADO DE PERILLA | Troqueladora herramental | 19 | Rebaba | | VISUAL | VISUAL | Operador | 1 | X PZAS LOTE |
| | | | 20 | Descentrada | | +/- .010 | Calibrador CA-02 | Supervisor. Calidad | 3 | Inicio de Producción |
| | | | 21 | Diámetro interior. | | 0,500+/-0,015 | Calibrador CA-03 | Supervisor. Calidad | 3 | Inicio de Producción |
| HP-046 | INSPECCIÓN DE MATERIAL GALVANIZADO PROVEEDOR EXTERNO | | 22 | Apariencia | | Ver Instrucción de Inspección | Visual | Operador | 30 | lote |
| HP-045 | INSPECCIÓN DE MATERIAL | | 23 | Ver instrucción de inspección | | | Visual | Jefe de Area | 100% | Lote |
| HP-038 | EMPAQUE DEL PRODUCTO | | 24 | Ver hoja Especificación | | | Visual | Almacen Producto Terminado | 100% | Lote |

Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

### *4.7. Método de control y plan de reacción*

Una vez establecidos el tamaño de muestra y la frecuencia de evaluación, se definieron los mecanismos de control y las acciones de respuesta ante posibles desviaciones. Con ello se completó el Plan de Control, cuya estructura integral se presenta en la Figura 3. Cabe resaltar que las acciones propuestas en el Plan de Control establecieron las principales respuestas tanto para los operadores como para los inspectores de calidad, atendiendo las situaciones recurrentes que se presentan durante el proceso.

