

Contexto Internacional”, Universidad del Zulia, facultad Experimental de Ciencias, Maracaibo.

MES (2018). Plan de Estudio “E”. Carrera Ingeniería Civil. La Habana, Cuba.

Mesa, M. C. (2020). Vínculo Universidad-Empresa. Memorias de clausura del XII Congreso Internacional de Educación Superior Universidad 2020. Ministerio de Educación Superior (MES). La Habana, Cuba.

Miranda, T.; Vela, D.J.; Suset. A.; Machado. H. & Blanco. G. (2020). Influencia del capital social en los procesos de desarrollo local de dos municipios de la provincia Matanzas. Forrajes vol.43 no.1. Universidad de Matanzas, Cuba.

Pardo, E. & Díaz-Villamizar, O. (2014). Desarrollo del talento humano como factor clave para el desarrollo organizacional, una visión desde los líderes de gestión humana en empresas de Cuba. Suma de Negocios. 5 (11):39-48, 2014. Recuperado de: [https://doi.org/10.1016/S2215-910X\(14\)70018-7](https://doi.org/10.1016/S2215-910X(14)70018-7). [Links]

Pedroso, M.; Tarifa, L.; Artola, M. L. & Rodríguez, L. B. (2020). La integración Universidad-Empresa. Prioridad para el desarrollo de estos tiempos. Universidad de Matanzas, Cuba.

PERIÓDICO TRABAJADORES. Díaz-Canel en Universidad de Matanzas: Una ciudad de los saberes. Publicado el 29 abril, 2019 • 21:44 por Redacción Digital. Recuperado de: <http://www.trabajadores.cu/20190429/diaz-canel-en-universidad-de-matanzas-una-ciudad-de-los-saberes/>

Santana, A. D. (2021). Fortalecen en Matanzas nexos entre sector empresarial y universidad. Recuperado de: <http://www.acn.cu/cuba/75056-fortalecen-en-matanzas-nexos-entre-sector-empresarial-y-universidad>

## MÉTODO EFICIENTE PARA EL ANÁLISIS DE COLAPSO PROGRESIVO EN PUNTES DE ARMADURA DE ACERO

Ing. Reynaldo Giráldez Toledo

[reynaldo.giraldez@umcc.cu](mailto:reynaldo.giraldez@umcc.cu), <https://orcid.org/0000-0003-1429-6239>

Coautor: Ing. Annarelys Salas Navarro

[annarelys.salas@umcc.cu](mailto:annarelys.salas@umcc.cu), <https://orcid.org/0000-0001-5091-9240>

Universidad de Matanzas

### Resumen

Las estructuras sensibles al colapso progresivo son propensas a sufrir grandes daños a partir del fallo de uno o varios de sus elementos estructurales, llegando al punto de colapsar gran parte o la totalidad de esta. Este tipo de investigaciones se encuentran difundidas principalmente al análisis de este fenómeno en edificaciones, contando con normativas para el estudio de las mismas, no siendo así en el estudio de otras estructuras como es el caso de los puentes, en los cuales a lo largo de la historia se ha demostrado que es posible la ocurrencia de un colapso progresivo. El trabajo trae como objetivo definir qué método y análisis se emplea para que de forma sencilla se logre un análisis del colapso progresivo en los puentes de armadura de acero a través de modelos computacionales.

**Palabras clave:** colapso progresivo; modelo computacional; puentes.

### Abstract

Structures sensitive to progressive collapse are prone to great damage from the failure of one or more of their structural elements, reaching the point of collapsing much or all of it. This type of

research is mainly disseminated to the analysis of this phenomenon in buildings, with regulations for the study of them, not being the case in the study of other structures such as bridges, in which a long history has shown that the occurrence of a progressive collapse is possible. The objective of the work is to define what method and analysis is used so that a progressive collapse analysis is easy archived in steel truss bridges through computational models.

**Key words:** bridges; computational model, progressive collapse;

### **Introducción**

En Cuba el patrimonio de los puentes representa aproximadamente un 20 % del valor del patrimonio vial; existen puentes con más de 100 años en servicio y otros con más de 50 o 70 años (Cepero&Arestuche, 2012). Entre estas obras excepcionales se encuentra el puente de La Concordia construido en el año 1878, uno de los emblemáticos puentes de la ciudad de Matanzas; el puente Sánchez Figueras, construido entre los años 1915 y 1916, primer puente de hormigón armado de la provincia y segundo de su tipo en el país y el puente de Bacunayagua, el más alto del país con 113.5 metros de altura y considerado la séptima maravilla de la ingeniería cubana.

