

## Propuesta de metodología para la evaluación constructiva de edificios

### Methodology proposal for the constructive evaluation of buildings



**Liyen Pérez Quiñones<sup>1</sup>, Marietta Llanes Pérez<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ingeniera Civil, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, Calle 114, #11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana. Cuba. E- mail: [liyempq@civil.cujae.edu.cu](mailto:liyempq@civil.cujae.edu.cu)

<sup>2</sup>Ingeniera Civil, Doctora en Ciencias Técnicas, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, Calle 114, #11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana. Cuba. E- mail: [marietta@civil.cujae.edu.cu](mailto:marietta@civil.cujae.edu.cu)

#### RESUMEN

*El estado actual de un gran número de edificios, donde las lesiones se encuentran en la totalidad de los sistemas que lo conforman y las escasas herramientas de estimación en el área de la construcción, conllevó a la conformación de un procedimiento para la valoración de las edificaciones. Se propuso que, a partir de inspecciones realizadas a los edificios para obtener la información necesaria, se aplicaran herramientas de la confiabilidad operacional. Para ello se presentaron tres métodos que darán como resultado el nivel de criticidad de las lesiones identificadas. El estudio para determinar las causas- consecuencias de las fallas se planteó por el Diagrama de Ishikawa y para la tabla resumen de los resultados se sugirió el uso del Análisis de Modos de Fallos y Efecto de su Criticidad (FMECA), concediendo un orden a partir de los valores y niveles de criticidad obtenidos o de la valoración cualitativa de los parámetros analizados. Como últimos puntos se declaró, realizar una propuesta de intervención y las soluciones para la reparación del edificio. Estos procedimientos ofrecen la información suficiente y fundamentada para la toma de decisiones, después de la valoración exhaustiva o no de los sistemas o partes componentes de la edificación.*

**Palabras claves:** crítico, deterioro, evaluación, jerarquización, metodología

#### ABSTRACT

*The current state of many buildings, where injuries are found in all the systems that comprise it and the few estimation tools in the construction area, led to the establishment of a procedure for the assessment of the buildings. It was proposed that, based on inspections made to the buildings to obtain the necessary information, operational reliability tools be applied. For this, three methods were presented that will result in the level of criticality of the identified lesions. The study to determine the causes-consequences of the failures was proposed by the Ishikawa Diagram and for the summary table of the results the use of the Failure Modes Analysis and Effect of Criticality (FMECA) was suggested, granting an order based on of the values and levels of criticality obtained or of the qualitative assessment of the parameters analyzed. As last points it was declared to make a proposal for intervention and solutions for the repair of the building. These procedures offer sufficient and well-founded information for decision-making, after exhaustive evaluation or not of the systems or component parts of the building.*

**Keywords:** critical, deterioration, evaluation, hierarchization, methodology

**Nota Editorial:** Recibido: agosto 2021; Aceptado: septiembre 2021

## 1. INTRODUCCIÓN

La aparición y evolución de deterioros en una edificación puede estar sujeta a un sinnúmero de factores, entre los que se encuentran el prolongado uso del inmueble, una vez que culminó con el tiempo de vida útil de proyecto, el cambio de uso con la posible variación de cargas para las cuales fue diseñado, eventos meteorológicos que no fueron tomados en cuenta en su concepción, equivocaciones cometidas en cualquiera de las etapas de proyecto, inadecuada explotación, entre otras. Pero sin dudas, los daños provocados por las causas antes mencionadas y otras pueden ser minimizados, si se lleva a cabo un adecuado mantenimiento. El cual se define como el conjunto de técnicas o tecnologías que aseguran la correcta utilización de las instalaciones y el continuo funcionamiento de un sistema para conseguir, a un costo competitivo, la disponibilidad de este [1,2].

El mantenimiento constructivo, en muchas instituciones que cuentan con personal para acometer estas tareas, se resume en corregir aquellas lesiones que aparecen en la edificación, siendo en muchos casos, acciones tardías que ocultan las verdaderas causas de las fallas, las que llegan a evolucionar hasta una tercera generación provocando grandes afectaciones funcionales o estructurales, que derivan en altos gastos por concepto de reparaciones. Esto ocurre debido a la falta de personal calificado para la inspección, detección y evaluación de los deterioros que aparecen en el edificio.

El primer paso, para acometer una correcta intervención, es realizar un adecuado diagnóstico y evaluación de la edificación. Donde se identifique el total de lesiones en cada uno de los sistemas presentes en el inmueble, así como el análisis de las causas que condujeron a ello. Además, es de suma importancia el reconocimiento de las posibles consecuencias asociadas a dichos deterioros, para los casos donde la intervención no resulta una acción inmediata.

