

## **BASES CONCEPTUALES, METODOLÓGICAS Y DE CÁLCULO PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL EN SITUACIÓN DE INCENDIO EN CUBA**

**UNIDAD EJECUTORA PRINCIPAL DEL RESULTADO:** Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz"

**AUTORA PRINCIPAL:** Dra. C. Yisel Larrúa Pardo<sup>1</sup>

**OTROS AUTORES:** Dr. C. Rafael Larrúa Quevedo<sup>1</sup>, Dr. C. Valdir Pignatta Silva<sup>2</sup>, MSc. Mavel Pardo González<sup>1</sup>, MSc. Frank Rodríguez Pompa<sup>1</sup>, Dra. C. Yailé Caballero Mota<sup>3</sup>, Dra. C. Yaima Filiberto Cabrera<sup>3</sup>, Dr. C. Rafael Bello Pérez<sup>4</sup>, Dr. Cs. Gilberto Quevedo Sotolongo<sup>5</sup>

### **COLABORADORES:**

Dailén Peña Martínez<sup>a</sup>; Leonardo Fundora Villegas<sup>a</sup>; Eunice Mulet Deulofeu<sup>a</sup>; Mabel Frías Domínguez<sup>a</sup>; Iliana Olivera Cortina<sup>a</sup>; Lilita Pérez Muñiz<sup>a</sup>; Alianna Garcés Figueredo<sup>a</sup>; Jorge Jiménez Machado<sup>a</sup>; Yessy Jorge Pérez<sup>a</sup>; Carlos Herrera Lago<sup>a</sup>; Yelene Cachón Carvajal<sup>a</sup>; Edulay Guedes Viegas<sup>a</sup>; Erick Machado Álvarez<sup>a</sup>; Jorge Bonilla Rocha<sup>b</sup>

### **FILIACIÓN:**

<sup>1</sup> Facultad de Construcciones. Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz". Cuba

<sup>2</sup> Escuela Politécnica. Universidad de Sao Paulo. Brasil.

<sup>3</sup> Facultad de Informática. Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz". Cuba

<sup>4</sup> Facultad de Matemática, Física y Computación. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

<sup>5</sup> Facultad de Construcciones. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

<sup>a</sup> Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz". Cuba

<sup>b</sup> Universidad de Ciego de Avila, Cuba.

### **AUTORA PARA LA CORRESPONDENCIA:**

Dra. C. Yisel Larrúa Pardo

Dirección postal: Andrés Sánchez 254 – A. Entre Benavides y Bellavista. La Vigía, Camagüey, Cuba. CP: 70200.

Teléfono : 32246102 e-mail: [yisel.larrua@reduc.edu.cu](mailto:yisel.larrua@reduc.edu.cu).

## **RESUMEN:**

La desactualización de la documentación técnica relacionada con el diseño estructural en situación de incendio, así como una limitada cultura científica y profesional en este ámbito en el país han conducido a la realización de la presente investigación, con el objetivo de desarrollar las bases conceptuales, metodológicas y de cálculo para el diseño estructural en situación de incendio en Cuba acordes con las tendencias internacionales en el tema. Los principales aportes de la investigación son los siguientes: las bases metodológicas para el desarrollo de la modelación térmica bidimensional y la modelación termo-estructural tridimensional en situación de incendio, que son inéditas en el país y válidas para el estudio del comportamiento termo-estructural de elementos estructurales en esa condición; los principios generales para el diseño estructural en situación de incendio, inéditos en el país y válidos para el diseño en tal situación de elementos estructurales de acero, hormigón armado y compuestos acero – hormigón; la caracterización del comportamiento termo-estructural de las conexiones acero – hormigón, mediante el uso de modelación numérica bidimensional y tridimensional calibrada y validada respecto a información experimental precedente, y la propuesta de un sistema de porcentajes para determinar la temperatura en la conexión que toma en cuenta el tipo y las características geométricas de los conectores y la presencia del revestimiento contra incendio lo que condujo al perfeccionamiento del único método de diseño existente internacionalmente (EN 1994-1-2, 2005) para la determinación de la resistencia de la conexión tipo perno en situación de incendio; los métodos gráficos para el diseño de las conexiones tipo perno y tipo canal en situación de incendio, que constituyen una alternativa que permite obtener de forma directa la resistencia a elevadas temperaturas de las conexiones, para un tiempo de resistencia al fuego dado, en función de su resistencia a temperatura ambiente, y tienen como valor adicional la determinación de las temperaturas por métodos avanzados; el método gráfico alternativo, basado en datos combinados de modelación termo-estructural y de predicciones por medio de técnicas de inteligencia artificial, para determinar directamente y con facilidad el tiempo de resistencia al fuego de una viga compuesta dada; el software SCBEAM, que es capaz de asimilar los resultados de la evolución de las temperaturas emitidos por el software sueco Super Tempcalc y favorece el análisis estructural de múltiples variantes de una manera ágil y efectiva; y el enfoque de trabajo que integra la investigación experimental precedente, la modelación numérica, la estadística y las técnicas de inteligencia artificial, en el desarrollo de métodos de diseño específicos para el caso de las vigas compuestas de acero-

hormigón, válido para su aplicación a nuevas investigaciones en el campo de la ingeniería estructural.