**PLAN DE CONTROL**

☐ PROTOTIPO ☐ PRELANZAMIENTO ■ PRODUCCION

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **PLAN DE CONTROL No. 93** | | | | EQUIPO QUE ELABORO: | | | ORGANIZADOR: | | | | FECHA DE ELABORACION: | | | | |
| | | | | NOMBRE | | GERENCIA | | | | | 29/09/2025 | | | | |
| CLIENTE | | No. DE PARTE | MODELO | ING. JUAN REYES | | CALIDAD | | | | | | | | | |
| ##$$%% | | ED0515900-167 | S/M | | | | APROBACION PLANTA: | | | | FECHA DE EMISION: | | | | |
| | | | | | | | | | | | 29/09/2025 | | | | |
| | | | | | | | APROBACION DE CALIDAD: | | | | REVISION: | | | | |
| | | | | | | | | | | | A | | | | |
| No. De | Nombre de Proceso | Maquina/Dispositivo | CARACTERISTICAS | | | Clasificación de | METODOS | | | | | | | | Plan |
| | descripcion de la | Plantilla, herramienta | No. | Producto | Proceso | | Especificación/Tolerancia | Tecnica de la | Responsabilidad de | MUESTRA | | Metodo de | | | de |
| Función | operación | Para manofactura | | | | Caracteristicas | del producto/proceso | Evalación de Medición | la operación | Tamaño | Frecuencia | control | | | Reacción |
| HP-001 | INSPECCION RECIBO | | 1 | Espesor | | ◐ | 0.03 CALIBRE 22 | Micrometro MI-06 | Supervisor de Calidad | 5 | Lote | Registro de inspección Recibo FPEC-CAL-10-12-06-B | | | Devolución al proveedor |
| | | | 2 | APARIENCIA Ver instrucción de inspección | | ◇ | VISUAL | VISUAL | Supervisor de Calidad | 5 | Lote | Registro de inspección Recibo FPEC-CAL-10-12 06-B | | | Devolución al proveedor |
| HP-002 | CORTE CIZALLA LINEAL | CIZALLA LINEAL | 3 | APARIENCIA Ver instrucción de inspección | | | VISUAL | VISUAL | Operador | 5 | Lote | | | | Aviso a Producción |
| | | | 4 | Medida | | ◇ | TIRA DE 18 CM | Flexometro CM-07 | Supervisor de Calidad | 5 | Lote | Hoja de Seguimiento FPOC-08-01-C | | | Detener el proceso |
| HP-004 | TROQUELADO DE DISCO | Troqueladora Herramental | 5 | Rebaba | | | VISUAL | VISUAL | Operador | 3 | Inic.Produc | Contador | | | Aviso a producción |
| | | | 6 | Mochos | | | VISUAL | VISUAL | Operador | 3 | Inic.Produc | Contador | | | Aviso a producción |
| | | | 7 | Dia.de Disco | | | 17 CM | Flexometro | Operador | 3 | Inic.Produc | Tres Primeras Muestras | | | Aviso a producción |
| HP-019 | PRENSADO DE CONO | Prensadora Herramental | 8 | Fisura | | ◐ | VISUAL | VISUAL | Operador | 1 | X PZAS LOTE | Contador | | | Avis.Producción |
| | | | 9 | Arruga | | ◐ | VISUAL | VISUAL | Operador | 1 | X PZAS LOTE | Contador | | | Avis.Producción |
| | | | 10 | Dia. Interior | | ◐ | 4,280+/-0,015 | Calibrador CA-02 | Supervisor. Calidad | 3 | Inic.Produc | Hoja de Seguimiento. | | | Detener proceso |
| | | | 11 | Alt.de Cono. | | ◐ | 1,06+/-0,015 | Calibrador CA-02 | Supervisor. Calidad | 3 | Inic.Produc | Contador | | | Detener proceso |
| HP-08 | TROQUELADO DIA.EXTERIOR Y CONO | Troquelado Herramental | 12 | Dia. Exterior | | ◐ | 16,3 cm | Calibrador CA-02 | Supervisor. Calidad | 1 | c/30pzas | Reg. de insp rec FPEC-CAL-10-12 | | | Avis.Producción |
| | | | 13 | Decentrado | | ◐ | +/- .010 | Calibrador CA-02 | Supervisor. Calidad | 1 | c/30pzas | Reg. de insp rec FPEC-CAL-10-12 | | | Detener proceso |
| | | | 14 | Rebaba | | | VISUAL | VISUAL | Operador | 1 | C/10 pzas | Contador | | | Avis.Producción |
| HP-030 | REPUJADO DE CEJA EXTERIOR | Torno de Repujado Herramental | 15 | Arruga | | ◐ | VISUAL | VISUAL | Operador | 1 | c/30pzas | Contador | | | Detener proceso |
| | | | 16 | Alt. Ceja | | ◐ | 0,410+/-0,030 | Calibrador CA-02 | Supervisor. Calidad | 1 | c/30pzas | Registro de inspección Y XR | | | Avis.Producción |
| | | | 17 | Dia. Exterior | | ◐ | 5,595+/-0,015 | Calibrador CA-02 | Supervisor. Calidad | 3 | Inic.Produc | Registro de inspección Y XR | | | Avis.Producción |
| | | | 18 | Planicidad | | ◐ | +/- .010 | LAINA LN-01 | Supervisor. Calidad | 3 | Inic.Produc | Registro de inspección Y XR | | | Avis.Producción |
| HP-015 | TROQUELADO DE PERILLA | Troqueladora herramental | 19 | Rebaba | | ◐ | VISUAL | VISUAL | Operador | 1 | X PZAS LOTE | Contador | | | Detener proceso |
| | | | 20 | Decentrada | | ◐ | +/- .010 | Calibrador CA-02 | Supervisor. Calidad | 3 | Inic.Produc | Registro de inspección | | | Avis.Producción |
| | | | 21 | Diametro int. | | ◐ | 0,500+/-0,015 | Calibrador CA-03 | Supervisor. Calidad | 3 | Inic.Produc | Registro de inspección Y XR | | | Avis.Producción |
| HP-046 | INSPECCIÓN DE MATERIAL GALVANIZADO PROVEEDOR EXTERNO | | 22 | Apariencia | | ◐ | Ver Instrucción de Inspección | Visual | Operador | 30 | lote | Registro de inspección Recibo FPEC-CAL-10-12 10-A | | | Devolución al proveedor |
| HP-045 | INSPECCIÓN DE MATERIAL | | 23 | Ver instrucción de inspección | | ◇ | | Visual | Jefe de Area | 100% | Lote | Entradas y Salida del Material de Limpieza e Inspección | | | Aviso a Producción |
| HP-038 | EMPAQUE DEL PRODUCTO | | 24 | Ver hoja Especificación | | | | Visual | Almacen Producto Terminado | 100% | Lote | Hoja De Embarque | | | Aviso a Producción y Administración |

