

# Aplicación de Factores Ponderados para el Cálculo del NPR en el Procedimiento de AMEF

## Application of Weighted Factors for the Calculation of the NPR in the FMEA Procedure

Leonardo Gabriel Hernández Landa, Elva Patricia Puente Aguilar, Argelia Vargas Moreno

<sup>1,2,3,4</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Químicas, Nuevo León, México.

\*[Leonardo.hernandezln@uanl.edu.mx](mailto:Leonardo.hernandezln@uanl.edu.mx)

### Abstract

The application of the FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) is of the utmost importance in industries, since it allows identifying possible failures in the design of the product or process, the effects of those failures and the actions that eliminate or reduce those effects. However, the results obtained with the current procedure for calculating the Risk Priority Number (NPR) cannot be used as a criterion to establish the order of the improvements required to remove or reduce the failure modes, since within the same FMEA, a repeated NPR in different potential failures can be found. This research proposes a method to define the order in which product or process defects must be solved to facilitate the implementation of the necessary actions to improve the design. First, the effects of the introduction of weighted factors in the calculation of the NPR are identified, based on the cost of the points involved in each of the failure modes, that is, how much the severity, occurrence, and detection of a failure costs to the company. The analysis is presented, adding this weight to the procedure to obtain the NPR, finally the results are displayed.

### Keywords

FMEA, NPR, cost, weighting, weighting factors.

### Resumen

La aplicación del Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF) es de suma importancia en las industrias dado que permite identificar posibles fallas en el diseño del producto o proceso, sus efectos y las acciones que eliminan o disminuyen dichos efectos. Sin embargo, los resultados obtenidos con el procedimiento actual para el cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR) no pueden ser utilizados como un criterio para establecer el orden de las mejoras requeridas para remover o reducir los modos de falla, puesto que dentro de un mismo AMEF se puede encontrar un NPR repetido en diferentes fallos potenciales. En esta investigación se propone un método para definir el orden en que se deben atacar los defectos de producto o proceso para facilitar la implementación de acciones para mejorar el diseño. Primero, se identifican los efectos de la introducción de factores ponderados en el cálculo del NPR, basados en el costo de los puntos involucrados en cada uno de los modos de falla, es decir, cuánto le cuesta a la empresa la severidad, ocurrencia y detección de una falla. Se presenta el análisis, agregando esta ponderación al procedimiento para obtener el NPR y finalmente se muestran los resultados.

### Palabras clave

AMEF, NPR, costo, ponderación, factores ponderados.

## 1. Introducción

El AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Fallas) es un método sistemático para identificar y prevenir los problemas de un proceso o producto antes de que ocurran, su enfoque además de la prevención de defectos está dirigido a mejorar la seguridad e incrementar la satisfacción del cliente (McDermott et al., 2009). Es una herramienta que permite conocer los riesgos potenciales en el diseño de un producto o proceso y sus efectos en el sistema, con el propósito de establecer una priorización y desarrollar acciones para su detección y prevención. Esto permite anticiparse a la implementación del producto o proceso y evitar que ocurran las fallas detectadas, lo que ofrece diversos beneficios, como la reducción del costo por garantías, aumento en la confiabilidad del sistema analizado, tiempo de desarrollo de nuevos productos o procesos más cortos, documentación completa del sistema y, por consiguiente, la satisfacción del cliente.

Existen múltiples aplicaciones y enfoques que se han desarrollado en los últimos años como lo indican Sharma y Srivastava (2018). El procedimiento de AMEF permite evaluar la severidad, ocurrencia y detección de cada defecto identificado y mediante la multiplicación de estos factores, se obtiene un Número de Prioridad de Riesgo o NPR, el cual se ubica entre 1 y 1,000 e indica, como su nombre lo dice, la prioridad que se le debe dar a cada falla para eliminarla o disminuirla. De acuerdo con Stamatis (2003) la ocurrencia se define como la frecuencia de la falla, la severidad se refiere a la seriedad de los efectos de la falla y la detección es la habilidad para detectar la falla antes de que alcance al cliente. Sin embargo, de acuerdo con Rhee e Ishii (2003) esta metodología presenta algunas debilidades importantes cuando se aplica en casos reales de la industria. Por lo tanto, se han sugerido enfoques alternativos en la literatura para resolver algunas de las deficiencias del método tradicional del NPR, buscando implementar esta herramienta de un modo eficiente (Liu et al., 2013). Una de las desventajas descritas en la literatura es que, a pesar de tener un gran número de combinaciones, es posible obtener el mismo NPR para distintos defectos, lo que dificulta saber la prioridad en que se deben atender los modos de falla.

El método propuesto para la obtención de un NPR único para los defectos detectados se basa en el método de factores ponderados, que es una herramienta enfocada en la evaluación de puntos y de la cual se obtienen resultados que permiten definir una priorización. Es un procedimiento similar al que se lleva a cabo actualmente y que, combinado con los aspectos calificados en el AMEF, brindan una clasificación más precisa a los riesgos potenciales.

