

Modeling and prediction of the behavior of pedestrian entities in panic in vertical buildings, through a descriptive-macroscopic analysis

Mario César Dávalos Ancori, Bachelor¹, and Marcos David Chanca Razón, University Student²

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú, u201316854@upc.edu.pe

²Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú, u201412864@upc.edu.pe

Abstract– This article performs the modeling, comparison and evaluation of pedestrian’s performance process evacuation in a vertical building belonging to the municipality of Pueblo Libre, Lima-Peru. The research, descriptive-macroscopic, seeks to perform the aforementioned analyzes simulating a panic situation. It also emphasizes the need for a change in the distribution and studies of escape routes for future vertical buildings of large pedestrian capacity. Finally, the most relevant results in the framework of this research are: 1) Density, clearance time and storage area between a capacity of fifty people vs. total structure capacity 2) Data collection in real situation vs Pathfinder and 3) Efficiency of the different evacuation routes and suggestion in changing design for optimization of evacuation.

Keywords: panic factor, evacuation routes, emergency exit, Pedestrian entities, clearing times

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.393>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Modelado y predicción del comportamiento de entidades peatonales en estado de pánico en edificaciones verticales, a través de un análisis descriptivo-macroscópico

Mario César Dávalos Ancori, Bachelor¹, and Marcos David Chanca Razón, University Student²

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú, u201316854@upc.edu.pe

²Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú, u201412864@upc.edu.pe

Abstract - This article performs the modeling, comparison and evaluation of pedestrian's performance process evacuation in a vertical building belonging to the municipality of Pueblo Libre, Lima-Peru. The research, descriptive-macroscopic, seeks to perform the aforementioned analyzes simulating a panic situation. It also emphasizes the need for a change in the distribution and studies of escape routes for future vertical buildings of large pedestrian capacity. Finally, the most relevant results in the framework of this research are: 1) Density, clearance time and storage area between a capacity of fifty people vs. total structure capacity 2) Data collection in real situation vs Pathfinder and 3) Efficiency of the different evacuation routes and suggestion in changing design for optimization of evacuation

Keywords: *panic factor, evacuation routes, emergency exit, Pedestrian entities, clearing times.*

I. INTRODUCTION (HEADING 1)

El Perú es un país vulnerable a diversas catástrofes naturales más aún cuando se encuentra ubicado dentro del cinturón de fuego del pacífico. Es por ello que, los diferentes Ministerios, a lo largo de los años, han establecido normas y leyes que tienen por fin salvaguardar la vida de los pobladores. Estas son actualizadas periódicamente según las nuevas situaciones e investigaciones que van presentándose. A pesar de ello, en nuestro país, no existe un reglamento que norme y estandarice medidas adicionales de seguridad para mitigar los riesgos que surgen de la complejidad en infraestructuras verticales y las posibles dificultades en las operaciones de evacuación y rescate; que evalúen el tiempo de respuesta, la elección de la ruta, tiempo de movimientos, sus cambios de velocidades en estado de pánico ante un siniestro [1].

Para que las entidades peatonales encuentren una comodidad al desplazarse por un lugar aleatorio se debe hacer estudios mediante softwares y evaluar los comportamientos en varias direcciones [2]. Por ello, la aplicación de la tecnología de simulación de multitudes

ayuda a analizar la circulación peatonal [3,10-13], en los espacios públicos para facilitar las decisiones de diseño y planificación.

Este modelo describe cómo conectar el criterio espacial con la Simulación Basada en Agentes (ABS siglas en inglés) para varios escenarios de diseño, tales como obstáculos [4-12], entre otros y planificación, el proceso de visualización y representación del movimiento de peatones, así como el

estudio del Pathfinding y el comportamiento de la multitud. A su vez, el concepto de ABS ha sido ampliamente utilizado en ciencias de la computación, biología y ciencias sociales para simular la inteligencia de los enjambres, el comportamiento social dinámico y la evacuación de incendios. La simulación consiste en agentes interactivos que pueden crear varias complejidades [5].

En consecuencia, el siguiente estudio tendrá como objetivo principal predecir el comportamiento de las entidades peatonales en situación de pánico en el local municipal de Pueblo Libre, mediante un análisis descriptivo-macroscópico. Asimismo, se propondrán soluciones para lograr entender la relación entre usuario-estructura.

II. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Para poder realizar el análisis de flujo de evacuación en el local de la Municipalidad de Pueblo Libre, en primer lugar, se recolectó la información esencial de la estructura y se ubicaron puntos estratégicos que podrían ser posibles fuentes de congestión. En segundo lugar, se procedió a realizar el modelado con la herramienta Revit y Pathfinder. En tercer lugar, se calibró y validó el modelo con los datos obtenidos en el simulacro de evacuación. En cuarto lugar, se calculó las velocidades, densidades y rutas de evacuación en estado de pánico y simulacro. Por último, se realizó una estimación en estado de pánico para el aforo total del establecimiento.

A. Levantamiento de Información y Pre-dimensionamiento

Se realizó el levantamiento de la información de un local de la municipalidad de Pueblo Libre, del cual se obtuvieron datos como las dimensiones y rutas de evacuación autorizadas por INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil).

En primer lugar, las zonas de congestión se enfocarán en los puntos de salida de cada habitación donde albergan densa cantidad de entes peatonales como también lugares de alto acopio. Asimismo, durante el simulacro, se observaron cuellos de botellas [6,8-14] o puntos críticos y se acumularon masivamente [7], reduciendo la velocidad de tránsito en esos puntos de estrangulamiento. En segundo lugar, para evaluar si las rutas de escape están en óptimas condiciones, se realizará una inspección [11] una semana antes del simulacro piso por piso dentro de la municipalidad de Pueblo Libre, verificando que las zonas seguras estén

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.393>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Engineering, Integration, and Alliances for a Sustainable Development" "Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on a Knowledge-Based Economy", July 27-31, 2020, Virtual Edition.

funcionando con normalidad, caso contrario se detallará como errores que pueden perjudicar en la toma de datos. Finalmente, las salidas de emergencias serán estudiadas para obtener conclusiones en cuanto a su ubicación, es decir, la importancia que tendrán durante el simulacro.

Todo error se tomará en cuenta para la toma de datos. Además, se incluirá el uso de softwares para poder realizar una simulación con los datos que realicemos. Asimismo, se ubicaron cámaras en los puntos claves. Finalmente, se levantará la información en AutoCAD para los planos y Revit para el modelo 3D.

La fase de levantamiento y pre dimensionamiento iniciará con los siguientes pasos:

- Obtención de Planos de la municipalidad de Pueblo Libre

Previo al comienzo de la fase de modelado es necesario obtener los planos de arquitectura de la estructura. Es así que, se tramitó el proceso de obtención hasta poder tener uso de los planos de manera formal bajo restricciones que coloca la misma municipalidad.

- Identificar Velocidad, Densidad y Tiempo de despeje

La etapa de la toma de datos (durante el simulacro), sirve para hallar parámetros de velocidad peatonal y densidad peatonal en instantes diferentes como la obtenida entre habitaciones y rutas de evacuación, zonas de escape, zonas de acopio.

- Identificar rutas de evacuación

En esta etapa se identificó las rutas de evacuación y posibles puntos de congestionamiento.



Fig. 1 Ruta de evacuación: Patio central



Fig. 2 Ruta de evacuación: Punto de salida

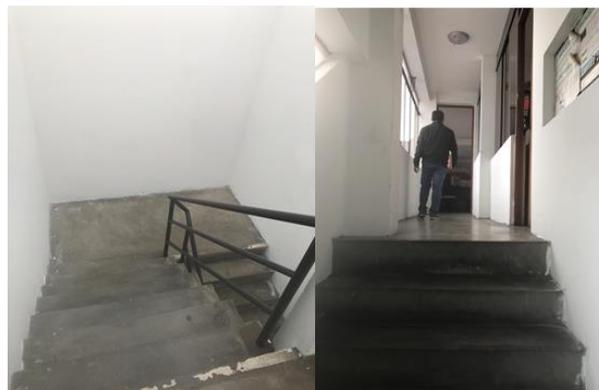


Fig. 3 Ruta de evacuación de ancho de 1.2 m

- Zona de acopio seguro de entes peatonales

La zona de acopio seguro para el local municipal es la calle Santa Cecilia 110. Es así que los entes peatonales se acopian sin ser perjudicados ante algún siniestro en su estancia dentro del local municipal. A continuación, se mostrará las imágenes de la zona de acopio:

