

“Aplicación de los métodos AMEF-TOPSIS-AHP para determinar el RPN”

“Application of FMEA-TOPSIS-AHP methods to determine RPN”

^aLuis Asunción Pérez-Domínguez, ^bEnrique Almeida Pérez, ^cErnesto León-Castro

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

 ^b Estudiante de Ingeniería Industrial, Al132434@alumnos.uacj.mx, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad de Juárez, México

 ^c Doctor de Ciencias Económicas y Administrativas, eleon@ucsc.cl, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción - Chile

Recibido: Julio 14 de 2020 **Aceptado:** Noviembre 11 de 2020

Forma de citar: Forma de citar: L.A. Pérez-Domínguez, E. Almeida-Pérez, E. León-Castro, “Aplicación de los métodos AMEF-TOPSIS-AHP para determinar el RPN”, *Mundo Fesc*, vol. 11, no. 21, pp. 37-46, 2021

Resumen

Los métodos de decisión multicriterio para la evaluación de riesgos son una herramienta básica para la toma de decisiones en el mundo de la industria. Esta investigación se centra en la combinación y aplicación de tres métodos muy útiles para la mejora de la toma de decisiones en la industria, dichos métodos son: “Análisis de Modo y Efecto de Falla”, “Técnica para el orden de la preferencia por similitud con la solución ideal” y por último “Proceso de jerarquía analítica”.

Palabras clave: AHP, AMEF, TOPSIS, decisión multicriterio.

Asbtract

Multi-criteria decision methods for risk assessment are a basic tool for decision making in the industrial world. In this research we are going to be central in the combination and application of three widely used methods for improving decision-making in the industry, the methods in which we are going to work are "Failure Mode and Effect Analysis", "Technique for the order of preference due to similarity with the ideal solution "and finally " Analytical hierarchy process ".

Keywords: AHP, FMEA, TOPSIS, multi-criteria decision.

Autor para correspondencia:

*Correo electrónico: Luis.dominguez@uacj.mx



Introducción

En la actualidad en la industria se plantean diferentes situaciones en las que se tiene que tener un buen criterio para la toma de decisiones, pero para una buena toma de decisión nos tenemos que apoyar en diferentes métodos de modelos matemáticos de decisión de multicriterio, así mismo cuando se nos presenta varios problemas nos estaremos basando en diferentes métodos de multicriterio.

A continuación, en este artículo veremos la combinación de tres métodos de decisión de multicriterio, los cuales se basan mezcla de los tres métodos para poder tomar una mejor decisión y así mismo poder minimizar el problema que se presenta.

Planteamiento del problema

Aunque el AMEF se ha utilizado durante más de 50 años, en este método se presentan algunas limitaciones este método aun presenta algunas limitaciones, lo que colabora a que se creen nuevas versiones en la mezcla con otras técnicas, una de las limitaciones es el uso de valores numéricos determinísticos que no permiten cuantificar mediciones cuantitativas inciertas o inexactas, esto es inherente al proceso de la evaluación de riesgos.

La segunda limitación es el hecho de que los niveles de importancia relativa como son las ponderaciones no son considerados de los criterios evaluados.

Otro problema que esta concurrente con el uso de solo tres criterios, ya que no se estiman figuras importantes como los factores económicos [1].

Método AMEF

El Análisis de Modo y Efecto de Falla

(AMEF) proviene de industrias de alto riesgo como las industrias aeroespaciales y de defensa, es un conjunto de pautas para identificar problemas potenciales (errores) y su posible impacto en el sistema [2]. Con el fin de priorizar y focalizar recursos en planes de prevención, seguimiento y respuesta. [3] AMEF fue introducido oficialmente por el estándar militar 1629 a fines de la década de 1940. La industria aeroespacial utiliza AMEF en el desarrollo de cohetes, el modo de falla más detallado y el análisis de criticidad de impacto son muy útiles en los siguientes aspectos para evitar el uso de técnicas costosas para cometer errores en tamaños de muestra pequeños [3].

