


Aplicación AMEF con MOORA para la evaluación de un caso

FMEA application with MOORA for the evaluation of a case

^aLuis Pérez-Domínguez, ^bMiguel Ángel Cruz-Hernández,^c David Luviano-Cruz,^d Luis Alberto Rodríguez-Picón

 ^a Doctor en Ciencias de Ingeniería Luis.dominguez@uacj.mx, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad de Juárez, México

 ^b Estudiante en Ingeniería Industrial y Sistemas, A 1148650@alumnos.uacj.mx, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad de Juárez, México

 ^c Doctor en Ciencias, david.luviano@uacj.mx, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad de Juárez, México

 ^d Doctor en Ciencias de Ingeniería, luis.picon@uacj.mx, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad de Juárez, México

Recibido: Julio 20 de 2020 **Aceptado:** Diciembre 22 de 2020

Forma de citar: L. Pérez-Domínguez, M.A. Cruz-Hernández, D. Luviano Cruz, L.A. Rodríguez-Picón "Aplicación AMEF con MOORA para la evaluación de un caso", *Mundo Fesc*, vol. 11, no. 21, pp. 27-36, 2021

Resumen

El análisis de modo y efecto de falla (AMEF) es un método para identificar y evaluar los riesgos potenciales empleando un número de prioridad de riesgo RPN para evaluar las influencias de las fallas y así poder lanzar una acción recomendada. El RPN es el resultado de la combinación de la severidad (S), ocurrencia (O) y detección de la falla (D), en una escala numérica del 1 al 10. Sin embargo, el uso del RPN suele tener defectos al ser inconsistente al momento de suponer las igualdades de las importancias de S, O, D. Por lo tanto, en esta investigación tiene como objetivo resolver las limitaciones que representa el método AMEF con la integración el método MOORA, para evaluar nos apoyaremos con el proceso de jerarquía analítica difusa (AHP), en el que AHP se utilizara para modificar los valores de RPN, se aplica el método MOORA para examinar las diferentes alternativas de soluciones que tenemos. Finalmente realizaremos una aplicación a un proceso para verificar la efectividad de nuestro método híbrido difuso en AMEF.

Palabras clave: FMEA, MOORA, AHP, RPN

Autor para correspondencia:

*Correo electrónico: Luis.dominguez@uacj.mx



Abstract

Failure mode and effect analysis (FMEA) is a method to identify and evaluate potential risks using RPN risk priority number to assess the influences of failures and thus be able to launch a recommended action. The RPN is the result of the combination of the severity (S), occurrence (O) and detection of the failure (D), on a numerical scale from 1 to 10. However, the use of the RPN tends to have defects as it is inconsistent when assuming the equalities of the importance's of S, O, D. Therefore, this research aims to resolve the limitations represented by the FMEA method with the integration of the MOORA method, to evaluate we will use the fuzzy analytical hierarchy process (AHP), in which AHP is used to modify the values of RPN, the MOORA method is applied to examine the different alternative solutions that we have. Finally, we will apply to a process to verify the effectiveness of our fuzzy hybrid method in FMEA.

Keywords: FMEA, MOORA, AHP, RPN

Introducción

Por alrededor de 10 años, se han llevado a la práctica varias metodologías para realizar un análisis de riesgo potencial en las plantas industriales [1]. Los riesgos pueden medirse mediante varios métodos: cualitativo, cuantitativo y semicuantitativo [2]. Para entender su mecanismo debemos primero comprender los datos de entrada, las metodologías y los datos salidas para poder así clasificarlos en varias clases. El análisis de modo y efecto de falla (AMEF) puede ser clasificado como un método semicuantitativo. Donde es posible hacer una hibridación utilizando los métodos AMEF y MOORA con la ayuda de la valoración de los expertos moldeables con la escala AHP.

El presente trabajo aborda la aplicación de AMEF y MOORA para la resolución de problemas potenciales y sus posibles fallas con el fin de priorizar cada alternativa y lanzar acciones recomendadas. A continuación, el proyecto aborda los campos de aplicación y la principal limitación de esta metodología. Donde se discute la jerarquización y el tipo de escala a utilizar. Este presente trabajo aborda las limitaciones del uso de la valoración RPN (Severidad, ocurrencia y detección) donde deben ser comprendidas en el método AMEF ya que puede presentar un comportamiento equivocado al no abordar el problema real [3].

El AMEF es una metodología analítica utilizada para asegurar que problemas potenciales se han considerado y abordado a través del proceso de desarrollo del producto y proceso.