FPE-CAL-VII-22-01-A

MAYOR ◐
CRITICA ●
CLAVE ◇

Figura 3. Plan de control para la fabricación de la tapa
Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

Una vez desarrollado el Plan de Control, es posible identificar su estrecha relación con el AMEF de proceso, ya que ambos parten de las mismas operaciones de manufactura. Los modos de falla potenciales identificados en el AMEF se traducen posteriormente en características del producto y del proceso sujetas a control dentro del Plan de Control, estableciendo los métodos de verificación, frecuencias de inspección y acciones de reacción correspondientes. Esta vinculación garantiza que los riesgos detectados durante el análisis preventivo sean gestionados mediante controles específicos durante la operación. En la Figura 4 se presenta un extracto del AMEF correspondiente al producto objeto de estudio.

**ANALISIS DEL MODO Y EFECTO DE LA FALLA POTENCIAL**

No. Parte del producto: **ED0515900-167** | **Coordinador de la elaboración de AMEF:**

Modelo del producto: **S/M** | No. De AMEF: **93** | **Participantes en la elaboración de AMEF:**

Cliente: | Revisión: **1**

Rangos de clasificacion para severidad, ocurrencia y deteccion: | Fecha de emisión: **29/09/2025**

Hoja 1 de 1

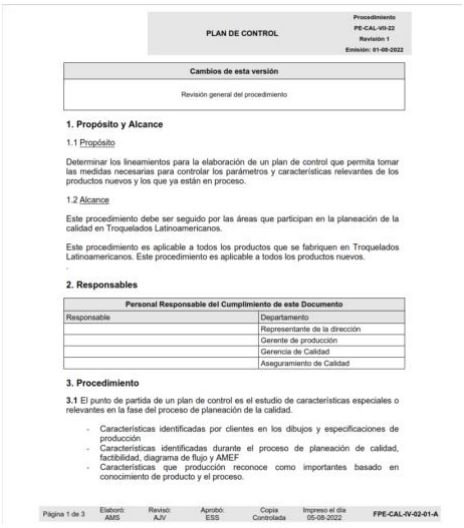
| No. OP | Propósito Descripción | Modo de Falla Potencial | Efecto de Falla Potencial | SEVERIDAD | CLASIFICACION | Causa Potencial Mecanismo de Falla | OCURRENCIA | Controles Actuales de Prevención de Proceso | Controles Actuales de Detección de Proceso | DETECCION | NPR | Acciones Recomendadas | Responsable | Resultado de Acciones Tomadas | OCURRENCIA | SEVERIDAD | DETECCION | NPR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HP-001 | INSPECCION RECIBO | Esp. Mayor | Se amarra herramental | 1 | ● | Error del proveedor. | 1 | Med. c/microm.MI-06 | Insp. c/microm.MI-06 | 2 | 2 | | | | | | | |
| | | Esp. Menor | No ensambla la Malla | 3 | | Error del proveedor. | 1 | Med. c/microm.MI-06 | Insp. c/microm.MI-06 | 2 | 6 | | | | | | | |
| | | MALA APARIENCIA | Apariencia Defec-tuosa | 4 | ◇ | Error del proveedor. | 1 | visual. | Inspección visual. | 1 | 4 | | | | | | | |
| HP-002 | CORTE CIZALLA LINEAL | LONGITUD MAS CHICA | DESPERDICIO DE MATERIAL | 1 | | Ondulación de la Lamina | 1 | Medición con Flexo-metro. CM-07 | Inspección con Flexo-metro. CM-07 | 1 | 1 | | | | | | | |
| HP-004 | TROQUELADO DE DISCO | Rebaba | Retrabajo | 5 | | Herram.mal ajustado | 1 | Medición visual | Inspección Visual | 2 | 10 | | | | | | | |
| | | Mocho. | Desperdicio de material | 4 | | Error del operario. | 1 | Medición visual | Inspección Visual | 2 | 8 | | | | | | | |
| HP-019 | PRENSADO DE CONO | Fisura | Desperdicio de material | 7 | | Exc. De pres.en pist | 2 | Med.c/ Manometro. | Insp.c/ Manometro. | 1 | 14 | | | | | | | |
| | | Arruga. | Desperdicio de material | 4 | ● | Falta de presión. | 1 | Med.c/ Manometro. | Insp.c/ Manometro. | 1 | 4 | | | | | | | |
| | | Dia. Interior | No ensam.la malla | 5 | ● | Desgast.de herram. | 1 | Med.c/ Calibrador. CA-02 | Insp.c/ Calibrador. CA-03 | 1 | 5 | | | | | | | |
| | | Alt.de cono | Desperd.de material. | 4 | | Se mueve el Micro. | 3 | Med.c/ Calibrador. CA-02 | Insp.c/ Calibrador. CA-03 | 1 | 12 | | | | | | | |

