

Eficacia del rediseño de las salidas de emergencia en la evacuación de personas por incendio de un almacén de calzado. Caso simulado con modelos de campo

Effectiveness of the redesign of emergency exits in the evacuation of people due to a fire in a shoe store. Simulated case with field models

Manolo Alexander Córdova Suárez.¹, Edison Patricio Villacres Cevallos.², & Graciela Chagñay Lema.³

Recibido: 16-07-2021 / Revisado: 30-07-2021 / Aceptado: 20-08-2021 / Publicado: 05-09-2021

DOI: <https://doi.org/10.33262/anatomiadigital.v4i3.1.2188>


Abstract.


Introduction. The safe design of emergency exits can improve the efficiency of occupant evacuation times during a fire caused by the combustion of polyurethane footwear in a multi-occupancy warehouse. **Objective.** The effectiveness of the implementation of emergency exits in the evacuation of people from a fire in a polyurethane footwear warehouse was measured using

Resumen.

Introducción. El diseño seguro de las salidas de emergencias puede mejorar la eficiencia de los tiempos de evacuación de los ocupantes durante un incendio causado por la combustión de calzado de poliuretano en un almacén de múltiple concurrencia. **Objetivo.** Se midió la eficacia de la implementación de salidas de emergencia en la evacuación de personas de un incendio en un almacén de

¹ Faculty of Engineering, National University of Chimborazo, Riobamba-Ecuador, hesconsultores@hotmail.com  ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6786-7926>

² Faculty of Engineering, National University of Chimborazo, Riobamba-Ecuador, pvillacres@unach.edu.ec  ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9518-1278>

³ Postgraduate, National University of Chimborazo, Riobamba-Ecuador, graciela.chagñay@unach.edu.ec,  ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3590-2886>

PyroSim and Psthfinder software.

Methodology. This investigation first used PyroSim software to create a) the simulation environment of a warehouse, b) the fire caused by the combustion of polyurethane footwear, c) environmental conditions of the event and specific geographic location. Pathfinder software was then used to simulate the evacuation time of personnel and occupants considering the physical attributes of personnel and movement speeds. To deepen the study, a comparison of the evacuation time was established in initial conditions and then with the implementation of emergency doors according to the NFPA 101 standard.

Results. In a local of 10m. wide, 15m. long, 3 m high, with two windows of 4.5 m² and a door of 2.5 m², in a warehouse located at 2770 m above sea level, with 76% relative humidity, at a temperature of 16°C, 1118 hPa atmospheric pressure, the evacuation time of 20 people At an evacuation walking speed of 1m/s is 40 s. Air extraction systems were not considered because of the houses built adjacent to the case study or disabled people as clients. **Conclusion.** With the implementation of an evacuation door of 3.4 m² the time is reduced to 30 s.

Keywords: FDS, pyrosim, pathfinder, smokview, evacuation.

calzado de poliuretano utilizando software PyroSim y Psthfinder.

Metodología. Esta investigación primero utilizó el software PyroSim para crear: a) el entorno de simulación de un almacén, b) el fuego causado por la combustión de calzado de poliuretano, c) condiciones ambientales del evento y ubicación geográfica específica. Luego se utilizó el software Pathfinder para simular el tiempo de evacuación del personal y ocupantes considerando los atributos físicos del personal y las velocidades de movimiento. Para profundizar el estudio se estableció una comparación del tiempo de evacuación en condiciones iniciales y luego con la implementación de puertas de emergencia según norma NFPA 101.

Resultados. En un local de 10m. de ancho, 15m. de largo, 3 m de altura, con dos ventanas de 4,5 m² y una puerta de 2,5 m², en un almacén ubicado a 2770 m sobre el nivel del mar, con el 76% de humedad relativa, a una temperatura de 16°C, 1118 hPa de presión atmosférica, el tiempo de evacuación de 20 personas A una velocidad de marcha de evacuación de 1m/s es de 40 s. No se consideraron sistemas de extracción de aire por tener viviendas construidas de manera contigua al caso de estudio ni personas discapacitadas como clientes. **Conclusión.** Con la implementación de una puerta de evacuación de 3,4 m² el tiempo se reduce a 30 s.