En 1993 Chrysler, Ford y General Motors crearon el documento "Análisis de impacto y modo de falla potencial", que cubría las tasas actuales de AMEF. Este documento es parte del estándar QS 9000 (llamado hoy ISO 16949) [4].

Tipos

- Sistema: para garantizar la compatibilidad de los componentes del sistema
- Diseño: Reducir el riesgo de errores de diseño.
- Proceso: Revisar el proceso para encontrar posibles fuentes de errores.
- Productos: El AMEF aplicado a los productos se puede utilizar como una herramienta predictiva para detectar posibles defectos de diseño, aumentando así la posibilidad de predecir su posible impacto en los usuarios o en el proceso de producción [5].

El FMEA se puede utilizar en cualquier producto, proceso o servicio en cualquier momento bajo las siguientes circunstancias [6]:

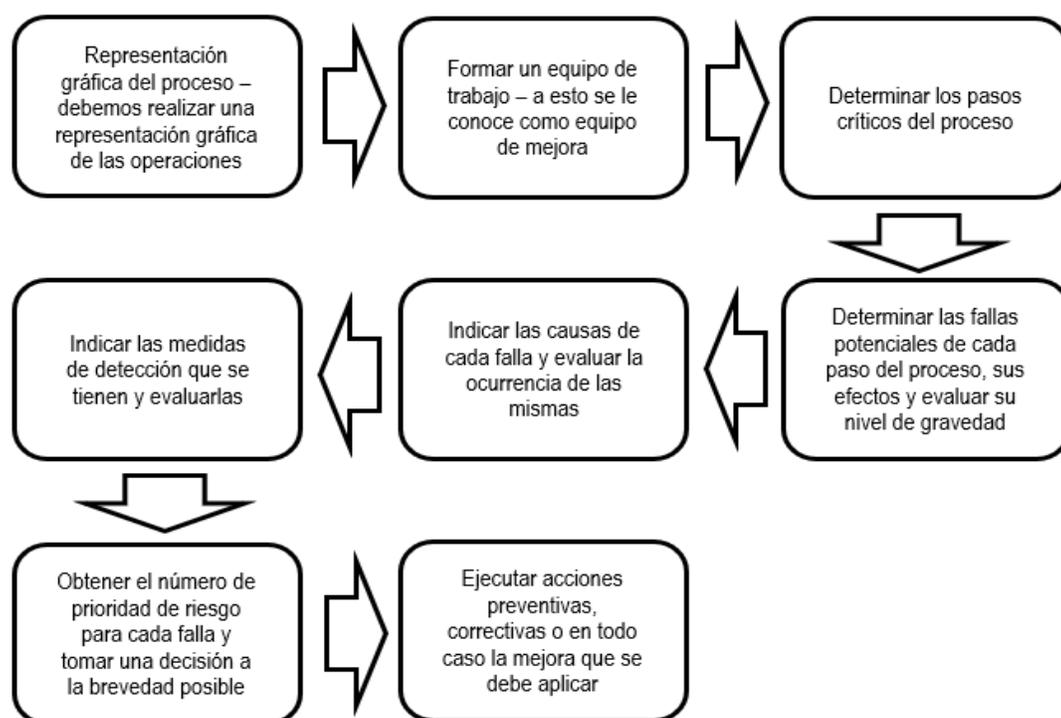
- Se debe realizar un análisis de riesgo.
- Es necesario comprender mejor la causa de la falla.
- Necesidad de determinar el punto de falla

Ventajas

- Muy útil para estrategias de mantenimiento de equipos con cálculo de RPN.
- Permite un análisis detallado de fenómenos o disfunciones.
- Modelo muy estructurado, ejecución clara

Pasos para realizar un AMEF.

Antes que todo debemos recordar que para realizar un análisis de modo y efecto de falla se debe contar con una recolección de información ya que es un procedimiento sistemático.



Criterios para evaluar un AMEF.

Para evaluar el modo y efecto de las fallas potenciales se usan los siguientes estándares:

Severidad: Evalúa la magnitud o gravedad del EFECTO provocado por el modo de falla potencial.

Ocurrencia: Evalúa la ocurrencia del modo de la falla potencial en términos de (Porcentaje o Frecuencia).