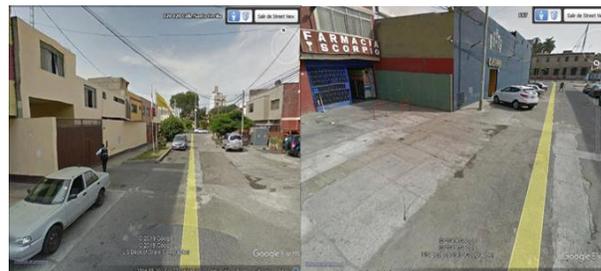


Fig. 4 Zona segura de acopio

B. Modelado de la información

Después de la fase de levantamiento de información y pre dimensionamiento, donde se obtuvo datos por medio de un simulacro de sismo dentro de la municipalidad de Pueblo Libre se implementará un modelo que represente la edificación, así como el ajuste del comportamiento psicológico [9] de las personas. Los resultados en 3D, muestran una variedad de puntos de vista y convencen a los especialistas como neófitos (Pathfinder, 2014). La Fase de modelado de información lo dividimos en los siguientes pasos: generación de modelo 3D en Revit y adición del modelo Revit dentro del programa Pathfinder con información de respuesta de los peatones, así como rutas y otros obtenidos en el paso A.

a. Generación de modelo 3D en Revit

Los planos se exportarán en el software Revit para después comenzar con el proceso de generación del modelo 3D con la información obtenida.

b. Adición del modelo Revit dentro del programa Pathfinder

Con el modelo 3D obtenido por Revit, procederemos a exportar la información al software Pathfinder para agregar la información peatonal y situacional para simular dos casos, simulacro y pánico.

Asimismo, la reacción psicológica se manifiesta diferente en cada individuo ante un estado de pánico según su familiaridad [9]. Por ello, el software nos permite hacer el estudio con su algoritmo A* que trabaja como respuesta y búsqueda de salidas más cercanas en los peatones, simulando una situación real. Cada peatón manifestará un movimiento aleatorio dentro de la habitación hacia la ruta de escape y zona de evacuación [15]. Asimismo, se tendrá en consideración el mobiliario y obstáculos.

c. Rediseño Estructural

Con el fin de presentar una sugerencia de solución al problema que se puede encontrar, se rediseñará el espacio infraestructural sin una afectación a la distribución original. Para ello, se propondrá una nueva alternativa de ruta de evacuación y generar los resultados para ver su efectividad.

