Propuesta De Herramientas De La Confiabilidad Operacional Al Diagnóstico De Edificios

Proposal Of Operational Reliability Tools To The Diagnosis Of Buildings

Autores:

Liyen Pérez Quiñones[1], Marietta Llanes Pérez[2]

[1]Ingeniera Civil, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Calle 114, #11901, e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana. Cuba. E- mail: liyenpq@civil.cujae.edu.cu

[2]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

RESUMEN

Ninguna edificación está exenta de sufrir el deterioro paulatino de sus materiales componentes, elementos o sistemas, por lo que deben ser sometidos a evaluaciones durante su vida útil, incluso en la vida residual, con el objetivo de intervenir para rescatar las prestaciones que fueron definidas en la etapa de diseño. La necesidad de devolver a la edificación sus características iniciales, viene dada por el valor histórico, funcional, estructural o arquitectónico del inmueble; por tanto, el diagnóstico no puede ser improvisado. Existen metodologías para guiar al equipo evaluador en todo el proceso, pero las escasas herramientas que incorporen el análisis cuantitativo en la evaluación y la jerarquización de sus deterioros o sistemas afectados conllevaron a la búsqueda en otros campos de la ciencia y la ingeniería. El Análisis de Criticidad, la Técnica de Pareto y el Método de los Impactos fueron escogidos por proporcionar niveles de criticidad al deterioro o elemento evaluado, con lo que se establece la jerarquización de estos. Estas herramientas han sido aplicadas en procesos, maquinarias e industrias, no siendo así en el diagnóstico de edificaciones. Por tal motivo se realizaron ajustes a indicadores y parámetros que serán validados por el método de expertos Delphi. Los instrumentos obtenidos permiten la valoración de la lesión, elemento o sistema, tomando en consideración aspectos técnicos, funcionales, sanitarios, económicos, ambientales y arquitectónicos.

Palabras claves: ajuste, herramientas, parámetros, validación

ABSTRACT

No building is exempt from suffering the gradual deterioration of its component materials, elements or systems, so they must be subjected to evaluations during their useful life, even in the residual life, in order to intervene to rescue the benefits that were defined in the design stage. The need to return the building to its initial characteristics is given by the historical, functional, structural or architectural value of the property; therefore, the diagnosis cannot be improvised. There are methodologies to guide the evaluation team throughout the process, but the few tools that incorporate quantitative analysis in the evaluation and ranking of their deteriorations or affected systems, led to a search in other fields of science and engineering. The Criticality Analysis, the Pareto Technique and the Impacts Method were chosen because they provide levels of criticality to the deterioration or element evaluated, thereby establishing the hierarchy of these. These tools have been applied in processes, machinery and industries, not being so in the diagnosis of buildings. For this reason, adjustments were made to indicators and parameters that will be validated by the Delphi expert method. The instruments obtained allow the assessment of the injury, element or system, taking into consideration technical, functional, health, economic, environmental and architectural aspects.

Keywords: adjustments, parameters, tools, validation

Nota editorial: *Recibido noviembre 2021; Aceptado diciembre 2021*

1. INTRODUCCIÓN

La evaluación técnico- constructiva de un edificio parte del estudio diagnóstico que se realiza a cada uno de los sistemas componentes, siempre con el objetivo final de devolver la funcionalidad o modificar las características iniciales definidas en el diseño de la edificación. Para organizar los trabajos en la realización del diagnóstico de un edificio, sistema o parte componente, se requiere establecer una metodología que guíe al equipo evaluador durante todo el proceso; estas metodologías pueden estar definidas o ser elaboradas por el propio equipo para cada objeto de estudio, dependiendo de las características de la edificación, la precisión en los resultados y la necesidad de intervención.

