

IMPLEMENTACIÓN DEL ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE) EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

IMPLEMENTATION OF FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (AMFE) IN THE CONSTRUCTION SECTOR

Autor: Dianelys Malvarez Maure

<https://orcid.org/0000-0003-3872-8534>

Institución: Dirección Provincial de la Vivienda, Ciego de Ávila, Cuba

Correo electrónico: dianelysmalvarez@gmail.com

RESUMEN

En la construcción, a pesar de existir algunas aplicaciones de la metodología de Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF), no se ha logrado explotar todas sus potencialidades para la identificación de riesgos y prevención de defectos constructivos. Con la aplicación de esta metodología en la construcción de viviendas se puede predecir cuáles serán los fallos que se pueden producir durante la ejecución del proceso constructivo, permitiendo aplicar medidas correctoras, familiarizar y educar al personal en el trabajo en equipo durante la ejecución, con el fin de que sean ellos mismos los que prevean los posibles fallos, identifiquen las causas y propongan acciones preventivas. En la presente investigación se pretende incorporar esta nueva técnica de diagnóstico para las edificaciones al sector de la construcción, para proponer una nueva aplicación del AMFE y poder determinar sus fortalezas respecto a otros tipos de metodologías. Se concluye que mediante la aplicación de esta Metodología en los procesos constructivos se logra mejorar la calidad, la fiabilidad y la seguridad del proceso, así como la reducción de la probabilidad de ocurrencia de fallo, además de mayor flexibilidad para acoplarse o adaptarse según los requerimientos del ámbito en el que se requiera su uso.

Palabras clave: Construcción, Riesgo, Fallo, Proceso.

ABSTRACT

In construction, despite the existence of some applications of the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) methodology, it has not been possible to exploit all its potential for risk identification and prevention of construction defects. With the application of this methodology in the construction of houses, it is possible to predict what will be the failures that may occur during the execution of the construction

process, allowing corrective measures to be applied, familiarizing and educating the personnel in teamwork during the execution, with the aim of so that they are the ones who anticipate possible failures, identify the causes and propose preventive actions. In the present investigation it is intended to incorporate this new diagnostic technique for buildings in the construction sector, to propose a new application of FMEA and to determine its strengths with respect to other types of methodologies. It is concluded that through the application of this Methodology in the construction processes, it is possible to improve the quality, reliability and safety of the process, as well as the reduction of the probability of failure occurrence, as well as greater flexibility to couple or adapt according to the requirements the field in which its use is required.

Keywords: Construction, Risk, Failure, Process.

INTRODUCCIÓN

La metodología AMFE fue desarrollada a finales de los años 40 con el objetivo de ser utilizada por las Fuerzas Armadas de Estados Unidos, posteriormente se usó además en el sector aeroespacial en la década de los 60, por lo que a lo largo de los años fue ganando aceptación. (Giménez, et al., 2010).

Aunque el AMFE se dirigía específicamente a la automoción, otras industrias que exigen los más altos niveles de fiabilidad, por ejemplo, la de semiconductores y la de petróleo y gas, lo han implantado. El formato actual es el FMECA (Análisis de Modos y Efectos de Fallos y Criticidad), en el que se incorpora la criticidad del defecto para el usuario final.

Los objetivos del AMFE se determinan como: definir para cada fallo funcional los modos de fallo relevantes de los componentes, establecer las causas de fallos para los modos de fallos, indicar los componentes que deberán ser sometidos al diagrama de decisión y la lista de mantenimiento correctivo. (De la Paz Martínez, 2022)

Entre las ventajas que presenta esta metodología es que permite cuantificar los posibles fallos que se puedan presentar en el producto, proceso o servicio. Por lo que se puede decir que permite obtener información de partida para continuar con el proceso de mejora continua (Mañes, et al., 2018).

En la construcción, a pesar de existir aplicaciones de esta metodología, no se logra explotar todas sus potencialidades para la identificación de riesgos y prevención de defectos constructivos. Los fallos en el proceso constructivo y su producto final, son

analizados desde la mirada del diagnóstico patológico, que en Cuba es ejecutado por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA-INVESCONS, 2022).