Palabras clave: FDS, pyrosim, pathfinder, smokview, evacuación.

Introducción

Cuando la población trabajadora retornó a sus actividades rutinarias el aumento de los negocios en el casco urbano de las ciudades del Ecuador fue rápido, acelerando el crecimiento económico, pero también las condiciones inseguras de trabajo. Los negocios de comercio ocuparon viviendas comunes que no contaban con los recursos necesarios de combate contra incendio ni la logística adecuada para modificaciones inmediatas por lo que los desastres por accidentes mayores aumentaron (Ribadeneira, 2021).

Sin embargo, los empleadores concentrados en la reinserción a los mercados de comercio adaptaron sus necesidades a los sitios que ocuparon. Debido al retorno a clases presenciales y una cantidad elevada de comercios por inspeccionar los organismos de control se vieron saturados de trabajo dejando negocios instalados con un potencial de incendio muy alto en zonas muy concurridas de comercio (Chacón & Cordova, 2021).

Por otro lado, los esfuerzos de mejora por parte de los dueños de los locales comerciales solo consideran la adopción de medidas empíricas de control como instalación de luces de emergencia y señalética preventiva no cubren las necesidades básicas de reacción ante un evento no deseado dejando vulnerables a los ocupantes de estos establecimientos que no cuentan con sistemas de extinción ni mucho menos sistemas de alarma y evacuación de humos. Los negocios de calzado ocupan un segmento importante en el comercio de las ciudades del Ecuador (Analuisa & Toaquiza, 2017); estos negocios reciben a las personas sin restricción de aforo y mucho menos cuentan con personal entrenado en emergencias de ningún tipo. La mayoría de locales almacenan en el mismo lugar de expendio los productos para la venta subiendo la carga combustible en situaciones de un incendio (Cachón, 2006).

La combustión de zapatos deportivos y escolares en estos almacenes tienen el potencial de generar materiales tóxicos por la presencia de poliuretanos y materiales sintéticos, disminuyendo el tiempo de reacción por su letalidad (Antepara, 2006).

En estas condiciones una alternativa para probar medidas de seguridad es la simulación de estos entornos peligrosos. La posibilidad de predecir el comportamiento del humo, temperaturas, concentraciones de las especies y radiación térmica no es suficiente para determinar medidas de control considerando los ocupantes y su dinámica en el momento del incendio (Capote et al., 2008).

Uno de los programas para modelar y simular numéricamente un evento de un incendio es el PiroSym y a diferencia del Fire Dynamics Simulator (FDS) y Consolidated Fire and Smoke Transport CFAST tienen la facilidad de exportar los archivos de los entornos creados a otro software el Pathfinder que analiza la evacuación de las personas hasta donde el investigador determine como salidas (Xiao et al., 2022). Aunque CFAST es una herramienta de acceso gratuito se fundamenta en modelos de zonas de capas caliente y frías y aunque considera balances de masa y energía no es tan eficiente como los modelos de campo que utiliza el PiroSym para incendios y el Pathfinder para evacuación.

La simulación de evacuación con Pathfinder necesita del escenario de incendio creado por PiroSym. Para modelar la simulación de la evacuación el Pathfinder combina los atributos físicos del personal, la velocidad de evacuación por las rutas seleccionadas y las características individuales del personal. Además permite analizar los factores que influyen en el tiempo de evacuación, como la cantidad y la ubicación de los módulos creados, la maquinaria y los equipos ubicados espacialmente, y la cantidad de personal que acude al local (Xiao et al., 2022).

Todas estas ayudas informáticas permiten visualizar los entornos de simulación creados utilizando el software SmokeView. Además, generan archivos en Excel con los resultados de cada análisis por separado y abrir los resultados sin necesidad de contar con los programas originales donde fueron creados.