Figura 4. Extracto del AMEF de proceso de la tapa

Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

### *4.8. Seguimiento y revisión*

Como parte del seguimiento, el Plan de Control fue concebido como un documento dinámico sujeto a actualización continua, por lo que se elaboró el procedimiento PE-CAL-VII-22 para asegurar su revisión periódica. Dicho procedimiento se presenta en la Figura 5.



PLAN DE CONTROL

Procedimiento PE-CAL-VII-22 Revisión: 1 Emisión: 01-08-2022

**Cambios de esta versión**

Revisión general del procedimiento

**1. Propósito y Alcance**

1.1 Propósito

Determinar los lineamientos para la elaboración de un plan de control que permita tomar las medidas necesarias para controlar los parámetros y características relevantes de los productos nuevos y los que ya están en proceso.

1.2 Alcance

Este procedimiento debe ser seguido por las áreas que participan en la planeación de la calidad en Troquelados Latinoamericanos.

Este procedimiento es aplicable a todos los productos que se fabriquen en Troquelados Latinoamericanos. Este procedimiento es aplicable a todos los productos nuevos.

**2. Responsables**

| Personal Responsable del Cumplimiento de este Documento | |
|---|---|
| Responsable | Departamento |
| | Representante de la dirección |
| | Gerente de producción |
| | Gerencia de Calidad |
| | Aseguramiento de Calidad |

**3. Procedimiento**

**3.1** El punto de partida de un plan de control es el estudio de características especiales o relevantes en la fase del proceso de planeación de la calidad.

- Características identificadas por clientes en los dibujos y especificaciones de producción
- Características identificadas durante el proceso de planeación de calidad, factibilidad, diagrama de flujo y AMEF
- Características que producción reconoce como importantes basado en conocimiento de producto y el proceso.

Página 1 de 3 | Elaboró: AMS | Revisó: AJV | Aprobó: ESS | Copia Controlada | Impreso el día 05-08-2022 | FPE-CAL-IV-02-01-A

Figura 5. Procedimiento para el seguimiento y actualización del Plan de Control

Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

La validación de los resultados se realizó mediante la comparación de indicadores operativos obtenidos antes y después de la implementación del Plan de Control. El análisis se efectuó durante el periodo de implementación, considerando las condiciones operativas previas y posteriores a la aplicación de los controles establecidos. Debido a que la empresa no proporcionó fechas calendario específicas para delimitar ambos periodos, la comparación se estableció con base en las condiciones operativas observadas durante la implementación. Para ello, se utilizaron registros históricos de producción, reportes de scrap, registros de retrabajos y formatos de liberación del proceso generados por el sistema de gestión de calidad de la empresa. En ambas condiciones se consideraron los mismos indicadores: porcentaje de scrap, número de piezas retrabajadas y número de liberaciones realizadas por el supervisor. De manera complementaria, se verificó el cumplimiento de los controles definidos mediante auditorías internas al procedimiento PE-CAL-VII-22 y la revisión documental del Plan de Control implementado. Debido a las restricciones de información proporcionada por la empresa, no fue posible establecer de manera desagregada el volumen total de producción, número de lotes y cantidad de piezas correspondientes a cada periodo; por ello, el análisis se realizó con base en los registros e indicadores operativos disponibles y comparables antes y después de la implementación.