Es necesario contar o contratar personal capacitado para aplicar técnicas de evaluación que garanticen el correcto proceder en el diagnóstico e intervención de la edificación, con las soluciones que mejor se adapten a las condiciones del inmueble. Lo cual conllevaría a un buen manejo desde el punto de vista económico en un plazo conveniente para evitar la desmedida evolución patológica de las lesiones existentes.

La Confiabilidad Operacional generalmente no es utilizada para la evaluación del patrimonio construido, a pesar de contener una serie de procesos de mejora continua, que incorpora en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control del mantenimiento [3]. Algunas empresas de proyectos en Cuba utilizan estos métodos solo para la evaluación o gestión de riesgos del proyecto en cuestión.

Estas herramientas resultan muy útiles para determinar el estado más o menos crítico de cualquier sistema, incluso pueden ser aplicadas a elementos tan simples como se quiera. Estos métodos son usados generalmente en sistemas complejos asociados a industrias, parques automotores, sistemas de automóviles, etc. Pero no por ello se pueden desestimar para la evaluación de edificios, pues ofrecen valores importantes para la toma de decisiones [1, 2, 4-7].

Las metodologías que más se destacan en la literatura para la evaluación de edificaciones, están dirigidas fundamentalmente a edificios patrimoniales de gran valor histórico o a aquellas construcciones vulnerables a desastres naturales. Siendo en los primeros procedimientos muy específicos para determinados materiales o elementos y en el segundo caso, enfocadas generalmente en la estructura portante del edificio.

De ahí que combinando estas y otras herramientas, se propone una metodología que permita de una manera diferente, evaluar el estado técnico constructivo de cualquier tipo de edificación, siendo aplicable a todos sus sistemas y elementos. Con lo cual se puede obtener una valoración general y un análisis detallado de todas las partes contempladas, tanto pertenecientes al sistema estructural o al no estructural, presentando como últimos puntos las propuestas de intervenciones y soluciones a los sistemas afectados por los deterioros identificados en la edificación.

## 2. METODOLOGÍA PROPUESTA

A partir de consultas a bibliografía especializada, tanto en la rama de la construcción como en diagnóstico de sistemas y de la aplicación práctica de herramientas de la Confiabilidad Operacional, se propone la siguiente metodología para la evaluación técnico-constructiva de una edificación.

- Inspección preliminar
- Inspección detallada

- Agrupamiento de los deterioros dependiendo del sistema que afectan
- Selección de las herramientas más convenientes para el objeto de estudio
- Aplicación de la herramienta Delphi para la ponderación de los impactos
- Aplicación de las herramientas seleccionadas
- Análisis causa- consecuencia
- Jerarquización de los deterioros según criticidad
- Propuesta de intervención
- Propuesta de soluciones

### 2.1. Inspección preliminar

En estas inspecciones se debe llevar a cabo la revisión de antecedentes para determinar los datos técnicos de la edificación. Debe quedar registrado el año de construcción, el sistema constructivo, materiales, intervenciones anteriores, etc. Es decir, todas las características y datos que aporten para el conocimiento del edificio [8].

Además, se deben realizar varias inspecciones visuales para la identificación y ubicación de los deterioros que presente el caso de estudio.

### 2.2. Inspección detallada

Las inspecciones detalladas estarán dirigidas a los elementos de mayor complejidad, tanto estructural como patológica, haciendo un reconocimiento profundo de las características de estos. En estas inspecciones no son suficientes los métodos organolépticos, por lo que es necesaria la realización de ensayos para determinar con mayor certeza el grado de deterioro de cada uno [8].

### 2.3. Agrupamiento de los deterioros dependiendo del sistema que afectan

Al identificar todos los sistemas de la edificación, entre los que pueden estar sistema de impermeabilización, sistema estructural, sistema de abastecimiento, sistema de evacuación, sistema eléctrico, entre otros, es conveniente asociar los deterioros identificados al sistema que afecta, o lo que es lo mismo, hacer grupos de deterioros que afectan a un mismo sistema.

### 2.4. Selección de las herramientas más convenientes para el objeto de estudio

Para esta metodología se proponen tres herramientas de la confiabilidad operacional, Análisis de Criticidad, Técnica de Pareto y Método de los Impactos. De forma general con las tres herramientas se obtiene el nivel de criticidad del elemento o sistema analizado.

- Análisis de criticidad

Existen dos vías para la utilización del método, a través de la ecuación o haciendo uso de la matriz. En la aplicación de cualquiera de los métodos es necesario completar la siguiente secuencia [9]:

- Segmentación en sistema de poca complejidad
- Identificación de eventos o peligros (deterioros)
- Estimación de frecuencia de deterioros
- Estimación de consecuencia de deterioros

Cuando se decide realizar el análisis por la ecuación se obtiene el nivel de criticidad de cada deterioro identificado en el sistema [2, 4].

$$C = F * I * D \quad (1)$$

Donde:

C- Nivel de criticidad que presenta el objeto de estudio

F- Frecuencia con que aparece el deterioro

I- Impacto o consecuencia provocada por el deterioro

D- Dificultad de detección de la lesión en cuestión

Si se decide el uso de la matriz criticidad al interpolar la frecuencia de aparición con el impacto, se obtiene el grado de criticidad para el deterioro analizado.