Las metodologías para resolver problemas de ingeniería son de alta relevancia para abordar problemas, porque permite documentar de manera secuenciada la solución de un problema. Por tanto, es primordial que dichas metodologías proveen de una solución robusta. En este sentido, el presente trabajo se considera usar el método AMEF en conjunto con el método MOORA, el AMEF es un método para identificar problemas potenciales, donde observamos que no es consistente a la hora de obtener el RPN, el RPN representa el número de índice de prioridad el cual sirve para identificar los modos de falla, se obtiene con la multiplicación de la ocurrencia, severidad y detección. Y desafortunadamente, tenemos inconsistencia al obtener ese índice de modo de falla, que estamos atacando no es el más apropiado ya que tal vez estamos resolviendo un problema un modo de falla que no tenía prioridad y todo a raíz de que el RPN era inconsistente. Este tipo de conducta evita atacar el problema real.

Los riesgos se pueden medir de diferentes métodos: cualitativo, cuantitativo y semicuantitativo. Donde los métodos que son

cualitativos y descriptivos tienden a producir una evaluación de riesgo más subjetiva. Un método de evaluación cuantitativo puede eliminar información y requiere mucho tiempo y es complicado describir los riesgos en una organización. Y un método semicuantitativo combina los dos métodos cualitativo y cuantitativo. Esto significa que con ayuda del método MOORA evaluaremos cada uno de los factores de influencia ya que contempla propiedades cualitativas y cuantitativas a evaluar, que inicia con una matriz de respuesta, el cual contiene n filas la cual indica las alternativas y T+Z columnas que representan los diferentes atributos que se están evaluando (T atributos cuantitativos y Z cualitativos).

El problema que aborda el presente proyecto tiene que ver con el mapeo de las valoraciones de los expertos para determinar el ranking de los modos de fallas.

Desde 1997 se han estado trabajando con la herramienta AMEF hasta la fecha (Figura 1).

| Año | Propuesto por | Técnica utilizada | Aplicado en |
|------|-----------------------|--|---|
| 2012 | Ekmekcioglu & Kutlu | Fuzzy-AHP e Fuzzy-TOPSIS | Proceso de ensamblaje de la industria automotriz |
| 2012 | Kutlu & Ekmekcioglu | Fuzzy-AHP e Fuzzy-TOPSIS | Procesos de fabricación de la industria automotriz |
| 2013 | Chang et al. | GRA (Grey Relational Analysis) e DEMATEL (Decision-making and Trial Evaluation Laboratory). | Proceso de fabricación y ensamblaje de componentes electrónicos |
| 2013 | Maleki & Saadat | AHP e REMBRANDT System | Proceso de fabricación de Bombas Hidráulicas |
| 2014 | Mahmoodi & Mirzazadeh | Fuzzy-TODIM (Iterative Multi-Criteria Decision Making) e FTF (Fuzzy Time Function) | Proceso de una industria automotor |
| 2015 | Bozdag et al. | Interval Type 2 Fuzzy Sets | Proceso de ensamblaje |
| 2015 | Haq et al. | FST (Fuzzy Set Theory) | Línea de montaje de Ford Motor Company |
| 2017 | Ahmadi et al. | TOPSIS | Proceso de fabricación de acero |
| 2017 | Certa et al. | ELECTRE TRI (Elimination and Choice Expressing Reality) | Procesos de una industria lechera |
| 2017 | Chen | Fuzzy-ISM (Interpretive Structural Model), DEMATEL e ANP (Analytic Network Process) | Fabricación de notebooks |
| 2017 | Hajimolaali et al. | Fuzzy-TOPSIS | Fabricación de la industria farmacéutica |
| 2017 | Zhao et al. | IVIFS (Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Set) e MULTIMOORA (Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis) | Proceso de fabricación de acero |
| 2018 | Banduka et al. | FST | Proceso de fabricación de una industria automotriz |

Figura 1. Modelos de decisión para el análisis de riesgo AMEF



Figura 2. Publicaciones AMEF en ScienceDirect.

Identificar y proponer un índice de prioridad RPN objetivo como base para lanzar una acción recomendada utilizando las metodologías AMEF y MOORA. Desarrollar la versión de AMEF y MOORA para obtener el valor del RPN.

Metodología AMEF

El análisis del modo y efecto de falla es una metodología ampliamente utilizada para identificar y asegurar los problemas potenciales y sus efectos en el producto-proceso. Se tienen dos tipos de AMEF: diseño y proceso. En el siguiente documento se aplicará un AMEF de proceso debido a las necesidades del problema propuesto. Ventajas de utilizar la metodología:

- Previene y controla las posibles fallas potenciales en el producto-proceso.
- Las acciones que resulten pueden reducir o eliminar la probabilidad de ocurrencia.
- Reduce la crisis de cambios tardíos.
- Minimiza el costo de herramental y equipo de manufactura.
- Identifica la severidad de efectos potenciales.
- Aumenta la confiabilidad del producto-proceso.

Para lograr un mayor impacto, es recomendable que el AMEF se realice antes de la implementación de un producto o proceso en el cual exista un potencial modo de falla. El AMEF es un documento vivo que evoluciona a lo largo de cada etapa del proceso de desarrollo del diseño y la manufactura y debe ser actualizado periódicamente a lo largo de la vida del producto-proceso.

