

---

## **Evaluación constructiva de edificio de vivienda según herramientas de confiabilidad operacional.**

Construction evaluation of housing building according to operational reliability tools

**Roseli García Mesa<sup>1</sup>**

Ingeniero civil, Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología/ Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”-Cuba

roseli.garcia@cigb.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7050-6073>

**Manuel Pedroso Martínez<sup>2</sup>**

Ingeniero civil. Doctor en Ciencias. Profesor Titular. Universidad José Eduardo Dos Santos. Instituto Superior Politécnico de Huambo-Angola.

manuel.pedroso@umcc.cu manuelypedrosomartinez88@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9767-9379>

**Osbel Morales Armas<sup>3</sup>**

Universidad Agraria de La Habana. Cuba. Osbel1985@nauta.cu.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5620-8044>

García Mesa, R; Pedroso Martínez. M.; Morales Armas O. (2024). Evaluación constructiva de edificio de vivienda según herramientas de confiabilidad operacional. Revista pensamiento transformacional.

### **Resumen.**

Finalizado el Periodo Especial, se detuvieron abruptamente obras en etapas iniciales de ejecución. Valorar estos inmuebles, reducirá vulnerabilidades que afectan las actividades de la población, siendo importante la identificación de deterioros, análisis y manejo de estos para contribuir al logro de objetivos trazados. Esta investigación empleó una metodología existente para evaluar deterioros en edificaciones, con el propósito de medir su efectividad ante un edificio de viviendas que interrumpió su construcción hace treinta años y, emplear el resultado obtenido de un estudio patológico previo. Se clasificaron deterioros atendiendo al origen y luego fueron sometidos a un análisis de criticidad. Este análisis tomó en cuenta la frecuencia de aparición, el impacto que pudiera generar y dificultad de detección; dando un total de siete deterioros con Alta Criticidad, originados en la etapa de paralización, lo que representa el 46.6% de 15 deterioros identificados en todos los elementos estructurales.

Además, se utilizó la herramienta de análisis de modos de falla, efecto y su criticidad para la jerarquización de deterioros identificados, lo que evidenció que el 60% de las causas de la aparición de deterioros fueron por irresponsabilidades en la etapa de paralización de la obra y la falta de mantenimiento tanto preventivo como correctivo.

**Palabras clave:** Confiabilidad operacional, evaluación constructiva, mantenimiento.

### **Abstract.**

Once the Special Period ended, works in the initial stages of execution were abruptly stopped. Valuing these properties will reduce vulnerabilities that affect the activities of the population, being important the identification of deterioration, analysis and management of these to contribute to the achievement of set objectives. This research used an existing methodology to evaluate deterioration in buildings, with the purpose of measuring its effectiveness in a residential building that stopped construction thirty years ago and using the result obtained from a previous pathological study. Deteriorations were classified according to the origin and were then subjected to a criticality analysis. This analysis took into account the frequency of appearance, the impact it could generate and difficulty of detection; giving a total of seven deteriorations with High Criticality, originating in the stoppage stage, which represents 46.6% of 15 deteriorations identified in all structural elements. In addition, the analysis tool of failure modes, effect and its criticality was used to prioritize the identified deteriorations, which showed that 60% of the causes of the appearance of deteriorations were due to irresponsibility in the stoppage stage of the work and the lack of both preventive and corrective maintenance.

**Keywords:** operational reliability, constructive evaluation, maintenance.

## **1 Introducción**

Después de 1959 la vivienda cubana se ha caracterizado por un estándar general y uniforme correspondiente al modelo de la vivienda social masiva nacida en Europa a inicios del siglo XX y, a diferencia de lo que sucede en otros países en desarrollo, continúa siendo una responsabilidad del Estado. En los 80s cobró fuerza la conservación de los centros urbanos tradicionales y la crisis de los 90s obligó a abandonar definitivamente la industrialización pesada y buscar soluciones alternativas.

