



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL ZACATENCO "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
PROGRAMA DE POSGRADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS



**PERCEPCIÓN DEL RIESGO SÍSMICO Y DE UNA
ESTAMPIDA: CASO DE LOS USUARIOS DEL SISTEMA DE
TRANSPORTE COLECTIVO METRO DE LA CDMX**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS

PRESENTA
ING. MARISOL LÓPEZ AMATITLA

DIRECTORES DE TESIS
Dr. JAIME REYNALDO SANTOS REYES
Dr. DIEGO ALFREDO PADILLA PERÉZ

MÉXICO, CIUDAD DE MÉXICO, 2018

PERCEPCIÓN DEL RIESGO SÍSMICO Y DE UNA ESTAMPIDA: CASO DE LOS USUARIOS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE COLECTIVO METRO DE LA CDMX

I. RESUMEN

En las grandes ciudades existe un riesgo asociado a la presencia del ser humano en contextos naturales, en caso particular, la ocurrencia de eventos sísmicos, y por las interacciones que existen con las infraestructuras desarrolladas, debido a que estas infraestructuras se encuentran interconectadas, funcionan de manera sinérgica en su operación día a día, el riesgo sísmico que caracteriza a las ciudades se materializa con la ocurrencia de estos eventos que llevan a desastres. En particular, México está considerado como uno de los países con más alta sismicidad en el mundo. El país está en una zona de alta sismicidad debido a la interacción de 5 placas tectónicas, por esta razón no es rara la ocurrencia de sismos. Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Michoacán, Colima y Jalisco son los estados con mayor sismicidad y, en estos estados la actividad sísmica se origina por la interacción de las placas oceánicas de Cocos y Rivera que subducen con las de Norteamérica y del Caribe sobre la costa del Pacífico, también por esta misma acción son afectados los estados de Veracruz, Tlaxcala, Morelos, Puebla, Nuevo León, Sonora, Baja California, Baja California Sur y la Ciudad de México.

El Sistema de Transporte Colectivo Metro (STCM) como proveedor del servicio de movilidad masivo de alta velocidad que permite el traslado de gran cantidad de gente, es parte de las estructuras críticas de la megalópolis, no solo contribuye en la economía del país, sino que se encuentra interconectado con una gran diversidad de sistemas críticos para el funcionamiento y movilidad de la Ciudad de México, por lo que, el análisis de la percepción de riesgo sísmico de sus usuarios es de gran importancia para contribuir en la cultura de la prevención del impacto de estos eventos. El enfoque al estudio de la percepción de riesgo sísmico se consideró en dos fases: 1) Descripción y caracterización por riesgo sísmico del sistema en análisis y 2) Valoración de la percepción del riesgo sísmico en la población de estudio.

En el presente trabajo de tesis se desarrolla la primera fase de este enfoque, así, se presentan los hallazgos obtenidos de una revisión STC Metro en el contexto de evacuaciones de emergencia sísmica, es decir, de la divulgación de información de que hacer en caso de sismo de la descripción y caracterización de tres estaciones del Sistema de Transporte colectivo en el contexto del riesgo sísmico, a saber, la estación Merced (Línea 1), la estación Hidalgo (Línea 2) y la estación Guerrero (Línea 3). Se llevó a cabo una caracterización de las configuraciones de las estaciones de estudio, se identificaron las infraestructuras críticas y zonas de vulnerabilidad en el proceso de evacuación por medio de la simulación por computadora de escenarios con la mayor cantidad de agentes afectables según la estimación obtenida de la cantidad promedio de usuarios dentro del tren. Asimismo, se realizaron simulaciones por computadora de escenarios de evacuación por emergencia sísmica, en donde se consideró variaciones en los porcentajes designados para las áreas de zona de repliegue y en los porcentajes de descarga de usuarios del tren al andén durante un evento sísmico, con el fin de evaluar el efecto de ellos en los tiempos de evacuación de la estación.

Se espera que con los resultados expuestos en esta investigación se tengan los elementos suficientes para que en lo futuro se lleve a cabo la fase dos, es decir, la valoración del grado de percepción del riesgo sísmico

PERCEPTION OF SEISMIC RISK AND A STAMPING: CASE OF THE USERS OF THE CDMX METRO COLLECTIVE TRANSPORTATION SYSTEM

II. ABSTRACT

In large cities there is a risk associated with the presence of the human being in natural contexts, in particular, the occurrence of seismic events, and by the interactions that exist with the developed infrastructures, because these infrastructures are interconnected, they work Synergistically in its day-to-day operation, the seismic risk that characterizes the cities materializes with the occurrence of these events that lead to disasters. In particular, Mexico is considered one of the countries with the highest seismicity in the world. The country is in an area of high seismicity due to the interaction of 5 tectonic plates, for this reason the occurrence of earthquakes is not uncommon. Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Michoacán, Colima and Jalisco are the states with the highest seismicity and, in these states, the seismic activity originates from the interaction of the oceanic plates of Cocos and Rivera that subduces with those of North America and the Caribbean on Pacific's coast, the states of Veracruz, Tlaxcala, Morelos, Puebla, Nuevo Leon, Sonora, Baja California, Baja California Sur and Mexico City are also affected by this same action.

The Metro Collective Transportation System (STCM) as a provider of the high-speed mass mobility service that allows the transfer of large numbers of people, is part of the critical structures of the megalopolis, not only contributes to the economy of the country, but also is interconnected with a great diversity of critical systems for the operation and mobility of Mexico City, therefore, the analysis of the seismic risk perception of its users is of great importance to contribute to the culture of impact prevention of these events. The approach to the study of seismic risk perception was considered in two phases: 1) Description and characterization by seismic risk of the system under analysis and 2) Assessment of seismic risk perception in the study population.

In the present thesis work the first phase of this approach is developed, thus, the findings obtained from a STC Metro review are presented in the context of seismic emergency evacuations, that is, of the information disclosure of what to do in case of earthquake of the description and characterization of three stations of the Collective Transportation System in the context of seismic risk, namely, the Merced station (Line 1), the Hidalgo station (Line 2) and the Guerrero station (Line 3). A characterization of the configurations of the study stations was carried out, critical infrastructures and vulnerability zones were identified in the evacuation process by means of the computer simulation of scenarios with the greatest number of affected agents according to the estimation obtained from the average number of users inside the train. Likewise, computer simulations of evacuation scenarios for seismic emergencies were carried out, where variations were considered in the percentages designated for the areas of fallback area and in the percentages of downloading train users to the platform during a seismic event, with the in order to evaluate the effect of them on the evacuation times of the station.

It is expected that with the results presented in this research, there will be enough elements for the future to carry out phase two, that is, the assessment of the degree of perception of seismic risk.

ÍNDICE GENERAL

I.	RESUMEN.....	I
II.	ABSTRACT	II
III.	ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
IV.	ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
	INTRODUCCIÓN.....	XX
Capítulo 1	ANTECEDENTES, CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN	1
1.1.	Revisión de la literatura	1
1.1.1.	Desastres - Catástrofes.....	1
1.1.2.	Riesgo.....	5
1.1.3.	Amenaza	6
1.1.4.	Sismos.....	8
1.1.4.1.	Regiones Sísmicas en México.	9
1.1.4.2.	Zonificación del Valle de México.	10
1.1.5.	Sistema de Transporte Colectivo “Metro” y la vulnerabilidad por la sismicidad de la Ciudad de México.....	14
1.1.5.1.	Contexto espacial del STC Metro.....	15
1.1.5.1.1.	Ubicación geográfica.....	15
1.1.5.1.2.	Cobertura.....	17
1.1.5.1.3.	Infraestructura	18
1.1.5.2.	Contexto temporal	20
1.1.6.	Investigaciones a base de simulación de evacuaciones en estaciones de Metro	21
1.1.7.	Investigaciones a base de simulación de evacuaciones de emergencia sísmica en estaciones del STC Metro de la CDMX.....	22
1.1.8.	Softwares.....	24
1.2.	Justificación	26
1.3.	Objetivos.....	28
1.3.1.	Objetivo General.....	28
1.3.2.	Objetivos Específicos	28
1.4.	Alcance.....	29
Capítulo 2	MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO	30
2.1.	Marco teórico.....	31
2.1.1.	Enfoque de sistemas: Pensamiento holístico	31

2.1.2.	Enfoque duro del pensamiento de sistemas	32
2.1.3.	Simulación de sistemas.....	32
2.1.4.	Dinámica peatonal.....	33
2.2.	Marco Metodológico	33
2.2.1.	Balance de materia.....	34
2.2.2.	Cinemática de partículas.....	34
2.2.3.	Estimación del número de usuarios	35
2.2.4.	Software	36
2.2.5.	Herramientas de análisis estadístico.....	37
Capítulo 3	METODOLOGÍA Y DESARROLLO.....	39
3.1.	Metodología de investigación.....	40
3.2.	Planeación.....	41
3.1.1.	Actividad 1: Determinación de la cantidad de usuarios que se encuentran en cada estación por hora de las Líneas 1, 2, y 3	41
3.1.2.	Actividad 2: Selección de las estaciones con mayor nivel de agentes expuestos (mayor movilidad al interior del Sistema)	42
3.1.3.	Actividad 3 (A): Levantamiento de los videos de los vagones en horas pico (HP) y NO-HP con mayor nivel de agentes expuestos	43
3.1.3.1.	Etapa de pregrabación	43
3.1.3.2.	Etapa de grabación	44
3.1.4.	Actividad 3(b): Obtención de los detalles arquitectónicos de las estaciones con mayor nivel de agentes expuestos	46
3.1.5.	Actividad 4: Análisis de la información derivadas de la actividad 3	47
3.1.6.	Actividad 5: Determinación del número de personas por unidad de superficie	47
3.1.7.	Actividad 6: Modelación de la evacuación de los usuarios del metro en varios escenarios	47
3.1.7.1.	Pesos de Priorización.....	51
3.1.7.2.	Configuración de los escenarios evento base de evacuación masiva.....	52
3.1.8.	Actividad 7: Análisis y síntesis de los parámetros determinados.	52
3.3.	Consideraciones y limitaciones de la investigación	54
Capítulo 4	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE ESCENARIOS DE EVACUACIÓN DE EMERGENCIA SÍSMICA	56
4.1.	STC Metro en el contexto de evacuaciones de emergencia sísmica	57
4.2.	Determinación de las estaciones de estudio.....	61
4.3.	Caracterización de las configuraciones de las estaciones de estudio.....	63
4.3.1.	Reconocimiento e Identificación del número de entradas y salidas a nivel de plataforma de los vagones, entradas y salidas a las Estaciones de estudio y, entradas y salidas por correspondencia.....	64
4.3.1.1.	Estación Merced Línea 1	64

4.3.1.2.	Estación Hidalgo Línea 2.....	66
4.3.1.3.	Estación Guerrero Línea 3	69
4.3.2.	Reconocimiento e Identificación del tipo de escaleras que conectan a los diferentes niveles de la estación	74
4.3.2.1.	Estación Merced Línea 1.....	74
4.3.2.2.	Estación Hidalgo Línea 2.....	74
4.3.2.3.	Estación Guerrero Línea 3	75
4.3.3.	Reconocimiento e Identificación de los controles existentes del flujo peatonal.....	76
4.3.3.1.	Estación Merced Línea 1.....	78
4.3.3.2.	Estación Hidalgo Línea 2.....	79
4.3.3.3.	Estación Guerrero Línea 3	81
4.3.4.	Reconocimiento e Identificación de las rutas para el desplazamiento de los usuarios 82	
4.3.4.1.	Estación Merced Línea 1.....	83
4.3.4.2.	Estación Hidalgo Línea 2.....	85
4.3.4.3.	Estación Guerrero Línea 3	86
4.3.5.	Síntesis los resultados de la caracterización de las configuraciones de las estaciones de estudio.....	87
4.4.	Caracterización de la configuración de la movilidad los agentes: Usuarios de las estaciones de estudio.....	89
4.4.1.	Estimación del número de usuarios en las estaciones de estudio.	89
4.4.1.1.	Del número de usuarios que entran a la estación por Tren vía 1 y Tren vía 2. 90	
4.4.1.2.	Del número de usuarios que entran a la estación por trasborde	91
4.4.1.3.	Del número de usuarios que entran a la estación por torniquetes	92
4.4.2.	Estimación del Área del agente.....	93
4.4.3.	Estimación de la Velocidad máxima del agente.....	93
4.5.	Reconocimiento e identificación de las infraestructuras críticas y zonas de vulnerabilidad 96	
4.5.1.	Estación Merced de Línea 1, dirección de Observatorio a Pantitlán	98
4.5.2.	Estación Merced de Línea 1, dirección de Pantitlán a Observatorio	100
4.5.3.	Hidalgo (Línea 2) dirección Cuatro Caminos: Escenario 3	102
4.5.4.	Hidalgo (Línea 2) dirección Taxqueña: Escenario 4	105
4.5.5.	Guerrero (Línea 3) dirección Universidad: Escenario 5	107
4.5.6.	Guerrero (Línea 3) dirección Indios Verdes: Escenario 6	108
4.6.	Determinación de los factores críticos para la definición de las características de simulación de los escenarios de evacuación de emergencia	112
4.6.1.	Implementación del Proceso Jerárquico Analítico para la determinación de los factores críticos	112
4.6.1.1.	Modelación de la jerarquía de los elementos de análisis.....	112
4.6.1.2.	Valoración de los elementos de análisis	116
4.6.1.3.	Determinación del Índice de consistencia de las matrices de valoración	118

4.6.1.4.	Obtención de los Pesos de priorización para la definición de los factores críticos	118
4.6.2.	Definición de la configuración de las características base de simulación de los escenarios de evacuación de emergencia.....	121
4.7.	Definición de las características de simulación por computadora de los escenarios de evacuación de emergencia sísmica	122
4.7.1.	Ambiente de simulación para las estaciones de estudio	122
4.7.2.	Descripción de Escenario Base de evento para la evacuación por emergencia Sísmica.	123
4.8.	Evaluación de la Simulación de Escenarios de Evacuación por Emergencia Sísmica. .	125
4.8.1.	De la simulación de los Escenario de evacuación en la Estación Guerrero (Línea 3)	129
4.8.2.	De la simulación de los Escenario de evacuación en la Estación Hidalgo (Línea 2)	142
4.8.3.	De la simulación de los Escenario de evacuación en la Estación Merced (Línea 1)	153
Capítulo 5	DISCUSIÓN.....	163
Capítulo 6	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	177
	REFERENCIAS.....	182
Anexo A	MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS ESTACIONES CON MAYOR NÚMERO DE AGENTES AFECTABLES.....	191
A.1	Análisis de movilidad del Sistema de Transporte Colectivo	191
A.2	Análisis de movilidad de la línea 1 “Observatorio - Pantitlán”.....	193
A.3	Análisis de movilidad en la línea 2 “Cuatro Caminos- Tasqueña”	195
A.4	Análisis de movilidad en la línea 3	197
A.5	Síntesis.....	199
Anexo B	MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE USUARIOS EN LAS ESTACIONES DE ESTUDIO QUE INGRESAN POR TREN VÍA 1 Y VÍA 2	200
B.1	Determinación de las dimensiones de los vagones de las estaciones de estudio	200
B.1.1	Dimensionamiento de la Zona entre Puertas (ZEP)	200
B.1.2	Dimensionamiento del número de vagones de un tren.....	202
B.2	Obtención de la cantidad de usuarios en la ZEP de los vagones mediante videograbación.	203
B.2.1	Extracción del número de usuarios en la ZEP de los vagones.....	204
B.2.2	Determinación de la densidad de usuarios en la ZEP de los vagones	205
B.3	Determinación del número de usuarios en un tren	206
Anexo C	METODO PARA EL LEVANTAMIENTO DE VIDEOS EN ANDENES Y VAGONES EN HORAS PICO (HP) Y NO PICO (NHP) CON MAYOR NIVEL DE AGENTES EXPUESTOS	208
C.1	Planeación.....	208
C.2	Desarrollo	209

C.2.1	Etapa de pregrabación	209
C.2.2	Etapa de grabación	210
C.3	Análisis	211
Anexo D	MATRICES DE VALORACIÓN	213
D.1	MATRICES DE VALORAIZACIÓN DEL PERFIL: EXPERTO DE STC	213
D.2	MATRICES DE VALORAIZACIÓN DEL PERFIL: EXPERTO ACADÉMICO.....	215
D.3	MATRICES DE VALORAIZACIÓN DEL PERFIL: USUARIO DEL STC	217
Anexo E	METODO DE EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LOS FACTORES DE CARACTERIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE LAS ESTACIONES DE ESTUDIO	219
E.1	Escenarios de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables en función a la cantidad máxima de usuarios en un tren dentro de las estaciones de estudio.....	219
E.1.1	Escenario 1 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables	221
E.1.1.1	Ficha de descripción de las características de la simulación del escenario	221
E.1.1.2	Resultados del escenario 1 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables.....	222
E.1.2	Escenario 2 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables	224
E.1.2.1	Ficha de descripción de las características de la simulación del escenario	224
E.1.2.1	Resultados del escenario 2 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables.....	225
E.1.3	Escenario 3 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables	227
E.1.3.1	Ficha de descripción de las características de la simulación del escenario	227
E.1.3.1	Resultados del escenario 3 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables.....	228
E.1.4	Escenario 4 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables	230
E.1.4.1	Ficha de descripción de las características de la simulación del escenario	230
E.1.4.1	Resultados del escenario 4 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables.....	231
E.1.5	Escenario 5 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables	233
E.1.5.1	Ficha de descripción de las características de la simulación del escenario	233
E.1.5.1	Resultados del escenario 5 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables.....	234
E.1.6	Escenario 6 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables	236
E.1.6.1	Ficha de descripción de las características de la simulación del escenario	236
E.1.6.1	Resultados del escenario 1 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables.....	237
E.1.7	Síntesis	239

Anexo F	EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS BLOQUEOS EN LAS ESTACIONES DE ESTUDIO	240
Anexo G	PRUEBA DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIÓN DE EMERGENCIA SISMICA	244
G.1	Resultados de las Pruebas de Análisis de Varianza de los Escenarios de emergencia sísmica en la Estación Merced	244
G.2	Resultados de las Pruebas de Análisis de Varianza de los Escenarios de emergencia sísmica en la Estación Hidalgo de Línea 2	248
G.3	Resultados de las Pruebas de Análisis de Varianza de los Escenarios de Emergencia Sísmica en la Estación Guerrero de Línea 3	251
Anexo H	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS VALORES DE DENSIDADEN VAGONES DE LÍNEA 1, 2 Y 3, Y VELOCIDAD DE LOS USUARIOS	254
H.1	Pruebas de Kruskal-Wallis para densidad en vagones por horarios	254
H.1.1	Línea 1 dirección de Observatorio a Pantitlán	254
H.1.2	Línea 1 dirección de Pantitlán a Observatorio	255
H.1.3	Línea 2 dirección de Tasqueña a Cuatro Caminos	257
H.1.4	Línea 2 dirección Cuatro Caminos a Tasqueña	258
H.1.5	Línea 3 dirección de Indios Verde a Universidad	260
H.1.6	Línea 3 dirección de Universidad a Indios Verdes	261
H.2	Pruebas de Kruskal-Wallis para velocidad de usuarios	262
H.3	Análisis de varianza para los datos obtenidos	263
H.3.1	Verificación de la varianza para los datos de densidad en vagones de la estación Merced (Línea 1)	263
H.3.2	Verificación de la varianza para los datos de densidad en vagones de la estación Hidalgo (Línea 2)	264
H.3.3	Verificación de la varianza para los datos de densidad en vagones de la estación Guerrero (Línea 3)	265
H.3.4	Verificación de la varianza para los datos de velocidad de desplazamiento	266
Anexo I	FICHAS DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC: POR EMERGENCIA SÍSMICA	267
I.1	Fichas de Simulación de los Escenarios de Evacuación en la Estación Merced	267
I.2	Fichas de Simulación de los Escenarios de Evacuación en la Estación Hidalgo (Línea 2)	292
I.3	Fichas de Simulación de los Escenarios de Evacuación en la Estación Guerrero (Línea 3)	317
Anexo J	ACRONIMOS	343

III. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Regiones Sísmicas de México (CENAPRED, 2017)	9
Tabla 1.2 Zonificación del Valle de México (SGM, 2017)	10
Tabla 1.3. Distribución de estaciones en las alcaldías de la CDMX y municipio del Edo. Méx	16
Tabla 1.4 Asociación entre actividades y las estaciones del STC Metro.....	18
Tabla 1.5 Clasificación de las Estaciones del STC Metro de la CDMX por uso o funcionalidad	19
Tabla 1.6 Clasificación de las Estaciones del STC Metro de la CDMX por Tipo de construcción ...	19
Tabla 1.7 Cronología del STC Metro de la CDMX (STCM, 2017)	20
Tabla 3.1 Estaciones con mayor nivel de agentes expuestos	42
Tabla 3.2 Cuadro de control de grabaciones	45
Tabla 3.3 Productos de las actividades de grabación	46
Tabla 3.4 Factores y subfactores que integran los escenarios.....	48
Tabla 3.5 Índice de consistencia	51
Tabla 3.9 Configuración de los Escenarios de evacuación priorizados	52
Tabla 4.1 Descripción de las líneas de máxima demanda con base a la Clasificación por Uso de sus estaciones	61
Tabla 4.2 Descripción de las líneas de máxima demanda con base a la Clasificación por Tipo de sus estaciones	61
Tabla 4.3 Estaciones con mayor nivel de agentes expuestos	62
Tabla 4.2 Descripción de las líneas de máxima demanda con base a la Clasificación por Tipo de sus estaciones	63
Tabla 4.4 Rutas para el desplazamiento de los usuarios en la estación Merced	84
Tabla 4.5 Rutas para el desplazamiento de los usuarios en la estación Hidalgo.....	85
Tabla 4.6 Rutas para el desplazamiento de los usuarios en la estación Guerrero	87
Tabla 4.7 Resultados de la Clasificación de las estaciones de estudio.	87
Tabla 4.8 Resultados del reconocimiento e Identificación del número de entradas y salidas a nivel de plataforma de los vagones, entradas y salidas a las Estaciones de estudio y, entradas y salidas por correspondencia	88
Tabla 4.9 Resultados del reconocimiento e Identificación del tipo de escaleras que conectan a los diferentes niveles de la estación	88
Tabla 4.10 Resultados del reconocimiento e Identificación de los controles existentes del flujo peatonal.....	88
Tabla 4.11 Resultados del reconocimiento e Identificación de las rutas para el desplazamiento de los usuarios	89
Tabla 4.12 Estimación de la cantidad promedio de usuarios dentro del tren	91
Tabla 4.13 Aportaciones promedio por trasborde.....	91
Tabla 4.14 Tasa de ingreso de usuarios por torniquete	92
Tabla 4.15 Radios y diámetros adoptados para los agentes	93
Tabla 4.16 Cálculo de la velocidad peatonal	94
Tabla 4.17 Velocidad promedio y velocidad máxima.....	94
Tabla 4.18 Resumen estadístico de los valores de Velocidad peatonal obtenidos.....	95
Tabla 4.19 Determinación de los escenarios de evacuación a simular por computadora para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables.	96
Tabla 4.20 Descripción de los escenarios de evacuación a simular por computadora para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables	96

Tabla 4.21 Desgloses de los elementos de análisis establecidos para la selección de los escenarios evento de evacuaciones.....	114
Tabla 4.22 Valores de descripción de la Escala de Saaty	118
Tabla 4.23 Valores del Índice de consistencia obtenidos	118
Tabla 4.24 Pesos de priorización obtenidos para el perfil Académico	120
Tabla 4.25 Pesos de priorización obtenidos para el perfil Personal del STC	120
Tabla 4.26 Pesos de priorización obtenidos para el perfil Usuario	120
Tabla 4.27 Configuración de los Escenarios de evacuación priorizados	121
Tabla 4.28 Parámetros establecidos para la simulación de escenarios de evacuación por emergencia sísmica	123
Por lo antes mencionado, para la presente investigación se definieron, los escenarios de evacuación por emergencia sísmica, con base al análisis de los resultados obtenidos de la determinación de los factores críticos en las características de simulación de los escenarios de evacuación de emergencia (ver sección 4.6). Los cuales se diferencian por el tipo de bloqueo (Ver Tabla 4.29, de la sección 4.6.2).	126
Tabla 4.30 Descripción de los bloqueos para las estaciones de estudio.	127
Tabla 4.31 Factores de evaluación de los escenarios en el marco de un sismo referentes a zonas de repliegue y descenso de usuarios.....	128
Tabla 4.32 Descripción de los bloqueos en la estación Guerrero (Línea 3)	129
Tabla 4.33 Diseño del experimento para la simulación por computadora de escenarios de evacuación masiva con dos tipos de bloqueo en la estación Guerrero (línea 3).....	129
Tabla 4.34 Diseño experimental para la simulación por computadora de escenarios de evacuación masiva sin de bloqueo en la estación Guerrero (línea 3)	130
Tabla 4.35 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Tipo de bloqueo en la estación Guerrero (Línea 3).	136
Tabla 4.36 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Porcentaje del área disponible para la zona de repliegue en la estación Guerrero (Línea 3).	136
Tabla 4.37 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo por porcentaje de descenso de usuarios del tren al andén en la estación Guerrero (Línea 3).	136
Tabla 4.38. Comparación entre el Menor y el Mayor tiempo obtenido entre las interacciones de los factores “Tipo de bloque - Porcentaje para Zona de Repliegue en la estación Guerrero (Línea 3).....	139
Tabla 4.39. Comparación entre el Menor y el Mayor tiempo obtenido entre las interacciones de los factores “Tipo de bloque - Porcentaje de Descenso en la estación Guerrero (Línea 3).....	140
Tabla 4.40. Comparación entre el Menor y el Mayor tiempo obtenido entre las interacciones de los factores “Porcentaje para Zona de Repliegue - Porcentaje de Descenso en la estación Guerrero (Línea 3)	140
Tabla 4.41 Descripción de los bloqueos en la estación Hidalgo (Línea 2)	142
Tabla 4.42 Diseño experimental para la simulación por computadora de escenarios de evacuación masiva con dos tipos de bloqueo en la estación Hidalgo (línea 2)	142
Tabla 4.43 Diseño experimental para la simulación por computadora de escenarios de evacuación masiva sin de bloqueo en la estación Hidalgo (línea 2).....	143
Tabla 4.44 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación Transformado por Tipo de bloqueo en la estación Hidalgo (Línea 2).....	148
Tabla 4.45 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación Transformado por Porcentaje del área disponible para la zona de repliegue en la estación Hidalgo (Línea 2).	148
Tabla 4.46 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación Transformados por porcentaje de descenso de usuarios del tren al andén en la estación Hidalgo (Línea 2).	148
Tabla 4.47 Valores de las Medias del tiempo de evacuación de los escenarios analizados para la estación Hidalgo (línea 2).....	148

Tabla 4.48. Comparación entre el Menor y el Mayor tiempo obtenido entre las interacciones de los factores “Tipo de bloque - Porcentaje para Zona de Repliegue en la estación Hidalgo (línea 2) ..	151
Tabla 4.49. Comparación entre el Menor y el Mayor tiempo obtenido entre las interacciones de los factores “Tipo de bloque - Porcentaje de Descenso en la estación Hidalgo (línea 2)	151
Tabla 4.50. Comparación entre el Menor y el Mayor tiempo obtenido entre las interacciones de los factores “Porcentaje para Zona de Repliegue - Porcentaje de Descenso en la estación Hidalgo (línea 2)	151
Tabla 4.51 Descripción de los bloqueos en la estación Merced (Línea 1)	153
Tabla 4.52 Diseño experimental para la simulación por computadora de escenarios de evacuación masiva con dos tipos de bloqueo en la estación Merced (línea 1)	153
Tabla 4.53 Diseño experimental para la simulación por computadora de escenarios de evacuación masiva sin de bloqueo en la estación Merced (línea 1)	154
Tabla 4.54 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Porcentaje de Descenso en escenarios sin Bloqueo con Zonas de Repliegue al 15% en la estación Merced (Línea1)	157
Tabla 4.55 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Porcentaje de Descenso en escenarios sin Bloqueo con Zonas de Repliegue al 30% en la estación Merced (Línea1)	158
Tabla 4.56 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Porcentaje de Descenso en escenarios sin Bloqueo con Zonas de Repliegue al 45% en la estación Merced (Línea1)	158
Tabla 4.57 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Porcentaje de Descenso en escenarios con tipo de bloqueo 2B y con Zonas de Repliegue al 15% en la estación Merced (Línea1)	158
Tabla 4.58 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Porcentaje de Descenso en escenarios con tipo de bloqueo 2B y con Zonas de Repliegue al 30% en la estación Merced (Línea1)	159
Tabla 4.59 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Porcentaje de Descenso en escenarios con tipo de bloqueo 2B y con Zonas de Repliegue al 45% en la estación Merced (Línea1)	159
Tabla 4.60 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Porcentaje de Descenso en escenarios con tipo de bloqueo 3A y con Zonas de Repliegue al 15% en la estación Merced (Línea1)	160
Tabla 4.61 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Porcentaje de Descenso en escenarios con tipo de bloqueo 3A y con Zonas de Repliegue al 30% en la estación Merced (Línea1)	160
Tabla 4.62 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Porcentaje de Descenso en escenarios con tipo de bloqueo 3A y con Zonas de Repliegue al 45% en la estación Merced (Línea1)	160
Tabla 5.1 Descripción de los bloqueos definidos en las estaciones de estudio para la simulación de escenarios de evacuación de emergencia sísmica.....	164
Tabla 5.2. Comparación entre el Menor y el Mayor tiempo obtenido entre las interacciones de los factores “Tipo de bloque - Porcentaje para Zona de Repliegue	165
Tabla 5.3. Comparación entre el Menor y el Mayor tiempo obtenido entre las interacciones de los factores “Tipo de bloque & Porcentaje de Descenso.....	165
Tabla 5.3. Comparación entre el Menor y el Mayor tiempo obtenido entre las interacciones de los factores “Porcentaje para Zona de Repliegue & Porcentaje de Descenso	166
Tabla 5.5 Principales resultados del análisis de escenarios de evacuaciones masivas en el sistema de transporte colectivo en las líneas de máxima demanda	171
Tabla 5.6 Capacidad máxima de usuarios en andenes	175
Tabla A.1 Ranking de movilidad línea 1, Dirección de Observatorio a Pantitlán.....	193
Tabla A.2 Ranking de movilidad línea 1, Dirección de Pantitlán a Observatorio.....	194