Este trabajo simula dos condiciones de incendio primero en condiciones normales con una capacidad de aforo del 100% y luego define una mejora en las salidas de emergencia para probar la disminución en el tiempo de evacuación y comparar con el tiempo de incapacidad generada por el humo de los ocupantes.

Metodología

Simulación del incendio

Para simular el escenario de incendio primero se debe seleccionar un modelo de simulación apropiado. Una de las herramientas que permite una comprensión intuitiva del asunto de propagación del fuego, la distribución de la temperatura, el movimiento del humo, la visibilidad por la opacidad generada por las especies formadas. El software Fire Dynamics Simulator (FDS), es un simulador de dinámica de fluidos computacional (CFD) modelo de flujo de fluido impulsado por el fuego. FDS soluciona numéricamente una forma de las ecuaciones de Navier-Stokes condicionadas a flujo de baja velocidad impulsado térmicamente con énfasis en el transporte de humo y calor que se genera en los incendios (McGrattan et al., 2013).

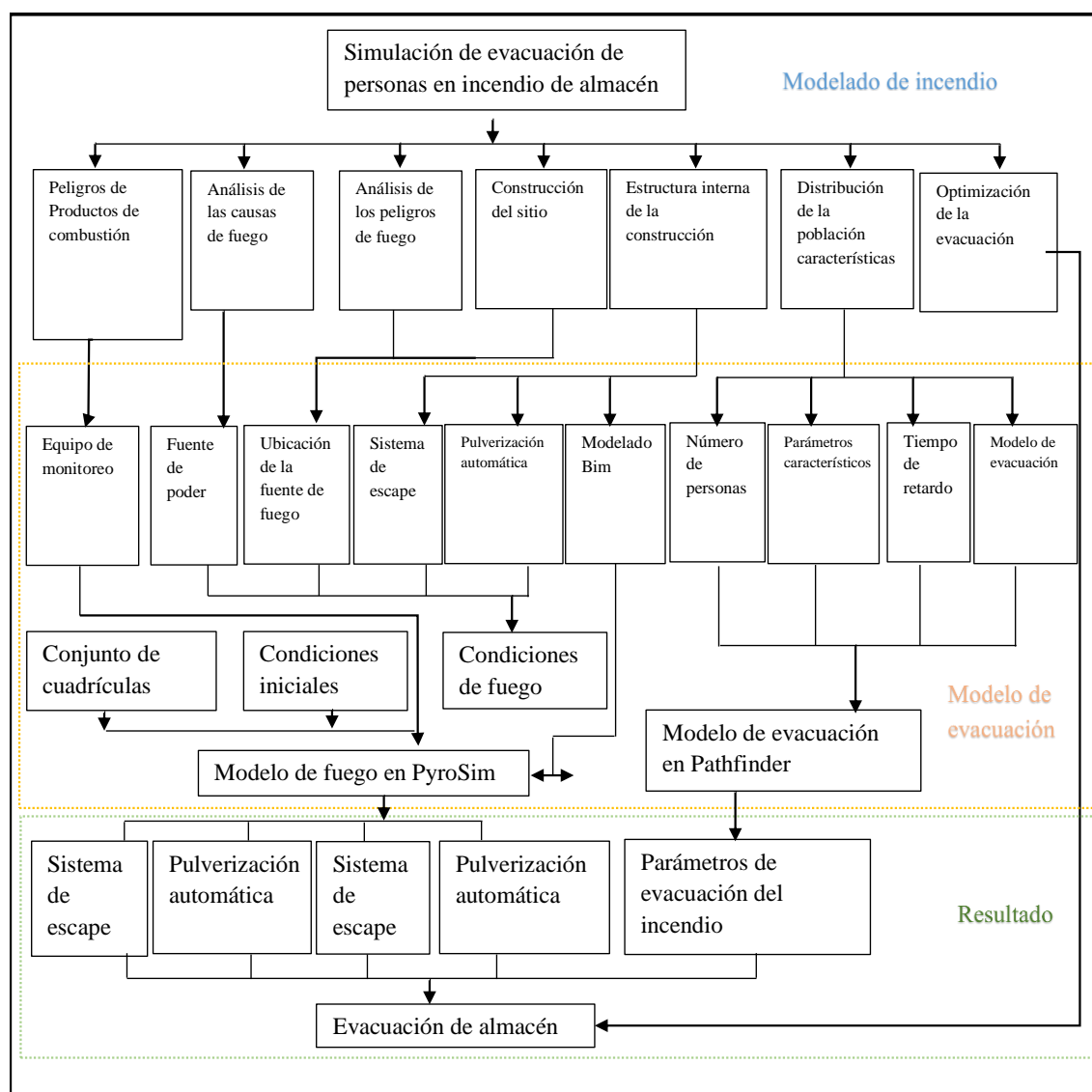
Las ecuaciones de Navier-Stokes son un sistema de ecuaciones diferenciales parciales no lineales para campos vectoriales abstractos de cualquier tamaño (Escalante, 2008). SmokeView es un programa de visualización independiente que se utiliza para mostrar los resultados en una pantalla con comandos interactivos al usuario (Forney & McGrattan, 2004). Aunque esta herramienta se puede ejecutar directamente desde el ordenador cuando se modela el entorno a simular se requiere realizar cambios en la geometría que solo se puede hacer en las líneas de la programación que se desarrolla en el FDS, dificultando su uso (Hu et al., 2007). Los diseñadores han creado herramientas más versátiles como el CYPE que calcula, dimensiona estructuras de diferente material (Román, 2016). Una de las mejores alternativas es el programa PyroSim que dispone de herramientas donde el usuario selecciona de manera versátil para crear el entorno a simular más rápido (Long et al., 2017). PyroSim importa archivos de muchos formatos de dibujo como: IFC, DXF, DWG, FBX, STL y FDS. Además, puede importar un dibujo