## 5. Discusión

A partir del diseño y aplicación del Plan de Control para la manufactura de tapas metálicas destinadas a filtros de aire, los hallazgos obtenidos mostraron un fortalecimiento importante del control del proceso gracias a la normalización de las actividades de inspección y seguimiento en la línea productiva. La implementación del Plan de Control, sustentada en las directrices del Automotive Industry Action Group (AIAG), permitió identificar y documentar las características críticas tanto del producto como del proceso, definiendo métodos de control específicos, frecuencias de inspección, tamaños de

muestra y planes de reacción para cada etapa de manufactura. Por otra parte, se integraron controles visuales, dimensionales y documentales en operaciones vinculadas a las actividades de verificación de material galvanizado, empaque y liberación de producto terminado, fortaleciendo la trazabilidad y reduciendo la dependencia del criterio empírico del supervisor. A su vez, la elaboración del procedimiento PE-CAL-VII-22 consolidó el Plan de Control como un documento dinámico sujeto a seguimiento y actualización continua ante posibles cambios de proceso o requerimientos del cliente, además contribuyó a fortalecer la disciplina operativa y a establecer responsabilidades claras en la estructura organizacional.

Los indicadores cuantitativos obtenidos evidenciaron los efectos favorables de la metodología aplicada sobre los indicadores operativos y de calidad del proceso de troquelado y embutido de lámina. El índice de material rechazado (scrap) disminuyó de 8.5% a 5.2%, lo que representó una mejora del 38.8 %, equivalente a una disminución de 3.3 puntos porcentuales, reflejando una disminución significativa en la producción de piezas no conformes y desperdicio de materia prima. De forma complementaria, los retrabajos se redujeron de 120 a 70 piezas, lo que equivalió a una mejora del 41.7 %, lo que sugiere que la normalización de las actividades de inspección y de los sistemas de medición contribuyó a reducir la repetición de defectos dimensionales y operativos (Los retrabajos corresponden al número total de piezas que requirieron reprocesamiento durante el periodo analizado). En este mismo sentido, las liberaciones realizadas por el supervisor disminuyeron de 18 a 7 intervenciones diarias, lo que representó una reducción del 61.1 %, lo que se relaciona con una menor dependencia de la experiencia operativa del personal de supervisión gracias a la estandarización de las actividades de verificación y control del proceso. En términos generales, estos resultados evidencian que la aplicación del Plan de Control fortaleció el aseguramiento de calidad, incrementó la estabilidad operativa y contribuyó a reducir la variabilidad en procesos manuales de manufactura metalmecánica empleados en la fabricación de componentes para sistemas de filtración utilizados en maquinaria pesada, autobuses, tractocamiones y tractores. Lo anterior se puede visualizar en la Tabla 4.

Tabla 4. Comparación de indicadores de desempeño antes y después de la implementación

| Indicador | Antes | Después | Mejora |
|---|---|---|---|
| Scrap (%) | 8.5% | 5.2% | 38.8% |
| Retrabajos (piezas) | 120 piezas | 70 piezas | 41.7% |
| Liberaciones del supervisor (intervenciones/día) | 18/día | 7/día | 61.1% |

Fuente: Elaboración propia con base en la información de la empresa en estudio.

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por González-Aleu et al. (2021), quienes señalan que la implementación sistemática de herramientas de planeación avanzada de la calidad contribuye al fortalecimiento del aseguramiento del proceso y a la disminución de defectos. De manera similar, Buer et al. (2018) destacan que la estandarización de controles documentados favorece la transferencia de conocimiento y reduce la dependencia del personal con mayor experiencia. En el presente estudio, la disminución de las intervenciones del supervisor en un 61.1 % sugiere que la formalización de criterios de inspección permitió fortalecer la autonomía operativa sin comprometer la conformidad del producto. De igual manera, los resultados respaldan los principios establecidos por Automotive Industry Action Group (2024), al demostrar que la integración entre el AMEF y el Plan de Control facilita la prevención de fallas mediante la definición de controles específicos y planes de reacción para cada etapa del proceso.

## 6. Conclusiones

Desde la perspectiva científica, esta investigación aporta evidencia sobre la aplicación del Plan de Control basado en los lineamientos del AIAG en procesos manuales de troquelado dentro de una PyME metalmecánica, demostrando que la metodología puede adaptarse eficazmente a entornos donde la validación del proceso depende en gran medida del conocimiento tácito del supervisor. Asimismo, el estudio propone una estrategia para transformar dicho conocimiento en controles documentados, fortaleciendo el aseguramiento del proceso y la estandarización operativa.