En la actualidad la actividad de mantenimiento ha pasado de una concepción reactiva a una proactiva que tiene al cumplimiento de la demanda del cliente en su enfoque fundamental, observándose que una de las estrategias que se imponen es la confiabilidad operacional (Cocepción, 2021). La necesidad de devolver a la edificación o acercarla a las características iniciales de esta, viene dada por el valor histórico, funcional, estructural o arquitectónico del inmueble; por tanto, el diagnóstico no puede ser improvisado, por ello existen metodologías para guiar al equipo evaluador en todo el proceso, pero las escasas herramientas de ese tipo, conllevaron a la búsqueda en otros campos de la ciencia y la ingeniería. 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 (Arata, 2009). Un grupo de sus herramientas fueron seleccionadas para aplicarlas en el sector de la construcción en la evaluación de edificaciones, incorporando en la evaluación, el análisis cuantitativo y la jerarquización de sus deterioros o sistemas afectados (Quiñones, 2021).

En el desarrollo de la tesis de Máster de la ingeniera cubana (Pérez, 2022) quedaron establecidos los parámetros, atributos y categorías validados para un tipo de evaluaciones, que permiten su aplicación en el sector de la construcción, con el fin de determinar el estado técnico de las edificaciones y determinar el nivel de criticidad de los deterioros identificados. Quiñones concluyó que no se emplean en Cuba herramientas para la evaluación técnica constructiva de edificios, que minimicen la variabilidad de criterios en parámetros cualitativos y orienten a través de ellos a una evaluación integral. Se propusieron tres herramientas que fueron caracterizadas a partir de su aplicación en cada uno de los sistemas, donde resultó que el Análisis de criticidad es la herramienta más conveniente para su aplicación en el sistema estructural, el método de los impactos es conveniente para el sistema no estructural y la Técnica de Pareto para el sistema hidrosanitario (Quiñones, 2021, 2022).

Los gestores de mantenimiento deben ser capaces de asignar adecuadamente los recursos disponibles (humanos, económicos y tecnológicos) basados en los riesgos asociados a los eventos de falla, permitiendo implementar estrategias y tomar decisiones efectivas en la gestión de mantenimiento. Por esta razón, surgen técnicas de jerarquización de activos bajo el análisis de criticidad de elementos componentes y sistema que permiten determinar la importancia de los

mismos en las operaciones y las consecuencias de los potenciales eventos de falla en los diferentes sistemas. El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que permita determinar la jerarquía de los procesos, equipos y sistemas en un proceso permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable (Crespo, 2012; Niño e Parra, 2018).

Matemáticamente la criticidad o naturaleza crítica de un sistema, se define como la frecuencia con la que ocurre una falla multiplicada por la magnitud de la consecuencia. El Índice de Criticidad o Criticidad está conformado por la interacción del Índice de Probabilidad de Falla y el Índice de Consecuencia para la misma falla (Li, 2021). El modo de falla potencial se define como la forma en la que un elemento o conjunto pudiera fallar potencialmente a la hora de satisfacer el propósito de diseño/proceso, los requisitos de rendimiento y/o las expectativas del cliente (Xu y Wang, 2022). El efecto de falla es el síntoma detectado por el cliente/usuario del modo de fallo, es decir si ocurre el fallo potencial cómo lo percibe el cliente, pero también cómo repercute en el sistema. La causa o causas potenciales del modo de fallo están en el origen del mismo y constituyen el indicio de una debilidad del diseño cuya consecuencia es el propio modo de fallo (Bestratén, 2004).

### 1.1 Deterioros presentes en los elementos estructurales

Para la obtención de los deterioros el autor se apoyó en los resultados de un estudio patológico instrumentado, que ejecutó un comité de expertos de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas, ENIA por sus siglas, que diagnostica todo tipo de estructuras. Las Figuras 1 a la 4 muestran los daños que más se repiten.



**Figura 2:** Desplome de losa de balcón debido a falla de cono de cables de postesado  
**Fuente:** Tomada por los autores.



**Figura 3:** Entrepiso 2 con eflorescencias y manchas de humedad. Buena coloración del hormigón en columnas. **Fuente:** Tomada por los autores.



**Figura 4:** Suciedad en fachadas  
**Fuente:** Tomada por los autores.



**Figura 5:** Organismos vegetales en el sótano de la edificación. **Fuente:** Tomada por los autores.

Se identificaron 15 deterioros, los que se muestran en la Tabla 1 y el número de veces que aparecen en el sistema inspeccionado.