Tabla A.3 Ranking de movilidad línea 2, Dirección Tasqueña	195
Tabla A.4 Ranking de movilidad línea 2, Dirección Cuatro Caminos	195
Tabla A.5 Ranking de movilidad línea 3, Dirección Universidad	197
Tabla A.6 Ranking de movilidad línea 3, Dirección Indios Verdes	198
Tabla A.7 Estaciones con mayor nivel de agentes expuestos.....	199
Tabla B.1 Identificación del tipo de geometría de la ZEP de las estaciones de estudio	201
Tabla B.2 Forma de cálculo del área de la ZEP	201
Tabla B.3 Estimación del área disponible para usuarios de pie en la ZEP	202
Tabla B.4 Cuadro de registro y control de las videograbaciones efectuadas.....	204
Tabla B.5 Fórmula del cálculo de densidad de usuarios en la ZEP	205
Tabla B.6 Estimación de las áreas disponible para usuarios de pie por vagón	206
Tabla C.1 Cuadro de registro y control de las grabaciones efectuadas	211
Tabla C.2 Productos de las actividades de grabación	212
Tabla E.1 Determinación de los escenarios de evacuación a simular por computadora para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables.	219
Tabla E.2 Descripción de los escenarios de evacuación a simular por computadora para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables	220
Tabla E.3 Estimación del tiempo promedio y tiempo máximo de evacuación respecto al escenario planteado.....	239
Tabla F.1 Descripción de los bloqueos en la estación Merced.....	240
Tabla F.2 Descripción de los bloqueos en la estación Hidalgo	240
Tabla F.3 Descripción de los bloqueos en la estación Guerrero	241
Tabla G.1 ANOVA para Tiempo de Evacuación por el Porcentaje de Descenso en escenarios sin bloqueo con el 15% del área para zona de repliegue en la Estación Merced.....	244
Tabla G.2 ANOVA Tiempo de Evacuación por el Porcentaje de Descenso en escenarios Sin bloqueo con el 30% del área para zona de repliegue en la Estación Merced.....	244
Tabla G.3 ANOVA Tiempo de Evacuación por el Porcentaje de Descenso en escenarios Sin bloqueo con el 45% del área para zona de repliegue en la Estación Merced.....	245
Tabla G.4 ANOVA Tiempo de Evacuación por el Porcentaje de Descenso en escenarios con el tipo de bloqueo 2B y con el 15% del área para zona de repliegue en la Estación Merced.....	245
Tabla G.5 ANOVA Tiempo de Evacuación por el Porcentaje de Descenso en escenarios con el tipo de bloqueo 2B y con el 30% del área para zona de repliegue en la Estación Merced.....	245
Tabla G.6 ANOVA Tiempo de Evacuación por el Porcentaje de Descenso en escenarios con el tipo de bloqueo 2B y con el 45% del área para zona de repliegue en la Estación Merced.....	246
Tabla G.7 ANOVA Tiempo de Evacuación por el Porcentaje de Descenso en escenarios con el tipo de bloqueo 3A y con el 15% del área para zona de repliegue en la Estación Merced.....	246
Tabla G.8 ANOVA Tiempo de Evacuación por el Porcentaje de Descenso en escenarios con el tipo de bloqueo 3A y con el 30% del área para zona de repliegue en la Estación Merced.....	246
Tabla G.9 ANOVA Tiempo de Evacuación por el Porcentaje de Descenso en escenarios con el tipo de bloqueo 3A y con el 45% del área para zona de repliegue en la Estación Merced.....	247
Tabla G.10 Análisis de Varianza para Tiempo de Evacuación Transformados - Suma de Cuadrados Tipo III para la Estación Hidalgo	248
Tabla G.11 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación Transformados por Tratamiento para la Estación Hidalgo	248
Tabla G.12 Comparación de contratos por Tratamiento para la Estación Hidalgo	248
Tabla G.13 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación Transformado por Repliegue para la Estación Hidalgo	249
Tabla G.14 Comparación de contratos por Repliegue para la Estación Hidalgo	249

Tabla G.15 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación Transformados por Descenso para la Estación Hidalgo	250
Tabla G.16 Comparación de contratos por Descenso para la Estación Hidalgo.....	250
Tabla G.17 Análisis de Varianza para Tiempo de Evacuación- Suma de Cuadrados Tipo III para la Estación Guerrero	251
Tabla G.18 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Tratamiento para la Estación Guerrero	251
Tabla G.19 Comparación de contratos por Tratamiento para la Estación Guerrero	251
Tabla G.20 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por repliegue para la Estación Guerrero	252
Tabla G.21 Comparación de contratos por Repliegue para la Estación Guerrero	252
Tabla G.22 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo por descenso para la Estación Guerrero..	252
Tabla G.23 Comparación de contratos por Descenso para la Estación Guerrero	252
Tabla H.1 Prueba de Kruskal-Wallis para Densidad [P/m ²] por Horario para Línea 1 dirección Pantitlán.....	254
Tabla H.2 Prueba de Kruskal-Wallis para Densidad [P/m ²] por Horario para Línea 1 dirección Observatorio	256
Tabla H.3 Prueba de Kruskal-Wallis para Densidad [P/m ²] por Horario para Línea 2 dirección Cuatro Caminos	257
Tabla H.4 Prueba de Kruskal-Wallis para Densidad [P/m ²] por Horario para Línea 2 dirección Tasqueña.....	258
Tabla H.5 Prueba de Kruskal-Wallis para Densidad [P/m ²] por Horario para Línea 3 dirección Universidad.....	260
Tabla H.6 Prueba de Kruskal-Wallis para Densidad [P/m ²] por Horario para Línea 3 dirección Indios Verdes	261
Tabla H.7 Prueba de Kruskal-Wallis para Velocidad de los usuarios de las estaciones de estudio	263
Tabla H.8 Verificación de Varianza de la densidad en los vagones de Línea 1 sentido de dirección de Pantitlán a Observatorio.....	263
Tabla H.9 Verificación de Varianza de la densidad en los vagones de Línea 1 sentido de dirección de Observatorio a Pantitlán	264
Tabla H.10 Verificación de Varianza de la densidad en los vagones de Línea 2 sentido de dirección de Tasqueña a Cuatro Caminos	264
Tabla H.11 Verificación de Varianza de la densidad en los vagones de Línea 2 sentido de dirección de Cuatro Caminos a Tasqueña	264
Tabla H.12 Verificación de Varianza de la densidad en los vagones de Línea 3 sentido de dirección de Universidad a Indios Verdes	265
Tabla H.13 Verificación de Varianza de la densidad en los vagones de Línea 3 sentido de dirección de Indios Verdes a Universidad	265
Tabla H.14 Prueba de Bondad de Ajuste para los residuos de los datos de densidad en los vagones de Línea 3 sentido de dirección de Indios Verdes a Universidad. Prueba de Kolmogórov-Smirnov	265
Tabla H.15 Verificación de Varianza de la velocidad de desplazamiento	266

IV. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Zonas Sísmicas de México	10
Figura 1.2. Zonificación del Valle de México (SGM,2017)	11
Figura 1.3. Sismicidad de México (SSN, 2017)	12
Figura 1.4 Modelo holográfico de la ubicación geográfica del STC.....	17
Figura 1.5 Tipificación de las zonas en la megalópolis de la CDMX (Imágenes tomadas de Rosas Gutiérrez (2008))	17
Figura 2.1 Representación de una estación con trasborde con las fuentes de entradas y salidas..	34
Figura 2.2 A) Diagrama de grabación en vagón; B, C, D, E y F imágenes del montaje y operación de las cámaras de videograbación; G, H e I productos de las acciones de grabación.	35
Figura 2.3 partes de un gráfico de cajas. valor mínimo(A), cuartil inferior (B), mediana (C), cuartil superior (D), valor máximo (E) y valores atípicos (F).....	38
Figura 3.1. Modelo holográfico del Ciclo de Desarrollo de la Investigación	41
Figura 3.2 Croquis de posicionamiento de cámaras en la Estación Merced (Línea 1)	43
Figura 3.3 Croquis de posicionamiento de cámaras en la Estación Hidalgo (Línea 2)	44
Figura 3.4 Croquis de posicionamiento de cámaras en la Estación Guerrero (Línea 3)	44
Figura 3.5 Esquema de configuración base para la selección de los escenarios evento de evacuación con base a los criterios de jerarquización	50
Figura 3.6 Árbol de decisión.....	51
Figura 3.7 Identificación de las cuatro secciones de la Ficha de Simulación de los Escenarios de Evacuaciones Masivas en el STC.....	54
Figura 4.1 evidencia Fotográfica de la inspección visual de las estaciones del STC a) Extinguidores de incendio por medio de toma de agua y extintor, b) extintor y teléfono Rojo.....	58
Figura 4.2 a) Plano de vialidades circundantes y b) Mapa de la red de STC.....	58
Figura 4.3 Evidencia fotográfica de la señalización "Ruta de evacuación" en la Línea 12 del STC	58
Figura 4.4 Evidencia fotográfica de la identificación y reconocimiento de las infografías de "Recomendaciones en caso de sismo" después del sismo del 19S 2017	59
Figura 4.5 Infografías difundidas en redes sociales oficiales del STC Metro después del 19S del 2017	60
Figura 4.6 Vista satelital de la ubicación de las estaciones de estudio	63
Figura 4.7 Esquema de reconocimiento del número de salidas/entradas a nivel de plataforma de vagones en la estación Merced (línea 1)	64
Figura 4.8 Imagen de la Salida/Entrada ES-1 a nivel de plataforma de vagones en la estación Merced (línea 1)	65
Figura 4.9 Esquema de reconocimiento del número de entradas/salidas a la Estación Merced (Línea 1)	65
Figura 4.10 Imagen de la Entrada/Salida EES-2 de la estación Merced (línea 1)	66
Figura 4.11 Esquema de reconocimiento de las Salidas/ entradas a nivel de plataforma de vagones en la estación Hidalgo (línea 2).....	67
Figura 4.12 a) Imagen de la Salida/ Entrada ES-8 a nivel de plataforma de vagones b) Imagen de la Salida/ Entrada ES-3 a nivel vestíbulo, en la estación Hidalgo (línea 2)	67
Figura 4.13 Esquema de reconocimiento del número de entradas/salidas a la estación Hidalgo (línea 2)	68
Figura 4.14 Imagen de la Entrada/salida EES-1 de la estación Hidalgo (línea 2).....	68

Figura 4.15 Esquema de reconocimiento del número de entradas/salidas a la estación Hidalgo (línea 2) por trasborde.	69
Figura 4.16 Esquema de reconocimiento del número de Salidas/ Entradas a nivel de plataforma de vagones en la estación Guerrero (línea 3).....	70
Figura 4.17 a) Imagen de la Salida/ Entrada ES-1' a nivel de plataforma de vagones. b) Imagen de la Salida/ Entrada ES-1 y ES-1' para llegar al nivel del vestíbulo, en la estación Guerrero (línea 3)	71
Figura 4.18 a) Imagen de la Salida/ Entrada CD-2 para cambio de correspondencia. b) Imagen de la Salida/ Entrada CD-1' para cambio de dirección, en la estación Guerrero (línea 3)	72
Figura 4.19 Esquema de reconocimiento del número de Número de entradas/salidas a la estación Guerrero (línea 3).....	72
Figura 4.20 Imagen de la Entrada/salida EES-2 de la estación Guerrero (línea 3).....	73
Figura 4.21 Esquema de reconocimiento del número de entradas/salidas a la estación Guerrero (línea 3) por trasborde.....	73
Figura 4.22 Esquema de los tipos de escaleras que conectan a los diferentes niveles de la Estación Merced (Línea 1)	74
Figura 4.23 Esquema de los tipos de escaleras que conectan a los diferentes niveles de la Estación Hidalgo (Línea 2).....	75
Figura 4.24 Esquema de los tipos de escaleras que conectan a los diferentes niveles de la Estación Guerrero (Línea 3).....	76
Figura 4.25 Esquema de ubicación de los controles de flujo en la Estación Merced (Línea 1)	78
Figura 4.26 Imagen de los controles medianamente móviles: Vallas plásticas en la Estación Merced (Línea 1)	79
Figura 4.27 Esquema de ubicación de los controles de flujo en vestíbulo de la Estación Hidalgo (Línea 2)	80
Figura 4.28 Imágenes de los controles de flujo en la Estación Hidalgo (Línea 2): a) totalmente fijo, b) parcialmente fijos y c) medianamente móviles	81
Figura 4.29 Esquema de ubicación de los controles de flujo en la Estación Guerrero (Línea 3)	81
Figura 4.30 Imágenes de los controles de flujo en la Estación Guerrero (Línea 3) a) parcialmente fijos, b) totalmente fijo y c) medianamente móviles	82
Figura 4.31 Diagrama lógico de desplazamiento para la generación de Rutas para la estación Merced Línea 1.....	83
Figura 4.32 Diagrama lógico de desplazamiento para la generación de Rutas para la estación Hidalgo Línea 2.....	85
Figura 4.33 Diagrama lógico de desplazamiento para la generación de Rutas para la estación Guerrero Línea 3.	86
Figura 4.34 Modelo de transferencia de usuarios de una estación en operación normal.	90
Figura 4.35 Velocidad de los usuarios registrada para cada estación: (1) Merced, (2) Hidalgo, (3) Guerrero	94
Figura 4.36 a) Mapa de densidad promedio en andén y b) Mapa de densidad máxima en andén. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 1	98
Figura 4.37 a) Mapa de densidad promedio en vestíbulo y b) Mapa de densidad máxima en vestíbulo. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 1	99
Figura 4.38 a) Mapa de densidad promedio en andén y b) Mapa de densidad máxima en andén. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 2	100
Figura 4.39 a) Mapa de densidad promedio en vestíbulo y b) mapa de densidad máxima en vestíbulo. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 2	101
Figura 4.40 a) Mapa de densidad promedio en andén y b) mapa de densidad máxima en andén. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 3.	102

Figura 4.41 a) Mapa de densidad promedio en vestíbulo y b) mapa de densidad máxima en vestíbulo. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 3	103
Figura 4.42 a) Mapa de densidad promedio en andén y b) mapa de densidad máxima en andén. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 4	105
Figura 4.43 a) Mapa de densidad promedio en vestíbulo y b) mapa de densidad máxima en vestíbulo. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 4	106
Figura 4.44 a) Mapa de densidad promedio en andén y b) mapa de densidad máxima en andén. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 5	107
Figura 4.45 a) Mapa de densidad promedio en vestíbulo y b) mapa de densidad máxima en vestíbulo. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 5	108
Figura 4.46 a) Mapa de densidad promedio en andén y b) mapa de densidad máxima en andén. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 6	109
Figura 4.47 a) Mapa de densidad promedio en vestíbulo y b) mapa de densidad máxima en vestíbulo. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 6	110
Figura 4.48 a) Mapa de densidad promedio en las escaleras de cambio de dirección y b) mapa de densidad máxima en las escaleras de cambio de dirección. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 6	111
Figura 4.49 Esquema de configuración base para la selección de los escenarios evento de evacuación con base a los criterios de jerarquización	114
Figura 4.50 Árbol de decisión ramificado con base a los factores de análisis.	115
Figura 4.51 Ejemplo de la matriz de valoración de juicios de comparación pareada de subcriterios	116
Figura 4.52 Ambiente de simulación de la estación Merced Línea 1	122
Figura 4.53 Ambiente de simulación de la estación Hidalgo Línea 2	122
Figura 4.54 Ambiente de simulación de la estación Guerrero Línea 3	123
Figura 4.55. Atlas de Riesgo. Zonas Sísmicas (STC Metro, 2017)	126
Figura 4.56 Localización de los bloqueos de los escenarios para la estación Guerrero (Línea 3) a) Bloqueo "1A" y b) Bloqueo "3C"	131
Figura 4.57 Tiempo de evacuación de los escenarios de sismo ensayados en la estación Guerrero (Línea 3) considerando el tipo de bloqueo en la estación, las zonas de repliegue del 15%, 30% y 45% del área disponible en andenes, pasillos y vestíbulo, los 4 porcentajes de descenso 25%, 50%, 75% y 100%.....	132
Figura 4.58 Graficas de Medias de los Tiempos de evacuación de los escenarios de sismo ensayados en la estación Guerrero (Línea 3) sin bloqueo y con bloqueos tipo 1A y 3C, considerando las zonas de repliegue del 15%, 30% y 45% del área disponible en andenes, pasillo y evaluando porcentajes de descenso de usuarios del tren al andén del 25%, 50%, 75% y 100%.....	134
Figura 4.59 Graficas de Interacciones de los factores principales (tipo de bloqueo en la estación, el efecto del porcentaje del área disponible para la zona de repliegue, y el porcentaje de descenso de usuarios del tren al andén) que modifican el tiempo de evacuación de los escenarios de sismo ensayados en la estación Guerrero (Línea 3).....	138
Figura 4.60 Localización de los bloqueos de los escenarios para la estación Hidalgo (Línea 2) a) Bloqueo "2B" y b) Bloqueo "3A"	144
Figura 4.61 Tiempo de evacuación de los escenarios de sismo ensayados en la estación Hidalgo (Línea 2) considerando el tipo de bloqueo en la estación, las zonas de repliegue del 15%, 30% y 45% del área disponible en andenes, pasillos y vestíbulo, los 4 porcentajes de descenso 25%, 50%, 75% y 100%.....	144
Figura 4.62 Graficas de Medias de los Tiempos de evacuación de los escenarios de sismo ensayados en la estación Hidalgo (Línea 2) sin bloqueo y con bloqueos tipo 2B y 3A, considerando las zonas de	

repliegue del 15%, 30% y 45% del área disponible en andenes, pasillos y evaluando porcentajes de descenso de usuarios del tren al andén del 25%, 50%, 75% y 100%.....	146
Figura 4.63 Graficas de Interacciones de los factores principales (tipo de bloqueo en la estación, el efecto del porcentaje del área disponible para la zona de repliegue, y el porcentaje de descenso de usuarios del tren al andén) que modifican el tiempo de evacuación de los escenarios de sismo ensayados en la estación Hidalgo (Línea 2)	149
Figura 4.64 Localización de los bloqueos de los escenarios para la estación Hidalgo (Línea 2) a) Bloqueo “2B” y b) Bloqueo “3A”	155
Figura 4.65 Tiempo de evacuación de los escenarios de sismo ensayados en la estación Merced (Línea 1) considerando el tipo de bloqueo en la estación, las zonas de repliegue del 15%, 30% y 45% del área disponible en andenes, pasillos y vestíbulo, los 4 porcentajes de descenso 25%, 50%, 75% y 100%.....	156
Figura 4.66 Graficas de Medias de los Tiempos de evacuación de los escenarios de sismo ensayados en la estación Merced (Línea 1) sin bloqueo y con bloqueos tipo 2B y 3A considerando las zonas de repliegue del 15%, 30% y 45% del área disponible en andenes, pasillos	161
Figura 5.1 Mapas de densidad destacando las zonas generadoras de densidades superiores a 4 p/m ² . a) Estación Merced, b) Estación Hidalgo y c) Estación Guerrero	168
Figura 5.2 Mapa de densidad promedio del escenario de simulación por computadora 2 estación Hidalgo	169
Figura 5.3 Mapa de densidad promedio del escenario de simulación por computadora 1 estación Guerrero	170
Figura 5.4 Contribución del tiempo de evacuación por efecto del bloqueo de las escaleras más próximas a las salidas	170
Figura 5.5 (A) Imagen al minuto 00:02; (B) imagen al minuto 00:05. Las imágenes son tomadas del video “Temblor Ciudad de México 7 de septiembre Metro Puebla Línea 9” de la plataforma de YouTube	174
Figura 6.1 Vista satelital de las estaciones a) Estación Merced, b) Estación Hidalgo y c) Estación Guerrero.	180
Figura A.1 Afluencia diaria histórica y su proyección para cada línea del STC.	192
Figura A.2 Movilidad en los tres periodos característicos de operación del STC para la Línea 1 .	194
Figura A.3 Movilidad en los tres periodos característicos de operación del STC para la línea 2...	196
Figura A.4 Movilidad en los tres periodos característicos de operación del STC para la línea 3...	198
Figura B.1 Esquema de ubicación de la ZEP a) en trenes con geometría 1, b) en trenes con geometría 2.....	201
Figura B.2 a) Geometría 1 de la ZEP para líneas 1 y 3; b) Geometría 2 de la ZEP para línea 2.	201
Figura B.3 Constitución de los trenes en el STC	203
Figura B.4 Imágenes de las actividades de grabación para la obtención de datos a) Diagrama de grabación en vagón, b) imagen del montaje de las cámaras de videograbación, c) imagen de control de las cámaras de videograbación; d) imagen de operación de las cámaras de videograbación y, e) producto de las acciones de grabación.....	203
Figura B.5 Capturas de imágenes del video en vagón de Línea3 dirección Universidad y su identificación para el conteo.	205
Figura B.6 Esquema para densidad de la ZEP, a) Geometría 1 de la ZEP; b) Capturas de imágenes del video en vagón de Línea3 dirección Indios Verdes - Universidad y su identificación para el conteo.	206
Figura B.7 A) Geometría 1; B) Geometría 2. Z1 es la zona entre puertas (ZEP), Z2 es la zona entre asientos (ZEA).....	207
Figura C.1 Imagen del Plan de Grabación desarrollado.	208
Figura C.2 Diagrama de flujo del proceso de grabación.....	209

Figura C.3 Croquis de posicionamiento de cámaras en la Estación Merced de la Línea 1	209
Figura C.4 Croquis de posicionamiento de cámaras en la Estación Hidalgo de la Línea 2	210
Figura C.5 Croquis de posicionamiento de cámaras en la Estación Guerrero de la Línea 3	210
Figura E.1 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo de salida de la estación Merced de conformidad con el escenario 1	222
Figura E.2 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo promedio de salida de la estación Merced de conformidad con el escenario 1	222
Figura E.3 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo máximo de salida de la estación Merced de conformidad con el escenario 1	223
Figura E.4 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo máximo de salida de la estación Merced de conformidad con el escenario 1	223
Figura E.5 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo de salida de la estación Merced de conformidad con el escenario 2	225
Figura E.6 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo promedio de salida de la estación Merced de conformidad con el escenario 2	225
Figura E.7 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo máximo de salida de la estación Merced de conformidad con el escenario 2	226
Figura E.8 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo máximo de salida de la estación Merced de conformidad con el escenario 2	226
Figura E.9 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo de salida de la estación Hidalgo de conformidad con el escenario 3	228
Figura E.10 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo promedio de salida de la estación Hidalgo de conformidad con el escenario 3	228
Figura E.11 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo máximo de salida de la estación Hidalgo de conformidad con el escenario 3	229
Figura E.12 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo máximo de salida de la estación Hidalgo de conformidad con el escenario 3	229
Figura E.13 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo de salida de la estación Hidalgo de conformidad con el escenario 4	231
Figura E.14 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo promedio de salida de la estación Hidalgo de conformidad con el escenario 4	231
Figura E.15 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo máximo de salida de la estación Hidalgo de conformidad con el escenario 4	232
Figura E.16 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo máximo de salida de la estación Hidalgo de conformidad con el escenario 4	232
Figura E.17 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo de salida de la estación Guerrero de conformidad con el escenario 5	234
Figura E.18 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo promedio de salida de la estación Guerrero de conformidad con el escenario 5	234
Figura E.19 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo máximo de salida de la estación Guerrero de conformidad con el escenario 5	235
Figura E.20 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo máximo de salida de la estación Guerrero de conformidad con el escenario 5	235
Figura E.21 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo de salida de la estación Guerrero de conformidad con el escenario 6	237
Figura E.22 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo promedio de salida de la estación Guerrero de conformidad con el escenario 6	237
Figura E.23 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo máximo de salida de la estación Guerrero de conformidad con el escenario 6	238

Figura E.24 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo máximo de salida de la estación Guerrero de conformidad con el escenario 6	238
Figura F.1 Tiempo de evacuación de los escenarios de incendio ensayados en la estación Merced (Línea 1)	241
Figura F.2 Tiempo de evacuación de los escenarios de incendio ensayados en la estación Hidalgo (Línea 2)	242
Figura F.3 Gráfico de caja y bigotes de los escenarios de incendio ensayados en la estación Guerrero (Línea 3)	243
Figura H.1 Medianas de las densidades en ZEP en trenes de línea 1 dirección Pantitlán en diferentes horarios.....	255
Figura H.2 Medianas de las densidades en ZEP en trenes de la Línea 1	256
Figura H.3 Medianas de las densidades en ZEP en trenes de línea 2 dirección Cuatro Caminos en diferentes horarios.....	258
Figura H.4 Medianas de las densidades en ZEP en trenes de línea 2 dirección Tasqueña en diferentes horarios.....	259
Figura H.5 Medianas de las densidades en ZEP en trenes de línea 3 dirección Universidad en diferentes horarios.....	261

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas ha incrementado el problema y la preocupación por parte de diversos organismos internacionales y nacionales por el aumento en la ocurrencia de desastres en las ciudades (Mansilla, 2000) igualmente en grandes metrópolis de primer mundo como en países subdesarrollados. A nivel mundial existen múltiples casos de ejemplo de la vulnerabilidad en las zonas urbanas que ponen en alerta a los organismos gestores del riesgo sobre la susceptibilidad a sufrir grandes daños no sólo por la concentración de grandes masas de población, sino también por las condiciones de caos que la falta de resiliencia de la sociedad (García Acosta, 2005; Mansilla, 2000; Schenk, 2007). Se ha evolucionado el altruismo, la atención de emergencias, la protección civil y la gestión integral de desastres; que se han traducido en un marco que legitima las acciones de los diferentes actores involucrados en la labor de auxiliar a las víctimas y prevenir catástrofes (Cenapred 2015)

Por otro lado, la República Mexicana está situada en una de las regiones sísmicamente más activas del mundo, enclavada dentro del área conocida como el Cinturón Circumpacífico donde se concentra la mayor actividad sísmica del planeta (SGM, 2017), no todas las regiones del planeta de la tierra son igualmente propensas a eventos sísmicos, en alianza la Academia de Ingeniería de México, el Instituto de Ingeniería de la UMAN, Earthquake Engineering and Research Institute, The Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), United States Geological Survey (USGS), han dividido la superficie terrestre en tres zonas distintas: 1) Regiones sísmicas: zonas activas de la corteza terrestre; 2) Regiones penisísmicas: zonas en las que sólo se registran movimientos débiles y; 3) Regiones asísmicas: zonas muy estables de la corteza terrestre en las que muy rara vez se registra un evento sísmico. (SMIS, 2016).

México está en una zona de alta sismicidad debido a la interacción de 5 placas tectónicas: La placa de Norteamérica, la de Cocos, la del Pacífico, la de Rivera y la placa del Caribe. Por esta razón no es rara la ocurrencia de sismos. EL Servicio Sismológico Nacional reporta en promedio la ocurrencia de 40 sismos por día (SSN, 2017). Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Michoacán, Colima y Jalisco son los estados con mayor sismicidad en la República Mexicana y, en estos estados la actividad sísmica se origina por la interacción de las placas oceánicas de Cocos y Rivera que subducen con las de Norteamérica y del Caribe sobre la costa del Pacífico frente a estos estados, también por esta misma acción son afectados los estados de Veracruz, Tlaxcala, Morelos, Puebla, Nuevo León, Sonora, Baja California, Baja California Sur y la ciudad de México. (SGM, 2017).