Los resultados que sustentan este trabajo son novedosos y en ningún caso coinciden con los presentados en el Premio de la Academia de Ciencias de Cuba 2006 "Bases teóricas, experimentales y de cálculo para el proyecto de estructuras compuestas de hormigón y acero en Cuba"; en ese resultado premiado los aportes estuvieron relacionados con el proyecto de esa tipología estructural a temperatura ambiente, en tanto en la presente propuesta los aportes están relacionados con el diseño de elementos estructurales de hormigón armado, acero o compuestas acero – hormigón en situación de incendio.

La producción científica asociada a estos resultados consiste en la publicación de 40 trabajos, de ellos: 11 en revistas y bases de datos referenciadas, así como la presentación de 16 ponencias en prestigiosos eventos científicos internacionales y otras 13 presentaciones a nivel nacional e internacional; y el registro por CENDA de 2 productos de software. Además, se relacionan con los resultados 3 proyectos internacionales y 1 nacional, 1 postdoctorado defendido en la Universidad de Sao Paulo, 1 tesis de doctorado, 2 tesis de maestría y 8 trabajos de diplomas. Se han obtenido 4 Premios nacionales e internacionales, y se incluyen otros 14 avales nacionales e internacionales de aplicación e impacto, todo como expresión del reconocimiento a los resultados obtenidos.

## **COMUNICACIÓN CORTA DEL RESULTADO**

El incendio se considera como una acción de carácter accidental durante la cual se debe asegurar la capacidad resistente e integridad de las estructuras por un período de tiempo suficiente, en función de permitir la evacuación de los ocupantes de la construcción, establecer condiciones de seguridad adecuadas para la actuación de los servicios de extinción, limitar la difusión del incendio en el propio edificio y hacia las construcciones colindantes, y prevenir en cierto grado los daños materiales probables derivados del deterioro o colapso de la estructura.

La exposición a elevadas temperaturas de los materiales, degenera sus características físicas y químicas, y causa la reducción de la resistencia, el módulo de elasticidad y la rigidez de los elementos estructurales y, por consiguiente, su rotura localizada o el colapso progresivo.

En Cuba, las normas técnicas relacionadas con el diseño de estructuras en situación de incendio están desactualizadas, no sólo por su fecha de aprobación, la mayor parte en la década de los 80 del pasado siglo, sino también porque sus contenidos no tienen incorporadas las tendencias actuales en el ámbito. En consecuencia, la formación y cultura técnica en la temática de los profesionales dedicados al diseño estructural en el país es limitada. Por otra parte, no existe la infraestructura necesaria para llevar a cabo programas experimentales en el ámbito. Por tanto, resulta necesario el establecimiento de las bases conceptuales,

metodológicas y de cálculo, que permitan abordar el diseño estructural en situación de incendio en el país, en correspondencia con las tendencias internacionales.

El resultado que se presenta aporta las bases de cálculo válidas para estructuras que utilicen acero u hormigón o la combinación de ambos materiales, a lo que se añade el desarrollo de estudios, con fundamento en tales bases generales, conducentes al desarrollo de herramientas de diseño para vigas compuestas acero – hormigón, como caso de estudio, que a su vez son referentes para el desarrollo de investigaciones similares en otras tipologías estructurales en el país.

**Bases conceptuales para el diseño estructural en situación de incendio.**

En el trabajo se tratan los fundamentos teóricos esenciales para el diseño estructural en situación de incendio, tales como: el análisis térmico, las propiedades de los materiales a temperaturas elevadas, el diseño de estructuras en situación de incendio y el Tiempo Requerido de Resistencia al Fuego (TRRF). Se identifica como una práctica frecuente en el análisis termo-estructural el uso de la modelación bidimensional, cuando es factible realizar simplificaciones que no comprometan la correspondencia con los resultados experimentales y la representación física del caso, debido a su menor complejidad, la notable economía en costo computacional y la facilidad que ofrece para la valoración de múltiples variantes sin perder la efectividad en los resultados [1-4]. Se identifica como tendencia actual de las normativas más avanzadas en el diseño de estructuras en situación de incendio la utilización del método de los estados límites, con la particularidad de considerar el incendio como una situación excepcional de duración extremadamente corta y de baja probabilidad de ocurrencia. [5-7]