Existen 3 casos básicos en el cual el proceso

AMEF es implementado:

- Nuevos diseños, tecnologías o la implementación de nuevos procesos.
- Modificaciones a diseños o procesos existentes.
- La utilización de un diseño o proceso existente en un entorno, ubicación, uso o contorno de uso nuevo.

Metodología MOORA

Proponen un nuevo método W. K. Brauers and E. K. Zavadskas [21], donde este método se refiere a la una matriz de alternativas de soluciones a los objetivos propuestos. Donde con la ayuda de otro método bien establecido lo utilizaremos como punto de referencia para hacer las comparaciones. Donde el método MOORA se define a través de pasos. Paso 1. El método inicia con una matriz de toma de decisiones llamada β . De este modo β recoge n filas que representan las alternativas $A^1 \dots A^n$ a evaluar T+Z columnas que caracterizan los diferentes atributos en la valoración (T atributos cuantitativos y Z atributos cualitativos). En este modo (1). Así la matriz de toma de decisión se puede mostrar de la siguiente manera.

$$\beta = [VO, VST] = \begin{matrix} A^1 \\ A^2 \\ \vdots \\ A^n \end{matrix} \begin{matrix} \left| \begin{matrix} X_1^1 & \dots & X_T^1 & X_{T+1}^1 & \dots & X_{T+Z}^1 \end{matrix} \right. \\ \left| \begin{matrix} X_1^2 & \dots & X_T^2 & X_{T+1}^2 & \dots & X_{T+Z}^2 \end{matrix} \right. \\ \left| \begin{matrix} \vdots & & \vdots & & & \vdots \end{matrix} \right. \\ \left| \begin{matrix} X_1^n & \dots & X_T^n & X_{T+1}^n & \dots & X_{T+Z}^n \end{matrix} \right. \end{matrix} \quad (1)$$

Donde:

A^i denota las alternativas, dirigido $k=1 \dots n$, y x_k^l representan las alternativas k con referencia al criterio l.

Paso 2. Es posible que los atributos a evaluar se encuentren expresados en diferentes

escalas de medición o unidades de medición. Se continua con la normalización de cada uno de estos con β matriz. A continuación, la norma euclidiana x_l para el criterio se obtiene utilizando.

$$|\beta_l| = \sqrt{\sum_{K=1}^n X_l^2} \quad (2)$$

Por lo tanto, el proceso de normalización de cada entrada en el β se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$\bar{\beta} X_{kl} = \frac{X_{kl}}{|\beta_l|} \quad (3)$$

Paso 3. Cree la matriz equilibrada de toma de decisiones normalizada llamada \check{e}_{kl} . Siguiendo (4) las diferentes preferencias de criterios, las evaluaciones \check{e}_{kl} se calculan utilizando.

$$\check{e}_{kl} = w_i \cdot N x_{kl} \quad (4)$$

Paso 4. Analizar las asignaciones globales de los criterios de costos y beneficios para cada uno A_i . En este modo, las evaluaciones globales de los beneficios de criterios N_{xi} se estiman como la suma de ponderaciones normalizadas por.

$$N_{xi} = \check{e}_{kl} | \in \delta^{max} \quad (5)$$

donde δ^{max} esta relacionado con N_{xi} .

Asimismo, las evaluaciones globales de criterios N_{xj} de costos se calculan mediante

$$N_{xj} = \check{e}_{kl} | \in \delta^{min} \quad (6)$$

donde δ^{max} esta relacionado con N_{xj} .

Paso 5. Establezca el valor de la contribución N_{yi} , N_{yj} se obtiene a través (7) originado por (4).

$$N_{yi} = \sum_{l=1}^g N x_i - \sum_{l=g+1}^m N x_j \quad (7)$$

Donde N_{yi} representa la contribución de cada alternativa $k=1\dots n$, $i=1\dots g$ son el máximo criterio, y $l=g+1$, $g+2\dots m$ son el criterio más bajo.

Metodología AHP

El método analítico jerárquico (Analytic Hierarchy Process o AHP), propuesto por Saaty [17]. Este método es utilizado como herramienta para el análisis de preferencias y valoración en problemas en la toma de decisiones complejas, donde se resuelve mediante la jerarquización de los problemas planteados. Donde las etapas generales de AHP propuestas por Saaty son.

Etapas 1. Modelización. En este punto se elabora una estructura jerárquica donde son considerados todos los aspectos importantes en la resolución del problema atacar.

Etapas 2. Valorización. En la segunda etapa se incorporan las prioridades, gustos y deseos de los responsables a través de las matrices de comparación por pares.

Etapas 3. Priorización y síntesis. Esta etapa provee un numero finito de prioridades a considerar para la resolución del problema. Donde son consideradas tres tipos de prioridades (locales, globales o finales).

Etapas 4. Análisis de sensibilidad. En esta etapa se analiza el grado de sensibilidad de los resultados. Mediante la repetición del proceso.