- Técnica de Pareto

Para la aplicación de esta herramienta, también conocida como 80- 20, es necesario identificar el porcentaje de deterioros más críticos, siendo estos los que provocan los mayores impactos. Un diagrama de Pareto es una gráfica que representa en forma ordenada en cuanto a importancia o magnitud, la frecuencia de la ocurrencia de las distintas causas de un problema [7, 10, 11].

- Método de los impactos

Este método se basa en analizar diversos parámetros técnicos- económicos y en función de su importancia se categoriza cada parámetro en A, B o C. Con la observación que cada parámetro se valora individualmente sin pensar en la influencia en los demás, como si él solo decidiera la clasificación. Al final se suman por categoría y se decide cuál es la que le corresponde al deterioro [6].

## 2.5. Aplicación de la herramienta Delphi para la ponderación de los impactos

El método Delphi, es utilizado para el pronóstico y evaluación, está considerado como uno de los métodos subjetivos más confiables. Constituye un procedimiento para confeccionar un cuadro de la evolución de diferentes situaciones. Con la utilización de tablas estadísticas se procesan las opiniones de expertos en el tema tratado. Este método es capaz de rebasar el marco de las condicionantes actuales más señaladas de un fenómeno y alcanzar una imagen integral y más amplia de su posible evolución [12].

En la aplicación del Análisis de Criticidad se deben definir los campos que son afectados por los deterioros, y a su vez se debe asignar un valor, procurando que la sumatoria de todos los campos sea igual a 5 (valor máximo del impacto establecido en la matriz de criticidad).

Se sugiere la utilización de este método de criterio de expertos para la determinación de estos parámetros, que requieren de especialistas para asegurar un resultado confiable en el análisis y evaluación de la edificación, ya que los campos definidos, así como su importancia, pueden variar dependiendo del programa arquitectónico al que pertenezca el edificio a evaluar.

## 2.6. Aplicación de las herramientas seleccionadas

Una vez seleccionada la herramienta que más se ajuste a las condiciones e información existente de los deterioros y sistemas del objeto de estudio, se procede a su aplicación.

- Análisis de Criticidad a través de la ecuación

Para desarrollar este análisis, el primer paso es la determinación de la frecuencia de ocurrencia de cada deterioro identificado en el sistema que se quiere evaluar. Para ello se propone el uso de la Tabla 1, teniendo en cuenta que los porcentajes de ocurrencia pueden ser ajustados para cada caso particular de evaluación, pero no cuando se pretenden hacer comparaciones, ya que puede falsear los resultados para la valoración.

TABLA 1: ÍNDICE DE FRECUENCIA

| Frecuencia     | % de ocurrencia | Valor del deterioro | Descripción   |
|----------------|-----------------|---------------------|---|
| Muy alta       | >90             | 5                   | Se busca el % del total de veces que aparece un deterioro con respecto al total de los mismos |
| Alta           | 75- 90          | 4                   |   |
| Media          | 50- 75          | 3                   |   |
| Baja           | 25- 50          | 2                   |   |
| Poco frecuente | <25             | 1                   |   |

A partir de esta tabla patrón (o ajustada) cada deterioro obtiene un valor dependiendo de la cantidad de veces que aparece en el sistema. Hay que tener presente que no siempre se puede efectuar el conteo de deterioros, también hay que tener en cuenta el área afectada por el mismo, en este caso se otorga un porcentaje directamente a partir de mediciones de la zona dañada con respecto a la superficie total donde se encuentra la lesión.

Para determinar el impacto que genera cada deterioro es imprescindible identificar todos los aspectos sobre los cuales puede influir negativamente la existencia del deterioro. En la Tabla 2 se aprecian algunos campos importantes en las construcciones y a partir de ello se otorga un valor a cada uno, teniendo en cuenta las características, condiciones y funcionalidad de la edificación en cuestión.

**TABLA 2: ÍNDICE DE IMPACTO**

| Impacto del deterioro | Peso del deterioro | Campos que afecta el deterioro |       | Descripción   |
|-----------------------|--------------------|--------------------------------|-------|---|
|                       |                    | Campo                          | Valor |   |
| Catastrófico          | 5                  | Funcionalidad                  | 1,5   | El impacto se tendrá en cuenta según la cantidad de campos que afecte un mismo deterioro. |
| Grandes daños         | 4                  | Estructura                     | 1,25  |   |
| Daños medios          | 3                  | Salud                          | 1     |   |
| Daños bajos           | 2                  | Confort                        | 0,75  |   |
| Perceptibles          | 1                  | Estética                       | 0,5   |   |

El índice de impacto entonces quedará determinado por la sumatoria de los valores de los campos definidos y que son afectados por cada deterioro. Para la definición de los campos afectados y su importancia, es que se propone el método de expertos Delphi, haciendo el análisis, para cada programa arquitectónico, de conjunto con especialistas en esa área.