en formato GIF, JPG o PNG y luego usar como fondo para ayudarlo a dibujar rápidamente su modelo directamente sobre la imagen con herramientas 3D CAD de uso común.

Para desarrollar la simulación en Pyrosim primero se debe definir el tiempo y la precisión de la solución. Luego se debe reducir el tamaño de la malla por un factor múltiplo para concentrar los cálculos en un área determinada. Se introduce las paredes pisos y techo, el Pyrosim los guarda como bloques. Los fuegos deben configurarse al tipo de material y con su respectiva reacción. Ver figura 1 para conocer los pasos para realizar la simulación.

Figura 1

Pasos para modelar la simulación de una evacuación



Nota: En la figura se observa los pasos que se sigue para modelar en Pathfinder. Se observa tres etapas marcadas. En la Primera etapa está el modelado del evento de incendio. En la Segunda etapa se observa el modelado del evento de evacuación de personas. En la Tercera etapa se observa la descarga de resultados. Adaptado de (Xiao et al., 2022).

Para simular el proceso de evacuación del personal y los ocupantes del local se escogió el software Pathfinder software desarrollado la empresa Thunderhead. Esta herramienta informática utiliza un motor gráfico que nos permite realizar simulaciones muy reales con uso de gráficos aceptables. Una de las ventajas de este programa es la compatibilidad con diferentes tipos de archivos con formatos del tipo: DXF1, DWG2, IFC3, FBX4, DAE5 y OBJ6. Pathfinder puede definir los parámetros personalizados de los ocupantes y además en el momento de la evacuación responden a los cambios en el entorno de evacuación y la capacidad de seleccionar la ruta de evacuación óptima.

Resultados

Resultado de la simulación incendio con PyroSim

En la figura 2. Se observa el modelado del emplazamiento en PyroSim. Ver figura 2. El local no cuenta con medidas de prevención de incendio básicas. Las condiciones constructivas del establecimiento impedían probar un sistema de evacuación de humos porque existen construcciones seguidas al establecimiento.

Figura 2

Modelado escenario incendio (almacén zapatos) con PyroSim

Figura 2.a.