La metodología AHP utiliza simples comparaciones para determinar los pesos y evaluarlos. Donde el analista puede de forma más fácil elegir el valor de comparación en términos cualitativos, donde los juicios verbales son trasladados a una escala de puntuación. La escala sugerida por Saaty -ver Tabla III.

Metodología

El presente trabajo se basó en el modelo FMEA. El FMEA es un documento de prevención, y nos ayuda a identificar los modos de falla potenciales, determina la gravedad, identifica la probabilidad de ocurrencia, minimiza la severidad de falla con un número de prioridad de riesgo RPN calculado. La metodología a seguir se detalla en el siguiente diagrama de flujo-ver figura 6.

| Numero de Actividad | Estación | Modo de falla potencial | Efecto(s) Potencial(es) | Severidad | Causa(s) Potencia(es) de las fallas | Ocurrencia | Controles de detección | Detección | RPN | Acciones Recomendadas | Responsabilidades y fecha de entrega | Resultado de las acciones | | | | | | |
|---------------------|----------|-------------------------|-------------------------|-----------|-------------------------------------|------------|------------------------|-----------|-----|-----------------------|--------------------------------------|---------------------------|-----------|------------|-----------|-----|--|--|
| | | | | | | | | | | | | Acciones Tomadas | Severidad | Ocurrencia | Detección | RPN | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 3. Formato del AMEF

| Escala numérica | Definición | Explicación |
|-----------------|---|--|
| 1 | Igual importancia. | Dos actividades contribuyen por igual al objetivo. |
| 3 | Importancia moderada de un elemento sobre otro. | La experiencia y el juicio están a favor de un elemento sobre otro. |
| 5 | Importancia fuerte de un elemento sobre otro. | Un elemento es fuertemente favorecido. |
| 7 | Importancia muy fuerte de un elemento sobre otro. | Un elemento es dominante. |
| 9 | Extrema importancia de un elemento sobre otro. | Un elemento es favorecido por lo menos un orden de magnitud de diferencia. |
| 2,4,6,8 | Valores intermedios entre dos escalas. | Se usan como compromiso entre dos juicios. |
| Incrementos 0,1 | Valores intermedios en incrementos. | Utilización para graduación más fina de juicios. |

Figura 4. Escala de Saaty

Tabla I. Cuadro de valoración AMEF

| S (Severidad) | | O (Evaluación de Ocurrencia) | | D (Probabilidad de detección) | |
|--|------------|--|------------|---|------------|
| Cuan severo es el efecto de este tipo de defecto en el respectivo cliente | | Cuan probable es el tipo de defecto examinado ocurre en el cliente | | Cuan probable es que el defecto llegue al cliente | |
| Criterio | Puntuación | Criterio | Puntuación | Criterio | Puntuación |
| <p>Efecto de falla muy grave</p> <ul style="list-style-type: none"> -La falla puede provocar situaciones de peligro (lesiones). -No conformidades con las normas legales -Descomportura total del producto con posterior daño. | 10 | <p>Falla muy alta</p> <p>Fallos ocurren a gran escala (>100,000 ppm o > 10%)</p> | 10 | <p>Falla será pasada al cliente sin ser detectada</p> <p>Descubrimiento de la falla es improbable. La fiabilidad de la detección no puede ser probada, procedimientos de prueba inciertos.</p> | 10 |
| <p>Efecto de falla alto</p> <ul style="list-style-type: none"> -Operatividad restringida del producto o partes -Gran molestia del cliente -Retrabajos o empleo de servicio. | 8 | <p>Falla alta</p> <p>Fallos ocurren muy frecuentemente (<100,000 ppm o < 10%)</p> | 8 | <p>Detección mínima</p> <p>Descubrimiento de la falla es menos probable. La fiabilidad de la detección probablemente no puede ser probada.</p> | 8 |
| <p>Efecto de falla moderado</p> <ul style="list-style-type: none"> -Leve deterioro del producto (perceptible por el cliente). -Descontento del cliente. -Servicio al cliente. | 5 | <p>Falla moderada</p> <p>Fallos ocurren ocasionalmente (<10,000 ppm o < 1%)</p> | 5 | <p>Detección baja</p> <p>Falla es descubierta principalmente. Fiabilidad de la detección puede ser probada, procedimientos de prueba son relativamente sencillos.</p> | 5 |
| <p>Efecto de falla bajo</p> <ul style="list-style-type: none"> -Ligero deterioro óptico. -Ligera molestia del cliente. -Costos bajos. | 3 | <p>Falla baja</p> <p>Fallos ocurren raramente (<1,000 ppm o < 0.1%)</p> | 3 | <p>Detección alta</p> <p>Falla es descubierta con alta probabilidad. Confirmado por varios métodos independientes.</p> | 3 |
| <p>Efecto de falla no perceptible</p> <ul style="list-style-type: none"> -Deterioro de la función solo reconocible por el técnico. -Costos mínimos. -Deterioro ópticamente no percibido. | 1 | <p>No hay acontecimientos conocidos sobre productos similares</p> <p>Aproximadamente no ocurren fallos.</p> | 1 | <p>Detección muy alta</p> <p>Definitivamente la falla es descubierta.</p> | 1 |