Históricamente, tan solo después de iniciado el siglo XX se habían presentado y registrado seis grandes eventos sísmicos superficiales con magnitudes mayores a 7 grados en las costas de Chiapas. El 19 de abril de 1902 en las cercanías de la frontera México-Guatemala con magnitud de 7.5, se registra el primer evento sísmico, el segundo se registró el 23 de septiembre del mismo año,

pero en esta ocasión en la costa norte de Chiapas. Después, el 14 de enero de 1903 en la costa sur de Chiapas se registró un sismo de magnitud 7.6. Hasta el año 1970, el 29 de abril se vuelve a registrar un sismo de magnitud 7.3, después el 10 de septiembre de 1993 uno de magnitud 7.2 y finalmente el 7 de noviembre del 2012 con magnitud de 7.3, estos últimos tres registrados al sur de Chiapas. (SSN, 2017). Así también, el Servicio Sismológico Nacional informa que los sismos más destructivos en la historia de la Ciudad de México registraron una magnitud de 8.1 y 7.6, el primero el 19 de septiembre de 1985 y el segundo un día después, el 20 de septiembre del mismo año.

El 7 de septiembre y 19 de septiembre del 2017 ocurrieron sismos que registraron una magnitud de 8.2 y 7.1 respectivamente. “*El sismo de 8.2 grados de este jueves, el más fuerte en 100 años en México*” fue el encabezado de la nota que publicó el diario Animal Político en su portal electrónico el día 8 de septiembre a las 00:37 horas, en el primer párrafo se informa “el sismo tuvo como epicentro Tonalá, Chiapas, y fue perceptible en el centro y sur del país, para unas 50 millones de personas; las muertes se registraron en territorio chiapaneco, Oaxaca y Tabasco” y al pie de la imagen se lee: “El sismo fue uno de los más fuertes registrados en la CDMX”. (Animal político, 2017).

Como bien se menciona en párrafos anteriores, en las ciudades existe un riesgo que se origina de la presencia del ser humano en contextos naturales cambiantes por su infraestructura desarrollada, que presentan evidencias de vulnerabilidad y un alto impacto de amenazas (Mansilla, 2000). Debido a que estas infraestructuras se encuentran interconectadas, es decir, que funcionan de manera sinérgica en su operación día a día, el riesgo que caracteriza a las ciudades se materializa con la ocurrencia de desastres, lo cual se manifiesta por el potencial de efectos en cascada de las estructuras y sistemas críticos. (Padilla, 2014).

El Sistema de Transporte Colectivo Metro (STCM) es el proveedor del servicio de movilidad masivo de alta velocidad que permite el traslado de gran cantidad de gente en la ciudad de México. Siendo el Sistema de transporte de parte de las estructuras críticas de la megalópolis, en particular el STCM contribuye a la generación y transferencia de la riqueza del país (Santos-Reyes, Padilla-Pérez, & Beard, 2015). Por lo anterior, se afirma lo antes mencionado, que el “Metro de la Ciudad” (STCM) se encuentra interconectado con una gran diversidad de sistemas críticos para el funcionamiento económico de la Ciudad de México.

Con el tiempo, el STCM incrementa su vulnerabilidad por la continua exposición a los peligros naturales y antropogénicos; dando como resultado un aumento en los riesgos que corren los usuarios de este medio de transporte. Las emergencias en los sistemas de tren urbano son de probabilidad relativamente baja, pero de consecuencias sociales y económicas relevantes (Lv, Yan, Sun, & Gao, 2015), por ello, la ocurrencia de accidentes dentro de las instalaciones que opera el STCM tienen el potencial fatídico para categorizarse como emergencias debido al nivel de fatalidades, evacuados y costos monetarios (a.Z. Keller, Meniconi, Al-Shammari, & Cassidy, 1997).

El STCM ha reconocido la existencia saturación del sistema (Cruz, 2017). En las estaciones, en tanto arquitectura y demanda del servicio, tienen todas las condiciones necesarias para una

estampida, siempre y cuando las personas entren en estado de pánico (Kawamoto et al., 2017) además de una pluralidad de situaciones potencialmente peligrosas como lo son el bloqueo de salidas y caídas a los andenes (Méndez Alvarez, 2011).

Por dar un caso de ejemplo, las cámaras de seguridad de STCM captaron el momento del sismo de 7.1 del 19 de septiembre del presente año; en el video se observa que, por varios segundos, los usuarios al percibir el movimiento, algunos usuarios deciden bajar por las escaleras de la estación Periférico de la línea 12, otros, segundos después optan por sostenerse de los barandales (El universal, 2017). Lo que se observa en los videos de las cámaras de seguridad del STCM nos permite reflexionar si en verdad la población está preparada o capacitada para reaccionar ante eventos de esta naturaleza, también nos permite cuestionarnos ¿Estamos lo suficientemente informados de las acciones que debemos seguir en caso de un sismo? Utilizando medios de comunicación electrónicos e impresos el STCM y Protección Civil de la Ciudad de México hicieron recomendaciones a los usuarios sobre lo que se debe hacer en caso de sismo; por ejemplo, se informa que, “si estás en alguna estación del Metro: Mantén la calma. No correr, no gritar, no empujar. Si el personal te lo indica, sigue la ruta de evacuación. Si te encuentras en el andén, recárgate contra la pared. No rebases la línea amarilla. Si te encuentras en un tren, permanece ahí. No invadas las vías o túneles del tren. No enciendas cerillos, uses encendedores. Los andenes cuentan con luces de emergencia. En caso de que sea necesario, si puedes ayudar a personas que lo requieran. Si estás entre estaciones, esto es lo que debes hacer en caso de sismo: No cometas actos que pongan en riesgo tu vida. Mantén la calma. No acciones la palanca de emergencia. Mantén las puertas cerradas. El personal del STC te indicará por donde descender. En caso de evacuación, acércate a las puertas y baja en orden. Solo podrás caminar por las vías con previa autorización del personal del STC. Al llegar a la estación sube con precaución las escaleras y cuando estés en el andén, dispérsate” (Excélsior, El universal, Animal Político, 2017)

Es debido a que las condiciones de exposición, vulnerabilidad y amenazas están dadas, es cuestión de tiempo que ocurra una emergencia (a.Z. Keller et al., 1997). El problema de evacuar en este tipo de condiciones radica en que las salidas son limitadas (Fruin, 1993; Haghani & Sarvi, 2017), es decir, en evacuaciones, emergencias e incluso en la operación normal existe una competencia por el espacio (Khan, Saqib, & Blumenstein, 2017; Taneja & Bolia, 2017), y en donde las normas sociales pueden dejar de aplicarse (Fruin, 1993; Thalmann & Musse, 2013).

Resumiendo, el STCM es afectado por problemas de escasez de recursos económicos, políticos, laborales, territoriales (Ballesteros Mancilla, 2015), lo que genera una realidad compleja, que se refleja en deficiencias en el servicio y saturación de las instalaciones del MCM. Aunado con los cambios en el contexto del STC (incremento de la demanda, precios de los energéticos, obsolescencia de la tecnología, etc.). Y en tanto que el STC tiene responsabilidad civil, administrativa y penal por sus acciones u omisiones en materia de protección civil, resulta de suma importancia

efectuar un diagnóstico sistémico en los procesos de evacuación y gestión de superpoblaciones en MCM.

La metodología empleada en el análisis constó de tres fases, a saber, 1) pre-planteamiento; 2) elaboración; y 3) valoración y síntesis. La primera fase establece cómo damos respuesta a la pregunta principal de investigación. La fase dos se compone de las operaciones que materializan las respuestas a las preguntas de investigación mediante técnicas de simulación por computadora en diferentes escenarios. La tercera fase implica la valoración y síntesis de los resultados derivados de la fase dos sobre las preguntas de investigación.

La simulación de escenarios sísmicos da vida a conceptos abstractos, debido a que proporcionan un lenguaje común para las partes interesadas pertinentes: los planificadores y constructores, los responsables de la formulación de políticas, la población y el personal de respuesta a emergencias. (Preuss & Godfrey, 2006). Para ello, los escenarios deben ser creíbles y relevantes para fomentar en los tomadores de decisiones su uso. Un escenario sísmico plausible se basa en el conocimiento actual de la sismicidad y geología locales, e incorpora características de construcción, líneas de vida y otra infraestructura dentro del contexto social, económico y cultural de la comunidad en riesgo (Preuss & Godfrey, 2006).

Por otro lado, las variables de respuesta fueron el tiempo de evacuación de emergencia sísmica, también se tiene como variable de respuesta la densidad de usuarios; los escenarios se conformaron mediante las variables de número de usuarios, horario de operación, bloqueos en diversas áreas, cargas en vagones, escenarios de emergencia, anchos de las zonas de repliegue, etc.

Para los diferentes escenarios de simulación se empleó el software Pedestrian Dynamics®. Los métodos estadísticos utilizados para el análisis de los datos fueron mediante las pruebas paramétricas y no paramétricas U Mann-Whitney, Kruskal-Wallis y ANOVA multifactorial.

Para la realización de este proyecto se hizo uso de la siguiente información:

- La afluencia por estación por día del año 2016 del STC fueron otorgadas por la Gerencia de Innovación y Nuevos Proyectos del STC.
- Planos arquitectónicos de las estaciones del STC fueron otorgados por la Coordinación de Protección Civil del STC.
- Registros en video grabaciones en vagones, andenes y áreas conexas de estaciones, levantadas, explotadas y analizadas.

Por otro lado, las limitaciones giraron en torno a la información primaria y en los recursos. En cuanto a la información primaria destacan que el nivel de detalle no es el requerido para esta investigación en cuanto las afluencias por hora, los flujos internos dentro de las estaciones y planos arquitectónicos actualizados de las estaciones del STC. Respecto a los recursos, la principal limitante corresponde al tiempo y costo de la licencia del software Pedestrian Dynamics® y al tiempo de procesamiento de los escenarios de simulación.

La principal herramienta empleada es el modelo de simulación de la dinámica peatonal del software Pedestrian Dynamics® que ocupa un enfoque mixto lo que le da la ventaja de un bajo costo computacional y en caso de ser necesario activa el modo microscópico cuando la densidad excede un cierto umbral, de tal forma que se inhibe las desventajas del enfoque mixto, por esta razón el software Pedestrian Dynamics® es elegido para este proyecto.

Los resultados más relevantes del proyecto se resumen a continuación:

1. Se encontró que todas las estaciones de estudio presentan velocidades de desplazamiento de los usuarios dentro de las estaciones estadísticamente diferentes. Se mencionan de menor a mayor velocidad peatonal promedio, Merced (1.10 m/s), después sigue la estación Hidalgo (1.30 m/s), y por último la estación Guerrero (1.40m/s).
2. Las máximas densidades (mediana) en la zona entre puertas dentro de los vagones para la línea 1 es de 6.8 P/m² para la dirección Pantitlán en la hora pico vespertina (18 a 19 hrs); por otro lado, respecto a la línea 2 se encontró que la dirección Cuatro Caminos presenta una densidad de 4.2 P/m² en la hora punta matutina (9 a 10 hrs); por último, para la línea 3 se halló en la estación Indios Verdes durante la hora pico vespertina una densidad de 5.2 P/m².
3. Con base a los datos obtenidos de la densidad dentro de los vagones, se ha determinado que las siguientes líneas, direcciones y horarios presentan densidades dentro de los vagones superiores a 5 personas por metro cuadrado, densidad a la cual comienza el aplastamiento. La línea 1 dirección Pantitlán en la hora pico matutino, línea 1 dirección Observatorio en la hora pico vespertina, línea 3 dirección Universidad en la hora pico matutina y vespertina, y por último la línea 3 dirección Indios Verdes hora valle y hora pico vespertina.
4. Se ha encontrado que un referente del tiempo máximo para evacuación en condición de incendios es de 900 segundos (15 minutos), con base a lo anterior y considerando una descarga de 2,700 usuarios en cada andén, se halló que el tiempo de evacuación para desalojar la totalidad de las estaciones Merced y Guerrero superaría a los 900 segundos. En caso contrario bajo el mismo escenario la estación Hidalgo desaloja a alrededor de los 548 segundos, lo que hace que la estación Hidalgo sea la más eficiente respecto a las otras dos estaciones.
5. Por otro lado, las principales áreas que tienen el potencial de generar densidades superiores a las 4 P/m² en las tres estaciones son los pies de escaleras y las áreas de torniquetes, y en algunas estaciones como la Merced pasillos estrechos que conectan el vestíbulo con los vagones mixtos. Puede decirse que estas zonas generan en los agentes una disminución de la velocidad y una disminución del espacio transitable lo que en conjunto configuran un cuello de botella. Estas zonas son importantes porque en ellas es más probable que en momentos de crisis existan aplastamientos y posibles lesiones de diversas magnitudes.

6. Respecto al efecto de los bloqueos analizados, se halló que los bloqueos en las escaleras más próximas a las salidas son las condiciones en la estación que más contribuyen al incremento del tiempo de evacuación en al menos un 30% con respecto a las condiciones sin bloqueo, esto para estaciones Merced e Hidalgo.
7. Del análisis de escenarios de sismo, se encontró que, de los porcentajes del área disponible para zonas de repliegue evaluados, el 30% y 45% favorecen el desempeño de la evacuación en las estaciones Hidalgo y Guerrero, para la estación Merced es el 15% del área disponible para zonas de repliegue.
8. Respecto a los porcentajes de descenso de usuarios del tren al andén al tiempo cero en un evento sísmico, que descendan del 50% o el 75% de los usuarios favorece el desempeño de la evacuación

La investigación cuenta con seis capítulos y diez anexos. El capítulo 1 establece el preámbulo al tema de investigación contiene la justificación, los objetivos, el alcance. y a la estructura de este documento, mientras que el capítulo 2 se describe el marco teórico y el marco metodológico del proyecto. Por otra parte, el capítulo 3 se describe la metodología y el desarrollo del proyecto. El capítulo 4 está dividido en ocho secciones, donde se describen los resultados obtenidos de la puesta en marcha de la metodología de la investigación, se caracteriza los elementos de estudio se establecen los criterios requeridos para efectuar la simulación por computadora, se presentan los hallazgos del análisis de escenarios en las estaciones definidas en el alcance. En el capítulo 5 se presenta la discusión de los hallazgos obtenidos en esta investigación, las valoraciones y derivadas de análisis de escenarios. En el capítulo 6, se dan a conocer las conclusiones a las que se llegaron con el desarrollo de esta investigación, así como las recomendaciones derivadas de los resultados obtenidos. Finalmente, se muestran las referencias consultadas en el desarrollo de esta investigación. En cuanto a los anexos son los métodos que complementan las secciones específicas de los capítulos 3 y 4 y serán invocados para sustentar lo dicho o exhibir los pasos para la obtención de los resultados.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES, CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN

En este capítulo se constituye el soporte teórico de la investigación en el que se dan a conocer los conceptos que permiten dar el contexto y una cosmovisión de la situación en la que se encuentra las instigaciones de las evacuaciones de caso de emergencia sísmica en sistemas de transporte urbano masivo a nivel local y global. En el caso local, el conocimiento generado sobre evacuaciones masivas en contexto en el Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México y el enfoque de estas. Preliminarmente se presente el contexto del Riesgo Sísmico, la ocurrencia de eventos sísmicos en el contexto nacional e internacional, así como las regiones sísmicas en México y una breve caracterización sísmica de la zona metropolitana de la ciudad de México.

1.1. Revisión de la literatura

1.1.1. Desastres - Catástrofes

Se define desastre al resultado de la ocurrencia de uno o más agentes perturbadores severos y/o extremos, concatenados o no, de origen natural o de la actividad humana, que cuando acontecen en un tiempo y en una zona determinada, causan daños y que por su magnitud exceden la capacidad de respuesta de la comunidad afectada (LGP, 2012) y entre las características más básicas que conforman un desastre se consideran el riesgo, la amenaza, los factores de vulnerabilidad y lo que se denomina “agentes naturales y antrópicos” que pueden detonar desastres.

Las catástrofes se han presentado en diversas ocasiones y que los desastres no son un invento de la modernidad, sino una posibilidad cuando se convive entre manifestaciones extremas de la naturaleza (CENAPRED, 2017). Los desastres en la antigüedad guardan características con los actuales, puesto que resultan de la combinación de varios factores: la exposición, la presencia de una amenaza natural y las condiciones vulnerables que hacen mayores o menores los impactos (SMIS, 2016). Sin embargo, desde el contexto temporal, estas características pueden explicarse por las contribuciones a las palabras y conceptos de “catástrofe/desastre” (García Acosta, 2005; Schenk, 2007)

Resulta natural relacionar fenómenos tan diferentes como terremotos, inundaciones, incendios, plagas, hambrunas, guerras, accidentes y epidemias con el campo de investigación de "catástrofe / desastre por lo que se genera la necesidad de identificar el “que” de estos fenómenos dispares se conviertan en un objeto de investigación uniforme para que se pueda analizar de manera específica y rastrear la modificación histórica y la dinámica de las ideas relacionadas con los eventos que hoy en día son llamados "desastres" de tal forma que se promueve la reflexión crítica sobre la comprensión cotidiana del evento en cada caso como proceso hermenéutico y que ocurre en la evolución de los planteamientos teóricos que se construyen para la interpretación de la realidad. ” (García Acosta, 2005; Schenk, 2007)

La palabra desastre tiene antecedentes muy antiguos., tiene por equivalente en alemán las palabras *desaster* o *unstern*, que significan "bajo una mala estrella" ((Schenk, 2007)). Explica que en las lenguas romances como el francés se refieren a *désastre* y en italiano *adisastro*, porque al parecer en el antiguo mundo era común creer que ciertas constelaciones eran las responsables de eventos fatídicos para la vida de los humanos. (García Acosta, 2005; Schenk, 2007)

Los contenidos y las concepciones que en diferentes momentos históricos haya tenido un determinado término están impregnados por el tipo de sociedad de la cual han procedido, así como del proceso comunicativo, el nivel denotativo de los signos lingüísticos, el estructuralismo y la gramática transformacional, que constituyen los elementos sustanciales de la teoría conductual del diferencial semántico (Díaz G. R., 1975; García Acosta, 2005). De lo anterior, es pertinente mencionar que las palabras devienen generales al hacerse de ellas signos de ideas generales, una palabra deviene general cuando se hace de ella signo, no de una idea general abstracta, sino de varias ideas particulares, cualquiera de las cuales, indiferentemente, es sugerida a la mente por dicho signo (Berkeley, 1734); es decir, los conceptos se derivan de modelos teóricos y éstos, a su

vez, son abstracciones de la realidad para intentar su comprensión y no esquemas descriptivos de la realidad misma (García Acosta, 2005)). Bajo este tenor, el uso de los conceptos desastre y catástrofe como evidencia del fuerte impacto que fenómenos tienen en áreas urbanas es basta en términos históricos (Mansilla, 2010).

En correspondiente con el razonamiento de la concepción de la palabra, un modelo analítico, un marco teórico, se nutren fundamentalmente del conocimiento del mundo real y están conformados por métodos, conceptos y esquemas. (Copi I. M., 1995). De ahí que, la línea metodológica por seguir, los conceptos a utilizar y los esquemas a aplicar con base en un determinado modelo resultan inseparables de éste y, es así como se afirma que no existen conceptos o métodos aislados, pues se desprenden necesariamente de una determinada forma de explicar la realidad. (Berkeley, 1734; García A. V, 2005). Así, como consecuencia de lo observado en las últimas décadas donde se ha incrementado considerablemente el número de impactos y el nivel de pérdidas en ciudades de tamaños distintos, esto obedece a un aumento de elementos expuestos que se da de manera obvia al ampliarse la mancha urbana, pero fundamentalmente al incremento en los niveles de riesgo derivados de las condiciones en las que dicha urbanización ha tenido lugar (Mansilla, 2010; García A. V, 2005).

El concepto desastre se usa de múltiples maneras y con diversos grados de complejidad (García A. V., 2005, Douglas M.; 1987; Schenk G. J., 2007), sin embargo, en propuestas de investigación resultan ser, hasta el momento, las aproximaciones dominantes: la construcción social del riesgo asociada con la percepción, y la construcción social del riesgo asociada con la vulnerabilidad y la desigualdad (García A. V., 2005).

Con el análisis de los desastres se ha evidenciado la alta vulnerabilidad que las ciudades presentan ante los efectos de los fenómenos naturales, debido principalmente a un proceso de ocupación de suelo en zonas de peligro (Woloshyniuk, 2015; SEDATU, 2015). Este proceso no se da únicamente en asentamientos irregulares, también se presentan en zonas regulares y residenciales (SEDATU, 2015; CENAPRED, 2017)

Por otro lado, se consideran pequeños desastres a los que, sin llegar a causar una catástrofe, generan alteraciones en la cotidianidad, afectan económicamente las estructuras sociopolíticas locales e implican periodos cortos de recuperación (CENAPRED, 2017). Sin embargo, se ha documentado que estos pequeños desastres suelen menguar gradualmente la resistencia ante un fenómeno extremo y al producirse un impacto mayor contribuyen en que el desastre sea mayor (SEDATU, 2015). También Lavell (2000) explica que “los recurrentes pequeños eventos erosionan de continuo la capacidad de desarrollo de las zonas y poblados afectados, y conducen a una inexorable acumulación de vulnerabilidades, que hace que el efecto de los grandes desastres sea más agudo una vez que suceden”.

Los medianos desastres “son aquellos que atraen la atención de los medios regionales y la recuperación se alcanza con capitales nacionales/estatales” (De la Parra, 2009). Los grandes

desastres producen daños mayores a un millón de dólares, se reportan más de 100 muertos y atraen la atención nacional e internacional de los medios masivos de información, por lo cual se reciben diversos apoyos extranjeros (De la Parra, 2009)

Recientemente se han utilizado otras categorías para denominar a los desastres como intensivos y extensivos (SGM, 2017). Por desastres intensivos se denomina a los sucesos en que se reportaron 25 o más muertes o fueron destruidas 300 o más viviendas. Por desastres extensivos, en los que mueren menos de 25 personas o se dañan menos de 300 viviendas (UNISDR, 2013).

El CENAPRED publicó que entre los años 1999 y 2011 han fallecido en México 2,326 seres humanos específicamente a causa de algún desastre detonado por un fenómeno hidrometeorológico, y los costos por los daños durante el mismo periodo han ascendido a poco más de 14,598 millones de dólares (SEGOB-CENAPRED, 2007).

Tanto en leyendas, cuentos o mitos, es recurrente la idea que han perdurado con relación a los desastres; que son actos de Dios o Dioses y ocurren como un castigo divino ocasionado por una divinidad ante ciertas violaciones a sus códigos de conducta moral (Giddens, 1993). Por otro lado, otra idea es que los desastres son actos de la naturaleza (“desastres naturales”), que son inevitables y serán prevenibles cuando el humano controle la naturaleza (SEDATU, 2015).

Lo que queda claro y evidente es que los desastres son “procesos que se desarrollan a través del tiempo, y sus orígenes están profundamente arraigados en la historia social” (Luhmann, 2006; Oliver-Smith, 2009). Como tal, los desastres tienen raíces históricas, que se desarrollan en el presente, y en el futuro que los procede de acuerdo con las formas de reconstrucción que se llevan a cabo (Mansilla, 2010). Estos problemas se refieren directamente a la relación entre los humanos y la naturaleza y con las estrategias para formas más sostenibles de desarrollo (Oliver-Smith, 2009).

Los desastres básicamente resultan de la combinación entre una población vulnerable (V), una amenaza (A) que supera las capacidades de preparación, prevención y respuesta, y algún grado de exposición (E) a la amenaza. En síntesis:

$$D = \frac{V + A}{E}$$

Se ha argumentado que los desastres son un problema mundial, pues se presentan en todo el globo terráqueo donde existen condiciones de exposición a ciertas amenazas, donde se acumulan diferentes grados de vulnerabilidad que el modelo capitalista no ha logrado revertir en escenarios equitativos de bienestar social, y donde algunas comunidades no han desarrollado capacidades de respuesta y recuperación apropiadas. (García A. V., 2005, Douglas M.; 1987; Schenk G. J., 2007) Las cifras económicas son un reflejo cuantitativo de los impactos de los desastres, las incapacidades organizativas y las vulnerabilidades presentes en las sociedades. (Mansilla, 2010)

1.1.2. Riesgo

La Ley General de Protección Civil (2012) define riesgo como los “daños o pérdidas probables sobre un agente afectable, resultado de la interacción entre su vulnerabilidad y la presencia de un agente perturbador” Considera que existe riesgo inminente, el cual “según la opinión de una instancia técnica especializada, debe considerar la realización de acciones inmediatas en virtud de existir condiciones o altas probabilidades de que se produzcan los efectos adversos sobre un agente afectable”

La palabra “riesgo”, al igual que la palabra desastre, tiene antecedentes antiguos, (Gascón, 2009) considera que proviene del idioma árabe clásico rizq que significa “lo que depara la providencia” y que después éste ingresó al castellano desde el italiano risico o rischio. Por su parte, Peretti-Watel señala que proviene del latín resecum, para Peretti-Watel estaba asociado a los riesgos de los marineros y los cargamentos comerciales; pero precisa que en el romano rixicare existe relación con el término reñir que cambia la idea por combate en lugar de peligro (Peretti-Watel, 2007). Por su parte el ingeniero civil y especialista en gestión de desastres Cardona precisa que la raíz se encuentra en el griego “rhiza” cuya interpretación corresponde o hace alusión a los peligros de navegar en un arrecife (Cardona, 2001). Uno del antecedente más remoto del concepto “riesgo” surgió en algún momento del siglo XV, después de 1544 cuando se popularizó, principalmente socializado por los marineros que requerían seguros mercantiles para proteger sus mercancías durante los largos traslados (Luhmann, 2006).

El uso del concepto de riesgo asociado e incluso identificado directamente con la percepción del riesgo se encuentra desarrollado en Francia; la principal contribución al respecto se plasmó en la obra colectiva titulada *La société vulnérable*, bajo la conducción de Jean-Louis Fabiani y Jacques Thyès, (Fabiani y Thyès, 1987). El segundo de los apartados de la obra se titula “El riesgo: ¿una construcción social?” El responsable de este apartado fue Denis Duclos, cuyo artículo ubicado en el primer apartado de *La société vulnérable*, se titula “La construcción social de riesgos mayores”. (García A. V., 2005)

El término fue un concepto que se usó durante siglos sin mucha reflexión con un sentido pragmático, por ello se ha utilizado como sinónimo de amenaza, fenómeno natural y peligro, (Cardona, 2001) posteriormente de empezó a utilizar en el sector económico y comercial, para explicar la incertidumbre y la protección de los productos cada vez más demandados por la modernidad (Cardona, 2001; Luhmann, 2006).

El concepto de riesgo en los estudios de desastres sigue sin consenso, pues mientras el enfoque de las ciencias naturales lo considera una probabilidad de sufrir un daño (Mansilla, 2010), los estudios culturales lo ubican en la percepción simbólica y los estudios sociales consideran que el riesgo es igual a la amenaza por la vulnerabilidad:

$$R = A \times V$$

Donde amenaza se refiere al fenómeno natural que puede afectar diferentes lugares independientes o en combinación y en distintos momentos (Wisner, 2004). La vulnerabilidad se supone particular para un tipo de amenaza en específico, en un tiempo dado y con cierto tipo de exposición y población (Luhmann, 2006).

1.1.3. Amenaza

En la década de los años ochenta era muy común definir la amenaza como sinónimo de desastre (García A. V., 2005) pero con la evidencia se identificó que la amenaza es sólo una parte del proceso que constituye un desastre. (Cardona, 2001; Luhmann, 2006).

El otro ingrediente principal es la sociedad (Luhmann, 2006), propensa a sufrir algún tipo de daño. (Copi I. M., 1995). En las ciencias naturales, identifican las amenazas por las características físicas del agente natural u otro tipo de agente como podrían ser los químicos; clasifican a las amenazas en distintas categorías (SGM, 2017) que se muestran:

- *Amenazas geofísicas*: sismos, deslizamientos, derrumbes y erupciones volcánicas, entre muchas otras.
- *Amenazas climáticas y meteorológicas*: sequía, inundación, huracán, lluvia torrencial, helada, viento, etcétera.
- *Amenazas biológicas o químicas*: derrames de químicos, fugas de gas, radicales y epidemias.
- *Amenazas sociales*: tumultos, guerras, rebeliones, etcétera.

En contraste, para sistemas sociales del riesgo, los desastres y la amenaza está asociada con un fenómeno natural o de otro tipo, pero su factor amenazante está condicionado por la exposición, la vulnerabilidad y las capacidades organizativas de respuesta social. Por lo anterior, una amenaza es “cualquier fenómeno o proceso de cualquier origen, cuya ocurrencia pueda generar efectos que representen un peligro o una serie de peligros para el territorio (comunidades y ecosistemas) en el cual se llegue a materializar” (Wilches-Chaux, 2008).