A lo largo de la historia existen evidencias de puentes que han sufrido los efectos del colapso progresivo, por lo cual es probable la ocurrencia de este fenómeno, que se define como la propagación de una falla local inicial de un elemento a otro, lo que eventualmente resulta en el colapso de una estructura completa o una parte desproporcionadamente grande de ella (McKay et al., 2012).

En el análisis del colapso progresivo, se han desarrollado diferentes metodologías y regulaciones para mitigar o evitar el impacto de dicho fenómeno en las estructuras. El método más empleado a día de hoy por los ingenieros estructurales es el método de la ruta alternativa debido a que en este no se considera la causa inicial del colapso, sino el comportamiento de la estructura para que sea capaz de resistir las cargas después de la eliminación de un elemento estructural que se considera en falla, por lo que es necesario aplicar este método de forma tal que se pueda obtener de manera sencilla la vulnerabilidad de los puentes ante tales efectos, para analizar su comportamiento después de la eliminación de sus elementos.

### **Desarrollo**

Concepto de colapso progresivo:

El término colapso progresivo ha sido definido por varias normas de construcción, ingenieros e investigadores de la siguiente manera:

El colapso progresivo implica una serie de fallas que conducen al colapso parcial de una estructura que provoca la redistribución de la fuerza a los elementos estructurales restantes y puede conducir al colapso total en una estructura (Lin, 2019). La Administración de Servicios Generales (GSA, 2003) define al colapso progresivo como una situación en la que la falla local de un componente estructural primario conduce al colapso de miembros adyacentes que, a su vez, lleva a un colapso adicional. El colapso progresivo de las estructuras suele ser desproporcionado. Es decir, se caracteriza por la desproporción entre un pequeño evento desencadenante y el colapso resultante de una parte importante o incluso la totalidad de la estructura (Starossek, 2018). Por tanto, se puede deducir que el colapso progresivo ocurre cuando un elemento estructural falla, provocando el fallo de los elementos adyacentes, dando como resultado el colapso parcial o total de la estructura.

Principales sucesos referentes al colapso progresivo:

A lo largo de la historia se han evidenciado diversos sucesos sobre el colapso progresivo de edificios y puentes que han provocado importantes pérdidas económicas y humanas llamando la

atención de los ingenieros a revisar las consecuencias de este tema en las construcciones y la sociedad.

El colapso del edificio Alfred P. *Murrah* en 1995 en la ciudad de Oklahoma, Estados Unidos el cual presentaba una arquitectura de planta abierta combinada con una fachada acristalada, características que cobraron vital importancia cuando se detonó un VBIED en el lado de la acera. El edificio comprendía columnas ligeramente reforzadas comunes en regiones no sísmicas del mundo. Dichas columnas son vulnerables a fallas de corte debido a la presión lateral por la carga de la explosión y se cree que la columna más cercana a la explosión se hizo añicos y las dos columnas a cada lado fallaron en el corte. Al carecer de fuertes tabiques internos o revestimientos, el edificio no tenía medios de emergencia para redistribuir cargas y se inició un colapso progresivo que consumió casi la mitad del edificio, cobrando la vida a 168 personas (Corley et al., 1998).

Otro ejemplo se presenta en los sucesos de 11 de septiembre donde en una investigación se explica que cada una de las torres gemelas del *WorldTrade Center* 1 y 2 colapsó siguiendo esta secuencia de eventos: un avión *Boeing* 767 se estrelló contra la torre a gran velocidad; el choque causó daños estructurales en y cerca del punto de impacto y también provocó un incendio intenso dentro del edificio; la estructura cerca de la zona de impacto perdió su capacidad de soportar la carga sobre ella como resultado de alguna combinación de daño por impacto y daño por fuego; la estructura de arriba se derrumbó, habiendo perdido su soporte; el peso y el impacto del colapso de la parte superior de la torre causaron una progresión de fallas que se extendieron hacia abajo hasta el suelo (Nair, 2004).