Por otra parte, la Empresa de Servicios Técnicos del Arquitecto de la Comunidad realiza diagnóstico a edificaciones a petición de entidades o personas naturales. (Arquitectos de la Comunidad, 2022).

Pero ninguna de las entidades mencionadas trabaja los efectos de las fallas y sus causas tan nítidamente como se realiza con la metodología AMFE, por lo que es necesario incorporar esta nueva técnica de diagnóstico para las edificaciones al sector de la construcción, objetivo que persigue la presente investigación para plantear una nueva aplicación del AMFE y poder determinar sus fortalezas respecto a otros tipos de metodologías.

DESARROLLO

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS EN LA CONSTRUCCIÓN

Si bien este método ha sido utilizado sobre todo para análisis tanto de productos o procesos en la fase de diseño, también se utiliza en otras áreas como montaje, fabricación, comercialización, producción, etc. Se debe mencionar además que es necesario identificar cuáles son las causas que generan las desviaciones en los puntos críticos de control. (González, Myer y Pachón, 2017).

Para este paso también se debe definir el tipo de análisis a realizar ya sea mediante análisis de causa raíz, diagrama Ishikawa, entre otros. En el ámbito constructivo por ejemplo en la actualidad tanto constructores como inversionistas buscan que los procesos sean lo más eficaz posibles.

Los Objetivos del AMEF son

- Definir para cada fallo funcional los modos de fallo relevantes de los componentes,
- Establecer las causas de fallos para los modos de fallos,
- Indicar los componentes que deberán ser sometidos al diagrama de decisión y cuáles serán colocados en la lista de mantenimiento correctivo (De la Paz Martínez, 2022)

El verdadero impacto de un modo de fallo en la fiabilidad del sistema queda mejor definido por la combinación de la frecuencia de ocurrencia y el nivel de severidad del fallo. (De la Paz Martínez, 2022)

Para el desarrollo de la metodología AMEF se utilizaron los pasos establecidos por el Grupo de Investigación de Automatización Industrial, por sus siglas en inglés AIAG, igualmente adecuados al proceso constructivo de viviendas.

METODOLOGÍA

El **AIAG** es una organización a escala mundial que sirve de foro abierto para que empresas de todo el mundo desarrollen y compartan información que contribuya con la industria automotriz. En el año 2019 publicó el nuevo formato VDA AIAG. Este formato admite un enfoque de 7 pasos para desarrollar la metodología AMFE, que adecuado a la actividad constructiva se desarrollaría: Ver Figura 1.



Figura 1: Pasos para aplicación de la Metodología AMEF.

Paso 1: Planificación y Preparación. En este paso se introduce la información de la cabecera y se decide el alcance del AMEF.

Paso 2: Análisis de la Estructura. El análisis de la estructura del inmueble y del proceso de construcción es más detallado.

- Elemento central del AMFE: sistema constructivo que se está revisando.
- Nivel Superior: Componentes que integran los diferentes sistemas que conforman el inmueble (el proceso global de construcción, tecnología de fabricación de los componentes).
- Nivel inferior del proceso: Elementos que componen el proceso, considerando las categorías de Hombre, Máquina, Material, Método, etc., lo que conduce a una lista más completa de Causas de Fallo.

Paso 3: Análisis de Funciones. Adición de la descripción de las funciones y los requisitos relacionados con ambos niveles de la estructura. Esto apoya una descripción clara y completa de los Efectos del Fallo (EF) y las Causas del Fallo (CF).

Paso 4: Análisis de Fallos. El Modo, el Efecto y la Causa son identificados

Paso 5: Análisis de Riesgos. Se evalúan la Severidad, Ocurrencia y Detección de cada falla, asignándole valores que, al calcularse, aportan el Nivel de Criticidad o Nivel de prioridad para la solución de la falla.

Paso 6: Optimización: Acción de mantenimiento recomendada. Este paso en su actualización contiene acciones de control que permiten evaluar el estado de cumplimiento de la acción recomendada.

Paso 7: Documentación de Resultados: Informes internos para la dirección y para los ciudadanos afectados, aplicado a la construcción. (Marmolejo, s.f.).