Otra clasificación de las amenazas según distintas categorías que se muestran a continuación:

- *Amenazas naturales*: fenómenos o procesos a través de los cuales se expresa la dinámica de la naturaleza, tales como los terremotos, los tsunamis o las erupciones volcánicas” (Wilches-Chaux, 2008)

- Amenazas antrópicas:
“atribuibles sin lugar a duda a causas humanas” (Wilches-Chaux, 2008)

- Amenazas socio-naturales:
“cuando las amenazas se manifiestan como fenómenos aparentemente naturales, pero en cuya generación han intervenido directa o indirectamente procesos antrópicos” (Wilches-Chaux, 2008). Las amenazas socionaturales son las consecuencias a corto o mediano plazo de las acciones conscientes o inconscientes del humano sobre el medio ambiente convertido en amenaza en algún momento. En el caso de los huracanes, precisa Maskrey (1998), aunque estos fenómenos intensos son considerados fenómenos naturales, la magnitud de las inundaciones y deslizamientos en asentamientos humanos son determinados por los procesos sociales que producen amenazas socionaturales como la deforestación, extracción de agua subterránea, sobrepastoreo, minería a tajo abierto, destrucción de manglares y construcción de infraestructura, como represas y carreteras.

1.1.4. Sismos

México está considerado como uno de los países con más alta sismicidad en el mundo, ya que en él se concentra alrededor del 6% de la actividad mundial (Servicio Sismológico Nacional, 2017), es decir, es una de las regiones sismológicamente más activas del mundo (Benz et al., 2011; G. C. Santos-Reyes, 2016; J. Santos-Reyes, Gouzeva, & Santos-Reyes, 2014). Esto se debe a que su territorio se localiza en una región donde interactúan cinco importantes placas tectónicas: Cocos, Pacífico, Norteamérica, Caribe y Rivera, además de algunas otras fallas regionales o locales con distintos grados de actividad sísmica, entre las que destacan la de Acambay, localizada en la zona central, y el sistema de fallas de Ocosingo, en Chiapas, al sur del país (Servicio Geológico Mexicano, 2017). La subducción de la placa de Cocos explica la frecuencia de los terremotos cerca de la costa sur de México, pues, a medida que las rocas que constituyen el fondo del océano son forzadas a bajar, estas se derriten y, el material fundido es forzado hacia arriba a través de las debilidades en la superficie de la roca, creando montañas del sur de México, precisamente el movimiento relativo de estas placas provoca frecuentes terremotos y erupciones volcánicas (Benz et al., 2011; G. C. Santos-Reyes, 2016; J. Santos-Reyes et al., 2014).

Las zonas afectadas por sismos comprenden todo el territorio de 11 estados y parte del territorio de otros 14, abarcando en conjunto más del 50% del total nacional. Por las características del subsuelo, la Ciudad de México es una de las zonas que presentan mayor riesgo frente a la ocurrencia de sismos de gran magnitud, como el que se espera se origine en la brecha sísmica de Guerrero (Mansilla, 1996). El sismo más mortal de nuestro tiempo ocurrió en septiembre de 1985 y destruyó una porción muy poblada de la Ciudad de México, en la que se ha deducido que se alcanzó la cifra de 6 mil muertos. La actividad sísmica se concentra en algunas regiones de México, principalmente en los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco y Nayarit; aunque también en la zona norte de los estados de Baja California y Sonora se han reportado sismos intensos ((Servicio Sismológico Nacional, 2017)

El estudio de la actividad sísmica en México comenzó a efectuarse a principios del siglo XXI, sin embargo, los antecedentes históricos de grandes sismos del país fueron registrados en un gran número de documentos (Servicio Geológico Mexicano, 2017). En 1910 se inauguró la red sismológica mexicana y desde esa fecha hasta nuestros días se ha mantenido una observación continua de los temblores cuyos registros se conservan en la Estación Sismológica de Tacubaya y otras instalaciones del Instituto de Geofísica de la UNAM, (SSN, 2017) encargada de operar el Servicio Sismológico Nacional -SSN- y su red de 35 estaciones sismológicas. El SSN reporta en el país, en promedio, la ocurrencia de 4 sismos por día de magnitud $M > 3.0$. (SGM, 2017)

Existe otro grupo de trabajo en el Centro de Investigaciones y de Educación Superior de Ensenada, B.C. (CICESE, 2017)), que enfoca su estudio entre otros aspectos, a la actividad sísmica

asociada tanto al Golfo de California como a la falla de San Andrés, al igual que la Red Sismológica del Noroeste (RESNOR, 2017). Adicionalmente, algunas instituciones de enseñanza superior en el interior del país hacen estudios de sismicidad regional (SGM, 2017). Los diferentes grupos mantienen comunicación para dar a conocer sus avances (SSN, 2017)

1.1.4.1. Regiones Sísmicas en México.

Con el objetivo de un diseño antisísmico, la República Mexicana se dividió en cuatro zonas sísmicas, utilizándose los catálogos de sismos del país desde inicios de siglo.

Tabla 1.1 Regiones Sísmicas de México (CENAPRED, 2017)

ZONA	DESCRIPCIÓN
A	Es una zona donde no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores.
B	Son zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.
C	Es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.
D	



Figura 1.1 Zonas Sísmicas de México (CENAPRED, 2017)

1.1.4.2. Zonificación del Valle de México.

Aunque la Ciudad de México se encuentra ubicada en la zona B, debido a las condiciones del subsuelo del Valle de México, se puede tratar como una zona sísmica en la que se distinguen tres zonas de acuerdo con el tipo de suelo:

Tabla 1.2 Zonificación del Valle de México (SGM, 2017)

ZONA	DESCRIPCIÓN
I Firme o de lomas:	Localizada en las partes más altas de la cuenca del valle, está formada por suelos de alta resistencia y poco compresibles. :
II De transición	Presenta características intermedias entre la Zonas I y III.
III De Lago:	Localizada en las regiones donde antiguamente se encontraban lagos (lago de Texcoco, Lago de Xochimilco). El tipo de suelo consiste en depósitos lacustres muy blandos y compresibles con altos contenidos de agua, lo que favorece la amplificación de las ondas sísmica

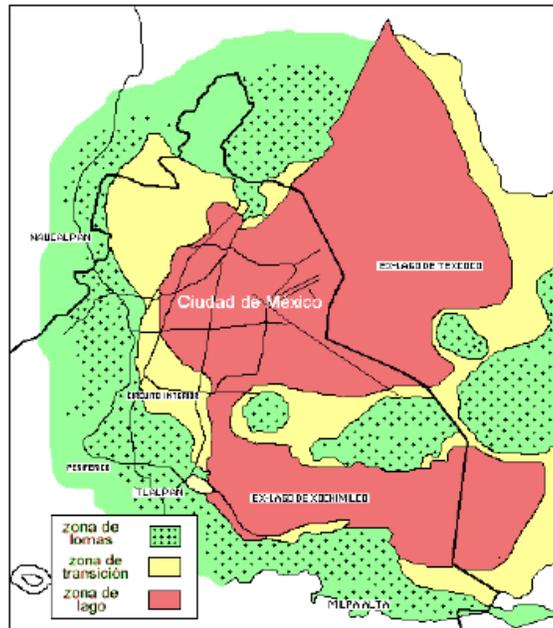


Figura 1.2. Zonificación del Valle de México (SGM,2017)

El terremoto del 19 de septiembre de 2017, de magnitud 7.1 en el centro de México ocurrió como resultado de fallas normales a una profundidad de aproximadamente 50 km. Las soluciones del mecanismo focal indican que el terremoto ocurrió en una falla de inmersión moderada, que golpeó al sureste o al noroeste. El evento está cerca, pero no directamente, del límite entre las placas Cocos y Norteamérica en la región. En la ubicación de este evento, la placa de Cocos converge con América del Norte a una velocidad de aproximadamente 76 mm / año, en dirección noreste. La placa de Cocos comienza su subducción debajo de América Central en la Fosa de América Central, a unos 300 km al suroeste de este terremoto. La ubicación, la profundidad y el mecanismo de falla normal de este terremoto indican que es probable que se trate de un evento intraplaca, dentro de la losa de Cocos subducida, en lugar de hacerlo en la interfaz del límite de placa de megaturra más superficial.

Los desastres más costosos para nuestro país se han presentado en las principales ciudades como:

- Sismo de la Ciudad de México en 1985;
- Inundaciones en Villahermosa, Tabasco de 2007;
- Huracán Alex en Monterrey en 2010;
- Inundaciones en los municipios conurbados de ZMVM de 2009 y 2010;
- Ingrid y Manuel en Acapulco, Gro. en 2013.
- Huracán Odile en Los Cabos, BCS, 2014.

Esto se debe, entre otros factores, a la concentración de población y al desarrollo de asentamientos humanos en zonas no aptas.

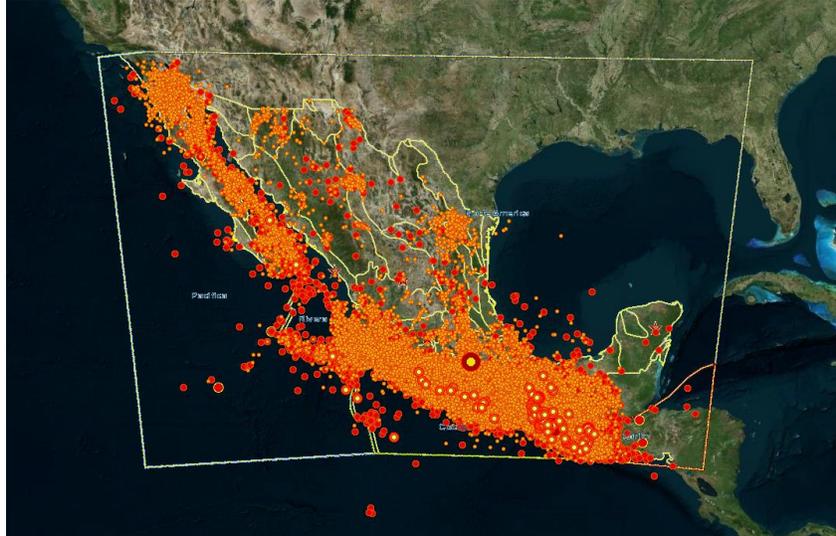


Figura 1.3. Sismicidad de México (SSN, 2017)

En las últimas décadas ha incrementado el problema y la preocupación por parte de diversos organismos internacionales y nacionales por el aumento en la ocurrencia de desastres en las ciudades (Cohen, 2000), igualmente en grandes metrópolis de primer mundo como en países subdesarrollados. A nivel mundial existen múltiples y casos de ejemplo de la vulnerabilidad en las zonas urbanas que ponen en alerta a los organismos gestores del riesgo sobre la susceptibilidad a sufrir grandes daños no sólo por la concentración de grandes masas de población, sino también por las condiciones de caos que la falta de resiliencia de la sociedad (Mansilla, 2000, García A. V, 2005; Schenk G. J., 2007). Se ha evolucionado el altruismo, la atención de emergencias, la protección civil y la gestión integral de desastres; que se han traducido en un marco que legitima las acciones de los diferentes actores involucrados en la labor de auxiliar a las víctimas y prevenir catástrofes (Cenapred 2015)

Por otro lado, la República Mexicana está situada en una de las regiones sísmicamente más activas del mundo, enclavada dentro del área conocida como el Cinturón Circumpacífico donde se concentra la mayor actividad sísmica del planeta (SGM, 2017), no todas las regiones del planeta de la tierra son igualmente propensas a eventos sísmicos, en alianza la Academia de Ingeniería de México, el Instituto de Ingeniería de la UMAN, Earthquake Engineering and Research Institute, The Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), United States Geological Survey (USGS), han dividido la superficie terrestre en tres zonas distintas: 1) Regiones sísmicas: zonas activas de la corteza terrestre; 2) Regiones penisísmicas: zonas en las que sólo se registran movimientos débiles

y; 3) Regiones asísmicas: zonas muy estables de la corteza terrestre en las que muy rara vez se registra un evento sísmico. (SMIS, 2016).

México está en una zona de alta sismicidad debido a la interacción de 5 placas tectónicas: La placa de Norteamérica, la de Cocos, la del Pacífico, la de Rivera y la placa del Caribe. Por esta razón no es rara la ocurrencia de sismos. EL Servicio Sismológico Nacional reporta en promedio la ocurrencia de 40 sismos por día (SSN, 2017). Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Michoacán, Colima y Jalisco son los estados con mayor sismicidad en la República Mexicana y, en estos estados la actividad sísmica se origina por la interacción de las placas oceánicas de Cocos y Rivera que subducen con las de Norteamérica y del Caribe sobre la costa del Pacífico frente a estos estados, también por esta misma acción son afectados los estados de Veracruz, Tlaxcala, Morelos, Puebla, Nuevo León, Sonora, Baja California, Baja California Sur y la ciudad de México. (SGM, 2017).

Históricamente, tan solo después de iniciado el siglo XX se habían presentado y registrado seis grandes eventos sísmicos superficiales con magnitudes mayores a 7 grados en las costas de Chiapas. El 19 de abril de 1902 en las cercanías de la frontera México-Guatemala con magnitud de 7.5, se registra el primer evento sísmico, el segundo se registró el 23 de septiembre del mismo año, pero en esta ocasión en la costa norte de Chiapas. Después, el 14 de enero de 1903 en la costa sur de Chiapas se registró un sismo de magnitud 7.6. Hasta el año 1970, el 29 de abril se vuelve a registrar un sismo de magnitud 7.3, después el 10 de septiembre de 1993 uno de magnitud 7.2 y finalmente el 7 de noviembre del 2012 con magnitud de 7.3, estos últimos tres registrados al sur de Chiapas. (SSN, 2017). Así también, el Servicio Sismológico Nacional informa que los sismos más destructivos en la historia de la Ciudad de México registraron una magnitud de 8.1 y 7.6, el primero el 19 de septiembre de 1985 y el segundo un día después, el 20 de septiembre del mismo año.

El 7 de septiembre y 19 de septiembre del 2017 ocurrieron sismos que registraron una magnitud de 8.2 y 7.1 respectivamente. *“El sismo de 8.2 grados de este jueves, el más fuerte en 100 años en México”* fue el encabezado de la nota que publicó el diario Animal Político en su portal electrónico el día 8 de septiembre a las 00:37 horas, en el primer párrafo se informa “el sismo tuvo como epicentro Tonalá, Chiapas, y fue perceptible en el centro y sur del país, para unas 50 millones de personas; las muertes se registraron en territorio chiapaneco, Oaxaca y Tabasco” y al pie de la imagen se lee: “El sismo fue uno de los más fuertes registrados en la CDMX”. (Animal político, 2017).

Como bien se menciona en párrafos anteriores, en las ciudades existe un riesgo que se origina de la presencia del ser humano en contextos naturales cambiantes por su infraestructura desarrollada, que presentan evidencias de vulnerabilidad y un alto impacto de amenazas (Mansilla, 2000). Debido a que estas infraestructuras se encuentran interconectadas, es decir, que funcionan de manera sinérgica en su operación día a día, el riesgo que caracteriza a las ciudades se materializa con la ocurrencia de desastres, lo cual se manifiesta por el potencial de efectos en cascada de las estructuras y sistemas críticos. (Padilla, 2014).

1.1.5. Sistema de Transporte Colectivo “Metro” y la vulnerabilidad por la sismicidad de la Ciudad de México

El Sistema de Transporte Colectivo Metro (STCM) es el proveedor del servicio de movilidad masivo de alta velocidad que permite el traslado de gran cantidad de gente en la ciudad de México. Siendo el Sistema de transporte de parte de las estructuras críticas de la megalópolis, en particular el STCM contribuye a la generación y transferencia de la riqueza del país (Santos-Reyes, Padilla-Pérez, & Beard, 2015). Por lo anterior, se afirma lo antes mencionado, que el “Metro de la Ciudad” (STCM) se encuentra interconectado con una gran diversidad de sistemas críticos para el funcionamiento económico de la Ciudad de México.

Con el tiempo, el STCM incrementa su vulnerabilidad por la continua exposición a los peligros naturales y antropogénicos; dando como resultado un aumento en los riesgos que corren los usuarios de este medio de transporte. Las emergencias en los sistemas de tren urbano son de probabilidad relativamente baja, pero de consecuencias sociales y económicas relevantes (Lv et al., 2015), por ello, la ocurrencia de accidentes dentro de las instalaciones que opera el STCM tienen el potencial fatídico para categorizarse como emergencias debido al nivel de fatalidades, evacuados y costos monetarios (a.Z. Keller et al., 1997).

El STCM ha reconocido la existencia saturación del sistema (Cruz, 2017). En las estaciones, en tanto arquitectura y demanda del servicio, tienen todas las condiciones necesarias para una estampida, siempre y cuando las personas entren en estado de pánico (Kawamoto et al., 2017) además de una pluralidad de situaciones potencialmente peligrosas como lo son el bloqueo de salidas y caídas a los andenes (Méndez Alvarez, 2011).

Por dar un caso de ejemplo, las cámaras de seguridad de STCM captaron el momento del sismo de 7.1 del 19 de septiembre del presente año; en el video divulgado en redes sociales y plataformas digitales de diferentes periódicos nacionales se observa que, por varios segundos, los usuarios al percibir el movimiento, algunos usuarios deciden bajar por las escaleras de la estación Periférico de la línea 12, otros, segundos después optan por sostenerse de los barandales (El universal, 2017). Lo que se observa en los videos de las cámaras de seguridad del STCM nos permite reflexionar si en verdad la población está preparada o capacitada para reaccionar ante eventos de esta naturaleza, también nos permite cuestionarnos ¿Estamos lo suficientemente informados de las acciones que debemos seguir en caso de un sismo? Utilizando medios de comunicación electrónicos e impresos el STCM y Protección Civil de la Ciudad de México hicieron recomendaciones a los usuarios sobre lo que se debe hacer en caso de sismo; por ejemplo, se informa que, “si estás en alguna estación del Metro: Mantén la calma. No correr, no gritar, no empujar. Si el personal te lo indica, sigue la ruta de evacuación. Si te encuentras en el andén, recárgate contra la pared. No

rebases la línea amarilla. Si te encuentras en un tren, permanece ahí. No invadas las vías o túneles del tren. No enciendas cerillos, uses encendedores. Los andenes cuentan con luces de emergencia. En caso de que sea necesario, si puedes ayudar a personas que lo requieran. Si estás entre estaciones, esto es lo que debes hacer en caso de sismo: No cometas actos que pongan en riesgo tu vida. Mantén la calma. No acciones la palanca de emergencia. Mantén las puertas cerradas. El personal del STC te indicará por donde descender. En caso de evacuación, acércate a las puertas y baja en orden. Solo podrás caminar por las vías con previa autorización del personal del STC. Al llegar a la estación sube con precaución las escaleras y cuando estés en el andén, dispérsate” (Excélsior, El universal, Animal Político, 2017)

Es debido a que las condiciones de exposición, vulnerabilidad y amenazas están dadas, es cuestión de tiempo que ocurra una emergencia (a.Z. Keller et al., 1997). El problema de evacuar en este tipo de condiciones radica en que las salidas son limitadas (Fruin, 1993; Haghani & Sarvi, 2017), es decir, en evacuaciones, emergencias e incluso en la operación normal existe una competencia por el espacio (Khan et al., 2017; Taneja & Bolia, 2017), y en donde las normas sociales pueden dejar de aplicarse (Fruin, 1993; Thalmann & Musse, 2013).

Resumiendo, el STCM es afectado por problemas de escasez de recursos económicos, políticos, laborales, territoriales (Ballesteros Mancilla, 2015), lo que genera una realidad compleja, que se refleja en deficiencias en el servicio y saturación de las instalaciones del MCM. Aunado con los cambios en el contexto del STC (incremento de la demanda, precios de los energéticos, obsolescencia de la tecnología, etc.). Y en tanto que el STC tiene responsabilidad civil, administrativa y penal por sus acciones u omisiones en materia de protección civil, resulta de suma importancia efectuar un diagnóstico sistémico en los procesos de evacuación y gestión de superpoblaciones en MCM.

1.1.5.1. Contexto espacial del STC Metro

1.1.5.1.1. Ubicación geográfica

El Sistema de Transporte Colectivo Metro se halla en dos entidades federativas, a saber, la Ciudad de México y el Estado de México.

Tabla 1.3. Distribución de estaciones en las alcaldías de la CDMX y municipio del Edo. Méx

ALCALDÍA/MPIO	NO. DE ESTACIONES	PORCENTAJE
Cuauhtémoc	42	21.54 %
Venustiano Carranza	29	14.87 %
Gustavo A. Madero	25	12.82 %
Benito Juárez	22	11.28 %
Iztapalapa	19	9.74 %
Miguel Hidalgo	15	7.69 %
Azcapotzalco	10	5.13 %
Iztacalco	8	4.1 %
Tláhuac	7	3.59 %
Coyoacán	5	2.56 %
Estado de México, Mpio. de Ecatepec	5	2.56 %
Mpio. de Nezahualcoyotl	3	1.54 %
Álvaro Obregón	2	1.03 %
Mpio. Los Reyes la Paz	2	1.03 %
Mpio de Naucalpan de Juárez	1	0.51 %

La distribución de las estaciones con base a las alcaldías y municipios que comprenden la CDMX (tabla 3.1) es la siguiente: Cuauhtémoc 42 estaciones, es decir, el 21.54% de las estaciones; Venustiano Carranza 29 estaciones, 14.87%; Gustavo A. Madero 25 estaciones, 12.82%; Benito Juárez 22 estaciones, 11.28%; Iztapalapa 19 estaciones, 9.74%; Miguel Hidalgo 15 estaciones, 7.69%; Azcapotzalco 10 estaciones, 5.13%; Iztacalco 8 estaciones, 4.1%; Tláhuac 7 estaciones, 3.59%; Coyoacán 5 estaciones; 2.56%; Estado de México, Mpio. de Ecatepec 5 estaciones, el 2.56%; Mpio. de Nezahualcoyotl 3 estaciones, 1.54%; Álvaro Obregón 2 estaciones, 1.03%; Mpio. Los Reyes la Paz 2 estaciones, 1.03%; Municipio de Naucalpan de Juárez 1 estación, 0.51%.

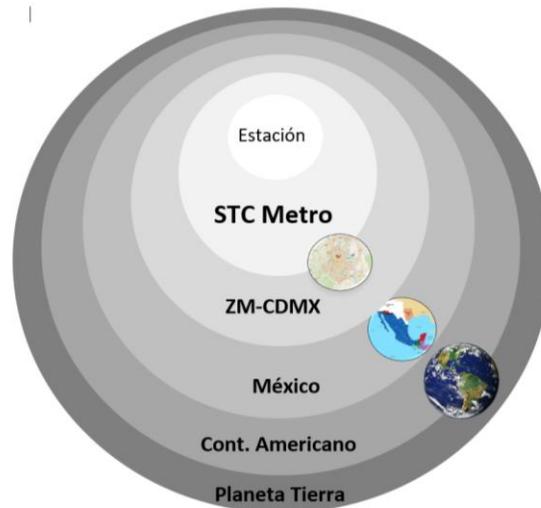


Figura 1.4 Modelo holográfico de la ubicación geográfica del STC

1.1.5.1.2. Cobertura

El STC Metro tiene cobertura en 11 delegaciones de la CDMX y 4 municipios del Edo. Mex. Tomando la clasificación a la Megalópolis de la CDMX de (Rosas Gutiérrez, 2008), la cual tipifica la ciudad en zonas concéntricas (figura 3.2). El STC contiene 108 estaciones en la ciudad central (53.38%), 73 estaciones en el primer contorno (37.44%) y 14 estaciones en el segundo contorno (7.18%).

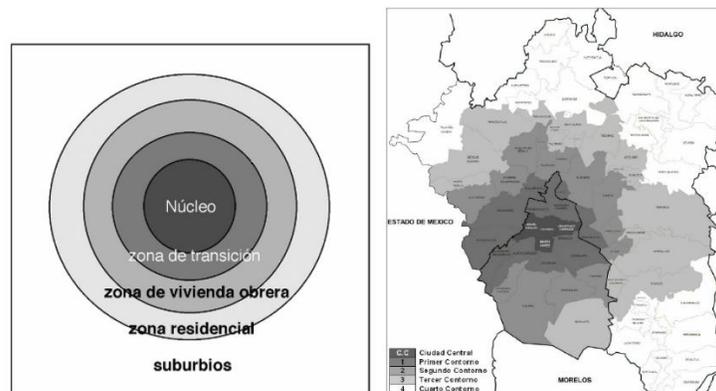


Figura 1.5 Tipificación de las zonas en la megalópolis de la CDMX (Imágenes tomadas de Rosas Gutiérrez (2008))

Según Rosas Gutiérrez (2008) el núcleo se concentran comercios, oficinas, la vida civil y los nodos de comunicación, mientras que en el segundo contorno se encuentra las actividades urbanas más rentables, y por último, en el segundo contorno se caracteriza por uso habitacional. El STC no posee

estaciones en la cuarta zona (Delegación Milpa Alta y municipios de Acolman, Chalco, Chiautla, Chicoloapan, Chiconcuac, Isidro Fabela, Ixtapaluca, Jaltenco, Melchor Ocampo, Nicolás Romero, Nextlalpan, Tecámac, Teoloyucán, Tepetzotlán, Texcoco, Tezoyuca, Tultepec y Valle de Chalco Solidaridad.) ni en la quinta zona (municipios de Cocotitlán, Coyotepec, Huehuetoca, Papalotla, San Martín de las Pirámides, Temamatla, Teotihuacán, Tizayuca y Zumpango) (Figura 3.2).

Tabla 1.4 Asociación entre actividades y las estaciones del STC Metro

Tipo de zona	Número de estaciones	Porcentaje	Delegaciones y/o municipios
Ciudad central	108	55.38	Delegaciones Benito Juárez, Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo y Venustiano Carranza.
Primer contorno	73	37.44	Delegaciones Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Coyoacán, Gustavo A. Madero, Iztacalco e Iztapalapa y municipios mexiquenses, Naucalpan, y Nezahualcóyotl.
Segundo contorno	14	7.18	Delegaciones Tláhuac, Ecatepec, La Paz

No obstante, las limitantes físicas existen flujos desde otras zonas y hacen uso del STC Metro. Lo anterior en virtud de los resultados de la encuesta de movilidad del STC que arroja que el 74.21% de los usuarios son oriundos de la CDMX y el 25.45 son del Edo. Mex. y un 0.35% son de otros estados (Morelos, Hidalgo, Puebla, Querétaro y Tlaxcala).

1.1.5.1.3. Infraestructura

El STC Metro cuenta con un total de 195 estaciones distribuidas en 12 líneas de operación, del total de la red de STC Metro existen (Tabla 1.5) 12 estaciones terminales sin correspondencia, es decir que la estación no tiene interconectividad con otra línea, estructuras similares con las estaciones de paso, que no tienen interacción con otra línea diferente a la que pertenece de las cuales el STC Metro son 127; las estaciones que tiene correspondencia con otras líneas son 44 en total y 12 que son terminales con correspondencia a otra línea.

Tabla 1.5 Clasificación de las Estaciones del STC Metro de la CDMX por uso o funcionalidad

LÍNEA	TERMINALES		ESTACIONES		TOTAL
	SIN CORRESPONDENCIA	CON CORRESPONDENCIA	DE PASO	DE CORRESPONDENCIA	
1	1	1	12	6	20
2	2	0	17	5	24
3	2	0	13	6	21
4	0	2	4	4	10
5	1	1	7	4	13
6	0	2	7	2	11
7	1	1	10	2	14
8	1	1	13	4	19
9	0	2	7	3	12
"A"	1	1	8	0	10
"B"	2	0	14	5	21
12	1	1	15	3	20
RED	12	12	127	44	195

En función del tipo de construcción, las estaciones del STC Metro se clasifican en estaciones Subterráneas, Superficiales y elevadas; con un total de 115 estaciones subterráneas, 54 superficiales y 26 elevadas (Tabla 1.6).

Tabla 1.6 Clasificación de las Estaciones del STC Metro de la CDMX por Tipo de construcción

LÍNEA	SUBTERRANEAS	SUPERFICIALES	ELEVADAS	TOTAL
1	19	1	0	20
2	14	10	0	24
3	17	4	0	21
4	0	2	8	10
5	4	9	0	13
6	10	1	0	11
7	13	1	0	14
8	14	5	0	19
9	8	0	4	12
"A"	1	9	0	10
"B"	6	11	4	21
12	9	1	10	20
RED	115	54	26	195

1.1.5.2. Contexto temporal

En la siguiente tabla se muestra el crecimiento de la infraestructura del STC.