Para la experimentación, se desarrolló el análisis de 4 documentos utilizados en la industria automotriz, se detectaron combinaciones que resultaban en un mismo NPR para diferentes modos de falla y se aplicaron factores ponderados para estudiar el cambio que esto representa en los resultados obtenidos.

La estructura del trabajo se presenta de la siguiente forma: en primer lugar, se hace una descripción del problema, antecedentes y objetivos. En la parte de la experimentación, se verán los AMEF analizados y el método propuesto. Por último, se analizan los resultados y se desarrollan conclusiones.

Se busca un método que combine de forma óptima los factores evaluados en el AMEF para obtener un NPR único para cada modo de falla, logrando de esta forma establecer una priorización sin las dificultades que presenta la metodología actual. A continuación, se presentan los antecedentes ubicados en la literatura.

## 2. Antecedentes

El AMEF es una herramienta ampliamente utilizada en la industria, esto debido a que los AMEF de diseño y proceso son parte de la Planeación de la Calidad del Producto Avanzada (APQP) como lo señala Stamatis (2018). Los estándares para la elaboración de este documento son presentados en el manual de AMEF aprobado y sustentado por Chrysler LLC, Ford Motor Company y General Motors Corporation (2008), donde se proporcionan lineamientos generales para la preparación y ejecución de este procedimiento.

Actualmente, el AMEF se ha popularizado en todas las empresas automotrices americanas y ha empezado a ser utilizado en diversas áreas de una gran variedad de empresas a nivel mundial (Denisis et al., 2012).

Se ha comprobado que el AMEF tradicional es una de las herramientas más importantes para implementar acciones preventivas en los sistemas, diseños, procesos o servicios que evitarán la ocurrencia de fallas y errores y, por consiguiente, afectaciones al cliente. Sin embargo, el método actual para el cálculo del NPR ha sido criticado en la literatura por una variedad de razones, las cuales se muestran en Liu et al. (2013).

Este artículo se enfoca en el siguiente punto: diferentes combinaciones de Ocurrencia, Severidad y Detección pueden producir exactamente el mismo valor de NPR, pero las implicaciones en riesgo pueden ser totalmente diferentes. De acuerdo con la información presentada en el informe de Kmenta e Ishii (2000), el riesgo contiene dos elementos básicos: oportunidad y consecuencias. Es así como la probabilidad es una medida universal de la oportunidad y el costo es una medida aceptada de las consecuencias de acuerdo con Gilchrist (1993); por lo tanto, para un escenario de falla, el riesgo es calculado como el costo esperado: la multiplicación de la probabilidad por el costo de la falla como lo señala Rasmussen (1981).

En este trabajo se partirá de esta base para integrar el costo en la evaluación de los modos de falla y encontrar un NPR preciso. De esta forma, se puede atribuir el monto a los efectos de las fallas y facilitar la toma de decisiones en cuanto a los siguientes pasos.

Continuando con el análisis de Kmenta e Ishii (2000), en la Tabla 1 se observan las ventajas y desventajas del método tradicional para el AMEF y el escenario usando el costo esperado, el cual sirvió como punto de partida para la propuesta presentada en este artículo.

Tabla 1. Ventajas y desventajas del AMEF tradicional contra el costo estimado

AMEF basado en costo estimado	AMEF tradicional basado en NPR
<b>Desventajas</b>	
Costo y probabilidad son difíciles de estimar sin la información completa	Valores de O, S, D pueden variar según la interpretación
Puede rechazarse el uso de estimado para costos y probabilidad	No es válida la multiplicación de escalas ordinales
<b>Ventajas</b>	
La probabilidad y el costo tienen significados universales y definiciones constantes	Escalas 1-10 son conocidas y rápidas
Las reglas para el manejo de las probabilidades están bien establecidas	Hay una gran cantidad de software y procedimientos de AMEF que utilizan el NPR

Existen diversas fuentes de literatura que presentan un enfoque diferente para la elaboración del AMEF, mostrando que éste puede realizarse de varias maneras con el fin de presentar un resultado exacto, lo que permite una priorización más sencilla (Xiao et al., 2011). Estos enfoques pueden encontrarse también en las investigaciones de Spreafico et al. (2017) y Xu et al. (2002).

Por otro lado, es importante conocer y comprender el método tradicional para explorar y proponer nuevas metodologías. Éste se explica con detalle en el manual de referencia de Lange et al. (2001).

## 2.2 Análisis preliminar

Para este apartado, se utilizaron cuatro AMEF de dos empresas, ambas del giro automotriz, con el fin de analizar los NPR obtenidos en la evaluación de procesos de dichas empresas.

Como se puede observar, en la Figura 1 se tienen valores idénticos para el Número de Prioridad de Riesgo en diferentes modos de falla, debido a que se presentan combinaciones similares en la Severidad, Ocurrencia y Detección que resultan en un mismo NPR.

