UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

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

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Chanca Razón, Marcos David..... (0000-0002-2363-9523)

Dávalos Ancori, Mario César..... (0000-0001-7428-6484)

ASESOR

Tarquino Torres, Fernando Mauricio..... (0000-0002-6635-8406)

Lima, 07 de octubre del 2020

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser sus hijos, son los mejores padres.

A nuestros hermanos (as) por estar siempre presentes, acompañándonos y por el apoyo moral, que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por bendecirnos a lo largo de todos estos años de vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a nuestros padres: Mario y Vilma; y Victoria, por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras decisiones, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

A nuestros familiares y amigos, que, con su aliento y presencia, fortalecieron nuestros espíritus y corazones; y abrazaron en los momentos de soledad y angustia.

Agradecemos a los Ingenieros y los Miembros del staff de la Facultad de Ingeniería Civil de la UPC, que nos brindaron un pequeño grano de arena de ellos para convertirnos en lo que ahora somos, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, al Doctor en ingeniería Fernando Tarquino Torres, asesor de nuestro proyecto de investigación quien ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente.

RESUMEN

La presente tesis realiza el modelado, comparación y evaluación del desempeño de la evacuación de peatones en municipalidad de Pueblo Libre-Lima-Perú, mediante la aplicación de un factor de pánico y un análisis descriptivo macroscópico.

Estos indicadores fueron empleados y comparados con situaciones ideales (simulacros) para mostrar la relación y diferencia entre distintas formas de evaluar el desempeño usuario-estructura, puesto que estos indicadores permiten observar la diferencia que hay en la toma de decisiones y cambios de parámetros como los tiempos de despeje, velocidades y densidades.

Primero se describe el entorno nacional, haciendo énfasis en situaciones fatídicas en recintos de gran aforo. Se plantea la problemática, se establece el objetivo general y los objetivos específicos de la presente tesis, así como la justificación, los alcances y los límites de la misma. El primer capítulo refiere al marco teórico y las características que afectan en el desarrollo de la evacuación como la infraestructura y el factor psicológico. Además, se presentan los métodos empleados para evaluar los parámetros a estudiar. En el segundo capítulo se expone el tipo de diseño y los procedimientos para obtener la información necesaria. En el tercer capítulo se exponen los resultados de la investigación. Se presentan los resultados obtenidos acorde a los objetivos planteados. En el cuarto y último capítulo se presentan las conclusiones a las que se llegaron con el estudio y se responde al objetivo general y los específicos de la tesis; y se enuncian las recomendaciones.

Palabras clave:

Factor de pánico

Tiempos de despeje

Rutas de escape

ABSTRACT

This thesis performs the modeling, comparison and evaluation of the performance of pedestrian evacuation in the municipality of Pueblo Libre-Lima-Peru, through the application of a panic factor and a macroscopic descriptive analysis.

These indicators were used and compared with ideal situations (simulations) to show the relationship and difference between different ways of evaluating user-structure performance, since these indicators allow us to observe the difference in decision making and parameter changes such as clear times, speeds and densities.

First, the national environment is described, with an emphasis on fateful situations in large spaces. The problem is posed, the general objective and the specific objectives of this thesis are established, as well as the justification, the scope and the limits of it. The first chapter refers to the theoretical framework and the characteristics that affect the development of evacuation such as infrastructure and the psychological factor. In addition, the methods used to evaluate the parameters to be studied are presented. The second chapter describes the type of design and the procedures to obtain the necessary information. The results of the investigation are presented in the third chapter. The results obtained are presented according to the objectives set. In the fourth and final chapter, the conclusions reached with the study are presented and the general objective and the specific ones of the thesis are answered; and the recommendations are stated.

Keywords:

Panic factor

Clearing times

Escape routes

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
INTRODUCCIÓN	1
1.1 MARCO TEÓRICO	8
1.1 MARCO PEATONAL	8
1.1.1 TEORÍAS COGNITIVAS: EMOCIÓN COMO JUICIO VALORATIVO Y RACIONALIDAD	8
1.1.2 ESTADO DE PÁNICO	9
1.1.3 PÁNICO CONTAGIOSO	10
1.1.4 MODELO DIRK HELBING DE FUERZA SOCIAL	11
1.1.5 MODELO MACROSCÓPICO	14
1.1.5.1 FISIC BASED MODEL	15
1.2 MARCO DE EDIFICACIONES VERTICALES	17
1.2.1 ESTUDIOS DE INVENTARIO	17
1.2.2 EFECTO ZIPPER	18
1.3 MARCO DE RELACIONES FISICAS Y MATEMATICAS ENTRE EL PEATÓN Y LAS EDIFICACIONES	18
1.3.1 A *: ALGORITMO DE BÚSQUEDA	18
1.3.2 VOLUMEN DE TRÁNSITO PEATONAL	19
1.3.3 VELOCIDAD DE CAMINATA	20
1.3.4 DENSIDAD PEATONAL	21
1.3.5 MODELOS REPRESENTATIVOS	22
1.3.6 RELACIONES ENTRE VARIABLES	23
1.3.6.1 RELACIONES VELOCIDAD – DENSIDAD	23
1.3.6.2 RELACIÓN FLUJO – DENSIDAD	24

1.3.6.3	RELACIONES VELOCIDAD – FLUJO	24
1.3.6.4	RELACIONES VELOCIDAD – ESPACIO TEMPORAL	25
2.	METODOLOGÍA	26
2.1	LEVANTAMIENTO Y PRE DIMENSIONAMIENTO	32
2.1.1	OBTENCIÓN DE PLANOS DE LA MUNICIPALIDAD DE PUEBLO LIBRE 33	
2.1.2	IDENTIFICAR VELOCIDAD, DENSIDAD Y TIEMPO DE DESPEJE	35
2.1.3	IDENTIFICAR RUTAS DE EVACUACIÓN	35
2.1.4	LOCALIZACIÓN DE ZONAS DE ESCAPE	37
2.1.5	ZONA DE ACOPIO SEGURO DE ENTES PEATONALES	38
2.2	FASE DE MODELADO	39
2.2.1	ADICCIÓN DEL PLANO DENTRO DEL PROGRAMA PATHFINDER	39
2.2.2	CANTIDAD DE ENTES PEATONALES EN EVACUACIÓN	39
2.2.3	AÑADIR RUTAS DE ESCAPE Y ZONAS DE EVACUACIÓN	41
2.2.4	ZONA DE ACOPIO SEGURO DE ENTES PEATONALES	42
2.3	CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO	43
2.3.1	FASE DE MODELADO	43
3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	45
3.1	OBTENCIÓN DE TIEMPO DE DESPEJE TOTAL Y DENSIDAD EN UN SIMULACRO DE SISMO PARA DE LAS ENTIDADES PEATONALES EN LA MUNICIPALIDAD DE PUEBLO LIBRE DURANTE UN SIMULACRO DE SISMO MEDIANTE EL FLUJO DE MASAS QUE TRANSITAN A TRAVÉS DE LOS PUNTOS DE CONGESTIÓN MEDIDOS EN VOLUMENES DE PERSONAS (PER/S) EN INPUTS, OUTPUTS EN LOS CUELLOS DE BOTELLA.	45
3.2	IDENTIFICAR LOS PUNTOS DE CONGESTIONAMIENTO Y 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, EN LA MUNICIPALIDAD DE PUEBLO LIBRE.	48
3.3	OBTENCIÓN Y COMPARACIÓN DE TIEMPOS DE DESPEJE A ZONAS SEGURAS, DISTANCIAS ENTRE RUTAS DE EVACUACIÓN Y HABITACIONES, MEDIANTE UNA VELOCIDAD AFECTADA POR UN VALOR K DE PÁNICO MEDIDA EN SEGUNDOS.	52
	COMPARACIÓN SITUACIÓN IDEAL (SIMULACRO) VS SITUACIÓN REAL (AFECTADO POR EL FACTOR K).	52

4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
5.	REFERENCIAS	67
6.	ANEXO	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Los eventos de estampida humana más letales documentados	1
Tabla 2. Tipo de tiempo, Magnitud (min)	46
Tabla 3. Población Total , Tiempo total de despeje (min)	46
Tabla 4. Tiempo y Flujo (Simulacro vs Pánico).....	50
Tabla 5. Ruta de Evacuación, Densidad (pers/s)	51
Tabla 6. Ruta de evacuación, Densidad (pers/s).....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Simulación de peatones en estaciones.....	5
Figura 2. Peatones con la misma dirección	12
Figura 3. Visión del ente peatonal	12
Figura 4. Relaciones entre velocidad y densidad peatonal	24
Figura 5. Relaciones entre flujo y densidad peatonal	24
Figura 6. Relaciones entre vectorial y flujo peatonal	25
Figura 7. Relaciones entre velocidad y espacio peatonal	25
Figura 8. Primer punto de conflicto en escalera	26
Figura 9. Segundo punto de conflicto en escalera	27
Figura 10. Tercer punto de conflicto en el primer piso	27
Figura 11. Cuarto punto de conflicto en puerta principal.....	28
Figura 12. Plano en planta del 1er piso	33
Figura 13. Plano en planta de 2do piso.....	34
Figura 14. Ruta de evacuación cerca al punto de salida	Figura 15. Ruta de evacuación en curva.....
	35
Figura 16. Ruta de evacuación punto de salida	36
Figura 17. Ruta de evacuación hacia el punto de salida.....	36
Figura 18. Zona de escape hacia punto de salida	Figura 19. Zona de escape hacia punto de salida.....
	37
Figura 20. Zona de escape en escalera principal	Figura 21. Zona de escape en escalera principal.....
	37
Figura 22. Zona de acopio seguro de la calle Santa Cecilia	Figura 23. Zona de acopio seguro de la calle Santa Cecilia
	38
Figura 24. Zona de acopio seguro de la calla Santa Cecilia	38
Figura 25. Entes peatonales	40
Figura 26. Habitación aleatorio en la municipalidad de pueblo libre..	40
Figura 27. Adicción de entes peatonales en la municipalidad de Pueblo Libre	40
Figura 28. Entes peatonales en cada piso dentro de habitaciones en el campus universitario.....	41

Figura 29. Entes peatonales hacia una zona de escape	41
Figura 30. Movimientos a los entes peatonales según variación de tiempo.....	42
Figura 31. Entes peatonales evacuando a la zona de acopio	43
Figura 32. Número de personas vs tiempo de despeje en simulacro	47
Figura 33. Densidad persona por m2 en cada piso	47
Figura 34. Inputs y Outputs durante la evacuación en cuellos de botella	48
Figura 35. Tasa de flujo en Door 30 en estado ideal	49
Figura 36. Tasa de flujo en Door 30 en estado de pánico	49
Figura 37. Conflictos con un factor K en un proceso de evacuación	50
Figura 38. Rediseño de rutas de evacuación.....	51
Figura 39. Puntos de conflictos en el rediseño de rutas de evacuación.....	51
Figura 40. Número de ocupantes vs Tiempo en Exited (total).....	69
Figura 41. Número de ocupantes vs Tiempo en Baño general 1 y 2.....	69
Figura 42. Número de ocupantes vs Tiempo en fiscalización, gerencia 1 y2 , of admin 1 y 2	70
Figura 43. Número de ocupantes vs Tiempo en escalera admin 2	70
Figura 44. Número de ocupantes vs Tiempo en Patio.....	70
Figura 45. Número de ocupantes vs Tiempo en Room 35,38,59,60	71
Figura 46. Número de ocupantes vs Tiempo en Stair 03, 03_1,14.....	71
Figura 47. Número de ocupantes vs Tiempo en Zona de acopio	71
Figura 48. Tasa de flujo en Door 21,28,30,37	72
Figura 49. Tasa de flujo en escalera admin 2 door 1 y 2	72
Figura 50. Tasa de flujo en puerta baño 1 y 2	72
Figura 51. Tasa de flujo en puerta gerencia 1, puerta fiscal 1 y 2, puerta of admin 1.....	73
Figura 52. Tasa de flujo en salida principal.....	73
Figura 53. Tasa de flujo en Stair03 door 1 y 2, Stair 03_1 door 1 y 2 , y Stair 14 door 1 y 2	73
Figura 54. Número de ocupantes vs Tiempo en Exited (total).....	74
Figura 55. Número de ocupantes vs Tiempo en baño general 1y2.....	74
Figura 56. Número de ocupantes vs Tiempo en escalera admin 2	74
Figura 57. Número de ocupantes vs Tiempo en fiscalización, gerencia 1 y 2, y of admin 1 y 2	75
Figura 58. Número de ocupantes vs Tiempo en Room 35,38,59,60	75

Figura 59. Número de ocupantes vs Tiempo en Patio	75
Figura 60. Número de ocupantes vs Tiempo en Stair03,03_1 y 14.....	76
Figura 61. Número de ocupantes vs Tiempo en Zona de Acopio	76
Figura 62. Tasa de flujo en Door21,28,30,37	Figura 63. Tasa de flujo en escalera
admin 2 door 1 y 2.....	77
Figura 64. Tasa de flujo en puerta baño 1y2	77
Figura 65. Tasa de flujo en puerta fiscal 1y2, admin1 y gerencia 1	77
Figura 66. Tasa de flujo en salida principal.....	78
Figura 67. Tasa de flujo en salida principal.....	78
Figura 68. Número de ocupantes vs Tiempo en exited (total).....	78
Figura 69. Número de ocupantes vs Tiempo en baño general 1y2.....	79
Figura 70. Número de ocupantes vs Tiempo en escalera admin 2	79
Figura 71. Número de ocupantes vs Tiempo en Fiscalización, gerencia 1 y2, y of admin 1y2	79
Figura 72. Número de ocupantes vs Tiempo en Patio	80
Figura 73. Número de ocupantes vs Tiempo en Room 35,59,60,38	80
Figura 74. Número de ocupantes vs Tiempo en Stair03,03_1,14.....	81
Figura 75. Número de ocupantes vs Tiempo en Zona de acopio	81
Figura 76. Tasa de flujo en door 21,28,30,37	Figura 77. Tasa de flujo en escalera
admin 2 door 1y2.....	82
Figura 78. Tasa de flujo en puerta baño 1 y2	82
Figura 79. Tasa de flujo en puerta fiscal 1y2, gerencia1 y of admin 1.....	82
Figura 80. Tasa de flujo en Salida Principal.....	83
Figura 81. Tasa de flujo en Stair 03 door 1y2, Stair 03_1 door 1, Stair 14 door 1, Stair03_1 door 2, Stair 14 door 2.....	83
Figura 82. Número de ocupantes vs Tiempo en Exited(total).....	84
Figura 83. Número de ocupantes vs Tiempo en baño general 1y2.....	84
Figura 84. Número de ocupantes vs Tiempo en escalera admin 1	84
Figura 85. Número de ocupantes vs Tiempo en Patio.....	85
Figura 86. Número de ocupantes vs Tiempo en Room 35,38,59,63,60	85
Figura 87. Número de ocupantes vs Tiempo en Fiscalización, gerencia1, of admin 1y2, gerencia 2.....	85
Figura 88. Número de ocupantes vs Tiempo en Stair03_1,03,14.....	86

Figura 89. Número de ocupantes vs Tiempo en Zona de acopio	86
Figura 90. Tasa de flujo en door 21,28,30,37	
Figura 91. Tasa de flujo en escalera admin 2 door 1y2.....	87
Figura 92. Tasa de flujo en Puerta baño 1y2	87
Figura 93. Tasa de flujo en Stair 03 door 1y2, Stair 03_1 door 1y2 , Stair 14 door 1y2 ...	87
Figura 94. Tasa de flujo en puerta fiscal 1y2, puerta gerencia 1 y puerta of admin 1.....	88
Figura 95. Tasa de flujo en Salida Principal.....	88

INTRODUCCIÓN

El Perú, es un país vulnerable a diversas catástrofes naturales. Más aún cuando se encuentra ubicado dentro del cinturón de fuego del pacífico¹.