En Cuba, generalmente, la forma de acometer este tipo de trabajos, es a través de metodologías propuestas como la RED DURAR [1], que propone inspecciones visuales y toma de datos específicos además de la realización de ensayos [2]. Existen otras metodologías elaboradas [3-5] con un objetivo común, el estudio diagnóstico de edificios, y que concluyen con la evaluación general a partir de las inspecciones y los ensayos realizados, pero sin un orden de intervención que pueda ser definido a partir de la evaluación de las lesiones identificadas en los sistemas componentes del edificio. A partir de lo anterior surge la necesidad de indagar en otros campos de la ciencia y la ingeniería en la búsqueda de métodos o herramientas que den respuesta a esta problemática. El uso de las herramientas de la Confiabilidad Operacional para la evaluación técnico-constructiva de los edificios es un área novedosa, pero de obligatoria investigación pues resulta factible para determinar el nivel de criticidad que presenta cada deterioro detectado en la edificación. Este indicador es cuantificable y por lo tanto establece la jerarquización de las lesiones, lo que permite el análisis de cada sistema a partir de la frecuencia, el impacto y la detectabilidad de las fallas.

El Análisis de Criticidad, la Técnica de Pareto y el Método de los Impactos son herramientas nunca antes utilizadas para la evaluación del patrimonio construido, su utilización se destaca en la evaluación de procesos, maquinarias, tecnologías y otros, fundamentalmente en el área de la industria [6-10]. Por este motivo se hace necesario ajustar estas herramientas al área de la construcción en cuanto a: terminología, niveles de criticidad, indicadores y ponderación de estos.

Presentar este grupo de herramientas a criterios de expertos en la temática de evaluación de edificios, es fundamental para la validación de estos métodos novedosos en el área y su futura aplicación en el diagnóstico y valoración de los deterioros existentes en las edificaciones.

2. HERRAMIENTAS DE LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL

La Confiabilidad Operacional se define como una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción industrial. La Confiabilidad Operacional lleva implícita la capacidad de una instalación (procesos, tecnología, recursos humanos), para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un específico contexto operacional [11].

Son múltiples las herramientas de que se sirve la confiabilidad con el fin de formular planes estratégicos para lograr la excelencia en las actividades de mantenimiento, entre ellas se encuentran: análisis de criticidad, análisis de modos y efectos de falla, análisis causa- raíz, i-nspección basada en riesgos, análisis costo- riesgo- beneficio y costo del ciclo de vida.

2.1 Análisis de Criticidad

El Análisis de Criticidad es una herramienta que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones [12]. También evalúa criterios de frecuencia de falla, impacto operacional, flexibilidad operacional y su impacto en la salud e higiene ocupacional, cuyos resultados se ordenan de mayor a menor, estableciendo prioridades de actuación [13]. Para la determinación del índice de criticidad existen ecuaciones matemáticas, las más conocidas en la literatura son [14]:

- Criticidad = Consecuencia * Probabilidad de ocurrencia * Detectabilidad o, (1)
- Criticidad = Consecuencia * Probabilidad de ocurrencia (2)

Para un análisis más riguroso se propone en la literatura la determinación del índice de criticidad y el índice de complejidad, tomando como base determinados indicadores que aparecen en la Tabla 1 [15]:

Tabla 1. *Indicadores de criticidad y complejidad*

Indicadores de criticidad	Indicadores de complejidad
• Impacto a la producción (IP) • Costos promedios de mantenimiento (CM) • Frecuencia de falla (F) • Nivel de utilización (NU) • Redundancia (R) • Impacto en consumo específico de combustible (ICE) • Detectabilidad (D) • Impacto en el factor de insumo (IFI) • Impacto en salud y seguridad (ISHE) • Impacto ambiental (IA)	• Influencia de la logística (IL) • Tiempo de desmontaje (T. Des) • Influencia del entorno (IE) • Tiempo de diagnóstico (T. Diag)

Los resultados que se obtienen de los modelos de criticidad y complejidad, se ordenan en una matriz, (Figura 1), donde los valores medios permitirán establecer el contenido de los cuadrantes de dispersión de los activos [16]:
Cuadrante I contiene los equipos de mayor índice de criticidad y de complejidad
Cuadrante II los equipos de mayor complejidad y menor criticidad
Cuadrante III los equipos de menor complejidad y criticidad
Cuadrante IV los equipos de mayor criticidad y menor complejidad