Detección: Evalúa la efectividad de las formas o medios de detección del MODO de falla

potencial [8].

Tabla 1. Tablas de evaluación Severidad [8].

| Severidad | Escala |
|--|--------|
| El efecto de la falla no alcanza ni genera ningún daño al paciente o al personal involucrado en el proceso | 1 |
| El efecto de falla alcanza al paciente o al personal involucrado, sin generar daño. | 2 |
| El efecto de la falla alcanza al paciente o al personal involucrado generando un daño parcial que se puede solucionar en un corto plazo. | 3 |
| El efecto de la falla alcanza al paciente o al personal involucrado generando una pérdida funcional, física y/o emocional | 4 |
| El efecto de la falla impacta directamente al paciente o al personal involucrado en el proceso y le ocasiona un daño permanente e irreversible o la muerte/La falla ocasiona | 5 |

Tabla 3. NPR

Es un valor que e de los problemas del grado de detección, éste p que debe de atar identificado.

Es el número q las fallas, que s multiplicación de

Tabla 2. Ocurrencia.

NPR = Ocurrencia

| | |
|------------|-------|
| 500 – 1000 | Alto |
| 125 – 499 | Ries |
| 1 – 124 | Ries |
| 0 | No ex |

Método TOPSIS

(Numero Prioritario de Riesgo)

El método TOPSIS fue propuesto por [10] y enfrentó el problema de establecer órdenes en el modelo [9]. Utilizar alternativas a las alternativas ideales y alternativas anti-ideales.

En el método TOPSIS, es un índice llamado similitud o proximidad relativa se define por combinación valor cercano a la solución ideal positiva y distancia a la solución ideal negativo [11]. La idea es elegir en relación con solución ideal positiva [12].

Paso 1. Establecimiento de la matriz de decisión.

Tabla 5.

| Alternativas | W ₁ | W ₂ | ... | W _j | ... | W _n | Pesos |
|----------------|-----------------|-----------------|-----|-----------------|-----|-----------------|-----------|
| | C ₁ | C ₂ | ... | C _j | ... | C _n | Criterios |
| A ₁ | x ₁₁ | x ₁₂ | ... | x _{1j} | ... | x _{1n} | |
| A ₂ | x ₂₁ | x ₂₂ | ... | x _{2j} | ... | x _{2n} | |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | |
| A _m | x _{m1} | x _{m2} | ... | x _{mj} | ... | | |

establece una jerarquización a través de la multiplicación de la frecuencia, severidad y provee la prioridad con la que se debe manejar cada modo de falla

que estable la jerarquía de riesgos se obtiene a través de la combinación de los criterios a evaluar.

Paso 2.- Normalización de la matriz de decisión

* Severidad * Detección (1)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (2)$$

Donde,

$$\begin{matrix} i=1,2,\dots,m; \\ j= 1,2,\dots,n. \end{matrix}$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (4)$$

Tabla 4.

| |
|-----------------------|
| riesgo de falla |
| riesgo de falla medio |
| riesgo de falla bajo |
| riesgo de falla |

$$i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,m$$

Construir la matriz de decisión ponderada

$$V_{ij} = (w_j)(r_{ij}) \quad (3)$$

Paso 4.-Determinar la solución ideal positiva A⁺ y la solución ideal negativa A⁻

$$A^+ = \{(max_i v_{ij} | j \in J), (min_i v_{ij} | j \in J)\} \\ , i=1,2,\dots,m\} = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} \quad (5)$$

Vector de solución ideal positivo.

$$A = \{(mini\ v_{ij} \mid j \in J|), (maxi\ v_{ij} \mid j \in J|), i=1,2,\dots,m\} = \{v_1, v_2, \dots, v_n\} \quad (6)$$

Donde j es el conjunto de criterio de beneficio y $J|$ es el conjunto de criterio de costos.

Paso 5.- Calcular la distancia de la solución ideal positiva y la solución ideal negativa.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (7)$$

Donde $i = 1, 2, \dots, m$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (8)$$

Donde, $i = 1, 2, \dots, m$

Paso 6.- Ranking de las alternativas.