AMEF de Proceso										Número de AMEF									
Item		Responsabilidad del Proceso		Preparado por		Rev.													
Año Mod/Vehículo		Fecha Clave		Fecha (Orig)		Abr-2016		Fecha de Rev.											
Equipo Implementador																			
DESCRIPCION DEL PROCESO	SUB-PROCESO	MODO DE FALLA POTENCIAL	EFECTO DE FALLA POTENCIAL	S E V	C L A	CAUSA POTENCIAL DE FALLA	O C U	CONTROLES PREVENCIÓN	CONTROLES DETECCIÓN	D E T	N P R	ACCIONES RECOMENDADAS	AREA RESP. FECHA COMPROMISO	RESULTADO					
														ACCION TOMADA	S E V	O C U	D E T	N P R	
Linea principal	Soldadura	Falta de cordón o puntos de soldadura	Desprendimiento de piezas	8	◇	Falta de seguimiento a hoja de proceso	5	Seguimiento a hoja de Proceso por parte del operador el 100% del proceso	Checklist de inspección de soldadura	5	225								
		Porosidad (Cavidad formada por un gas atrapado durante la soldificación)	Menor resistencia de las piezas afectadas (agregar especificación de resistencia)	7	◇	Distancia entre antorcha de soldadura y material a soldar (stik-out) muy larga	5	Seguimiento a hoja de Proceso por parte del operador el 100% del proceso	Checklist de inspección de soldadura	5	175								
		Soldadura de longitud específica (Soldadura incompleta)	Menor durabilidad del chasis	7	◇	Mala aplicación del operador	5	Seguimiento a hoja de Proceso por parte del operador el 100% del proceso	Checklist de inspección de soldadura	5	175								
		Socavamiento (Es un bisel fundido en el metal base que adelgaza el material)	Menor ciclo de vida de las piezas afectadas	7	◇	Ángulo de aplicación diferente al establecido	3	Seguimiento del proceso establecido de acuerdo al flujo de trabajo	Checklist de inspección de soldadura	5	105								
		Falla de pierna y garganta (Es una falta de llenado en la cara de la soldadura o en la raíz extendida debajo de la superficie del metal base)	Menor durabilidad del cordón aplicado	7	◇	Bajo Amperaje	3	Mantenimiento / Inspección mensual por equipo de Técnicos de Soldadura	Checklist de inspección de soldadura	5	105								
		Golpe de arco (Es una discontinuidad que consiste en cualquier metal fundido localizado en la zona afectada por el calor o cualquier cambio en el perfil de la superficie de una parte a soldar o metal base resultante del Soldadura fuera de la junta (Es cuando la soldadura no fusiona la raíz de la	Mala Apariencia del material	4	m	Consumible dañado	3	Mantenimiento / Inspección de equipo antes de iniciar proceso por parte del operador	Realizar inspección de programa de soldadura a por parte del técnico en soldadura	8	96								
		Inicio de grietas en los cordones de soldadura		7	◇	Ángulo de aplicación diferente al establecido	4	Seguimiento del proceso establecido de acuerdo al flujo de trabajo	Checklist de inspección de soldadura	5	140								
	Posicionamiento	Variación Dimensional	Cliente no puede ensamblar / Afectación en la línea del cliente.	7	◇	Movimiento de piezas debido al calor de la soldadura	5	Tomar las referencias marcadas por el ODET para la sujeción de piezas (en caso de ser necesario, tomar más) y dejar entrar la pieza lo necesario dentro de la herramienta para evitar	Inspección dimensional con Brazo FARD	2	70								
		Gaps (espacios entre materiales a ser soldados)	Desempeño del producto	7	◇	Piezas mal posicionadas en herramienta de ensamble	5	Mantenimiento preventivo a herramientas de ensamble	Inspección con escala de punta	4	140								

Figura 1. AMEF con cálculo tradicional de NPR (Proceso 1 – Empresa 1)

En la Figura 2, es posible comprobar que la calificación otorgada a los aspectos a evaluar depende en gran medida de la interpretación del equipo que elabora el documento y no de algún estándar definido, ya que en la detección se da un valor diferente al mismo tipo de control, que es la inspección visual. Ésta se califica con 7 en el primer modo de falla y en el último tiene un 8. Con esto, vemos que es importante contar con un procedimiento estándar que ofrezca resultados precisos y que no presenten variación.