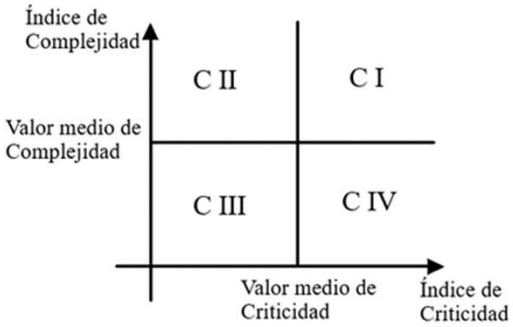


Figura 1. *Gráfico de matriz de Criticidad contra Complejidad* [16]

En la literatura también aparecen matrices de criticidad diseñadas sobre la base de códigos de colores (Figura 2), que denotan la menor o mayor intensidad de los niveles de criticidad a partir de las magnitudes de consecuencias y frecuencias de ocurrencia de eventos [17].

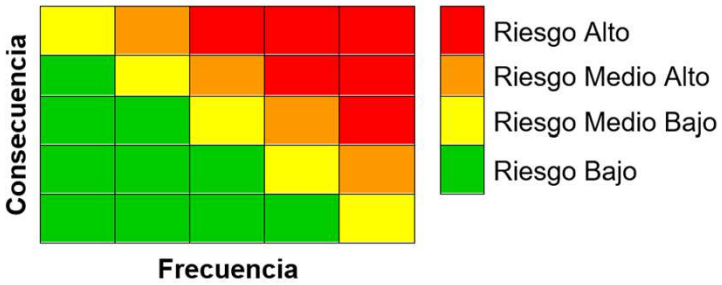


Figura 2. *Matriz de criticidad* [17]

El análisis de criticidad es una técnica de fácil manejo y comprensión en la cual se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus impactos o consecuencias, para lo cual se debe realizar la estimación de los puntajes de la frecuencia y el impacto. Los valores pueden ser definidos a partir de estudios semejantes que aparecen en la literatura [17] o a través de entrevistas y/o encuestas al personal especializado en la temática [16], donde seleccionen de acuerdo con sus criterios y conocimiento, el valor de la puntuación que será asignada a cada indicador, tomando como base las características propias de su campo de acción [15]. Los puntajes de los parámetros o indicadores pueden ser tan diversos como modelos de análisis de criticidad existan, pues cada equipo evaluador puede elaborar y validar su propia metodología.

2.2 Técnica de Pareto

Esta técnica se basa en un análisis estadístico, en este caso aplicado a la fiabilidad y se realiza el análisis a partir de las frecuencias que presentan las fallas identificadas en un sistema, con lo que se obtiene la clasificación de las mismas en clase A, B y C (Tabla 2). 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 porcientos obtenidos en cada clase (Tabla 3) [9].

Tabla 2. *Resumen estadístico de Pareto* [9]

Identificación de la falla	Frecuencia ocurrencia	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Suma acumulada	Frecuencia Acumulada	Clasificación por categorías
1	-	-	-	-	-	A
2	-	-	-	-	-	A
3	-	-	-	-	-	A
4	-	-	-	-	**80**	A
5	-	-	-	-	-	B
…	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	C
Total	-	-	-	-	-	

Tabla 3. *Resumen por clases* [9]

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	-	-	-	-	-

2.3 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 las categorías para cada uno de los elementos analizados y se decide cuál es la categoría que le corresponde a dicho elemento. [10]

I. Intercambiabilidad	X. Seguridad operacional
II. Régimen de Operación	XI. Condiciones de explotación
III. Nivel de Utilización	XII. Protección del medio ambiente
IV. Parámetro principal	XIII. Comportamiento operacional precedente
V. Mantenibilidad	XIV. Calificación del operario
VI. Conservabilidad	XV. Caracterización y exigencias del cliente al cual se le presta un servicio
VII. Grado de automatización	XVI. Valor de la hora de trabajo de la máquina
VIII. Valor de la máquina	
IX. Factibilidad de aprovisionamiento	

3. PROPUESTA DE AJUSTE DE LAS HERRAMIENTAS

A continuación, se presentan los procedimientos para la aplicación de las herramientas en el área de la evaluación técnica- constructiva de edificios. La validación de los parámetros e indicadores forman parte de un estudio, que pretende determinar qué herramienta se ajusta mejor al análisis de los sistemas componentes de una edificación. Por tal razón se ha dividido el edificio en sistema estructural, sistema no estructural y sistema hidrosanitario.