*Tabla 1: Listado de los deterioros y su origen*

Deterioro	Cantidad	Etapa
Humedad de filtración	5	
Humedad accidental	5	Explotación
Suciedad	5	
Deformaciones de pandeo	1	
Fisuras por acabado	2	Ejecución
Eflorescencias	5	
Organismos Animales y Vegetales	5	
Tensión de los cables de alto límite elástico	1	Explotación
Lixiviación	3	
Oxidación	3	
Par Galvánico	3	
Corrosión	2	
Desplomes	1	Ejecución
Desprendimientos	1	
Erosión Química	1	Explotación
Total	43	

Lo antes descrito sienta las bases para decidir sobre cuáles deterioros intervenir de forma inmediata o de manera diferida, cuantificar su impacto y comparar su evolución a través del tiempo.

## 2 Materiales y Métodos

El objeto de obra se ubica en un municipio que abarca un área de 36,8 km<sup>2</sup>, que representa el 8,95% de la extensión de la provincia; población total 179 866 habitantes para una densidad de 5011.26Hab/km<sup>2</sup>. Altitud media 30m sobre el nivel del mar. El edificio, ver figura 5,

limita al frente con un centro de alta tecnología, por el lateral derecho saliendo con una calle secundaria, por el lateral izquierdo saliendo con oficinas inmobiliaria importadora y por el fondo con edificios IMS de 14 y 18 pisos de altura.

El sistema IMS variante PVYC (Planta de Viviendas Yugoslava en Cuba) se introdujo a finales de la década del 70, destinándose a la producción de elementos que conforman edificios de viviendas de 5 1 8, 12, y 18 plantas Diéguez-Cruz, (2011).



**Figura 5:** En rojo la ubicación del edificio con respecto a su entorno.  
**Fuente:** Elaboración propia.

La estructura portante está compuesta por un sistema de exosqueleto, formado por columnas y losas casetonadas postensionadas, las vigas se crean cuando se hormigonan las juntas entre los elementos horizontales (losa-losa 1 losa-viga de borde) que conforman el diafragma horizontal y son las encargadas de resistir las fuerzas gravitacionales transmitiéndolas a los elementos verticales y estos a su vez a la cimentación González, (2020). Con el fin de reducir las deformaciones horizontales producto de la acción de cargas horizontales (viento), se disponen tímpanos o diafragmas en determinados módulos de la retícula aporticada, lo más simétricos posibles para evitar excentricidades por torsión, estos tienen continuidad vertical desde la cimentación hasta el último nivel y se disponen en la planta en igual cantidad en los dos sentidos de la edificación González, (2009), Cordoví, (2020).

Las cargas laterales son resistidas por los elementos que conforman los entrepisos y cubiertas transmitiéndola a los elementos verticales, absorbiendo los tímpanos el 83 % de esta sollicitación y los pórticos sólo absorben el 17 %. La carga de viento no representa amenaza representativa debido a la relación existente entre altura y lado menor del inmueble. La edificación paralizó su construcción en el año 1992, y se ha mantenido en estado de inactivación desde entonces, sin que se haya obrado alguna acción de mantenimiento o protección de sus elementos fundamentales (Courret, 2021).

## 2.1 Análisis de criticidad

En este caso el análisis se realiza mediante tablas que agrupan y clasifican los deterioros, cuyo estudio logra la jerarquización de los fallos, dependiendo de la frecuencia de

ocurrencia, el impacto y además de la dificultad para la detección de las mismas. Para la jerarquización se le asignará un peso a los parámetros a analizar en cada deterioro a partir de las tablas patrones definiendo la cantidad de veces que aparece el mismo, otro peso según la severidad de su impacto y por último un valor dependiendo de la dificultad para la detección.

La frecuencia de ocurrencia permite medir la frecuencia de aparición del deterioro, se toma como valor de referencia el total de deterioros y el valor a comparar, la cantidad identificada del deterioro analizado.

Para determinar la tabla patrón referida a la frecuencia de ocurrencia, se toma la totalidad de los deterioros representando el 100%, definiendo la frecuencia en Muy Alta, Alta, Media, Baja y Poco frecuente, asignando a cada una un intervalo de ocurrencia en porcentos, como se muestra en la Tabla 2, dando un mayor valor al deterioro que supere el 90% de ocurrencia y un menor valor a aquel que represente menos del 25%. No en todos los casos será necesario determinar el porcentaje que representa la cantidad de veces que aparece el deterioro, pues se puede considerar el área que ocupa esta lesión con respecto al área de la cubierta, también en términos de porcentaje. La matriz patrón, se elaboró a partir del análisis de lo planteado por Quiónes, (2021); Galán, (2017).