### **Bases metodológicas para la modelación numérica termo-estructural**

En el caso de la modelación térmica bidimensional, implementada en el módulo térmico Super Tempcalc del programa Temperature Calculation and Design (TCD) se detalla sobre los aspectos a ser considerados en la modelación de la geometría, las propiedades térmicas de los materiales, las acciones térmicas a que estará sometida la sección, las condiciones de contorno, así como la selección del tipo de elemento finito y la densidad de malla. Tanto para la modelación de las acciones térmicas como de las propiedades térmicas de los materiales, se toman en cuenta, como referencia importante, las consideraciones del EN 1991-1-2: 2002 [8] y del EN 1994-1-2: 2005 [9] con la intención de desarrollar modelos universales basados en propiedades normativas, factibles de ser utilizados creativamente en el estudio de diversas situaciones de diseño afines. [10-12]. Los resultados son válidos para su utilización combinada con determinaciones estructurales analíticas bidimensionales o para establecer patrones de temperatura de cara a su utilización en la modelación termo-

estructural tridimensional. En el caso de la modelación tridimensional, implementada en el programa computacional ABAQUS/CAE, se abordan los principios metodológicos para desarrollarla tomando en cuenta tales patrones de temperatura. Se establecen las pautas para la modelación de la geometría, los materiales y las condiciones de frontera, y se ilustra a través del caso de la probeta del ensayo push out de conexiones [13]. Se aprovecha la simetría y se aborda la modelación de la cuarta parte de la probeta de cara a la reducción del costo computacional. En el procedimiento se subdivide el modelo tridimensional en franjas a las que se aplican las temperaturas definidas en los patrones bidimensionales. En consecuencia quedan definidas las propiedades de los materiales en función de la temperatura que alcanza cada franja. [14]

### **Principios generales para el diseño estructural en situación de incendio**

Se presentan los principios generales para el diseño estructural en situación de incendio en el país, válidos para elementos que empleen como materiales estructurales el acero y el hormigón; seguidamente se resumen sus aspectos más relevantes.

El diseño por medio de métodos analíticos debe ser realizado tomando en consideración que las propiedades mecánicas del acero y del hormigón se degradan progresivamente con el aumento de la temperatura y como consecuencia, puede ocurrir el colapso de un elemento estructural o unión como resultado de su incapacidad de resistir las acciones aplicadas.

La condición de seguridad de una estructura en situación de incendio puede ser expresada por la expresión  $S_{d,fi} \leq R_{d,fi}$ , donde  $S_{d,fi}$  es la sollicitación de cálculo en situación de incendio y  $R_{d,fi}$  es el esfuerzo resistente de cálculo correspondiente al elemento estructural para el estado límite último considerado. La verificación debe ser realizada en correspondencia con el Tiempo Requerido de Resistencia al Fuego (TRRF) de la edificación.

En el trabajo se definen las combinaciones de cargas a ser consideradas en la determinación de  $S_{d,fi}$ , inexistentes hasta el presente en la normatividad cubana. La resistencia de cálculo debe ser determinada utilizando los valores degradados de la resistencia de los materiales componentes por medio de la utilización de los factores de reducción apropiados. Las temperaturas de las partes componentes de la sección transversal deben ser determinadas por métodos comprobados científicamente (simplificados o avanzados).

### **Comportamiento y diseño de vigas compuestas de acero y hormigón en situación de incendio.**

Con fundamento en las bases generales antes descritas, se estudia el comportamiento termo – estructural y se desarrollan herramientas de diseño de vigas compuestas acero – hormigón, como caso de estudio, que a su vez son referentes para el desarrollo de investigaciones similares en otras tipologías estructurales en el país.

### **Conexiones**

El estudio de la influencia en la evolución de las temperaturas de las propiedades térmicas del hormigón, las características geométricas de los conectores, el espesor y las propiedades térmicas del revestimiento contra incendio, a partir resultados de la modelación térmica bidimensional del ensayo push-out a elevadas temperaturas, permitió proponer los porcentos a utilizar para determinar las temperaturas en la conexiones, dependientes de los factores de mayor impacto, por lo que se perfecciona el método simplificado existente para el diseño de conexiones en vigas compuestas de acero y hormigón en situación de incendio y se favorece la realización de diseños racionales y seguros.[15-17]

Los porcentos obtenidos para determinar la temperatura en el hormigón con conector tipo perno, varían en función de la altura del conector, lo que ratifica que el porcentaje propuesto por el EN 1994-1-2: 2005 [9] no es válido para todas las situaciones de diseño dentro del alcance del código; lo anterior se manifiesta en mayor medida en los porcentos para determinar la temperatura en el hormigón cuando las vigas presentan revestimiento contra incendio. Los métodos gráficos desarrollados constituyen una alternativa, que permite obtener de forma directa y rápida la resistencia a elevadas temperaturas de las conexiones tipo perno y tipo canal, para un Tiempo de Resistencia al Fuego (TRF) dado, en función de su resistencia a temperatura ambiente, y tienen como valor adicional la determinación de las temperaturas por métodos avanzados.

### **Método gráfico alternativo para el diseño de vigas compuestas.**

El procedimiento adoptado para la determinación de la resistencia a momento flector, integra en un único algoritmo matemático las determinaciones a temperatura ambiente y en situación de incendio. La herramienta computacional concebida (SCBEAM) es capaz de determinar con efectividad y rapidez, los promedios de temperaturas en cada elemento finito y bloque de la sección, la resistencia a momento flector y a cortante vertical a temperatura ambiente y en situación de incendio y sus degradaciones, y constituye un eficaz complemento del módulo de análisis térmico del software TCD para el objeto de estudio del presente trabajo.

La geometría de la losa de hormigón armado, la resistencia de los materiales (acero y hormigón) y el grado de interacción, no influyen significativamente en la degradación del momento flector y del cortante vertical, lo que conduce a notables simplificaciones en el planteamiento del método gráfico. [18,19].

