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. 13, No. Especial 2 (2025) 73-82

Análisis de fallos críticos en la producción de tapas de filtro
Critical failure analysis in filter cap production

A. E. Rosales-Bustamante [a], A. Juárez-Vite [a,*], H. Rivera-Gómez [a], J. R. Corona-Armenta [a]

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

Resumen

Este estudio aplica el Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) en la fabricación de tapas para filtros, con el objetivo de identificar fallos críticos y optimizar el proceso productivo. La metodología utilizada incluyó la identificación de fallas, su evaluación mediante los criterios de severidad, ocurrencia y detección, y el cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR). Los resultados revelaron que los fallos más críticos se presentaron en las etapas de troquelado y embutido, afectando la calidad del producto con defectos como fisuras, rebabas y descentrado en el cono y la perilla. Para mitigar estos problemas, se implementaron acciones correctivas, como inspección de lubricación, sensores de altura y centradores, logrando reducir significativamente los valores de NPR y mejorar la confiabilidad del proceso. Se concluye que el AMEF es una herramienta clave para minimizar riesgos, optimizar la calidad y fortalecer la gestión de producción en entornos de manufactura manual, permitiendo mayor eficiencia operativa mediante un enfoque preventivo y sistemático.

Palabras Clave: AMEF, Troquelado, Tapas para filtros, Optimización del proceso, Control de fallas.

Abstract

This study applies Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) to the manufacturing of filter caps, to identify critical failures and optimize the production process. The methodology used included fault identification, their evaluation using severity, occurrence, and detection criteria, and calculating the Risk Priority Number (RPN). The results revealed that the most critical failures occurred in the die-cutting and drawing stages, affecting product quality with defects such as cracks, burrs, and runouts in the cone and knob. To mitigate these problems, corrective actions were implemented, such as lubrication inspection, height sensors, and centering devices, significantly reducing RPN values and improving process reliability. It is concluded that FMEA is a key tool for minimizing risks, optimizing quality, and strengthening production management in manual manufacturing environments, enabling greater operational efficiency through a preventive and systematic approach.

Keywords: FMEA, Stampping, Filter covers, Process optimization, Failure control.

1. Introducción

En 2023, el mercado global de filtros de aire se valoró en USD 15.02 mil millones y la expectativa que incremente a una tasa anual compuesta (CAGR) del 7.8%, alcanzando los USD 29.10 mil millones en 2032. Este crecimiento está impulsado por la necesidad de purificación del aire, especialmente en entornos comerciales e industriales. Los filtros de aire son cruciales en sistemas HVAC, mejorando la calidad del aire y eliminando partículas pequeñas. Además, la urbanización y la creciente conciencia sobre la contaminación favorecen la demanda, al igual que la tendencia hacia la construcción de edificios ecológicos y la reutilización de filtros. A pesar de la pandemia, la demanda de filtros de aire aumentó debido a la importancia de la calidad del aire interior. Los filtros HEPA y otros sistemas de calidad del aire, apoyados por agencias como ASHRAE, son fundamentales en sectores industriales y comerciales, impulsando el desarrollo del mercado (Fortune Business Insights, 2024).

En la industria automotriz, la solicitud de filtros ha aumentado, especialmente para vehículos y maquinaria pesada, contribuyendo a la reducción de la contaminación y el consumo de combustible. Sin embargo, los costos de instalación y reemplazo de filtros, entre USD 35 y USD 60, limitan la expansión del mercado. Los principales actores, como MANN+HUMMEL y Daikin Industries, están utilizando adquisiciones para expandir su presencia

*Autor para la correspondencia: ju100906@uaeh.edu.mx
Correo electrónico: ro420720@uaeh.edu.mx (A. Elizabeth Rosales-Bustamante), ju100906@uaeh.edu.mx (Asel Juarez-Vite), hriver06@hotmail.com (Héctor Rivera-Gómez), jrcorona@uaeh.edu.mx, (José Ramón Corona-Armenta).

Historial del manuscrito: recibido el 14/03/2025, última versión-revisada recibida el 04/08/2025, aceptado el 04/08/2025, publicado el 15/09/2025. **DOI:** https://doi.org/10.29057/icbi.v13iEspecial2.14689

(Fortune Business Insights, 2024). En el entorno industrial, los filtros eficientes son cruciales para mejorar la salud y seguridad de los empleados. La innovación, como la nanofiltración y la filtración por membrana, está mejorando la eficiencia, mientras que la sostenibilidad impulsa el desarrollo de filtros reciclables (Martín, 2023).
En el sector de maquinaria pesada, los filtros de aire son esenciales para el rendimiento y durabilidad de los motores. En muchas pymes, los procesos manuales de fabricación de tapas de acero para filtros pueden generar variabilidad en la calidad. Este artículo explora la aplicación del Análisis Modal de Efectos y Fallos (AMEF) para mejorar la calidad de estas tapas en una pyme en Hidalgo. AMEF se emplea para identificar y mitigar riesgos potenciales, mejorando la confiabilidad y reduciendo los costos de productos defectuosos. El objetivo es demostrar cómo AMEF puede aplicarse de manera efectiva en pymes con procesos manuales, ofreciendo un marco de referencia para otras empresas del sector. El estudio incluye una revisión de la literatura sobre AMEF, una descripción del caso de la pyme en Hidalgo, y los resultados y recomendaciones derivadas de la aplicación del AMEF, contribuyendo a la mejora de la calidad en los procedimientos de fabricación.

2. Revisión de la literatura

El AMEF es un método de análisis ascendente utilizado para referir los modos de falla potenciales con las causas de la totalidad de las partes del sistema para encontrar impactos negativos (I.E.C. 60812:2006 2006; MILSTD-1629A 1980). El análisis da inicio con los componentes de nivel más bajo y continúa hasta el efecto de falla del sistema general. Un efecto de falla en un nivel inferior se transforma en un modo de falla del componente en el sucesivo nivel superior. El AMEF también mide la probabilidad de ocurrencia y la detección son usados para calcular los NPR (números de prioridad de riesgo) para los modos de falla identificados. La finalidad principal del AMEF es identificar problemas potenciales en el proceso de diseño o producto que puedan afectar su seguridad y beneficio, e introducir contramedidas para mitigar o reducir los efectos de los problemas potenciales identificados. La herramienta AMEF fue empleada como una técnica para valorar la confiabilidad y para establecer los efectos de las fallas de los equipos y procesos, y la seguridad del personal o de los equipos (Bestratén, Orriols, y Mata 2018). a finales del mismo año Ford Motor Company fue quien introdujo al AMEF como parte de las especificaciones de seguridad en los requisitos regulatorios y como mejoras en la producción y diseño (AIAG, 2022).