De forma semejante se procede para determinar el valor de la detección, el cual está referido a la dificultad de detectar la presencia de una lesión, para ello se trabaja con la Tabla 3, que otorga un valor dependiendo de dicha dificultad.

**TABLA 3: ÍNDICE DE DETECCIÓN**

| Detección   | Peso del deterioro | Descripción   |
|-------------|--------------------|---|
| Incierta    | 5                  | La detección de ocurrencia de la lesión primaria es solo por medio de tecnología                                |
| Baja        | 4                  | Hay pocas posibilidades de detectar la aparición de la lesión primaria (opinión de expertos o tecnología)       |
| Mediana     | 3                  | La probabilidad de detección de la lesión primaria es moderada (opinión de expertos)                            |
| Alta        | 2                  | Casi siempre se puede detectar la aparición de la lesión primaria (no es necesario la opinión de expertos)      |
| Casi cierta | 1                  | Por lo general es fácil de detectar la aparición de la lesión primaria (cualquiera puede detectar la aparición) |

Una vez obtenidos los valores de Frecuencia, Impacto y Detección de las tablas anteriores, se procederá a calcular el valor de criticidad del deterioro a través de la ecuación (1), para obtener un valor cuantitativo y determinar el grado de criticidad de los deterioros.

- Análisis de Criticidad usando la matriz

Similar al procedimiento anterior se debe realizar el análisis cuando se pretende hacer uso de la Matriz Criticidad (Tabla 4), con la diferencia que no se requiere de la determinación del índice de detección, pues la matriz solo considera la frecuencia de ocurrencia y el impacto o consecuencia de los deterioros [5,13].

Al realizar la interpolación entre estos dos índices y usando la escala de colores se obtiene el grado de criticidad según la localización de los deterioros en la matriz.

TABLA 4: MATRIZ PATRÓN DE CRITICIDAD

| Matriz de criticidad |   | Impacto         |                  |                 |                     |     |
|----------------------|---|-----------------|------------------|-----------------|---------------------|-----|
|                      |   | 1               | 2                | 3               | 4                   | 5   |
| Frecuencia           | 5 | MC              | AC               | AC              | MAC                 | MAC |
|                      | 4 | MC              | MC               | AC              | AC                  | MAC |
|                      | 3 | BC              | MC               | MC              | AC                  | MAC |
|                      | 2 | BC              | BC               | MC              | AC                  | AC  |
|                      | 1 | MBC             | BC               | MC              | MC                  | AC  |
| Escala de colores    |   |                 |                  |                 |                     |     |
| <b>MAC</b>           |   | <b>AC</b>       | <b>MC</b>        | <b>BC</b>       | <b>MBC</b>          |     |
| Muy alta criticidad  |   | Alta criticidad | Media criticidad | Baja criticidad | Muy baja criticidad |     |

- Técnica de Pareto [7, 10]

Esta técnica se basa en un análisis estadístico, en este caso, a partir de las frecuencias que presentan los deterioros identificados en un sistema o en la edificación, con lo que se obtiene la clasificación de estos en clase A, B y C. La clase A estará asociada a los deterioros de mayor criticidad, la clase B, a los de mediana criticidad y clase C a los de menor criticidad. A partir de lo cual se establece la relación de importancia entre los porcentajes obtenidos en cada clase.

En el Diagrama de Pareto se organizan diversas clasificaciones de datos por orden descendente, de izquierda a derecha por medio de barras sencillas después de haber reunido los datos para calificar las causas, de modo, que se pueda asignar un orden de prioridades.

Pasos para determinar los rubros. En este caso se seleccionará el rubro referido a los deterioros críticos.

Paso 1. Determinación de los rubros que se incluirán en el programa

Rubros que se incluirán en el análisis:

1. Los 10 fallos más frecuentes en los sistemas analizados
2. Período analizado
3. Unidad empleada: cantidad de deterioros
4. Localización de la información

Este paso es de vital importancia porque:

1ro – Define qué se va a investigar, en este caso, los deterioros más frecuentes, pero puede ser otro rubro.

2do – Es importante declarar bien el período y el mismo tiene que ser coincidente, ya que Pareto es repetitivo, se aplican las acciones propuestas y después se comprueba en los períodos siguientes la efectividad de las medidas tomadas.

3ro – La unidad empleada es la decisión ingenieril más importante, la cual responde a los intereses de la investigación y de la empresa que la está realizando. Cuando se toma cantidad de deterioros de cualquier tipo no tiene en cuenta el valor de cada elemento, las afectaciones a la seguridad o al medio ambiente, etc.