Se demuestra que la utilización de la inteligencia artificial predice con efectividad la degradación de la resistencia a momento flector y a cortante vertical, lo que facilitó el proceso de investigación por medio de la generación de los gráficos del método para vigas con revestimiento con la utilización de datos combinados de origen numérico y de inteligencia artificial.

El método gráfico alternativo basado en curvas  $\mu$  y  $\nu$  en función del TRF, que caracterizan la degradación del momento flector y el cortante vertical en situación de incendio, asegura las verificaciones a momento flector ( $MS_{d,fi} \leq MR_{d,fi}$ ) y a cortante vertical ( $VS_{d,fi} \leq VR_{d,fi}$ ), permite determinar directamente y con facilidad el TRF de una viga dada, favorece la valoración de múltiples alternativas de diseño y tiene además implícito, las determinaciones de temperaturas por métodos avanzados.

## **CONCLUSIONES**

Las bases metodológicas para el desarrollo de la modelación térmica bidimensional y la modelación termo-estructural tridimensional en situación de incendio, son inéditas en el país y válidas para el estudio del comportamiento termo-estructural de elementos estructurales de acero, hormigón armado y compuestos acero – hormigón.

Los principios generales para el diseño estructural en situación de incendio guardan correspondencia con las tendencias internacionales, son inéditos en el país y válidos para el diseño en tal situación de elementos estructurales de acero, hormigón armado y compuestos acero – hormigón.

Los resultados de la modelación térmica bidimensional del ensayo push-out de la conexión tipo perno en situación de incendio, demostraron que la evolución de las temperaturas en la conexión, depende de factores como las características geométricas del conector y el espesor del revestimiento de la viga (cuando lo presente), lo que ratifica que los porcentos propuestos por el EN 1994-1-2: 2005 para determinar las temperaturas en el conector tipo perno y en el hormigón, no son válidos para todas las situaciones de diseño dentro del alcance del código. Los nuevos porcentos propuestos en el trabajo, que consideran la influencia de dichos factores, contribuyen a perfeccionar el método de diseño existente y aseguran la determinación de la resistencia de la conexión en situación de incendio, de manera racional y segura.

Los resultados de la modelación térmica bidimensional de vigas compuestas de acero y hormigón en situación de incendio, complementados con determinaciones estructurales por medio de la herramienta computacional SCBEAM, permitieron determinar la influencia de diferentes parámetros geométricos y físicos en la degradación de las resistencias y desarrollar un método gráfico alternativo, basado en datos combinados de modelación termo-estructural y de predicciones por

medio de técnicas de inteligencia artificial, para determinar directamente y con facilidad el TRF de una viga dada.

Los resultados de la investigación desarrollada no sólo son relevantes para Cuba, sino que también constituyen un referente de alto valor para el desarrollo del diseño estructural en situación de incendio en América Latina.

## **REFERENCIAS**

Hanus, F., Franssen, J. Distribution of temperature in steel and composite beams and joints under natural fire. En Application of Structural Fire Design. Praga, República Checa, 467- 473. 2011.

O'Neill, J., Abu, A., Carradine, D., Moss, P. y Buchanan, A. Modelling the fire performance of structural timber floors. En 7 th International Conference on Structures in Fire. Zurich, Suiza. 2012.

Jeffers, A. Heat transfer element for modeling the thermal response of non-uniformly heated plates. Finite Elements in Analysis and Design, 63, 62–68. 2013.

Sutriso W. y Wahyuni E. Simplification of numerical model to analyze the uniformly heated one way reinforced concrete slabs exposed by fire. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), 4, 197-201. 2014.

American Institution of Steel Construction. AISC: Specification for Structural Steel Buildings, Chicago, USA: AISC. 2010.

Comitê Brasileiro da Construção Civil ABNT/CB-2. ABNT NBR 14323: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios em situação de incêndio. Rio de Janeiro, Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2012.

European Committee for Standardization. Eurocode 3 (EN 1993-1-2): Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design. Brussels: CEN. 2003.

European Committee for Standardization. Eurocode 1 (EN 1991-1-2): Actions on structures - part 1.2: General actions - Actions on structures exposed to fire. Brussels: CEN. 2002.

European Committee for Standardization. Eurocode 4: (EN 1994-1-2): Design of composite steel and concrete structures - Part 1.2: General rules, structural fire design. Brussels: CEN. 2005.

Larrúa Y., Larrúa R. y Silva V. P. Análisis térmico del ensayo push-out de conexiones tipo canal a elevadas temperaturas. Revista Estructura de Aço. V. 3, pp. 223-242. 2014.

Larrua R., Silva V. P. Modelación térmica del ensayo de conexiones acero-hormigón a elevadas temperaturas. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia, 36 (3), 1-9. 2013.

Larrua R., Silva V.P. Thermal analysis of push-out tests at elevated temperatures. Fire Safety Journal, 55, 1-14. 2013.

Kruppa, J. y Zhao B. Fire resistance of composite slabs with profiled steel sheet and composite steel concrete beams. Part 2: Composite Beams. ECSC Agreement nº 7210 SA 509. 1995.