Se realizaron investigaciones acerca del análisis de riesgos y fallas utilizando AMEF en las industrias automotriz, manufactura, alimentos, servicios, seguridad, Salud, construcción y aeronáutica descritas a continuación:

Una de las primeras áreas y donde más se ha utilizado es el sector automotriz. Trejo, Gálvez, y Estrada (2020) se enfocaron en la fabricación de piezas plásticas para las industrias automotriz y de línea blanca para mejorar su competitividad, la empresa utilizó el indicador OEE (Efectividad General del Equipo), que estaba en 61%, por debajo del objetivo de 85%, La metodología permitió identificar los 10 moldes más críticos de un total de 200, se implementaron acciones correctivas y preventivas, logrando aumentar el OEE en un 13%, alcanzando un 74%. Así mismo, Aized, et al., (2020) la usaron en las ballestas, que forman parte del sistema de suspensión automotriz, para evaluar y reducir los riesgos asociados con 42 posibles fallas. Se analizaron las fallas potenciales, tasando su gravedad, detección, ocurrencia y calculando su NPR realizando acciones correctivas para aquellas fallas con un NPR superior a 250, con el fin de mejorar la calidad y confiabilidad de las ballestas. Otra aplicación realizada se centra en el fallo de dos cigüeñales dañados, uno de un motor diésel de una miniexcavadora y otro de un automóvil, identificando daños en el motor diésel debido a la ruptura de la biela nº 3 y el cigüeñal del automóvil falló tras 105,000 km (Fonte et al., 2016). Después, Baynal, Sarı, y Akpinar (2018) lo usaron para mejorar el número de prioridad de riesgo (NPR), este estudio integra el análisis relacional gris (GRA) con AMEF. Se aplico en una empresa de fabricación de automóviles. Se lograron mejoras significativas, incluyendo una disminución del 96% en los inconvenientes de cortes en el sello de la puerta, además, de resolver problemas en el panel de instrumentos y el ruido de la ventana de la puerta.

En relación con la industria manufacturera uno de los principales enfoques es el mantenimiento, pero de igual forma se atiende las modalidades de fallo sobre el proceso. Así pues, Muñoz, y Cantos (2024) su enfoque se direcciono en una línea de producción de conservas de atún mediante la ejecución de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y AMEF. Midiendo la confiabilidad del tiempo promedio entre paradas (MTBF), que mejoró a 3.59, incrementando la confiabilidad de los equipos y la calidad del mantenimiento. La disponibilidad de los equipos aumentó al 87% en la empresa. Además, Rouabhia-Essalhi, Boukrouh y Ghemari (2022) presentan una investigación aplicada al análisis de una grúa aérea Pellegrini de 10 toneladas instalada en talleres de montaje de compactadores para acortar el NPR a niveles aceptables. La metodología busca minimizar fallos en equipos de manipulación industrial, evitando riesgos potenciales y reduciendo tiempos de inactividad. No obstante, al usar los métodos AMEF y FTA (Análisis del Árbol de Fallas) aplicados al sistema MetalFAB1 de Additive Industries, diseñado para impresión aditiva en metales, optimizando la eficiencia y la efectividad en la identificación de fallas y la programación del mantenimiento, maximizando la confiabilidad del sistema (Peeters, Basten, y Tinga 2018). Luego, Chabane, Adjerid y Meddour (2022) proponen un enfoque inspirado en técnicas de ingeniería de mantenimiento. Combinando tres herramientas: el lenguaje SysML, el método FMECA y el método K-means. Validandolo con dos casos prácticos, uno para evaluar su viabilidad y otro para medir su eficacia. Además, el cálculo del NPR se aborda utilizando un modelo beta-binomial difuso, que combina

la teoría difusa, la inferencia estadística bayesiana y la distribución beta-binomial, permitiendo evaluaciones dinámicas en tiempo real y a largo plazo, considerando tanto la incertidumbre aleatoria como la difusa. El uso de un modelo que utiliza el método Monte Carlo de cadena de Markov (MCMC) para resolver problemas complejos, aborda el dominio de la incertidumbre aleatoria en los cálculos del NPR, algo que a menudo se ignora (Wu, X., & Wu, J. 2021). En la industria eléctrica presenta algunas aplicaciones, una de ellas se realizó gestionando los fallos en los turbogeneradores ТВФ100-3600-Т3 de una Central Termoeléctrica. Por la falta información confiable para aplicar métodos internacionales de mantenimiento, se efectuó el Análisis de Modos de Fallos, Efecto y Criticidad (FMECA), proponiendo medidas correctivas (Díaz y Filgueiras 2023). Se puede agregar que el impacto del uso de AMEF en la reducción de defectos en la fabricación de piezas fundidas implica la identificación de modalidades de falla, efectos y causas potenciales, así como el control sobre el proceso. Calcular el NPR y tomando acciones correctivas, considerando dos indicadores: proporción de productos no conformes por inclusión de arena y fuga de metal (Silva 2020). Torres-Goyes y Rodríguez-Borges (2021) estudiaron, las industrias purificadoras de agua. Su investigación se centraliza en sustentar el AMEF y los arquetipos de mantenimiento, con el objeto de identificar fallas y evaluar la severidad de sus efectos. Se basaron en un análisis bibliográfico, concluyendo que vincular un tipo de mantenimiento con el AMEF permite detectar y abordar problemas potenciales, mejorando la capacidad de las plantas. Karanović et al., (2024) utilizaron un análisis difuso de modalidades de falla y efectos para evaluar los riesgos en un sistema hidráulico de cuatro cilindros en barcos. Se identificaron 47 modalidades de falla. Se desarrollaron variables difusas y se construyó un motor de inferencia enfocado en calcular los números de prioridad de riesgo difuso (FRPN). El modo más grave fue la presión insuficiente del sistema. La aplicación AMEF en la edificación de viviendas permite predecir fallos durante el proceso, aplicar medidas correctivas y educar al personal para que identifiquen y prevengan fallos por sí mismos. Se concluye que usarlo mejora la fiabilidad, calidad y seguridad del proceso, reduce la posibilidad de fallos y facilita flexibilidad para adaptarse a diferentes requerimientos (Malvarez, 2023). Otra división donde igualmente se ha trabajado es el de elaboración de alimentos. Una de las indagaciones, las realizo Cartín-Rojas et al., (2014) combinando AMEF con el método HACCP en una maquiladora de pavo deshuesado para evaluar y gestionar riesgos en las fases más vulnerables del proceso. Calculando el Índice de Criticidad (IC) para establecer los puntos cruciales de control mediante un árbol de decisiones, enfocándose en las etapas con mayores valores de IC, como almacenamiento y descongelación. También, Montalvo (2022) desarrollo su investigación en mejorar las operaciones de los procedimientos de acondicionamiento de frutas, verduras y hortalizas frescas usando AMEF en las instalaciones del operador logístico. Abordando fallas en la elección de mercancía, materiales e insumos faltantes, y tiempos prolongados de procesos. En cuanto a los servicios, esta herramienta no es indiferente sustentando investigaciones como la de Rodríguez-Briceño et al., (2022). Diagnosticaron fallas sobre el proceso de ventas corporativas. Se analizaron tres procesos del ciclo sobre venta utilizando herramientas como mapeo de procesos, diagramas de flujo, FAST, SIPOC, Pareto, causa-efecto, matriz AMEF, entre otros. Identificando nueve actividades críticas y sus causas potenciales de falla. También, Wu, Y., Liu, P., & Li, Y. (2024) integraron la Función de Calidad (QFD) y el AMEF. Este enfoque se optimizó mediante el método de criterio base (BCM) para asignar pesos en QFD y AMEF, y se complementó con las técnicas de solución de compromiso combinada (CoCoSo) y TODIM para establecer prioridades, demostrando su utilidad mediante análisis comparativos y de sensibilidad. Del mismo modo, Koomsap y Charoenchokdilok (2016) presentan un enfoque mejorado de AMEF orientado al cliente, integrando la insatisfacción del cliente directamente en los riesgos evaluados. Utilizando el modelo de Kano, se elabora un nuevo cálculo del NPR. Demostrando que esta orientación mejora la apreciación del cliente, siendo su percepción la influencia más significativa en este nuevo método. Así mismo, un estudio que enfoca la planificación del servicio en una biblioteca universitaria utilizó AMEF en combinación con elementos de gestión para optimizar el ejercicio del proceso según las exigencias de los usuarios y los puntos críticos del servicio. Esta metodología puede aplicarse a otras unidades de servicios similares (Pineda, Estrada y Rodríguez, 2013). Así pues, Sulaman, Beer, Felderer, y Höst (2019) aborda la importancia del análisis sobre riesgos en sistemas de TI críticos. Comparan dos métodos de análisis de peligros: AMEF y STPA (Análisis de Procesos Teóricos del Sistema) mediante un estudio de caso aplicado a un régimen de previsión de colisiones frontales. Ambos métodos fueron evaluados según el arquetipo de aceptación de tecnología (TAM). Finalmente, en la división de la salud, Mañes-Sevilla et al., (2018) utilizaron el AMEF para gestionar riesgos y planificar la calidad en el ámbito de los ensayos clínicos. Aplicándola en los procedimientos del área de ensayos clínicos de un servicio de farmacia hospitalaria (SFH) para optimizar la seguridad de los procedimientos. identificando 67 fallos viables, siendo la función de dispensación y prescripción/validación el más susceptible a errores. Así mismo, Salazar-Pazmiño et al., (2024) aplicaron el AMEF en la sala de máquinas de un hospital para aumentar los stocks de los equipos. Empleando el análisis enfocado en criticidad, se identificó que las calderas son los equipos más críticos. Los resultados guiaron las tareas de mantenimiento preventivo para evitar dichas fallas. Una vez revisado el marco referencial podemos evidenciar que en las investigaciones no se encontró alguna donde fuera utilizada la metodología AMEF para la industria metal mecánica en el sector de filtros, específicamente en la manufactura de tapas metálicas.