Mediante la presente investigación se desarrolló e implementó un Plan de Control fundamentado en las directrices establecidas por el Automotive Industry Action Group (AIAG) en el contexto de una PyME metalmecánica dedicada a la manufactura de tapas metálicas para filtros de aire utilizados en maquinaria pesada, autobuses, tractocamiones y tractores. La metodología aplicada facilitó la identificación de las características críticas del producto y del proceso a través de la evaluación de actividades tales como corte, troquelado, embutido, repujado e inspección final, integrando controles visuales, dimensionales y documentales para fortalecer el aseguramiento de calidad en un sistema de producción caracterizado por procesos manuales. Conviene destacar que la definición de especificaciones, frecuencias de verificación, criterios de muestreo, técnicas de medición y acciones de respuesta hizo posible estandarizar las actividades operativas y reducir la dependencia del criterio empírico del responsable de supervisión. Los hallazgos alcanzados sugieren mejoras significativas en los indicadores operativos y de calidad del proceso productivo. El indicador de scrap disminuyó de 8.5% a 5.2%, representando una mejora del 38.8%, mientras que los retrabajos se redujeron de 120 a 70 piezas, equivalente a una mejora del 41.7%. Cabe señalar que, las aprobaciones de producto realizadas por el supervisor disminuyeron de 18 a 7 intervenciones diarias, alcanzando una mejora del 61.1%, lo que sugiere una mayor estabilidad operativa y una disminución de la variación inherente a las actividades manuales de troquelado y conformado de lámina. Además, el desarrollo del procedimiento PE-CAL-VII-22 sirvió para consolidar el Plan de Control como un documento vivo sujeto a revisión y actualización continua ante cambios de proceso o requerimientos del cliente.

En cuanto a las restricciones de la investigación, el estudio se llevó a cabo en una sola PyME del sector metalmecánico; por ello, los resultados podrían diferir en empresas con

distintos grados de automatización, recursos productivos capacidades operativas y complejidad operativa. Es importante mencionar que, algunos controles continúan dependiendo parcialmente de inspecciones visuales realizadas por operadores y supervisores, situación que podría introducir cierta subjetividad durante la identificación de defectos. En consecuencia, la investigación estuvo orientada principalmente a la aplicación documental y operativa del Plan de Control, sin incorporar indicadores avanzados de desempeño estadístico como índices de capacidad del proceso o monitoreo mediante Control Estadístico de Procesos (SPC). Finalmente, la evaluación se realizó durante el periodo inicial de implementación, por lo que futuras investigaciones podrán analizar la estabilidad de los resultados en horizontes de tiempo más amplios.

Como trabajos futuros, se recomienda integrar herramientas complementarias como SPC, estudios de capacidad (Cp y Cpk), MSA, poka-yoke y auditorías escalonadas para fortalecer el control preventivo y evaluar cuantitativamente la capacidad del proceso. Finalmente, se propone avanzar hacia la digitalización del Plan de control a través de tecnologías de seguimiento en tiempo real y tecnologías asociadas a Industria 4.0, además de extender la aplicación del método en otros procesos metalmecánicos para validar su replicabilidad en distintos entornos industriales.

## Declaración sobre el uso de Inteligencia Artificial generativa y tecnologías asistidas por IA

Durante la preparación del presente manuscrito, los autores utilizaron deepseek para revisión gramatical. Todo el contenido generado o sugerido por la herramienta fue revisado y editado por los autores, quienes asumen plena responsabilidad por la exactitud, originalidad, integridad y rigor científico del contenido final del manuscrito.

## Referencias


Antony, J., McDermott, O., & Sony, M. (2021). Quality 4.0 conceptualization and implementation strategies. *The TQM Journal, 33*(7), 1–15.

Antonio-Benito, G., Morales-Morales, E., Ávila-Martínez, B., Díaz-Castillo, Y., & Medina-Lerma, C. M. (2020). Estandarización del proceso para la fabricación de cilindros hidráulicos mediante las herramientas de Core Tools. *Revista Interdisciplinaria de Ingeniería Sustentable y Desarrollo Social, 6*(1), 102–119. https://doi.org/10.63728/riisds.v6i1.224

Automotive Industry Action Group. (2024). *Advanced Product Quality Planning (APQP): Reference manual* (3rd ed.). AIAG.