Rodríguez F., Larrua R., Bonilla J. (2012). Modelación estructural tridimensional del ensayo de conexiones acero – hormigón a elevadas temperaturas. Memorias de la XXXIII Convención Panamericana de Ingenierías. UPADI 2012. Editorial Obras. ISBN 978-959-247-094-1.

Larrúa Y., Larrúa R, Silva V.P. Diseño de conexiones tipo perno en vigas compuestas de acero y hormigón en situación de incendio. Revista Ingeniería de Construcción. V. 30 (3), pp 39-52. 2015.

Larrúa Y., Larrúa R, Silva V.P. Resistencia de las conexiones tipo canal a elevadas temperaturas. Revista DYNA. V. 82 (183), pp 137-144.

Larrúa Y., Larrúa R, Silva V.P. Diseño de conexiones mecánicas tipo canal en vigas compuestas bajo fuego. Revista Ingeniería Mecánica. V. 18 (1), pp. 51-61. 2015.

Larrúa R., Larrúa Y. y Silva V.P. Degradation of the resistance to vertical shear in steel-concrete composite beams under fire. 18 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura. III Congreso Internacional de Ingeniería Civil en Cuba. La Habana, Cuba. 2016.

Larrúa Y., Larrúa R. y Silva V.P. Método gráfico alternativo para el diseño de vigas compuestas de acero y hormigón sin revestimiento en situación de incendio. 2da Convención Internacional de Ciencias Técnicas. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.2016.

## PRODUCCION CIENTIFICA DE LOS RESULTADOS

La producción científica asociada a estos resultados consiste en la publicación de 40 trabajos, de ellos: 11 en revistas y bases de datos referenciadas, así como la presentación de 16 ponencias en prestigiosos eventos científicos internacionales y otras 13 presentaciones a nivel nacional e internacional; y el registro por CENDA de 2 productos de software. Además, se relacionan con los resultados 3 proyectos internacionales y 1 nacional, 1 postdoctorado defendido en la Universidad de Sao Paulo, 1 tesis de doctorado, 2 tesis de maestría y 8 trabajos de diplomas. Se han obtenido 4 Premios nacionales e internacionales.

**PUBLICACIONES EN REVISTAS Y BASES DE DATOS REFERENCIADAS:  
(ANEXO 1)**

Filiberto Y., Frias M., Larrua R., Bello R. (2016). Induction of Rules Based on Similarity Relations for Imbalance Datasets. A Case of Study. © Springer International Publishing AG 2016. J.C. Figueroa-García et al. (Eds.): WEA 2016, CCIS 657, pp. 65–73, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-50880-1\_6.

Larrúa Y., Larrúa R. y Silva V. P. (2016). Influencia del uso de métodos simplificados de temperatura en la resistencia de la conexión perno. Revista Cubana de Ingeniería. V. 7 (1), pp. 12-18. Scielo.

Larrúa Y., Larrúa R, Silva V.P. (2015). Diseño de conexiones tipo perno en vigas compuestas de acero y hormigón en situación de incendio. Revista Ingeniería de Construcción. V. 30 (3), pp 39-52. Indizada por: Science Citation Index Expanded (SCIE) y SCOPUS.

Larrúa Y., Larrúa R, Silva V.P. (2015). Resistencia de las conexiones tipo canal a elevadas temperaturas. Revista DYNA. V. 82 (183), pp 137-144. Indizada por: Science Citation Index Expanded (SCIE).

Larrúa Y., Larrúa R, Silva V.P. (2015). Diseño de conexiones mecánicas tipo canal en vigas compuestas bajo fuego. Revista Ingeniería Mecánica. V. 18 (1), pp. 51-61. Indizada por Scielo Index WoS.

Larrúa Y., Larrúa R. y Silva V. P. (2014) Análisis térmico del ensayo push-out de conexiones tipo canal a elevadas temperaturas. Revista Estrutura de Aço. V. 3, pp. 223-242.

Larrua R., Silva V. P. (2013). Modelación térmica del ensayo de conexiones acero-hormigón a elevadas temperaturas. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia, 36 (3), 1-9. Indizada por: Science Citation Index Expanded (SCIE).

Larrua R., Silva V.P. (2013). Thermal analysis of push-out tests at elevated temperatures. Fire Safety Journal, 55, 1-14. Revista Oficial de la Asociación Internacional de la Ciencia de la Seguridad contra Incendio. (International Association for Fire Safety Science), Indizada por: Science Citation Index y SCOPUS.

Filiberto Y., Bello R., Caballero Y., Frías M. (2013). An analysis about the measure quality of similarity and its applications in machine learning. Eureka-2013. Fourth International Workshop Proceedings. Published by Atlantis Press.

Filiberto Y., Bello R., Caballero Y., Larrua R. (2010). Using PSO and RST to predict the resistant capacity of connections in composite structures. Studies in Computational Intelligence. Springer Berlin / Heidelberg. ISSN: 1860-949X (Print) 1860-9503 (Online). Volume 284/2010. ISBN: 978-3-642-12537-9. Pp 359-370. Indizada por: Science Citation Index, SCOPUS.