3. Método

El enfoque utilizado en esta investigación es el AMEF, que tiene como objetivo identificar y prever posibles inconvenientes en los procesos productivos. Su propósito principal es asegurar tanto la calidad del producto como la seguridad del trabajador. A través de un análisis exhaustivo de cada fase del proceso, se identifican puntos críticos donde pueden surgir fallos, lo que permite desarrollar estrategias para prevenirlos (AIAG, 2022). Esta metodología es esencial antes de implementar planes de control en procesos nuevos o modificados, ya que facilita la identificación y corrección de fallos antes de que ocurran. Además, el AMEF puede ser usado en la planificación estratégica de procesos como una herramienta de evaluación anticipada de riesgos y efectividad de las estrategias. También es útil para evaluar fallas en procesos ya establecidos, favoreciendo la mejora continua y la reducción de riesgos potenciales (Pursell, 2023).

La investigación desarrollada para este trabajo fue realizada en una empresa dedicada a maquilados, troquelados, y elaboración de tapas para filtro, en la que se identificó una producción constante de tapas metálicas y que en su desarrollo presentan varios tipos de falla que ocasionan constantes paros de proceso y retrabajos de estos. Se realizaron las etapas correspondientes del AMEF, buscando abordar los componentes que simbolizan un mayor costo para la organización. Posteriormente, se presenta el procedimiento aplicado.

3.1. Definición del objetivo y alcance del AMEF

El primer paso para aplicar el AMEF es establecer con puntualidad el objetivo y el alcance del análisis. Esto requiere identificar el proceso, servicio o sistema de software que será examinado. Para garantizar una evaluación efectiva, es fundamental disponer de información detallada sobre su funcionamiento, los requisitos del sistema, las expectativas del cliente y antecedentes de fallos previos.

3.2. Conformación de un equipo transversal

La integración de un equipo de operación multidisciplinario es fundamental para efectuar un análisis efectivo. Este equipo debe estar compuesto por especialistas en el método AMEF, desarrolladores de procesos e ingenieros de producción. La combinación de diversas disciplinas de conocimiento y enfoques permite detectar fallos desde diferentes perspectivas, asegurando una evaluación integral del proceso y abordando todas sus posibles áreas de mejora.

3.3. Identificación de modalidades de fallo

En esta fase, es crucial detectar los posibles modos de falla del proceso. Para lograrlo, se lleva a cabo un análisis exhaustivo de la documentación técnica y los registros históricos de fallos. El equipo debe concentrarse en identificar todas las formas en que el proceso podría fallar, abarcando desde defectos en los materiales hasta fallos operativos.

3.4. Determinación de efectos y causas de los fallos

Una vez identificados los posibles modos de falla, el siguiente paso consiste en analizar sus consecuencias y establecer sus causas. El equipo debe valorar cómo cada fallo afecta el proceso y al cliente, además de identificar las causas fundamentales. Para obtener un análisis más detallado, se pueden utilizar herramientas como la técnica de los 5 porqués, lo que facilita una comprensión profunda de los factores que contribuyen a cada fallo.

3.5. Evaluación de la severidad, ocurrencia y detección de fallos

Cada modo de falla detectado debe ser analizado tomando en cuenta tres aspectos: severidad, probabilidad de ocurrencia y capacidad de detección. La severidad se refiere al impacto del fallo, la ocurrencia evalúa la probabilidad de que ocurra, y la detección mide la habilidad para identificarlo antes de que cause efectos graves. Estos factores generalmente se califican en una escala del 1 al 10, y sus puntuaciones se utilizan para calcular el Número de Prioridad de Riesgo (NPR), el cual ayuda a priorizar las fallas más críticas.

$$NPR=S\times O\times D$$

Enseguida se muestran las matrices de los rangos para la calificación de los criterios como lo son severidad, ocurrencia y detección.

La Tabla 1 presenta la clasificación de severidad, la cual mide el impacto que tendría cada falla en las etapas de fabricación de las tapas para filtros. Se asigna una puntuación fundada en la gravedad de las consecuencias, considerando aspectos como la calidad del producto, la seguridad del trabajador y el cumplimiento de especificaciones. Cuanto mayor sea la calificación, más crítico será el efecto de la falla sobre el proceso.

Tabla 1: *Evaluación de criterios de severidad*

Efecto	Criterio: Efecto de seguridad	Ponderación
Falla en el Desempeño de Exigencias de Seguridad y/o Regulatorios	Podría suponer un peligro para el operador (equipo o ensamble) sin previo aviso.	10
	Podría suponer un peligro para el operador (equipo o ensamble) con previo aviso.	9
Interrupción Mayor	Es posible el 100% del producto se excluya. Detención de línea o detención de envíos	8
Interrupción Significativa	Es posible que una parte del ciclo de producción se excluya. Desviación del proceso primario incluyendo un decremento en la velocidad de la línea o adición de mano de obra.	7
Interrupción Moderada	Es posible que el 100% del ciclo de producción tenga que retrabajarse fuera de la línea y ser aceptada.	6
	Es posible que una parte del ciclo de producción tenga que retrabajarse fuera de la línea y ser aceptada.	5
Interrupción Moderada	Es posible que el 100% del ciclo de producción tenga que retrabajarse en la estación, antes de ser procesada.	4
	Es posible que una porción del ciclo de producción tenga que retrabajarse en el centro de trabajo, antes de ser procesada.	3
Interrupción Menor	Una pequeña o mínima molestia para el proceso, la operación o el operador.	2
Sin Efecto	Sin efecto discernible.	1

Fuente: AIAG, (2022).