Procedimientos para la aplicación de las herramientas:

1. Determinación de los índices de frecuencia, impacto y detección para cada uno de los deterioros identificados en el sistema analizado

- Análisis de criticidad

1. Determinación del índice de criticidad por la ecuación (1) a partir de los índices determinados
2. Determinación de los niveles de criticidad por la matriz patrón, a partir de los índices de frecuencias e impactos

- Técnica de Pareto

1. Análisis estadístico de las frecuencias acumuladas a partir de los porcientos de frecuencia de ocurrencia
2. Análisis estadístico de las frecuencias acumuladas a partir del índice de impacto de cada deterioro

- Método de los impactos

1. Análisis de cada deterioro a partir de los parámetros y categorías establecidos en el método
2. Determinación de las categorías de cada deterioro

Frecuencia de ocurrencia

Para definir el índice de frecuencia o el valor del deterioro teniendo en cuenta la frecuencia de ocurrencia, se considera suficiente establecer tres niveles, para los cuales se proponen diferentes rangos o intervalos que deben ser seleccionados por los especialistas a partir de su experticia en la evaluación de edificios. A continuación la Tabla 4 muestra lo presentado a los expertos.

Tabla 4. *Selección de los rangos en el índice de frecuencia*

Frecuencia	Valor del deterioro	Índice de frecuencia (porciento de ocurrencia) (%)					Descripción
Alta	3	>50	>60	>70	>80	>90	Se busca el % del total de veces que aparece un deterioro con respecto al total de las lesiones identificadas
Media	2	5- 50	15- 60	25- 70	35- 80	40- 90	
Baja	1	<5	<15	< 25	<35	<40	
Selección							

3.1 Impacto o consecuencia

El impacto que genera una lesión está dado por las consecuencias que genera la existencia de esta en un elemento o sistema determinado, ello se puede evaluar a partir de los campos o áreas afectadas por un deterioro determinado, estableciendo valores que dependan de su importancia. Lo primero a definir en la determinación del índice de impacto, son los campos que pueden ser afectados por cualquier lesión que aparezca en los sistemas componentes del edificio.

- Estructura: Este campo se tendrá en cuenta cuando la lesión identificada afecte directamente los sistemas componentes de la edificación, sean estructurales o no.
- Funcionalidad: Se tomará en cuenta si el deterioro afecta alguno de los procesos o flujos que forman parte indispensable de la funcionalidad de la edificación, interrumpiendo o entorpeciendo las actividades propias según su misión.
- Salud: Está determinado para las lesiones que afectan la salud de los usuarios o visitantes de la edificación.
- Medio Ambiente: Se tendrá en cuenta cuando la lesión afecte de forma directa el espacio en que se desarrolla la vida de los organismos y su interacción.
- Afectación económica: Cuando se afecta la producción, los servicios, la actividad económica u otros sistemas independientes del analizado.
- Confort: Este campo está directamente relacionado con el bienestar y la comodidad de la persona en su medio, que puede ser su centro de trabajo, su vivienda o el lugar que suele frecuentar.
- Estética: Se tomará en cuenta cuando los deterioros afecten la armonía arquitectónica.
- Disponibilidad: Está asociado a los recursos necesarios para el restablecimiento de la zona afectada por la lesión.
- Costo por reparación: El objetivo de toda evaluación es la valoración de reparación del elemento o sistema afectado.

Tabla 5. *Definición de los campos afectados*

Campos que afecta el deterioro		**Descripción**
Campo	**Selección**	El impacto se tendrá en cuenta según la cantidad de campos que afecte un mismo deterioro
1. Estructura		
2. Funcionalidad		
3. Salud		
4. Medio Ambiente		
5. Afectación económica		
6. Confort		
7. Estética		
8. Disponibilidad		
9. Costo de reparación		

Para fundamentar la afectación en cada uno de los campos se establecen los indicadores que se deben considerar en estos (Tabla 6), los que pueden ser modificados por los especialistas encuestados.