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 normas son actualizadas periódicamente según las nuevas situaciones e investigaciones que van presentándose. Si bien, existen estas normas, no se puede afirmar que estén correctas. Por ejemplo, en el caso del sector construcción, se tienen diversas consideraciones y factores de seguridad para que las estructuras no colapsen frente a distintos eventos que se puedan suscitar. No obstante, a lo largo de los años se ha apreciado que el mayor número de muertes en casos de pánico, frente a desastres, es por aplastamiento o asfixia producidos por los propios usuarios de la edificación (Tabla 1).

Tabla 1. Los eventos de estampida humana más letales documentados

Año	Locación	Evento	Escenario	Muertes
1896	Khondynka, Rusia	Coronación de Nicolás II	Político	1389
1964	Lima, Perú	Clasificatoria olímpicas de fútbol	Deporte	318
1982	Moscú, Rusia	Copa UEFA en el estadio Luzhniki	Deporte	340
1987	Mina Valley, Arabia Saudita	Ani-US rally	Religioso	402
1990	Mina Valley, Arabia Saudita	Hajj	Religioso	1426
1994	Mina Valley, Arabia Saudita	Hajj	Religioso	270
2004	Mina Valley, Arabia Saudita	Hajj	Religioso	251
2005	Baghdad, Iraq	Festival religioso	Religioso	965
2005	Wai, India	Festival religioso	Religioso	267
2006	Mina Valley, Arabia Saudita	Hajj	Religioso	380

Nota: Eventos con gran cantidad de muertes por estampidas de personas en pánico. Adaptado de “Human Stampedes: A Systematic Review of Historical and Peer-Reviewed Sources”, por Ming Ngai, K., M. Burkle, F., 2009

¹ Martha Kiger (1996), es la mayor zona sísmica y volcánica activa en el mundo.

Códigos de construcción como el Código Internacional de Construcción [IBC, 2012] establecen los requisitos mínimos para el diseño seguro de un edificio de gran altura.

A pesar de ello, en nuestro país, no existe un reglamento que estandarice y norme medidas adicionales de seguridad para mitigar los riesgos que surgen de la complejidad de este tipo de edificios y las posibles dificultades en las operaciones de evacuación y rescate.

Los eventos recientes, como la evacuación del World Trade Center, han generado una mayor conciencia sobre este tema [Averill et al., 2005]. Este evento ha dado lugar a un cambio de paradigma en la evaluación de la seguridad de edificios. Demostró la importancia de proporcionar medios de egreso sólidos y la necesidad de investigar más a fondo las interacciones entre la infraestructura, los procedimientos de evacuación y el comportamiento de los ocupantes [Galea et al., 2008a].

Se han planteado varias preguntas sobre la idoneidad de los procedimientos de emergencia actuales para edificios de gran altura. ¿Qué tipo de escenarios de evacuación deben considerarse al diseñar edificios de gran altura? ¿Qué componentes de egreso (por ejemplo, escaleras, ascensores, pisos de refugio, puentes aéreos, etc.) son adecuados para evacuar edificios de gran altura? ¿Qué procedimientos de emergencia deben emplearse para mejorar la eficiencia de evacuación? Todas estas preguntas no tienen respuestas simples y, a menudo, dependen de los aspectos específicos del edificio en cuestión [Sekizawa et al., 2009]. El papel de los diseñadores de seguridad se hace aún más difícil por el hecho de que todavía hay una falta de conocimiento sobre los procesos de comportamiento de los ocupantes que pueden tener lugar durante la evacuación de un edificio de gran altura [Kuligowski, 2011].

Si un usuario modelo es consciente de las limitaciones intrínsecas de estos modelos y la variabilidad posterior de los resultados, los modelos de egreso son herramientas eficientes para analizar y comparar diferentes estrategias de evacuación [Machado Tavares, 2008]. Se pueden utilizar para proporcionar información cualitativa y cuantitativa sobre el uso por parte de los ocupantes de diferentes componentes y estrategias de egreso. De hecho, pueden permitir la representación del proceso de toma de decisiones del ocupante en el caso de escenarios de evacuación complejos [Gwynne et al., 1999].

Por lo tanto, el siguiente estudio tendrá como objetivo principal predecir el comportamiento de las entidades peatonales en situación de pánico en la municipalidad de Pueblo Libre, mediante un análisis descriptivo-macroscópico. Asimismo, se propondrán soluciones para

lograr entender la relación entre usuario-estructura. Para ello, se tomará como muestra el aforo total de los ambientes públicos de la municipalidad durante un simulacro de sismo y, a su vez, modelarlo con el software Pathfinder para analizar y comenzar a obtener resultados y así poder predecir el comportamiento de las entidades peatonales evacuando en estado de pánico en un local municipal del distrito de Pueblo Libre, identificar los puntos de congestionamiento y capacidad de funcionalidad de rutas y salidas de emergencia, tomar tiempos de despeje a zonas seguras, distancias entre rutas de evacuación y habitaciones.

Finalmente, este extracto servirá como antecedente para futuras investigaciones, marcar un hito dentro de los criterios de diseño estructural y actualización del reglamento peruano de edificaciones.

En este trabajo de investigación se ha realizado 3 estados de arte los cuales detalla el concepto que nos ayudará a tener un enfoque con mayor visión y se pueda realizar de una manera óptima. En primer lugar, en la investigación de los autores Zhang y compañía detalla que los túneles de carretera, como obras públicas esenciales, proporcionan una función práctica y económica para el transporte y la distribución física. El aumento explosivo en la industria y los comercios relacionados ejercen una presión poco imaginativa sobre la eficiencia y la seguridad de los túneles y provocan varios desastres de incendios trágicos (Dong, Yan, Zhang y Zhu, 2018; Ji, Fan, Zhong, Shen y Sun, 2012).

La investigación indica resultados de un experimento que se realizó en campo. Los datos encontrados fueron de una muestra que se ofrecieron a participar. El proceso indicó que los individuos evacuarán de forma rápida a lo largo del túnel la cual presenta gran altura y pendiente pronunciada. Los encargados del experimento enfocaron todo a una simulación real encendiendo fuego dentro del túnel. Los incendios en túneles han causado un gran riesgo para la vida humana y daños a la propiedad y la economía (Amundsen y Ranes, 2000; Amundsen, 1994). Una vez los individuos evacuaron se les hizo algunas pruebas de salud, encuestas (edades, estados emocionales, género) y cuestionarios. Además, se evaluó su tiempo de respuesta, la elección de la ruta, tiempo como se movieron, sus cambios de velocidades dentro del túnel.

En segundo lugar, la investigación de los autores detalla que, para el desarrollo de un sistema de transporte sostenible, se recomienda un cambio modal de automóviles a caminar o en tránsito (Kim y Ulfarsson, 2008; Ha et al., 2011; Kim et al., 2013; Lee and Park, 2014; Henao

et al. 2015; Piatkowski et al., 2015). 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. Los softwares que modelan de manera macroscópica ayudarán a reducir conflictos entre cada individuo como también aumentar las velocidades de viaje, que es comúnmente observada en un flujo de peatones. En el artículo se evalúa y analiza un modelo peatonal basado en la fuerza social donde explicará el fenómeno de la formación de carriles donde resultados simulaciones de efecto siguiente y efecto evasivo. Comparados con los numerosos modelos de movimiento de vehículos desarrollados desde 1930, (Greenshields, 1934; Lighthill y Whitham, 1955; Gazis et al., 1959; Benekohal y Treiterer, 1988; Newell, 2002.).

Finalmente, Ming Tang explica en su investigación él analiza como resultado experiencial en la aplicación de la tecnología de simulación de multitudes para analizar la circulación peatonal en los espacios públicos para facilitar las decisiones de diseño y planificación. El documento describe cómo conectar el diseño espacial con la simulación basada en agentes (ABS) para varios escenarios de diseño y planificación. Describe el proceso de visualización y representación del movimiento de peatones, así como el estudio del Pathfinding y el comportamiento de la multitud. Un ABS consiste en un gran número de agentes, que son controlados por reglas localizadas simples para interactuar entre sí dentro de un entorno virtual, formulando así un sistema de abajo hacia arriba. 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 (Ming Tang, 2019).

Figura 1. Simulación de peatones en estaciones

Fuente: Fundamentos del programa Pathfinder

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Será posible modelar y predecir el comportamiento de entidades peatonales en estado de pánico durante el desarrollo de una evacuación en la municipalidad de Pueblo Libre mediante un análisis descriptivo-macroscópico?

JUSTIFICACIÓN

En el sector construcción, para la edificación de estructuras se realiza un estudio para que estas respondan de manera correcta frente a eventos externos como sismos, nieve, vientos, entre otros. No obstante, la consideración de la estructura como un elemento facilitador para la evacuación del usuario es un factor que no se toma en cuenta. Uno de los fenómenos, durante el proceso de evacuación, que requiere un estudio adecuado, es la funcionalidad de la relación usuario-estructura, debido a que en determinadas situaciones pueden poner en peligro vidas humanas y generar importantes pérdidas.

En el Perú, no se ha realizado estudios del comportamiento y predicción de las entidades peatonales en situación de riesgo durante una evacuación debido a que no se cuenta con un

reglamento que exija un estudio previo, técnicas de estudio y análisis, y datos tales como: tiempos de evacuación, tiempos óptimos de evacuación, distancias óptimas a puntos de escape, entre otros. Por ello, en la actualidad se observan estructuras de gran aforo peatonal que cuentan con puntos de salida conectados a través de tramos, los cuales, en vez de ayudar a un fluido continuo y sin interrupciones, se convierten en cuellos de botellas y principal agente de fatalidades durante las evacuaciones.

En todo este proceso de investigación, un correcto modelamiento y predicción a través de un estudio descriptivo-macroscópico por medio del modelamiento de entidades peatonales en estado de pánico durante una evacuación, se convierte en un parámetro importante para la interpretación y estimación de situaciones, así como, funcionalidad de la respuesta de la estructura, ya que en el Perú no existe una norma dentro del Reglamento Nacional de Edificaciones que exija un estudio previo a la ejecución de un proyecto.

HIPÓTESIS

El modelamiento del comportamiento de entidades peatonales en estado de pánico durante un proceso de evacuación; determinará la aceleración, densidad y tiempos de despeje, como variables de respuesta; a través de un análisis descriptivo macroscópico.

OBJETIVO GENERAL

Implementar la aplicación de modelos para predecir el comportamiento de entidades peatonales en estado de pánico durante el desarrollo de una evacuación en infraestructuras verticales. Asimismo, los objetivos específicos serán:

- Obtención de tiempo de despeje total y densidad en un simulacro de sismo para de las entidades peatonales en la municipalidad de Pueblo Libre durante un simulacro de sismo mediante el flujo de masas que transitan a través de los puntos de

congestión medidos en volúmenes de personas (per/s) en inputs, outputs en los cuellos de botella.

- Identificar los puntos de congestionamiento y 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, en la municipalidad de Pueblo Libre.
- Obtención y Comparación de tiempos de despeje a zonas seguras, distancias entre rutas de evacuación y habitaciones, mediante una velocidad afectada por un valor K de pánico medida en segundos.

Limitaciones

- La obtención de datos en situaciones de pánico reales.
- Costo de toma de datos a través del sistema Unity.

1.1 MARCO TEÓRICO

A lo largo de este capítulo se pretende mostrar los conceptos básicos de un ‘Proceso de evacuación en situaciones de pánico’, así como de las técnicas y tecnologías que permiten su predicción y estudio.

Primero, se hará un enfoque conceptual de los elementos que intervienen dentro de nuestro proceso de investigación para entender el funcionamiento y relación de estos para cumplir con el objetivo principal. Posteriormente, se realizará un enfoque matemático a las principales variables presentes dentro de los objetivos propuestos en la investigación y del porque son una herramienta de importancia dentro de proyectos de infraestructura. Se repasarán sus aplicaciones más comunes en ambientes de grandes aforos, como; estadios, universidades, hospitales, entre otros.

Se mostrará cuál es el proceso de aplicación para un caso de estudio real, así como algunas de las técnicas utilizadas para su implementación, específicamente, las técnicas de árboles de decisión y de reglas de asociación, que serán el objeto de este estudio. Por último, se hará un recuento de los criterios que permiten la comparación de algoritmos y que serán utilizados posteriormente para efectuar la comparación de las dos técnicas, que son en esencia algoritmos y como tales, pueden ser comparados por estos criterios.

1.1 MARCO PEATONAL

1.1.1 TEORÍAS COGNITIVAS: EMOCIÓN COMO JUICIO VALORATIVO Y RACIONALIDAD

Son todas aquellas que definen las emociones como estados cognitivos: creencias, pensamientos, juicios, deseos. Dos son las principales razones para la elección de este nombre. En primer lugar, porque estas propuestas señalan la intencionalidad como el principal rasgo de las emociones, recayendo sobre esta característica la mayor parte de su poder explicativo. Las emociones se conciben como fenómenos que apuntan hacia rasgos del mundo, experiencias que informan al sujeto sobre su entorno. Es decir, para estas teorías conocemos nuestro entorno a través de las emociones. En segundo lugar, porque la estrategia de definir las emociones como estados cognitivos constituye una reacción teórica contra su concepción como fenómenos pasivos e irracionales, especialmente contra su asimilación al modelo interoceptivo jamesiano de los sentimientos o sensaciones [feelings] (cap. II.3).

Un juicio valorativo siempre evalúa algo, por lo que ha de incluir un objeto valorado para que sea completo. Dicho de otra manera, además de valorativas, las emociones son estados intencionales. Se entiende por intencionalidad el rasgo de ciertos estados mentales, tales como creencias o deseos y en el caso presente las emociones, de dirigirse hacia el mundo, de versar sobre objetos, situaciones, eventos o estados de cosas del mundo. “Emotions are about something” (Solomon, 1993: 111; Nussbaum, 2001/2008: 49- 50). Las emociones son estados cognitivos intencionales que valoran el mundo en el que se desenvuelve el sujeto emocional.

En la propuesta de Solomon, la intencionalidad de las emociones queda recogida en el contenido de los juicios emocionales. Este contenido presenta una estructura judicativa, cuya lógica valorativa e intencional puede representarse proposicional- mente de la siguiente manera:

X-como-siendo-P.

Pueden distinguirse dos partes o dimensiones del contenido valorativo e intencional de los juicios emocionales. Por un lado, x representa el objeto, situación o evento particular del mundo a la que se dirige la valoración emocional. Por otro lado, P representa el elemento evaluativo, el rasgo o propiedad valorativa que se adscribe a x. Se observa que el contenido de los juicios emocionales representa a un objeto o situación como portador de un rasgo emocional. De esta manera, resulta que la estructura del juicio valorativo de, por ejemplo, alguien que siente miedo ante un oso, consistiría en enjuiciar valorativamente el oso-como-siendo-peligroso. Al identificarlas con juicios, las emociones heredan el rasgo intencional propio de éstos.

1.1.2 ESTADO DE PÁNICO

La definición de “pánico” es considerado por muchos autores como la reacción del miedo y/o acciones evasivas, las cuales causan un comportamiento irracional y competitivo y, en muchas situaciones, involucra una reacción física agresiva, rompiendo el orden del entorno (Helbing D., 2002)

Dentro de la literatura del comportamiento humano, el “pánico” es generalmente definido como un comportamiento irracional, pero resultados de investigaciones recientes, muestran que las personas no siempre muestran ese comportamiento en situaciones de pánico (Stroehle, 2008). No obstante, ese comportamiento es visto como una regla en dichas

situaciones. En conclusión, el comportamiento de las personas bajo estrés es relativamente controlable, racional y adaptivo (Quarantelli, 1977). Estructura general del modelo y diagrama de bloques

Quarantelli, explica que, para la configuración del pánico, hay tres factores importantes: las personas deben tener un sentimiento de impresión, de profundo aislamiento y sensación de incapacidad.