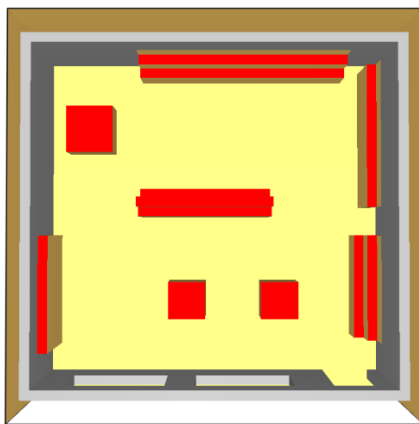
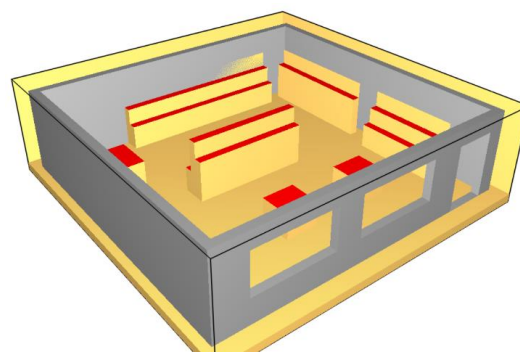


Figura 2.b



Nota: En la figura se observa el modelado del local de 10m. de ancho, 10m. de largo, 3 m de altura, con dos ventanas de 4,5 m² y una puerta de 2,5 m², en un almacén ubicado a 2770 m sobre el nivel del mar. Los elementos de la figura de color roja representan el material de poliuretano (zapatos deportivos) que se consideraron como fuegos. Figura 2a: Vista superior; Figura 2b. Corte isométrico.

En la figura 3. Se observa las capas de temperatura luego de la simulación del incendio del material combustible (zapatos deportivos) de poliuretano. La simulación se realizó considerando las limitaciones constructivas del del local para la instalación de sistemas de evacuación de humos.

Figura 3

Simulación de incendio con PyroSim

Figura 3a.

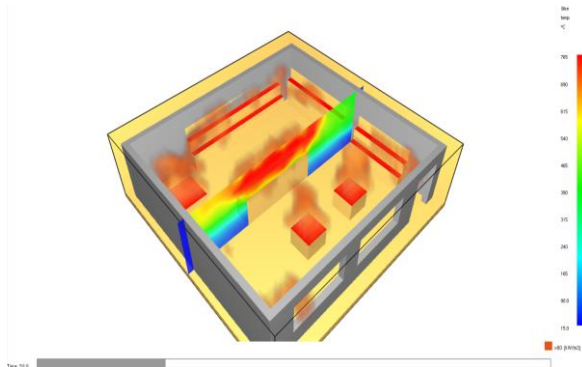
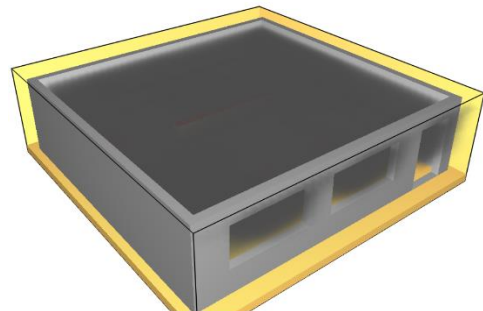


Figura 3b.



Nota: En la figura se observa la simulación del incendio con PyroSim para el almacén de calzado deportivo. La figura 3a muestra la temperatura máxima y el tiempo; en la figura 3b se observa el tiempo de saturación de humo en el local a los 30 segundos de iniciado el incendio.

Resultado de la simulación de evacuación de personas con Phatfinder

En la figura 4. Se indica el resultado de la simulación de la evacuación modelado del emplazamiento en Phatfinder. Se indica los dos escenarios simulados antes y después de la mejora que consistió en ampliar la salida de emergencia en 0,9 m² para cumplir lo establecido en la NFPA 101.

Figura 4
Simulación de evacuación en incendio de almacén con Phatfinder

Figura 4a.