Para la ejecución y completamiento de cada paso, se debe trabajar con un grupo conformado por especialistas en Ingeniería Civil, Industrial, Arquitectura, Economía, u otras especialidades afines. Este grupo dirigirá su gestión hacia la respuesta de las etapas de planificación, organización, ejecución y control del desarrollo de la metodología.

Posibles modos de fallo

Con el grupo reunido, se procede a enumerar los **modos de fallo** de cada sistema: los fallos que podría tener el inmueble, y que pueden ser desde defectos estéticos, funcionales, de seguridad, problemas relacionados con el mal uso, etc. Para hacer esto se descompone el sistema en componentes y se evidencia cómo podría fallar cada componente. También se debe pensar en cuál es el uso esperado que se va a hacer del sistema: ¿Hacia quien está enfocado? ¿Su función ante situaciones críticas? ¿Existe riesgo para la vida si falla el sistema?

Se utilizarán técnicas como Brainstorming, para generar una lista de posibles problemas en cada paso del proceso. El uso de estas fuentes permitirá captar muchos de los problemas haciendo que el AMFE sea práctico y útil desde el primer día.

Índice de prioridad

Del resultado de enumerar los posibles modos de fallo del sistema, se obtiene una larga lista. Estos deberán ser incluidos en una tabla (1) como la siguiente:

Tabla 1. Aplicación Metodología AMFE

SISTEMA	CLASIFICACIÓN	ELEMENTOS	FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN DEL FALLO			EFECTO DEL FALLO	SEVERIDAD	OCURRENCIA	NIVEL DE CRITICIDAD	CLASIFICACIÓN DEL FALLO	ACCIONES
				MODO DE FALLA	CAUSAS	DETECCIÓN						

Teniendo la lista de los posibles modos de fallo del producto, son clasificados según su importancia, para ello a cada modo de fallo se le asignan tres valores:

1. Nivel de severidad (S): mide la gravedad del fallo, requiere determinar todos los modos de fallos basados en los requerimientos funcionales y sus efectos. Se evalúa de acuerdo con una escala de 1 a 10, en base a una tabla de criterio de severidad, la cual es función de la percepción, se origina de la degradación de la función. Esta evaluación ayudará a priorizar los modos de fallos y sus efectos. Si la severidad tiene un grado 9 o 10 se debe considerar cambiar el diseño, eliminando así el modo de fallo y sus efectos.

2. Nivel de incidencia u ocurrencia (O): mide la probabilidad de que ocurra el fallo. Es necesario observar la causa del fallo y determinar con qué frecuencia ocurre. La causa de un fallo está vista como un punto de debilidad desde la etapa de diseño donde todas las causas potenciales de fallos deben ser identificadas y documentadas utilizando terminología técnica. La incidencia puede ser definida como un porcentaje y recibe una puntuación de 1 a 10 según su probabilidad.

3. Nivel de detección (D): es la probabilidad de que el error no se detecte antes de que el producto inicie su función. Cuando las acciones adecuadas se han determinado, es necesario comprobar su eficacia y realizar una verificación del diseño mediante un método adecuado de inspección. Se debe observar los controles actuales del sistema que evitan los modos de fallos o que permitan detectarlos antes de que fallen. A partir de estos controles se puede determinar qué posibilidad hay de que ocurran los fallos y cómo detectarlos. (De la Paz Martínez, 2022)

Matriz de Impacto de Riesgos

Es una herramienta de gran utilidad para gestionar y controlar los riesgos que pueden presentarse en la operación. Contar con esta matriz también ayuda a los directivos y al personal encargado a tomar decisiones más rápido sobre cómo actuar para hacerle frente a los riesgos que tienen mayor probabilidad de ocurrir y de impactar en la operación. (Jiménez, Mónica M, 2022)

A criterio de la autora de la esta investigación, permite analizar el riesgo al definir cada falla con una ocurrencia, en una escala del 1 al 10, y a su vez evalúa la severidad en igual medida, donde cada impacto otorga la prioridad correspondiente, evidenciando el nivel de prioridad ante la toma de decisiones correspondiente. Ver Figura 2



Figura 2. Matriz de Impacto de Riesgos.