Tabla 1.7 Cronología del STC Metro de la CDMX (STCM, 2017)

PERIODO	COBERTURA
1967 - 1972	línea 1 desde Zaragoza hasta Chapultepec línea 2 desde Tacuba a Taxqueña línea 3 de Tlatelolco al Hospital General
1977 -1982	línea 4 desde Martín Carrera a Santa Anita línea 5 desde Pantitlán a Politécnico
1983 -1985	línea 3 se prolonga de Zapata a Universidad línea 1 se prolonga de Zaragoza a Pantitlán línea 2 se prolonga de Tacuba a Cuatro Caminos línea 6 desde el rosario Instituto del Petróleo línea 7 Tacubaya-Barranca del Muerto
1985 - 1987	línea s 6 se prolonga de Instituto del Petróleo a Martín Carrera línea s 7 se prolonga de Tacuba a El Rosario línea 9 de Pantitlán a Tacubaya
1988 – 1994	línea A de Pantitlán a La Paz línea 8 Constitución de 1917 a Garibaldi
1994 - 2000	línea B desde Buenavista a Ecatepec
2008-2012	línea 12 desde Tláhuac a Mixcoac

1.1.6. Investigaciones a base de simulación de evacuaciones en estaciones de Metro

Se presentan algunos trabajos en los que se empleó la dinámica de multitudes en estaciones de Sistemas de Transporte Urbano bajo escenarios de evacuación por emergencias

AÑO	DESCRIPCIÓN	AUTOR
2007	Determina la eficacia de evacuación con base a el tiempo de salida seguro y requerido para diversas tipologías de estaciones y diversas distribuciones de usuarios en una emergencia de incendio en el metro en la ciudad de Frankfurt. Lo anterior mediante un modelo de evacuación microscópica y simulaciones de propagación de humo	Könnecke & Schneider
2008	Diseña el modelo teórico de un Sistema de Evacuación Inteligente aplicado a una estación de metro, entre otras instalaciones masivas de transporte, mediante la integración de diversas tecnologías de control, comunicación e informática. El sistema pretende incrementar la seguridad y la gestión de la evacuación sin efectuar modificaciones a la estructura física de una instalación.	Co-investigador
2008	Simulan la evacuación de personas de una estación subterránea con seis niveles del DBMS de la Línea 6 del Metro de Guangzhou, para estudiar si los ocupantes pueden estar seguros en caso de incendio mediante el modelo dinámico de evacuación de ocupantes. Derivado de esto se encontró 1300 personas, que esta estación subterránea puede ser evacuada en 310 s en las horas pico	Zhong, Shi, Tu, Fu, & He
2009	Evalúan la capacidad de evacuación con diferentes cargas de pasajeros en una estación de metro típica en Beijing mediante el software EXODUS	Jiang et al.
2010	Su trabajo intenta evitar la sobrepoblación de una estación de metro junto al estadio principal de fútbol en Viena a través del diseño de reglas de decisión para el control de multitudes. El trabajo hace uso de un modelo macroscópico que implica la llegada y salida de trenes e implementa reglas de decisión basadas en mediciones en tiempo real de flujos de usuarios en función de la densidad peatonal	Seer, Brändle, & Bauer

2012	Estudian los efectos de la densidad de ocupantes, el ancho de salida y las puertas automáticas de tarifas en el tiempo de desalojo mediante la simulación del proceso de evacuación con ayuda del software FDS + Evac. Encontraron que existe una relación lineal entre la densidad de ocupantes y el tiempo de evacuación, también encontraron que la existencia de puertas de tarifas automáticas tiene poco efecto sobre el tiempo de la evacuación	Lei, Li, Gao, Hao, & Deng
2014	Aplican la simulación de evacuación de multitudes ante un ataque de bioterrorismo e integra el factor de mortalidad en una estación del metro en Beijing. Los autores realizan la simulación Mediante la combinación del Modelo de Fuerza Social y el Modelo de dispersión Gaussiano de gases	Wan et al.,
2014	trabajan sobre dominio de las escaleras mecánicas en una evacuación del metro londinense, mediante lo anterior se resaltan y cuantifican los factores humanos que influyen en la movilidad dentro de la estación. Los autores realizan la simulación mediante software "Building EXODUS Evacuation"	Kinsey et al.
2014	Validan su modelo de simulación de la dinámica peatonal en una estación ferroviaria alemana. Ellos extraen los parámetros clave de videograbaciones que permiten calibrar la herramienta de simulación contra la realidad	Davidich & Köster
2014	Estudiaron los Aspectos psicológicos de las palabras de advertencias y de evacuación en sistemas de transporte subterráneos a fin de diseñar anuncios de evacuación eficaces. Los autores utilizan las dimensiones del campo semántico, la urgencia y la claridad para las palabras de señal alemanas a fin de evaluar la información disponible en las estaciones	Künzer, Hofinger, & Zink

1.1.7. Investigaciones a base de simulación de evacuaciones de emergencia sísmica en estaciones del STC Metro de la CDMX

Se identificó un trabajo de investigación en donde se desarrolló un modelo de simulación híbrido para la estación Pino Suárez de línea 1, con las evacuaciones masivas del STC, no obstante en ella se evalúa la cantidad de usuarios que pueden salir en un tiempo determinado, los que no lo logran se catalogan como usuarios afectados, después por medio de una serie de adecuaciones que se proponen en (Vera Morales, 2017) si existen trabajos relacionados en materia de protección civil,

como el ejecutado por Zurita Herrera (2003) donde desarrolla el tema de la protección civil en el Sistema de Transporte Colectivo Metro.

La simulación de escenarios sísmicos se utiliza ampliamente para comprender mejor y ayudar a planificar acciones futuras o. Un escenario exitoso ayuda a los tomadores de decisiones a visualizar los impactos específicos que se basan en el conocimiento científico y de ingeniería actualmente aceptado.(Preuss & Godfrey, 2006)

Actualmente, el conocimiento científico para predecir la ubicación precisa, el tiempo y la magnitud de un terremoto futuro, es incierto(Tapia Hernández, Edgar; Reddy, Elizabeth A.; Oros Avilés, 2017). Sin embargo, existen una cantidad basta de herramientas y conocimientos científicos suficientes para pronosticar eventos probables y su impacto (Preuss & Godfrey, 2006)

El escenario no instruirá específicamente a una audiencia sobre cómo responder, pero al proporcionar una amplia variedad de información sobre el terremoto proyectado, los lectores podrán identificar las áreas de mayor vulnerabilidad para informar decisiones y acciones (Preuss & Godfrey, 2006)

Un escenario mejora la conciencia de lo que un terremoto puede hacer a una comunidad en general; al reunir a expertos de varias disciplinas y aprovechar sus conocimientos y perspectivas únicos para describir un evento único y catastrófico, una comunidad puede crear un escenario que describa de manera realista el riesgo de terremoto y los posibles impactos, así, con los resultados que se obtienen del proceso de simulación, y dando claras razones a individuos, empresas, y los responsables políticos, estos deben actuar a partir de dicha información para evitar pérdidas devastadoras (Preuss & Godfrey, 2006)

Los escenarios ayudan a desafiar suposiciones. Los conflictos que surgen entre los planificadores al construir un escenario pueden ayudar a aclarar los problemas o las áreas donde falta el conocimiento, así como, los desafíos de las partes interesadas pertinentes brindan nuevos puntos de vista que no serían posibles si la planificación de desastres ocurriera de manera privada o individual (Preuss & Godfrey, 2006)

Algunos escenarios se crean para exponer problemas en el sistema actual. A menudo, las debilidades se hacen evidentes solo en un evento catastrófico. Un escenario puede probar estrategias para respuesta, alivio y recuperación. Pueden proyectar niveles de rendimiento de edificios y otras estructuras bajo diversos códigos y políticas de diseño. Cuando se establecen nuevas políticas, un escenario puede proyectar cómo influirán en la naturaleza, el nivel y la extensión del daño.

1.1.8. Softwares

La modelación de grandes concentraciones de personas es complejo, según Vizzari & Bandini (2013) debido a que el comportamiento global es producto de comportamientos individuales ante una multitud de factores que intervienen en las decisiones de las personas; también debido a los mecanismos de competencia y cooperación presentes; y por último por los fenómenos emergentes de auto organización. Los softwares de simulación de la dinámica peatonal tienen que atender estos puntos. Los desarrollos de los softwares se agrupan en tres secciones 1) peatones como partículas sujetas a fuerzas, 2) peatones como estados de células particulares y 3) peatones como agentes autónomos (Vizzari & Bandini, 2013)

Existen una diversidad de softwares comerciales que apoyan en la simulación de superpoblaciones, cada uno puede estar basado en alguno de los tres enfoques de la dinámica peatonal (macroscópicos, microscópicos, o mixtos) (Thalmann & Musse, 2013), algunos ejemplos citados en la literatura son: Anylogic, SimPed, Simwalk, STEPS, Legion, NOMAD (Zheng, Ying Li, Yun Meng, Yue Xu, & Chen, 2015), Simulex, GATHERING (Thalmann & Musse, 2013), EVACNET4 (Tashrifullahi & Hassanain, 2013), entre otros. Enseguida se muestra una breve descripción de softwares ocupados en los trabajos hallados en la literatura:

Golaem Crowd 2.0: Desarrollado por Golaem, es un simulador que provee nuevos estándares de simulación de multitudes en términos de rendimiento y usabilidad. Su nueva versión tiene soporte para el software de modelado Autodesk Maya. Su curva de aprendizaje es muy pequeña, está enfocada para investigaciones de cines (Fernández Díaz, Hernández Sánchez, & Peña García, 2017)

EXIT89: Es considerado por Thompson & Marchant (1995) como el primer software que puede simular grandes cantidades de personas, además incorpora modelos de propagación de humo. El programa trata un edificio como un sistema de red / nodos vinculados. Dentro de cada espacio rectangular, todos los ocupantes tienen la misma velocidad de desplazamiento, a menos que el humo lo impida.

EGRESS: Es una mezcla de modelos probabilísticos e inteligencia artificial. El ambiente físico es representado por celdas hexagonales que pueden estar ocupadas o vacías. Un hexágono ocupado representa el espacio de volumen de una persona y el movimiento a través de las celdas es de acuerdo a ciertas reglas (Thompson & Marchant, 1995)

EVACNET +: Se centra en producir una evacuación óptima de un edificio, lo anterior con base a un algoritmo especializado para resolver problemas de programación lineal con una estructura de red que minimice el tiempo de evacuación (Watts, 1987).

EXODO: Es un paquete de software desarrollado por el grupo de ingeniería de seguridad de la Universidad de Greenwich. Este combina un modelo de fuego con un modelo de evacuación (Chiu,

Shiau, & Lai, 2018). El entorno está constituido por una red de nodos conectados por arcos que especifican la ruta de movimiento disponible, cada nodo tiene el tamaño de una persona y se considera ocupado o vacío (Thompson & Marchant, 1995).

MASSIVE Prime: Desarrollado por MASSIVE Software un simulador donde la interfaz basada en nodos. Permite a diseñadores interactuar en la creación de agentes de inteligencia artificial. El editor de inteligencia artificial de cerebros da a los artistas la libertad de construir respuestas personalizadas para los comportamientos específicos que ellos quieran simular, sin necesidad de utilizar la programación. (Fernández Díaz et al., 2017)

PathFinder: Desarrollado por ThunderHead Engineering, es un simulador de salidas de emergencia, tiene una interfaz de usuario y visualización de resultados en 3D. Permite evaluar modelos de evacuación más rápido y produce gráficos más realistas en comparación de otros simuladores. (Fernández Díaz et al., 2017)

PULSE: Ocupa un modelo de fuerzas físicas y sociales basado en agentes modificados que se centra en combinación de reglas psicológicas y geométricas. (Severiukhina, Voloshin, Lees, & Karbovskii, 2017). Cabe destacar que es un programa gratuito que se puede adquirir a través de GitHub.

Pedestrian Dynamics: Desarrollado por *InControle* es un programa que permite la simulación en edificios grandes, como terminales de aeropuertos, estaciones de tren, arenas de deportes y salas de exhibiciones. Además de contar con la capacidad de miles de personas a un nivel muy detallado. (Fernández Díaz et al., 2017; INCONTROL, 2017)

Pedestrian Library de AnyLogic es desarrollado por The AnyLogic Company®, el cual, permite modelar, visualizar y analizar con precisión cómo se comportan los flujos de multitudes en un entorno físico. El modelo empleado es el de fuerza social (© The AnyLogic Company, 2018).

SimWalk © Ocupa el enfoque microscópico y se basa en un modelo de fuerza social. Hace que cada agente actúe individualmente de acuerdo a su destino, entorno, nivel de estrés, y dependiendo del comportamiento de los otros agentes (Sahal, Leone, & Péroche, 2013).

SimPed se basa en el concepto de caminar al azar con agentes siguiendo el gradiente de una superficie de atracción y restringido por la geometría, pero ayudado por su visión. Aunque generalmente es un modelo de microscópico, al modelo le falta una representación estructurada del entorno (Chen, 2014).

NOMAD es un modelo de simulación de peatones microscópico, que fue desarrollado en el Departamento de Transporte y Planificación de la Universidad Tecnológica de Delft. es un modelo basado en agentes que cubre los niveles táctico y operativo del comportamiento humano, incluido el comportamiento de elección de ruta, la elección de la actividad (área) comportamiento, comportamiento de caminar, comportamiento de espera y comportamiento en infraestructura especial elementos, como puertas giratorias y torniquetes (Daamen, Campanella, & Hoogendoorn, 2013).

Legion este software se basa en el principio de "mínimo esfuerzo". Las simulaciones de Legion emplean un modelo de simulación "microscópico" (Legion International Limited, 2007).

Steps Se basa en el uso de atractivo y potenciales repulsivos al elegir una dirección de movimiento, lo hace mediante un círculo local que se discretiza en 20 partes (Seitz & Köster, 2012; Zeng, Song, Huo, & Vizzari, 2018).

Simulex, usa un sistema conocido como modelado de "nodo de red", que hace suposiciones sobre el movimiento humano. La característica más significativa del modelo es la simulación geométrica. Los algoritmos que logran este movimiento no se basan en ningún método estándar de modelado de evacuación (Thompson & Marchant, 1995).

FDS + Evac es un modelo de cálculo de egreso basado en un agente combinado y un modelo de dinámica de fluidos computacional, donde las partes de fuego y egreso están interactuando. FDS + Evac permite el modelado de situaciones de alta densidad de masas y la interacción entre simulaciones de evacuación y simulaciones de fuego. (Lei et al., 2012)

1.2. Justificación

En primer lugar, el *Sistema de Transporte Colectivo* (STC) o el *Metro de la Ciudad de México* (MCM), en tanto *Sistema de Trenes Urbanos* (STU), es un proveedor del servicio de movilidad a alta velocidad que permite el movimiento en grandes ciudades (Pan & Liu, 2017; Wan et al., 2014), tal como lo es la Ciudad de México. El STC coadyuva a la generación y transmisión de la riqueza, además de propiciar el bienestar de un gran número de personas (Zbsejn et al., 2014); de tal forma que se afirma que el Metro de la Ciudad de México se encuentra interconectado con una gran diversidad de sistemas críticos para el funcionamiento económico de la zona, esto se apoya por los efectos observados durante el fallo en el STC, que trae consigo fallas en cascada de otros sistemas con dependencia a él, lo que hace de éste sistema crítico (J. Santos-Reyes, Padilla-Pérez, & Beard, 2015). Año con año, debido al contexto geográfico y económico del STC se va incrementando la vulnerabilidad y exposición a los peligros naturales y antropogénicos (tecnológicos); dando como resultado un aumento en los riesgos que corren los usuarios de este medio de transporte. Aunque las emergencias en los STU son de probabilidad relativamente baja, pero traen consigo consecuencias sociales y económicas relevantes (Lv et al., 2015), por ello, el acaecimiento de accidentes dentro de las instalaciones que opera el STC puede poseer elementos para categorizarse como emergencias debido al nivel de fatalidades, evacuados y costos monetarios según Keller et al. (1997).

El STC ha reconocido la existencia de superpoblaciones¹ (Cruz, 2017). En las estaciones del MCM, en tanto arquitectura y demanda del servicio, tienen todas las condiciones necesarias para una estampida, siempre y cuando las personas entren en estado de pánico (Kawamoto et al., 2017; Méndez Alvarez, 2011; Pan & Liu, 2017; Wang, 2016) además de una pluralidad de situaciones potencialmente peligrosas como lo son el bloqueo de salidas y caídas a los andenes (Méndez Alvarez, 2011).

Es debido a que las condiciones de exposición, vulnerabilidad y amenazas están dadas, es cuestión de tiempo que ocurra una emergencia que se encuentre en los términos de Keller et al. (1997). El problema de evacuar en condiciones de sobrepoblación radica en que las salidas son limitadas (Fruin, 1993; Haghani & Sarvi, 2017).

La simulación por computadora es una manera económica para realizar investigación de las emergencias que involucran personas (Zheng et al., 2015) y ética, al evitar la exposición de personas a situaciones peligrosas (Haghani & Sarvi, 2017), es por ello que la simulación de peatones es relevante para dar respuesta a los cuestionamientos de Thalmann & Musse (2013). Lo anterior es posible a través de la dinámica peatonal, además coadyuva al diseño eficiente y seguro de las instalaciones y a la vigilancia en el transporte público (Eldursi, Alamoudi, Haron, Aljarbua, & Albakri, 2017; Haghani et al., 2014; Khan et al., 2017).

Es con la información generada de la simulación por computadora que es posible hacer un análisis de escenarios de evacuaciones masivas en el Sistema de Transporte Colectivo en las líneas de máxima demanda por medio de la dinámica peatonal a fin de estar en posibilidad de determinar el nivel de seguridad relacionado con la efectividad de los procesos de evacuación. Dado que medir el desempeño de los procesos de evacuación es parte esencial de la evaluación de la seguridad de las instalaciones y respuesta a emergencias (Amini Hosseini et al., 2014; Tashrifullahi & Hassanain, 2013) es imperioso aplicar estas técnicas al MCM.

En la búsqueda de trabajos similares en la literatura se han encontrado trabajos en estaciones del metro, pero aplicando diferentes modelos, no obstante, es evidente que no existen trabajos de evacuaciones con modelación asistida por computadora en sistemas de transporte en México, en específico en el STC.

Dadas las condiciones actuales de operación del STC en donde existe una mayor demanda que por consecuencia genera grandes concentraciones de los usuarios en vagones y estaciones, aunado a la falta de investigaciones de los procesos de evacuación en el STC y el desconocimiento de estos por parte de los usuarios, resulta de suma importancia efectuar un análisis de escenarios de evacuaciones masivas en el Sistema de Transporte Colectivo en las líneas de máxima demanda.

¹ El director general del Metro, Jorge Gaviño Ambriz declaró: "Somos el segundo lugar mundial de densidad de usuarios por metro cuadrado; es decir, aquí logramos meter más personas por metro cuadrado en todo el mundo. Solamente nos gana Nueva Delhi" (Cruz, 2017).

1.3. Objetivos

Dado a que la Ciudad de México se localiza en una zona donde existen condiciones de riesgo sísmico, en el STC Metro, con el desarrollo de esta investigación se busca:

1.3.1. Objetivo General

Identificar y analizar las infraestructuras críticas y zonas vulnerables dentro de las estaciones de las líneas de máxima demanda del STC Metro, para formar las bases que permitirán realizar un análisis de la percepción de riesgo sísmico y de una estampida a los usuarios del Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México,

1.3.2. Objetivos Específicos

- Llevar a cabo una revisión de la literatura para conocer el estado del arte de la percepción de riesgos asociados a sismos en el contexto internacional y nacional
- Realizar un prediagnóstico del STC Metro en el contexto de evacuaciones de emergencia sísmica
- Determinar de las estaciones de estudio
- Caracterizar las configuraciones de las estaciones de estudio
- Caracterizar la configuración de la movilidad los agentes: Usuarios de las estaciones de estudio
- Reconocer e identificar las infraestructuras críticas y zonas de vulnerabilidad
- Determinar de los factores críticos para la definición de las características de simulación de los escenarios de evacuación de emergencia
- Definir de las características de simulación de los escenarios de evacuación de emergencia
- Analizar los parámetros determinados.
- Definir de las características de simulación por computadora de los escenarios de evacuación de emergencia sísmica
- Desarrollar y evaluar la Simulación de Escenarios de Evacuación por Emergencia Sísmica.
- Realizar el análisis estadístico descriptivo e inferencial de los resultados obtenidos
- Documentar los hallazgos de la investigación

1.4. Alcance

El proyecto está definido para las estaciones “Merced” de la línea 1, “Hidalgo” de la línea 2 y “Guerrero” de la línea 3, en los periodos de horas pico (horas punta) y horas no pico (horas valle).

CAPÍTULO 2

MARCO TEORICO Y METODOLÓGICO

2.1. Marco teórico

2.1.1. Enfoque de sistemas: Pensamiento holístico

Los problemas complejos comprenden conjuntos de partes o elementos interconectados y en los que existen relaciones entre dichas partes, las cuales pueden llegar a ser más importante que la naturaleza de las partes mismas, más aún, tenemos que, aunque en las ciencias naturales a menudo es posible probar hipótesis llevando a cabo experimentos bajo condiciones de laboratorio para determinar la causa y/o el efecto entre un número limitado de factores, para los problemas del mundo real esto resulta extremadamente difícil. (Jackson, 2002)

En los sistemas sociales, los factores significativos involucrados no se identifican fácilmente y la situación problemática en sí misma parece no tener límites. Otra dificultad es que los experimentos repetibles son difíciles de llevar a cabo cuando las condiciones iniciales son imposibles de replicar. Dichos experimentos en personas o sistemas sociales pueden ser éticamente problemáticos. De manera que, al tratar de comprender los sistemas sociales, las personas están inevitablemente en el centro del escenario y resulta necesario considerar diferentes creencias y propósitos al hacer las evaluaciones de la situación, por todas estas razones, el intento de aplicar el método científico natural en general, a los problemas sociales y organizativos no ha sido fácil y ha dado solo un éxito limitado. (Jackson, 2002)

Desde la perspectiva de Checkland (1981), el pensamiento sistémico puede verse como una reacción al fracaso de la ciencia natural cuando se enfrenta a problemas complejos establecidos en los sistemas sociales. Los pensadores de sistemas abogan por usar el "holismo" en tales situaciones, ya que, éste no busca desglosar las situaciones problemáticas complejas en sus partes, más bien, respeta la profunda interconexión de las partes y se concentra en las relaciones entre ellas. En el pensamiento sistémico se utilizan modelos para tratar de aprender sobre el comportamiento y aun así no da por sentado ni impone ningún límite arbitrario entre el todo que es el tema de su atención y, en el modelo y el entorno en el que se encuentra. En su lugar, reflexiona y cuestiona dónde se ha trazado el límite y cómo afecta esto al tipo de mejoras que se pueden realizar. (Jackson, 2002)

Casi al mismo tiempo que Parsons, von Bertalanffy y otros estaban perfeccionando la teoría que dominaba la tradición de "organizaciones como sistemas", otros grupos de pensadores de sistemas utilizaban las ideas de sistemas de una manera mucho más aplicada para desarrollar metodologías para la realidad: la resolución de problemas del mundo. El trabajo de estos pensadores de sistemas dio origen a lo que se conoce como pensamiento de sistemas duros. (Jackson, 2002)

2.1.2. Enfoque duro del pensamiento de sistemas

El enfoque de sistemas duros postula la existencia de un estado deseable y un estado actual, hay que hacer notar que hay una diferencia entre estado actual y deseado, y se postula la posibilidad de disminuir la diferencia entre estado actual y deseable a través de la ingeniería de sistemas y el análisis de sistemas. La primera determina los requerimientos (objetivo a alcanzarse) y da respuesta a ¿qué hay que hacer?, y el segundo nos indica el mejor diseño y da respuesta la cuestión ¿cuál es la mejor manera de que funcione el sistema? (Checkland, 1993)

La ingeniería de sistemas elabora y optimiza mediante modelos. Para ello es necesario la definición del sistema a diseñar, establecer un objetivo que se desea alcanzar, establecer técnicas por las cuales se alcanzan los objetivos, proponer el modelo y evaluarlo matemáticamente. Luego viene el análisis de sistemas, que evalúa sistemáticamente las implicaciones de satisfacer un requerimiento, mediante el establecimiento de criterios que permitan evaluar las alternativas. El análisis de sistemas busca indicadores robustos que permitan conciliar los objetivos de la organización con los objetivos de la investigación (Checkland, 1993), para esta investigación dichos indicadores resultan ser el tiempo total de evacuación y la densidad de usuarios.

El trabajo de investigación hace uso del enfoque de sistemas por que busca definir el estado deseable, también, busca estudiar las interacciones de una gran cantidad de componentes, en el caso de estudio podemos invocar como ejemplo la interacciones entre los usuarios–usuarios, usuarios–estaciones, organización administrativa-estaciones, usuarios-trenes, etc., en suma, una gran combinación de interacciones. Así también se pretende predecir propiedades emergentes del sistema (propiedades que no poseen las partes separadas) estas se van a ver referidas en el capítulo 4.

2.1.3. Simulación de sistemas

La simulación de multitudes por computadora es una herramienta económica y ética para realizar investigación de las emergencias que involucran personas (Zheng et al., 2015), al evitar la exposición de las personas a situaciones peligrosas (Haghani & Sarvi, 2017), es por ello que la simulación por computadora de agentes que representan a los peatones es relevante para dar respuesta a los cuestionamientos de Thalmann & Musse (2013). Lo anterior es posible a través de la dinámica peatonal, además coadyuva al diseño eficiente y seguro de las instalaciones y a la vigilancia en el transporte público (Eldursi et al., 2017; Haghani et al., 2014; Khan et al., 2017). Es con la información generada de la simulación por computadora que es posible hacer un análisis de escenarios de evacuaciones masivas en el Sistema de Transporte Colectivo en las líneas de máxima demanda por medio de la dinámica peatonal a fin de estar en posibilidad de determinar el nivel de seguridad relacionado con la efectividad de los procesos de evacuación.

Tal como se expresa en la obra de Checkland (1993), se tiene un nivel pertinente de conocimiento sobre el comportamiento humano para construir modelos del comportamiento humano en un medio restringido.

2.1.4. Dinámica peatonal

La dinámica peatonal trata de cuantificar, predecir y replicar los movimientos de una superpoblación en cualquiera de las escenas del mundo real, en especial, durante una emergencia (Taneja & Bolia, 2017; Thalmann & Musse, 2013).

Las metas más comunes al aplicar la dinámica de superpoblaciones, en casos de evacuaciones, es determinar la eficiencia de los procesos de evacuación, la predicción del movimiento peatonal (Taneja & Bolia, 2017), igualmente se persigue la optimización del proceso de evacuación en cuanto a la reducción del tiempo de evacuación (Kisko & Francis, 1985), todo lo anterior en condiciones de baja o alta densidad y en un marco de pánico en ambientes realistas, en otras palabras en ambientes con presencia de obstáculos y arquitecturas complejas (Thalmann & Musse, 2013).

Como insumos principales se debe contar con una descripción arquitectónica del sitio de estudio e información sobre la capacidad y el número de personas presentes en las áreas que conforman el sitio de estudio (Kisko & Francis, 1985). Con esto es posible obtener el comportamiento de un grupo en pánico (Wang, 2016); también es posible evaluar estrategias ya determinadas de evacuación (Taneja & Bolia, 2017); del mismo modo es factible determinar si es posible evacuar el área dentro de un tiempo prescrito, identificar los cuellos de botella, y ubicar las áreas probables para que la superpoblación produzca una presión inaceptable de aplastamiento (Thalmann & Musse, 2013); así también se puede segmentar y contabilizar el número de individuos en el flujo de la superpoblación, identificación de la fuente y sumidero de la superpoblación evacuada, y para la detección de grupos (Khan et al., 2017). La aplicación de la dinámica de superpoblaciones genera información relevante para el proceso de diseño de sistemas de seguridad, a saber fase de diseño de políticas o pre planeación, y en la fase de acción - implantación (Van Gigch, 2001).

2.2. Marco Metodológico

Mediante una revisión de la literatura se han ensamblado diversos métodos y actividades que permitirán el análisis de escenarios de evacuaciones masivas en el Sistema de Transporte Colectivo en las estaciones determinadas de las líneas de máxima demanda sobre el paradigma de los sistemas según Van Gigch (2001). El valor que se busca juzgar es la habilidad y técnica del STC para minimizar el hacinamiento en las áreas que conforman a las estaciones Merced (línea 1), Hidalgo (línea 2) y Guerrero (línea 3), en otras palabras, se busca evaluar la capacidad del STC para maximizar la velocidad y minimizar el cambio de direcciones en los peatones durante su estadio en

las estaciones. Enseguida se muestran los métodos usados para lograr el objetivo de la investigación.

2.2.1. Balance de materia

Se hizo uso del balance de materia (Figura 2.1) como un mecanismo para determinar la cantidad de usuarios que entran o salen de las estaciones de estudio. El balance de materia se basa en la ley de conservación de la materia o ecuación de continuidad en un sistema, es decir se suman las entradas y la producción y se restan las salidas del sistema (Orozco Flores, 1998). No obstante, en esta investigación no existe la producción de nuevos usuarios dentro del sistema de balance (estación), en consecuencia, este término se anula, de tal forma que la ecuación general ocupada es:

$$\sum_{i=1}^n E_i - \sum_{j=1}^m S_j = A$$

Donde:

E_i es la entrada de usuarios a la estación por la fuente i

S_j es la salida de usuarios de la estación por la forma j

A es la acumulación en las estaciones

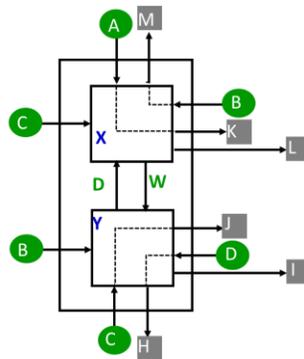


Figura 2.1 Representación de una estación con trasborde con las fuentes de entradas y salidas (Tomado de Balderas Castro et al., 2017)

2.2.2. Cinemática de partículas

Para determinar las velocidades de los usuarios se ocuparon conceptos de la cinemática, tales como movimiento rectilíneo, velocidad promedio, posición y tiempo de desplazamiento. Mediante conocer

las coordenadas de la partícula (usuario) en todo valor del tiempo es posible decir que se conoce el movimiento de la partícula (P. Beer & E. Russell, 1990).