1.1.3 PÁNICO CONTAGIOSO

El comportamiento de pastoreo es una razón esencial para modelar el contagio de pánico, en el que los individuos transfieren su comportamiento a otros agentes. Esto lleva a la propagación del pánico entre otros agentes. En otras palabras, los individuos en pánico tienden a causar un contagio social que conduce a atascos y hacinamiento que amenaza la vida. Cada agente tiene P_i como parámetro de pánico, valor que va de cero a uno. El valor inicial para el parámetro de pánico es siempre cero, pero aumenta debido a las fuentes de temor en el entorno que lo rodea o podría heredarse del agente que lo rodea. En lo que respecta a la difusión, utilizamos un modelo de consenso o dinámica de difusión con entrada externa (A. Jadbabaie,). El modelo depende de la cantidad de agentes en el área circundante y su nivel de miedo. El área circundante está definida por un círculo centrado en la posición del agente con un radio r_{si} . El contagio de pánico también depende de sus distancias relativas. Un agente se verá más afectado por los agentes circundantes con menos distancia. Estos factores dan como resultado el modelo:

$$P_i = c_i (z_i P_i + \sum_{j \in r_{si}} P_j w_j) + (1 - c_i) Q_i \dots \text{Ec. (1)}$$

$$\sum_{j \in r_{si}} w_j + z_i = 1, w_j = (1 - z_i) / d_{ij} / \sum_{k \in r_{si}} 1/d_{ik} \dots \text{Ec. (2)}$$

Aquí c_i es una constante, que se usa para ponderar el efecto ambiental versus la influencia social contagiosa. De la misma manera, w_j es una constante utilizada para ponderar la influencia de pánico causada por los agentes en el área circundante del agente i . La constante z_i representa la confianza personal en el propio juicio del agente de la situación. En otras palabras, $1 - z_i$ representa la cantidad de influencia del otro agente en el área circundante del agente i . Además de Q_i representar constantemente fuentes de temor en el entorno circundante, como el fuego o el humo del fuego, el hacinamiento que amenaza la vida y el apagón en un sitio público abarrotado.

1.1.4 MODELO DIRK HELBING DE FUERZA SOCIAL

El modelo Helbing utiliza una combinación de fuerzas físicas y socio-psicológicas para simular la dinámica de la multitud [1], con el objetivo de investigar las características del pánico de escape. Según Helbing, en las estaciones de pánico, los peatones tienen tendencias a actuar notablemente más rápido de lo normal y comienzan a empujarse entre sí. La dinámica a través de un cuello de botella se convierte en movimientos no coordinados, y en las salidas se observan arcos y obstrucciones y se acumulan atascos.

Cada uno de los N peatones, i , tiene un vector de velocidad y dirección deseados $V_i^0(t)$ y un vector de velocidad real $V_i(t)$. Un peatón tiende a adaptar la velocidad y dirección reales con un tiempo individual definido, T_i . La masa característica m_i y el ancho de los hombros $2r_i$ son parámetros peatonales. Además, el peatón, trata de mantener una distancia de separación de los peatones, j y las paredes, w . Este comportamiento se puede expresar usando las fuerzas de interacción f_{ij} y f_{iw} , respectivamente.

Las fuerzas de interacción repulsivas f_{ij} se describen como:

$$\mathbf{f}_{ij} = \{A_i \exp [r_{ij} - d_{ij}/B_i] + K g(r_{ij} - d_{ij})\} \mathbf{n}_{ij} + k g(r_{ij} - d_{ij}) \Delta v_{ji} \mathbf{t}_{ij} \dots \text{Ec. (3)}$$

Las fuerzas repulsivas correspondientes con la pared se describen como:

$$\mathbf{f}_{iw} = \{A_i \exp [r_i - d_{iw}/B_i] + K g(r_i - d_{iw})\} \mathbf{n}_{iw} - k g(r_i - d_{iw}) (\mathbf{v}_i \cdot \mathbf{t}_{iw}) \mathbf{t}_{iw} \dots \text{Ec. (4)}$$

El modelo utiliza $K g(r_{ij} - d_{ij})$ para representar la fuerza corporal, que corresponde a la compresión corporal, y $k g(r_{ij} - d_{ij}) \Delta v_{ji} \mathbf{t}_{ij}$ para representar la fuerza de fricción deslizante, que obstaculiza el movimiento tangencial relativo, cuando los peatones j y se tocan entre sí. Además, utiliza interacciones autopropulsadas entre peatones, $A_i \exp [r_i - d_{iw}/B_i]$, para mantener una distancia de separación de los demás y de manera similar a la pared.

Además, Helbing introdujo el comportamiento de empuje. Este comportamiento se puede describir aumentando la velocidad deseada de acuerdo con:

$$|V_i^0(t)| = (1 - p_i(t)) |V_i^0(0)| + p_i(t) V_{i \max} \dots \text{Ec. (5)}$$

Donde $V_i^0(0)$ es la inicial, y $V_{i \max}$ la velocidad máxima deseada. El parámetro dependiente del tiempo $p_i(t)$ es $1 - V_{ave i}(t) / |V_i^0(0)|$, donde $V_{ave i}(t)$ denota la velocidad promedio en la dirección de movimiento deseada, que es una medida de impaciencia.

El modelo de Helbing describe las características observadas de la dinámica de la multitud tanto en una situación de pánico como en situaciones normales. Un ejemplo es la formación de carriles, donde los peatones con la misma dirección de caminar deseada formarán los carriles [3], (consulte la Figura (2)). Otro es el movimiento descoordinado debido a la congestión en cuellos de botella o salidas a medida que aumentan las velocidades deseadas y las personas se apresuran hacia la salida [3]

Figura 2. Peatones con la misma dirección

Fuente: Formación de carriles

ÁREA DE VISIÓN Y DIMENSIONES DE PEATONES

Las personas se movilizan a través del entorno un área de visión, acorde a la Fig. 3. Esta área de visión considera a todas las personas en pie. La norma técnica brasilera (NBR 9.050) describe que las personas tienen un cono de visión por encima de la línea de su horizonte, cuya visión es de 25° de percepción y el movimiento inconsciente del ojo es de 15° .

Figura 3. Visión del ente peatonal

Fuente: Simulación multiagente de un escenario de evacuación real

La simulación describe el escenario que las personas presentan, las cuales pueden ser de dos tipos:

- Personas tranquilas: Estas son personas que se mueven normalmente (velocidad y dirección sin pánico) a través de la estructura.

- Personas asustadas: Personas que observan la situación y entran en un estado de pánico, incrementando su velocidad y redirigiéndose a las salidas. El grupo de “Personas tranquilas” también pueden entrar en pánico cuando observan a otros en dicho estado. De acuerdo a Stroehle, en situaciones de pánico, las personas abandonan sus propias características, heredando el comportamiento del grupo.

La visión de la persona, en este contexto, es presentada como la simulación de la visión de una tortuga. Cuando la situación de pánico es activada, la persona está observando atentamente el siniestro, utilizando los 25° del cono de visualización para observar el acontecimiento. En este punto, la persona cambia de tranquila a pánico, y busca indicaciones luminosas y/o puertas de salida, incrementando su velocidad, la cual es su movimiento en el entorno. Basado en información real de una tragedia, las personas tratan de correr hacia las salidas cuando el escenario del siniestro ha iniciado.

Las personas que aún no se han percatado del escenario, pero ven a las otras en estado de pánico, también cambian su estado al de pánico. En este momento, su comportamiento muestra que realmente pocas personas se han percatado del siniestro en sí, pero muchas vieron a otros en pánico. Cuando se está en pánico, las personas se trasladan a las señales más cercanas de salida, calculados por la distancia de Euclides, que refiere al espacio ocupado por un peatón en una zona de espera, se representa mediante una elipse como la que se muestra en la figura 2, que tiene un área de 0.3 m^2 . Para peatones en movimiento, la elipse debe considerar una zona adicional debida al paso del peatón y al movimiento de los brazos, definiendo un área peatonal de 0.75 m^2 . TRB (2000).

Dentro de los modelos de flujo de peatones a través de las rutas de salida, se espera que el flujo que ingresa deba ser igual al que sale para que su trayectoria se continúe y fluida. No obstante, información reportada referida a situaciones de sobresaturación muestran que el

flujo de salida es menor al de entrada: congestionamiento ocurrido y aparición de una cola en la entrada del cuello de botella.

1.1.5 MODELO MACROSCÓPICO

Los modelos macroscópicos se centran en la representación agregada de los movimientos de peatones en una multitud a través de las relaciones de flujo, densidad y velocidad (Fruin, 1971; Still, 2000; Daamen, 2004). El comportamiento macroscópico revela que la velocidad promedio de los peatones se reduce a medida que aumenta la densidad. La ecuación de flujo, derivada de la analogía con el flujo de fluidos, viene dada por

$$\text{Flujo } (Q) = \text{Velocidad Promedio } (V) \times \text{Densidad Promedio } (K) \dots \text{Ec. (6)}$$

El recíproco de la densidad se denomina módulo espacial o módulo de área (M) (Teknomo, 2002), que es más conveniente para relacionar el espacio del flujo peatonal con los factores humanos. Esto lleva a

$$\text{Flujo de Peatones } (Q_p) = \text{Velocidad Promedio } (V_p) / \text{Módulo de área } (M) \dots \text{Ec. (7)}$$

El Manual de Capacidad de Carreteras (TRB, 2000) clasifica el nivel de servicio para senderos, escaleras y flujos cruzados según la relación entre el espacio, la velocidad media y el caudal. Daamen (2004) describe la relación de flujo, densidad y velocidad para peatones según lo propuesto por varios investigadores basados en observaciones empíricas y también presenta un modelo macroscópico (SimPed) para modelar los flujos de pasajeros en las instalaciones de transporte público. La herramienta de simulación desarrollada, que está pensada como una ayuda en el proceso de planificación y diseño, cubre la elección de rutas, el embarque y el descenso, así como la caminata.

Los modelos macroscópicos tratan el movimiento peatonal como un fluido continuo y se basan en el comportamiento del fluido como un sistema interactivo a gran escala. El análisis macroscópico puede ser adecuado para grandes sistemas de gran densidad en los que el comportamiento de grupos de unidades es apropiado. Sin embargo, al representar la partícula (peatón) como elementos irreflexivos, estos modelos no tienen en cuenta el hecho de que el comportamiento variado de las partículas individuales puede cambiar significativamente la forma en que el fluido (multitud) se comporta en especial en situaciones de emergencia. Hughes (2002) propuso una teoría para el flujo de peatones basada en un modelado continuo que intenta modelar el flujo de peatones como un "fluido del pensamiento" basado en

hipótesis bien definidas. La teoría ha sido diseñada para el desarrollo de técnicas generales para comprender el movimiento de grandes multitudes; sin embargo, tiene el potencial de ser utilizado como una herramienta predictiva. El comportamiento predicho por el modelo macroscópico propuesto ha sido comparado con las observaciones aéreas para el Puente Jamarat cerca de La Meca, Arabia Saudita. Se afirma que la hipótesis de continuidad no es válida para un flujo supercrítico (baja densidad) y, por lo tanto, existe un margen para extender de forma probabilística la teoría de la continuidad de flujos peatonales a flujos de baja densidad. Se cree que tal extensión proporciona una interfaz importante entre modelos discretos y continuos de flujos humanos. Lee y Hughes (2005) informaron que la teoría (Hughes 2002) pudo identificar los lugares peligrosos para un accidente relacionado con la multitud y explicar el desarrollo de los accidentes de pisoteo y aplastamiento.

La mayoría de los códigos de práctica de construcción para planificación y diseño de peatones son modelos macroscópicos. Sin embargo, varios investigadores han cuestionado la suposición de una relación lineal entre el espacio y el flujo a nivel macroscópico a partir de simulaciones microscópicas. Teknomo (2002) ilustra con un ejemplo que el rendimiento del movimiento de dos corrientes peatonales opuestas puede mejorarse asignando el movimiento de los peatones en una sola dirección a cada puerta de una puerta de doble sentido en lugar de permitir que se muevan a través de cualquiera de las puertas. Por lo tanto, al controlar las interacciones de los peatones, se puede lograr un flujo peatonal más eficiente con menos espacio. La consideración de estas interacciones permite una mejor estimación de los retrasos para los peatones, lo cual es particularmente importante en situaciones de emergencia (Shiwakoti y Nakatsuji 2005).

1.1.5.1 FISIC BASED MODEL

Los modelos basados en la física reconocen que la multitud está formada por individuos que reaccionan a los eventos que los rodean. Estos modelos se han utilizado principalmente para estudiar situaciones de emergencia en interiores y situaciones de pánico para diseñar estrategias de evacuación. En el modelo basado en la física, la aceleración óptima se determina en función de varias fuerzas físicas. Al aplicar ecuaciones de movimiento, la simulación se actualiza en cada paso del tiempo. Algunos modelos emergentes basados en esto son el Modelo de Fuerza Magnética (Okazaki y Matsushita, 1993), NOMAD (Teoría Normativa del Comportamiento de los Peatones) (Hoogendoorn, 2004) y el Modelo de Fuerza Social (Helbing et al., 2000).

El Modelo de Fuerza Magnética (MFM) representa el movimiento de cada peatón como si fuera un objeto magnetizado en un campo magnético. El movimiento se basa en dos fuerzas, las fuerzas magnéticas de la ley de Coulomb para conducir a los peatones a su objetivo y otras fuerzas para evitar colisiones con otros peatones. La efectividad del modelo de simulación se ha demostrado mediante dos ejemplos de simulación (Okazaki y Matsushita, 1993):

- Evacuación de un edificio de oficinas.
- Movimiento de peatones en espacios de cola.

El MFM es simple en cuanto a su formulación. La evitación de colisión se considera en el modelo. No se han considerado las variaciones en las características microscópicas de los peatones. Es especialmente adecuado para la evacuación de seguridad contra incendios y problemas relacionados con la cola en espacios arquitectónicos y urbanos. Los planificadores pueden observar los flujos y congestiones que ocurren en el espacio arquitectónico. Los parámetros utilizados no son estimables directamente y, por lo tanto, el desafío radica en la validación del modelo.

El Modelo de Fuerza Social (MFS) es un modelo físico basado en la teoría del campo social. En la versión simplificada de este modelo microscópico, la dinámica de cada peatón está determinada por tres tipos de fuerzas:

- Fuerzas motrices (que dirigen al peatón hacia su destino).
- Fuerzas sociales o peatonales (que evitan colisiones entre dos peatones a través de fuerzas repulsivas) y
- Fuerzas granulares (que entran en juego cuando dos peatones se tocan y comienzan a empujarse entre sí en una situación de pánico).

A pesar de su simplicidad, SFM ha logrado reproducir varios fenómenos de flujo peatonal colectivo y analizar diferentes características del flujo peatonal. Su fortaleza radica en tratar con situaciones de pánico y se han realizado varios estudios de caso de simulación sobre pánico de escape desde una habitación (Helbing et al., 2000). Los parámetros utilizados en el modelo tienen un significado físico y pueden medirse a diferencia de los valores abstractos utilizados en el MFM. El modelo es lo suficientemente flexible como para simular tanto el comportamiento normal como el comportamiento de pánico de los peatones. Sin embargo,

el SFM no ha sido calibrado y validado en datos del mundo real para una situación de pánico. Los valores de los parámetros se han basado en la inspección visual. No se han considerado las variaciones en las características microscópicas de los peatones. El modelo podría no ser suficiente para simular escenarios complejos donde la búsqueda de rutas es importante.

NOMAD tiene una base teórica basada en la microeconomía de la minimización de costos. Describe la ejecución de tareas de control humano en las que se supone que los peatones minimizan el llamado “costo de funcionamiento de la marcha”. Se ha informado que tiene éxito en la reproducción de fenómenos de flujo peatonal colectivo, formación de carriles, franjas homogéneas en el cruce de flujos peatonales, comportamiento en cuellos de botella y que es consistente con importantes hallazgos empíricos y experimentales sobre el comportamiento microscópico de los peatones, como la anisotropía (refleja la diferencia en comportamiento al reaccionar ante estímulos en frente o detrás, en relación con estímulos del otro lado y la cooperación de los peatones. También se ha demostrado que NOMAD proporciona una generalización de la OFS (Hoogendoorn, 2004). No se ha informado ninguna indicación de validación del modelo, sin embargo, la comparación de las distribuciones de avance del modelo se ha comparado con el avance observado de los experimentos.