4to – Siempre hay que tomar los datos estadísticos por el mismo método (activo o pasivo) y en el mismo lugar.

Paso 2. Construir la tabla estadística a partir de las sumas totales de las magnitudes observadas y registradas. Al definir en el paso 1 que se tomarán los diez deterioros de mayor frecuencia, entonces el análisis queda enmarcado en estos deterioros.

Existen dos formas de determinar la categoría de los rubros en la tabla estadística:

1- Por el 20% de los rubros:

Categoría A, el 20 % de los rubros

Categoría B, entre el 30 y 40 % de los rubros y

Categoría C, entre el 40 y 50 % de los rubros

2- Por el 80% del valor acumulado

Por el 80 % serán:

(Se recomienda usar en la fiabilidad o sea se busca alrededor del 80 % de los problemas para determinar qué porcentaje lo provoca, por lo tanto, no tiene por qué coincidir con el 20 %)

Categoría A, el 80 % de los rubros

Categoría B, el 15% de los rubros y

Categoría C, el 5% de los rubros

En este caso se propone determinar la categoría por el 80% del valor acumulado. (Tabla 5)

**TABLA 5: RESUMEN ESTADÍSTICO DE PARETO [10]**

| Frecuencia de deterioros | Magnitudes sumadas por cada rubro (frecuencia absoluta) | % acumulado por rubro (frecuencia relativa) | Suma acumulada de las magnitudes | Suma acumulada del % por rubro (frecuencia acumulada) | Clasificación por categorías |
|--------------------------|---|---|----------------------------------|---|------------------------------|
| 1                        | -   | -   | -                                | -   | A                            |
| 2                        | -   | -   | -                                | -   | A                            |
| 3                        | -   | -   | -                                | -   | A                            |
| 4                        | -   | -   | -                                | 80  | A                            |
| 5                        | -   | -   | -                                | -   | B                            |
| ...                      | -   | -   | -                                | -   | -                            |
| 10                       | -   | -   | -                                | -   | C                            |
| Total                    | -   | -   | -                                | -   |                              |

Paso 3. Resumen por clases (Tabla 6)

**TABLA 6: RESUMEN POR CLASES [10]**

| Clase | % de rubros dentro de la clase | % acumulado que representa cada clase | Establecer relación | Razón de importancia absoluta | Razón de importancia relativa |
|-------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| A     | -                              | -                                     | -                   | -                             | -                             |
| B     | -                              | -                                     | -                   | -                             | -                             |
| C     | -                              | -                                     | -                   | -                             | -                             |

Paso 4. Construcción y Análisis del Diagrama de Pareto

En el Método de Pareto generalmente se construye un gráfico de columnas para representar el porcentaje de la frecuencia acumulada de los deterioros en el eje "y" contra los deterioros evaluados en el eje "x", además en el mismo gráfico se construye un histograma de la suma acumulada del porcentaje por deterioro.

- Método de los impactos

El método cuenta con una serie de parámetros que no se ajustan a las condiciones de una edificación por lo que fueron suprimidos, ajustando los seleccionados a las características de los componentes del edificio o a los deterioros que puedan existir. A partir de los parámetros presentados a continuación y las categorías definidas para cada uno, se realiza la clasificación de cada deterioro. Con lo cual se puede interpretar que la categoría A se corresponde a los deteriorados de mayor criticidad, la categoría B a los de mediana criticidad y la categoría C a los de baja criticidad [6].

1. Intercambiabilidad: Consiste en la facilidad de ser sustituido el elemento deteriorado por otro similar.

(A) Un deterioro se denomina "A" si el elemento afectado por dicho deterioro es irremplazable, o su labor no puede realizarse por ningún otro componente.

(B) Se caracterizaría "B" si es reemplazable su función por otro elemento.

(C) Toma categoría "C" si su función puede ser ejecutada por cualquier otro elemento semejante.

2. Régimen de Operación: Se refiere a la posibilidad de que el elemento pueda cumplir su función con presencia del deterioro.

(A) Son aquellos deterioros que impiden el funcionamiento del elemento que afecta.

(B) Asumen esta categoría los deterioros que afectan en alguna medida el funcionamiento del elemento.

(C) Son los deterioros que no afectan el funcionamiento del elemento.

3. Mantenibilidad: Es una de las propiedades de la fiabilidad del elemento y corresponde con la facilidad para ejecutarle el mantenimiento, la accesibilidad a sus partes y componentes, según sus características constructivas.

(A) Se categorizan en este grupo deterioros en elementos de poca mantenibilidad, de difícil acceso a sus partes, es decir, de difícil detectabilidad y reparación.

(B) Son de complejidad media, donde el acceso no es tan difícil a todos los componentes.

(C) Deterioros en elementos de poca complejidad y elevada mantenibilidad, donde el acceso es fácil a casi todos los componentes.