En la Tabla 2 se muestra la valoración de ocurrencia, que representa la probabilidad que un modo de falla acontezca durante la producción. La calificación asignada se fundamenta en datos históricos, frecuencia de incidentes y condiciones operativas. Un valor alto indica una elevada probabilidad de ocurrencia, lo que requiere un enfoque más preventivo en el control del proceso.

Tabla 2: *Evaluación de criterios de ocurrencia*

Probabilidad de falla	Porcentaje de probabilidad de fallas	Rango
Muy alta: Falla persistente.	> 100 por mil --- > 1 en 10	10
	50 por mil	9
Alta: Falla frecuente.	20 por mil	8
	10 por mil	7
Moderada: Falla ocasional.	5 por mil	6
	2 por mil	5
	1 por mil	4
Baja: Falla relativamente menor.	0.5 por mil	3
	0.1 por mil	2
Remota: Falla improbable	0.01 por mil	1

Fuente: AIAG, (2022).

Enseguida, se presenta la Tabla 3 de detección, la cual refleja la capacidad del sistema actual para identificar fallas antes de que afecten el producto final. Se asignan valores en virtud de la efectividad de las inspecciones implementadas, donde una puntuación baja indica una mayor capacidad de detección y un valor alto sugiere una menor probabilidad de identificar la falla antes de su impacto.

Tabla 3: *Evaluación de criterios de detección*

Detección	Probabilidad de detección por el control diseño	Puntuación
Casi Imposible	El control de diseño no podrá detectar la causa potencial, mecanismo y modo de falla subsecuente o no hay control de diseño.	10
Muy remota	Muy remota la ocasión, el control de diseño identificará la causa potencial, mecanismo y modo de falla subsecuente.	9
Remota	Remota la ocasión, el control de diseño identificará la causa potencial, mecanismo y modo de falla subsecuente.	8
Muy baja	Muy baja la ocasión, el control de diseño identificará la causa potencial, mecanismo y modo de falla subsecuente.	7
Baja	Baja la ocasión, el control de diseño identificará la causa potencial, mecanismo y modo de falla subsecuente.	6
Moderada	Moderada la ocasión, el control de diseño identificará la causa potencial, mecanismo y modo de falla subsecuente.	5
Moderada alta	Moderada alta la ocasión, el control de diseño identificará la causa potencial, mecanismo y modo de falla subsecuente.	4
Alta	Alta la ocasión, el control de diseño identificará la causa potencial, mecanismo y modo de falla subsecuente.	3
Muy alta	Muy alta la ocasión, el control de diseño identificará la causa potencial, mecanismo y modo de falla subsecuente.	2
Con certeza	El control diseño, identificará casi con certeza la causa potencial, mecanismo y modo de falla subsecuente.	1

Fuente: AIAG, (2022).

3.6. Priorización de los fallos

Una vez calculado el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) para cada modo de falla, se procede a su clasificación. Los fallos se agrupan en categorías de alto, medio o bajo riesgo, lo que permite al equipo centrarse primero en los problemas más graves. Esta clasificación asegura una distribución eficaz de los recursos, priorizando la mitigación de los riesgos más importantes de forma estratégica.

3.7. Implementación de medidas correctivas y preventivas

Para cada falla considerada prioritaria, se deben desarrollar e implementar acciones correctivas y preventivas con el fin de eliminar o reducir considerablemente el riesgo asociado. Es crucial asignar responsabilidades, fijar plazos de ejecución y determinar los recursos necesarios para asegurar la correcta implementación de estas medidas.

3.8. Seguimiento y revisión

Por último, es esencial llevar a cabo un seguimiento constante de las medidas aplicadas para evaluar su eficacia. Esto implica recalcular el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) después de implementar las acciones correctivas y preventivas, con el objetivo de verificar si los riesgos se han reducido. La vigilancia periódica asegura que el proceso mantenga su fiabilidad y calidad a lo largo del tiempo, permitiendo realizar ajustes adicionales en caso de ser necesario.

4. Desarrollo del caso

4.1. Definición del objetivo y alcance del AMEF

En este caso, el alcance de la investigación se centra en una tapa superior, como se muestra en la Figura 1, y su fin principal es identificar las posibles modalidades de falla. Para ello, se han considerado los siguientes procesos: Inspección de Recibo, Corte en Cizalla Lineal, Troquelado de Disco, Embutido de Cono, Troquelado de Cono Exterior, Repujado de Ceja Exterior, Troquelado de Perilla, Inspección de Material Galvanizado, Inspección Final y Empaque del Producto. Todas estas actividades pueden observarse en la Figura 2, en la que se presenta el diagrama de flujo de operaciones.

Figura 1: Tapa superior

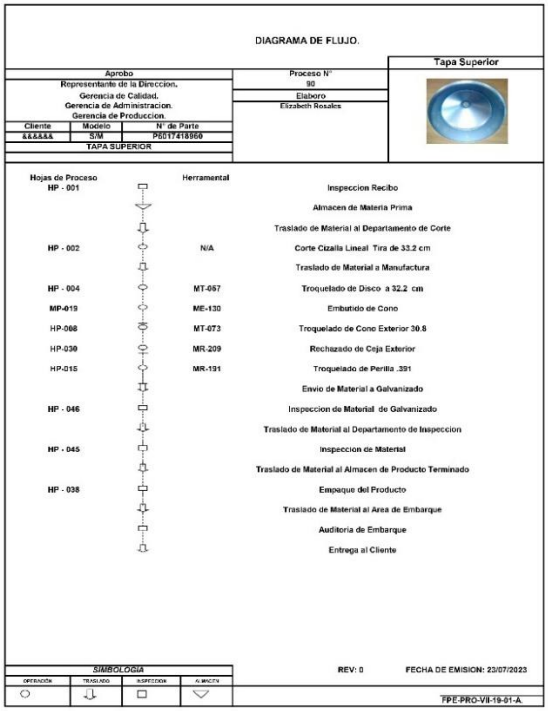


Figura 2: Diagrama de flujo.

4.2. Conformación de un equipo transversal

En esta etapa, el equipo se integró con los responsables de los departamentos de Calidad, producción y Administración de la compañía. Considerando incluir personal en la administración de sus procesos de estas áreas.

4.3. Identificación de modos de fallo

En esta etapa se describen todas las operaciones que se efectúan para la producción de las tapas y sus posibles modalidades de falla. La información se puede visualizar en la Tabla 4.

Tabla 4: *Identificación de modos de falla*

Numero de operación	Descripción	Modo de falla potencial
HP-001	Inspección recibo	Espesor Mayor
		Espesor Menor
		Mala apariencia
HP-002	Corte cizalla lineal	Longitud más chica
HP-004	Troquelado de disco	Rebaba
		Mocho
HP-019	Prensado de cono	Fisura
		Arruga
		Diámetro Interior
		Altura de cono
HP-008	Troquelado de cono Exterior	Descentrado
		Planicidad
HP-030	Repujado de ceja exterior	Arruga
		Planicidad
		Altura de ceja
		Diámetro exterior mayor
HP-015	Troquelado de perilla	Rebaba
		Descentrado
HP-046	Inspección de material Galvanizado Proveedor Externo	Manchas Blancas
HP-045	Inspección de material	Mala Inspección
HP-038	Empaque del producto	Mal Empacado

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

4.4. Determinación de efectos y causas de los fallos

Para esta etapa, se describen los efectos y las fuentes de cada fallo de las actividades descritas. La información se puede visualizar en la Tabla 5.