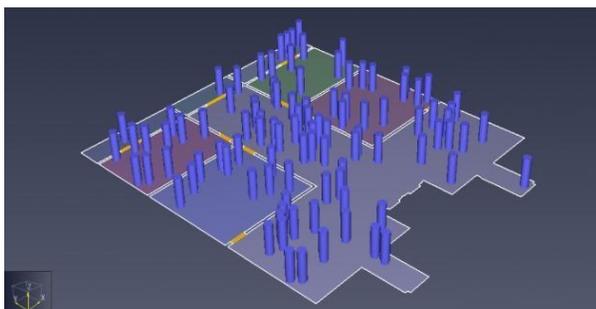


Fig. 5 Distribución de peatones en habitaciones-Pathfinder

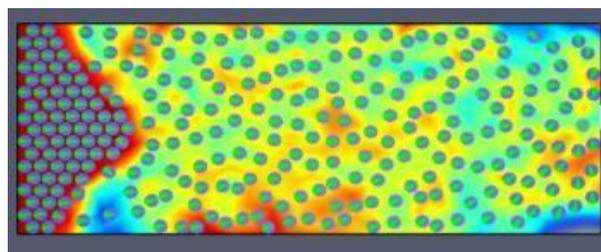


Fig. 6 Indicador de Densidad Peatonal

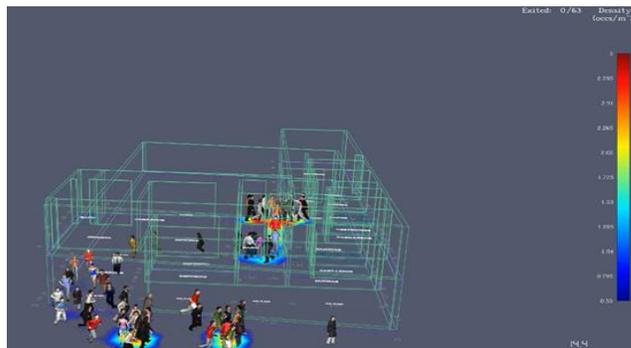


Fig. 7 Evacuación Peatonal hacia zona segura

C. Calibración y Validación del Modelo

Este documento presenta datos de prueba de calibración y validación para el simulacro de sismo en la municipalidad de Pueblo Libre y el simulador de Pathfinder. La siguiente definición se utiliza en este documento:

- Las pruebas de validación son casos diseñados para garantizar que el simulacro está funcionando como se especifica según como lo indica INDECI. Por lo general, estas pruebas intentan que entes peatonales según sus comportamientos psicológicos puedan evacuar de forma correcta teniendo un orden la cual ayude en un sismo real.
- Para la prueba de calibración de la adición del modelo en Pathfinder se aseguran las coordenadas y la corrección de líneas en un 3% para no alterar la estructura original.
- Para la prueba de validación de entes peatonales en evacuación se debe tener en cuenta que el conjunto o densidad debe ser igual a los datos obtenidos en el simulacro. Si no es el caso, se rechaza el proceso de elaboración del Pathfinder.
- Para los datos de tiempos y velocidades deberán ser similares al del simulacro de sismo con una aceptación de $\pm 1\%$. Se debe verificar que las herramientas para adicionar densidad dentro del programa estén funcionando correctamente. Asimismo, el programa detallará densidades por gráficos que tiene predefinidos como resultados con los datos añadidos con anterioridad.
- Para la prueba de validación en las rutas de escape y zona de evacuación deben aparecer en los planos y con la distribución correcta por cada piso de la municipalidad.

- Para la prueba de validación en zona de acopio seguro para entes peatonales, se dará en el proceso de evacuación de entes peatonales hacia lugares seguros. En este proceso se debe verificar las dos zonas seguras al igual que las zonas de evacuación y salidas hacia la zona de acopio. La densidad hacia la zona de acopio será adjuntada por grupos. Los resultados que mostrará el programa será una herramienta para tener conclusiones en comparación con el simulacro de sismo.

III. RESULTADOS

Para poder realizar el análisis de resultados de nuestra investigación se realizó a través de nuestros objetivos. Se utilizaron los datos obtenidos en el simulacro de evacuación de sismo y el programa de modelación macroscópica Pathfinder, mediante el cual se realizó el modelamiento de la estructura que permitirá comparar las dos situaciones diferentes (Simulacro vs Pánico); una vez que es aplicado el factor psicológico de pánico “k”, para indicar si existe o no diferencias en el desarrollo de la evacuación, tomando como factores base: la velocidad, los tiempos de despeje y la densidad. Asimismo, la principal herramienta de análisis corresponde al modelamiento de la estructura, que permiten estimar los coeficientes del modelo a estudiar. El nivel de error permitido corresponde a un 5%; por lo que, el nivel de confianza es 95%. A continuación, se presenta los resultados del testeo de cada objetivo:

1. Obtención de tiempo de despeje total y densidad durante un simulacro de sismo mediante el flujo de masas que transitan a través de los puntos de congestión.

Para calcular el tiempo de despeje total o tiempo de evacuación (t_e); se tomará el tiempo desde que los entes peatonales son conscientes de la proximidad de la activación de la alarma o tiempo de detección (t_d), y hasta que la última persona haya evacuado la estructura. Para ello, t_e se desglosará en diferentes momentos de tiempo; donde t_a representa el tiempo de alarma, t_r tiempo de retardo y t_{pe} el tiempo propio de la evacuación (NTP 436-España). Los resultados fueron tomados fueron en una situación “ideal” (simulacro), mostrados en la TABLA 1 y TABLA 2

Tabla 1 Tiempo de Despeje Total (simulacro)

Tabla tiempo de despeje total	
Población Total	Tiempo total de despeje (min)
50	5