Larrua R., Caballero Y., Filiberto Y., Bello R. (2009). Aplicación de la inteligencia artificial a la predicción de la capacidad resistente última de las conexiones en estructuras compuestas acero-hormigón. Revista de la Construcción. Vol 8 Nro 2. Pp 109-119. (Pontificia Universidad Católica de Chile). Indizada por: Science Citation Index Expanded (SCIE).

**OTRAS PUBLICACIONES RECONOCIDAS Y MEMORIAS DE EVENTOS PRESTIGIOSOS: (ANEXO 2)**

Larrúa R. (2016). Comportamiento y diseño estructural en situación de incendio. Conferencia Magistral. 18 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura. III Congreso Internacional de Ingeniería Civil en Cuba. CUJAE. La Habana, Cuba.

Larrúa R., Larrúa Y. y Silva V.P. (2016). Degradation of the resistance to vertical shear in steel-concrete composite beams under fire. 18 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura. III Congreso Internacional de Ingeniería Civil en Cuba. La Habana, Cuba.

Larrúa Y., Larrúa R. y Silva V.P. (2016). Método gráfico alternativo para el diseño de vigas compuestas de acero y hormigón sin revestimiento en situación de incendio. 2da Convención Internacional de Ciencias Técnicas. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.

Larrúa Y., Larrúa R. y Silva V. P. (2015). Resistencia de las conexiones tipo canal a elevadas temperaturas. 3er Congreso Ibero-Latino-Americano sobre seguridad contra incendio. CILASCI. Porto Alegre, Brasil.

Larrúa Y., Larrúa R. y Silva V. P. (2014). Conexiones tipo perno en estructuras compuestas hormigón-acero en situación de incendio. XXXVI Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Montevideo, Uruguay.

Larrúa R. (2014). Conferencia Magistral: El diseño estructural en situación de incendio. Conceptos generales y aplicaciones prácticas. II Congreso Internacional de Ciencias y Tecnologías para el Desarrollo Sostenible. Universidad Tecnológica de Panamá. Septiembre de 2014.

Larrúa Y., Larrúa R. y Silva V. P. (2014). Modelación térmica del ensayo de conexiones tipo canal de estructuras compuestas de acero y hormigón a elevadas temperaturas. Estudios paramétricos. 1ra Convención Internacional de Ciencias Técnicas. V Conferencia Internacional Sismos. Santiago de Cuba, Cuba.

Larrúa Y., Larrúa R. y Silva V. P. (2014). Diseño de conexiones tipo perno en vigas compuestas acero y hormigón en situación de incendio. 1ra Convención Internacional de Ciencias Técnicas. V Conferencia Internacional Sismos. Santiago de Cuba, Cuba.

Larrúa Y., Larrúa R., Pérez L. y Silva V. P. (2014). Influencia del método de determinación de la temperatura en la resistencia de conexiones acero-hormigón tipo perno en situación de incendio. 1ra Convención Internacional de Ciencias Técnicas. V Conferencia Internacional Sismos. Santiago de Cuba, Cuba.

Larrúa R. (2014) La predicción del comportamiento estructural. Un enfoque integrado en el uso de técnicas diversas. 1ra Convención Internacional de Ciencias Técnicas. V Conferencia Internacional Sismos. Santiago de Cuba, Cuba.

Larrua R., Silva V.P (2013). Modelación térmica del ensayo de conexiones acero – hormigón a elevadas temperaturas. Estudios paramétricos. Memorias X Simposio de estructuras, geotecnia y materiales de construcción. Editorial FEIJO. ISBN 978 - 959 - 250 - 929 – 0. Santa Clara. Cuba.

Larrua R. (2012). El incendio como desastre inducido por sismo. Enfoques actuales sobre el comportamiento y la seguridad de las estructuras a elevadas temperaturas. Conferencia. Memorias de la IV Conferencia Internacional de Peligrosidad, Riesgo Geológico e Ingeniería Sísmica y de Desastres. Editorial Universidad de Oriente. ISBN 978 – 959 – 207 – 449 – 1.

Larrua R., Pignatta S. Valdir (2012). Modelación térmica bidimensional del ensayo de conexiones acero – hormigón a elevadas temperaturas. Memorias de la XXXIII Convención Panamericana de Ingenierías. UPADI 2012. Editorial Obras. ISBN 978-959-247-094-1.

Larrua Y., Jiménez J., Larrua R. (2012). Consideraciones para el análisis térmico de las estructuras en situación de incendio. Memorias de la XXXIII Convención Panamericana de Ingenierías. UPADI 2012. Editorial Obras. ISBN 978-959-247-094-1.

Rodríguez F., Larrua R., Bonilla J. (2012). Modelación estructural tridimensional del ensayo de conexiones acero – hormigón a elevadas temperaturas. Memorias de la XXXIII Convención Panamericana de Ingenierías. UPADI 2012. Editorial Obras. ISBN 978-959-247-094-1.

Larrúa, R. (2011). Las interrelaciones entre la experimentación, la modelación y la estadística en la solución de problemas de ingeniería. Conferencia Magistral. Coloquio Internacional de Diseño. Facultad de Arquitectura y Diseño. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. Septiembre 2011.