**Tabla 2: 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	

Para la valoración del impacto del deterioro, que se traduce en las consecuencias que se producen por la aparición de la falla, se tiene en cuenta la cantidad de campos en los que incurre. En el caso específico de hospitales se considera la funcionalidad como el aspecto más relevante a tener en cuenta, pues se trata de la instalación donde concurren aquellas personas con la salud afectada y por ello se asigna un valor superior a este campo, disminuyendo razonablemente en otros donde el impacto de las lesiones no genere grandes consecuencias.

Los campos que se definen son: funcionalidad, estructura, salud, confort y estética, disminuyendo su valor en el orden presentado. El valor del impacto del deterioro, no sería más que la sumatoria de los valores que representa cada uno de los campos que serán afectado por el mismo, Tabla 3.

**Tabla 3: Índice de impacto**

Impacto del deterioro	Peso del deterioro	Campos que afecta el deterioro		Descripción
		Campo	Valor	
Catastrófico	5	Funcionalidad	1.50	El impacto se tendrá en cuenta según la cantidad de capos que afecte un mismo deterioro
Grandes daños	4	Estructura	1.25	
Daños medios	3	Salud	1.00	
Daños bajos	2	Confort	0.75	
Perceptibles	1	Estética	0.50	

En la valoración de la dificultad para la detección del deterioro se asigna el valor o el peso según el grado de dificultad que presente este para ser detectado, en este caso se define dicha detección como: incierta, baja, mediana, alta y casi cierta, dando el mayor valor a aquellos que su detección sea difícil, pues se requiere de equipamiento para ello y un menor valor cuando el deterioro puede ser detectado hasta por el usuario de la edificación, ver Tabla 4. En este estudio utilizó equipamiento, además de inspecciones organolépticas, a través de una comisión de diagnóstico de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA).

*Tabla 4: Nivel de detección del deterioro*

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, según la Ecuación 1, para obtener un valor cuantitativo con el cual analizar los deterioros y obtener el grado de criticidad de los mismos [7, 8].

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

Donde:

F: Frecuencia de fallos

I: Impacto del deterioro

D: Detectabilidad

Para la evaluación de los deterioros basta con aplicar la ecuación antes planteada, sin embargo, otra forma de obtener estos resultados es a través de la Matriz de Criticidad, donde se define la criticidad de cada deterioro en la interacción de la probabilidad de ocurrencia de fallo (frecuencia) y la consecuencia del mismo (impacto), como se muestra en la Tabla 5. La

matriz patrón, se elaboró a partir del análisis de lo planteado por Herrera [9]. Esta matriz presenta forma escalonada y muestra a través de colores cuán crítico resulta un deterioro haciendo uso de los valores obtenidos para la frecuencia y el impacto. Resultará el deterioro más crítico el que presente el mayor valor de frecuencia y el mayor valor de impacto y el de menor criticidad, aquel que menos veces aparece y que influye negativamente en el menor número de campos.

**Tabla 5: Matriz patrón de criticidad [17]**

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						
		MAC	AC	MC	BC	MBC
		Muy alta criticidad	Alta criticidad	Media criticidad	Baja criticidad	Muy baja criticidad

## 2.2 Análisis de modos de fallas, efectos y su criticidad (FMECA)

FMECA es una técnica cualitativa asociada a la predicción de la fiabilidad y un medio utilizado para saber cómo mejorar la fiabilidad de un diseño; también se aplica al estudio de la mantenibilidad y seguridad (Maia, 2019). Este análisis sirve para determinar qué partes fallan, la causa del fallo y qué efectos tiene en el funcionamiento global del sistema. Consiste, en términos generales, en la identificación y tabulación de los modos de fallo del ítem, la descripción de sus efectos y la evaluación de su importancia (carácter más o menos crítico). Este análisis es un procedimiento iterativo, extendido a lo largo del diseño y desarrollo del sistema, que se aplica a cualquier nivel de integración: sistema, subsistema o componente en general (Helene, 2003; Santos, 2019).

En este estudio se realiza el análisis de modos de fallas evaluando para cada deterioro la ecuación de criticidad que toma en cuenta la detectabilidad, es decir, cuál es la dificultad para detectar el deterioro, a partir de ello se ordenan las fallas de mayor a menor criticidad, además se exponen las posibles causas y las consecuencias que pueden desencadenar (Quiñones, 2021).