1.2 MARCO DE EDIFICACIONES VERTICALES

1.2.1 ESTUDIOS DE INVENTARIO

Su objetivo es determinar las características geométricas de la infraestructura peatonal y otras condiciones físicas como su estado, la localización de obstáculos, riesgos y condiciones que puedan afectar el movimiento de las personas. Los estudios de inventario también consideran la señalización vial para peatones, esto involucra: señales verticales, demarcación horizontal, dispositivos de control del tránsito, elementos de apoyo como barandas, rampas, zonas sensoriales, entre otras.

Como resultado de estos estudios, el ingeniero de tránsito determina las características de la oferta y puede detectar falencias de la misma. El nivel de detalle del estudio de inventarios es relativo al nivel del proyecto que se esté desarrollando, de esta forma, un proyecto con fines de planificación de transporte requerirá un nivel de detalle bajo, mientras que un estudio de nivel operativo necesitará mayor precisión, especialmente si se van a calibrar modelos de flujo o modelos de simulación macroscópica. Debe tenerse especial cuidado al

referenciar aquellos elementos que brindan accesibilidad a los peatones con movilidad restringida, como escalones, rampas, sensores, delimitadores, canalizadores, así como los elementos propios del mobiliario, como sillas, computadoras, muebles.

1.2.2 EFECTO ZIPPER

Se le atribuyó un "Efecto de Zipper", a los carriles para peatones que se forman en el cuello de botella y deben ser intercalados, porque el ancho del cuello de botella no permite que los peatones de diferentes carriles se paren hombro con hombro. Dentro de cada carril, el avance que mantienen los peatones con respecto al caminante justo en frente de ellos (de un segundo en orden) impone una distancia mínima finita entre los peatones. Pero no hay tal avance entre los distintos carriles, por lo que un peatón puede acercarse al contacto con un caminante de un carril vecino, sin poder adelantar a este vecino debido al espacio lateral restringido.

1.3 MARCO DE RELACIONES FISICAS Y MATEMATICAS ENTRE EL PEATÓN Y LAS EDIFICACIONES

1.3.1 A *: ALGORITMO DE BÚSQUEDA

A * es un algoritmo de búsqueda informado, o la mejor búsqueda, lo que significa que está formulado en términos de gráficos ponderados: a partir de un nodo de inicio específico de un gráfico, tiene como objetivo encontrar una ruta al nodo objetivo dado que tenga el más pequeño Costo (menor distancia recorrida, menor tiempo, etc.). Para ello, mantiene un árbol de rutas que se originan en el nodo de inicio y extiende esas rutas un borde a la vez hasta que se cumpla su criterio de terminación.

En cada iteración de su bucle principal, A * necesita determinar cuál de sus caminos se extenderá. Lo hace basándose en el costo de la ruta y una estimación del costo requerido para extender la ruta hasta la meta. Específicamente, A * selecciona la ruta que minimiza.

$$f(n)=g(n)+h(n)\dots Ec. (8)$$

Donde n es el siguiente nodo en la ruta, g (n) es el costo de la ruta desde el nodo de inicio hasta n, y h (n) es una función heurística que estima el costo de la ruta más barata desde n hasta la meta. A * termina cuando la ruta que elige extender es una ruta de inicio a meta o si no hay rutas elegibles para ser extendidas. La función heurística es específica del problema.

Si la función heurística es admisible, lo que significa que nunca sobreestima el costo real para llegar a la meta, se garantiza que A * devuelva una ruta de menor costo desde el inicio hasta la meta.

Las implementaciones típicas de A * utilizan una cola de prioridad para realizar la selección repetida de nodos de costo mínimo (estimado) para expandir. Esta cola de prioridad se conoce como conjunto abierto o franja. En cada paso del algoritmo, el nodo con el valor $f(x)$ más bajo se elimina de la cola, los valores f y g de sus vecinos se actualizan en consecuencia, y estos vecinos se agregan a la cola. El algoritmo continúa hasta que un nodo objetivo tenga un valor f más bajo que cualquier nodo en la cola (o hasta que la cola esté vacía). El valor de la meta es el costo de la ruta más corta, ya que h en la meta es cero en una heurística admisible.

El algoritmo descrito hasta ahora nos da solo la longitud del camino más corto. Para encontrar la secuencia real de pasos, el algoritmo se puede revisar fácilmente para que cada nodo en la ruta realice un seguimiento de su predecesor. Después de ejecutar este algoritmo, el nodo final apuntará a su predecesor, y así sucesivamente, hasta que el nodo de inicio sea el predecesor de algún nodo.

Como ejemplo, al buscar la ruta más corta en un mapa, $h(x)$ puede representar la distancia en línea recta hacia la meta, ya que es físicamente la distancia más pequeña posible entre dos puntos. Si la heurística h satisface la condición adicional $h(x) \leq d(x, y) + h(y)$ para cada borde (x, y) de la gráfica (donde d denota la longitud de ese borde), se llama h monótono, o consistente. En tal caso, A * se puede implementar de manera más eficiente, en términos generales, no es necesario procesar ningún nodo más de una vez (ver el conjunto cerrado a continuación), y A * es equivalente a ejecutar el algoritmo de Dijkstra con el costo reducido.

1.3.2 VOLUMEN DE TRÁNSITO PEATONAL

También denominado aforo o conteo, es un estudio realizado comúnmente en ingeniería de tránsito, su objetivo es cuantificar la demanda de infraestructura peatonal, especialmente su variación (espacial y temporal), distribución (por sentidos o cruces en accesos de intersecciones) y composición (de acuerdo con los atributos de los peatones, como género, edad y ocupación). Con las condiciones tecnológicas actuales, los aforos peatonales son realizados mediante sensores que el peatón generalmente no detecta como lo son las cámaras de video, sin embargo, su utilización en los aforos implica contar con software especializado

para conteo. Sin embargo, en muchos sistemas con altos flujos peatonales, los conteos son realizados en forma mecánica o mediante sensores electromagnéticos u ópticos. En los estudios de ingeniería de tránsito aún se utiliza mucho el conteo manual, puesto que en ocasiones se requiere identificar algunas características del peatón, por ejemplo, su edad; realizar esta identificación mediante el uso de sensores puede resultar muy costoso e involucrar grandes errores de medición. Otro aspecto que ha inducido la continuidad en el uso de conteos manuales es el costo de la mano de obra dado que no se requiere preparación especial para realizar este tipo de estudio.

Es el número de peatones que pasan por un punto o sección transversal de una infraestructura durante un periodo de tiempo determinado. El volumen peatonal debe considerar el ancho de la sección transversal, generalmente se expresa en términos de ancho unitario de un metro. Comúnmente se realizan aforos durante periodos de tiempo menores que una hora, en este caso el volumen se denomina flujo, o tasa de flujo peatonal, que suele expresarse en *pe/h/m*. No debe confundirse el volumen peatonal con la demanda peatonal, pues, aunque en condiciones de flujo estable el volumen equivale a la demanda de infraestructura, una vez que se ha alcanzado la capacidad (máximo volumen), de allí en adelante, la demanda será mayor al volumen de tránsito, pues el número de personas que desean utilizar la infraestructura es mayor del número de personas que pueden pasar por un punto o sección transversal por unidad de tiempo.

1.3.3 VELOCIDAD DE CAMINATA

Los estudios de velocidad peatonal tienen muchas aplicaciones en ingeniería de tránsito, pues esta es la variable de flujo más importante. El objetivo de realizar un estudio de velocidades de caminata es llegar a determinar los parámetros adecuados para realizar diseño de infraestructura peatonal. Cada diseño está asociado a parámetros distintos, por ejemplo, en un cruce peatonal podría ser necesario utilizar el percentil 15 de las velocidades de caminata, mientras que para calcular el tiempo de viaje se utilizaría la velocidad media de caminata. La velocidad de caminata se mide principalmente utilizando técnicas de observación directa en campo, esta observación suele realizarse en una base con longitud predeterminada, y la medición del tiempo de caminata en la misma. La longitud de la base debe conservar dos criterios fundamentales, primero, si la medición es manual, el observador debe tener tiempo suficiente para realizar las operaciones respectivas en el cronómetro, de manera que los posibles errores en el registro de los datos sean bajos respecto a la

observación, así, si se tiene una velocidad media de caminata de 1 m/s , se requerirá una base de al menos 3 m para que el observador tenga al menos un par de segundos para realizar la medición del tiempo. En segundo lugar, debe tenerse en cuenta que, si se trata de observar una velocidad puntual, debe procurarse utilizar la menor longitud de base posible. De esta forma, en el estudio de velocidades la longitud de la base estará en función del objetivo del estudio y de la tecnología disponible para la medición del tiempo. Cuando se utilizan sensores es común trabajar con longitudes de base menores, dependiendo de las condiciones presentes en campo. Dentro de los sensores más utilizados se encuentran los de tipo óptico (fotoceldas), los electromagnéticos y las cámaras de video. En todos los casos debe definirse previamente la longitud de la base, y ubicar el sensor o los observadores de manera que no alteren las condiciones normales de operación en la infraestructura. En la población caminante, así como de la pendiente, según TRB (2000) proporciones de adultos mayores superiores al 20% pueden reducir la velocidad media de 1.2 m/s a 1.0 m/s, así como las pendientes superiores al 10% reducen la velocidad en 0.1 m/s. Adicionalmente, existen otros factores que afectan la velocidad de caminata como son: las condiciones climáticas, el estado de la infraestructura, las condiciones físicas de los usuarios, el tipo de zona, entre otros. La velocidad de caminata es la variable de flujo más importante, puesto que su medición en campo es sencilla y permite determinar condiciones operativas de la infraestructura.

1.3.4 DENSIDAD PEATONAL

La medición de densidad peatonal se realiza con el fin de encontrar condiciones operativas, especialmente cuando se trata de evaluar atributos como la comodidad. Existen dos condiciones que deben considerarse en los estudios de densidad: peatones en movimiento y peatones en áreas de espera. Los estudios para determinar densidad peatonal también se basan en observación directa en campo. Debe tenerse en cuenta que la densidad es una variable estática, por esta razón, su observación manual suele ser dispendiosa. El método de medición manual de la densidad se basa en definir previamente un área o áreas de observación, estas áreas deben tener un tamaño lo suficientemente grande como para tener buena probabilidad de que en un instante dado se observe un número significativo de peatones. Pero el tamaño debe ser lo suficientemente pequeño para que la observación sea instantánea, de manera que no entren ni salgan peatones al área considerada durante la observación. El método más utilizado para determinar densidad es la utilización de cámara de video o cámara fotográfica, puesto que sobre una imagen puede contarse el número de peatones por unidad de área con precisión. Usualmente suele determinarse indirectamente la

densidad, sin recurrir a su medición, a partir de la ecuación fundamental del flujo vehicular, con base en conteos de flujo y determinación de velocidad media espacial.

La densidad es una medida de ocupación del espacio, se expresa como una relación entre el número de peatones que ocupan una determinada área en un instante determinado y el área ocupada. Se expresa en pe/m². Muchos autores prefieren expresar la densidad como espacio peatonal, que es su inverso. El espacio peatonal representa el área promedio disponible para cada peatón en un instante determinado.

1.3.5 MODELOS REPRESENTATIVOS

Existen modelos que relacionan las tres variables macroscópicas, lo que permite determinar la capacidad teórica de la infraestructura (máxima tasa de flujo peatonal), las características operativas del flujo, y cuantificar el nivel de servicio percibido por los usuarios. El volumen, velocidad y densidad se relacionan mediante la expresión mostrada en la ecuación (9), que también se conoce como la ecuación fundamental del flujo continuo.

$$q = v_e * K \dots \text{Ec. (9)}$$

Donde:

q = tasa de flujo peatonal, pe/min o pe/h

v_e = Velocidad media espacial de caminata, m/s

K = Densidad peatonal, pe/m²

La velocidad de caminata disminuye a medida que se incrementa la tasa de flujo y la densidad, así mismo, al incrementarse la densidad, disminuye el espacio peatonal y se reduce la movilidad, aumentando la fricción con otros peatones. La determinación de las condiciones de operación del tránsito en infraestructuras es un tema que en Colombia se ha trabajado poco, dentro de los trabajos más conocidos se encuentra el de Bogotá (2006), en el cual se establecen algunas relaciones entre variables incidentes en el flujo de peatones en esta ciudad capital. El modelo de flujo lineal fue propuesto por Greenshields (1934), y en el caso de flujo peatonal es el más utilizado en el mundo, esto se debe a la simplicidad de uso y la facilidad para calibrar los parámetros del modelo. La forma del modelo se muestra en la siguiente expresión

$$v_e = v_l - \frac{v_l}{k_c} * K \dots \text{Ec. (10)}$$

Donde:

v_e = Velocidad media espacial de caminata [m/s]

v_l = Velocidad de caminata a flujo libre [m/s]

k_c = Densidad de congestionamiento [pe/m²]

K = Densidad peatonal [pe/m²]

El HCM 2000 TRB (2000), para el análisis de flujo peatonal en senderos peatonales, utiliza el modelo encontrado por Fruin (1971), que se muestra en la ecuación 3, se trabaja con una velocidad de caminata a flujo libre de 1.43 m/s (5.15 Km/h) en el caso de flujo unidireccional y 1.36 m/s (4.9 Km/h) para flujo bidireccional

$$v_e = 1.43 - 0.35 * K \dots \text{Ec. (11)}$$

$$v_e = 1.36 - 0.34 * K \dots \text{Ec. (12)}$$

Estos modelos representan muy bien las condiciones de flujo en zonas donde los peatones circulan con fluidez.

1.3.6 RELACIONES ENTRE VARIABLES

1.3.6.1 RELACIONES VELOCIDAD – DENSIDAD

A medida que aumenta la densidad peatonal, la velocidad va disminuyendo debido a la limitación de espacio y capacidad de movimiento, de esta forma, cuando se tienen densidades muy bajas, se presentan velocidades de caminata a flujo libre, y cuando la densidad alcanza valores muy altos (apretujamiento), puede llegarse a un estado con velocidad cero. Esta relación varía en función de las características predominantes de los peatones, la figura 4 muestra las relaciones calibradas, comparadas con el modelo teórico de Fruin (1971) para flujo bidireccional.

Figura 4. Relaciones entre velocidad y densidad peatonal

Fuente: Guio y Dueñas (2009)

1.3.6.2 RELACIÓN FLUJO – DENSIDAD

La capacidad teórica de una infraestructura peatonal de flujo continuo está determinada por el máximo flujo. En la mayoría de las investigaciones al respecto, se ha encontrado que el máximo flujo ocurre para valores de densidad desde 1.1 per/m² hasta 2.5 per/m². Se cree que si la densidad sobrepasa los 2.5 per/m², el flujo decrece rápidamente y se entra a una región de flujo forzado TRB (2000). Se acostumbra expresar el nivel de ocupación de área, no como densidad, sino como espacio peatonal, que es su inverso, por lo que se expresa en m²/pe, y representa la cantidad de espacio promedio disponible en la infraestructura para cada peatón.

Figura 5. Relaciones entre flujo y densidad peatonal

Fuente: Guio y Dueñas (2009)

1.3.6.3 RELACIONES VELOCIDAD – FLUJO

Cuando se presenta un volumen peatonal muy bajo, el espacio disponible para cada peatón permite que se desarrollen altas velocidades (flujo libre), pero a medida que va aumentando el volumen de peatones, la reducción de espacio aumenta la fricción entre peatones, causando la disminución de la velocidad de caminata. Cuando se ha alcanzado el máximo

volumen, si la demanda sigue aumentando, las condiciones de flujo tienden a empeorar debido a la gran restricción de espacio, reduciendo tanto la velocidad de caminata como el volumen peatonal, hasta llegar a la condición crítica de detención total cuando ambas variables alcanzan un valor de cero. La figura 6 muestra las relaciones entre velocidad y flujo en comparación con el modelo de flujo bidireccional de Fruin (1973).