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (9)$$

Donde, $i = 1, 2, \dots, m$; $0 \leq C_i \leq 1$

Método AHP

Es una herramienta muy útil para la toma de decisiones, y que habitualmente la podemos utilizar en los procedimientos de nuestro sistema de gestión de calidad, por ejemplo,

en la selección de personal, selección de proveedores, selección de compras, selección de formación [14].

El proceso de jerarquía analítica es un método basado en la evaluación propuesto por [15]. Diferentes estándares que permiten la priorización de procesos, cuyos objetivos finales incluyen optimizar las decisiones de gestión. Usa este método Resolver problemas que necesitan priorizar diferentes temas [16]. Opción y luego decida cuál es la opción más conveniente. Decidir Para utilizar esta técnica para disparar, pueden diferir de decisiones simples Análisis personalizado y cualitativo para escenarios de toma de decisiones muy complejos Cuantitativo. [17]

La metodología AHP es una herramienta poderosa y flexible que se puede utilizar toma de decisiones multicriterio para los problemas que necesitan resolver deben evaluarse tanto los aspectos cualitativos como cuantitativos [18]. La tecnología AHP ayuda a el analista organiza los aspectos clave del problema en una estructura jerárquica similar al árbol genealógico, lo que reduce la toma de decisiones. Una serie es más complicada y se puede clasificar diferentes aspectos de la evaluación (estándares) [17].

En su apéndice matemático, AHP está representado por cuatro axiomas.

Axioma 1: Se refiere a las condiciones de juicio mutuo: La fuerza de preferencia de A_i / A_j es opuesta a la preferencia de A_j / A_i .

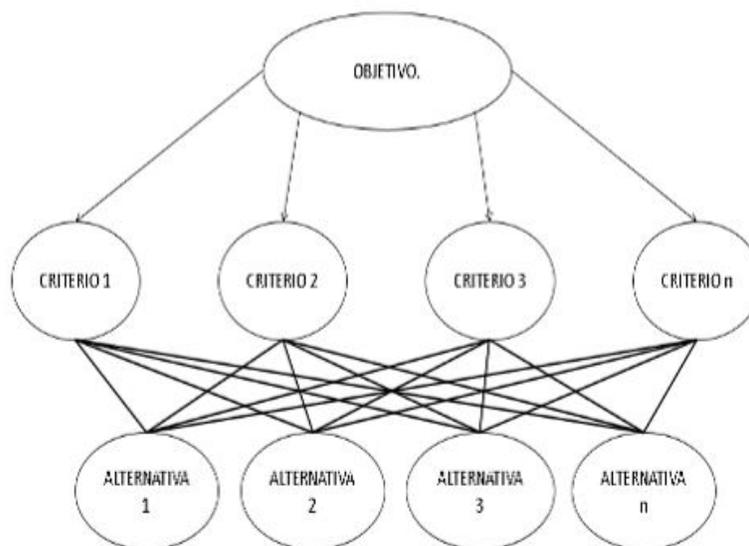
Axioma 2: Se refiere a la condición de homogeneidad de los elementos: Los elementos que se comparan tienen el mismo orden de magnitud.

Axioma 3: Se refiere a la condición de estructura jerárquica o estructura subordinada reutilizar. Dependencia en los elementos de dos niveles consecutivos en la

jerarquía y dentro de un mismo nivel.

Axioma 4: referente a condición de expectativas de orden de rango: Las expectativas deben estar representadas en la estructura en términos de criterios y alternativas [17].

Paso 1: Estructurar una jerarquía y representar la matriz de comparaciones



Esquema 2.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ & & 1 & & \vdots \\ \vdots & 1/a_{ij} & \vdots & \ddots & \vdots \\ \dots & & & & 1 \end{bmatrix}$$

Esquema 3.

Paso 2. Establecimiento de las prioridades entre los criterios.