## 3 Resultados

En la Tabla 6 se muestran los valores asignados a cada uno de los deterioros identificados en la cubierta en cuanto a frecuencia de ocurrencia, severidad del impacto y dificultad de detección, al aplicar la ecuación 1 análisis de criticidad se obtiene una valoración cuantitativa

del comportamiento de cada deterioro o falla, este valor de criticidad es determinante para la jerarquización de los mismos y que precisan un orden conveniente para la intervención y tratamiento de cada una de las lesiones identificadas. Aunque no siempre es posible realizar acciones de mantenimiento correctivo siguiendo el orden determinado, ya que se debe analizar el estado del sistema de forma integral para tomar decisiones oportunas. Pero sin dudas estos valores resultan una herramienta muy útil a la hora de la toma de decisiones (Quiñones, 2021).

**Tabla 6:** Valores de frecuencia, impacto, detección y criticidad

Deterioro	Frecuencia	Impacto	Detección	C=F*I*D
1	3	2	3	18
2	1	2	3	6
3	2	2	1	4
4	1	3	3	9
5	2	3	1	6
6	3	2	1	6
7	4	3	1	12
8	1	5	5	25
9	3	1	2	6
10	1	1	5	5
11	1	1	5	5
12	1	1	5	5
13	2	4	2	16
14	2	4	1	8
15	3	2	3	18

Con los valores cuantitativos obtenidos en la Tabla 6, en las columnas de frecuencia e impacto, se define el nivel de cada deterioro para trabajar con la matriz.

La matriz cuyos resultados se muestran en la Tabla 7, brinda una escala de colores, la criticidad de los deterioros, sin considerar el grado de dificultad para la detección de las lesiones, la totalidad de las fallas existentes en los elementos estructurales presentan criticidad media y baja, lo que se traduce en un estado regular/bueno general de este sistema, sin embargo, evidencian la necesidad de considerar de manera inmediata la intervención ante los agentes patógenos de humedad, para minimizar en lo posible la aparición de nuevas lesiones como consecuencia de las existentes.

**Tabla 7:** Matriz de criticidad de los deterioros

Matriz de criticidad		Impacto				
		1	2	3	4	5
Frecuencia	5		1, 2, 3, 6	7		
	4					
	3	9, 10, 11				
	2	12		5		
	1		15	4	13, 14	8

Escala de colores

MAC	AC	MC	BC	MBC
-----	----	----	----	-----

Muy alta criticidad	Alta criticidad	Media criticidad	Baja criticidad	Muy baja criticidad
---------------------	-----------------	------------------	-----------------	---------------------

Luego de haber definido el nivel de criticidad de cada uno de los deterioros haciendo uso de ambas herramientas, se procede a organizar los resultados e incorporar las consecuencias y posibles causas de los fallos identificados en la edificación, en este sentido se tomaron en cuenta las fichas de deterioros descritas por Helene, (2003), tal como se muestra en la Tabla 8, con lo que se pueden definir las causas probables que provocaron el fallo del sistema.

**Tabla 8: Resultados en el FMECA**

Deterioro (fallo)	Consecuencia del fallo	Posible causa	Nivel de criticidad	$C=F*I*$ D
Humedad de filtración	Aparición de vida vegetal Pérdida del valor estético	Falta de paneles de cierre	Alta	18
Humedad accidental	Aparición de vida vegetal Pérdida del valor estético	Falta de paneles de cierre	Alta	6
Suciedad	Pérdida del valor estético	Falta de mantenimiento Actitud irresponsable	Alta	4
Deformaciones de pandeo	Pérdida de estabilidad de los elementos	Errores en la etapa de construcción.	Media	9
Fisuras por acabado	Pérdida del valor estético	Errores en la etapa de construcción.	Media	6
Eflorescencias	Pérdida del valor estético Deterioro de pinturas, barnices	Acumulación de agua por falta de estanqueidad	Alta	6
Organismos Animales y Vegetales	Pérdida del valor estético Deterioro de pinturas, barnices y sistema de impermeabilización	Acumulación de humedad por falta de estanqueidad	Alta	12
Tensión de los cables de alto límite elástico	Colapso del entrepiso sobre elementos inferiores	Errores en la construcción. Pérdida de propiedades físicas del acero de alto límite elástico	Alta	25
Lixiviación	Pérdida de las características físico-mecánicas del hormigón Microgrietas Pérdida de cohesión en agregados del hormigón	Acumulación de aguas blandas producto de la falta de estanqueidad.	Alta	6
Oxidación	Pérdida del valor estético Pérdida acelerada de la sección transversal de las barras de refuerzo	Acumulación de humedad	Baja	5
Par Galvánico	Pérdida de sección transversal de las barras de refuerzo	Acumulación de humedad	Baja	5
Corrosión	Pérdida de sección transversal de las barras de refuerzo Pérdida de estabilidad de los elementos.	Existencia de par galvánico Errores en la etapa de construcción	Baja	5
Desplomes	Punzonamiento en elementos inferiores	Falta de mantenimiento Actitud irresponsable	Media	16
Desprendimientos	Pérdida del valor estético	Errores en la etapa de construcción	Media	8