Tabla 5: Efectos y causas de fallo

Numero de operación	Descripción	Modo de falla potencial	Efecto de falla potencial	Causa potencial mecanismo de falla
HP-001	Inspección recibo	Espesor Mayor	Se amarra herramental	Error del proveedor
		Espesor Menor	No ensambla la Malla	Error del proveedor
		Mala apariencia	Apariencia Defectuosa	Error del proveedor
HP-002	Corte cizalla lineal	Longitud más chica	Desperdicio de material	Ondulación de la lamina
HP-004	Troquelado de disco	Rebaba	Retrabajo	Herramental mal ajustado
		Mocho	Desperdicio de material	Error del operario
HP-019	Prensado de cono	Fisura	Desperdicio de material	Exceso de presión en pistón
		Arruga	Desperdicio de material	Falta de presión
		Diámetro Interior	No ensambla malla	Desgaste de herramental
		Altura de cono	Desperdicio de material	Se mueve el Micro
HP-008	Troquelado de cono. Exterior	Descentrado	Desperdicio de material	Dispositivo mal ajustado
		Planicidad	Retrabajo	Herramental mal ajustado
HP-030	Repujado de ceja exterior	Arruga	Retrabajo	Lamin mal entallada
		Planicidad	Retrabajo	Mal ajuste de la contra
		Altura de ceja	Retrabajo	Error del operario
		Diámetro exterior mayor	Retrabajo	Lamin mal entallada
HP-015	Troquelado de perilla	Rebaba	Retrabajo	Herramental Desajustado
		Descentrado	Desperdicio de material	Dispositivo desajustado
HP-046	Inspección de material Galvanizado Proveedor Externo	Manchas Blancas	Retrabajo	Mal galvanizado
HP-045	Inspección de material	Mala Inspección	Retrabajo	Error del proveedor
HP-038	Empaque del producto	Mal Empacado	Producto dañado	Error del operario

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

4.5. Evaluación de la severidad, ocurrencia y detección de fallos

Para esta etapa, se desarrollaron las ponderaciones de la severidad, ocurrencia y detección de cada uno de los modalidad de fallo identificados, además, se realizó el

cómputo del NPR. La información se puede visualizar en la Tabla 6.

Tabla 6: Evaluación de la severidad, ocurrencia y detección de fallo

Num. de operación	Descripción	Modo de falla potencial	Efecto de falla potencial	Causa potencial mecanismo de falla	Severidad	Ocurrencia	Detección	NPR
HP-001	Inspección recibo	Espesor Mayor	Se amarra herramental	Error del proveedor	5	2	5	50
		Espesor Menor	No ensambla la Malla	Error del proveedor	5	2	5	50
		Mala apariencia	Apariencia Defectuosa	Error del proveedor	6	4	5	120
HP-002	Corte cizalla lineal	Longitud más chica	Desperdicio de material	Ondulación de la lamina	6	3	5	90
HP-004	Troquelado de disco	Rebaba	Retrabajo	Herramental mal ajustado	6	3	3	54
		Mocho	Desperdicio de material	Error del operario	6	3	3	54
HP-019	Prensado de cono	Fisura	Desperdicio de material	Exceso de presión en pistón	7	3	6	126
		Arruga	Desperdicio de material	Falta de presión	7	3	4	84
		Diámetro Interior	No ensambla malla	Desgaste de herramental	7	1	2	14
		Altura de cono	Desperdicio de material	Se mueve el Micro	7	3	5	105
HP-008	Troquelado de cono. Exterior	Descentrado	Desperdicio de material	Dispositivo mal ajustado	7	4	5	140
		Planicidad	Retrabajo	Herramental mal ajustado	7	3	4	84
HP-030	Repujado de ceja exterior	Arruga	Retrabajo	Lamin mal entallada	6	3	4	72
		Planicidad	Retrabajo	Mal ajuste de la contra	6	3	4	72
		Altura de ceja	Retrabajo	Error del operario	4	3	3	36
		Diámetro exterior mayor	Retrabajo	Lamin mal entallada	7	1	2	14
HP-015	Troquelado de perilla	Rebaba	Retrabajo	Herramental Desajustado	5	5	5	125
		Descentrado	Desperdicio de material	Dispositivo desajustado	7	4	5	140
HP-046	Inspección de material Galvanizado Proveedor Externo	Manchas Blancas	Retrabajo	Mal galvanizado	5	4	4	80
HP-045	Inspección de material	Mala Inspección	Retrabajo	Error del proveedor	5	2	3	30
HP-038	Empaque del producto	Mal Empacado	Producto dañado	Error del operario	5	2	3	30

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

4.6. Priorización de los fallos

En este paso, después de valorar el NPR para cada modalidad de fallo, se priorizaron los fallos y se clasificaron en categorías alta, media y baja para distinguir los problemas más críticos. Asimismo, se definieron los controles preventivos y de detección habidos en el proceso. Los datos se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7: Priorización de los fallos y métodos de control

Num. de operación	Descripción	Modo de falla potencial	Efecto de falla potencial	Causa potencial mecanismo de falla	Severidad	Ocurrencia	Detección	NPR	Clasificación	Controles actuales de prevención de proceso	Controles actuales de detención de proceso
HP-001	Inspección recibo	Espesor Mayor	Se amarra herramental	Error del proveedor	5	2	5	50	●	Medición c/microm.MI-06	Inspección c/microm.MI-06
		Espesor Menor	No ensambla la Malla	Error del proveedor	5	2	5	50	●	Medición c/microm.MI-06	Inspección c/microm.MI-06
		Mala apariencia	Apariencia Defectuosa	Error del proveedor	6	4	5	120	◇	Visual.	Inspección visual.
HP-002	Corte cizalla lineal	Longitud más chica	Desperdicio de material	Ondulación de la lamina	6	3	5	90	●	Medición con Flexo-metro. CM-07	Inspección con Flexo-metro. CM-07
HP-004	Troquelado de disco	Rebaba	Retrabajo	Herramental mal ajustado	6	3	3	54	●	Medición visual	Inspección Visual
		Mocho	Desperdicio de material	Error del operario	6	3	3	54	●	Medición visual	Inspección Visual
HP-019	Prensado de cono	Fisura	Desperdicio de material	Exceso de presión en pistón	7	3	6	126	●	Medición c/ Manómetro	Inspección c/ Manómetro
		Arruga	Desperdicio de material	Falta de presión	7	3	4	84	●	Medición c/ Manómetro	Inspección c/ Manómetro
		Diámetro Interior	No ensambla malla	Desgaste de herramental	7	1	2	14	●	Medición c/ Calibrador. CA-02	Inspección c/ Calibrador. CA-03
		Altura de cono	Desperdicio de material	Se mueve el Micro	7	3	5	105	●	Medición c/ Calibrador. CA-02	Inspección c/ Calibrador. CA-03
HP-008	Troquelado de cono. Exterior	Descentrado	Desperdicio de material	Dispositivo mal ajustado	7	4	5	140	●	Calidad	Inspección X Calidad
		Planicidad	Retrabajo	Herramental mal ajustado	7	3	4	84	●	Visual	Inspección Visual
HP-030	Repujado de ceja exterior	Arruga	Retrabajo	Lamin mal entallada	6	3	4	72	●	Visual.	Inspección Visual.
		Planicidad	Retrabajo	Mal ajuste de la contra	6	3	4	72	●	Revisar superficie plana	Inspección en superficie plana
		Altura de ceja	Retrabajo	Error del operario	4	3	3	36	●	Medición c/ Calibrador. CA-02	Inspección c/ Calibrador. CA-03
		Diámetro exterior mayor	Retrabajo	Lamin mal entallada	7	1	2	14	●	Medición c/ Calibrador. CA-02	Inspección c/ Calibrador. CA-03
HP-015	Troquelado de perilla	Rebaba	Retrabajo	Herramental Desajustado	5	5	5	125	●	Visual.	Inspección Visual.
		Descentrado	Desperdicio de material	Dispositivo desajustado	7	4	5	140	●	Medición c/CalibradorCA-02	Inspección c/ Calibrador. CA-03
HP-046	Inspección de material Galvanizado Proveedor Externo	Manchas Blancas	Retrabajo	Mal galvanizado	5	4	4	80	●	Visual	Inspección Visual
HP-045	Inspección de material	Mala Inspección	Retrabajo	Error del proveedor	5	2	3	30		Visual	Inspección Visual
HP-038	Empaque del producto	Mal Empacado	Producto dañado	Error del operario	5	2	3	30	◇	Ver hoja de Especificación	Auditoria de Embarque