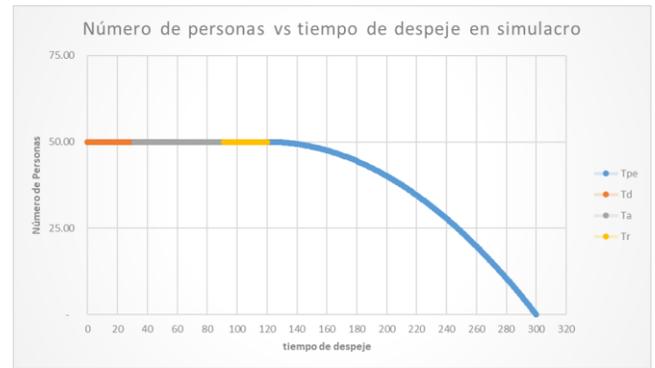


Fig. 8 Número de Personas vs Tiempo de Despeje (simulacro)

Tabla 2 Tabla Tiempo de Ciclo de Evacuación

Tipo	Tiempo (min)
T_d	0.5
T_a	1
T_b	0.5
T_{pe}	3

2. Identificar los puntos de congestión, capacidad de funcionalidad de rutas y salidas de emergencia mediante la densidad medida en persona por metro cuadrado (per/m²) afectada por el factor de pánico “k”

Para cumplir con el objetivo planteado, a través del software Pathfinder, se logró realizar una simulación “real” para analizar el verdadero comportamiento de las entidades peatonales en estado de pánico. Los resultados obtenidos se midieron en per/m² para analizar la capacidad de funcionalidad de rutas y salidas de emergencias.

En primer lugar, para identificar los puntos de congestión y funcionalidad de rutas, comparamos los tiempos de despeje total para un aforo de 50 personas en simulacro vs estado de pánico.

Los resultados obtenidos, con el aforo previamente mencionado, indicaban que la estructura se evacuaba en menos tiempo en un estado de pánico que en un estado ideal (simulacro), contradiciendo nuestro marco teórico, ya que el software arrojó como resultado un tiempo de evacuación de 160 segundos en estado de calma vs 120 segundos en el de pánico (fig. 9 y 10). No obstante, el análisis de datos de flujo de personas (per/s) nos indica que existen picos en el flujo de personas en ambas situaciones, ambos distintos en función al tiempo. Por lo que evidenciaba que, si existía un conflicto de congestión en ciertos puntos, en específicos instantes de tiempo como se aprecia en la tabla 3.

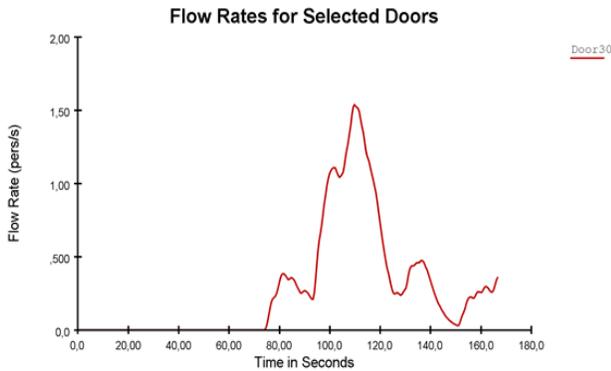


Fig. 9 Flujo de Salida peatonal sin Pánico (Pathfinder)

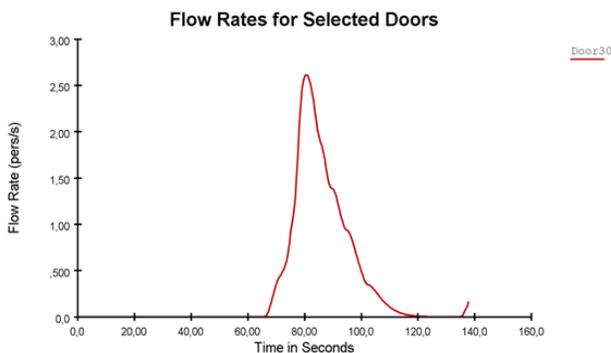


Fig. 10 Flujo de Salida peatonal con Pánico (Pathfinder)

Tabla 3 Situación Ideal vs Pánico (Pathfinder)

Cant. Personas = 50	SIMULACRO	PÁNICO
TIEMPO DESPEJE (s)	160	120
TIEMPO (t=x) s	80	80
FLUJO (per/s)	0.5	2.5

Debido a una vaga claridad en la interpretación de las zonas cogestionadas, se agregó la muestra a 140 personas (aforo máximo) para evidenciar los puntos de estrangulamiento suscitados en una evacuación afectada por el factor “k” en el software.