### **OTRAS PRESENTACIONES DE LOS RESULTADOS A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL: (ANEXO 3)**

Larrúa R. (2017). Diseño de estructuras compuestas de acero y hormigón a temperatura ambiente y en situación de incendio. Curso (40 horas). Colegio de Ingenieros Civiles de Manabí. Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo. Ecuador.

Larrúa R. (2017). Comportamiento y diseño estructural en situación de incendio. Conferencia. Facultad de Construcciones. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba.

Larrúa R. (2017). Comportamiento y diseño estructural en situación de incendio. Conferencia. Empresa de Proyectos EMPROY 15. MICONS. Santiago de Cuba.

Larrúa R. (2015). Seminario – Taller Diseño Estructural Avanzado en Situación de Incendio. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Tecnológica de Panamá. UTP. 3, 4 y 5 de febrero.

Larrúa R. (2014). Conferencia: Aplicação da inteligência artificial na predição do comportamento das estruturas em situação de incêndio. Escola Politécnica de la Universidad de São Paulo. 1ro de diciembre de 2014.

Silva V.P, Larrúa R. (2014). Ciclo de Conferencias Conjunto. Seguridad contra incendio de los edificios. Énfasis en Estructuras / Estructuras compuestas. Enero de 2014. C. Habana.

Caballero, Y. (2012). Predicción de sucesos. Aplicaciones en Ingeniería Civil y Meteorología. Conferencia impartida al Doctorado en Informática. Universidad de Málaga, España. Mayo 2012.

Larrúa R. (2012). Enfoques actuales sobre el comportamiento estructural en situación de incendio. Conferencia. Universidad Tecnológica de Panamá.

Larrúa, R. y Filiberto, Y. (2011). Métodos y técnicas inteligentes para la predicción de sucesos. Resultados relevantes en la ingeniería civil. Conferencia impartida al Doctorado en Informática de la UCLV. Universidad de Camagüey, Cuba. Febrero 2011.

Larrúa R. (2010) Las relaciones entre la experimentación, la modelación y la estadística en la solución de problemas de ingeniería. Conferencia y Seminario – Taller impartidos en el Centro Experimental de Ingeniería. Universidad Tecnológica de Panamá. Ciudad Panamá. Febrero 2010.

Caballero Y. (2010). Aplicación de la inteligencia artificial a la predicción en ingeniería civil. Conferencia impartida en la Universidad Mayor de San Andrés. La Paz. Bolivia. Septiembre de 2010.

Larrua R. (2009). Enfoques actuales para la predicción de la capacidad resistente de las conexiones en estructuras compuestas acero – concreto. Conferencia impartida en el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). C. Universitaria. México DF. Noviembre de 2009

Larrúa R. (2009). Las interrelaciones entre la experimentación, la modelación y la estadística en la solución de problemas de ingeniería civil. Conferencia Magistral impartida en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Monterrey, Nuevo León. México. Noviembre de 2009.

#### **AUTORÍA DE SOFTWARE: (ANEXO 4)**

Registro de Software número 2105-06-2015 del Centro Nacional de Derecho de Autor (CENDA) a favor de: PROCON v4.0. La obra es un sistema informático capaz de predecir de manera eficiente la respuesta de diferentes tipologías constructivas a temperatura ambiente y en situación de incendio. 2015.

Registro de Software número 2982- 09-2014 del Centro Nacional de Derecho de Autor (CENDA) a favor de: SCBEAM. Software para el cálculo de la resistencia a momento flector y a cortante vertical, a temperatura ambiente y en situación de incendio, de vigas compuestas de hormigón y acero que cuenten o no con revestimiento contra incendio. 2014.

### **POSTDOCTORADOS, DOCTORADOS Y TRABAJOS DE DIPLOMA: (ANEXO 5)**

Postdoctorado:

Comportamento de estruturas mistas de concreto e aço em situação de incêndio. Programa de Pos-Doctorado del Departamento de Ingeniería de Estructuras y Geotécnica de la Universidad de São Paulo (USP). Larrúa R. (Certificado emitido el 25/3/2013, registrado en la División de Registros Académicos de la USP con No: 0178372).

Tesis de Doctorado:

Comportamiento termo-estructural y diseño de vigas compuestas de acero y hormigón en situación de incendio. Larrua Y. Programa de Doctorado en Ingeniería Civil. UCLV. 2016.

Tesis de Maestrías:

Cachón, Y. (2012). Dimensionamiento de estructuras compuestas de acero y hormigón de edificios en situación de incendio. Maestría en Ingeniería Civil. Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.

Rodríguez F. (2011). Modelación numérica del ensayo push-out de la conexión tipo perno estructuras compuestas hormigón-acero en situación de incendio. Maestría en Ingeniería Civil. Universidad de Camagüey. Camagüey. Cuba.

Trabajos de Diploma

Jorge. Y. (2014). Método simplificado para el diseño de las conexiones tipo perno en estructuras compuestas hormigón – acero en situación de incendio. Ingeniería Civil. Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.