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

4.7. Implementación de medidas correctivas y preventivas

En esta etapa, posteriormente de haber clasificado las modalidades de fallo por la estimación del NPR, se identificaron 6 modalidades de falla que presentan un NPR alto (Mala apariencia con 120 puntos, fisura con 126 puntos, altura de cono con 105 puntos, descentrado en cono exterior con 140 puntos, rebaba con 125 puntos y descentrado en perilla con 140 puntos) que requieren una atención de acciones correctivas inmediatas, por lo que se implementaron diversas acciones en la empresa, definiendo responsables, donde se logró reducir el indicador NPR de las fallas críticas, estas acciones y su calificación fueron las siguientes: implementación de gráficas de control con 54 puntos, inspección de la lubricación con 70 puntos, se colocó sensor de altura con 28 puntos, se colocó centrador con 63 puntos, se realizó centrador de perillas removibles con 60 puntos y se colocó centrador con 63 puntos, estas acciones permiten mitigar el efecto de las fallas en la empresa. Estas acciones se puede visualizar en la Figura 3, en el que se presenta el AMEF de proceso.

ANALISIS DEL MODO Y EFECTO DE LA FALLA POTENCIAL

No. Parte del producto: **R601760** | **Coordinador de la elaboración de AMEF**: EFREN SILVA SANCHEZ

Modelo del producto: **S/N** | No. De AMEF: **90**

Cliente: | Revisión: **1**

Rangos de clasificacion para severidad, ocurrencia y deteccion: **Ver procedimiento AMEF FPE-CAL-VII-21-01-A** | Fecha de emisión: **29/08/2023**

Participantes en la elaboración de AMEF: Elizabeth Rosales, Efren Silva Sanchez, Juan Cureño J., Asel Juárez Vite

Hoja 1 de 1

No. OP	Propósito Descripción	Modo de Falla Potencial	Efecto de Falla Potencial	SEVERIDAD	CLASIFICACIÓN	Causa Potencial Mecanismo de Falla	OCURRENCIA	Controles Actuales de Prevención de Proceso	Controles Actuales de Detención de Proceso	DETECCIÓN	NPR	Acciones Recomendadas	Responsable	Resultado de Acciones Tomadas	OCURRENCIA	SEVERIDAD	DETECCIÓN	NPR
HP-001	Inspección Recibo	Esp. Mayor	Se amarra herramental	5	●	Error del proveedor	2	Med. c/microm.MI-06	Insp. c/microm.MI-06	5	50							
		Esp. Menor	No ensambla la Malla	5	●	Error del proveedor	2	Med. c/microm.MI-06	Insp. c/microm.MI-06	5	50							
		Mala apariencia	Apariencia Defectusa	6	◇	Error del proveedor	4	visual	Inspección visual	5	120	Graficas de control	S. Calidad	Se controla el material defectuoso	3	6	3	54
HP-002	Corte cizalla Lineal.	Longitud mas chica	Desperdicio de mterial	6	●	Ondulación de la Lamina	3	Medición con Flexometro. CM-07	Inspección con Flexometro. CM-07	5	90							
HP-004	Troquelado de disco	Rebaba	Retrabajo	6		Herram.mal ajustado	3	Medición visual	Inspección Visual	3	54							
		Mocho	Desperdicio de mterial	6	●	Error del operario	3	Medición visual	Inspección Visual	3	54							
HP-019	Prensado de Cono	Fisura	Desperdicio de mterial	7	●	Exceso presión en piston	3	Med.*cl* Manometro	Insp.*cl* Manometro	6	126	Inspección de la lubricación	S. Producción	lubricación del pistón	2	7	5	70
		Arruga	Desperdicio de mterial	7	●	Falta de presión.	3	Med.*cl* Manometro	Insp.*cl* Manometro.	4	84							
		Dia. Interior	No ensam.la malla	7	●	Desgastede herramental	1	Med.*cl* Calibrador. CA-02	Insp.*cl* Calibrador. CA-03	2	14							
		Alt.de cono	Desperd.de material.	7	●	Se mueve el Micro.	3	Med.*cl* Calibrador. CA-02	Insp.*cl* Calibrador. CA-03	5	105	Se coloco sensor de altura	Mantenimiento	Se controla la altura	2	7	2	28
HP-008	Troquelado de cono exterior	Decentrado	Desperdicio de mterial	7	●	Dispositivo mal ajustado	4	Calidad	Inspección X Calidad	5	140	Se coloco centrador	S. Producción	Se controla centrado	3	7	3	63
		Planicidad	Retrabajo	7	●	Herramental mal ajustado	3	Visual	Inspección Visual	4	84							
HP-030	Repuajdo de Ceja Exterior.	Arruga	Retrabajo	6	●	Lamina mal entallada	3	Visual.	Inspcoión Visual.	4	72							
		Planicidad	Retrabajo	6	●	Mal ajust. de la contr	3	Checar.superf.plana	Inspco.en superf.plan	4	72							
		Alt.de ceja.	Retrabajo	4	●	Error del operario	3	Med.*cl* Calibrador. CA-02	Insp.*cl* Calibrador. CA-03	3	36							
		Diametro Exterior Mayor	Retrabajo	7	●	Lamin mal entallada.	1	Med.*cl* Calibrador. CA-02	Insp.*cl* Calibrador. CA-03	2	14							
HP-015	Troquelado de perilla	Rebaba	Retrabajo	5	●	herrament.Desajust.	5	Visual.	Inspección Visual.	5	125	Se realizo centrador de perillas remobibles	Mantenimiento	Se elimina la rebaba	4	5	3	60
		Descentrado	Desperdicio de mterial	7	●	Dispostivo desajustado	4	Med.*cl*CalibradorCA-02	Inspco. *cl* Calibrador. CA-03	5	140	Se coloco centrador	Mantenimiento	Se controla centrado	3	7	3	63
HP-046	Material Galvanizado.	Manchas Blancas	Retrabajo	5	●	Mal Galvanizado	4	Visual	Inspeción visual	4	80							
HP-045	Material	Inspección	Retrabajo.	5	◇	Error del proveedor	2	Visual	Inspección Visual	3	30							
HP-038	Empaque del producto	Mal Empacado	Producto Dañado	5		Error del operario	2	Ver hoja de Especificación	Auditoria de Embarque	3	30							