Figura 6. Relaciones entre vectorial y flujo peatonal

Fuente: Guio y Dueñas (2009)

1.3.6.4 RELACIONES VELOCIDAD – ESPACIO TEMPORAL

La figura 7 muestra los resultados obtenidos por diversos autores para diferentes tipos de peatón, considerando también los muy rápidos y los muy lentos. Se observa una zona de interés hacia los 1.5 per/m², por debajo de este valor, la velocidad de caminata puede sufrir grandes variaciones, este comportamiento es debido a que la limitación de espacio genera fricción y conflictos entre los peatones, afectando la velocidad de caminata. Este comportamiento se observa para todas las categorías de usuarios, desde peatones rápidos hasta los más lentos.

Figura 7. Relaciones entre velocidad y espacio peatonal

Fuente: TRB (2000). *Pedestrian and Bicycle Concepts*

2. METODOLOGÍA

- Nivel de investigación: Descriptiva

En el año 2019, en Perú se desarrollan tres simulacros de sismos anuales como medida de preparación y respuesta ante algún movimiento telúrico. Asimismo, Instituciones Públicas o Privadas pueden realizar en cualquier fecha del año algún simulacro extra para mejorar sus falencias en riesgos ante algún sismo o afines.

Como parte de la investigación, para cumplir con el objetivo planteado, la municipalidad de Pueblo Libre nos brindó su local ubicado en la Calla Santa Cecilia donde habían instaladas cámaras de video tanto en las rutas de escape como en los puntos de intersección peatonal. El ingeniero encargado en el área de riesgos y desastres nos indicó que podría haber falencias en dichos aparatos. Es así que, como parte de la investigación ubicamos de manera estratégica en cuatro puntos fundamentales a compañeros para que pudieran grabar con sus cámaras. A continuación, se mostrará fotos de los puntos estratégicos:

Figura 8. Primer punto de conflicto en escalera

1er punto estratégico identificado se observa que de dos rutas de acceso saldrán personas hacia la escalera

Fuente: Fotografía propia

Figura 9. Segundo punto de conflicto en escalera

2do punto estratégico identificado se observa la única escalera donde evacuarán personas del 2do piso.

Fuente: Fotografía propia

Figura 10. Tercer punto de conflicto en el primer piso

3er punto estratégico identificado se observa el punto 2 y punto 4 referente a la puerta de salida

Fuente: Fotografía propia

Figura 11. Cuarto punto de conflicto en puerta principal

4to punto estratégico identificado se observa la zona de acopio como también la puerta principal.

Fuente: Fotografía propia

- Diseño de investigación: De Campo

Se pretende alcanzar los objetivos de la investigación, mediante la implementación de la aplicación de modelos para predecir el comportamiento del ente-peatonal en estado de pánico durante el desarrollo de una evacuación en infraestructuras verticales. La herramienta computacional elegida para lograr el objetivo, es el software Pathfinder; de origen estadounidense; especializado en:

- Simulador de salida de emergencia que incluye una interfaz de usuario integrada y resultados animados en 3D. Pathfinder le permite evaluar modelos de evacuación más rápidamente y producir gráficos más realistas que con otros simuladores.
- Soporte para la importación de archivos DXF y DWG en formato AutoCAD. La herramienta de extracción de piso de Pathfinder permite utilizar rápidamente la geometría importada para definir el espacio para caminar del ocupante para el modelo de evacuación.
- Utiliza una malla triangulada 3D para representar la geometría del modelo. Como resultado, Pathfinder puede representar con precisión los detalles geométricos y las curvas. La triangulación también facilita el movimiento continuo de personas a lo

largo del modelo, en comparación con otros simuladores que subdividen el espacio en celdas que pueden restringir artificialmente el movimiento de los ocupantes.

- Soporta dos modos de simulación. En el modo de dirección, los agentes proceden independientemente de su objetivo, mientras evitan otros ocupantes y obstáculos.
- De forma predeterminada, cada ente peatonal utiliza una combinación de parámetros para seleccionar su ruta actual a una salida. Los parámetros incluyen: tiempos de espera para cada puerta, tiempo para viajar a cada puerta de la sala actual, tiempo estimado desde cada puerta hasta la salida y la distancia que ya se ha recorrido en la sala. El ente responde dinámicamente a las colas cambiantes, aperturas /cierres de puertas y cambios en las restricciones de velocidad de la habitación (simulando humo y escombros). El usuario puede modificar los pesos de parámetros predeterminados para cambiar el comportamiento. Por ejemplo, los ocupantes pueden ignorar las colas y solo buscar la salida más cercana.
- Incluye modelos humanos que representan una variedad de culturas, edades, atuendos y personal de emergencia. Estos permiten retratar de manera realista el grupo de interés de la población. Debido a que usamos un nivel de detalle dinámico para mostrar los modelos.
- Conecta familias, compañeros de trabajo, estudiantes u otros grupos de ocupantes en grupos que se busquen entre sí y mantengan una distancia mínima aparte. Estos grupos pueden formar se con un perfil de líder para evacuaciones organizadas en un grupo o para fines de no evacuación, como una guía turística a través de un museo. Si un miembro está demasiado lejos, los ocupantes agrupados pueden desconectarse y disminuirán la velocidad para permitir que el miembro desconectado se ponga al día. En ambientes atestados, este efecto se reduce a medida que los ocupantes se dan cuenta de la necesidad de mantener el tráfico en movimiento.
- Las gráficas de contorno pueden agregar superposiciones de visualización de datos, como la densidad de los ocupantes, las superficies del piso de su modelo para obtener

una vista rápida y fácil de entender los resultados de la simulación. La reproducción suave permite esta información en tiempo real. Las parcelas disponibles incluyen densidad, uso, nivel de servicio y otros. Cada uno de estos se puede personalizar modificando opciones como el número de cubos, los rangos de valores, el sombreado de colores y el acolchado.

- Los ocupantes con necesidades especiales de movilidad pueden ser modelados con sillas de ruedas y camas de hospital para ser evacuados por los asistentes designados. Estos modelos incluyen animación completa para resultados realistas. Los equipos evacuación separados pueden enfocarse en asistir a grupos específicos de individuos. Crea vehículos personalizados para configurables y punto de conexión auxiliares para crear propiedades de formas únicas.
- Agrega dinámicamente ocupantes a un modelo basado en una tabla de tasa de flujo predeterminada. Esta funcionalidad permite a los modelos tener fuentes de nuevos ocupantes que ingresan a lo largo de varias ocasiones, para simular el flujo de tráfico entrante con entradas fuera del área simulada.
- Pathfinder da la flexibilidad para evaluar las opciones de evacuación usando elevadores. Cada ascensor tiene una lista de prioridad de pisos de recolección y un piso de descarga. Las personas pueden moverse directamente al elevador más cercano o dirigirse a un piso de refugio y esperar hasta que el elevador las evacue. El personal de emergencia puede controlar los ascensores seleccionados para llevarlos a las ubicaciones deseadas. Una llamada a un ascensor se inicia con una cola en la puerta del ascensor. Los ascensores se pueden agrupar en bancos para responder a las llamadas.
- Se utiliza para simular situaciones de flujo relativamente complejas. Por ejemplo, al combinar puertas que tienen velocidades de flujo, puntos de paso y tiempos de espera específicos.

DIAGRAMA DE FLUJO SECUENCIAL

Fuente: Elaboración propia

2.1 LEVANTAMIENTO Y PRE DIMENSIONAMIENTO

Al identificar los puntos de congestionamiento, capacidad de funcionalidad de rutas y salidas de emergencia teniendo como base la densidad, velocidad y tiempo obtenido de una simulación de sismo real dentro de la municipalidad de Pueblo Libre, será necesario para el siguiente paso de la metodología la cual es fase modelado.

A continuación, se explicará las características a más detalle:

En primer lugar, los puntos de congestionamiento 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 que desarrollará en la municipalidad de Pueblo Libre, se observará cuellos de botellas o puntos críticos donde los entes peatonales se acumularan masivamente, evitando evacuar en forma más rápida. En segundo lugar, la funcionalidad de las rutas se deberá evaluar si están en condiciones óptimas para la evacuación de los entes peatonales caso contrario, se tomará las medidas correspondientes. Para evaluar si las rutas de escape están en óptimas condiciones, se evaluará una semana antes del simulacro piso por piso dentro de la municipalidad de Pueblo Libre, verificando que las zonas seguras estén funcionando con normalidad, caso contrario evaluaremos y se detallará como errores que pueden perjudicar en la toma de datos. Finalmente, las salidas de emergencias serán estudiadas para sacar conclusiones en cuanto a su ubicación, es decir, la ubicación es importante porque se identificará durante el simulacro si es que la distribución este bien elaborado, 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 al destacar en los puntos de congestionamiento, capacidad de funcionalidad de rutas y salidas de emergencia. Para recabar esta información, se entablará una comunicación personal con los colaboradores y colaboradoras para poder tomar encuestas y tener unas conclusiones para obtener una mayor fuente de información.

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

1. Obtención de Planos de la municipalidad de Pueblo Libre.
2. Identificar velocidad, densidad y tiempo de despeje
3. Identificar rutas de evacuación
4. Localización de zonas de escape

Figura 13. Plano en planta de 2do piso

Fuente: Plano de la municipalidad de Pueblo Libre

2.1.2 IDENTIFICAR VELOCIDAD, DENSIDAD Y TIEMPO DE DESPEJE

Durante la etapa de la toma de datos durante el simulacro la cual sirvió como base para encontrar parámetros como velocidades de peatones en habitaciones hacia una ruta de evacuación, velocidades de peatones hacia las zonas de escape, velocidades de peatones hacia las zonas de acopio seguros que en este caso son las afueras de la municipalidad de Pueblo Libre, es decir, la calle Santa Cecilia 110. Asimismo, las densidades de peatones en habitaciones hacia una ruta de evacuación, densidades de peatones hacia las zonas de escape, densidades de peatones hacia las zonas de acopio seguros que en este caso son las afueras del local municipal.

Estas densidades se asumen teniendo base un criterio apropiado de aforo. Finalmente, tiempos de peatones en habitaciones hacia una ruta de evacuación, tiempos de peatones hacia las zonas de escape, tiempos de peatones hacia las zonas de acopio seguros que en este caso son las afueras del local municipal.

2.1.3 IDENTIFICAR RUTAS DE EVACUACIÓN

Durante la semana fuimos a capturar imágenes de las rutas de evacuación. Asimismo, percatamos que las rutas de evacuación que posee el local municipal son medianamente amplias, pero con muchos obstáculos. A continuación, se mostrará las imágenes captadas:

Figura 14. Ruta de evacuación cerca al punto de salida

Fuente: Fotografía propia sobre la ruta de evacuación

Figura 15. Ruta de evacuación en curva

Fuente: Fotografía propia sobre la ruta de evacuación

Figura 16. Ruta de evacuación punto de salida

Fuente: Fotografía propia sobre la ruta de evacuación

Figura 17. Ruta de evacuación hacia el punto de salida

Fuente: Fotografía propia sobre la ruta de evacuación

2.1.4 LOCALIZACIÓN DE ZONAS DE ESCAPE

Durante la semana fuimos a capturar imágenes de las localizaciones de zonas de escape. Se tomó foto al local municipal donde se pudo observar que solo tenían una sola zona de escape y muy estrecha. A continuación, se mostrará las imágenes captadas:

Figura 18. Zona de escape hacia punto de salida

Fuente: Fotografía propia sobre la zona de escape

Figura 20. Zona de escape en escalera principal

Fuente: Fotografía propia sobre la ruta de evacuación

Figura 19. Zona de escape hacia punto de salida

Fuente: Fotografía propia sobre la zona de escape

Figura 21. Zona de escape en escalera principal

Fuente: Fotografía propia sobre la ruta de evacuación

2.1.5 ZONA DE ACOPIO SEGURO DE ENTES PEATONALES

Las zonas de acopio seguros para el local municipal es la calle Santa Cecilia 110. Es así que, los entes peatonales se acopian sin ser perjudicados ante algún atentado dentro del local municipal. A continuación, se mostrará las imágenes de las dos zonas de acopio:

Figura 22. Zona de acopio seguro de la calle Santa Cecilia

Fuente: Google Earth

Figura 23. Zona de acopio seguro de la calle Santa Cecilia

Fuente: Google Earth

Figura 24. Zona de acopio seguro de la calle Santa Cecilia

Fuente: Google Earth

2.2 FASE DE MODELADO

Después de la fase de levantamiento y pre dimensionamiento donde se obtuvo datos importantes por medio de un simulacro de sismo dentro de la municipalidad de Pueblo Libre, la implementación de un modelo que representa sus edificios es rápida, y el ajuste del comportamiento de las personas de una gran flexibilidad. Los resultados en 3D, muy realistas, muestran una variedad de puntos de vista y convencen a los especialistas como neófitos (Pathfinder, 2014). Además, el cual permite realizar estudios de movimiento, evacuación y congestión de peatones basados en el rendimiento a través de la simulación basada en software. Los estadios, hospitales, rascacielos, aviones y otros edificios pueden analizarse para proporcionar resultados visuales realistas en una fracción del tiempo que requiere el cálculo manual. Esta herramienta rentable proporciona un método más rápido de tiempo a resultados para que los ingenieros mejoren la confianza de su análisis y presenten un informe visual profesional.

La fase de modelado iniciará con los siguientes pasos:

1. Adicción del plano dentro del programa Pathfinder.
2. Cantidad de entes Peatonales en evacuación
3. Añadir rutas de escape y zonas de evacuación
4. Zona de acopio seguro de entes peatonales

2.2.1 ADICCIÓN DEL PLANO DENTRO DEL PROGRAMA PATHFINDER

Después de la obtención del plano de arquitectura de la municipalidad de Pueblo Libre se hará uso del programa Pathfinder. A continuación, se explicará el proceso de adicción:

- Guardar el plano de arquitectura recibido.
- Abrir el Pathfinder.
- Anexar el plano al Pathfinder

2.2.2 CANTIDAD DE ENTES PEATONALES EN EVACUACIÓN

En el programa Pathfinder nos da la opción de agregar la cantidad de entes peatonales dentro de cada habitación en la municipalidad de Pueblo Libre. Asimismo, debemos tener en cuenta que al agregar la cantidad debemos tomar el aforo similar al simulacro ya que sobrepasar muchas personas no podremos detallar el proceso de evacuación óptimo.

Figura 25. Entes peatonales

Fuente: Fundamentos del programa Pathfinder

Figura 26. Habitación aleatorio en la municipalidad de pueblo libre

Fuente: Fundamentos del programa Pathfinder

Figura 27. Adicción de entes peatonales en la municipalidad de Pueblo Libre

Fuente: Fundamentos del programa Pathfinder

2.2.3 AÑADIR RUTAS DE ESCAPE Y ZONAS DE EVACUACIÓN

Al finalizar con la adicción del grupo de entes peatonales por habitación dentro de la municipalidad de Pueblo Libre se tiene que añadir rutas de escape e identificar las zonas de evacuación. En la vida real se sabe que, cada persona tiene una reacción diferente ante un estado de pánico, es así que, dentro del programa Pathfinder tiene como algoritmo el A* que trabaja como factor psicológico. Cada peatón tendrá su movimiento aleatorio dentro de la habitación hacia la ruta de escape y zona de evacuación. Asimismo, dentro de la evacuación de los entes dentro del programa se tomará en cuenta la inmobiliaria. A continuación, según imágenes obtenidas del programa Pathfinder notamos las direcciones referenciales para los entes peatonales:

Figura 28. Entes peatonales en cada piso dentro de habitaciones en el campus universitario

Fuente: Fundamentos del programa Pathfinder

Figura 29. Entes peatonales hacia una zona de escape

Fuente: Fundamentos del programa Pathfinder

Figura 30. Movimientos a los entes peatonales según variación de tiempo

Fuente: Fundamentos del programa Pathfinder

2.2.4 ZONA DE ACOPIO SEGURO DE ENTES PEATONALES

Finalmente, el factor psicológico nos servirá para obtener el siguiente paso, el cual es el movimiento hacia las rutas de evacuación próximos a las zonas de escape evacuando hacia una zona de acopio que en nuestra investigación es solo una principal:

- Calle Santa Cecilia 110

A continuación, según imágenes obtenidas del programa Pathfinder notamos las zonas de acopio referenciales para los entes peatonales:

Figura 31. Entes peatonales evacuando a la zona de acopio

Fuente: Elaboración propia

2.3 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.