El uso de colores en la matriz de riesgos ayuda a entender el tipo de riesgo al que puede enfrentarse la entidad y a tomar decisiones para contrarrestar su impacto:

- A las casillas verdes, si bien no indican alarma, es importante que hacerles monitoreo y analizarlas periódicamente para comprobar que todo sigue en orden.
- A las casillas amarillas y naranjas es necesario prestarles atención para evitar futuras sorpresas.
- A las casillas rojas hay que implementarles controles y planes de mantenimiento que ayuden a mitigar su probabilidad de materialización o, en caso de darse, su impacto. (De la Paz Martínez, 2022)

Cálculos asociados al Nivel de Criticidad

La bibliografía revisada del autor De la Paz Martínez, 2022, hace referencia al cálculo del Número de prioridad del riesgo (NPR), el cual se obtiene de la multiplicación de los tres índices referidos con anterioridad.

Para la aplicación de la metodología AMFE, será utilizado el método propuesto por De la Paz Martínez, 2022, en el artículo Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, quien identifica el cálculo del Nivel de Prioridad del Riesgo utilizando los mismos índices, el cual es más factible para ejecutar el método sugerido, logrando identificar los niveles más críticos dentro de los inmuebles que componen el fondo precario de la provincia.

Procedimiento del cálculo:

Una vez estimados S, O y D, se multiplican los valores de $S \cdot O \cdot D$, para obtener el **NPR (Nivel de Prioridad del Riesgo)**, que dará un valor entre 1 y 1000:

$$\text{NPR} = (S * O * D)$$

Nivel de Prioridad del Riesgo = (Severidad * Probabilidad de Ocurrencia * Probabilidad de no Detección)

Este valor evalúa la criticidad del modo de fallo que se analiza, mientras más alto sea el resultado, más crítico se encontrará el inmueble.

Priorizar los modos de fallo y buscar soluciones

Cuando se haya calculado el NPR para todos los modos de fallo estudiados, serán clasificados de mayor a menor. Los modos de fallo con mayor NPR serán los que antes se deban solucionar.

Si se determina que un determinado modo de fallo es inasumible, se cuenta con tres vías para disminuir su gravedad:

- Realizando mantenimiento correctivo sobre la falla para que, si ocurre, sea menos severo (así disminuirá su valor S).
- Realizando mantenimiento preventivo para que suceda menos frecuentemente (así disminuirá su valor O).
- Realizando mantenimientos correctivos y preventivos para que, si sucede, lo detectemos antes de que falle (así disminuirá su valor D).

Posteriormente se procede a evaluar la efectividad de las acciones correctivas, comparando el «NPR inicial» (antes de aplicar AMFE) con el «NPR final», utilizando la fórmula:

$$\%Reducción = [(NPRa - NPRp) / NPRa] * 100$$

NPRa: Nivel de Prioridad del Riesgo antes de aplicar el AMFE

NPRp: Nivel de Prioridad del Riesgo después de aplicar acciones correctivas (De la Paz Martínez, 2022)

El objetivo final del análisis AMFE es que se obtengan todos los posibles fallos controlados, logrando actuar para disminuir el nivel de criticidad de los más graves.

ANÁLISIS

Lo ventajoso de este método es que permite la identificación de en qué parte se está cometiendo errores para analizar las causas que los originan y con ello buscar alternativas para su posterior aplicación de mejoras (Giménez, et al., 2010).

Lo que se intenta al final con la implementación de este método es conseguir una mejora de la calidad en el inmueble y en el diseño del proceso, mediante la predicción de las desviaciones que puedan existir con relación a los valores establecidos que a su vez puedan producir algún tipo de peligro. Esto además proporciona confiabilidad y competitividad pues se genera una actitud proactiva y preventiva para poder hacer

frente a los problemas que se pueden desarrollar en cualquier proceso, producto o servicio independientemente del ámbito en el que realice el análisis. Cuando se tienen valores altos implica que un fallo en la etapa de estudio puede ocurrir de manera más común por lo que puede suponer perjuicio para el producto final, por lo que se requiere que haya una acción de corrección inmediata (Cartín, et al., 2014).