La determinación de la velocidad de los usuarios con desplazamiento en línea recta (movimiento rectilíneo) hace uso de la definición de velocidad promedio, a saber: sea X la posición ocupada por el usuario en un tiempo t y $X' = X + \Delta X$ la posición ocupada por el usuario en un tiempo $t + \Delta t$; el cociente entre ΔX y Δt define la velocidad promedio del usuario (P. Beer & E. Russell, 1990).

2.2.3. Estimación del número de usuarios

La estimación de los usuarios fue ejecutada con el conteo de usuarios en videograbaciones efectuadas dentro de vagones y fuera de los mismos; por cuestiones de recursos humanos, materiales y financieros fue más factible hacer un procesamiento de usuarios sin uso de algún software especial, no se descarta que en futuros trabajos los videos sean sometidos a software de reconocimiento de personas y conteo para la extracción de otros parámetros.

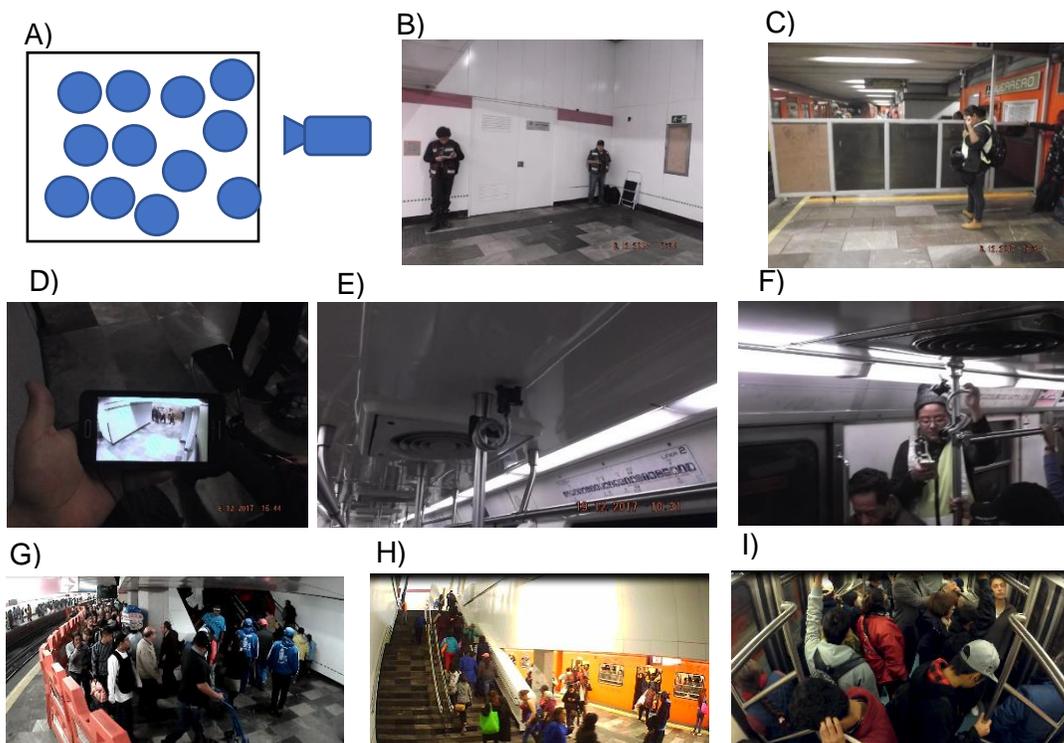


Figura 2.2 A) Diagrama de grabación en vagón; B, C, D, E y F imágenes del montaje y operación de las cámaras de videograbación; G, H e I productos de las acciones de grabación. (Tomado de Balderas Castro et al., 2017)

Para la realización de las grabaciones se elaboró un plan de grabación que fue autorizado por el asesor del STC y, en virtud de dicho plan, se postularon los días y horarios de grabación. En la programación inicial, el periodo de grabación se tenía contemplado del 28 de noviembre del 2017 al 22 de enero del 2018. Cabe mencionar que en las juntas llevadas a cabo con los coordinadores de las líneas 1, 2 y 3, se les notificó la realización de recorridos en las estaciones Merced (Línea1), Hidalgo de la línea 2 y Guerrero de la línea 3 para verificar el número de cámaras y la ubicación de estas; lo anterior con la finalidad de que dichas actividades se realizarán dentro del marco de seguridad para el Grupo de Investigación y para los usuarios del Sistema. Los recorridos se realizaron del 27 de noviembre al primero de diciembre del 2017.

2.2.4. Software

Los modelos de simulación por computadora de la dinámica peatonal pueden dividirse en tres tipos, a saber: modelos macroscópicos, modelos microscópicos y modelos mixtos (Méndez Alvarez, 2011; Taneja & Bolia, 2017; Zheng et al., 2015). Así también, los modelos mixtos o también llamados mesoscópicos tratan de conciliar los objetivos del gestor de la multitud y los objetivos de los individuos. Para ello, los objetivos del usuario se cumplen al maximizar la utilidad compuesta por el tiempo, distancia, seguridad y esfuerzo físico; y los objetivos del gestor se cumplen al tener densidades aceptables (Taneja & Bolia, 2017). Las ventajas del enfoque mixto es que mantiene una buena aproximación al enfoque microscópico, lo que lo hace excelente para el movimiento de un gran número de personas, tiene un bajo costo computacional, mas es limitado cuando existen contraflujos y cuellos de botella al borde de la saturación (INCONTROL, 2017)

La escala mesoscópica describe el comportamiento local de los agentes en un nivel más grueso que la escala microscópica. Aunque la escala mesoscópica es menos detallada, una simulación en esta escala aún mantiene una buena aproximación del comportamiento peatonal local. Dado que en la escala mesoscópica el costo computacional es mucho menor, la escala mesoscópica es adecuada para evaluar infraestructuras a gran escala con muchos peatones que se mueven simultáneamente. (INCONTROL, 2017),

Cabe destacar que hay situaciones en las que la escala mesoscópica no da predicciones realistas. Hemos visto que las mayores diferencias se producen cuando hay muchas interacciones entre agentes, por ejemplo, cuando hay flujos peatonales opuestos o si el flujo está cerca de la capacidad de un cuello de botella. En estos casos, la sensibilidad micro / meso, es decir, la relación entre los tiempos de viaje promedio de una serie de simulaciones de microescala y una serie de simulaciones de escala meso, puede aumentar hasta el 142%. Al modelar, siempre es un buen enfoque para mantenerlo simple y solo tener más en cuenta cuando sea necesario. En muchos casos, la escala mesoscópica será suficiente. Siempre hay que investigar si esto es suficiente. Si es

así Pedestrian Dynamics®, tiene la capacidad de habilitar de forma selectiva la simulación micro una vez que la densidad supera un cierto umbral. Los autores ubican a los modelos microscópicos como los que mejor reproducen la realidad (Haghani et al., 2014; Jager, Popping, & van de Sande, 2001). Lo anterior es motivado porque estos modelos permiten integrar reglas de decisión de comportamiento de los individuos, pero reconocen que su costo computacional es alto (Haghani et al., 2014). El software Pedestrian Dynamics® ocupa un enfoque mixto lo que le da la ventaja de un bajo costo computacional y en caso de ser necesario activa el modo microscópico cuando la densidad excede un cierto umbral, de tal forma que se inhibe las desventajas del enfoque mixto, por esta razón el software Pedestrian Dynamics® es elegido para este proyecto.

2.2.5. Herramientas de análisis estadístico

Prueba de W Mann-Whitney (de Wilcoxon)

La prueba Mann-Whitney (de Wilcoxon) pretende determinar si existe o no diferencia significativa entre las medianas de las poblaciones de las cuales las muestras fueron tomadas. En especial se usa esta prueba dado que los datos violan el supuesto de homogeneidad de varianza. La prueba se hace mediante la combinación de los datos y se ordenan de menor a mayor, de esta manera se les asigna un rango del valor más pequeño al más grande (del rango 1 al rango n_1+n_2). En el caso de esta investigación sólo se ocupa de una prueba a dos colas para determinar si los escenarios con tratamiento (bloqueo, zona de repliegue, descarga de usuarios, etc.) muestra diferencia significativa con respecto al escenario testigo (sin bloqueos o cualquier otra modificación). Todas las pruebas se hacen con un nivel de significancia de 5%, en otras palabras, cualquier valor P mayor a 0.05 equivale a conducir a rechazar la hipótesis nula (las dos muestras son estadísticamente iguales). (StatPoint, 2005a)

Prueba de Kruskal-Wallis

La Prueba de Kruskal-Wallis es usada para comparar dos o más muestras independientes de datos variables y determinar si existen diferencias significativas entre las medianas de las poblaciones de las que se tomaron las muestras. La Prueba de Kruskal-Wallis es Una alternativa para el análisis de varianzas, y es usado debido a que los datos violan el supuesto de homogeneidad de varianza. La hipótesis nula de la prueba es que todas las medianas de grupo son iguales, por otro lado, la hipótesis alternativa indica que no todas las medianas de grupo son iguales. El procedimiento de cálculo es similar a la prueba de U Mann-Whitney (de Wilcoxon). Todas las pruebas se hacen con un nivel de

significancia de 5%, en otras palabras, cualquier valor P mayor a 0.05 conduce a rechazar la hipótesis nula (las dos muestras son estadísticamente iguales). (StatPoint, 2005b)

Gráfico de Caja y Bigotes

El Gráfico de Caja y Bigotes (Figura 2.3) ilustra propiedades importantes de un conjunto de datos. El gráfico se construye con los valores correspondientes al valor mínimo, al cuartil inferior, a la mediana, el cuartil superior y el valor máximo, y en algunas ocasiones valores atípicos (StatPoint, 2005b)

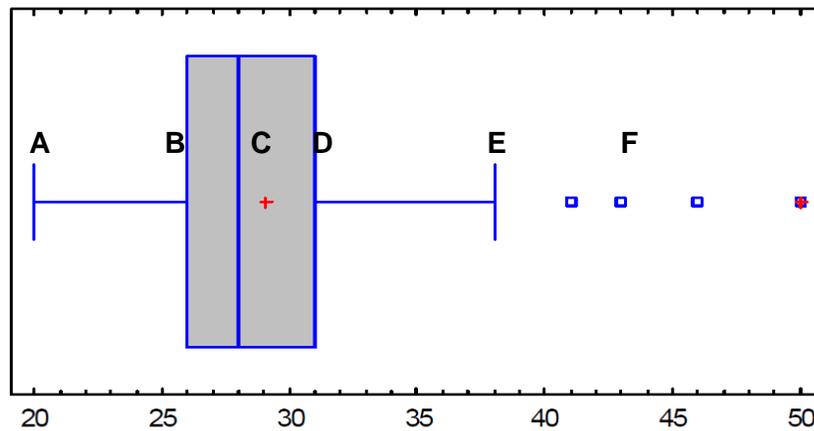


Figura 2.3 partes de un gráfico de cajas. valor mínimo(A), cuartil inferior (B), mediana (C), cuartil superior (D), valor máximo (E) y valores atípicos (F)

Análisis de Varianza Multifactorial

El procedimiento de Análisis de Varianza Multifactorial ANOVA Multifactorial está diseñado para construir un modelo estadístico que describe el impacto de dos o más factores categóricos X_j en una variable dependiente Y . Se corren pruebas para determinar si hay diferencias significativas entre las medias de Y a diferentes niveles de los factores y para determinar si hay interacciones entre los factores. Además, los datos pueden ser mostrados gráficamente en varias formas, incluyendo un gráfico múltiple de dispersión, un gráfico de medias y un gráfico de interacción. Este procedimiento está experimentos factoriales con efectos fijados.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA Y DESARROLLO

3.1. Metodología de investigación

La metodología desarrollada para la presente investigación se divide en tres etapas principales: 1) Planeación, 2) Desarrollo y 3) Análisis-Acción. En la etapa de Planeación se busca conformar la base teórica del conocimiento del proyecto, es decir, establecer el cómo dar respuesta al planteamiento del problema establecido de la investigación; Para la presente investigación esta etapa fue crucial para delimitar el alcance de la presente investigación. La etapa dos, muestra las operaciones que se realiza para realizar todas aquellas acciones que permitirán materializar las respuestas al planteamiento del problema establecido de la investigación. La etapa tres consiste en la obtención de los resultados derivados de la planeación de la investigación.

La metodología no es lineal, ya que tanto entre las fases como en las operaciones existe comunicación en ambos sentidos lo que permite la interrelación y regulación entre todos los elementos que conforman la metodología. Con el trabajo de investigación se busca maximizar los siguientes valores que permiten cumplir con los requerimientos del método científico, a saber: verificabilidad, metodicidad, sistematicidad y capacidad de brindar predicciones en el campo de lo comprobable.

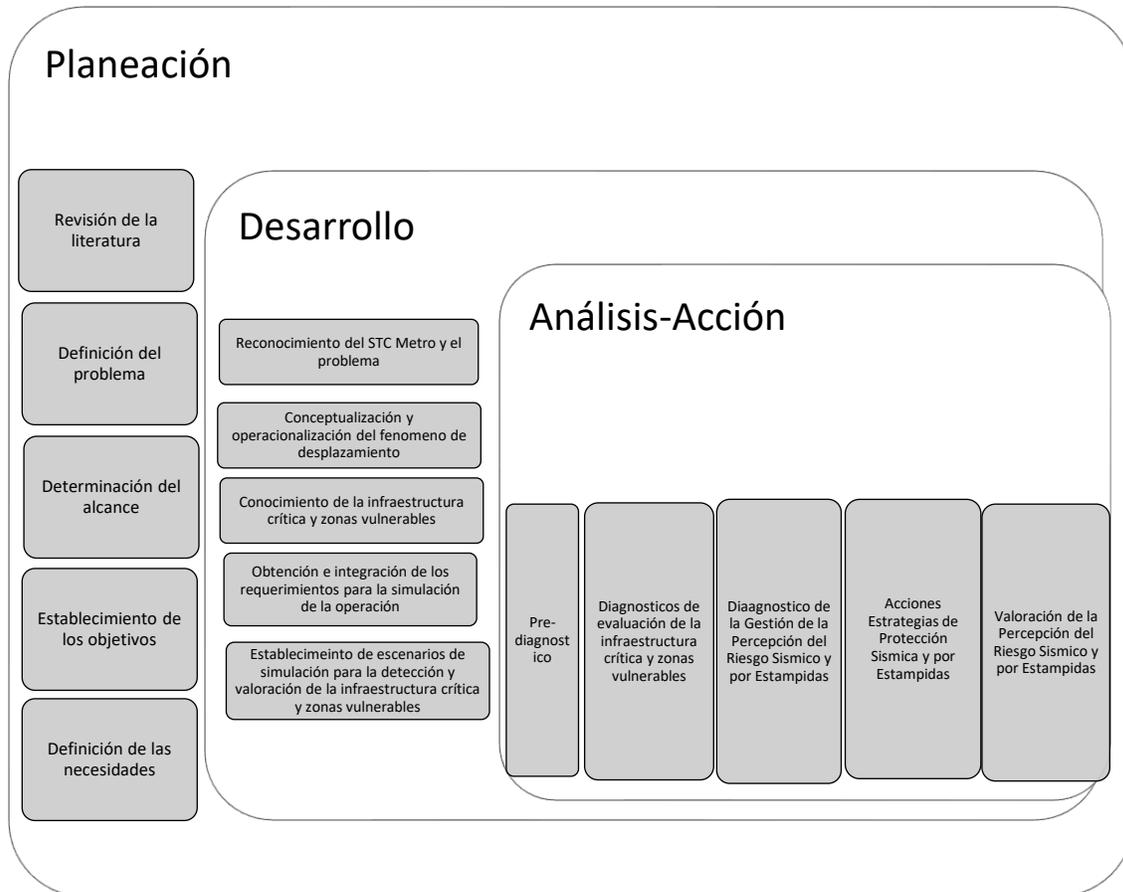


Figura 3.1. Modelo holográfico del Ciclo de Desarrollo de la Investigación

La etapa de desarrollo involucra secuencias de acciones que abarca una gran parte de la investigación, razón por la cual, es pertinente exponer a detalle cada paso del método.

3.2. Planeación

La investigación se planeó para componerse de siete actividades principales.

3.1.1. Actividad 1: Determinación de la cantidad de usuarios que se encuentran en cada estación por hora de las Líneas 1, 2, y 3

Por medio del proyecto “Desarrollo de un plan de emergencia mediante el pronóstico de la movilidad” (Segundo Premio a la Innovación Tecnológica “Ing. Juan Manuel Ramírez Caraza” del STCM, 2015) fue posible la estimación de la cantidad de usuarios en cada una de las estaciones correspondientes

a las líneas 1, 2 y 3. Posteriormente, a través de un análisis de movilidad se determinaron las cantidades de usuarios que pasan por cada una de las estaciones que conforman a las líneas 1, 2 y 3, los resultados se muestran en el Anexo A. La cantidad de usuarios fue determinada con base en los datos de afluencia 2010-2015 y a los polígonos de carga; lo determinado en esta actividad es la base sobre la cual parte la actividad 2. (Anexo A)

3.1.2. Actividad 2: Selección de las estaciones con mayor nivel de agentes expuestos (mayor movilidad al interior del Sistema)

En el Anexo A, se aprecian para las tres líneas de máxima demanda (Línea 1, 2 y 3), las estaciones ordenadas de mayor a menor número de usuarios que han pasado por esa estación con respecto a la hora y sentido, y es con base en los criterios de mayor persistencia en los primeros lugares en el ranking en diferentes condiciones de temporalidad y sentido que se eligieron las estaciones con mayor nivel de agentes expuestos (mayor movilidad), a saber:

Tabla 3.1 Estaciones con mayor nivel de agentes expuestos

ESTACIÓN	LÍNEA	SENTIDO	HORARIOS
Merced	1	Observatorio a Pantitlán	08 a 09 hrs
			13 a 14 hrs
		Pantitlán a Observatorio	18 a 19 hrs
			08 a 09 hrs
			13 a 14 hrs
			18 a 19 hrs
Hidalgo	2	Cuatro Caminos Taxqueña	07 a 08 hrs
			14 a 15 hrs
		Taxqueña - Cuatro Caminos	17 a 18 hrs
			09 a 10 hrs
			14 a 15 hrs
			19 a 20 hrs
Guerrero	3	Indios Verdes - Universidad	09 a 10 hrs
			14 a 15 hrs
		Universidad - Indios Verdes	18 a 19 hrs
			08 a 09 hrs
			13 a 14 hrs
			18 a 19 hrs

3.1.3. Actividad 3 (A): Levantamiento de los videos de los vagones en horas pico (HP) y NO-HP con mayor nivel de agentes expuestos

La tarea 3(A) corresponde a la planeación de las acciones de grabación y el apoyo a las gestiones para la obtención de los oficios que autorizaran al Grupo de investigación a llevar a cabo las acciones de grabación tanto en andén como al interior de los vagones, lo cual implicó diversas reuniones con los coordinadores de transportación de las Líneas 1, 2 y 3. Derivado de lo anterior se presentan los resultados en el Anexo B y C.

3.1.3.1. Etapa de pregrabación

Como resultado de las actividades ejecutadas en la etapa de pregrabación se pudo hacer la selección de los puntos en los que se montarían las cámaras, tal como se muestra en los siguientes croquis (Figura 3.2, 3.3 y 3.4).

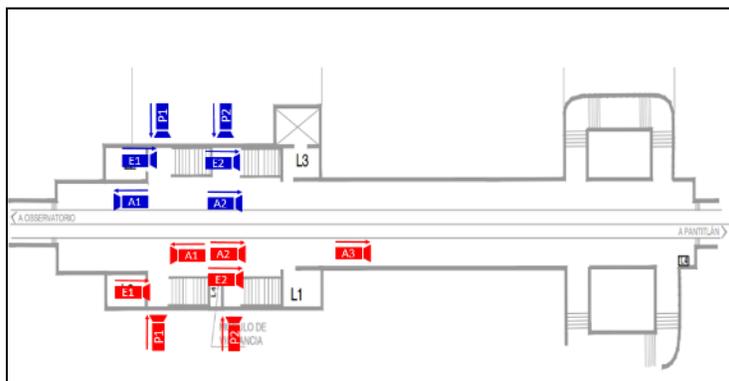


Figura 3.2 Croquis de posicionamiento de cámaras en la Estación Merced (Línea 1)

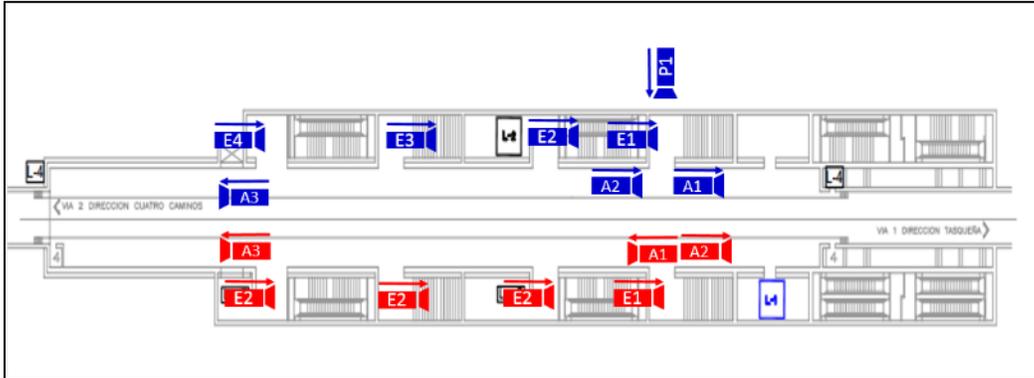


Figura 3.3 Croquis de posicionamiento de cámaras en la Estación Hidalgo (Línea 2)

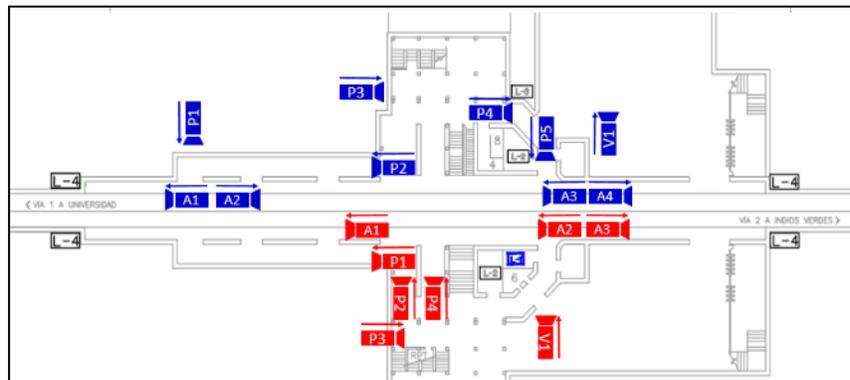


Figura 3.4 Croquis de posicionamiento de cámaras en la Estación Guerrero (Línea 3)

3.1.3.2. Etapa de grabación

En virtud del plan de trabajo, previo visto bueno del asesor, se postularon los días y horarios de grabación. En la programación inicial, el periodo de grabación se tenía contemplado del 28 de noviembre del 2017 al 22 de enero 2018. Cabe mencionar que en las juntas llevadas a cabo con los coordinadores de las Líneas 1, 2 y 3, se les notificó la realización de recorridos en las Estaciones Merced, Hidalgo de la Línea 2 y Guerrero de la Línea 3 para verificar el número de cámara y la ubicación de estas; lo anterior con la finalidad de que dichas actividades se realizarán dentro del marco de seguridad para el Grupo de Investigación y para los usuarios del Sistema. Los recorridos se realizaron del 27 de noviembre al primero de diciembre del 2017.

Debido a que los horarios de grabación vespertinos programados por el Grupo de Investigación están comprendidos entre las 18:00 a 20:00 horas, mismos que se encuentran fuera del horario de labores del equipo del asesor, se acordó entre las partes reprogramar las grabaciones

en la segunda quincena de enero del 2018 y así cubrir el requerimiento de la investigación en el horario mencionado.

Por otro lado, se acordó entre el asesor y el Grupo de investigación que el periodo vacacional del mes de diciembre no se realizarían grabaciones en las estaciones o al interior de vagones ya que los resultados que se pudieran obtener en estas fechas no son óptimos para la investigación, tal como se plasmó en el “Plan de grabación” (Anexo B). A continuación, se presenta el cuadro de control de grabaciones.

Tabla 3.2 Cuadro de control de grabaciones

ESTACIÓN	LÍNEA	SENTIDO	HORARIOS	ANDÉN			VAGÓN		
				REPLICA 1	REPLICA 2	REPLICA 3	REPLICA 1	REPLICA 2	REPLICA 3
Merced	1	Pantitlán	08 a 09 hrs	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
			13 a 14 hrs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
			18 a 19 hrs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Observatorio	08 a 09 hrs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			13 a 14 hrs	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
			18 a 19 hrs	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
Hidalgo	2	Tasqueña	07 a 08 hrs	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
			14 a 15 hrs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
			17 a 18 hrs	<input type="checkbox"/>					
		Cuatro Caminos	09 a 10 hrs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			14 a 15 hrs	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
			19 a 20 hrs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		
Guerrero	3	Universidad	08 a 09 hrs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			14 a 15 hrs	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
			18 a 19 hrs	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
		Indios Verdes	08 a 09 hrs	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
			13 a 14 hrs	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>		
			18 a 19 hrs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A forma de ejemplo se presenta un cuadro de diversas imágenes registradas en los días y horas arriba mencionadas.

Tabla 3.3 Productos de las actividades de grabación

ÁREAS	MERCED (LÍNEA 1)	HIDALGO (LÍNEA 2)	GUERRERO (LÍNEA 3)
Andén			
Escaleras Fijas			
Pasillos			
Vagón			

3.1.4. Actividad 3(b): Obtención de los detalles arquitectónicos de las estaciones con mayor nivel de agentes expuestos

El objeto de esta actividad es contar con las configuraciones de cada una de las estaciones definidas en el alcance del proyecto. Dentro de lo indagado, se encuentran: 1) identificar los controles existentes del flujo peatonal, 2) identificar las posibles áreas de congestionamiento de usuarios, 3) identificar el número de salidas/entradas – a nivel de la plataforma de los vagones del metro y de la Estación, 4) identificar el tipo de escaleras que conectan a los diferentes niveles del metro

(mecánicas y fijas o no mecánicas); y, por último, 5) visualizar los posibles escenarios de análisis como las salidas de emergencias.

3.1.5. Actividad 4: Análisis de la información derivadas de la actividad 3

Esta actividad tiene por objeto extraer datos que permitan determinar la capacidad de los vagones, andenes, el número de personas, la velocidad y área de los peatones. Lo anterior con el fin de obtener los insumos necesarios para efectuar las simulaciones de evacuación en las estaciones definidas en el alcance de este documento. En esta actividad se hizo uso de herramientas estadísticas que permitieron encontrar el tipo de distribución de probabilidad a la que se ajustaban los datos extraídos de los videos y por tanto hacer más fácil las proyecciones de los valores promedio y asociados a baja probabilidad (mínima y máxima). En la sección 4.1 pueden apreciarse los resultados de esta actividad.

3.1.6. Actividad 5: Determinación del número de personas por unidad de superficie

En las secciones 4.2.2, 4.3.2 y 4.4.2 se encuentra la densidad hallada en los trenes durante las horas punta o pico y la hora valle. Los resultados son mostrados por cada dirección. En el anexo D se encuentra las tablas que ayudaron a determinar si existe diferencia significativa entre las densidades registradas en la hora pico matutina, hora valle y hora pico vespertina mediante la prueba de Kruskal-Wallis².