2.3.1 FASE DE MODELADO

- Para la prueba de calibración de la adicción del plano dentro del programa Pathfinder primero se enfoca en el buen uso de las herramientas para poder anexar. Asimismo, que el formato del plano este en AutoCAD la cual será anexado en el programa.

- 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. De tal modo sucede con los datos de tiempos, y velocidades los cuales también deberán ser iguales que el simulacro de sismo. 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 para las rutas de escape y zona de evacuación deben aparecer en los planos y con la distribución correcta por cada piso de la municipalidad de Pueblo Libre. Esto servirá que en el proceso de evacuación de los entes peatonales dentro del Pathfinder mediante un estado de pánico con el algoritmo A* la cual es el factor psicológico y el factor K de pánico sean óptimos los cuales el programa arrojará resultados para cada proceso.
- 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.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para poder realizar el análisis de resultados de nuestra tesis de investigación a través de nuestros objetivos específicos antes descritos, se utilizó los datos obtenidos de un simulacro de evacuación de sismo real y el programa de modelación macroscópica Pathfinder. mediante el cual se realizó el modelamiento de la estructura que permitirá comparar las dos situaciones diferentes; una vez que es aplicado el factor psicológico de pánico, 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. Pero sin duda, 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:

3.1 Obtención de tiempo de despeje total y densidad en un simulacro de sismo para de las entidades peatonales en la municipalidad de Pueblo Libre durante un simulacro de sismo mediante el flujo de masas que transitan a través de los puntos de congestión medidos en volúmenes de personas (per/s) en inputs, outputs en los cuellos de botella.

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 distintos escenarios para poder entender el resultado de este, los cuales fueron tomados en base a las grabaciones y colocados en la tabla 2.

Tabla 2. Tipo de tiempo, Magnitud (min)

Tipo de tiempo	Magnitud (min)
t_d	0.5
t_a	1
t_r	0.5
t_{pe}	3

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos tomados podemos obtener el tiempo de evacuación, que fue de 300 segundos para una población de 50 personas, aproximadamente. Con ello, podemos hacer la relación entre el tiempo necesario para evacuar a la población total presente en la estructura (tabla 3).

Tabla 3. Población Total , Tiempo total de despeje (min)

Población Total	Tiempo total de despeje (min)
50	5

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se diagramó la variación de la cantidad de peatones dentro de la estructura a través de un gráfico *Personas vs Tiempo* (grafico 32). Asimismo, con el promedio de persona que ocupaban un metro cuadrado durante la evacuación, se hizo el conteo por piso obteniendo que la densidad aumentaba del piso mayor al piso inferior, debido al conflicto de intersección que existe entre los usuarios.

Figura 32. Número de personas vs tiempo de despeje en simulacro

Fuente: Elaboración propia de gráfico

Figura 33. Densidad persona por m2 en cada piso

Fuente: Elaboración propia de gráfico

Finalmente, se obtuvo las velocidades de los peatones durante el proceso de evacuación medidas en puntos considerados como: cuellos botellas; en las entradas, durante el tránsito dentro del cuello y las salidas (grafica 34).

Figura 34. Inputs y Outputs durante la evacuación en cuellos de botella

Fuente: Elaboración propia de gráfico

3.2 Identificar los puntos de congestionamiento y 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, en la municipalidad de Pueblo Libre.

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

En primer lugar, para identificar los puntos de congestionamiento 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 de tranquilidad, ya que en el estado ideal, los peatones evacuaban en 160 s vs 120 s en el caso de pánico (fig.35). No obstante, el análisis de datos de flujo de personas (per/s) nos indicaba que existían 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 congestionamiento en ciertos puntos en específicos instantes de tiempo.

Figura 35. Tasa de flujo en Door 30 en estado ideal

Fuente: Elaboración propia de gráfico

Figura 36. Tasa de flujo en Door 30 en estado de pánico

Fuente: Elaboración propia de gráfico

Tabla 4. Tiempo y Flujo (Simulacro vs Pánico)

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

Fuente: Elaboración propia

Conocido la existencia de conflictos en el proceso de evacuación en una situación afectada por el factor K, se analizó, durante el periodo de evacuación, las rutas y puntos de congestionamiento con la muestra del aforo total y permitido por INDECI de 140 personas para poder tener un mejor criterio de selección. Este proceso se logró gracias a un indicador de densidades proporciona por el software ajustando el medidor a una escala máxima de 4 per/m².

Figura 37. Conflictos con un factor K en un proceso de evacuación

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la imagen, existe un conflicto en 3 áreas identificadas como:

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

Tabla 5. Ruta de Evacuación, Densidad (pers/s)

Ruta de Evacuación	Densidad (pers/s)
Pasadizo adm, 02	3.31
Pasadizo gerencia 02	2.62
escalera 1	2.965

Fuente: Elaboración propia

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. Para ello, aumentamos una escalera que conecta al área administrativa del segundo piso, ya que aquí se encuentra una gran parte de la población del segundo piso con tres tramos.

Figura 38. Rediseño de rutas de evacuación

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos después de implementar la nueva escalera al modelo redujeron la cantidad de personas por metro cuadrado en los puntos de conflictos antes mencionados. No obstante, no se pudieron eliminar dichas restricciones, ya que uno de los inconvenientes, a nuestro parecer, son las pequeñas dimensiones de la escalera 1, ya que no puede albergar la cantidad de entes que interceptan ese mismo punto al mismo tiempo.

Figura 39. Puntos de conflictos en el rediseño de rutas de evacuación

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Ruta de evacuación, Densidad (pers/s)

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

Fuente: Elaboración propia

3.3 Obtención y Comparación de tiempos de despeje a zonas seguras, distancias entre rutas de evacuación y habitaciones, mediante una velocidad afectada por un valor k de pánico medida en segundos.

Comparación Situación ideal (simulacro) vs Situación real (afectado por el factor k).

La comparación se realiza con resultados obtenidos de una situación ideal de 50 personas vs una situación en Pathfinder de aforo total de 140 personas. Asimismo, se deja en evidencia que el flujo de desarrollo de los peatones en pánico, no obedece a un orden de respuesta a comparación de los casos reales. Cabe resaltar, que la distribución de entes peatonales para los casos de aforo indicados es aleatoria. A continuación, se presentará resultados para 50 personas y el aforo total (140 personas), finalmente se realizará un cuadro de diferencias explicando los resultados.

Cuadro comparativo de un aforo real de 50 personas vs aforo total de 140 personas en situación normal, con una velocidad de 1 m/s.

50 personas con velocidad de 1 m/s	140 personas con velocidad de 1 m/s
<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de salida una vez terminado la agrupación en la zona de acopio, los entes peatonales evacuan a otra zona, iniciando desde los 130 segundos la primera persona y la última persona de 205 segundos. • Proceso de evacuación de ente peatonal en baños del 1er piso y el 2do piso. Las personas involucradas evacuan una vez iniciado el simulacro con un tiempo de 3 segundos. • Se observa que 19 personas en el ambiente más amplio del segundo piso evacuan en la escalera secundaria con dirección a la principal que conduce al primer piso con un total de 46 segundos. • La totalidad de personas salen hacia la zona de acopio en 76 segundos. • En el cuarto de fiscalización ubicado en el 1er piso con un total de 4 personas evacuan de dicha habitación en 7 segundos. • En el cuarto con nombre gerencia 2 ubicado en el segundo nivel, existen 3 personas que salen de ese cuarto hacia la escalera principal con un tiempo de 10 segundos. • En el cuarto llamado of admin 1 ubicado en el primer nivel con un total de 11 personas, salen en 19 segundos contabilizados desde el 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de salida una vez terminado la agrupación en la zona de acopio, los entes peatonales evacuan a otra zona, iniciando desde los 194 segundos la primera persona y la última persona de 419 segundos. • Proceso de evacuación de ente peatonal en baños del 1er piso involucradas evacuan una vez iniciado el simulacro con un tiempo de 3 segundos y el 2do piso involucradas evacuan una vez iniciado el simulacro con un tiempo de 23 segundos. • Se observa que 26 personas en el ambiente más amplio del segundo piso evacuan en la escalera secundaria con dirección a la principal que conduce al primer piso con un total de 100 segundos. • La totalidad de personas salen hacia la zona de acopio en 137 segundos. • En el cuarto de fiscalización ubicado en el 1er piso con un total de 7 personas evacuan de dicha habitación en 8 segundos. • En el cuarto con nombre gerencia 1 ubicado en el segundo nivel, existen 6 personas que salen de ese cuarto hacia la escalera principal con un tiempo de 9 segundos.

<p>primero hasta la última persona en evacuar dicho cuarto.</p> <ul style="list-style-type: none"> • En el cuarto llamado of admin 2 ubicado en el segundo nivel con un total de 19 personas, salen en 43 segundos contabilizados desde el primero hasta la última persona en evacuar dicho cuarto. • Según el resultado en la imagen room 35, el descanso de escalera, con presencia de, 1 persona cada vez que bajan desde el nivel superior al inferior en los segundos 8,9,10,11. 12 al 44, 46,48,50,51,53,55,56 y presencia de 2 personas juntas en los segundos 45,47,49,52,54. • Según el resultado en la imagen room 38, la parte superior de la escalera principal en el segundo nivel nos indica la cantidad por segundos están pisando dicha plataforma para bajar. Estos son, 1 persona en los 4, 6, 7, 31,33,34,36,37,40,41,43,45,47,48,49,50 segundos. Asimismo, 2 personas juntas en los 8,9,12,13,20,23,25,26,30,32,35,38,39,42,44,46 segundos. Además, de 3 personas juntas en los 10,11,19,21,24 segundos. Finalmente, de 4 personas juntas en los 15 segundos. • Según el resultado en la imagen room 59, en la escalera ubicada dentro de unos ambientes en el segundo nivel tiene en su parte inferior el estudio de que 1 persona pasa en los siguientes segundos 5,7,8,9,13,14 segundos luego se dirigirá a bajar por la escalera principal. 	<ul style="list-style-type: none"> • En el cuarto con nombre gerencia 2 ubicado en el segundo nivel, existen 11 personas que salen de ese cuarto hacia la escalera principal con un tiempo de 14 segundos. • En el cuarto llamado of admin 1 ubicado en el primer nivel con un total de 20 personas, salen en 32 segundos contabilizados desde el primero hasta la última persona en evacuar dicho cuarto. • En el cuarto llamado of admin 2 ubicado en el segundo nivel con un total de 26 personas, salen en 96 segundos contabilizados desde el primero hasta la última persona en evacuar dicho cuarto. • Según el resultado en la imagen room 35, el descanso de escalera, con presencia de, 1 persona cada vez que bajan desde el nivel superior al inferior en los segundos 11,14,27,29,31,33,35-43,44,46,48,50,51,53,55,57,58,60,62,63,64,66,68-82,84,86,88,89,91,93,95,97,99-107 y presencia de 2 personas juntas en los segundos 13,15,28,30,32,34,45 47,49,52,54,56,59,61,65,67,83,85,87,90,92,94,96, 98. • Según el resultado en la imagen room 38, la parte superior de la escalera principal en el segundo nivel nos indica la cantidad por segundos están pisando dicha plataforma para bajar. Estos son, 1 persona en los 3,60,63,76,78,80,81,83,84,88,89,93,95-102 segundos. Asimismo, 2 personas juntas en los 6,59,61,65,73,77,80,82,85-87,91 segundos. Asimismo, de 3 personas juntas en los 9,52
---	--

<ul style="list-style-type: none"> • Según el resultado en la imagen room 60, en la escalera que lleva al ambiente más grande del segundo nivel en su parte inferior se hizo el estudio donde 1 persona pasa en los siguientes segundos 1,7-14,16. Asimismo, 2 personas juntas pasan en los siguientes segundos 18,20,22,23,26,27,33,36,40. Finalmente, 3 personas juntas pasan en el segundo 28. • Según el resultado en la imagen Stair 03, las personas que se acumulan en la escalera del segundo nivel al descanso se indica que 1 persona baja en los segundos 5,7,9,10. Además, se observa que 2 personas bajan en simultaneo en los segundos 11-13,15-17,19-21,23,25,27-29,31,33,35,36,38-40,42,45-47,49-51. Finalmente, 3 personas bajan en simultaneo en los segundos 47,41,43,48. • Según el resultado en la imagen stair03_1, las personas que se acumulan en la escalera que va desde el descanso previamente mencionado hasta el primer nivel, se indica que 1 personas baja en los segundos 10-13,15,59-60. Además, se observa que 2 personas bajan en simultaneo en los segundos 14,16-33,35,37-50,52,54,56,58. Finalmente, 3 personas bajan en simultaneo en los segundos 34,36,51,53,55,57. • Según el resultado en la imagen Stair14, se enfoca en la escalera secundaria que une ambientes pequeños donde los resultados indican que en los 2,10-12 segundos hay 1 	<p>segundos. Además, de 4 personas juntas en los 8,51,53 segundos. De 5 personas en los 22,46 segundos, también de 6 personas en los 11,21,24,47. Finalmente, 7 personas en los 14,16-20,23,26,29,32,34,36,39-44. Por ultimo, 8 personas en los 25,27,30,35,38. Como máximo punto son 9 personas en 37 segundos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Según el resultado en la imagen room 59, en la escalera ubicada dentro de unos ambientes en el segundo nivel tiene en su parte inferior el estudio de que 7 personas pasan en los siguientes segundos 10,15 segundos, 5 personas en 13,17 segundos, 8 personas en 22 segundos como máximo punto luego se dirigirá a bajar por la escalera principal. • Según el resultado en la imagen room 60, en la escalera que lleva al ambiente más grande del segundo nivel en su parte inferior se hizo el estudio donde 1 persona pasa en los siguientes segundos 5,67,71,77,80,82,86,88,90,94,96,98,100. Asimismo, 2 personas juntas pasan en los siguientes segundos 4,65,69,72,76,78,83. Además, son 3 personas juntas las cuales pasan en el segundo 6,40,44-46,48-52,55,58,63,74. Finalmente, 4 personas en los segundos 9,36,60 y 5 personas en 13,20-24,29-34. • Según el resultado en la imagen Stair 03, las personas que se acumulan en la escalera del segundo nivel al descanso se indica que 1 persona baja en los segundos 30,32,59,61,65,67,70,96,98,100,102,104,105.
--	---