AMEF de Proceso										Número de AMEF								
Item		Responsabilidad del Proceso		Preparado por		Rev.												
Año Mod/Vehículo		Fecha Clave		Fecha (Orig)		Abr-2016		Fecha de Rev.										
Equipo Implementador																		
DESCRIPCION DEL PROCESO	SUB-PROCESO	MODO DE FALLA POTENCIAL	EFECTO DE FALLA POTENCIAL	S E V	C L A	CAUSA POTENCIAL DE FALLA	O C U	CONTROLES PREVENCIÓN	CONTROLES DETECCIÓN	D E T	N P R	ACCIONES RECOMENDADAS	AREA RESP. FECHA COMPROMISO	RESULTADO				
														ACCION TOMADA	S E V	O C U	D E T	N P R
Instalación de Clinch Nuts	N/A	Falta de diámetro	No se puede colocar tuerca	7	m	Falta de proceso de corte líser en pieza	3	Línea de ensamble continua que este inventario en proceso	Inspección visual	7	147							
		Falla dimensional	Tuerca fuera de posición	7	◇	Falla en proceso de ensamble de tuerca	3	Libración de pieza CMM	Inspección recibo dimensional	3	63							
		Falta de expansión de tuerca	Falla en prueba torque	6	M	Parámetros mal aplicados	3		Prueba de liberación de torque	4	72							
		Falta de nivel en aplicación de tuerca	Deformación de area	4	m	Movimiento de prensa al final de trayectoria	1		Medición de altura de prensa después de 300 piezas	8	32							

Figura 2. AMEF con cálculo tradicional de NPR (Proceso 2 – Empresa 1)

En el AMEF que se muestra en la Figura 3, podemos observar que hay fallas con un cálculo del NPR iguales y esto puede generar conflicto o desconfianza a la hora de evaluar y dar prioridades a las fallas detectadas. Esto es debido a que la elaboración del AMEF está muy relacionado con la experiencia laboral de cada una de las personas que participaron en su análisis, por lo que podemos determinar que en este documento también hace falta documentación estandarizada para tomar en cuenta a la hora de su elaboración.

Como en el caso anterior, para este análisis de fallas se tiene como control preventivo actual la inspección visual, la cual varía entre 7 y 8 el nivel de ocurrencia. De lo anterior podemos deducir que no se tiene un control visual estandarizado para la misma operación, como lo es el cepillado del “Center Body”.

Item #	Process Function	Requirements	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Class	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	O c c u r	Current Process Control Prevention	Current Process Control Detection	De t e c	RPN
10	Cepillado de Center Body	Retirar rebabas y suciedad de la zona de sello	Rebabas en sello	O ring dañado Perno Rayado Fugas menores a través de la zona de sello.	8		Omisión de operación	2	HE-C3-0102 HE-C2-0101 HE-C1-0101 AV-C3-ADAPTER-001	Inspeccion Visual	8	128
							Cepillo desgastado	2	colocar HP o AV correspondiente a cepillo	Inspeccion Visual	8	128
							Cepillo no gira	2	Mantenimiento Preventivo	Inspeccion Visual	7	112
				Problemas de ensamble en la siguiente estación, mala instalación de las guías Dificultad para instalar el perno en el centro del center body	3		Omisión de operación	2	HE-C3-0102 HE-C2-0101 HE-C1-0101 AV-C3-ADAPTER-001	Inspeccion Visual	8	48
							Cepillo desgastado	2	colocar HP o AV correspondiente a cepillo	Inspeccion Visual	8	48
							Cepillo no gira	2	Mantenimiento Preventivo	Inspeccion Visual	7	42

Figura 3. AMEF con cálculo tradicional de NPR (Proceso 1 – Empresa 2)

En la Figura 4, es notorio una situación muy similar a las anteriores, los controles aplicados son muy sencillos para fallas con un NPR muy elevado, en estas fallas en las cuales se han tenido incidencias graves como son reclamos de cliente. El cálculo es dependiente básicamente de la detectabilidad, por lo que se puede concluir en este caso que al poner controles específicos para cada una de las causas potenciales el resultado pueda ser más conciso.

Item #	Process Function	Requirements	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Class	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	O c c u r	Current Process Control Prevention	Current Process Control Detection	De t e c	RPN
10	Cepillado (Remover rebabas con cepillo giratorio)		Mal cepillado del center body	Reclamo de cliente reduce nivel de rendimiento. (Desplazamiento del oring por rebaba)	5		Desgaste del cepillo	5	Ayuda visual HP ?	Prueba de Fugas Adapter	8	200
90	Rolar PB (Doblado de ceja del chamber de modo paralelo al adapter)		Sellado incompleto	Reclamacion de cliente (Fugas por mal sellado)	9		Mal setup de carrera	3	no	Inspeccion de primera pieza	8	216
							Incorrecta interpretación de dibujo	4		Inspección de la primera pieza	8	256
							Error de ensamble	4	HP	Inspección de la primera pieza	8	256
							Omisión de operación	5		Inspección visual en operaciones subsecuentes	8	240

Figura 4. AMEF con cálculo tradicional de NPR (Proceso 2 – Empresa 2)

### 3. Experimentación

En el AMEF tradicional, existen tres variables que impactan en el resultado del NPR: Severidad, Ocurrencia y Detección. Para el método propuesto en esta investigación, se agregará una ponderación a cada uno de los modos de falla. Esto se hará en función del costo asociado a un escenario de falla dentro del proceso; es decir, se calculará el costo de la severidad de un defecto, por ejemplo, afectaciones al cliente, costos de garantía, chatarra, etc., después se consigue el costo de la ocurrencia, que indica cuánto pierde la empresa cuando sucede un modo de falla o cuando se

repara dicho defecto y, por último, el costo de la detección de una falla en el sistema. Estos números serán aplicados como factores ponderados y darán un nuevo Número de Prioridad de Riesgo, lo que hace más sencilla la tarea de priorizar las acciones a implementar.