4. Conservabilidad: Es otra propiedad de la fiabilidad del elemento que refleja la sensibilidad de su resistencia al medio que la rodea, es decir los deterioros producidos por la agresividad del medio.

(A) Son categoría "A" aquellos deterioros que aparecen debido a la agresividad del medio en que se encuentra el elemento.

(B) Son los deterioros que aparecen debido a la inadecuada explotación del elemento.

(C) Se refiere a los deterioros que aparecen producto a condiciones normales de explotación y tiempo de uso del elemento.

5. Valor del deterioro: Es el valor en el momento de diagnosticar y reparar un deterioro, está referido a equipos y materiales para su detección, evaluación y reparación.

(A) Los deterioros que requieren de más alto valor se hallan en esta categoría.

(B) Los de valor moderado.

(C) Los de menor valor.

6. Factibilidad de aprovisionamiento: Se refiere a la facilidad que exista para garantizar los suministros de equipos y materiales para el mantenimiento y reparación de un deterioro.

(A) Se categorizan como "A" aquellos con dificultades serias en su aprovisionamiento.

- (B) Los que tienen asegurado el abastecimiento de algunos renglones.
- (C) Los que poseen grandes posibilidades con los suministros de equipos y materiales.
7. Condiciones de explotación: Tiene en cuenta las condiciones que caracterizan la explotación del elemento.
- (A) Son deterioros que imposibilitan la explotación del elemento.
- (B) Deterioros que modifican en alguna medida las condiciones de explotación del elemento.
- (C) Serán los que no interfieren en la explotación del elemento.
8. Protección del medio ambiente: Se refiere a la posible afectación al medio que produce la existencia del deterioro.
- (A) Son los deterioros que afectan directamente al medio ambiente.
- (B) Los que lo afectan en alguna medida, indirectamente.
- (C) Las que no afectan al medio en ningún momento.
9. Comportamiento precedente: Se refiere a la aparición repetida de un deterioro en un mismo elemento.
- (A) Deterioro que aparece periódicamente en el mismo elemento.
- (B) Deterioro que aparece esporádicamente en un elemento.
- (C) Deterioro que aparece por vez primera.
10. Calificación del operario: Está relacionado con el nivel y habilidad del operario que tiene la responsabilidad del mantenimiento y reparación del elemento.
- (A) El operario requiere de gran especialización para acometer la reparación de un deterioro.
- (B) El operario no requiere especialización.
11. Caracterización de los trabajos de reparación: Se refiere a la necesidad de controlar rigurosamente la actividad que realiza el operario en la reparación de un deterioro.
- (A) Máxima exigencia en el control de un trabajo.
- (B) Requiere control moderado.
- (C) No requiere control durante la realización de los trabajos.

### 2.7. Análisis causa- consecuencia

Es obvio que los diagramas son una herramienta útil y efectiva para representar visualmente un fenómeno determinado, numérico o no. Por ello, la utilización de estos es muy socorrida en casi todos los diseños de experimentación y tácticas de investigación en todos los campos de la ciencia. Para cada campo o para cada problemática analizada, es casi seguro que existe un tipo de diagrama adecuado que, utilizado con propiedad, proporciona ayuda invaluable para la comprensión y entendimiento de los múltiples vértices que por lo general presenta todo fenómeno lo suficientemente interesante para ser investigado [14].

- Diagrama de Ishikawa [15]

El objeto de Ishikawa es obtener un gráfico de fácil interpretación que ponga de manifiesto las relaciones entre un efecto y las causas que lo producen, Figura 1, de manera que queden expuestas visualmente todas las causas que contribuyen a un efecto hasta el nivel deseado; aunque en la mayoría de los casos la intención es llegar hasta la causa raíz.

Paso 1. Definir el efecto cuyas causas han de ser identificadas

Paso 2. Dibujar el eje central y colocar el efecto dentro de un rectángulo al extremo derecho del eje

Paso 3. Identificar las posibles causas que contribuyen al efecto o fenómeno de estudio

Paso 4. Identificar las causas principales e incluirlas en el diagrama

Paso 5. Añadir causas para cada rama principal

Paso 6. Añadir causas subsidiarias para las subcausas anotadas

Paso 7. Comprobar la validez lógica de cada cadena causal y hacer eventuales correcciones