Los puentes no están exentos de la ocurrencia de este fenómeno como fue el caso del puente de armadura de acero I-35W sobre el río Mississippi en Minneapolis, Minnesota, Estados Unidos, el cual se desplomó repentinamente el 1 de agosto de 2007. El informe sobre el colapso aclara que la carga muerta aumentó varias veces debido a la reparación y el refuerzo de la losa, y el grosor de la placa de refuerzo fue la mitad del valor de diseño. Además, el día del colapso de la I-35W, había materiales de construcción y maquinaria pesada en el puente de armadura para el mantenimiento. Estos factores son las posibles causas del colapso del I-35W (Miyachi et al., 2012). Un estudio detallado realizado para evaluar la vulnerabilidad de la celosía determinó que el 25% (52) de los miembros de la celosía del puente se identificaron como fractura crítica (Zoli&Steinhouse, 2007).

Con el colapso de estas estructuras, la investigación sobre este tema fue en ascenso. Según (El-Tawil& Li, 2013), la tasa anual de artículos publicados ha aumentado en un orden de magnitud solo en la década posterior al 11 de septiembre. Si bien solo se publicaron 17 artículos sobre colapso progresivo entre 2001 y 2005, después de eso se observó un aumento significativo en el número de artículos publicados. Por ejemplo, durante el período de 2008 a 2011, el número de documentos es de entre 20 y 30 por año.

Colapso progresivo en puentes de armadura de acero:

El colapso del puente I-35W mencionado anteriormente no es un ejemplo aislado del fallo de puentes de armadura de acero. Otro importante ejemplo ocurrido a principios del otoño de 2004, donde los tramos fluviales del puente de armadura de *Cape Girardeau* debían ser demolidos después de completar un puente atirantado adyacente. La demolición explosiva se planeó para dejar caer un tramo a la vez para garantizar que la navegación por el río Mississippi no se vería afectada. El 9 de septiembre, la demolición del tramo lateral resultó en una falla casi instantánea y el colapso posterior del tramo principal, así como el otro tramo lateral y las armaduras

adyacentes del tramo de aproximación. Este accidente resultó en la interrupción de la navegación, además de complicar sustancialmente la finalización de la demolición, que no se completó hasta más de 1 mes después (Zoli&Steinhouse, 2007).

A pesar de estos y otros sucesos, no se han desarrollado normas y reglamentos para analizar el colapso progresivo en los puentes como las existentes para edificios.

Muchos puentes de tramo largo, si no la mayoría, están diseñados como sistemas estructurales no redundantes, con vulnerabilidades de punto único. Esta falta inherente de redundancia cubre la gama completa de formas de puentes de tramo largo, incluida los puentes de armadura (Zoli&Steinhouse, 2007). Los puentes de ruta de carga única colapsan catastróficamente cuando falla un solo componente primario o conexión (Liu et al., 2013).

Aunque los puentes de armadura son elementos poco redundantes y un fallo en algún componente primario aparentemente conlleva al colapso de la estructura esto no siempre se cumple.

*The East Brough's* el puente en Londres, Ontario, Canadá, un puente de celosía de *Pratt*, fue golpeado por un autobús en 2000, cortando efectivamente una de sus montantes. La armadura dañada se debilitó severamente; sin embargo, el puente no se derrumbó. El puente de *Lewes* (río Yukón), una armadura *Warren* de dos tramos se dañó en 1982 cuando un impacto de sobrecarga del vehículo causó la fractura de muchos miembros, incluido un cordón inferior cerca del centro del puente. El puente exhibió una flecha significativa y desplazamiento horizontal en el apoyo, sin embargo, no colapsó (Liu et al., 2013).

A pesar ser estructuras poco redundantes es evidente que existen características estructurales en los puentes de armaduras de acero que facilitan caminos de carga alternativos que mejoran su resistencia (Liu et al., 2013).

Estudios recientes y uso de modelos computacionales:

En sus inicios, las investigaciones fueron complicadas debido a la falta de precisión de los cálculos manuales. El necesario desarrollo de herramientas computacionales permitió realizar simulaciones que apoyaran los estudios.