Tabla 6. *Indicadores a considerar en los campos*

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cargas Uniones Elementos estructurales Elementos no estructurales Instalaciones eléctricas Instalaciones hidráulicas Instalaciones sanitarias	Procesos Flujos	Contaminación del aire Contaminación del agua Contaminación electromagnética	Naturaleza Sociedad Humanidad	Actividad económica Proceso de producción Afectación a otros sistemas o elementos	Confort visual Confort higrotérmico Confort acústico Confort olfativo Confort sicológico	Conceptos Formas Colores	Mano de obra Materiales Tecnologías	

Definidos los indicadores que se deben tener en cuenta en cada uno de los campos es necesario precisar la importancia de estos, para lo que se ha establecido un rango de 1 a 3. Es decir, que los expertos deben seleccionar los campos y su nivel de importancia tomando en consideración los indicadores que responden a estos.

Tabla 7. *Nivel de importancia de los campos seleccionados*

Campos que afecta el deterioro	
Campo	**Nivel de importancia Del 1 al 3**
Estructura	
Funcionalidad	
Salud	
Medio Ambiente	
Afectación económica	
Confort	
Estética	
Disponibilidad	
Costo de reparación	

Para determinar el índice de impacto de un deterioro se establece la sumatoria de todos los campos afectados directamente por este. Ecuación (3)

$$Índice\ de\ impacto = \sum importancia\ de\ los\ campos\ afectados \quad (3)$$

Se propone, a partir de los niveles de importancia de los campos y la máxima sumatoria de esta, establecer los rangos o intervalos que darán como resultado el índice de impacto de cada deterioro. Tabla 8

Tabla 8. *Selección de los rangos en el índice de Impacto*

Impacto	**Valor del deterioro**	**∑ importancias de los campos afectados**			**Descripción**
Severo	3	>10	>20	>30	Se determinan todos los campos que son directamente afectados por el deterioro analizado
Moderado	2	5- 10	15- 20	20- 30	
Perceptible	1	<5	<5	< 5	
Selección					

3.2 Detectabilidad

Para la detectabilidad de una lesión se debe analizar la dificultad para detectar y/o analizar el estado de esta (Tabla 9), asociado a los recursos que se requieren para ello. A continuación, se muestra la propuesta para la determinación de este índice.

Tabla 9. *Valor del deterioro en cuanto a detección*

Detección	**Valor del deterioro**	**Descripción**
Incierta	3	Hay pocas posibilidades de detectar la aparición de la lesión primaria (se requiere la opinión de expertos y uso de equipos)
Casi cierta	2	La probabilidad de detección de la lesión primaria es moderada (se requiere solo la opinión de expertos)
Cierta	1	Por lo general es fácil de detectar la aparición de la lesión primaria (cualquier persona puede detectar la existencia)

En este caso solo es necesario la aceptación o no por los expertos y/o la modificación de los criterios planteados en la tabla anterior.

3,3 Análisis de Criticidad

Una vez determinados los índices de frecuencia, impacto y detección se procede al cálculo del índice de criticidad por la ecuación (1). El valor obtenido de este índice no brinda límites para los intervalos de los diferentes niveles de criticidad, es por ello que se recomienda el análisis a través de la matriz. Para la determinación de los niveles se propone una matriz de 3x3 (Tabla 10) basada en un código de colores que los especialistas deben definir. En esta matriz la intersección de los menores valores de frecuencia e impacto corresponde a los deterioros con menores índices presentados en estos parámetros y para el caso de los máximos valores de los mismos parámetros están asociados a los deterioros con mayores frecuencias de ocurrencia e impacto severo en la edificación.

Tabla 10. *Matriz de criticidad*

Matriz de criticidad		Impacto		
		1	2	3
Frecuencia	3			
	2			
	1			
Niveles de criticidad				
Alto (A)	Medio (M)		Bajo (B)	

3.4.**Técnica de Pareto**

En la literatura se recomienda, para el estudio de fiabilidad de un sistema, realizar el análisis estadístico a partir de las frecuencias de ocurrencia [9], este parámetro no es el que más influye en las construcciones, por lo que se propone analizar además estadísticamente el impacto que las lesiones existentes pueden generar (Tabla 11). Para el análisis, se toman como valores de frecuencia, el conteo de deterioros o el porciento del área afectada y para el caso del análisis del impacto se toma la sumatoria de las importancias dadas a los campos afectados. La determinación de las clases se mantiene sin modificaciones.