CONCLUSIONES

El análisis modal de fallos y efectos plantea múltiples opciones para mitigar los riesgos, adquirir mayor capacidad de verificación de los cambios, una mejora del diseño, tanto del producto como de los procesos que lo generan, y ahorrar costes gracias a soluciones tempranas.

La metodología AMFE al aplicar la en los procesos constructivos, es sumamente eficaz a la hora de identificar y corregir cualquier fallo del proceso y del producto final, si se identifican los fallos en una fase temprana del diseño se logra tomar medidas eficaces logrando mejorar el resultado del producto.

Mediante la aplicación de esta herramienta se logra mejorar la calidad, fiabilidad y seguridad del proceso constructivo, con ello a su vez, la satisfacción del cliente mejora. Es importante tomar en consideración que en algunos casos resulta mejor además de económico reducir la probabilidad de ocurrencia de fallo que tener que dedicar luego más recursos a la detección de estos.

La aplicación de esta metodología permite combinar y utilizar otras herramientas, lo que indica la flexibilidad de esta para acoplarse o adaptarse según los requerimientos del ámbito en el que se requiera su uso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARQUITECTOS DE LA COMUNIDAD, (2022). Empresa de Servicios Técnicos del Arquitecto de la Comunidad de la ciudad de Holguín. Disponible en: <https://www.holguin.gob.cu/es/tramitesh/tramites-seccion-1/arquitectos-de-la-comunidad>. Visitado: 12 de noviembre de 2022.

CARTÍN-ROJAS, A., VILLARREAL-TELLO, A., y MORERA, A. (2014). Implementación del análisis de riesgo en la industria alimentaria mediante la metodología AMEF: enfoque práctico y conceptual. *Revista de Medicina Veterinaria*, pp. 133–148. Disponible en: <http://doi.org/10.19052/mv.3030>. Visitado: 23 de noviembre de 2021.

- DE LA PAZ Martínez (2022). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Material Complementario para el curso. Maestría en Ingeniería y Gerencia del Mantenimiento, pp. 9-13.
- ENIA-INVECONS, (2022). Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas. Disponible en: [www.ecured.cu/Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas](http://www.ecured.cu/Empresa_Nacional_de_Investigaciones_Aplicadas). Visitado: 10 de abril de 2022.
- GIMÉNEZ MARÍN, Á... [et al.] (2010). Aplicación del análisis modal de fallos y sus efectos a la fase preanalítica de un laboratorio clínico. *Revista del Laboratorio Clínico*, Vol. 3, No. 4, pp. 161–170. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.labcli.2010.06.005>. Visitado: 23 de abril de 2022.
- GONZÁLEZ, Julio César; MYER, Rick Alan y PACHÓN MUÑOZ, William (2017). La evaluación de los riesgos antrópicos en la seguridad corporativa: del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) a un modelo de evaluación integral del riesgo. *Revista Científica General José María Córdova*, Colombia, Vol. 15, No. 19, enero-junio, pp. 269-289. Disponible en: <https://redalyc.org/476255361012>. Visitado: 19 de abril de 2022.
- JIMÉNEZ, Mónica M. (2022). Así puedes hacer una matriz de riesgo para tu empresa. Disponible en: <https://www.piranirisk.com/es/blog/asi-puedes-hacer-una-matriz-e-riesgos-para-tu-empresa>. Visitado: 19 de abril de 2022.
- MAÑES-SEVILLA, M.... [et al.] (2018). Análisis modal de fallos y efectos para mejorar la calidad en los ensayos clínicos. *Revista de Calidad Asistencial*, Vol. 33, No. 1, pp. 33–47. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cali.2017.12.001>. Visitado: 10 de abril de 2022.
- MARMOLEJO, José (s.f.). 7 Pasos para Implementar el Nuevo AMEF AIAG-VDA. Disponible en: <https://spcgroup.com.mx/7-pasos-para-implementar-el-nuevo-amef-aiag-vda-3/>. Visitado: 23 de abril de 2023.