Fuente: Bosch Group. Problem solving

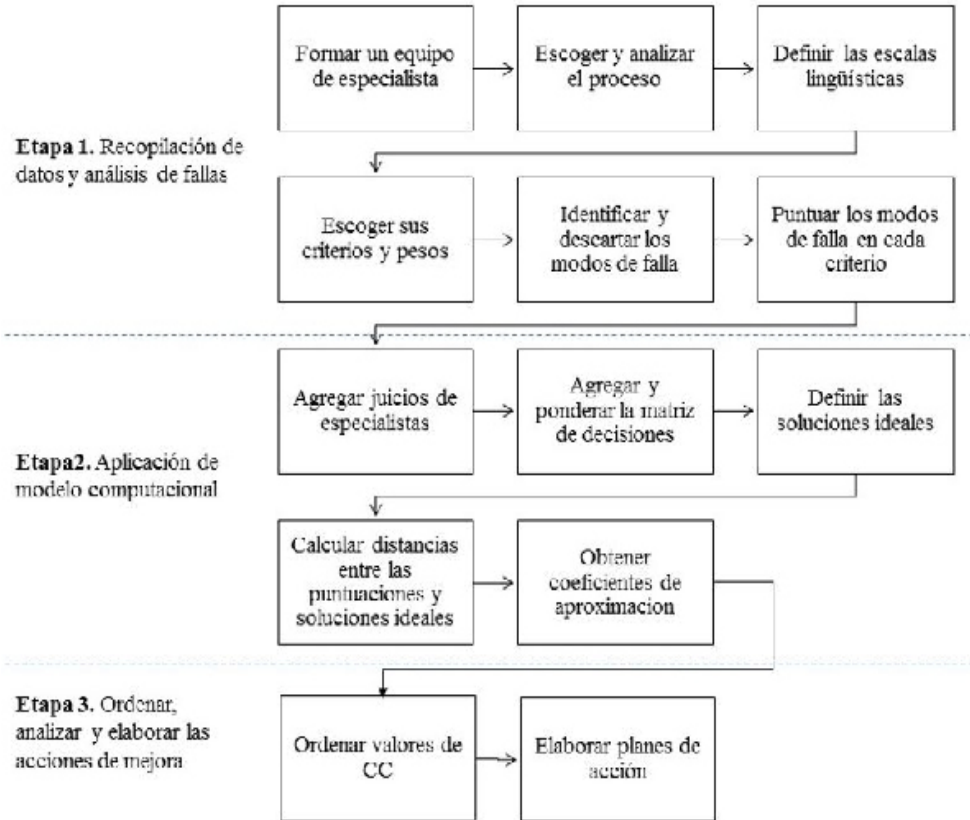


Figura 5. Modelo para apoyar el análisis y priorización de riesgos en procesos.
 Fuente: (Um modelo baseado em FMEA e Fuzzy-TOPSIS para priorização de riscos em processos industriais,2020, p13).

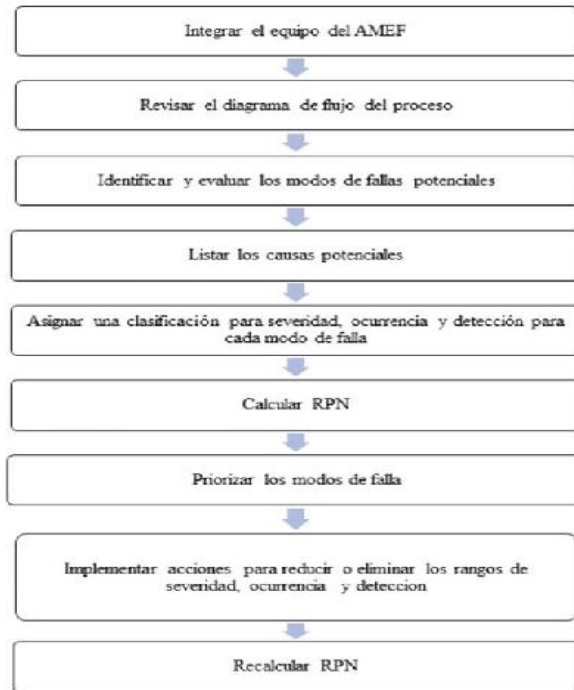


Figura 6. Diagrama de flujo de metodología.

Resultados y análisis

Se buscará reducir la tasa de fallo en el siguiente problema propuesto.