En la Figura 5, se aplica el método explicado y se observa que no cuenta con NPR repetidos, sino que cada modo de falla tiene un número único, relacionado con los costos que representa para la empresa.

AMEF de Proceso														Número de AMEF																		
Item		Responsabilidad del Proceso										Preparado por		Rev.																		
Año Mod/Vehículo		Fecha Clave										Fecha (Orig)		Fecha de Rev.																		
Equipo Implementador												Abr-2016																				
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	SUB-PROCESO	MODDO DE FALLA POTENCIAL	EFFECTO DE FALLA POTENCIAL	S E V	P O N D	C L A	CAUSA POTENCIAL DE FALLA	O C U	P O N D	CONTROLES PREVENCIÓN	CONTROLES DETECCIÓN	D E T	N P R	ACCIONES RECOMENDADAS	AREA RESP. FECHA COM. PROMISO	ACCION TOMADA	S E V	O C U	D E T	N P R												
Linea principal	Soldadura	Falta de cordón o puntos de soldadura	Desprendimiento de piezas	9	0.8	◇	Falta de seguimiento a hoja de proceso	5	0.6	Seguimiento a hoja de Proceso por parte del operador el 100% del proceso	Checklist de inspección de soldadura	5	0.3	32																		
		Porosidad (Cavidad formada por un gas atrapado durante la solidificación)	Menor resistencia de las piezas afectadas (agregar especificación de resistencia)	7	0.8	◇	Distancia entre antorcha de soldadura y material a soldar (stick out) muy larga	5	0.138	Seguimiento a hoja de Proceso por parte del operador el 100% del proceso	Checklist de inspección de soldadura	5	0.16	3.1																		
		Soldadura de longitud específica (Soldadura incompleta)	Menor durabilidad del chasis	7	0.5	◇	Mala aplicación del operador	5	0.2	Seguimiento a hoja de Proceso por parte del operador el 100% del proceso	Checklist de inspección de soldadura	5	0.16	2.8																		
		Socavamiento (Es un bisel fundido en el metal base que adelgaza el material)	Menor ciclo de vida de las piezas afectadas	7	0.8	◇	Ángulo de aplicación diferente al establecido	3	0.138	Seguimiento del proceso establecido de acuerdo al flujo de trabajo	Checklist de inspección de soldadura	5	0.16	1.9																		
		Falta de pierna y garganta (Es una falta de llenado en la cara de la soldadura o en la raíz extendida debajo de la superficie del metal base)	Menor durabilidad del cordón aplicado	7	0.2	◇	Bajo Amperaje	3	0.3	Mantenimiento / Inspección mensual por equipo de Técnicos de Soldadura	Checklist de inspección de soldadura	5	0.16	1																		
		Golpe de arco (Es una discontinuidad que consiste en cualquier metal fundido localizado en la zona afectada por el calor o cualquier cambio en el perfil de la superficie de una parte a soldar o metal base resultante del Soldadura fuera de la junta (Es cuando la soldadura no fusiona la raíz de la	Mala Apariencia del material	4	0.8	m	Consumible dañado	3	0.14	Mantenimiento / Inspección de equipo antes de iniciar proceso por parte del operador	Realizar inspección de programa de soldadura por parte del técnico en soldadura	8	0.16	1.7																		
		Soldadura fuera de la junta (Es cuando la soldadura no fusiona la raíz de la	Inicio de grietas en los cordones de soldadura	7	0.8	◇	Ángulo de aplicación diferente al establecido	4	0.138	Seguimiento del proceso establecido de acuerdo al flujo de trabajo	Checklist de inspección de soldadura	5	0.16	2.5																		
	Posicionamiento	Variación Dimensional	Cliente no puede ensamblar / Aleatación en la línea del cliente.	7	0.9	◇	Movimiento de piezas debido al calor de la soldadura	5	0.7	Tomar las referencias marcadas por el GD&T para la sujeción de piezas (en caso de ser necesario, tomar más) y dejar entrar la pieza lo necesario dentro de la herramienta para evitar	Inspección dimensional con Brazo FARO	2	0.3	1.3																		
	Gaps (espacios entre materiales a ser soldados)	Desempeño del producto	7	0.8	◇	Piezas mal posicionadas en herramienta de ensamble	5	0.5	Mantenimiento preventivo a herramientas de ensamble	Inspección con escala de punta	4	0.3	1.7																			
Características Especiales																																
<table border="1"> <tr> <td>m</td> <td>Característica de Control Interno</td> <td>◇</td> <td>Característica Crítica Dimensional</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>Característica Significativa Interna</td> <td>◇</td> <td>Característica Crítica Soldadura</td> </tr> <tr> <td>&lt;S&gt;</td> <td>Característica de Seguridad</td> <td>&lt;S&gt; &lt;D&gt;</td> <td>Característica de Seguridad Crítica</td> </tr> </table>																					m	Característica de Control Interno	◇	Característica Crítica Dimensional	M	Característica Significativa Interna	◇	Característica Crítica Soldadura	<S>	Característica de Seguridad	<S> <D>	Característica de Seguridad Crítica
m	Característica de Control Interno	◇	Característica Crítica Dimensional																													
M	Característica Significativa Interna	◇	Característica Crítica Soldadura																													
<S>	Característica de Seguridad	<S> <D>	Característica de Seguridad Crítica																													