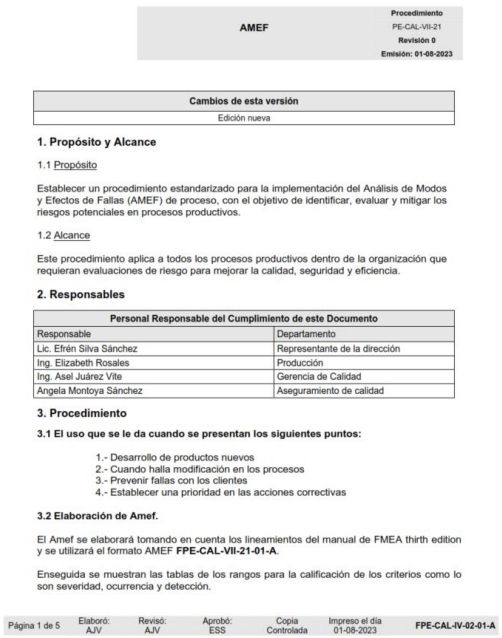
MAYOR ●
CRITICA ●
CLAVE ◇

FPE-CAL-VII-21-01-A

Figura 3: AMEF de proceso

4.8. Seguimiento y revisión

Finalmente, en esta etapa, para dar seguimiento a lo desarrollado en este AMEF. Se estableció como un documento vivo, esto se refiere que debe ser revisado periódicamente, por lo que se desarrolló el procedimiento AMEF PE-CAL-VII-21. Visualizado en la Figura 4.



AMEF

Procedimiento PE-CAL-VII-21
Revisión 0
Emisión: 01-08-2023

Cambios de esta versión
Edición nueva

1. Propósito y Alcance

1.1 Propósito

Establecer un procedimiento estandarizado para la implementación del Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) de proceso, con el objetivo de identificar, evaluar y mitigar los riesgos potenciales en procesos productivos.

1.2 Alcance

Este procedimiento aplica a todos los procesos productivos dentro de la organización que requieran evaluaciones de riesgo para mejorar la calidad, seguridad y eficiencia.

2. Responsables

Personal Responsable del Cumplimiento de este Documento	
Responsable	Departamento
Lic. Efrén Silva Sánchez	Representante de la dirección
Ing. Elizabeth Rosales	Producción
Ing. Asel Juárez Vite	Gerencia de Calidad
Angela Montoya Sánchez	Aseguramiento de calidad

3. Procedimiento

3.1 El uso que se le da cuando se presentan los siguientes puntos:

1.- Desarrollo de productos nuevos
2.- Cuando halla modificación en los procesos
3.- Prevenir fallas con los clientes
4.- Establecer una prioridad en las acciones correctivas

3.2 Elaboración de Amef.

El Amef se elaborará tomando en cuenta los lineamientos del manual de FMEA thirth edition y se utilizará el formato AMEF **FPE-CAL-VII-21-01-A**.

Enseguida se muestran las tablas de los rangos para la calificación de los criterios como lo son severidad, ocurrencia y detección.

Página 1 de 5 | Elaboró: AJV | Revisó: AJV | Aprobó: ESS | Copia Controlada | Impreso el día 01-08-2023 | FPE-CAL-IV-02-01-A

Figura 4: Procedimiento AMEF

4.9. Resultados de la Investigación

La implementación del Análisis Modo de Efectos y Fallas (AMEF) en esta pyme posibilitó identificar y minimizar seis modos de falla con un Número de Prioridad de Riesgo (NPR) elevado, los cuales afectaban la condición de las tapas de acero y generaban problemas como apariencia defectuosa, desperdicio de material y retrabajo. Estos factores impactaban negativamente sobre la productividad, aumentando la duración de proceso y los costos por material desperdiciado.

Tras implementar AMEF, el conjunto de especialistas propuso acciones correctivas que lograron reducir significativamente el NPR de las modalidades de falla críticos, mejorando la prolongación y eficiencia en la producción, estas acciones y su calificación fueron: gráficas de control con 54, inspección de la lubricación con 70, se colocó sensor de altura con 28, se colocó centrador con 63, se realizó centrador de perillas removibles con 60 y se colocó centrador con 63. Como resultado, se logró una reducción en el indicador de rechazo, asegurando altos estándares de calidad en las tapas metálicas y optimizando el uso de materiales.

Los resultados de este estudio validan que la implementación del AMEF en pymes con procesos manuales no solo permite identificar y disminuir las principales modalidades de falla, sino que también contribuye a optimizar la calidad, eficiencia operativa y productividad, facilitando un marco de referencia para otras organizaciones del sector.

5. Conclusiones

La implementación del Análisis de Modo y Efectos de Fallas (AMEF) en los procedimientos de manufactura de tapas para filtros permitió identificar y priorizar los principales riesgos asociados a cada etapa del proceso. Mediante la metodología aplicada, se lograron detectar las modalidades de falla más críticos, sus efectos y las posibles causas, lo que facilitó la toma de decisiones para la mejora del procedimiento de producción.

Entre los principales hallazgos, se identificó que las fallas de mayor impacto estaban relacionadas con defectos en el troquelado y embutido, así como inconsistencias en la inspección de materiales. Las acciones correctivas realizadas permitieron una reducción en el Número de Prioridad de Riesgo (RPN), optimizando la confiabilidad del proceso y asegurando una mayor calidad sobre el producto final.

Emplear AMEF no solo contribuyó a reducir defectos, sino que también promovió una cultura enfocada en la prevención dentro de la compañía, fortaleciendo el sistema de gestión de calidad y optimizando la eficiencia en la manufactura de las tapas para filtros.

A pesar entre las ventajas obtenidas, la implementación del AMEF presentó algunas limitaciones. La ausencia de registros históricos detallados sobre fallas en ciertos procesos dificultó una valoración exacta de la ocurrencia en las modalidades de falla. Además, el análisis exhaustivo requerido demanda recursos y tiempo, lo que simboliza un desafío en entornos de alta producción. Otro factor a considerar es la subjetividad en la evaluación, ya que la determinación de los valores para la severidad, ocurrencia y detección está sujeta a la experiencia del equipo de ejecución, lo que puede generar variabilidad en los resultados. Finalmente, la naturaleza manual de algunos procesos limita la automatización de la identificación temprana de fallos, pues esta está ampliamente influenciada por la inspección visual, lo que podría afectar la exactitud de la evaluación.

Para fortificar la efectividad del AMEF y garantizar una mejora continua en la fabricación de tapas para filtros, es fundamental integrar tecnologías de monitoreo en tiempo real mediante sensores y sistemas que permitan recopilar datos sobre fallas y mejorar la precisión del estudio de ocurrencia. Asimismo, resulta clave evaluar la viabilidad de automatizar procesos críticos, como la inspección de calidad y el troquelado, con la finalidad de disminuir variaciones en la manufactura. La revisión periódica del AMEF debe establecerse como un procedimiento estructurado para ajustarlo a modificaciones en los materiales, innovaciones tecnológicas y modificaciones en la producción. Además, es necesario desarrollar programas de capacitación continua en análisis de riesgos y optimización de procedimientos para el equipo encargado de la manufactura y calidad. Finalmente, se recomienda evaluar la integración del AMEF con otras metodologías de gestión de calidad, como Six Sigma o Lean Manufacturing, para optimizar el ejercicio del proceso y maximizar su eficiencia.

Referencias

AIAG. (2022). Manual AIAG & VDA FMEA (1ª ed.). Automotive Industry Action Group.