Peña, D. y Fundora, L. (2014). Método gráfico alternativo para la verificación de momento flector de secciones compuestas de acero y hormigón en situación de incendio. Ingeniería Civil. Facultad de Construcciones. Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.

Mulet E. (2014). Método gráfico alternativo para la verificación a cortante de secciones compuestas de acero y hormigón en situación de incendio. Ingeniería Civil. Facultad de Construcciones. Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.

Pérez, L. M. (2013). Diseño de estructuras compuestas hormigón-acero a flexión en situación de incendio. Ingeniería Civil. Facultad de Construcciones. Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.

Herrera, C. (2012). Contribuciones al método simplificado de cálculo de la resistencia de conexiones tipo perno en situación de incendio. Ingeniería Civil. Facultad de Construcciones. Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.

Jiménez, J. (2011). La resistencia de las conexiones tipo canal en estructuras compuestas hormigón-acero con losa maciza en situación de incendio. Ingeniería Civil. Facultad de Construcciones. Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.

Guedes, E. (2011). Comportamiento de la conexión tipo perno en estructuras compuestas hormigón-acero en situación de incendio a partir del ensayo push-out. Ingeniería Civil. Facultad de Construcciones. Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.

Olivera I. (2009). Aplicación de la inteligencia artificial al pronóstico de la capacidad resistente de conexiones en estructuras compuestas hormigón – acero. Ingeniería Civil. Facultad de Construcciones. Universidad de Camagüey, Camagüey, Cuba.

#### **PROYECTOS INTERNACIONALES: (ANEXO 6)**

Proyecto: FAPESP 2014 / 05191-1. Dimensionamento de vigas mistas de aço e concreto em situação de incêndio. (6 meses). Finaciado por: FAPESP-Brasil. Investigador responsable: Prof. Dr. Valdir Pignatta e Silva. Jefe del Grupo de Seguridad Estructural ante incendio. Universidad de Sao Paulo (USP). Investigador visitante: Dr. Rafael Larrúa Quevedo. 2014 – 2015.

Proyecto: CAPES – MES 181 / 12. Comportamento e dimensionamento das estruturas em situação de incêndio. Financiado por: CAPES – Brasil. Investigador responsable: Prof. Dr. Valdir Pignatta e Silva. Jefe del Grupo de Seguridad Estructural ante incendio. Universidad de Sao Paulo (USP). Coordinador por la parte cubana: Dr. Rafael Larrúa Quevedo. Otros participantes: Yisel Larrúa Pardo, Frank Rodríguez Pompa. 2013 – 2015.

Beca Postdoctoral. Comportamento de estruturas mistas de aço y concreto em situação de incêndio. Financiada por: CAPES – Brasil. Supervisor: Prof. Dr. Valdir Pignatta e Silva. Jefe del Grupo de Seguridad Estructural ante incendio. Universidad de Sao Paulo (USP). 6 meses. 2010-2011.

Proyecto: Actualización y desarrollo de las bases conceptuales, metodológicas y de cálculo para el diseño estructural y arquitectónico en situación de incendio en Cuba. Agencia Cubana de Protección contra Incendio (APCI). 2016-2018. Jefe de proyecto: Dr. Rafael Larrúa Quevedo. Otros participantes: Dra. Yisel Larrúa Pardo, MSc Mavel Pardo González.

#### **PREMIOS Y RECONOCIMIENTOS: (ANEXO 7)**

Distinción Especial del Ministro por resultados relevantes en la actividad de ciencia y técnica. 2015. Ministerio de Educación Superior.

Premio al Mérito Científico Técnico en la categoría: al resultado que refleje el avance científico de mayor trascendencia y originalidad durante el año 2015. Universidad de Camagüey.

Premio al Mérito Científico Técnico en la categoría: al resultado que refleje el avance científico de mayor trascendencia y originalidad durante el año 2016. Universidad de Camagüey.

Premio Internacional "Mejor ponencia presentada" en: Workshop on Engineering Applications 2016. Universidad Nacional de Colombia / Universidad Francisco José de Caldas. Bogotá. Septiembre 2016: Filberto Y, Frias M, Larrúa R, Bello R. "Induction of rules based on similarity relations for imbalance datasets. A case of study".

#### **AVALES DE INSTITUCIONES PARTICIPANTES EN LA PROPUESTA.(ANEXO 8).**

Universidad de Sao Paulo, Brasil

Universidad Central "Martha Abreu" de Las Villas.

#### **AVALES DE INTRODUCCIÓN E IMPACTO DEL RESULTADO (ANEXO 9)**

Universidad de Camagüey (introducción en la docencia de pregrado y postgrado)

Agencia de Protección contra Incendio de Cuba (APCI). MININT. (2)

Universidad Tecnológica de la Habana (CUJAE).

Universidad de Oriente.

Universidad de Holguín.

Empresa de Proyectos EMPROY 15. Santiago de Cuba. MICONS.

Empresa de Proyectos EPIA 11. Camagüey.

Universidad de Málaga. España.

Universidad de Monterrey. México.

Universidad Tecnológica de Panamá. Panamá.

Escuela Politécnica Nacional. Ecuador.

Universidad Técnica de Manabí. Ecuador.

Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí. Ecuador.