	Punzonamiento en elementos inferiores	Falta de mantenimiento		
	Pérdida del valor estético			
Erosión Química	Pérdida de cohesión en agregados del hormigón	Falta de mantenimiento	Baja	18

#### 4 Discusión

La Matriz Criticidad dio como resultado que el 40% posee alta criticidad, el 25% media criticidad y el 35% baja criticidad, el 60% de los deterioros atendiendo al Índice de Impacto se encuentran en la clasificación de Catastróficos y Grandes Daños, estos deben ser atendidos con prontitud. Tomando en consideración que el análisis de modos de fallas, efectos y su criticidad (FMECA) evidenció que la mayoría de las causas de la aparición de deterioros fue la negligencia de las entidades encargadas de monitorear el estado del edificio y la inexistencia de un plan de mantenimiento tanto preventivo como correctivo.

De los siete deterioros que presentan alta criticidad en la matriz, cuatro se corresponden con los de mayor criticidad en la tabla de FMECA, donde se calculó por la ecuación de criticidad (1). La lesión más crítica es la pérdida de tensión de los cables de postesado, ver Figura 2, lo que ha provocado el desplome de losas de balcón en el primer nivel. Otra lesión con valor de criticidad 18 en el FMECA, son los desplomes, ocasionados por la interacción de personas inescrupulosas que intentan canivalear el acero de los elementos estructurales, así como la incorrecta paralización de obras, en cuanto a la protección de juntas y conos de postesado, que evitaban la entrada de humedad, la corrosión de elementos de acero, entre otros.

Los resultados de este informe se compararon con los obtenidos en el diagnóstico efectuado por la ENIA, para validar la utilidad de esta herramienta de análisis de criticidad, donde ambos coinciden en que el estado general de la estructura es bueno.

El análisis de criticidad tiene dos limitantes fundamentales, la primera relacionada con la inexistencia de un indicador que permita definir cuánto daño provocó la paralización de la construcción del inmueble. La otra está asociada al fallo de elementos de postesado, ya que el nivel de detección es incierto y, por ende, es preciso acudir a tecnologías como pruebas de carga en el entrepiso que ocurrió la falla.

#### 5 Conclusiones

Los siete deterioros que presentan Alta Criticidad, fueron originados en la etapa de paralización, debido fundamentalmente al ineficiente proceso de paralización y falta de mantenimiento del mismo. El 46.7% de los deterioros presentan baja frecuencia, pero alto impacto, provocando daños grandes y catastróficos para los elementos portantes, lo que afecta la funcionalidad de los mismos atentando contra la vida útil del inmueble y el encarecimiento de la intervención futura que se pretende iniciar.

La herramienta no permite analizar deterioros estructurales cuando su nivel de detección es incierto, a pesar de ello, las 15 lesiones identificadas por la ENIA y evaluadas según las herramientas de confiabilidad operacional, se pudieron validar en un 100%, ya que en ambos casos se llega a la conclusión que el estado técnico –estructural del edificio es bueno.