Aized, T., Ahmad, M., Jamal, M. H., Mahmood, A., Ubaid ur Rehman, S., & Srai, J. S. (2020). Automotive leaf spring design and manufacturing process improvement using failure mode and effects analysis (FMEA). *International Journal of Engineering Business Management*, 12, 1-11. https://doi.org/10.1177/1847979020942438

Baynal, K., Sarı, T., & Akpinar, B. (2018). Risk management in automotive manufacturing process based on FMEA and grey relational analysis: *A case study*. *Advances in Production Engineering & Management*, 13(1), 69-80. https://doi.org/10.14743/apem2018.1.274

Bestratén, M., Orriols, R., & Mata, C. (2018, junio 8). NTP 679: Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE). Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/19-serie-ntp-numeros-646-a-680-ano-2004/679

Cartín-Rojas A, Villarreal-Tello A y Morera A. Implementación del análisis de riesgo en la industria alimentaria mediante la metodología AMEF: enfoque práctico y conceptual. *Revista de Medicina Veterinaria*, 2014;(27): 133-148. doi: https://doi.org/10.19052/mv.3030

Chabane, A., Adjerid, S., & Meddour, I. (2022). Dependability analysis in systems engineering approach using the FMECA extracted from the SysML and failure modes classification by K-means. *International Journal of Dynamics and Control*, 10, 981–998. https://doi.org/10.1007/s40435-021-00855-8

Díaz Velez, D. O., & Filgueiras Sainz de Rozas, M. (2023). Gestión de fallos eléctricos en los turbogeneradores tbφ100 de la central eléctrica Ernesto Che Guevara. *Ingeniería Energética*, 44(1), 143-152. ISSN 1815-5901

Fonte, M., Infante, V., Freitas, M., & Reis, L. (2016). Failure mode analysis of two diesel engine crankshafts. *Procedia Structural Integrity*, 1, 313-318. https://doi.org/10.1016/j.prostr.2016.02.042

Fortune Business Insights. (2024, diciembre 2). Tamaño del mercado de filtros de aire, participación y análisis de la industria, por tipo (filtros de cartucho, colectores de polvo, filtros HEPA, filtros de mangas y otros), por usuario final (residencial, comercial e industrial) y pronóstico regional, 2024-2032. https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/air-filters-market-101676

I.E.C. (2006). Analysis techniques for system reliability: Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA) (IEC 60812:2006). International Electrotechnical Commission.

Karanović, V., Ceylan, B. O., & Jocanović, M. (2024). Reliable ships: A fuzzy FMEA based risk analysis on four-ram type hydraulic steering system. *Ocean Engineering, 314*(Part 2), 119758. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.119758.

Koomsap, P., & Charoenchokdilok, T. (2016). Improving risk assessment for customer-oriented FMEA. *Total Quality Management and Business Excellence*, 29, 1-18. https://doi.org/10.1080/14783363.2016.1274229

Malvarez Maure, D. (2023). Implementación del análisis modal de fallos y efectos (AMFE) en el sector de la construcción. Universidad & Ciencia, 12(1), 118–127. ISSN: 2227-2690 RNPS: 2450. https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/2488

Mañes-Sevilla, M., Marzal-Alfaro, M. B., Romero Jiménez, R., Herranz-Alonso, A., Sanchez Fresneda, M. N., Benedi Gonzalez, J., & Sanjurjo-Sáez, M. (2018). Análisis modal de fallos y efectos para mejorar la calidad en los ensayos clínicos. *Journal of Healthcare Quality Research*, 33(1), 33-47. https://doi.org/10.1016/j.cali.2017.12.001

Martín, N. (2023, septiembre 4). Tendencia del mercado de filtros industriales. *LUFILSUR***.** https://www.lufilsur.es/tendencia-mercado-filtros-industriales/?srsltid=AfmBOooviimr4o65Rp5By_aed19AG6cPSB34tzgMbXk7zATPEjl63lHL

Montalvo, M. (2022). *Aplicación de la herramienta AMEF como mejora del proceso de acondicionamiento de frutas, verduras y hortalizas frescas dentro de un operador logístico* [Tesis de maestría, Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli].

Muñoz, J., & Cantos, M. (2024). Mantenimiento centrado en la confiabilidad a equipos en industria de conservas de atún. *Científica*, 25(2), 1-12. https://doi.org/10.46842/ipn.cien.v25n2a05

Peeters, J. F. W., Basten, R. J. I., & Tinga, T. (2018). Improving failure analysis efficiency by combining FTA and FMEA in a recursive manner. *Reliability Engineering and System Safety*, 172, 36-44. https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.11.024

Pineda Zapata, U., Estrada Hernández, M., & Rodríguez Marrugo, I. (2013). Ingeniería de la calidad aplicada a la planificación de un servicio. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (38), 206-224.

Pursell, S. (2023, agosto 2). Cómo hacer un AMEF, tipos, definición y pasos a seguir. *HubSpot Blog*. https://blog.hubspot.es/marketing/amef

Rodriguez-Briceño, B.J.,Chávez-Rubio, S.L.,Ulloa-Bocanegra, S.G.,Benites-Aliaga, R.S.,(2022). Diagnóstico mediante la gestión por procesos del Consorcio Ferretero Cielo Azul SAC, 2020. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 23 (04), 1-18. https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2022.23.4.030

Rouabhia-Essalhi, R., Boukrouh, E.H. & Ghemari, Y. (2022).Application of failure mode effect and criticality analysis to industrial handling equipment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 120, 5269–5280 https://doi.org/10.1007/s00170-022-09099-y

Salazar-Pazmiño, J. I., Torres-Rodríguez, R. M., & Velepucha-Sánchez, J. M. (2024). Análisis de modos y efectos de fallas en una sala de máquinas de un hospital. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 7(13), 119-131.

Silva Damian, J. (2020). *Propuesta de aplicación de la herramienta AMEF para la reducción de defectos en la fabricación de piezas fundidas de una empresa metalúrgica en el Perú.* [Tesis de maestría, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional URP. https://hdl.handle.net/20.500.14138/3880

Sulaman, S. M., Beer, A., Felderer, M., & Höst, M. (2019). Comparison of the FMEA and STPA safety analysis methods: A case study. *Software Quality Journal*, 27, 349-387. https://doi.org/10.1007/s11219-017-9396-0

Torres-Goyes, S., & Rodríguez-Borges, C. (2021). Método AMEF: Estrategias para su empleo en el mantenimiento en plantas purificadoras de agua. *Polo de Conocimiento*, 6(6), 1-15. https://doi.org/10.23857/pc.v6i6.2801

Trejo, J., Gálvez, A. & Estrada, J. (2020) Metodología AMEF en el área de moldes en una empresa proveedora para la industria automotriz y línea blanca. *Revista de ingeniería y tecnología para el desarrollo sustentable (REING)* 8 2020 60-66. ISSN: 2448 - 7198

Wu, X., & Wu, J. (2021). The Risk Priority Number Evaluation of FMEA Analysis Based on Random Uncertainty and Fuzzy Uncertainty, *Complexity*, 2021, 8817667. https://doi.org/10.1155/2021/8817667

Wu, Y., Liu, P., & Li, Y. (2024). An integrated QFD and FMEA method under the co-opetitional relationship for product upgrading, Information Sciences, Volume 667, 120505, ISSN 0020-0255, https://doi.org/10.1016/j.ins.2024.120505.