Tabla 11. *Análisis estadístico de Frecuencia o Impacto*

Identificación de la falla	Frecuencia/ Impacto de deterioros	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa	Suma acumulada	Frecuencia Acumulada	Clasificación por categorías
1	-	-	-	-	-	A
2	-	-	-	-	-	A
3	-	-	-	-	-	A
4	-	-	-	-	80	A
5	-	-	-	-	-	B
...	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	C
Total	-	-	-	-	-	

El análisis estadístico a partir de las frecuencias acumuladas no requiere ser avalado por los expertos en el tema de diagnóstico de edificios, pues se trata de una herramienta válida para cualquier rama de la ciencia, aportando valiosos resultados para la toma de decisiones.

3.5 Método de los impactos

El método cuenta con 16 parámetros que no se ajustan a las condiciones de una edificación, por lo que serán presentados a los especialistas para la selección de aquellos que mejor se adaptan a las características del objeto de estudio. En cada deterioro deben ser analizados todos los parámetros y definida su categoría.

____1. Intercambiabilidad: Consiste en la facilidad de ser sustituido el elemento deteriorado por otro similar.

____2. Régimen de Operación: Se refiere a la posibilidad de que el elemento pueda cumplir su función con presencia del deterioro.

____3. Nivel de utilización: Este representa la vida útil de cada parámetro de la edificación

____4. Parámetro principal: Se refiere a un parámetro característico del elemento que garantiza la calidad de su función.

____5. 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.

____6. 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.

____7. Grado de automatización: Este parámetro evalúa los grados de libertad del elemento para trabajar sin la acción del hombre.

____8. Seguridad operacional Consiste en evaluar la medida en que el elemento puede afectar al hombre.

____9. 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.

____10. 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.

____11. Condiciones de explotación: Tiene en cuenta las condiciones que caracterizan la explotación del elemento.

____12. Protección del medio ambiente: Se refiere a la posible afectación al medio que produce la existencia del deterioro.

____13. Comportamiento precedente: Se refiere a la aparición repetida de un deterioro en un mismo elemento.

____14. Calificación del operario: Está relacionado con el nivel y habilidad del operario que tiene la responsabilidad del mantenimiento y reparación del elemento.

____15. 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.

____16. Valor de la hora de trabajo de la detección del deterioro: Se refiere a lo que cuesta producir una hora de trabajo durante la explotación del elemento.

A continuación, se presenta el ajuste de las categorías con las modificaciones pertinentes para el área de la construcción. Estas definen el nivel de criticidad del elemento o deterioro analizado. Los especialistas, en el cuestionario, deben aceptar o no la propuesta presentada y realizar los comentarios necesarios y suficientes para su posterior modificación. Con lo cual, se puede interpretar que la categoría A se corresponde a los deterioros de mayor nivel de criticidad, la categoría B a los de nivel medio de criticidad y la categoría C a los de bajo nivel de criticidad.

1. Intercambiabilidad:
   A. Si el elemento afectado por dicho deterioro es irremplazable, o su labor no puede realizarse por ningún otro componente
   B. Si es reemplazable su función por otro elemento
   C. Si su función puede ser ejecutada por cualquier otro elemento semejante
2. Régimen de Operación:
   A. Deterioros que impiden el funcionamiento del elemento que afecta
   B. Deterioros que afectan en alguna medida el funcionamiento del elemento
   C. Deterioros que no afectan el funcionamiento del elemento