3.1.7. Actividad 6: Modelación de la evacuación de los usuarios del metro en varios escenarios

Con base a la información recabada y generada en las actividades anteriores es posible agrupar la información para representar situaciones de evacuación en las estaciones Merced (línea 1), Hidalgo (línea 2) y Guerrero (3). No obstante, existen una cantidad de factores que afectan a los proceso de evacuación tales como la arquitectura del lugar, el número personas presente, los perfiles de

² Se ocupó la prueba de Kruskal-Wallis debido a que los datos violan el supuesto de homogeneidad de varianza, que imposibilitaba el uso del ANOVA.

personas que están en el sitio (edad, condición física, sexo, educación) (Kisko & Francis, 1985), las fuente y sumideros de las personas, la conformación de grupos (Khan et al., 2017), además de otras características psicológicas que permitan modelar la respuesta ante situaciones de pánico (Wang, 2016), es por ello que se seleccionan sólo cinco factores, de tal forma que otros factores quedan sin ser incluidos. Los factores que se analizarán son: 1) la cantidad de usuarios – horario, 2) el tiempo que tardan los trenes en pasar por la estación, 3) los bloqueos que pueden presentarse en la estación, 4) el escenario de emergencia, y 5) la presencia de tren en andén. A su vez estos factores poseen sub-factores que se muestran en la siguiente tabla (Tabla 3.4):

Tabla 3.4 Factores y subfactores que integran los escenarios

FACTORES	CANTIDAD DE USUARIOS /HORARIO	PERIODO ENTRE TRENES	BLOQUEOS EN LA ESTACIÓN	ESCENARIOS DE EMERGENCIA	PRESENCIA DE TREN EN ANDÉN
Subfactores	Hora pico matutina	Más tiempo entre trenes	Escaleras	Sismo	Con tren en el andén
	Hora valle	promedio entre trenes	Pasillos	Incendio	Sin tren en el andén
	Hora pico vespertina	Menos tiempo entre trenes	Torniquetes Anden Trasborde		

A fin de establecer la configuración de los escenarios de evacuación masiva de mayor importancia se empleó el Proceso de Análisis Jerárquico o también llamado Proceso Jerárquico Analítico, el cual es un método desarrollado por Thomas L. Saaty para la toma de decisiones, que se basa en la capacidad intrínseca del ser humano de estructurar sus percepciones o ideas jerárquicamente a través de comparaciones por pares similares contra un criterio dado, la toma de decisiones puede proporcionar juicios para representar la intensidad de la importancia de una cosa sobre el otro (Saaty, 2008; Toskano Hurtado, 2005; Zhu & Xu, 2014).

El primer paso para resolver problemas complejos es descomponerlos en subproblemas más simples (Berger, 2005). Para el caso de estudio, de la operación de las estaciones de análisis: Merced de línea 1, Hidalgo de línea 2 y Guerrero de línea 3, inicialmente se establecieron las partes interesadas pertinentes, que para la aplicación metodológica se definió como “Perfil del Evaluador”, así se operacionaliza el juicio de valor de las partes, dada la experiencia e intereses. Posteriormente se determinaron los “Criterios para la selección de escenarios”, considerando los factores en la operación de STC, tales como: la cantidad de usuarios dado el horario del escenario evento, el periodo de tiempo de espera entre un tren y el siguiente, bloqueos físicos en estructuras de la

estación, etc.; después, de cada criterio se determinaron subcriterios existentes por las características de la dinámica de operación de STC.

Finalmente se obtuvieron 7 elementos de análisis para la toma de decisión de los escenarios de evacuaciones masivas, mismos que a continuación se enlistan como los elementos de análisis que permitirán priorizar los escenarios de evacuaciones masivas a simular para su posterior análisis.

ELEMENTOS DE ANÁLISIS

1. Perfil del evaluador:
2. Criterios para selección de escenarios: Relativos a los factores que influyen en la operación del STC
3. Subcriterios de decisión de C1: Relativo a estructuras críticas de análisis tales como escaleras, pasillos, torniquetes, etc.
4. Subcriterios de decisión de C2: Relativo al origen del escenario evento, Incendio y Sismo
5. Subcriterios de decisión de C3: Relativo a la presencia o ausencia de un tren en la estación
6. Subcriterios de decisión de C4: Relativo al horario del escenario evento
7. Subcriterios de decisión de C5: Relativo al tiempo de espera en la llegada de trenes a la estación

Del factor “Cantidad de usuarios /horario” es la *cantidad de usuarios* presente con base al horario en el que se presente el escenario evento”, de este factor se definieron tres subfactores: 1) Hora Pico Matutina (HPM), 2) Hora Valle (HV) y 3) Hora pico vespertina (HPV). Del factor “Periodo entre trenes” se definieron tres subfactores: 1) Menos tiempo entre trenes, que significa tiempos cortos de espera en la estación entre la llegada de un tren y el siguiente; 2) Tiempo Promedio entre trenes, es decir, con el valor promedio de tiempo de espera en operación normal y; 3) Más tiempo entre trenes, es decir, con tiempo prolongados de espera en la estación entre la llegada de un tren y el siguiente. Del factor “Bloqueos en la estación” se definieron cinco subfactores: 1) Escaleras, 2) Pasillos, 3) Torniquetes, 4) Andén y 5) Trasborde. Del factor “Escenarios de emergencia” se definieron dos subfactores: 1) Sismo e 2) Incendio. Del factor “Presencia de tren en andén” se definieron dos subfactores: 1) Con tren en el andén y 2) Sin tren en el andén. Del análisis anterior se puede apreciar que, dadas las configuraciones de las condiciones de jerarquización de los criterios de selección de los escenarios de evacuación, el total de escenarios de evacuación para su análisis es de 180 escenarios evento base por estación.

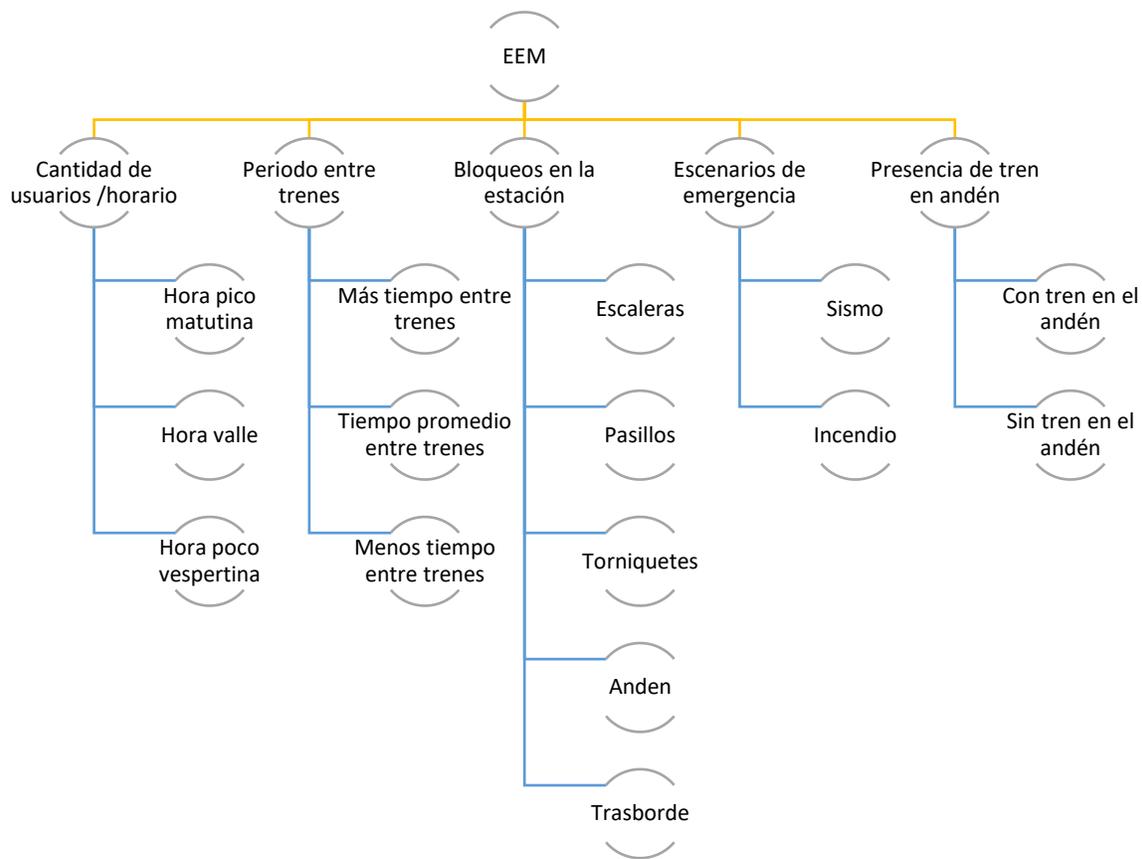


Figura 3.5 Esquema de configuración base para la selección de los escenarios evento de evacuación con base a los criterios de jerarquización
(Tomado de Balderas Castro et al., 2017)

Tal como se aprecia en la siguiente figura (Figura 3.6) existen tres niveles de jerarquización con diferente cantidad de elementos de análisis, con la perspectiva de un árbol de decisiones se puede apreciar que existen distintos enfoques de juicios de decisión para la selección de escenarios de evacuaciones masivas, que proyectados por sus diferentes órdenes de importancia se derivarán en un complejo arreglo de escenarios de evacuación masiva. Cada nivel establecido representa un valor de importancia o “peso” distinto en relación con el origen del juicio de valor, es decir la fuente de la valoración, que para el proyecto se definen tres: el perfil del experto Académico, el perfil del experto del STC y el perfil del usuario.

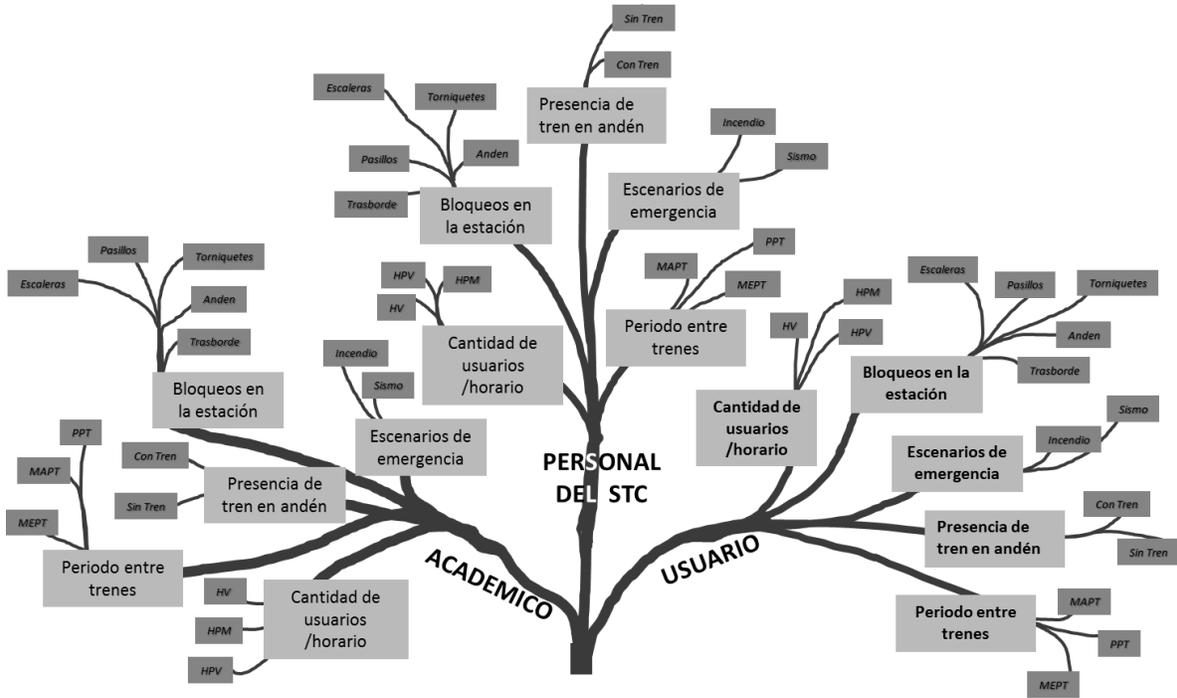


Figura 3.6 Árbol de decisión
(Tomado de Balderas Castro et al., 2017)

Los resultados del Proceso Jerárquico Analítico requieren ser validados mediante el cálculo de índice de consistencia que debe ser menor a 0.1 para que la información sea considerada viable.

Tabla 3.5 Índice de consistencia

MATRIZ	EXPERTO ACADÉMICO			EXPERTO DEL STC			USUARIO		
	CI	RI	CR	CI	RI	CR	CI	RI	CR
1	0.03872	0.66000	0.05867	0.03361	0.66000	0.05093	0.01363	0.66000	0.02065
2	0.03542	1.18800	0.02982	0.02450	1.18800	0.02063	0.01368	1.18800	0.01152
3	0.05765	1.18800	0.04853	0.02722	1.18800	0.02291	0.03063	1.18800	0.02578
6	0.00695	0.66000	0.15112	0.010530	0.66000	0	0	0.66000	0
7	0.02123	0.66000	0.03216	0.05004	0.66000	0.07582	0.02642	0.66000	0.04003

3.1.7.1. Pesos de Priorización

En las siguientes tablas se presenta los pesos o nivel de importancia para cada factor y subfactor.

3.1.7.2. Configuración de los escenarios evento base de evacuación masiva

Con los pesos obtenidos se califica a cada una de las 180 combinaciones que conformaban a los escenarios, de tal forma que los escenarios más relevantes son los que se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 3.6 Configuración de los Escenarios de evacuación priorizados

CANTIDAD DE USUARIOS /HORARIO	PERIODO ENTRE TRENES	BLOQUEOS EN LA ESTACIÓN	ESCENARIOS DE EMERGENCIA	PRESENCIA DE TREN EN ANDÉN
Hora pico matutina	Menos tiempo entre trenes	Anden	Sismo	Con tren en el andén
Hora pico matutina	Menos tiempo entre trenes	Escaleras	Sismo	Con tren en el andén
Hora pico matutina	Menos tiempo entre trenes	Pasillos	Sismo	Con tren en el andén
Hora pico matutina	Menos tiempo entre trenes	Anden	Incendio	Con tren en el andén
Hora pico matutina	Menos tiempo entre trenes	Escaleras	Incendio	Con tren en el andén
Hora pico matutina	Menos tiempo entre trenes	Pasillos	Incendio	Con tren en el andén

Estos escenarios son usados para simular las evacuaciones en las tres estaciones.

3.1.8. Actividad 7: Análisis y síntesis de los parámetros determinados.

Para la presentación de los resultados de la simulación por computadora de los escenarios se elaboró la “FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC” (Figura 3.7) en la cual se muestran en cuatro secciones el análisis y los parámetros determinados para cada escenario de evacuación masiva definidos en la modelación de la evacuación masiva de los usuarios del metro en varios escenarios (sección 3.3.7) las cuales son:

- Sección I. Datos generales: Aquí se presenta el número de escenario, el ámbito de aplicación y la fecha de elaboración.

- Sección II. Planteamiento: Aquí se presenta la descripción del escenario, el diagrama de identificación del bloqueo y las características particulares de las condiciones de simulación por computadora tales como:
 - ♦ Periodo entre trenes [s]
 - ♦ Tiempo de inicio de la evacuación [s]
 - ♦ Tiempo de detección y alarma [s]
 - ♦ Número de usuarios en el tren por Vía 1 y Vía 2
 - ♦ Tasa de ingreso torniquete
 - ♦ Proporción de división del flujo de entrada por Vía 1 y Vía 2
 - ♦ Tasa de ingreso trasborde
 - ♦ Área del agente[m²]
 - ♦ Velocidad máxima [m/s]
 - ♦ Número de replicas
 - ♦ Tipo de respuesta
 - ♦ Número de Agentes total evacuados
- Sección III. Resultados: Aquí se presenta las gráficas resultantes del análisis de los datos y los valores estadísticos tales como:
 - ♦ Gráfica de estabilización del promedio del tiempo de evacuación
 - ♦ Gráfica de estabilización de la desviación estándar del tiempo de evacuación
 - ♦ Diagrama de caja y bigotes del tiempo de evacuación
 - ♦ Valor de la Mediana del escenario sin bloqueo [s] y con bloqueo [s]
 - ♦ El resultado de la Prueba U de Mann-Whitney
- Sección IV. Mapas de Densidad: Aquí se presenta las imágenes de los valores de densidad promedio y máxima resultantes del análisis de los datos en las zonas de vestíbulo y andén.

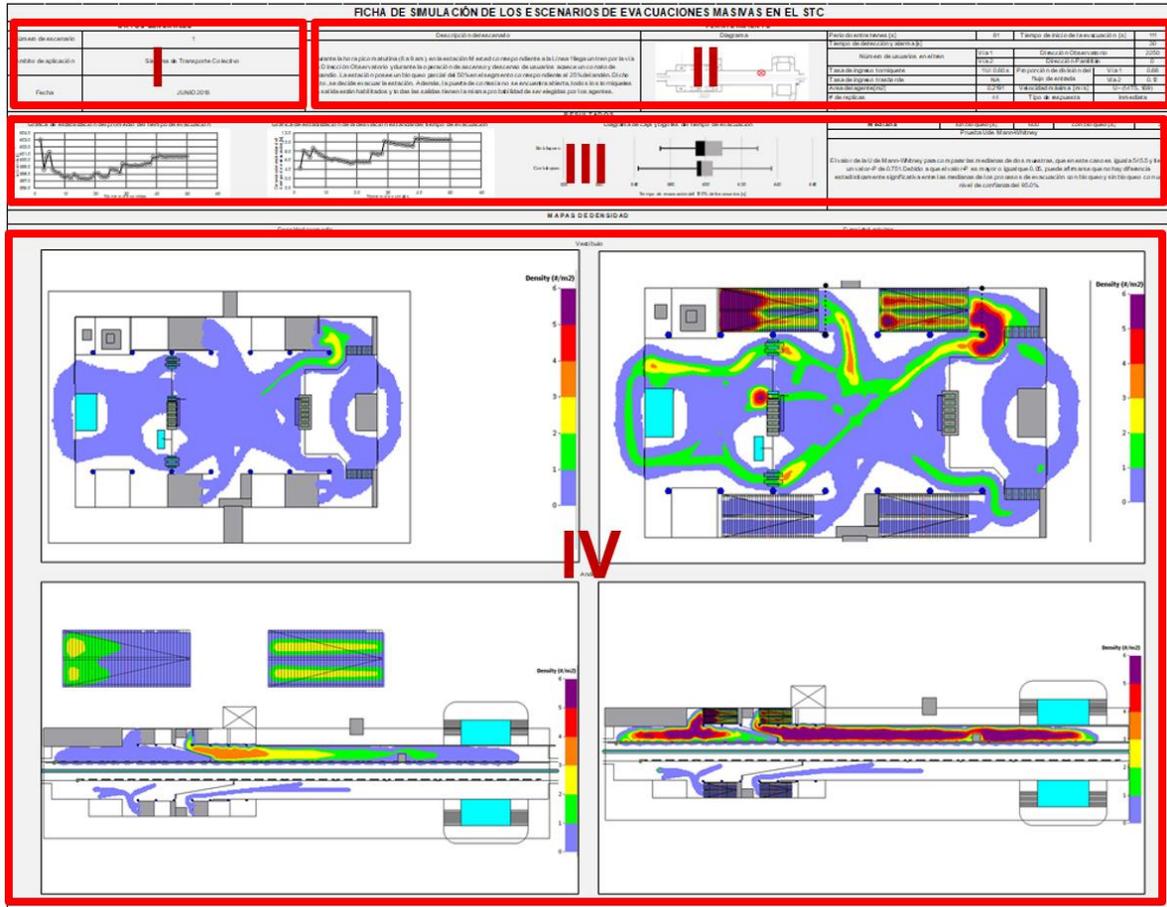


Figura 3.7 Identificación de las cuatro secciones de la Ficha de Simulación de los Escenarios de Evacuaciones Masivas en el STC

3.3. Consideraciones y limitaciones de la investigación

Consideraciones de la investigación

En seguida se muestran las fuentes de los datos para el desarrollo del diagnóstico sistémico de los procesos de evacuación y gestión de superpoblaciones en el Sistema de Transporte Colectivo metro por medio de la dinámica peatonal, a saber:

- La afluencia por estación por día del año 2016 del STC fueron otorgadas por la Gerencia de Innovación y Nuevos Proyectos del STC.
- Planos arquitectónicos de las estaciones del STC fueron otorgados por la Coordinación de protección civil del STC.

- Registros en videograbaciones en vagones, andenes y áreas conexas de estaciones, levantadas, explotadas y analizadas.

Limitaciones de la investigación

Las limitaciones giraron en torno a la información primaria y en los recursos. Respecto a la información primaria destacan que el nivel de detalle no es el requerido para esta investigación en cuanto las afluencias por hora, los flujos internos dentro de las estaciones y planos arquitectónicos actualizados de las estaciones del STC. De los recursos, las principales limitantes corresponden al tiempo y costo de la licencia del software Pedestrian Dynamics®, al tiempo para el procesamiento de los escenarios de simulación por computadora y, al tiempo disponible del Tutor para actividades de levantamiento de información primaria. Ante estas circunstancias se aplicaron estrategias para la obtención de la información primaria por medio de videograbaciones efectuadas en vagones y andes con ajustes constantes en la programación de estas; así como la medición en campo de algunas dimensiones de las estaciones y de los vagones analizados.

Viabilidad

El Software empleado fue desarrollado por la empresa INCONTROL SIMULATION SOLUTION el cual tiene un costo de licencia superior a los mil dólares por mes, y el recurso del premio (monto aproximado a los mil ochocientos dólares), restringe el avance de la investigación, no obstante, se diseñaron mecanismos que permitieron el uso eficiente de la herramienta computacional.

Respecto al recurso humano, las características del proyecto requerían de un equipo de trabajo mayor al que conforma el grupo de investigación, por lo que fue necesario buscar apoyo adicional para las actividades de levantamiento de la información primaria; en esta misma línea el proyecto necesitaba de mayor tiempo disponible del Tutor, situación que motivo a la búsqueda e integración de un grupo interno del STC, que apoyara en el acompañamiento al grupo de investigación durante las actividades del levantamiento de la información en los horarios necesarias para el desarrollo del trabajo de investigación. Ahora bien, en relación a los materiales empleados, es pertinente destacar que se adquirieron los equipos de grabación indispensables toda vez que no existían las condiciones necesarias en los tiempos de desarrollo de la investigación para que el STC proporcionara las videograbaciones obtenidas mediante su sistema de videovigilancia.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE
ESCENARIOS DE EVACUACIÓN DE EMERGENCIA SÍSMICA

El objeto de este capítulo es dar a conocer y describir los resultados obtenidos de la investigación. Primero se detallan los resultados del análisis al STC Metro en el contexto de evacuaciones de emergencia sísmica, seguido de los resultados del análisis de las configuraciones cada una de las estaciones definidas en el alcance del proyecto. De este último punto se encuentran: 1) identificar el número de salidas/entradas a nivel de plataforma de los vagones y, de la estación, 2) Identificar el tipo de escaleras (mecánicas y no mecánicas, también llamadas fijas) que conectan a los diferentes niveles que conforman la estación. 3) Identificar los controles existentes del flujo peatonal, y por último 4) identificar las posibles áreas de congestión de usuarios.

los usuarios

4.1. STC Metro en el contexto de evacuaciones de emergencia sísmica

En los meses de abril a julio del 2017 se llevó a cabo una inspección visual aleatoria de las estaciones del STC Metro, con la finalidad de identificar elementos que permitan saber qué hacer en caso de un sismo.

De la inspección efectuada no se identificó, en ninguna de las 195 estaciones de las 12 líneas que lo conforman, ningún cartel, poster, placa, tríptico, aviso, o similar con información de que hacer en caso de un sismo. Aquí cabe mencionar que algunas estaciones del metro cuentan con pizarrones de aviso, donde se puede, con previa autorización difundir carteles y similares de exposiciones, cursos talleres, etc. Inclusive en estos espacios no se identificó ninguna información de que hacer en caso de sismo.

Por otro lado, de la inspección visual efectuada se identificaron en las 195 estaciones:

- Botón de auxilio
- Señalización de flujo de dirección y salidas
- Ruptores de emergencia en trenes, en andenes
- Extinguidores de incendio y teléfonos rojo para casos de emergencia
- Salida “Puerta de cortesía”, la cual es un mecanismo tipo media puerta ubicada junto a los torniquetes de entrada y salida, por la cual se permite el paso a personas discapacitadas, y en situaciones particulares la salida y/o entrada a la estación
- Plano de vialidades circundantes
- Mapa de la red del STC Metro
- Listado de estaciones de la línea

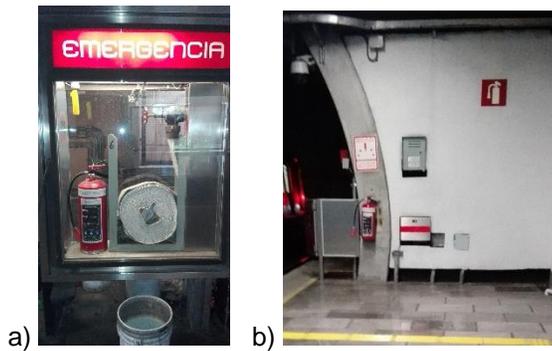


Figura 4.1 evidencia Fotográfica de la inspección visual de las estaciones del STC a) Extintores de incendio por medio de toma de agua y extintor, b) extintor y teléfono Rojo

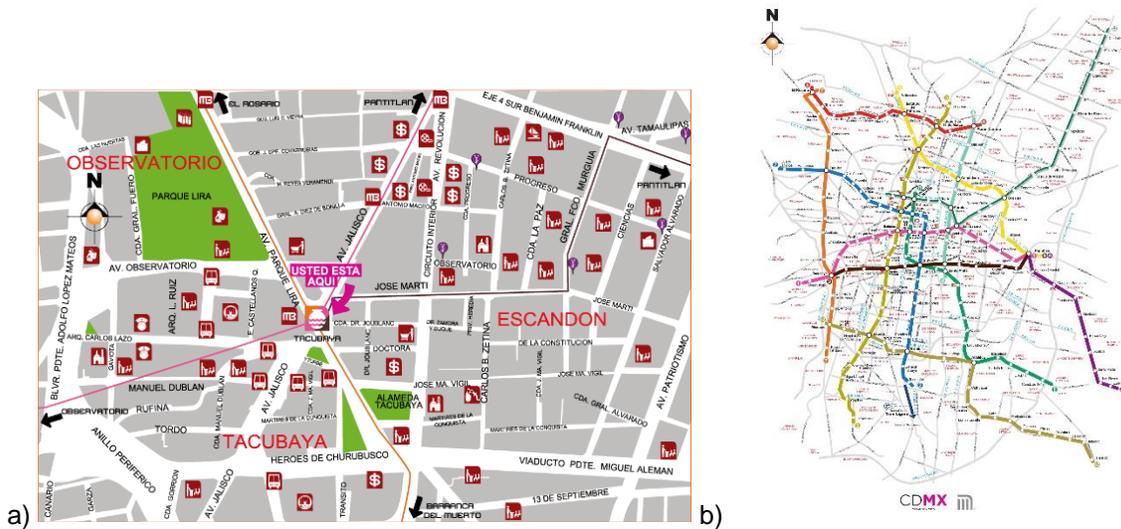


Figura 4.2 a) Plano de vialidades circundantes y b) Mapa de la red de STC

Solo en la línea 12 que circula de dirección Tláhuac a Mixcoac de identificaron señales de ruta de evacuación en andenes y vestíbulos.

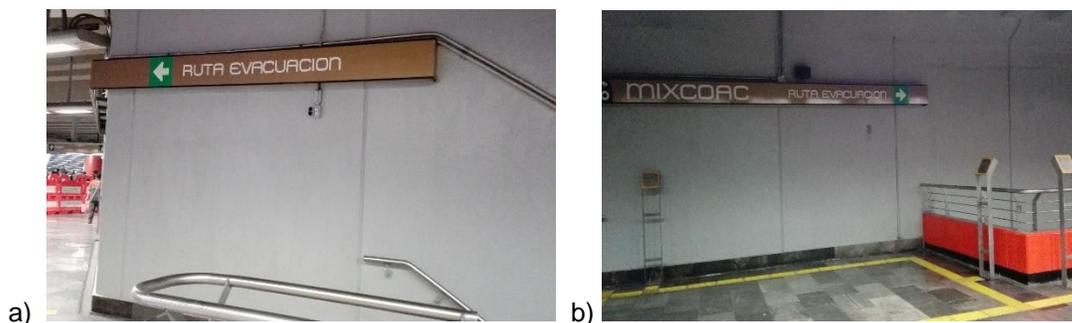


Figura 4.3 Evidencia fotográfica de la señalización "Ruta de evacuación" en la Línea 12 del STC

En ninguna de las estaciones se identificó señalización o identificación de zonas de menor riesgo o zonas de repliegue. De igual manera no se identificaron en ninguna estación infografías impresas o similares, visibles en andenes, pasillos, escaleras y vestíbulo del Protocolo de actuación de “Que hacer en caso de Sismo”. Tampoco se identificaron en ninguna estación Mapa de distribución de la estación con identificación de pasillos, escaleras, salidas de plataforma, entradas principales a la estación y zonas de trasborde. Como se menciona al comienzo de la sección, en las estaciones solo se reconocen planos de vialidades cercanas, mapas de la red y listado de estaciones perteneciente a la línea.

Después de los eventos de septiembre de 2017, particularmente del sismo del 19S, se llevó a cabo una segunda inspección visual de aleatoria de 30 estaciones de 6 líneas diferentes, de la cual, sólo en la estación la raza dirección Indios Verde se identificaron dos carteles, uno tamaño doble carta adherido a la columna de pasillo hacia las escaleras de cambio de dirección y otros dos uno de tamaño doble carta y el otro de tamaño carta en las vitrinas culturales de la misma dirección; con la infografía de que hacer en caso de sismo.