Es necesario hacer un análisis que podamos implementar inmediatamente y que nos permita asegurar e identificar los problemas potenciales. Con la información que tenemos del proceso, aremos la realización del análisis AMEF de proceso para poder así obtener los cambios necesarios y los posibles fallos potenciales que pueden afectar nuestro proceso -ver tabla VI(Anexo 1).

Donde podemos observar que cada actividad tiene ya calculada sus ponderaciones correspondientes.

Posteriormente con la implementación del análisis MOORA, procederemos a realizar el proceso de normalización con ello obtendremos la matriz normalizada-ver tabla II.

A continuación, ya obtenida la matriz normalizada, procederemos a obtener la matriz equilibrada, asignándoles los pesos correspondientes-ver tabla III.

Analizaremos cada una de las asignaciones, para poder así sacar los máximos N_{xi} y mínimos N_{xj} de cada asignación-ver tabla IV. Estableceremos el valor de N_{yi} donde representa cada una de nuestras alternativas, que la obtendremos con la resta del máximo N_{xi} y mínimo N_{xj} -ver tabla IV.

Por último, el RPN será selecciona a través del ranking-ver tabla IV.

Tabla II. Matriz normalizada

| Matriz Normalizada | | | | | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Item | S AHP | O AHP | D AHP | Item | S AHP | O AHP | D AHP |
| MF 1 | 0.025 | 0.052 | 0.008 | MF 20 | 0.033 | 0.022 | 0.033 |
| MF-2 | 0.023 | 0.045 | 0.010 | MF-21 | 0.021 | 0.030 | 0.033 |
| MF 3 | 0.025 | 0.033 | 0.031 | MF 22 | 0.021 | 0.052 | 0.029 |
| MF-4 | 0.023 | 0.037 | 0.027 | MF-23 | 0.017 | 0.037 | 0.031 |
| MF-5 | 0.033 | 0.022 | 0.033 | MF-24 | 0.031 | 0.037 | 0.033 |
| MF-6 | 0.031 | 0.037 | 0.033 | MF-25 | 0.029 | 0.015 | 0.033 |
| MF-7 | 0.027 | 0.030 | 0.013 | MF-26 | 0.031 | 0.022 | 0.033 |
| MF-8 | 0.023 | 0.030 | 0.013 | MF-27 | 0.033 | 0.019 | 0.029 |
| MF-9 | 0.033 | 0.022 | 0.027 | MF-28 | 0.033 | 0.030 | 0.033 |
| MF 10 | 0.033 | 0.041 | 0.031 | MF 29 | 0.025 | 0.015 | 0.021 |
| MF-11 | 0.033 | 0.030 | 0.033 | MF-30 | 0.025 | 0.022 | 0.025 |
| MF-12 | 0.025 | 0.022 | 0.021 | MF-31 | 0.021 | 0.022 | 0.021 |
| MF-13 | 0.033 | 0.030 | 0.033 | MF-32 | 0.025 | 0.015 | 0.025 |
| MF-14 | 0.029 | 0.022 | 0.033 | MF-33 | 0.021 | 0.022 | 0.021 |
| MF-15 | 0.033 | 0.045 | 0.033 | MF-34 | 0.031 | 0.026 | 0.033 |
| MF-16 | 0.029 | 0.022 | 0.025 | MF-35 | 0.025 | 0.019 | 0.031 |
| MF 17 | 0.021 | 0.015 | 0.031 | MF 36 | 0.027 | 0.015 | 0.025 |
| MF-18 | 0.013 | 0.015 | 0.021 | MF-37 | 0.023 | 0.015 | 0.017 |
| MF 19 | 0.033 | 0.015 | 0.031 | | | | |

Tabla III. Matriz equilibrada

| Matriz Equilibrada | | | | | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Item | W1 | W2 | W3 | Item | W1 | W2 | W3 |
| Pesos | 0.45 | 0.25 | 0.3 | Pesos | 0.45 | 0.25 | 0.3 |
| MF-1 | 0.011 | 0.013 | 0.005 | MF-20 | 0.015 | 0.006 | 0.010 |
| MF-2 | 0.010 | 0.011 | 0.005 | MF-21 | 0.009 | 0.007 | 0.010 |
| MF-3 | 0.011 | 0.008 | 0.009 | MF-22 | 0.009 | 0.015 | 0.008 |
| MF-4 | 0.010 | 0.009 | 0.008 | MF-23 | 0.008 | 0.009 | 0.008 |
| MF-5 | 0.012 | 0.006 | 0.010 | MF-24 | 0.014 | 0.009 | 0.010 |
| MF-6 | 0.014 | 0.009 | 0.010 | MF-25 | 0.013 | 0.004 | 0.010 |
| MF-7 | 0.012 | 0.007 | 0.004 | MF-26 | 0.014 | 0.006 | 0.010 |
| MF-8 | 0.010 | 0.007 | 0.004 | MF-27 | 0.015 | 0.005 | 0.008 |
| MF-9 | 0.012 | 0.006 | 0.008 | MF-28 | 0.015 | 0.007 | 0.010 |
| MF 10 | 0.015 | 0.010 | 0.009 | MF 29 | 0.011 | 0.004 | 0.006 |
| MF 11 | 0.015 | 0.007 | 0.010 | MF 30 | 0.011 | 0.006 | 0.008 |
| MF 12 | 0.011 | 0.006 | 0.006 | MF 31 | 0.009 | 0.006 | 0.006 |
| MF 13 | 0.015 | 0.007 | 0.010 | MF 32 | 0.011 | 0.004 | 0.008 |
| MF 14 | 0.013 | 0.006 | 0.010 | MF 33 | 0.009 | 0.006 | 0.006 |
| MF 15 | 0.015 | 0.011 | 0.010 | MF 34 | 0.014 | 0.007 | 0.010 |
| MF 16 | 0.013 | 0.006 | 0.008 | MF 35 | 0.011 | 0.005 | 0.009 |
| MF 17 | 0.009 | 0.004 | 0.009 | MF 36 | 0.012 | 0.004 | 0.008 |
| MF 18 | 0.006 | 0.004 | 0.006 | MF 37 | 0.010 | 0.004 | 0.005 |
| MF 19 | 0.015 | 0.004 | 0.009 | | | | |