Autores como (Bai et al., 2021), en su artículo *Progressive - models method for evaluating interactiveness ability of steel box girders for bridges – Extension of progressive collapse method in ship structures*, publicado en la revista *Structures*, propone la modelación de estructuras a través de *software* como el ABAQUS afirmando que puede reducir significativamente la complejidad del modelado y mejorar la eficiencia computacional, por lo que tiene un valor potencial de aplicación práctica. Con la utilización del software SAP 2000 la investigación *Investigation on progressive collapse failure in a multistorey irregular structure* publicada en la revista *Materials Today: Proceedings* busca basado en el método de elementos finitos, modelar las estructuras y evalúa el comportamiento de las estructuras mediante la realización de análisis estático lineal por cargas estáticas y Análisis de *time history* por cargas dinámicas (Neeraja&Anish, 2021). Un caso reciente de colapso progresivo en puentes fue el estudiado en el artículo *Failure assessment and virtual scenario reproduction of the progressive collapse of the FIU bridge* se realiza una simulación numérica de elementos finitos (FE) para reproducir el escenario virtual del colapso del puente y examinar la causa de este accidente (Hu et al., 2021), para ello utiliza el *software* ABAQUS y un video del preciso momento del colapso del puente.

Es evidente que el uso de las herramientas informáticas ha permitido el desarrollo de dichos estudios, con el empleo de *software* como el SAP 2000 y ABAQUS, sin excluir a otros como Bridge especializado precisamente en puentes.

Normativas y reglamentos referentes al colapso progresivo:

Las pautas de diseño de colapso progresivo existentes incluyen la Administración de Servicios Generales (GSA) “Análisis de colapso progresivo y pautas de diseño” 2003 y Criterios de instalaciones unificadas del Departamento de Defensa (UFC) “Diseño de edificios para resistir el colapso progresivo” 2004. Estándares más familiares para el ingeniero estructural como ASCE 7, ASCE 2002 y ACI-318 ACI 2002 hacen referencias a la integridad estructural y otros requisitos de rendimiento valioso pero cualitativo para mitigar el colapso, pero no tienen un conjunto de criterios prescriptivos para resistir el colapso progresivo (Ruth et al., 2006).

Algunos informes producidos por la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (FEMA) también son útiles para realizar análisis de colapso progresivo. FEMA-273 1997; FEMA-274 1997. Aunque los informes de FEMA no abordan directamente este tipo de análisis, contienen métodos que son aplicables al colapso progresivo (Marjanishvili, 2004).

Estas pautas existentes se han desarrollado para edificios y pueden no ser adecuadas para puentes debido a las diferencias en las topologías y configuraciones de los dos tipos de sistemas estructurales y en la naturaleza e intensidad de sus cargas permanentes y transitorias (Miao&Ghosn, 2016).

### **Métodos para el análisis de colapso progresivo**

Las normas de construcción establecen pautas y métodos para analizar el colapso progresivo en las estructuras. En ellas se establecen dos tipos de métodos: indirectos y directos.

Los métodos indirectos tienen como objetivo, proporcionar redundancia, continuidad, ductilidad: ante la ocurrencia de una falla local, la estructura debe ser capaz de soportar grandes deformaciones sin perder su resistencia y ser estable al redistribuir de forma balanceada las cargas provocadas.

Fuerza de amarre: es utilizada para mejorar la continuidad, ductilidad y resistencia estructural mediante la fuerza de tracción mínima que dispone el acero de refuerzo usado en la estructura, uniéndola de tal manera, que permita la transferencia de carga desde a parte que abarca la falla local hasta otro sector de la estructura (Dolores &Minervini, 2016).

Los métodos directos tienen dos enfoques: el método específico de resistencia local y el método de ruta de carga alternativa.

### **Métodos específicos de resistencia local:**

Este método se basa en el diseño o mejoramiento de elementos estructurales componentes del sistema llamados clave, para que resista una amenaza en específico. Tomando como referencia la explosión de gas natural de *Ronan Point*, algunos códigos de construcción especifican que se debe diseñar el elemento clave para una carga anormal de 34 kN/m<sup>2</sup>, aplicado desde cualquier dirección. Se debe tener en cuenta que 34 kN/m<sup>2</sup> no habría proporcionado protección a las columnas (elemento clave) que soportan la viga de transferencia en el edificio Murrah, que fueron sometidas a presiones máximas reflejadas del orden de 10 000 kN/m<sup>2</sup> tras la detonación de 1800 kg de explosivos caseros a corta distancia (Paramasivam, 2008). Por lo tanto, el método de resistencia local específico es un método de diseño específico para amenazas y normalmente se usaría para diseñar estructuras endurecidas, como áreas vulnerables de embajadas, salas de correos e instalaciones de almacenamiento de explosivos. El problema principal de este método es que la naturaleza imprevista del evento anormal puede conducir al diseño de elementos clave con una fuerza inadecuada para resistir una amenaza que ocurra en el futuro (Byfield et al., 2014).