Figura 5. AMEF con factores ponderados de acuerdo con el costo estimado (Proceso 1 – Empresa 1)

El mismo caso sucede con el segundo AMEF (ver Figura 6), no tiene repetición de NPR, además de que presentan una gran variación entre los modos de falla, lo que facilita establecer una prioridad para atacarlos.

AMEF de Proceso														Número de AMEF																		
Item		Responsabilidad del Proceso										Preparado por		Rev.																		
Año Mod/Vehículo		Fecha Clave										Fecha (Orig)		Fecha de Rev.																		
Equipo Implementador												Abr-2016																				
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	SUB-PROCESO	MODDO DE FALLA POTENCIAL	EFFECTO DE FALLA POTENCIAL	S E V	P O N D	C L A	CAUSA POTENCIAL DE FALLA	O C U	P O N D	CONTROLES PREVENCIÓN	CONTROLES DETECCIÓN	D E T	N P R	ACCIONES RECOMENDADAS	AREA RESP. FECHA COM. PROMISO	ACCION TOMADA	S E V	O C U	D E T	N P R												
Instalación de Clinch Nuts	N/A	Falta de diámetro	No se puede colocar tuercas	7	0.8	m	Falta de proceso de controler en pieza	3	0.3	Línea de ensamble continua que evite inventario en proceso	Inspección visual	7	0.3	32																		
		Falla dimensional	Tuerca fuera de posición	7	0.8	◇	Falla en proceso de ensamble de tuerca	3	0.9	Liberación de pieza CMM	Inspección recibo dimensional	3	0.3	1.3																		
		Falla de expansión de tuerca	Falla en prueba torque	6	0.3	M	Parámetros mal aplicados	3	0.8	Medición de altura de prensa después de 300 piezas	Prueba de liberación de torque	4	0.3	1.6																		
		Falla de nivel en aplicación de tuerca	Deformación de area	4	0.5	m	Movimiento de prensa al final de trayectoria	1	0.3	Medición de altura de prensa después de 300 piezas	Inspección visual	8	0.3	4.1																		
Características Especiales																																
<table border="1"> <tr> <td>m</td> <td>Característica de Control Interno</td> <td>◇</td> <td>Característica Crítica Dimensional</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>Característica Significativa Interna</td> <td>◇</td> <td>Característica Crítica Soldadura</td> </tr> <tr> <td>&lt;S&gt;</td> <td>Característica de Seguridad</td> <td>&lt;S&gt; &lt;D&gt;</td> <td>Característica de Seguridad Crítica</td> </tr> </table>																					m	Característica de Control Interno	◇	Característica Crítica Dimensional	M	Característica Significativa Interna	◇	Característica Crítica Soldadura	<S>	Característica de Seguridad	<S> <D>	Característica de Seguridad Crítica
m	Característica de Control Interno	◇	Característica Crítica Dimensional																													
M	Característica Significativa Interna	◇	Característica Crítica Soldadura																													
<S>	Característica de Seguridad	<S> <D>	Característica de Seguridad Crítica																													

Figura 6. AMEF con factores ponderados de acuerdo con el costo estimado (Proceso 2 – Empresa 1)

Por último, en las Figuras 7 y 8 observamos también que no se tiene un mismo valor para los NPR, por lo que la introducción de los factores ponderados en este cálculo ayuda a una priorización más práctica.