Tabla 6. Escala de Saaty [15]

| Importancia | Definición | Explicación |
|-------------|----------------------|---|
| 1 | Igual de importancia | 2 elementos contribuyen al mismo objeto |
| 3 | moderada | La experiencia indica que hay un mayor dominio de 1 elemento sobre otro. |
| 5 | Esencial o fuerte | La experiencia indica que hay un fuerte dominio de 1 elemento sobre otro. |
| 7 | Altamente | El dominio de 1 elemento sobre el otro es completamente demostrado |
| 9 | extremada | Las evidencias indican que 1 elemento es completamente dominado por el otro |
| 2,4,6,8 | Valor intermedio | Sus valores son intermedios de decisión. |

Por lo general, se tiene que resolver la ecuación

$$A*w=\lambda*w, (10)$$

donde: A = Matriz recíproca de comparaciones apareadas (juicios de importancia/preferencia de un criterio sobre otro)

λ = Máximo eigenvalor

A w = Eigenvector correspondiente a λ

Paso 3. Análisis del nivel de consistencia.

$$IC=(\lambda MAX-n)/(n-1), (2) (11)$$

Ecuación 11.

$$RC=IC/IA, (3) (12)$$

•RC<0.10, es aceptable, en caso de que sea mayor, se debe pedir al decisor que haga sus valoraciones o juicios nuevamente desde el Paso 1.

Tabla 7.

| N | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| IA | 0.58 | 0.9 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 | 1.49 |

Paso 4. Ordenar las alternativas

El ranking de las alternativas se hace de forma decreciente.

Resultados y análisis

Los métodos aplicados serán en las fallas de máquinas de inyección de plástico, estas son algunas de las fallas más comunes en este tipo de maquinaria dentro de la industria.

En este apartado se presentará la mezcla de los tres métodos, en primer paso lo que se hizo fue utilizar el formato del método AMEF, pero con la escala de evaluación del

método AHP que fue propuesta por saaty. Después de normalizar la matriz, tenemos que determinar la solución ideal positiva A+ y la solución ideal negativa A-.

Tabla 8. solución ideal positiva A+ y la solución ideal negativa A-.

| | | | |
|-----------|---------------|---------------|---------------|
| A+ | 0.0063 | 0.0037 | 0.0084 |
| A- | 0.0167 | 0.0112 | 0.0026 |

Calculamos la distancia de la solución ideal positiva y solución de la distancia ideal negativa.

Calculamos el ranking con el método de TOPSIS y el método AHP y se establece cual es la falla que se tiene que resolver con mayor urgencia.

Tabla 9. Principales modos de fallas

| Fallas | Ci | Ranking | Fallas | Ci | RPN |
|-------------|-------|---------|-------------|-------|-----|
| F-1 | 0.247 | 37 | F-20 | 0.470 | 24 |
| F-2 | 0.340 | 34 | F-21 | 0.645 | 3 |
| F-3 | 0.510 | 16 | F-22 | 0.433 | 27 |
| F-4 | 0.495 | 19 | F-23 | 0.638 | 6 |
| F-5 | 0.470 | 24 | F-24 | 0.388 | 32 |
| F-6 | 0.388 | 32 | F-25 | 0.572 | 13 |
| F-7 | 0.398 | 31 | F-26 | 0.497 | 18 |
| F-8 | 0.481 | 21 | F-27 | 0.477 | 22 |
| F-9 | 0.444 | 26 | F-28 | 0.420 | 28 |
| F-10 | 0.325 | 35 | F-29 | 0.601 | 10 |
| F-11 | 0.420 | 28 | F-30 | 0.575 | 12 |
| F-12 | 0.552 | 14 | F-31 | 0.645 | 4 |
| F-13 | 0.420 | 28 | F-32 | 0.622 | 8 |
| F-14 | 0.530 | 15 | F-33 | 0.645 | 4 |
| F-15 | 0.320 | 36 | F-34 | 0.472 | 23 |
| F-16 | 0.493 | 20 | F-35 | 0.628 | 7 |
| F-17 | 0.746 | 2 | F-36 | 0.580 | 11 |
| F-18 | 0.819 | 1 | F-37 | 0.617 | 9 |
| F-19 | 0.505 | 17 | | | |

Como se puede ver en Tabla 9, el planteamiento de los métodos la falla que se tiene que resolver con mayor urgencia es las F-18 que está localizada en la boquilla que es la que se coloca el material inadecuado lo cual ocasiona que se desgaste con mayor

frecuencia la boquilla y tenga paros de producción.