### **Método de la ruta alternativa (APM):**

En la actualidad, el método más empleado por investigadores e ingenieros para evaluar la resistencia al colapso progresivo es el método de ruta alternativa (APM). El mismo, se emplea en las pautas GSA y DoD, es el enfoque más directo para el colapso progresivo utilizado en los Estados Unidos (McKay et al., 2012). Es un método independiente de la amenaza, en el que no se especifica la amenaza o la causa del estado dañado (El-Tawil & Li, 2013). Normas como ASCE, GSA y DoD, plantean un procedimiento para el análisis de la estructura, basado en la eliminación de un elemento principal de carga a la vez.

Se emplean tres procedimientos de análisis: estático lineal, estático no lineal y dinámico no lineal (GSA, 2003).

**Tipos de análisis:**

**Análisis estático lineal:** el análisis estructural incorpora solo materiales elásticos lineales y teoría de deformación baja, los fenómenos de pandeo no están incluidos en el modelo, pero se evalúan a través de la examinación por inspección. Las fuerzas de inercia no se consideran. El análisis consiste en un solo paso, en el que las deformaciones y esfuerzos internos se resuelven basados en las cargas aplicadas, la geometría y materiales (GSA, 2003).

Para garantizar un comportamiento elástico, es necesario aplicar dos veces la carga de gravedad, para permitir el "impacto" (Powell, 2005).

La (UFC, 2016) establece la combinación de carga usada para este tipo de análisis:

$$G_{LF} = DIF * (1.2 * DL + 0.5LL) \tag{1.1}$$

Donde ( $G_{LF}$ ) es el incremento de carga por fuerza, (DIF) es el factor de incremento dinámico y (DL y LL) son las cargas muertas y vivas respectivamente.

El efecto de la remoción de columnas se puede tener en cuenta mediante la aplicación de los factores DIF, aplicados a las cargas de los elementos vecinos al elemento removido, en este caso los elementos que se conectan directamente a un mismo nodo (Sandoval, 2016).

Según (Marjanishvili, 2004) las ventajas, desventajas y limitaciones del análisis estático lineal incluyen:

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Limitaciones</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simplicidad relativa</li> <li>• Cálculos realizados rápidamente</li> <li>• Fácil de realizar</li> <li>• Fácil de evaluar y validar los resultados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No considera los efectos dinámicos, como los factores de amplificación, la amortiguación y las fuerzas de inercia</li> <li>• No considera el comportamiento material no lineal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El análisis de estructuras complejas y grandes no puede evaluarse con confianza</li> <li>• Limitado a estructuras simples con comportamiento predecible</li> </ul>

**Análisis estático no lineal:** el modelo estructural incorpora geometría y materiales no lineales. Los efectos de la inercia no están incluidos. Un enfoque incremental o iterativo se utiliza normalmente para resolver la respuesta estructural como una función de la carga aplicada (GSA, 2003).

En este análisis también se emplea la ecuación 1.1 a los elementos circundantes al elemento removido.

Las medidas de capacidad de demanda para componentes dúctiles deben basarse en la deformación, para verificar las demandas de ductilidad. Para componentes frágiles, el rendimiento puede ser seguido por una rápida pérdida de resistencia y un probable colapso. Por lo tanto, las medidas de capacidad de demanda deberían basarse en la fortaleza, para garantizar que no se produzca rendimiento. Para permitir efectos de impacto, la carga de gravedad debe

multiplicarse por un factor de impacto. Un valor conservador para este factor es 2.0, pero un valor menor podría estar justificado (Powell, 2005).

Según (Marjanishvili, 2004) la ventaja, desventajas y limitaciones de este método incluye:

Ventajas	Desventajas	Limitaciones
<ul style="list-style-type: none"> <li>El comportamiento no lineal del material.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No considera efectos dinámicos como factores de amplificación, inercia y fuerzas de amortiguación.</li> <li>Podría llevar mucho tiempo.</li> <li>Conduce a resultados excesivamente conservadores.</li> <li>Complejidad relativa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limitado a estructuras relativamente simples con comportamiento predecible.</li> <li>No se puede utilizar de manera efectiva para el análisis de colapso progresivo.</li> </ul>

Análisis dinámico no lineal: se incluyen los efectos de inercia, materiales y geométricos no lineales. Un procedimiento de integración de tiempo se utiliza para determinar la respuesta estructural como una función de tiempo (GSA, 2003) por lo que se considera el método más completo de análisis de colapso progresivo.