<p>persona bajando en ya mencionada escalera, asimismo 2 personas en los segundos 4-6.</p> <ul style="list-style-type: none"> • En la Imagen de zona de acopio arroja resultados por segundos de cada persona sale del recinto y va con dirección a agruparse. Inicia a los 5 segundos la primera persona hasta la última persona demora 76 segundos en agruparse. Luego existe una constante desde el segundo 76 hasta el 130. Finalmente, la gráfica disminuye hasta llegar a 0, ya que las personas salen de la zona de acopio. • En el gráfico llamado door 21, muestra la tasa flujo en una de las puertas del segundo nivel donde con una tasa de flujo de 0 comienza en 5.47 segundos luego asciende 0.3 en 12.94 segundos, asimismo desciende a 0.25 en 15.93 segundos, asciende en 0.27 en 17.42 segundos y finalmente decae a 0 en 42,3 segundos. • En el gráfico llamado door 28, muestra la tasa de flujo en una puerta en el segundo nivel la cual comienza con 0 en 4.5 segundos, un punto máximo de 0.59 en 39.81 segundos y finalmente 0 flujo en 75.14 segundos. • En el gráfico llamado door 30, muestra la tasa de flujo cuando los entes peatonales evacuan hacia fuera de la zona de acopio, la cual comienza con 0 en 130.38 segundos, un punto máximo de 1.14 en 158.15 segundos y finalmente 0.55 flujo en 204.13 segundos. • En el gráfico llamado door 37, muestra la tasa de flujo en una puerta en el segundo nivel la cual comienza con 0 en 1 segundos, un punto 	<p>Ademas, se observa que 2 personas bajan en simultaneo en los segundos 6,10-21,23,25,27,29,31,33-38,42-54,56-58,60,62,68,69,71-74,76,78,80,82,83,85,86,87,89-95,97,99,101,103. Finalmente, 3 personas bajan en simultaneo en los segundos 9,22,24,26,39,41,43,46,50,55,63,75,79,81,84,88.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Según el resultado en la imagen stair03_1, las personas que se acumulan en la escalera que va desde el descanso previamente mencionado hasta el primer nivel, se indica que 2 personas bajan en los segundos 12-110 segundos menos los segundos 17,19,21,23,25,27,36,38,40,42,44,51,53,55, 58,60,62, 64,,66,68,76,89,91,93,95,97,100, 102,104,106,108 los cuales pertenecen a 3 personas. • Según el resultado en la imagen Stair14, se enfoca en la escalera secundaria que une ambientes pequeños donde los resultados indican que en los 6,19 segundos hay 2 personas bajando en ya mencionada escalera, asimismo 3 personas en el segundo 10, además 4 personas en los 5,8,11,12,15,18 segundos y finalmente 5 personas en 14 segundos. • En la Imagen de zona de acopio arroja resultados por segundos de cada persona sale del recinto y va con dirección a agruparse. Inicia a los 4 segundos la primera persona hasta la última persona demora 135 segundos en agruparse. Luego existe una constante desde el segundo 135
---	---

<p>máximo de 0.11 en 6.47 segundos y finalmente 0 flujo en 26.37 segundos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • En el gráfico “escalera admin 2 door 1”, muestra la tasa de flujo en la escalera en el segundo nivel la cual comienza con 0 en 6.47 segundos, un punto máximo de 0.51 en 43.79 segundos y finalmente 0 flujo en 74.15 segundos. • En el gráfico “escalera admin 2 door 2”, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 3.48 segundos, un punto máximo de 0.53 en 18.41 segundos y finalmente 0 flujo en 71.66 segundos. • En el gráfico puerta baño 1 y puerta baño 2, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 2.49 segundos, un punto máximo de 0.11 en 6.47 segundos y finalmente 0 flujo en 26.85 segundos. • En el gráfico puerta fiscal 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 2.99 segundos, un punto máximo de 0.11 en 7.96 segundos y finalmente 0 flujo en 26.87 segundos. • En el gráfico puerta fiscal 2, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 2.49 segundos, un punto máximo de 0.3 en 9.95 segundos y finalmente 0 flujo en 32.35 segundos. • En el gráfico puerta of admin 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 3.98 segundos, un punto máximo de 0.67 en 18.91 segundos y finalmente 0 flujo en 46.78 segundos. 	<p>hasta el 194. Finalmente, la gráfica disminuye hasta llegar a 0, ya que las personas salen de la zona de acopio.</p> <ul style="list-style-type: none"> • En el gráfico llamado door 21, muestra la tasa de flujo en una de las puertas del segundo nivel donde con una tasa de flujo de 0 comienza en 5 como máximo valor en 0.6 en los 15.49 segundos y finalmente decae a 0 en 70.96 segundos. • En el gráfico llamado door 28, muestra la tasa de flujo en una puerta en el segundo nivel la cual comienza con 0 en 3 segundos, un punto máximo de 0.59 en 86.95 segundos y finalmente 0 flujo en 124.93 segundos. • En el gráfico llamado door 30, muestra la tasa de flujo cuando los entes peatonales evacuan hacia fuera de la zona de acopio, la cual comienza con 0 en 193.4 segundos, un punto máximo de 2.5 en 232.87 segundos y finalmente 0.73 flujo en 418.28 segundos. • En el gráfico llamado door 37, muestra la tasa de flujo en una puerta en el segundo nivel la cual comienza con 0 en 2 segundos, un punto máximo de 0.11 en 6.5 segundos y finalmente 0 flujo en 23.99 segundos. • En el gráfico “escalera admin 2 door 1”, muestra la tasa de flujo en la escalera en el segundo nivel la cual comienza con 0 en 5.5 segundos, un punto máximo de 0.52 en 86.45 segundos y finalmente 0 flujo en 127.93 segundos. • En el gráfico “escalera admin 2 door 2”, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 0.5 segundos, un punto máximo de 0.46 en 97.95
--	--

<ul style="list-style-type: none"> • En el gráfico salida principal, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 4.98 segundos, un punto máximo de 1.14 en 31.35 segundos y finalmente 0 flujo en 101.02 segundos. • En el gráfico Stair03 door 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 7.96 segundos, un punto máximo de 0.58 en 55.24 segundos y finalmente 0 flujo en 80.62 segundos. • En el gráfico Stair03 door 2, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 4.48 segundos, un punto máximo de 0.59 en 38.32 segundos y finalmente 0 flujo en 79.12 segundos. • En el gráfico Stair03_1 door 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 14.93 segundos, un punto máximo de 0.56 en 62.7 segundos y finalmente 0 flujo en 92.06 segundos. • En el gráfico Stair03_1 door 2, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 9.95 segundos, un punto máximo de 0.56 en 54.24 segundos y finalmente 0 flujo en 85.1 segundos. • En el gráfico Stair14 door 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 4.98 segundos, un punto máximo de 0.32 en 10.95 segundos y finalmente 0 flujo en 39.81 segundos. • En el gráfico Stair14 door 2, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 1.99 	<p>segundos y finalmente 0 flujo en 120.94 segundos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • En el gráfico puerta baño 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 0 segundos, un punto máximo de 0.59 en 9.99 segundos y finalmente 0 flujo en 35.98 segundos. • En el gráfico puerta baño 2, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 0 segundos, un punto máximo de 0.53 en 11.99 segundos y finalmente 0 flujo en 47.97 segundos. • En el gráfico puerta fiscal 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 3 segundos, un punto máximo de 0.21 en 9 segundos y finalmente 0 flujo en 30.48 segundos. • En el gráfico puerta fiscal 2, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 0 segundos, un punto máximo de 0.47 en 9.99 segundos y finalmente 0 flujo en 34.48 segundos. • En el gráfico puerta gerencia 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 2 segundos, un punto máximo de 0.56 en 11.99 segundos y finalmente 0 flujo en 34.98 segundos. • En el gráfico puerta of admin 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 4 segundos, un punto máximo de 0.77 en 29.48 segundos y finalmente 0 flujo en 58.97 segundos. • En el gráfico salida principal, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 5 segundos, un punto máximo de 2.89 en 39.98 segundos y finalmente 0 flujo en 157.42 segundos. • En el gráfico Stair03 door 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 7.5 segundos, un
---	---

<p>segundos, un punto máximo de 0.32 en 8.46 segundos y finalmente 0 flujo en 36.33 segundos.</p>	<p>punto máximo de 0.58 en 92.95 segundos y finalmente 0 flujo en 134.43 segundos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • En el gráfico Stair03 door 2, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 4 segundos, un punto máximo de 0.58 en 57.47 segundos y finalmente 0 flujo en 127.93 segundos. • En el gráfico Stair03_1 door 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 13.49 segundos, un punto máximo de 0.56 en 74.46 segundos y finalmente 0 flujo en 136.43 segundos. • En el gráfico Stair03_1 door 2, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 9.99 segundos, un punto máximo de 0.58 en 60.97 segundos y finalmente 0 flujo en 132.43 segundos. • En el gráfico Stair14 door 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 4 segundos, un punto máximo de 0.6 en 24.49 segundos y finalmente 0 flujo en 47.97 segundos. • En el gráfico Stair14 door 2, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 0 segundos, un punto máximo de 0.79 en 15.99 segundos y finalmente 0 flujo en 38.48 segundos.
---	--

Cuadro comparativo de un aforo real de 50 personas vs aforo total de 140 personas en situación normal, con una velocidad de 3 m/s.

50 personas con velocidad de 3 m/s	140 personas con velocidad de 3 m/s
<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de salida una vez terminado la agrupación en la zona de acopio, los entes peatonales evacuan a otra zona, iniciando desde los 125 segundos la primera persona y la última persona de 158 segundos. • Proceso de evacuación de ente peatonal en baños del 1er piso y el 2do piso. Las personas involucradas evacuan una vez iniciado el simulacro con un tiempo de 2 segundos. • Se observa que 19 personas en el ambiente más amplio del segundo piso evacuan en la escalera secundaria con dirección a la principal que conduce al primer piso con un total de 20 segundos. • La totalidad de personas salen hacia la zona de acopio en 34 segundos. • En el cuarto de fiscalización ubicado en el 1er piso con un total de 4 personas evacuan de dicha habitación en 3 segundos. • En el cuarto con nombre gerencia 2 ubicado en el segundo nivel, existen 3 personas que salen de ese cuarto hacia la escalera principal con un tiempo de 5 segundos. • En el cuarto llamado of admin 1 ubicado en el primer nivel con un total de 11 personas, salen en 11 segundos contabilizados desde el primero hasta la última persona en evacuar dicho cuarto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de salida una vez terminado la agrupación en la zona de acopio, los entes peatonales evacuan a otra zona, iniciando desde los 187 segundos la primera persona y la última persona de 386 segundos. • Proceso de evacuación de ente peatonal en baños del 1er piso involucradas evacuan una vez iniciado el simulacro con un tiempo de 6 segundos y el 2do piso involucradas evacuan una vez iniciado el simulacro con un tiempo de 16 segundos. • Se observa que 26 personas en el ambiente más amplio del segundo piso evacuan en la escalera secundaria con dirección a la principal que conduce al primer piso con un total de 45 segundos. • La totalidad de personas salen hacia la zona de acopio en 66 segundos. • En el cuarto de fiscalización ubicado en el 1er piso con un total de 7 personas evacuan de dicha habitación en 5 segundos. • En el cuarto con nombre gerencia 1 ubicado en el segundo nivel, existen 6 personas que salen de ese cuarto hacia la escalera principal con un tiempo de 7 segundos. • En el cuarto con nombre gerencia 2 ubicado en el segundo nivel, existen 11 personas que salen de

<ul style="list-style-type: none"> • En el cuarto llamado of admin 2 ubicado en el segundo nivel con un total de 19 personas, salen en 18 segundos contabilizados desde el primero hasta la última persona en evacuar dicho cuarto. • Según el resultado en la imagen room 35, el descanso de escalera, con presencia de, 2 persona cada vez que bajan desde el nivel superior al inferior en los segundos 5,6,17,18 y presencia de 3 personas juntas en los segundos 7-16,19-24. • Según el resultado en la imagen room 38, la parte superior de la escalera principal en el segundo nivel nos indica la cantidad por segundos están pisando dicha plataforma para bajar. Estos son, 1 persona en los 2,3,5,10,13,16-18,21,22 segundos. Asimismo, 2 personas juntas en los 4,6-9,11,12,14,15,19,20 segundos. • Según el resultado en la imagen room 59, en la escalera ubicada dentro de unos ambientes en el segundo nivel tiene en su parte inferior el estudio de que 1 persona pasa en el segundo 2, luego se dirigirá a bajar por la escalera principal. • Según el resultado en la imagen room 60, en la escalera que lleva al ambiente más grande del segundo nivel en su parte inferior se hizo el estudio donde 1 persona pasa en los siguientes segundos 10-12,14,19-21. Asimismo, 2 personas juntas pasan en los siguientes segundos 4-9,13,16-18. 	<p>ese cuarto hacia la escalera principal con un tiempo de 8 segundos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • En el cuarto llamado of admin 1 ubicado en el primer nivel con un total de 20 personas, salen en 15 segundos contabilizados desde el primero hasta la última persona en evacuar dicho cuarto. • En el cuarto llamado of admin 2 ubicado en el segundo nivel con un total de 26 personas, salen en 44 segundos contabilizados desde el primero hasta la última persona en evacuar dicho cuarto. • Según el resultado en la imagen room 35, el descanso de escalera, con presencia de, 1 persona cada vez que bajan desde el nivel superior al inferior lo hacen en 5 segundos como punto máximo 6 personas en 16,18 segundos. • Según el resultado en la imagen room 38, la parte superior de la escalera principal en el segundo nivel nos indica la cantidad por segundos están pisando dicha plataforma para bajar. Estos son, 2 personas en los 27-30,33-39,44 segundos. Asimismo, 5 personas juntas en 7 segundos. Asimismo, de 6 personas juntas en los 5,6,9,11,13,16,19,20,21 segundos. Además, de 7 personas juntas en los 10,12,15,18 segundos. De 8 personas en 17 segundos. • Según el resultado en la imagen room 59, en la escalera ubicada dentro de unos ambientes en el segundo nivel tiene en su parte inferior el estudio indica que 8 personas pasan en los siguientes segundos 9 segundos, además, 5 personas en 4,6 segundos. Finalmente, 6 personas en 5,7,11,12 segundos.
---	---

<ul style="list-style-type: none"> • Según el resultado en la imagen Stair 03, las personas que se acumulan en la escalera del segundo nivel al descanso se indica que 1 persona baja en los segundos 3,4,7-9,14,15,19-22. Además, se observa que 2 personas bajan en simultaneo en los segundos 5,10-13,16-18. • Según el resultado en la imagen stair03_1, las personas que se acumulan en la escalera que va desde el descanso previamente mencionado hasta el primer nivel, se indica que 1 personas baja en los segundos 20-28. Además, se observa que 2 personas bajan en simultaneo en los segundos 7-19. • Según el resultado en la imagen Stair14, se enfoca en la escalera secundaria que une ambientes pequeños donde los resultados indican que en los 1,3,5 segundos hay 1 persona bajando en ya mencionada escalera. • En la Imagen de zona de acopio arroja resultados por segundos de cada persona sale del recinto y va con dirección a agruparse. Inicia a los 2 segundos la primera persona hasta la última persona demora 34 segundos en agruparse. Luego existe una constante desde el segundo 34 hasta el 125. Finalmente, la gráfica disminuye hasta llegar a 0, ya que las personas salen de la zona de acopio. • En el gráfico llamado door 21, muestra la tasa flujo en una de las puertas del segundo nivel donde con una tasa de flujo de 0 	<ul style="list-style-type: none"> • Según el resultado en la imagen room 60, en la escalera que lleva al ambiente más grande del segundo nivel en su parte inferior se hizo el estudio donde 1 persona pasa en los siguientes segundos 33,34,35,38,41,43,44. Asimismo, 2 personas juntas pasan en los siguientes segundos 26,29,30,32,42. Además, son 3 personas juntas las cuales pasan en el 12,18,21,23,25,27,28, 31. Finalmente, 4 personas en los segundos 5,9,11,14,16,17,19,20,24 y 5 personas en 7 segundos. • Según el resultado en la imagen Stair 03, las personas que se acumulan en la escalera del segundo nivel al descanso se indica que 1 persona baja en los segundos 2,4,25,30,34-42,47. Además, se observa que 2 personas bajan en simultaneo en los segundos 6,8,10,17,23,24,29,32,33,45,46. Finalmente, 3 personas bajan en simultaneo en los segundos 7,9,11,12,13,14,16,20,22 y 4 personas en 19 segundos. • Según el resultado en la imagen stair03_1, las personas que se acumulan en la escalera que va desde el descanso previamente mencionado hasta el primer nivel, se indica que 1 persona se da en los tiempos 5,7,10,12,14,15,22,23,35,37,44,47,48-52. Asimismo, 2 personas se dan en los tiempos 11,13,16,18,20,25,26,28,30,31,32,34,36,38,39,41, 43,45,46 y finalmente 3 personas en los tiempos 27,29 segundos. • Según el resultado en la imagen Stair14, se enfoca en la escalera secundaria que une ambientes pequeños donde los resultados indican que en los
--	---