Tabla IV. Índice de contribución

| Índice de contribución | | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|
| Item | N _{x1} | N _{xj} | N _{yt} | Ranking | Item | N _{x1} | N _{xj} | N _{yt} | Ranking |
| MF-1 | 0.013 | 0.003 | 0.011 | 7 | MF-20 | 0.015 | 0.006 | 0.005 | 4 |
| MF-2 | 0.011 | 0.003 | 0.008 | 11 | MF-21 | 0.010 | 0.007 | 0.003 | 34 |
| MF-3 | 0.011 | 0.008 | 0.003 | 33 | MF-22 | 0.013 | 0.009 | 0.004 | 30 |
| MF-4 | 0.010 | 0.008 | 0.002 | 36 | MF-23 | 0.009 | 0.008 | 0.002 | 37 |
| MF-5 | 0.015 | 0.006 | 0.009 | 4 | MF-24 | 0.014 | 0.009 | 0.005 | 28 |
| MF-6 | 0.014 | 0.009 | 0.003 | 28 | MF-25 | 0.013 | 0.004 | 0.009 | 7 |
| MF-7 | 0.012 | 0.004 | 0.008 | 10 | MF-26 | 0.014 | 0.006 | 0.008 | 8 |
| MF-8 | 0.010 | 0.004 | 0.007 | 22 | MF-27 | 0.015 | 0.005 | 0.010 | 3 |
| MF-9 | 0.015 | 0.006 | 0.009 | 4 | MF-28 | 0.015 | 0.007 | 0.009 | 12 |
| MF-10 | 0.015 | 0.009 | 0.006 | 26 | MF-29 | 0.011 | 0.004 | 0.008 | 18 |
| MF-11 | 0.015 | 0.007 | 0.008 | 12 | MF-30 | 0.011 | 0.006 | 0.006 | 24 |
| MF-12 | 0.011 | 0.006 | 0.006 | 24 | MF-31 | 0.009 | 0.006 | 0.004 | 31 |
| MF-13 | 0.015 | 0.007 | 0.008 | 12 | MF-32 | 0.011 | 0.004 | 0.008 | 18 |
| MF-14 | 0.013 | 0.006 | 0.008 | 16 | MF-33 | 0.009 | 0.006 | 0.004 | 31 |
| MF-15 | 0.015 | 0.010 | 0.005 | 27 | MF-34 | 0.014 | 0.007 | 0.008 | 15 |
| MF-16 | 0.013 | 0.006 | 0.008 | 16 | MF-35 | 0.011 | 0.005 | 0.007 | 20 |
| MF-17 | 0.009 | 0.004 | 0.006 | 23 | MF-36 | 0.012 | 0.004 | 0.008 | 9 |
| MF-18 | 0.006 | 0.004 | 0.003 | 35 | MF-37 | 0.010 | 0.004 | 0.009 | 21 |
| MF-19 | 0.015 | 0.004 | 0.011 | 1 | | | | | |

Conclusiones

Este estudio presenta un nuevo enfoque para respaldar un RPN objetivo p como base para respaldar una acción recomendada. El modelo presentado es una hibridación del método AMEF y MOORA. Donde se aplicó el modelo en el área de proceso del área de moldeo. Los resultados del modelo no ayudaron a identificar las causas potenciales de las fallas para una reacción más efectiva. Se puede concluir que la debilidad del AMEF se puede minimizar aplicando una hibridación de AMEF-MOORA.