En este caso de análisis no es necesario emplear factores de incremento dinámico por lo que la combinación de cargas se expresa en la (UFC, 2016) de la siguiente manera:

$$G_{ND} = 1.2 * DL + 0.5 * LL \quad (1.2)$$

Donde ( $G_{ND}$ ) son las cargas gravitatorias para análisis dinámico no lineal y (DL y LL) son las cargas muertas y vivas respectivamente.

Según (Marjanishvili, 2004) las ventajas, desventajas y limitaciones de este método incluyen:

Ventajas	Desventajas	Limitaciones
<ul style="list-style-type: none"> <li>Proporciona resultados más realistas.</li> <li>Incluye comportamiento dinámico.</li> <li>Incluye material de comportamiento no lineal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puede llevar mucho tiempo.</li> <li>Requiere una amplia verificación y validación de resultados.</li> <li>Difícil de evaluar los resultados. En la mayoría de los casos, los resultados del análisis dinámico no lineal deben verificarse y validarse de forma independiente. El análisis independiente de revisión por pares, el modelado alternativo y los estudios de sensibilidad podrían validar la precisión de los análisis.</li> <li>Alta complejidad.</li> <li>Suposiciones incorrectas o modelos incorrectos pueden conducir a resultados erróneos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El análisis del historial de tiempo no lineal puede llevar mucho tiempo, lo que puede limitar el número de no linealidades para reducir el modelo y, posteriormente, el tiempo de cálculo.</li> </ul>

### Método de análisis progresivo:

Como se evidencia, cada caso de análisis tiene sus características distintivas, pero se pueden señalar similitudes entre ellos, lo que permite la existencia de un método que incluye estos procedimientos llamado método de análisis progresivo.

El proceso comienza con un análisis estático lineal-elástico básico. Si el edificio pasa este paso, cuyos requisitos de evaluación son los más conservadores, entonces el análisis está completo; Si el edificio falla, procedemos a su vez a análisis lineales y no lineales cada vez más complejos. En cada paso, probamos el rendimiento del edificio con criterios cada vez menos conservadores. El proceso de evaluación estructural se detiene después de que el edificio cumpla con los criterios de evaluación establecidos para ese procedimiento de análisis en particular, siempre que estos métodos de análisis más simples sean aplicables a la complejidad de la estructura (Marjanishvili, 2004).

### **Conclusiones**

El fenómeno del colapso progresivo en las estructuras es un tema de interés y en los últimos años ha aumentado el número de investigaciones, aun así, resulta insuficiente el estudio sobre el tema y las normativas vigentes solo se ven especificadas a edificaciones. Es necesario seguir empleando de manera eficiente las nuevas tecnologías que nos permiten de manera sencilla conocer el comportamiento de la estructura, a pesar de esto es preciso ahorrar en tiempo y recursos por lo que se recomienda el empleo del método APM a partir de un análisis progresivo, obteniendo resultados un análisis, que, aun siendo conservadores, nos aseguran un correcto desempeño de la estructura.

### **Referencias bibliográficas**

- Bagheripourasil, M., & Mohammadi, Y. (2015). *Comparison between Alternative Load Path Method and a Direct Applying Blast Loading Method in Assessment of the Progressive Collapse. Journal of Rehabilitation in Civil Engineering.*
- Bai, L., Shen, R., Yan, Q., Wang, L., Miao, R., & Zhao, Y. (2021, 2021/10/01/). 095 *Progressive-models method for evaluating interactive stability of steel box girders for bridges – Extension of progressive collapse method in ship structures. Structures, 33, 3848-3861.* <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.06.061>
- Byfield, M., Mudalige, W., Morison, C., & Stoddart, E. (2014). *A review of progressive collapse research and regulations. Structures and Buildings, 167(SB8).*
- Cepero, Y. C. & Arestuche, L. R. G. (2012). Estudio del estado de los puentes de la Carretera Central en su travesía por la provincia de Matanzas. *Revista de Arquitectura e Ingeniería, 6(2), 1-18*
- Corley, W. G., Sozen, M. A., Thornton, C. H., & Sr, P. F. M. (1998). *The Oklahoma City bombing: structure and mechanisms of the Murrah Building. Journal of Performance of Constructed Facilities, 12(3), 120-136.*
- Dolores, S. C. D., & Minervini, G. M. (2016). Análisis de colapso progresivo en estructuras de concreto por ocurrencia de eventos extraordinarios Universidad Católica Andrés Bello].
- El-Tawil, S., & Li, H. (2013). *Progressive Collapse Research Current State and Future Needs. Advanced Materials Research, 639-640, 10.*
- Hu, Y.-C., Tan, Y.-H., & Xi, F. (2021, 2021/01/15/). 094 *Failure assessment and virtual scenario reproduction of the progressive collapse of the FIU bridge. Engineering Structures, 227, 111423.* <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111423>
- Lin, C.-S. (2019). *Deterioration Effects on Progressive Collapse of Bridges. Columbia University.*