Paso 8. Comprobar la integración del diagrama

Paso 9. Conclusión y resultado

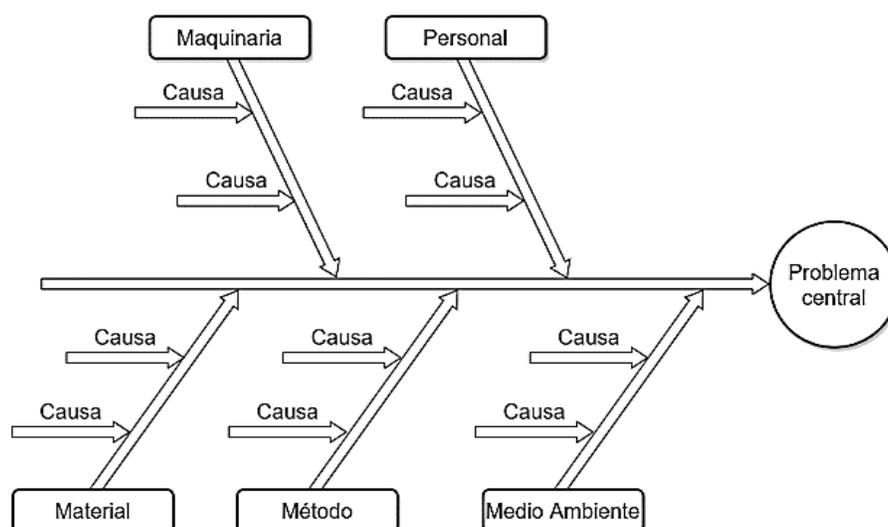


FIGURA 1: DIAGRAMA GENERAL ISHIKAWA [16]

## 2.8. Jerarquización de los deterioros según criticidad

Obtenidos los niveles o valores de criticidad de cada deterioro estudiado se establece un orden, lo que se denomina jerarquización. Este listado estará encabezado por el deterioro más crítico desde la valoración individual, pues el más crítico puede ser el que más frecuencia presente pero no el de mayor impacto en el sistema. Por ello, a pesar del uso acertado de las herramientas propuestas no se pueden absolutizar los resultados obtenidos, sino que se requiere de un análisis riguroso de las variables de cada situación.

Es conveniente a la hora de realizar la evaluación general de un sistema o de la edificación que la lesión vaya acompañada por su nivel de criticidad y el análisis causa- consecuencia, lo que facilitaría la toma de decisiones a partir de toda la información surgida del análisis de cada uno de los deterioros. Por ello se propone el uso de la Tabla de Análisis de Modos de Fallas y Efectos de su Criticidad (FMECA), Tabla 7 [4].

TABLA 7: FMECA

| Sistema | Identificación del deterioro | Descripción del deterioro | Nivel de criticidad | Posibles causas | Consecuencias |
|---------|------------------------------|---------------------------|---------------------|-----------------|---------------|
| -       | -                            | -                         | -                   | -               | -             |

## 2.9. Propuesta de intervención

A partir de la jerarquización de los deterioros se puede elaborar un plan de intervenciones constructivas, tomando en cuenta el nivel de criticidad, pero este no debe ser el único aspecto a valorar, también se impone un análisis

económico y no menos importante será la secuencia de los trabajos a realizar, debido a que en la construcción en muchos casos no se puede acceder a tratar o reparar un deterioro de forma puntual, a veces es necesario afectar zonas en mejor estado para llegar al deterioro o sistema crítico. Como ejemplo a lo antes planteado se tiene el caso de las instalaciones que se encuentran empotradas, que, para lograr su reparación o sustitución, es necesario intervenir losas, muros, pisos, etc.

De ahí que los resultados de los métodos y herramientas anteriormente explicados solo ofrecen información para la toma de decisiones, luego queda por parte de los especialistas hacer las correctas valoraciones de las condiciones particulares a cada sistema o edificación, para establecer un orden de intervención a las zonas dañadas.

### **2.10. Propuesta de soluciones**

Para llevar a cabo una secuencia lógica de trabajo, una vez que esté definido el orden para la intervención al sistema o a la edificación se debe realizar un estudio a las posibles soluciones a cada uno de los defectos identificados y que requieran un tratamiento inmediato. Las soluciones propuestas no solo deben ser efectivas desde el punto de vista constructivo, también tienen que estar avaladas por un análisis económico exhaustivo y un cronograma de trabajo donde el plazo garantice el tiempo requerido para la correcta ejecución de los trabajos pero el justo para evitar, en la medida de lo posible, la aparición de nuevas lesiones o el empeoramiento de los deterioros identificados, que en algún caso pudieran evolucionar hasta provocar el colapso de un elemento o parte de la estructura de la edificación.

### **3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

La metodología cuenta con 10 apartados que están concebidos para el estudio general y detallado de una edificación cualquiera, para analizar y evaluar cada deterioro que exista en la edificación, sin importar al sistema que afecte. La evaluación se puede realizar a un sistema específico, una parte de la edificación o al inmueble completo. Con lo cual se llegará hasta el anteproyecto ejecutivo al concluir con la propuesta de soluciones.

La aplicación de esta metodología es factible en cualquier programa de arquitectura, solo bastará ajustar las ponderaciones y los campos a analizar a ese tipo de edificación; y para ello se propone la utilización del método de expertos Delphi, lo que garantizará, por parte de los especialistas, los indicadores adecuados para llevar a cabo la evaluación a partir de las herramientas propuestas.