Referencias

[1] J. Tixier, G. Desserre, O. Salvi y D. Gaston, "Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 15, no. 4, pp. 291-303, 2002

[2] A.P. Subriadi y N.F. Najwa, "The

consistency analysis of failure mode and effect analysis (FMEA) in information technology risk assessment", *Heliyon*, vol. 6, no.1, 2020

[3] Chrysler LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation, *Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales*, cuarta edición 2008

[4] M. Ekmekçioğlu y A.C. Kutlu, "A fuzzy hybrid approach for fuzzy process FMEA: An application to a spindle manufacturing process", *International Journal of Computational Intelligence Systems*, vol. 5, no. 4, pp 611-626, 2012

[5] A.C. Kutlu y M. Ekmekçioğlu, " Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP", *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no.1, pp. 61-67, 2012

[6] K. Chang, Y. Chang y I. Tsai, "Enhancing FMEA assessment by integrating grey relational analysis and the decision making trial and evaluation laboratory approach", *Engineering Failure Analysis*, vol. 31, pp. 211-224, 2013

[7] H. Maleki y Y. Saadat, "Comparison of failure mode and effects analysis by using AHP vs. REMBRANDT system", *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, vol. 14, no. 1, pp. 5-19, 2013

[8] A. M. Mahmoodi y A. Mirzazadeh, " A New Analysis of Failure Models and Effects by Fuzzy Todim with using Fuzzy Time Function", *International Journal of Fuzzy Logic System*, vol. 4, no. 2, pp. 7-21, 2014

[9] I. Haq, Izhar, K. Shah, S. Anwar, M. T. Khan, B Ahmed y S. Maqsood, " Fuzzy logic based failure mode and

- effect analysis of automotive powertrain assembly systems”, *Technical Journal*, vol. 20(SI),no. 2(S), pp. 57-64, 2015
- [10]E. Bozdag, U. Asan, A. Soyer, S. Serdarasan, “Risk prioritization in Failure Mode and Effects Analysis using interval type-2 fuzzy sets”, *Expert Systems with Applications*, vol.42, no. 8, pp. 4000-4015, 2015
- [11]M. Ahmadi, S. M. H. Molana y S. M. Sajadi, “ A hybrid FMEA-TOPSIS method for risk management, case study: Esfahan Mobarakeh Steel Company”, *International Journal of Process Management and Benchmarking*, vol. 7, no. 3, pp. 397-408, 2017
- [12]A. Certa, M. Enea, G. M. Galante y C.M. La Fata, “ ELECTRE TRI-based approach to the failure modes classification on the basis of risk parameters: An alternative to the risk priority number”, *Computers & Industrial Engineering*, vol. 108, pp. 100-110, 2017
- [13]J. K. Chen, “ Prioritization of corrective actions from utility viewpoint in FMEA application ”, *Quality and Reliability Engineering International*, vol. 33, no. 4, pp. 883-894, 2017.
- [14]M. Hajimolaali, A. Kebriaeezadeh, A. Abdollahiasl, H. Safari y A. Yektadoost, “A new approach in identifying and evaluating quality risks in the pharmaceutical industry”, *Journal of Pharmacoconomics and Pharmaceutical Management*, vol. 3, no. ½, pp. 17-20, 2017.
- [15]H. Zhao, J. X. You y H. C. Liu, “ Failure mode and effect analysis using MULTIMOORA method with continuous weighted entropy under interval-valued intuitionistic fuzzy environment”, *Soft Computing*, vol. 21, no. 18, pp. 5355-5367, 2017.
- [16] N. Banduka, D. Tadić, I. Mačužić y M. Crnjac, “Extended process failure mode and effect analysis (PFMEA) for the automotive industry: The FSQC-PFMEA”, *Advances in Production Engineering & Management*, vol. 13, no. 2, pp. 206-215, 2018
- [17]T.L. Saaty. The analytic hierarchy process. McGraw-Hill, New York, 1980. (This book has been translated into Chinese by S. Xu et al.; information is available from them at the Inst. of Systems Engineering, Tianjin Univ., Tianjin, China.) (A translation into Russian by R. Vachnadze is currently underway.)
- [18]W.R. Magalhães y R.F.L. Junior, “A model based on FMEA and Fuzzy TOPSIS for risk prioritization in industrial processes”, *Gestão & Produção*, vol. In press, 2020. <https://www.researchgate.net/publication/343700369>.
- [19]L.P. Dominguez, L.A.R. Picon, A.A. Iniesta, D.L. Cruz y Z. Xu, “MOORA under Pythagorean Fuzzy Set for Multiple Criteria Decisión Making”, *Complexity in Manufacturing Processes and Systems*. doi.org/10.1155/2018/2602376.
- [20]J.G. Izaguirre y M.R. Párraga, “Aplicación de las metodologías 8D y AMFE para reducir fallos en una fábrica de refrigeradoras”, *Industrial Data*, vol. 20, no.2, pp. 61-70, 2017
- [21] W. K. Brauers and E. K. Zavadskas, “The MOORA method and its application to privatization in a transition economy,” *Control and Cybernetics*, vol. 35, no. 2, pp. 445-469, 2006