- Liu, S., Bartlett, F. M., & Zhou, W. J. J. o. B. E. (2013). *Alternative load paths in steel through-truss bridges: Case study*. 18(9), 920-928.
- Marjanishvili, S. (2004). *Progressive analysis procedure for progressive collapse*. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 79.
- McKay, A., Marchand, K., & Diaz, M. (2012). *Alternate Path Method in Progressive Collapse Analysis. Variation of Dynamic and Nonlinear Load Increase Factors*. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 17.
- Miao, F., & Ghosn, M. J. S. s. (2016). *Reliability-based progressive collapse analysis of highway bridges*. 63, 33-46.
- Miyachi, K., Nakamura, S., & Manda, A. J. J. o. C. S. R. (2012). *Progressive collapse analysis of steel truss bridges and evaluation of ductility*. 78, 192-200.
- Nair, R. S. J. M. s. c. (2004). *Progressive collapse basics*. 44(3), 37-44.
- Neeraja, P., & Anish, K. (2021, 2021/06/09/). *097 Investigation on progressive collapse failure in a multistorey irregular structure*. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.598>
- Paramasivam, S. (2008). *Protective design against disproportionate collapse of RC and steel framed structures Ph. D. thesis, Univ. of Southampton, Southampton, UK*.
- Powell, G. (2005). *Progressive Collapse Case Studies Using Nonlinear Analysis citadoen 004 (6) Structures Congress*,
- Ruth, P., Marchand, K., & Williamson, E. (2006). *Static Equivalency in Progressive Collapse Alternate Path Analysis citadoen 004 (7)*. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 20(4).
- Starossek, U. (2018). 062 Typology of progressive collapse. In *Progressive Collapse of Structures*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1680/pcos.61682.018>
- Wang, W., Li, H., & Wang, J. (2016). *Progressive collapse analysis of concrete filled steel tubular column to steel beam connections using multi scaled model*. *Structures*, 11.
- Zoli, T. P., & Steinhouse, J. J. H., New York, NY, USA. (2007). *Some considerations in the design of long span bridges against progressive collapse*.

## CAUSAS, CONSECUENCIAS Y MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN FORMACIÓN DEL INGENIERO CIVIL

M. Sc. Lic. Noraida Santos Muñoz,

[noraida.santos@umcc.cu](mailto:noraida.santos@umcc.cu), <https://orcid.org/0000-0001-9840-9645>

Coautores: M. Sc. Lic. Adiaris Mieres Lima,

[adiarys.mieres@umcc.cu](mailto:adiarys.mieres@umcc.cu), <https://orcid.org/0000-0002-7184-9592>

M. Sc. Lic. Yusmila Coto Morán,

[yusmila.coto@umcc.cu](mailto:yusmila.coto@umcc.cu), <https://orcid.org/0000-0003-4668-7656>

Departamento Construcciones, Facultad Ciencias Técnicas,

Universidad de Matanzas. Matanzas. Cuba.

### Resumen

Incremento de las temperaturas, abundantes precipitaciones, prolongadas sequías, ocurrencia creciente e irregular de fenómenos climáticos y meteorológicos extremos; son algunas de las consecuencias que el planeta padece producto del cambio climático. Matanzas es uno de los territorios más vulnerables del país, producto de sus costas bajas susceptibles por la erosión y las penetraciones del mar, con ello la salinización de los suelos. En este contexto constituye un reto