PROCESS FMEA															
Item :		Gold Seal		Line:		GS		Process Responsibility :			Haldex FMEA team				
Model Years(s)/Vehicle(s) :		Brakes		FMEA # :			AMEF-A-002								
Core Team :		Sofir Talp, Eddel Olvera, Supervisores, Jose Alcazar, Soraya Zuniga, Cristian Auces.													
Item #	Process Function	Requirements	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Sev	PO ND	Class	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	O c c u r	P M O D	Current Process Control Prevention	Current Process Control Detection	D e t e c	PO ND	RPN
10	Cepillado de Center Body	Retirar rebabas y suciedad de la zona de sello	Rebabas en sello	O ring dañado Perno Pasado Fugas menores a través de la zona de sello.	8			Omisión de operación	2	0.7	HE-C3-0102 HE-C2-0101 HE-C1-0101 AV-C3-ADAPTER-001	Inspeccion Visual	8	0.2	10.752
								Cepillo desgastado	2	0.3	colocar HP o AV correspondiente a cepillo	Inspeccion Visual	8	0.2	4.608
20	Lubricacion de la zona de sello del center seal	Lubricacion de las cavidades de la zona de sello con grasa super lube	Faltante de Grasa	Daño prematuro del O ring, generando fugas menores en la zona de sello. Desprendimiento de O ring, fuga en la zona de sello.	8	1		Omision de operación	2	0.7	HE-C3-0102 HE-C2-0101 HE-C1-0101 AV-C3-ADAPTER-001	Inspeccion Visual	8	0.15	8.064
								Falta de Grasa en el tanque	2	0.8	HE-C3-0102 HE-C2-0101 HE-C1-0101 AV-C3-ADAPTER-001	Inspeccion Visual	8	0.2	12.288
								Falla de la bomba de grasa	2	0.9	Mantenimiento Preventivo	Inspeccion Visual	8	0.2	13.824

Figura 7. AMEF con factores ponderados de acuerdo con el costo estimado (Proceso 1 – Empresa 2)

Item #	Process Function	Requeriments	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Class	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	O c c u r	Current Process Control Prevention	Current Process Control Detection	D e t e c	RPN		
10	Cepillado (Remover rebabas con cepillo giratorio)		Mal cepillado del center body	Reclamo de cliente reduce nivel de rendimiento. (Desplazamiento del oring por rebaba)	5	1	Desgaste del cepillo	5	0	Ayuda visual HP ?	Prueba de Fugas Adapter	8	0	12
90	Rolar PB (Doblado de caja del chamber de modo paralelo al adapter)		Sellado incompleto	Reclamacion de cliente (Fugas por mal sellado)	9	1	Mal setup de carrera	3	0	no	Inspeccion de primera pieza	8	0	34.56
							Incorrecta interpretación de dibujo	4	0		Inspección de la primera pieza	8	0	11.52
							Error de ensamble	4	0	HP	Inspección de la primera pieza	8	0	46.08
							Omisión de operación	5	0		Inspección visual en operaciones subsecuentes	8	0	21.6

Figura 8. AMEF con factores ponderados de acuerdo con el costo estimado (Proceso 2 – Empresa 2)

Finalmente, se presenta la Figura 9., que es una tabla comparativa de los resultados originales contra los obtenidos con la metodología propuesta.

		Ejemplos de AMEF		Actual	Propuesto
DESCRIPCION DEL PROCESO	SUB-PROCESO	MODOS DE FALLA POTENCIAL	EFECTO DE FALLA POTENCIAL	N P R	N P R
Linea principal	Soldadura	Falta de cordón o puntos de soldadura	Desprendimiento de piezas	225.00	32.40
		Porosidad (Cavidad formada por un gas atrapado durante la solidificación)	Menor resistencia de las piezas afectadas (agregar especificación de resistencia)	175.00	3.09
		Soldadura de longitud específica (Soldadura incompleta)	Menor durabilidad del chasis	175.00	2.80
		Socavamiento (Es un bisel fundido en el metal base que adelgaza el material)	Menor ciclo de vida de las piezas afectadas	105.00	1.85
		Falta de pierna y garganta (Es una falta de llenado en la cara de la soldadura o en la raíz extendida debajo de la superficie del metal base)	Menor durabilidad del cordón aplicado	105.00	1.01
		Golpe de arco (Es una discontinuidad que consiste en cualquier metal fundido localizado en la zona afectada por el calor o cualquier cambio en el perfil de la superficie de una parte a soldar o metal base resultante del arco)	Mala Apariencia del material	96.00	1.72
		Soldadura fuera de la junta (Es cuando la soldadura no fusiona la raíz de la junta)	Inicio de grietas en los cordones de soldadura	140.00	2.47
	Posicionamiento	Variación Dimensional	Cliente no puede ensamblar	70.00	13.23
		Gaps (espacios entre materiales a ser soldados)	Desempeño del producto	140.00	16.80
Instalación de Clinch de Nuts	N/A	Falta de diámetro	No se puede colocar tuerca	147.00	31.75
		Falla dimensional	Tuerca fuera de posición	63.00	12.85
		Falta de expansión de tuerca	Falla en prueba torque	72.00	15.55
		Falla de nivel en aplicación de tuerca	Deformación de area	32.00	4.08
Cepillado de Center Body	N/A	Rebabas en sello	O Ring dañado	128.00	10.75
			Perno rayado	128.00	4.61
			Fugas menores a través de la zona de sello	112.00	8.06
			Problemas de ensamble en siguiente estación	48.00	12.29
			Mala instalación de las guías	48.00	13.82
Cepillado	N/A	Sellado incompleto	Mal cepillado	200.00	12.00
			Desplazamiento de O ring	216.00	34.56
			Reclamación de cliente	216.00	34.56
			Fugas por mal sellado	256.00	11.52
			Problemas de ensamble en siguiente estación	256.00	46.08