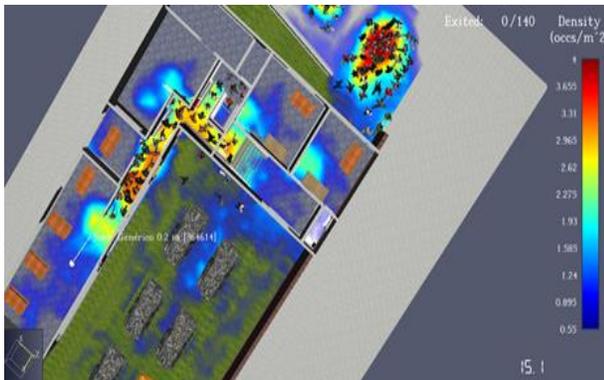


Fig. 11 Puntos de Congestionamiento con muestra = 140 personas

Los resultados (TABLA 4) obtenidos por el medidor de densidad demuestran la existencia de conflictos en 3 áreas:

- Pasadizo administración 2do piso (Pasadizo adm, 02)
- Pasadizo Gerencia 2do piso (Pasadizo gerencia 02)
- Descanso superior escalera (escalera 1)

Tabla 4 Puntos de congestión con muestra = 140 personas

Ruta de Evacuación	Densidad (per/m2)
Pasadizo adm, 02	3.31
Pasadizo gerencia 02	2.62
Escalera 1	2.965

3. Rediseño de Infraestructura

Para poder entender la funcionalidad de las rutas de evacuación de la estructura, realizamos un rediseño como propuesta para disminuir la densidad en los puntos de conflictos y mejorar el tiempo de despeje en las mismas condiciones (fig. 12). Para ello, se implementará una escalera en el modelo virtual, la cual conecta al área administrativa del segundo piso, ya que aquí se encuentra una gran parte de la población del segundo piso con tres tramos.



Fig. 12 Rediseño-Escalera como Ruta de Evacuación

Los resultados obtenidos (TABLA 5) después de implementar la nueva escalera al modelo redujo la cantidad de personas por metro cuadrado en los puntos de conflictos antes mencionados. No obstante, no se eliminó, en su totalidad, el conflicto existente.

Tabla 5 Densidad Obtenido a partir de Resideño de Estructura

Ruta de Evacuación	Densidad (pers/s)
Pasadizo adm. 02	0
Pasadizo gerencia 02	2.62
Escalera 1	2.275

IV. CONCLUSIONES:

- El análisis de valoración de rutas de evacuación, se debe realizar con el aforo total de la estructura, ya que esta será la situación más crítica. Además, realizar dicho análisis con una muestra pequeña, no refleja claramente cambios en los dos tipos de evacuaciones (simulacro vs pánico).
- Con los aforos aprobados por INDECI, se puede observar un correcto desalojo de la estructura. No obstante, dicho aforo no considera una situación real de evacuación con pánico, ya que el tiempo de despeje y congestión en los puntos de conflicto, aumentan considerablemente obstruyendo el flujo continuo dentro de una evacuación. Concluyendo la invalidez de dichos aforos para la estructura actual en una situación de evacuación suscitado por un siniestro
- Si bien existen dos factores dentro del desarrollo de una evacuación en cualquiera de los casos (psicológico e infraestructura), en esta investigación se ha llegado a la conclusión de que, bajo un mismo estado de “estrés” y reacción frente a un siniestro, la estructura no responde correctamente al flujo continuo de peatones durante el proceso de evacuación. Dejando en evidencia que la estructura puede cumplir con los estándares estructurales, pero no es facilitador en los procesos de evacuación.
- La adición de una nueva ruta de escape puede aliviar el problema de evacuación, resultando más rentable que la reestructuración de la estructura. No obstante, las nuevas rutas de evacuación tienen que evitar los puntos de intersección para no ocasionar el efecto contrario.
- Las zonas de acopio o zonas seguras, deben de poder estar diseñadas en función a la cantidad de individuos que puede albergar la estructura. Asimismo, los tiempos de llegada a la zona de despeje mejoran al estar en un punto intermedio entre los puntos de salida de las diferentes rutas de evacuación.
- El tamaño de muestra utilizado, representa un valor ínfimo comparado con los aforos de estructuras comerciales públicas; tales como: estadios, centros