Automotive Industry Action Group. (2024). *Control plan (CP) reference manual* (1st ed.). Automotive Industry Action Group.

Buer, S. V., Strandhagen, J. O., & Chan, F. T. S. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research, 58*(10), 2924–2940. https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1442945

Dilosi, A., Hassan, A., Siadat, A., & Mili, A. (2026). Towards a unified control plan: A method for integrating and evaluating automated control plans in manufacturing systems. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 1–25. https://doi.org/10.1080/0951192X.2026.2642267

Escalante Vázquez, E. J. (2018). *Seis Sigma: Metodología y técnicas*. Limusa.

Evans, J. R., & Lindsay, W. M. (2020). *Managing for quality and performance excellence* (11th ed.). Cengage Learning.

González-Aleu, F., Van Aken, E. M., Cross, J., & Glover, W. J. (2021). Continuous improvement maturity models and their application in manufacturing industries. *Journal of Manufacturing Technology Management, 32*(4), 785–806.

Groover, M. P. (2020). *Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems* (8th ed.). Wiley.

Hillnhagen, S., Mütze, A., Nyhuis, P., & Schmidt, M. (2023). Influence of ISO 9001 on the configuration of production planning and control. *Procedia CIRP, 120*, 1292–1296. https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.09.165

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2024). *Estadísticas de la industria manufacturera en México*. INEGI.

Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Khan, I. H., & Suman, R. (2022). Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in manufacturing systems. *Sustainable Operations and Computers, 3*, 275–284.

Juran, J. M., & De Feo, J. A. (2017). *Juran's Quality Handbook* (7th ed.). McGraw-Hill Education.

Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2014). *Manufacturing engineering and technology* (7th ed.). Pearson.

Liker, J. K. (2021). *The Toyota Way* (2nd ed.). McGraw-Hill.

Martensen, B. (2024, July 26). Controlling your plans for process control. *Quality Magazine*. https://www.qualitymag.com/articles/98146-controlling-your-plans-for-process-control

Mitra, A. (2022). *Fundamentals of quality control and improvement* (5th ed.). Wiley.

Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to statistical quality control* (8th ed.). Wiley.

Oancea, A.-V., Ionescu, L.-M., Rontescu, C., Ionescu, N., Misztal, A., Bogatu, A.-M., Știrbu, C., Cicic, D.-T., & Stanciu, E.-M. (2026). An intelligent framework for implementing AIAG–VDA FMEA and Action Priority (AP) assessment. Applied Sciences, 16(5), 2591. https://doi.org/10.3390/app16052591

Oakland, J. S. (2014). *Total Quality Management and Operational Excellence* (4th ed.). Routledge.

Pyzdek, T., & Keller, P. A. (2018). *The Six Sigma Handbook* (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Qiang, W., Zhu, M., & Qiao, H. (2023). A joint design of production, maintenance planning and quality control for continuous flow processes with multiple assignable causes. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 43*, 214–226. https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2023.04.006

Slack, N., Brandon-Jones, A., & Johnston, R. (2022). *Operations Management* (10th ed.). Pearson.

Slancová, I., & Plura, J. (2024). Information inputs and outputs of quality planning processes and the possibilities of their improvement through digital transformation. *Quality Innovation Prosperity, 28*(2). https://doi.org/10.12776/qip.v28i2.2023

Stamatis, D. H. (2019). *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution* (3rd ed.). ASQ Quality Press.

Tortorella, G. L., Fogliatto, F. S., & Mac Cawley Vergara, A. (2020). Lean manufacturing implementation: The role of leadership and knowledge management. *Total Quality Management & Business Excellence, 31*(5–6), 566–582.

Vandenbemden, J. (2024, September). The AIAG control plan manual. *Quality Magazine*. https://digitaledition.qualitymag.com/september-2024/column/

Zhang, J., He, Y., & Xia, Z. (2022). Production process control for aero engine part manufacturing. *IFAC-PapersOnLine, 55*(10), 1392–1397. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.585