Las tres herramientas planteadas para el análisis de la criticidad de los elementos, componentes o sistemas estudiados pueden ser aplicadas de forma individual, combinadas o a la vez para establecer comparaciones o validar resultados en un área determinada.

La información obtenida a partir de todo el análisis se organizará en la tabla del FMECA, donde se recoge de forma detallada todo lo referido a cada deterioro identificado, lo que resulta de mucha utilidad para la toma de decisiones, aportando valores cuantitativos y cualitativos de forma jerarquizada. Esta tabla tiene como ventaja que puede realizarse para un sistema del edificio, una parte o al total de la edificación.

### **4. CONCLUSIONES**

A partir de la aplicación de esta metodología se obtiene la información necesaria para realizar una adecuada intervención, pues se realiza el análisis completo de cada lesión, pero también se tiene el análisis global, si se evalúa la interrelación de los deterioros identificados y de estos con el resto de la edificación. Esta evaluación puede ser exhaustiva, ya que puede ser aplicada a cualquier sistema componente de la edificación, sea este constructivo, hidráulico, eléctrico, automático, mecánico, de comunicación, etc., siempre que se cuente con especialistas en cada una de las estas áreas. Todo esto servirá como base fundamentada para la toma de decisiones de cómo proceder en el edificio y para la asignación de recursos, dando la prioridad a aquellos elementos, sistemas o áreas de mayor afectación o de suma importancia.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. del Castillo, M. Brito and E. Fraga, "Análisis de criticidad personalizados," *Ingeniería Mecánica*, pp. 1-12, 2009.
- [2] A. Díaz, M. Toledo, A. del Castillo and J. Cabrera, "Obtención de un modelo de criticidad para los equipos y sistemas tecnológicos de una termoeléctrica," *Ingeniería Energética*, pp. 217-227, 2016.
- [3] Á. A. Barragán, "Confiabilidad operacional para la ingeniería del mantenimiento," in *8 Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica*, Cusco, 2007.
- [4] J. P. Diestra, L. Esquiviel and R. Guevara, "Programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para optimizar la disponibilidad operacional de la máquina con mayor criticidad," *Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 2017.
- [5] J. L. Martínez, "Análisis de criticidad aplicado a sistemas productivos en la industria," *Notas Técnicas de Prevención, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*, 2018.
- [6] E. Rodríguez, C. M. Bonet and L. Pérez, "Propuesta de sistema de mantenimiento a los vehículos de transporte urbano y agrícola de una base de transporte de carga," *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, pp. 61-67, 2013.
- [7] E. Rodríguez, C. M. Bonet, O. Castillo and L. Pérez, "Estudio de componentes críticos del sistema de alimentación de vehículos automotores," *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, pp. 65-74, 2014.
- [8] M. I. Schierloh, R. Souchetti, L. Alza and A. Almeida, "Evaluación del daño en estructuras de hormigón armado y mampostería," Salta, Argentina, 2019.
- [9] J. E. Martínez, A. E. Rivas and R. J. Matthews, "Análisis de criticidad de plataformas," *Asociación Argentina de Materiales*, pp. 29-42, 2011.
- [10] C. M. B. Borjas, "Ley de Pareto aplicada a la fiabilidad," in *12 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura*, La Habana, 2004.
- [11] Á. D. González, A. F. Barajas and A. M. Ardila, "Producción de biomasa y proteínas de *Chlorella vulgaris* Beyerinck (Chlorellales: Chlorellaceae) a través del diseño de medios de cultivo selectivos," pp. 451- 461, 2017.
- [12] M. Cruz and J. A. Rúa, "Surgimiento y desarrollo del Método Delphi: una perspectiva encimétrica," *Biblios*, pp. 91-107, 2018.
- [13] M. Herrera and Y. Duany, "Validación de procesos con análisis inicial de criticidad aplicado a la obtención del principio activo policosanol (PPG)," *Revista Colombiana de Biotecnología*, pp. 124-132, 2017.
- [14] J. L. Carmona, J. A. Cruz and L. Sánchez, "La actividad agrícola en localidades rurales en procesos conurbatorios: Una aproximación mediante el diagrama de Ishikawa," *Revista Iberoamericana de Contaduría, Economía y Administración*, 2019.
- [15] D. D. Burgasí, D. V. Cobo, K. T. Pérez, R. L. Pilacuan and M. B. Rocha, "El Diagrama de Ishikawa como herramienta de calidad en la educación: una revisión de los últimos 7 años," *TAMBARA*, pp. 1212-1230, 2021.
- [16] J. A. Morillo and M. C. Muñoz, "Justificación de los requisitos de la Norma UNE - EN ISO 9001:2000 mediante análisis de causas por el Diagrama de Ishikawa," *Industrial ICAI*, p. 2, 2004.