comerciales, universidades, aeropuertos, entre otros. Siendo necesaria

- La evaluación estructural debe realizarse según nos indica la norma técnica peruana, para asegurar la vida humana.

V. REFERENCIAS:

- [1] Zhang, Y., Yan, Z., Zhu, H., Shen, Y., Guo, Q. and Guo, Q. (2019). Experimental investigation of pedestrian evacuation using an extra-long steep-slope evacuation path in a high altitude tunnel fire. *Sustainable Cities and Society*, 46, p.101423.
- [2] Lee, J., Kim, T., Chung, J., & Kim, J. (2016). Modeling lane formation in pedestrian counter flow and its effect on capacity. *KSCCE Journal Of Civil Engineering*, 20(3), 1099-1108.
- [3] Yuan, Z., Jia, H., Liao, M., Zhang, L., Feng, Y., & Tian, G. (2017). Simulation model of self-organizing pedestrian movement considering following behavior. *Frontiers Of Information Technology & Electronic Engineering*, 18(8), 1142-1150.
- [4] Fu, L., Luo, J., Deng, M., Kong, L., & Kuang, H. (2012). Simulation of Evacuation Processes in a Large Classroom Using an Improved Cellular Automaton Model for Pedestrian Dynamics. *Procedia Engineering*, 31, 1066-1071.
- [5] Tang, M., & Hu, Y. (2017). Pedestrian Simulation in Transit Stations Using Agent-Based Analysis. *Urban Rail Transit*, 3(1), 54- 60.
- [6] Daamen W, Hoogendoorn S (2010) Capacity of doors during evacuation conditions. *Procedia Engineering* 3(0):53–66.
- [7] Drury, J., Cocking, C., Reicher, S., Burton, A., Schofield, D., & Hardwick, A. et al. (2009). Cooperation versus competition in a mass emergency evacuation: A new laboratory simulation and a new theoretical model. *Behavior Research Methods*, 41(3), 957-970.
- [8] Liddle J, et al. (2009) An Experimental Study of Pedestrian Congestions: Influence of Bottleneck Width and Length. *Traffic and Granular Flow 2009* doi: citeulike-articleid: 6203264.
- [9] Mawson, A. (2005). Understanding Mass Panic and Other Collective Responses to Threat and Disaster. *Psychiatry: Interpersonal and Biological Processes*, 68(2), 95-113.
- [10] Moussaïd, M., Kapadia, M., Thrash, T., Sumner, R., Gross, M., Helbing, D., & Hölscher, C. (2016). Crowd behaviour during high-stress evacuations in an immersive virtual environment. *Journal of The Royal Society Interface*, 13(122), 20160414.
- [11] Richardson, O., Jalba, A., & Muntean, A. (2018). Effects of Environment Knowledge in Evacuation Scenarios Involving Fire and Smoke: A Multiscale Modelling and Simulation Approach. *Fire Technology*, 55(2), 415-436.
- [12] Imanishi, M., & Sano, T. (2018). Route Choice and Flow Rate in Theatre Evacuation Drills: Analysis of Walking Trajectory Data-Set. *Fire Technology*, 55(2), 569-593.
- [13] Kretz T, et al. (2011) Calibrating dynamic pedestrian route choice with an Extended Range Telepresence System. *Computer Vision Workshops (ICCV Workshops)*, 2011 IEEE International Conference on, pp 166–172.
- [14] Seyfried A, et al. (2009) New Insights into Pedestrian Flow through Bottlenecks. *Transportation Science* 43(3):395–406.
- [15] Helbing D, Mukerji P (2012) Crowd disasters as systemic failures: analysis of the Love Parade disaster. *EPJ Data Science* 1(1):1–4.