### **Referencias bibliográficas:**

- Arata, A., Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales. Aplicación de la Plataforma R-MES. 2009: Ril editores.
- Bestratén Belloví, M., R. Orriols Ramos, and C. Mata París, Análisis modal de fallos y efectos. AMFE. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Notas Técnicas de Prevención–679, 2004.
- Couret, D.G., La industrialización de la vivienda en Cuba. Década del 70/The Industrialization of Housing in Cuba in the 70' s. Revista Científica de Arquitectura y Urbanismo, 2021. 42(1): p. 34-47
- Concepcion, A.D., Formulación de un nuevo concepto de confiabilidad operacional. 2021.
- Cordoví, Y.S. and I.V. Quintana, V Convención Internacional de Ciencias Técnicas, Santiago de Cuba, 2020.Cuba ISBN 978-959-207-529-0.
- Crespo Márquez, A. and C. Parra, Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos. 2012, INGEMAN.
- Diéguez-Cruz, I.R., F. Calderín-Mestre, and J.M. Ruiz-Ruiz, Diagnóstico estructural de los edificios IMS de 18 niveles del centro urbano Sierra Maestra. Ciencia en su PC, 2011(1): p. 47-57.
- Helene, P.R. and F. Pereira, Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón reparación, refuerzo y protección. 2003.
- Galán, M.H. and Y. Duany-Alfonso, Validación de procesos con análisis inicial de criticidad aplicado a la obtención del principio activo policosanol (PPG). Revista Colombiana de Biotecnología, 2017. 19(1): p. 124-132
- González Couret, D., El regreso a la ciudad tradicional. Vivienda social de los 80's en La Habana. Revista INVI, 2020. 35(98): p. 45-74.
- González Couret, D., Medio siglo de vivienda social en Cuba. Revista invi, 2009. 24(67): p. 69-92.

- Gutiérrez, E., M. Agüero, and I. Calixto, Análisis de criticidad integral de activos. Obtenido de: [www.reliarisk.co: http://r2menlinea.Com/w3/PT/PT013\\_Analisis\\_de\\_Criticidad\\_Integral\\_de\\_Activos.pdf](http://www.reliarisk.co/r2menlinea.Com/w3/PT/PT013_Analisis_de_Criticidad_Integral_de_Activos.pdf), 2007.
- Quiñones, L.P., Ajuste de herramientas de la confiabilidad operacional para determinar criticidad en deterioros de sistemas componentes de edificios. 2022, Universidad Tecnológica de La Habana Jose Antonio Echeverría.
- Quiñones, L.P. and M.L. Pérez, Propuesta de adaptación de herramientas de la confiabilidad operacional al diagnóstico de edificios. *Revista ciencia y construcción*, 2021. 2(4): p. 94-105.
- Quiñones, L.P., Análisis de criticidad en impermeabilización de cubierta del hospital “Hermanos Ameijeiras”. *Revista Ciencia y Construcción*, 2021. 2(2): p. 45-54.
- Maia, É.B.d.M., Avaliação de manifestações patológicas com aplicação do método FMECA—estudo de caso. 2019.
- Niño, J. and C. Parra, Análisis de criticidad aplicado a sistemas productivos en la industria procesadora de alimentos, basado en el modelo semi-cuantitativo MCR (Matriz de Criticidad por Riesgo) Trabajo final para optar por la certificación ASME: Especialización en Mantenimiento, Mención Confiabilidad. Edita INGEMAN, 2018: p. 10.
- Li, C.Z., et al., A blockchain-and IoT-based smart product-service system for the sustainability of prefabricated housing construction. *Journal of Cleaner Production*, 2021. 286: p. 125391.
- Santos, J.d.A. and J.K. Locastro, Análise de dados de assistências técnicas realizadas no pós-obra em edifícios multifamiliares, com foco na melhoria contínua dos processos executivos de uma empresa construtora. *Journal of Exact Sciences*, 2019. 20(1).
- Xu, Z., J. Wang, and H. Zhu, A. (2022). semantic-based methodology to deliver model views of forward design for prefabricated buildings. *Buildings*. 12(8): p. 1158.

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran que no incurre en conflictos de intereses.

### **Rol de los autores**

**Roseli García Mesa**, original de Cuba, título profesional Ingeniero Civil. Participación en eventos internacionales como ponente. Miembro de la UNAICC. Aspirante a título de Master en Ingeniería Civil.

**Declaración de responsabilidad autoral**

Roseli García Mesa            40 %

Manuel Pedroso Martínez   40%

Osbel Morales Armas        20%

**Fuentes de financiamiento**

Los autores declaran que no recibieron un fondo específico para esta investigación.

**Aspectos éticos**

Los autores declaran no haber incurrido en aspectos antiéticos, ni haber omitido aspectos legales en la realización de la investigación.