<p>comienza en 2.98 segundos luego asciende 0.43 en 8.94 segundos, asimismo desciende a 0 en 32.8 segundos.</p> <ul style="list-style-type: none">• En el gráfico llamado door 28, muestra la tasa de flujo en una puerta en el segundo nivel la cual comienza con 0 en 1.49 segundos, un punto máximo de 1.1 en 21.87 segundos y finalmente 0 flujo en 48.2 segundos.• En el gráfico llamado door 30, muestra la tasa de flujo cuando los entes peatonales evacuan hacia fuera de la zona de acopio, la cual comienza con 0 en 125.23 segundos, un punto máximo de 1.92 en 139.14 segundos y finalmente 1.3 flujo en 157.53 segundos.• En el gráfico llamado door 37, muestra la tasa de flujo en una puerta en el segundo nivel la cual comienza con 0 en 0.5 segundos, un punto máximo de 0.11 en 4.97 segundos y finalmente 0 flujo en 25.84 segundos.• En el gráfico “escalera admin 2 door 1”, muestra la tasa de flujo en la escalera en el segundo nivel la cual comienza con 0 en 2.48 segundos, un punto máximo de 1.08 en 19.38 segundos y finalmente 0 flujo en 48.2 segundos.• En el gráfico “escalera admin 2 door 2”, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 1.99 segundos, un punto máximo de 1.22 en 17.39 segundos y finalmente 0 flujo en 44.72 segundos.	<p>2 segundos hay 3 personas empezando en bajar en ya mencionada escalera luego existe una variante de 2 personas en los segundos 4,5. Asimismo 4 personas en el segundo 7 y finalmente 1 personas en 11 segundos.</p> <ul style="list-style-type: none">• En la Imagen de zona de acopio arroja resultados por segundos de cada persona sale del recinto y va con dirección a agruparse. Inicia a los 2 segundos la primera persona hasta la última persona demora 67 segundos en agruparse. Luego existe una constante desde el segundo 67 hasta el 187. Finalmente, la gráfica disminuye hasta llegar a 0, ya que las personas salen de la zona de acopio.• En el gráfico llamado door 21, muestra la tasa de flujo en una de las puertas del segundo nivel donde con una tasa de flujo de 0 comienza en 1.5 como máximo valor en 0.97 en los 14.47 segundos y finalmente decae a 0 en 44.42 segundos.• En el gráfico llamado door 28, muestra la tasa de flujo en una puerta en el segundo nivel la cual comienza con 0 en 2 segundos, un punto máximo de 1.04 en 46.91 segundos y finalmente 0 flujo en 72.36 segundos.• En el gráfico llamado door 30, muestra la tasa de flujo cuando los entes peatonales evacuan hacia fuera de la zona de acopio, la cual comienza con 0 en 187.65 segundos, un punto máximo de 4.68 en 203.62 segundos y finalmente 0.9 flujo en 385.78 segundos.• En el gráfico llamado door 37, muestra la tasa de flujo en una puerta en el segundo nivel la cual comienza con 0 en 0.5 segundos, un punto
--	--

<ul style="list-style-type: none"> • En el gráfico puerta baño 1 y puerta baño 2, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 1.49 segundos, un punto máximo de 0.11 en 5.96 segundos y finalmente 0 flujo en 26.34 segundos. • En el gráfico puerta fiscal 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 1.49 segundos, un punto máximo de 0.11 en 5.96 segundos y finalmente 0 flujo en 26.83 segundos. • En el gráfico puerta fiscal 2, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 1.99 segundos, un punto máximo de 0.34 en 6.46 segundos y finalmente 0 flujo en 27.83 segundos. • En el gráfico puerta of admin 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 1.49 segundos, un punto máximo de 0.94 en 12.92 segundos y finalmente 0 flujo en 40.25 segundos. • En el gráfico salida principal, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 2.98 segundos, un punto máximo de 1.96 en 17.89 segundos y finalmente 0 flujo en 59.63 segundos. • En el gráfico Stair03 door 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 3.98 segundos, un punto máximo de 1.16 en 21.87 segundos y finalmente 0 flujo en 49.69 segundos. • En el gráfico Stair03 door 2, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 2.48 	<p>máximo de 0.11 en 4.49 segundos y finalmente 0 flujo en 21.46 segundos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • En el gráfico “escalera admin 2 door 1”, muestra la tasa de flujo en la escalera en el segundo nivel la cual comienza con 0 en 2.99 segundos, un punto máximo de 0.99 en 45.41 segundos y finalmente 0 flujo en 70.87 segundos. • En el gráfico “escalera admin 2 door 2”, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 0.5 segundos, un punto máximo de 0.92 en 44.92 segundos y finalmente 0 flujo en 68.87 segundos. • En el gráfico puerta baño 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 0.5 segundos, un punto máximo de 0.6 en 7.99 segundos y finalmente 0 flujo en 31.44 segundos. • En el gráfico puerta baño 2, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 0.5 segundos, un punto máximo de 0.63 en 6.99 segundos y finalmente 0 flujo en 37.93 segundos. • En el gráfico puerta fiscal 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 1.5 segundos, un punto máximo de 0.23 en 6.49 segundos y finalmente 0 flujo en 26.45 segundos. • En el gráfico puerta fiscal 2, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 0.5 segundos, un punto máximo de 0.52 en 7.99 segundos y finalmente 0 flujo en 28.95 segundos. • En el gráfico puerta gerencia 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 0.5 segundos, un punto máximo de 0.6 en 8.98 segundos y finalmente 0 flujo en 31.44 segundos.
--	---

<p>segundos, un punto máximo de 1.14 en 19.38 segundos y finalmente 0 flujo en 48.7 segundos.</p> <ul style="list-style-type: none">• En el gráfico Stair03_1 door 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 7.95 segundos, un punto máximo de 1.2 en 22.86 segundos y finalmente 0 flujo en 53.67 segundos.• En el gráfico Stair03_1 door 2, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 5.96 segundos, un punto máximo de 1.13 en 21.37 segundos y finalmente 0 flujo en 52.68 segundos.• En el gráfico Stair14 door 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 1.99 segundos, un punto máximo de 0.4 en 8.94 segundos y finalmente 0 flujo en 33.29 segundos.• En el gráfico Stair14 door 2, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 0.99 segundos, un punto máximo de 0.41 en 7.45 segundos y finalmente 0 flujo en 31.8 segundos.	<ul style="list-style-type: none">• En el gráfico puerta of admin 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 0.5 segundos, un punto máximo de 1.38 en 15.47 segundos y finalmente 0 flujo en 42.42 segundos.• En el gráfico salida principal, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 1.5 segundos, un punto máximo de 6.37 en 17.97 segundos y finalmente 0 flujo en 89.83 segundos.• En el gráfico Stair03 door 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 0.5 segundos, un punto máximo de 1.3 en 19.96 segundos y finalmente 0 flujo en 73.36 segundos.• En el gráfico Stair03 door 2, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 2 segundos, un punto máximo de 1.34 en 17.47 segundos y finalmente 0 flujo en 72.36 segundos.• En el gráfico Stair03_1 door 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 5.49 segundos, un punto máximo de 1.32 en 36.43 segundos y finalmente 0 flujo en 78.85 segundos.• En el gráfico Stair03_1 door 2, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 4.99 segundos, un punto máximo de 1.31 en 33.94 segundos y finalmente 0 flujo en 77.35 segundos.• En el gráfico Stair14 door 1, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 4 segundos, un punto máximo de 0.6 en 24.49 segundos y finalmente 0 flujo en 47.97 segundos.• En el gráfico Stair14 door 2, muestra la tasa de flujo la cual comienza con 0 en 2 segundos, un punto máximo de 0.96 en 11.48 segundos y finalmente 0 flujo en 38.93 segundos.
--	--

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 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 es considerando una situación normal, ya que el tiempo de despeje y congestionamiento 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 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 de dichos locales para asegurar la vida humana, según nos indica la norma técnica peruana.

5. 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. *KSCE Journal Of Civil Engineering*, 20(3), 1099-1108.
- [3] Tang, M., & Hu, Y. (2017). Pedestrian Simulation in Transit Stations Using Agent-Based Analysis. *Urban Rail Transit*, 3(1), 54-60.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Daamen W, Hoogendoorn S (2010) Capacity of doors during evacuation conditions. *Procedia Engineering* 3(0):53–66.
- [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] 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.
- [14] 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.
- [15] Seyfried A, et al. (2009) New Insights into Pedestrian Flow through Bottlenecks. *Transportation Science* 43(3):395–406.
- [16] Helbing D, Mukerji P (2012) Crowd disasters as systemic failures: analysis of the Love Parade disaster. *EPJ Data Science* 1(1):1–40.
- [17] Thunderhead Engineering (2019), Pathfinder Features. Recuperado de <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/pathfinder-features/>

6. Anexo

Datos Obtenidos con el programa Pathfinder.

Resultados con la utilización de 50 personas con una velocidad de salida de 1 m/s.

Número de ocupantes en habitaciones seleccionadas

Figura 40. Número de ocupantes vs Tiempo en Exited (total)

Fuente: Elaboración propia

Figura 41. Número de ocupantes vs Tiempo en Baño general 1 y 2

Fuente: Elaboración propia

Figura 42. Número de ocupantes vs Tiempo en fiscalización, gerencia 1 y2 , of admin 1 y 2

Fuente: Elaboración propia

Figura 43. Número de ocupantes vs Tiempo en escalera admin 2

Fuente: Elaboración propia

Figura 44. Número de ocupantes vs Tiempo en Patio

Fuente: Elaboración propia

Figura 45. Número de ocupantes vs Tiempo en Room 35,38,59,60

Fuente: Elaboración propia

Figura 46. Número de ocupantes vs Tiempo en Stair 03, 03_1,14

Fuente: Elaboración propia

Figura 47. Número de ocupantes vs Tiempo en Zona de acopio

Fuente: Elaboración propia

Flujo en puertas seleccionadas

Figura 48. Tasa de flujo en Door 21,28,30,37

Fuente: Elaboración propia

Figura 49. Tasa de flujo en escalera admin 2 door 1 y 2

Fuente: Elaboración propia

Figura 50. Tasa de flujo en puerta baño 1 y 2

Fuente: Elaboración propia

Figura 51. Tasa de flujo en puerta gerencia 1, puerta fiscal 1 y 2, puerta of admin 1

Fuente: Elaboración propia

Figura 52. Tasa de flujo en salida principal

Fuente: Elaboración propia

Figura 53. Tasa de flujo en Stair03 door 1 y 2, Stair 03_1 door 1 y 2 , y Stair 14 door 1 y 2

Fuente: Elaboración propia

Resultados con la utilización de 50 personas con una velocidad de salida de 3 m/s.

Número de ocupantes en habitaciones seleccionadas

Figura 54. Número de ocupantes vs Tiempo en Exited (total)

Fuente: Elaboración propia

Figura 55. Número de ocupantes vs Tiempo en baño general 1y2

Fuente: Elaboración propia

Figura 56. Número de ocupantes vs Tiempo en escalera admin 2

Fuente: Elaboración propia

Figura 57. Número de ocupantes vs Tiempo en fiscalización, gerencia 1 y 2, y of admin 1 y 2

Fuente: Elaboración propia

Figura 58. Número de ocupantes vs Tiempo en Room 35,38,59,60

Fuente: Elaboración propia

Figura 59. Número de ocupantes vs Tiempo en Patio

Fuente: Elaboración propia

Figura 60. Número de ocupantes vs Tiempo en Stair03,03_1 y 14

Fuente: Elaboración propia

Figura 61. Número de ocupantes vs Tiempo en Zona de Acopio

Fuente: Elaboración propia

Flujo en puertas seleccionadas

Figura 62. Tasa de flujo en Door21,28,30,37

Fuente: Elaboración propia

Figura 63. Tasa de flujo en escalera admin 2 door 1 y 2

Fuente: Elaboración propia

Figura 64. Tasa de flujo en puerta baño 1y2

Fuente: Elaboración propia

Figura 65. Tasa de flujo en puerta fiscal 1y2, admin1 y gerencia 1

Fuente: Elaboración propia

Figura 66. Tasa de flujo en salida principal

Fuente: Elaboración propia

Figura 67. Tasa de flujo en salida principal

Fuente: Elaboración propia

Resultados con la utilización de 140 personas con una velocidad de salida de 1 m/s.

Número de ocupantes en habitaciones seleccionadas

Figura 68. Número de ocupantes vs Tiempo en exited (total)

Fuente: Elaboración propia

Figura 69. Número de ocupantes vs Tiempo en baño general 1y2

Fuente: Elaboración propia

Figura 70. Número de ocupantes vs Tiempo en escalera admin 2

Fuente: Elaboración propia

Figura 71. Número de ocupantes vs Tiempo en Fiscalización, gerencia 1 y2, y of admin 1y2

Fuente: Elaboración propia

Figura 72. Número de ocupantes vs Tiempo en Patio

Fuente: Elaboración propia

Figura 73. Número de ocupantes vs Tiempo en Room 35,59,60,38

Fuente: Elaboración propia

Figura 74. Número de ocupantes vs Tiempo en Stair03,03_1,14

Fuente: Elaboración propia

Figura 75. Número de ocupantes vs Tiempo en Zona de acopio

Fuente: Elaboración propia

Flujo en puertas seleccionadas

Figura 76. Tasa de flujo en door 21,28,30,37

Fuente: Elaboración propia

Figura 77. Tasa de flujo en escalera admin 2 door 1y2

Fuente: Elaboración propia

Figura 78. Tasa de flujo en puerta baño 1 y2

Fuente: Elaboración propia

Figura 79. Tasa de flujo en puerta fiscal 1y2, gerencia1 y of admin 1

Fuente: Elaboración propia

Figura 80. Tasa de flujo en Salida Principal

Fuente: Elaboración propia

Figura 81. Tasa de flujo en Stair 03 door 1y2, Stair 03_1 door 1, Stair 14 door 1, Stair03_1 door 2, Stair 14 door 2

Fuente: Elaboración propia

Resultados con la utilización de 140 personas con una velocidad de salida de 3 m/s.

Número de ocupantes en habitaciones seleccionadas

Figura 82. Número de ocupantes vs Tiempo en Exited(total)

Fuente: Elaboración propia

Figura 83. Número de ocupantes vs Tiempo en baño general 1y2

Fuente: Elaboración propia

Figura 84. Número de ocupantes vs Tiempo en escalera admin 1

Fuente: Elaboración propia

Figura 85. Número de ocupantes vs Tiempo en Patio

Fuente: Elaboración propia

Figura 86. Número de ocupantes vs Tiempo en Room 35,38,59,63,60

Fuente: Elaboración propia

Figura 87. Número de ocupantes vs Tiempo en Fiscalización, gerencia1, of admin 1y2, gerencia 2

Fuente: Elaboración propia

Figura 88. Número de ocupantes vs Tiempo en Stair03_1,03,14

Fuente: Elaboración propia

Figura 89. Número de ocupantes vs Tiempo en Zona de acopio

Fuente: Elaboración propia

Flujo en habitaciones seleccionadas

Figura 90. Tasa de flujo en door 21,28,30,37

Fuente: Elaboración propia

Figura 91. Tasa de flujo en escalera admin 2 door 1y2

Fuente: Elaboración propia

Figura 92. Tasa de flujo en Puerta baño 1y2

Fuente: Elaboración propia

Figura 93. Tasa de flujo en Stair 03 door 1y2, Stair 03_1 door 1y2 , Stair 14 door 1y2

Fuente: Elaboración propia

Figura 94. Tasa de flujo en puerta fiscal 1y2, puerta gerencia 1 y puerta of admin 1

Fuente: Elaboración propia

Figura 95. Tasa de flujo en Salida Principal

Fuente: Elaboración propia