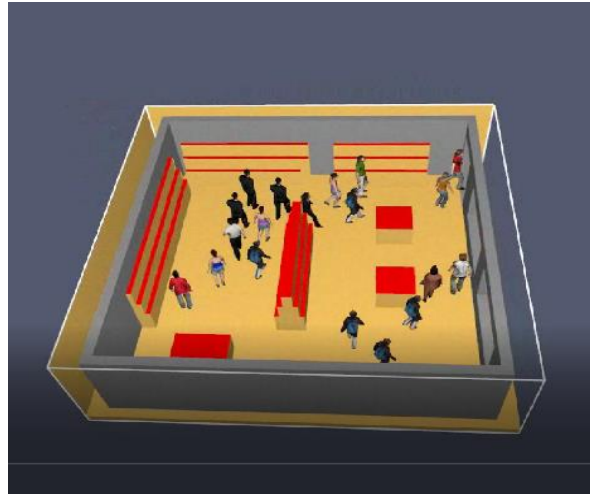


Figura b.

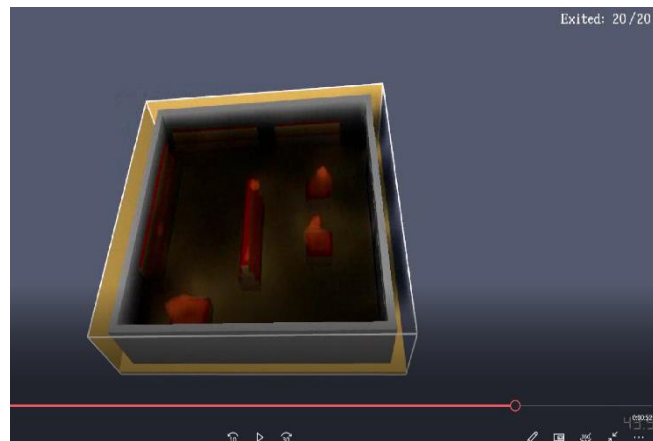
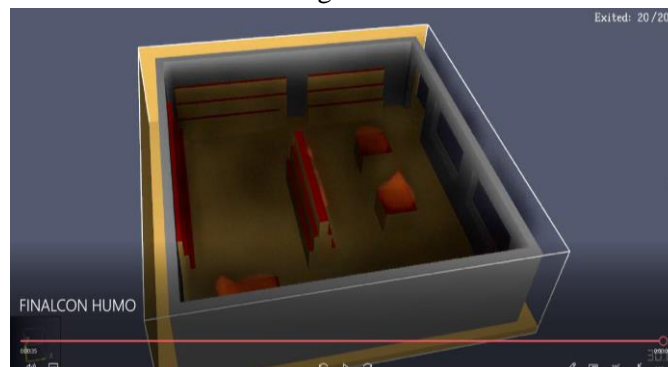


Figura c.



Nota: En la figura 4a. se observa el modelado de la simulación del incendio con Phatfinder, el número de personas asignadas fue de 20. La figura 4b muestra la simulación de la evacuación de las personas en condiciones iniciales. La figura 4c muestra la simulación de la evacuación de las personas en condiciones finales es decir con modificación del área de la salida de emergencia en 0,9 m². En la parte superior derecha de cada figura se indica la cantidad de personas que evacuan y en la parte inferior derecha el tiempo en segundos en cada evento.

Discusión

Aunque los resultados indican una mejora significativa en el tiempo de evacuación de las personas y del humo del almacén en el incendio de zapatos de poliuretano, no se pudo mejorar el diseño del sistema contraincendios por las limitaciones de las condiciones constructivas teniendo una saturación de humo a 30 segundos convirtiendo el evento en peligroso por los tiempos de incapacidad. Se recomienda seguir este estudio considerando un sistema de sprinklers y detectores de humo.

Conclusiones

- Al mejorar las condiciones de la puerta de emergencia del almacén de zapatos de poliuretano aumentando 0,9 m² en su área total se logró disminuir en 25% el tiempo de evacuación de 20 personas en un local de 10m. de ancho, 10m. de largo, 3 m de altura, con dos ventanas de 4,5 m² y una puerta de 3,4 m², en un almacén ubicado a 2770 m sobre el nivel del mar; utilizando el programa PyroSim para modelar el incendio y el Phatfinder para simular la evacuación de las personas.