Conclusiones

El presente trabajo indica que la aplicación del método TOPSIS en el proceso de la evaluación del FMEA aporta una forma sistemática de presentar una solución argumentada en el modelo matemático para obtener el valor del RPN. En este sentido, se evita que los valores de los RPN's se vean repetidos en la solución. El entendimiento de los métodos desarrollados en el artículo, así mismo al poder desarrollar la combinación de los tres métodos y poder agilizar la toma de decisión dentro de la industria.

Referencias

- [1] N. R.-F. G. & O.-G. J. C. Tabares-Urrea, "AHP difuso y TOPSIS para la selección de un proveedor 3PL considerando el riesgo operacional", *Revista EIA*, vol. 17, n° 33, pp. 89-105, 2020
- [2] K.T.L.C.X.M.H.S.L. & Z.M.L. Xu, "Fuzzy assessment of FMEA for engine systems", *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 75, n° 1, pp. 17-29, 2002
- [3] L. Hu-Chen, "FMEA using uncertainty theories and MCDM methods", de *In FMEA using uncertainty theories and MCDM methods*, Singapore, Springer, 2016, pp. 13-27
- [4] H.-C. L. L. a. N. L. Liu, "Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review" *Expert systems with applications*, vol. 40, n° 2, pp. 828-838, 2013
- [5] J.M. Legg, "Computerized approach for matrix-form FMEA", *IEEE Transactions on Reliability*, vol. 27, n° 4, pp. 254-257, 1978
- [6] F. a. M. G. Franceschini, "A new approach for evaluation of risk priorities of failure modes in FMEA", *International Journal of Production Research*, vol. 39, n° 13, pp. 2991-3002, 2001
- [7] J. K. Chen, "Prioritization of corrective actions from utility viewpoint in FMEA application", *Quality and Reliability Engineering International*, vol. 33, n° 4, pp. 883-894, 19 11 2017
- [8] K. Onodera, "Effective techniques of FMEA at each life-cycle stage", de *Annual Reliability and Maintainability Symposium, Philadelphia, PA, USA*, 1997
- [9] H. C. L. & Y. K., *Multiple Attribute Decision Methods and Applications*, Berlin, Heidelberg: Springer, 1981
- [10] S. T. G.-H. Opricovic, "Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS(Article)", *European Journal of Operational Research*, vol. 156, n° 2, pp. 445-455, 2004
- [11] M. O. S. K. Y. M. & I. J. Behzadian, "A state-of the-art survey of TOPSIS applications", *Expert Systems with applications*, vol. 39, n° 17, pp. 13051-13069, 2012
- [12] C. T. Chen, "Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment", *Fuzzy sets and systems*, vol. 114, n° 1, pp. 1-9, 2000
- [13] L. L.-C. D. V.-R. D. H. H. J. I. & R. B. M. I. Pérez-Domínguez, "Hesitant fuzzy linguistic term and TOPSIS to assess lean performance", *Applied Sciences*, vol. 9, n° 5, p. 873, 2019

- [14] A. S. C. ,. D. P. & G. Mendoza, "Aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) para la toma de decisión con juicios de expertos", *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 27, n° 3, pp. 348-360, 05 2019
- [15] T. L. Saaty, *Decision Making for Leaders: The Analytic Hierarchy Process for Decisions in a Complex World*, Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications, 2008
- [16] D.-Y. Chang, "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP", *European Journal of Operational Research*, vol. 95, n° 3, pp. 649-655, 1996
- [17] S. A. Berumen y F. Llamazares Redondo, "La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el ahp) en un entorno de competitividad", *Cuadernos de Administración*, vol. XX, n° 34, pp. 65-87, 2007
- [18] V.O.S. y K.S, "Analytic hierarchy process: An overview of applications", *European Journal of Operational Research*, vol. 169, n° 1, pp. 1-29, 2006