Figura 9. Tabla comparativa: AMEF tradicional contra AMEF con factores ponderados

En esta tabla se resume la información arrojada con la experimentación, la cual indica que, al incluir los costos asociados con la severidad, ocurrencia y detección, se puede obtener mayor variedad en los resultados del NPR, Esto, a su vez, permite identificar los modos de falla que representan un mayor impacto en la economía de la empresa y que, por esta razón, deberán ser atendidos con prioridad.

#### 4. Conclusiones

Esta investigación nos permitió conocer más a fondo el funcionamiento de un análisis de fallas en los procesos de producción, nos dimos cuenta de que, aunque resulta muy útil para clasificar las fallas detectadas y atacarlas, encontrar un enfoque a la prevención de estas y reducir su recurrencia, el procedimiento tiene deficiencias que reducen el margen de confiabilidad en la práctica. Dando seguimiento a dichas deficiencias, nos dimos a la tarea de indagar métodos para hacer más eficiente y confiable el proceso de análisis de fallas mediante esta herramienta. Los resultados de la investigación nos dieron a conocer que existen distintas maneras de hacer más robusto el AMEF, como fue el caso que se mostró al agregar otro factor de ponderación en cada uno de los resultados de la severidad, ocurrencia y detección. En este caso, mostramos los mismos indicadores con un factor ponderado dirigido al costo que interviene, lo cual nos permitió jerarquizar los NPR de cada proceso y tarea descritas en el formato. En conclusión, se determina que el análisis de fallas mediante la aplicación de la metodología AMEF resulta ser útil para procesos reducidos, en cambio para procesos más avanzados y de mayor número de operaciones es conveniente agregar factores que nos ayuden a despejar y dar prioridades más certeras a las fallas con la finalidad de atacarlas y realizar un plan de control más específico.

## 5. Agradecimientos

Agradecemos a los estudiantes Monserrat González Treviño y Juan Carlos Ramos Ayala por su colaboración para llevar a cabo este estudio.

## 6. Referencias

- Chrysler LLC, Ford Motor Company, & General Motors Corporation. (2008). *Potential Failure Mode and Effects Analysis FMEA Reference Manual (4<sup>th</sup> ed.)* AIAG.
- Denisis, A., Millán G., Millán, F., Moya, G., Soler, A., Colella, V. (2012). Detección y análisis de fallas. Análisis de modos y efectos de fallas. *Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre*.
- Gilchrist W. (1993). Modeling failure modes and effects. *International Journal of Quality and Reliability Management*, pp .1-23.
- Kmenta, S., & Ishii, K. (2000). Scenario-Based FMEA: A Life Cycle Cost Perspective. *Volume 5: 14th Reliability, Stress Analysis, and Failure Prevention Conference; 7th Flexible Assembly Conference*. <https://doi.org/10.1115/detc2000/rsafp-14478>
- Lange, K., Leggett, S., & Baker, B. (2001). *Potential failure mode and effects analysis (FMEA) reference manual*. AIAG, Southfield, Michigan.
- Liu, H. C., Liu, L., & Liu, N. (2013). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications*, 40(2), 828–838. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.08.010>
- McDermott, R. E., Mikulak, R. J., & Beauregard, M. R. (2009). *FMEA*. New York: Taylor & Francis Group.
- Rasmussen, N. C. (1981). The application of probabilistic risk assessment techniques to energy technologies. *Annual Review of Energy*, 6(1), 123-138.
- Rhee, S. J., & Ishii, K. (2003). Using cost based FMEA to enhance reliability and serviceability. *Advanced engineering informatics*, 17(3-4), 179-188.
- Sharma, K. D., & Srivastava, S. (2018). Failure mode and effect analysis (FMEA) implementation: a literature review. *Journal of Advanced Research Aeronautical Space Science*, 5, 1-17.
- Spreafico, C., Russo, D., & Rizzi, C. (2017). A state-of-the-art review of FMEA/FMECA including patents. *Computer Science Review*, 25, 19-28.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution (2.<sup>a</sup> ed.)*. American Society for Quality ASQ.
- Stamatis, D. H. (2018). *Advanced product quality planning: the road to success*. CRC Press.
- Xiao, N., Huang, H. Z., Li, Y., He, L., & Jin, T. (2011). Multiple failure modes analysis and weighted risk priority number evaluation in FMEA. *Engineering Failure Analysis*, 18(4), 1162-1170.
- Xu, K., Tang, L. C., Xie, M., Ho, S. L., & Zhu, M. L. (2002). Fuzzy assessment of FMEA for engine systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 75(1), 17-29.