Conflicto de Interés

- Se expresa que en el desarrollo del presente artículo no existen conflictos de intereses ni personales ni de ningún tipo por parte de los autores, declaración que se hace de manera libre y voluntaria por lo que se autoriza la publicación del presente documento.

Agradecimiento

Agradecemos al Ingeniero Darwin Córdova por las facilidades brindadas en este trabajo.

Referencias Bibliográficas

- Analuisa Chasi, M. R., & Toaquiza Toaquiza, T. d. P. (2017). *Marketing proactivo en tiempo de crisis para mejorar el desempeño de las mipymes del sector calzado de la ciudad de Latacunga* LATACUNGA/UTC/2017].
- Antepara Zambrano, A. E. (2006). *Diseño de un programa de seguridad en el trabajo y de un sistema de control y prevención de incendios en una empresa litográfica*
- Cachón, L. J. C. (2006). Intereses contrapuestos y racismo: el incendio de los almacenes chinos en Elche (septiembre de 2004). *4*(10), 1-19.
- Capote, J., Alvear, D., Abreu Menéndez, O. V., Lázaro, M., & Espina, P. J. R. i. d. m. n. p. c. y. d. e. i. (2008). Influencia del Modelo de Turbulencia y del Refinamiento de la Discretización Espacial en la Exactitud de las Simulaciones Computacionales de Incendios. *24*(3), 227-245.

- Chacón Méndez, G. A., & Cordova Muñoz, A. J. (2021). *“Propuesta de rediseño del sistema contra incendios del Centro de Salud Tipo C Lasso, de la Dirección Distrital 05D01 Latacunga Salud, bajo la Norma NFPA”* Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi: UTC.].
- Escalante, J. R. M. J. R. d. M. T. y. A. (2008). La ecuación de Navier-Stokes y multifractales. *15*(1), 49-70.
- Forney, G. P., & McGrattan, K. B. (2004). *User's Guide for Smokeview Version 4: A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data*. US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology.
- Hu, L., Fong, N. K., Yang, L., Chow, W. K., Li, Y., & Huo, R. J. J. o. H. M. (2007). Modeling fire-induced smoke spread and carbon monoxide transportation in a long channel: fire dynamics simulator comparisons with measured data. *140*(1-2), 293-298.
- Long, X., Zhang, X., & Lou, B. J. J. o. t. C. I. o. E. (2017). Numerical simulation of dormitory building fire and personnel escape based on Pyrosim and Pathfinder. *40*(3), 257-266.
- McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., Weinschenk, C., & Overholt, K. J. N. s. p. (2013). Fire dynamics simulator user's guide. *1019*(6), 1-339.
- Ribadeneira Maggi, J. I. (2021). Identificación del nivel de riesgo de incendio en los distintos locales de una cadena de restaurantes en Quito, Ecuador.
- Román Medina, D. A. (2016). *Diseño sismoresistente de un edificio de hormigón armado con el sistema de losa prefabricada con vigas peraltadas utilizando el programa SAP2000 y comparación de resultados con el programa CYPE* Quito: UCE].
- Xiao, M., Zhou, X., Pan, X., Wang, Y., Wang, J., Li, X., Wang, Y. (2022). Simulation of emergency evacuation from construction site of prefabricated buildings. *Scientific Reports*, *12*(1), Article 2732. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06211-w>

PARA CITAR EL ARTÍCULO INDEXADO.

Córdova Suárez, M. A., Villacres Cevallos, E. P., & Chagñay Lema, G. (2022). Eficacia del rediseño de las salidas de emergencia en la evacuación de personas por incendio de un almacén de calzado. Caso simulado con modelos de campo. *Anatomía Digital*, 4(3.1), 138-148. <https://doi.org/10.33262/anatomiadigital.v4i3.1.2188>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Anatomía Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Anatomía Digital**.