3. Nivel de utilización
   A. Los elementos más utilizados, que cualquier necesidad de mantenimientos correctivo afectaría le edificación
   B. Son menos utilizados, puede haber mantenimiento sin afectar otros elementos
   C. Muy poco utilizados, puede haber mantenimientos sin afectar otros elementos
4. Parámetro principal
   A. Los que poseen el parámetro de mayor valor
   B. Los de valor medio
   C. Los de bajo valor
5. Mantenibilidad:
   A. 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
6. Conservabilidad:
   A. Deterioros que aparecen debido a la agresividad del medio en que se encuentra el elemento
   B. Deterioros que aparecen debido a la inadecuada explotación del elemento
   C. Deterioros que aparecen producto a condiciones normales de explotación y tiempo de uso del elemento
7. Grado de automatización
   A. Elementos automatizados, los cuales prácticamente laboran sin la acción del hombre
   B. Elementos semiautomáticos, el hombre tiene que intervenir
   C. Elementos no automáticos
8. Seguridad operacional
   A. Son aquellos deterioros que generan gran impacto en la seguridad, es muy peligrosa su existencia
   B. Son aquellos que pueden provocar impactos menos graves
   C. Son poco peligrosos y no ofrecen inseguridad
9. Valor del deterioro:
   A. Los de mayor valor
   B. Los de valor moderado
   C. Los de menor valor
10. Factibilidad de aprovisionamiento:
   A. Aquellos deterioros con dificultades serias en el aprovisionamiento para la reparación
   B. Los que tienen asegurado el abastecimiento de algunos equipos y materiales
   C. Los que poseen grandes posibilidades de suministros de equipos y materiales
11. Condiciones de explotación
   A. Son deterioros que imposibilitan la explotación del elemento
   B. Deterioros que modifican las condiciones de explotación del elemento
   C. Serán los que no interfieren en la explotación del elemento
12. Protección del medio ambiente:
   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
13. Comportamiento precedente:
   A. Deterioro que aparece periódicamente en el mismo elemento
   B. Deterioro que aparece esporádicamente en un elemento
   C. Deterioro que aparece por vez primera
14. Calificación del operario:
   A. El operario requiere de gran especialización para acometer la reparación de un deterioro
   B. El operario no requiere especialización
15. Caracterización de los trabajos de reparación:
   A. Máxima exigencia en el control de un trabajo
   B. Requiere control moderado
   C. No requiere control durante la realización de los trabajos
16. Valor de la hora de trabajo para la detección del deterioro
   A. Mayor valor de hora de trabajo
   B. Menor valor de hora de trabajo

4. CONCLUSIONES

Con los ajustes propuestos al Análisis de Criticidad, la Técnica de Pareto y el Método de los Impactos, se obtienen tres herramientas para aplicar en el estudio diagnóstico de edificios, a partir de los índices de frecuencia, impacto y detectabilidad y del análisis de parámetros técnicos- económicos. Estas herramientas proporcionan resultados cualitativos y cuantitativos de los niveles de criticidad, que permiten la valoración de la lesión, elemento o sistema evaluado, tomando en consideración aspectos técnicos, funcionales, sanitarios, económicos, ambientales y arquitectónicos. Como parte del estudio, las herramientas ajustadas serán aplicadas a los sistemas componentes de una edificación, con el objetivo de validar de forma práctica los indicadores y parámetros propuestos. Además se debe corroborar la factibilidad de aplicación de las tres herramientas en los sistemas: estructural, no estructural e hidrosanitario.

Referencias Bibliográficas

[1] I. D. Cruz, F. C. Mestre y J. M. R. Ruiz, «Diagnóstico estructural de los edificios IMS de 18 niveles del centro urbano Sierra Maestra,» *Ciencia en su PC,* nº 1, pp. 47-57, 2011.

[2] CYTED, Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado, Brasil, 1997.

[3] D. C. Sánchez, K. M. L. Chang y J. L. C. Sánchez, «Un nuevo enfoque para la estimación preliminar de la vulnerabilidad sísmica de instalaciones educacionales,» *Revista de Arquitectura e Ingeniería,* vol. 14, nº 1, pp. 1-20, 2020.

[4] J. A. C. Hernández, C. A. R. Morfa, M. M. G. Lorenzo y O. L. Jiménez, «Utilización de la Inteligencia Artificial en el diagnóstico patológico de edificaciones de valor patrimonial,» *Informes de la Construcción,* vol. 64, nº 527, pp. 297-305, 2012.

[5] A. H. Oroza y D. G. Bouza, «Influencia del micro-ambiente en el interior de una edificación sobre la corrosión del acero de refuerzo,» *CENIC Ciencias Químicas,* vol. 46, pp. 45-55, 2015.

[6] S. Noguera, L. Amendola, T. Depool y J. Belisario, «Análisis de sensibilidad en modelo de criticidad del aerogenerador como soporte para implementar proyecto de gestión de mantenimiento de activos,» de *XIV International Congress on Project Engineering*, Madrid, 2010.

[7] M. B. H. Calzada, M. L. B. Vallina, A. M. d. C. Serpa, E. F. Guerra y A. D. Concepción, «Análisis de criticidad de grupos electrógenos de la tecnología fuel oil en Cuba,» *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias,* vol. 21, nº 3, pp. 55-61, 2012.

[8] J. E. M. Frías, A. E. Rivas y R. J. Matthews, «Análisis de criticidad de plataformas,» *Asociación Argentina de Materiales,* pp. 29-42, 2011.

[9] C. M. B. Borjas, «Ley de Pareto aplicada a la fiabilidad,» *Ingeniería Mecánica,* vol. 8, nº 3, pp. 1-9, 2005.

[10] E. Rodríguez, C. M. Bonet y 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,* vol. 22, nº 2, pp. 61-67, 2013.

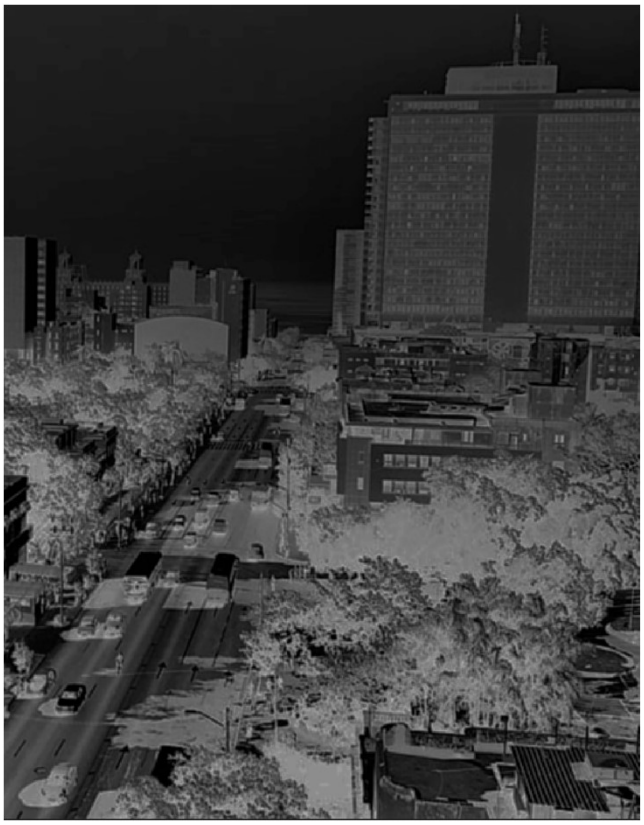
[11] Á. Aguinaga, «Confiabilidad operacional para la ingeniería del mantenimiento,» de *8 Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica*, Cusco, 2007.

[12] Y. Oropesa y Y. Álvarez, «El análisis de criticidad como herramienta para disminuir las fallas en los activos,» *CubaMan, Nota Técnica,* nº 361, 2018.

[13] H. Espín y A. Cabrera, «Análisis de Criticidad y AMEF para Gestión de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad,» Buenos Aires, Argentina, 2018.

[14] A. del Castillo, M. Brito, Brito y E. Fraga, «Análisis de criticidad personalizados,» *Ingeniería Mecánica,* pp. 1-12, 2009.

[15] A. Díaz, M. Toledo, A. del Castillo y J. Cabrera, «Obtención de un modelo de criticidad para los equipos y sistemas tecnológicos de una termoeléctrica,» *Ingeniería Energética,* pp. 217-227, 2016.

[16] A. Díaz, F. Pérez, A. del Castillo y M. L. Brito, «Propuesta de un modelo para el análisis de criticidad en plantas de productos biológicos,» *Ingeniería Mecánica,* vol. 15, nº 1, pp. 34-43, 2012.

[17] E. Gutiérrez, M. Aguero y I. Calixto, «Análisis de Criticidad Integral de Activos,» de *www.reliarisk.com*, Maracaibo, Estado Zulia, Venezuela, 2007.