Figura 4.4 Evidencia fotográfica de la identificación y reconocimiento de las infografías de "Recomendaciones en caso de sismo" después del sismo del 19S 2017

En las redes sociales oficiales del STC Metro se difundieron las infografías presentadas en la Figura 4.5.



Figura 4.5 Infografías difundidas en redes sociales oficiales del STC Metro después del 19S del 2017

Las indicaciones establecidas en estas infografías son:

Recomendaciones en caso de Sismo al interior de las instalaciones del STC

SISMO EN LAS ESTACIONES

- 1) Mantén la calma, evita correr, gritar y empujar.
- 2) Si el personal te lo indica sigue la ruya de evacuación
- 3) Si te encuentras en andén, repliégate en la pared, No rebases la línea amarilla, y si te encuentras en tren, permanece ahí.
- 4) No invadas las vías o túneles del tren
- 5) No enciendas cerillos o encendedores, los andenes cuentan con luces de emergencia
- 6) En caso de ser necesario si puedes ayudar a personas que lo requieran.

SISMO ENTRE ESTACIONES

- 1) No cometes actos que pongan en riesgo tu vida, mantén la calma
- 2) No acciones la palanca de emergencia
- 3) Mantén las puertas cerradas, el personal del STC te indicará por donde descender.
- 4) En caso de evacuación acércate a las puertas y baja en orden
- 5) Sólo podrás caminar por las vías con previa autorización del SCT
- 6) Al llegar a la estación, sube con precaución las escaleras, y que estés en el andén dispérsate.

4.2. Determinación de las estaciones de estudio

En el apartado 2.5 “alcance de la investigación” se estableció que las estaciones de estudio son las estaciones “Merced” de la línea 1, “Hidalgo” de la línea 2 y “Guerrero” de la línea 3, en los períodos de horas pico (horas punta) y horas no pico (horas valle). Para llegar a esa determinación se llevó a cabo un análisis del STC Metro, así, a través de los datos del proyecto “Desarrollo de un plan de emergencia mediante el pronóstico de la movilidad” (Segundo Premio a la Innovación Tecnológica “Ing. Juan Manuel Ramírez Caraza” del STCM, 2015) se estimó la cantidad de usuarios en cada una de las líneas que conforman la red del STC, posteriormente, de las líneas de máxima demanda definidas, se estimó el número de usuarios correspondientes a cada una de las estaciones de las conforman. La cantidad de usuarios fue determinada con base en los datos de afluencia 2010-2015 y a los polígonos de carga (Ver anexo A).

Con respecto al primer punto, se definieron las líneas 1, 2 y 3 como las de máxima demanda, de las cuales en la Tabla 4.1 y 4.2 se parecía la descripción de la clasificación de sus estaciones por “Uso” y por “Tipo”. Para ser más específicos, la clasificación por “Uso” corresponde a la funcionalidad de las estaciones de la línea. Una línea del metro se conforma por las estaciones terminales, estaciones de paso y estaciones de correspondencia. Dada la configuración de las líneas del STC Metro existen 12 estaciones que son terminales y de correspondencia. Esta característica es importante para conocer las entradas de suministro de usuarios a la estación de estudio.

Por otro lado, la clasificación por “Tipo” corresponde al nivel del sistema de vías por donde circula el tren del metro, siendo: 1) Subterránea, por debajo del nivel del suelo; 2) Superficial, a nivel del suelo y, 3) Elevadas, por arriba del nivel del suelo.

La característica de “Tipo” de estación es un factor importante para considerar en el análisis de una evacuación de la estación, pues la configuración arquitectónica varía según esta característica, así como la configuración de elementos como pasillo, escaleras, entradas y salidas.

Tabla 4.1 Descripción de las líneas de máxima demanda con base a la Clasificación por Uso de sus estaciones

LINEA	NÚMERO TOTAL DE ESTACIONES	CLASIFICACIÓN POR USO			
		DE PASO	DE CORRESPONDENCIA	TC	TSC
1	20	12	6	1	1
2	24	16	6	0	2
3	21	12	7	0	2

Tabla 4.2 Descripción de las líneas de máxima demanda con base a la Clasificación por Tipo de sus estaciones

LINEA	CLASIFICACIÓN POR TIPO		
	SUBTERRANEA	SUPERFICIAL	ELEVADA
1	19	1	0
2	14	10	0
3	17	4	0

Posteriormente a la definición de las líneas de máxima demanda se estableció la estación de caso de estudio para cada línea, esto por medio de los datos de afluencia 2010-2015 y a los polígonos de carga. De cada línea, las estaciones fueron ordenadas de mayor a menor número de usuarios que han pasado por esa estación con respecto a la hora y sentido, y es con base en los criterios de mayor persistencia en los primeros lugares en el ranking en diferentes condiciones de temporalidad y sentido que se eligieron las estaciones con mayor nivel de agentes expuestos (mayor movilidad), a saber (Tabla 3-1). Los datos son presentados con mayor detalle en el anexo A.

Tabla 4.3 Estaciones con mayor nivel de agentes expuestos

ESTACIÓN	LÍNEA	SENTIDO	HORARIOS		
Merced	1	Observatorio a Pantitlán	08 a 09 hrs		
			13 a 14 hrs		
			18 a 19 hrs		
		Pantitlán a Observatorio	08 a 09 hrs		
			13 a 14 hrs		
			18 a 19 hrs		
Hidalgo	2	Cuatro Caminos Taxqueña	07 a 08 hrs		
			14 a 15 hrs		
		Taxqueña - Cuatro Caminos	17 a 18 hrs		
			09 a 10 hrs		
		Guerrero	3	Indios Verdes - Universidad	14 a 15 hrs
					18 a 19 hrs
Universidad - Indios Verdes	08 a 09 hrs				
	13 a 14 hrs				
			18 a 19 hrs		

En la Figura 1-3 se muestra una vista satelital donde se resaltan las ubicaciones de las estaciones definidas en el alcance.

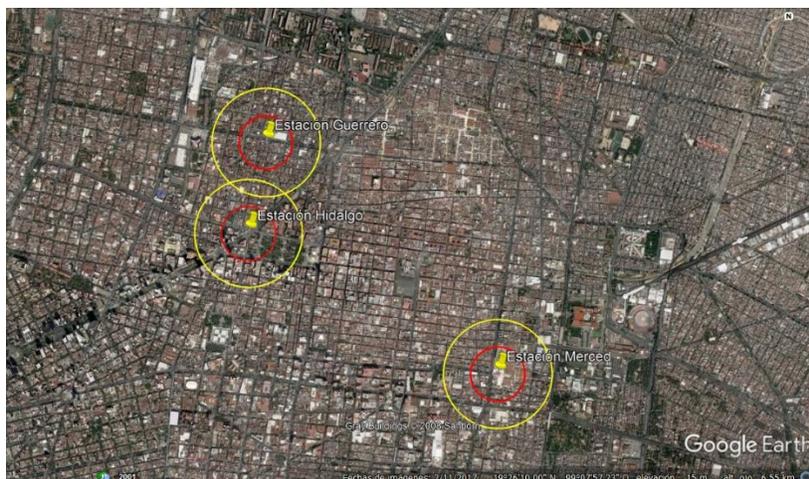


Figura 4.6 Vista satelital de la ubicación de las estaciones de estudio

Tabla 4.4 Descripción de las líneas de máxima demanda con base a la Clasificación por Tipo de sus estaciones

LINEA	CLASIFICACIÓN POR TIPO		
	SUBTERRANEA	SUPERFICIAL	ELEVADA
1	19	1	0
2	14	10	0
3	17	4	0

4.3. Caracterización de las configuraciones de las estaciones de estudio

A continuación, se presentan los resultados de la caracterización de las configuraciones de las estaciones de estudio: Merced (Línea 1), Hidalgo (Línea 2) y guerrero (Línea 3), que contribuyen a definir el ambiente de operación de los usuarios del STC, para lo cual, se muestran el reconocimiento e identificación del número de entradas y salidas a nivel de la plataforma (andén) de los vagones así como las entradas y salidas para cada una de las estaciones de estudio, el tipo de escaleras que conectan a los diferentes niveles de la estación (mecánicas y fijas), los sistemas de control del flujo peatonal existentes y, las rutas para el desplazamiento de los usuarios generadas con base a las entradas-salidas de plataformas y de la estación así como de los mecanismos de control de flujo peatonal. Es necesario recalcar que la caracterización de las estaciones de estudio se llevó a cabo en los meses de septiembre del 2017 a febrero del 2018.

4.3.1. Reconocimiento e Identificación del número de entradas y salidas a nivel de plataforma de los vagones, entradas y salidas a las Estaciones de estudio y, entradas y salidas por correspondencia

Como se refirió anteriormente, se presentan los esquemas resultantes del reconocimiento e identificación del número de entradas y salidas a nivel de la plataforma de los vagones y, a las estaciones de estudio del STC Metro.

4.3.1.1. Estación Merced Línea 1

En la estación Merced se identificaron cuatro puntos de acceso para cada dirección de la línea 1 del metro (Pantitlán y Observatorio) que conectan a la plataforma a nivel de los vagones, éstos funcionan de manera dual, es decir, como salidas y entradas. En la figura 4.1 se pueden observar señalizados como rectángulos de color negro con puntas redondeadas e identificados con las etiquetas con las siglas "ES" seguido del número de identificación: ES-1, ES-2, ES-3, ES-4, ES-5, ES-6, ES-7 y ES-8. En el caso particular de los puntos de acceso ES-5, ES-6, ES-7 y ES-8, se encuentran bloqueados por barreras metálicas con mecanismos de cerradura y candado. Lo anterior por trabajos de remodelación de toda la estación, según explica personal de transportación del STC Metro.

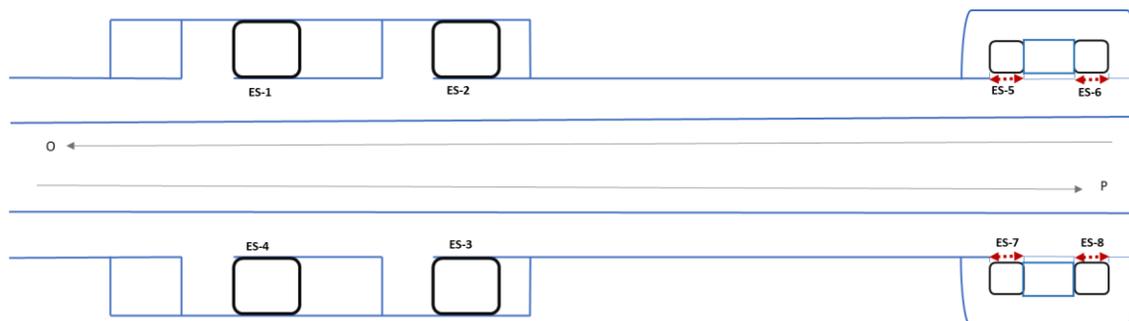


Figura 4.7 Esquema de reconocimiento del número de salidas/entradas a nivel de plataforma de vagones en la estación Merced (línea 1)



Figura 4.8 Imagen de la Salida/Entrada ES-1 a nivel de plataforma de vagones en la estación Merced (línea 1)

La figura 4.2 es una toma fotográfica del punto de acceso etiquetado como ES-1, que corresponde a la Salida/Entrada a nivel de plataforma de vagones en dirección Observatorio.

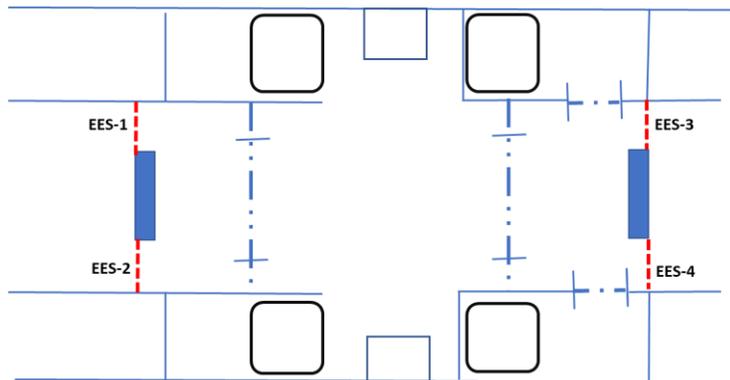


Figura 4.9 Esquema de reconocimiento del número de entradas/salidas a la Estación Merced (Línea 1)

Para acceder a las instalaciones de la estación Merced se identificaron 4 entradas/salidas, dos que corresponden al poniente de la estación, es decir, a la Avenida Anillo de Circunvalación y Plaza Carrizal, Colonia Merced y, dos corresponden al oriente de la estación, es decir, al interior del Mercado Merced, Colonia Merced Balbuena. En la figura anterior (Figura 4.3) se aprecia el esquema con las 4 entradas/salidas señalizadas con líneas entrecortadas de colores rojos e identificados con las etiquetas de las siglas “EES” seguido del número de identificación: EES-1, EES-2, EES3 y EES-4.



Figura 4.10 Imagen de la Entrada/Salida EES-2 de la estación Merced (línea 1)

La figura 4.4 es una toma fotográfica de la Entrada/Salida señalizada como EES-2, que corresponde al puente de la estación, es decir, a la Avenida Anillo de Circunvalación y Plaza Carrizal.

La estación Merced (Línea 1) es una estación de paso, es decir no está interconectada con otra estación de otra línea deferente, por lo que no se identificaron entradas/salidas por trasborde o correspondencia.

4.3.1.2. Estación Hidalgo Línea 2

En la estación Hidalgo se identificaron cuatro puntos de acceso para cada dirección de la línea 2 del metro (Tasqueña y Cuatro Caminos) que conectan a la plataforma a nivel de los vagones, éstos funcionan de manera dual, es decir, como salidas y entradas. En la figura 4.5 se pueden observar señalizadas las 8 salidas/entradas como rectángulos de color negro con puntas redondeadas e identificadas con las etiquetas de las siglas “ES” seguido del número de identificación: ES-1, ES-2, ES-3, ES-4, ES-5, ES-6, ES-7 y ES-8.



Figura 4.11 Esquema de reconocimiento de las Salidas/entradas a nivel de plataforma de vagones en la estación Hidalgo (línea 2)



a)



b)

Figura 4.12 a) Imagen de la Salida/ Entrada ES-8 a nivel de plataforma de vagones b) Imagen de la Salida/ Entrada ES-3 a nivel vestíbulo, en la estación Hidalgo (línea 2)

La figura 4.6 son tomas fotográficas de los puntos de acceso etiquetado como ES-8 y ES-3, la imagen a) corresponde a la Salida/Entrada a nivel de plataforma de vagones en dirección cuatro caminos y, la imagen b) corresponde a la Salida/Entrada dirección Tasqueña con vista desde el vestíbulo de la estación.

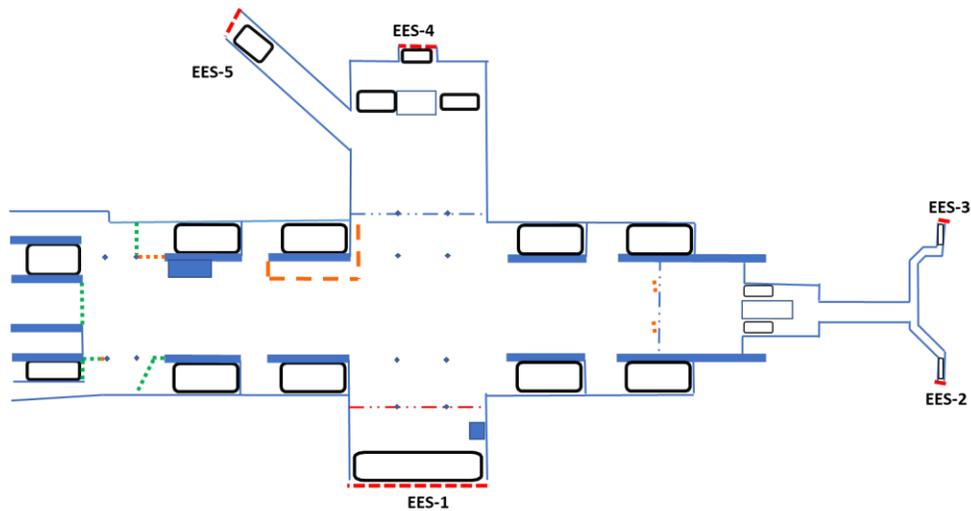


Figura 4.13 Esquema de reconocimiento del número de entradas/salidas a la estación Hidalgo (línea 2)

Para la estación Hidalgo de línea 2, se identificaron 5 entradas/salidas a la estación, al Sur: Reforma esquina Dr. Basilio Vadillo, Colonia Tabacalera; al Norte: Avenida Hidalgo esquina Héroes (Iglesia San Hipólito), Colonia Tabacalera; al Sureste: Calle Balderas esquina Paseo a la Reforma (Cinemas Cine México), Colonia Tabacalera; al Sur: Eje de Guerrero, Colonia Guerrero y; al Norte: Eje de Guerrero, Colonia Guerrero. En la figura 4.7 se aprecian las 5 entradas/salidas mencionadas, señalizadas como líneas entrecortadas de color rojo, así como con las etiquetas de las siglas “EES” seguido del número de identificación: EES-1, EES-2, EES3, EES-4 y EES-5.



Figura 4.14 Imagen de la Entrada/salida EES-1 de la estación Hidalgo (línea 2)

La figura 4.8 es una toma fotográfica de la Entrada/Salida señalizada en la Figura 4.7 como la entrada/salida EES-1.

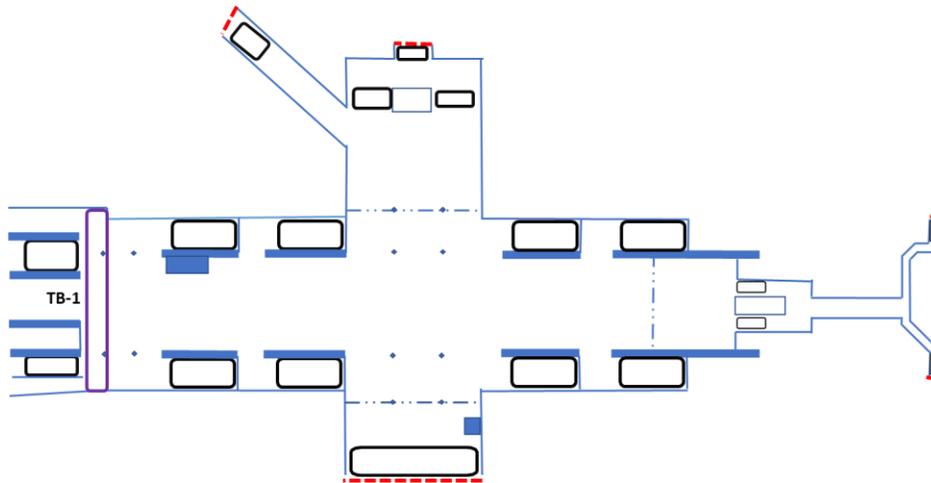


Figura 4.15 Esquema de reconocimiento del número de entradas/salidas a la estación Hidalgo (línea 2) por trasborde.

La estación Hidalgo (Línea 2) es una estación de correspondencia, esta interconectada con la estación Hidalgo de la Línea 3, por lo que se identificó una entrada/salida por trasborde. En la figura 4.9 se pueden observar señalizada la salida/entrada como rectángulo de color morado con puntas redondeadas e identificada con la etiqueta TB-1. Las siglas TB hacen referencia a que el origen es por trasborde.

4.3.1.3. Estación Guerrero Línea 3

La estación Guerrero cuenta con una salida/entrada para cada dirección (Indios Verdes y Universidad). Estas salidas/entradas, a nivel de vestíbulo es una sola salida/entrada pero estas se dividen a nivel de plataforma en dos secciones de escaleras; En la figura 4.10, se observa la salida/entrada identificada con ES-1 y ES-1' para la dirección Universidad- Indios Verdes, y como ES-2 y ES-2' para la dirección Indios Verdes- Universidad, ahora bien, en Figura 4.11b se aprecia cómo se juntan las escaleras para dar acceso al vestíbulo de la estación.

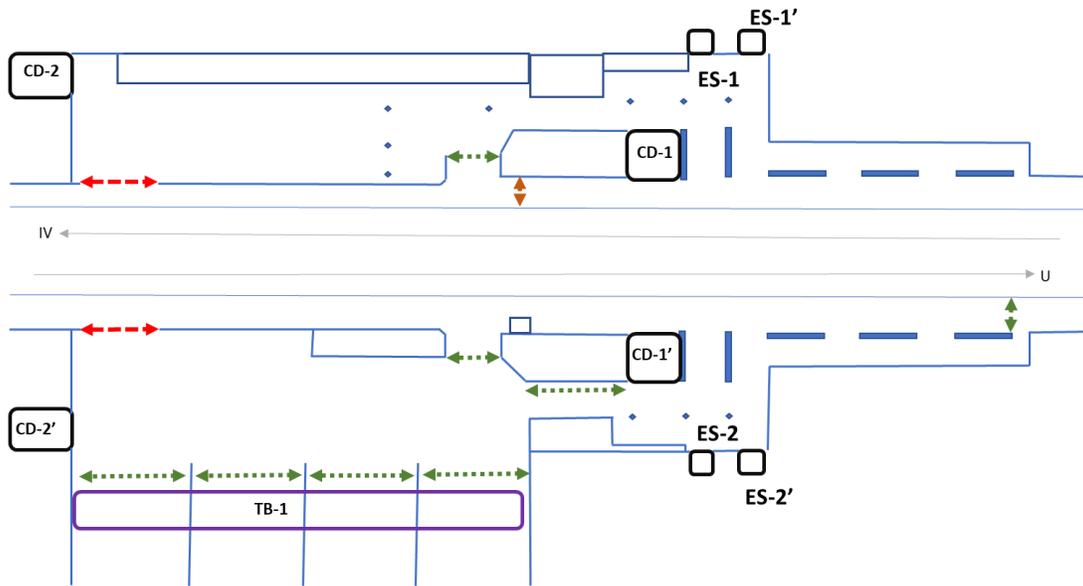


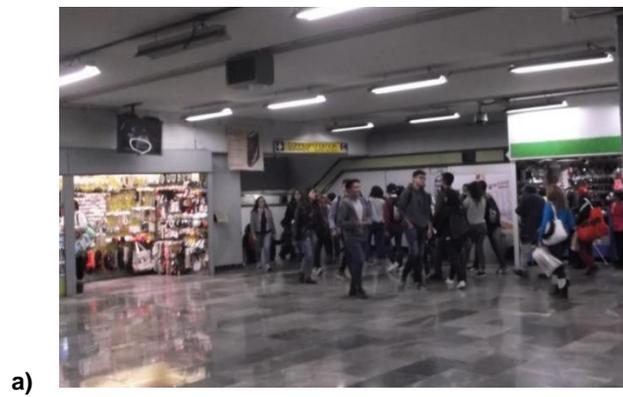
Figura 4.16 Esquema de reconocimiento del número de Salidas/ Entradas a nivel de plataforma de vagones en la estación Guerrero (línea 3)

Es importante destacar que en las instalaciones de la estación Guerrero existen 2 puntos de acceso los cuales tienen la funcionalidad dual de salidas y entradas a nivel de las plataformas (andenes) y en ellos se realiza el cambio de dirección o correspondencia, cabe destacar que estos accesos son por debajo del nivel de la plataforma (anden). En la figura 4.10, se identifican con las siglas CD seguidas del número de identificación: CD-1, CD-1', CD-2 y CD-2'. Las siglas "CD" hacen referencia a que la función es de cambio de dirección, y se consideran solo dos debido a que CD-1 y CD-1' se encuentran conectados por medio de un pasillo por debajo del nivel de la plataforma, tal como se menciona al inicio del presente párrafo.



Figura 4.17 a) Imagen de la Salida/ Entrada ES-1' a nivel de plataforma de vagones. b) Imagen de la Salida/ Entrada ES-1 y ES-1' para llegar al nivel del vestíbulo, en la estación Guerrero (línea 3)

En la Figura 4.11a y 4.11b se observan tomas fotográficas de la Entrada/Salida señalizada en la Figura 4.10 como la entrada/salida EES-1.





b)

Figura 4.18 a) Imagen de la Salida/ Entrada CD-2 para cambio de correspondencia. b) Imagen de la Salida/ Entrada CD-1' para cambio de dirección, en la estación Guerrero (línea 3)

En la Figura 4.12a y 4.12b se observan tomas fotográficas de los puntos de acceso “Salidas/ Entradas” a nivel de plataforma (andenes) para el cambio de dirección o trasborde, identificadas en el esquema de reconocimiento del número Salidas/ Entradas a nivel de plataforma de vagones en la estación Guerrero (Figura 4.10) como: CD-1, CD-1', CD-2 y CD-2'.

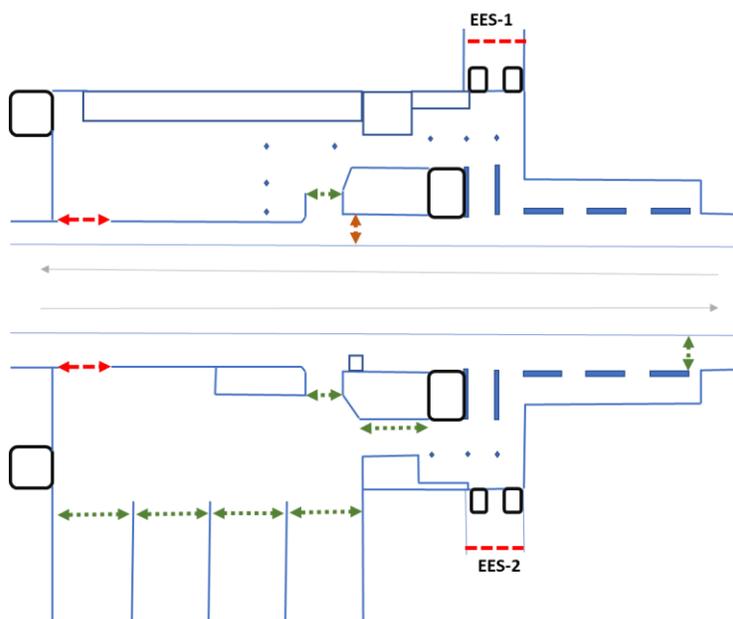


Figura 4.19 Esquema de reconocimiento del número de Número de entradas/salidas a la estación Guerrero (línea 3)

Para la estación Guerrero (línea 3) se identificaron dos entradas/salidas, una al oriente y otra al poniente de la calle Zarco y Eje 1 Norte, Colonia Guerrero. En la figura 4.13 se aprecian las

entradas/salidas mencionadas, señalizadas como líneas entrecortadas de color rojo, así como con las etiquetas EES-1 y EES-2.



Figura 4.20 Imagen de la Entrada/salida EES-2 de la estación Guerrero (línea 3)

En la Figura 4.14 se observa una toma fotográfica de la Entrada/ Salidas a la estación Guerrero (línea 3) y señalizada como EES-2

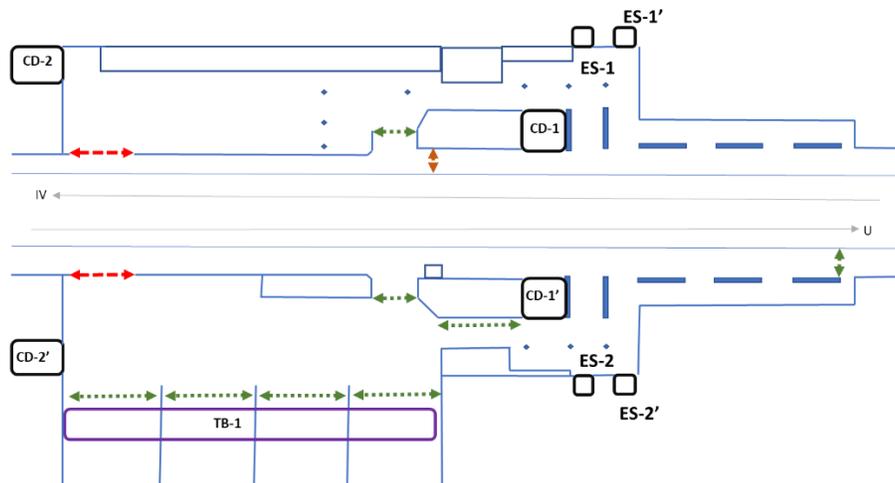


Figura 4.21 Esquema de reconocimiento del número de entradas/salidas a la estación Guerrero (línea 3) por trasborde

La estación Guerrero (Línea 3) es una estación de correspondencia, esta interconectada con la estación Guerrero de la Línea B, por lo que se identificó una entrada/salida por trasborde. En la figura 4.15 se pueden observar señalizada la salida/entrada como rectángulo de color morado con puntas redondeadas e identificada con la etiqueta TB-1. Las siglas TB hacen referencia a que el origen es por trasborde.

4.3.2. Reconocimiento e Identificación del tipo de escaleras que conectan a los diferentes niveles de la estación

El reconocimiento y la identificación del tipo de escales que conectan los diferentes niveles de las estaciones de estudio es un factor relevante para la caracterización de la configuración de las estaciones. A continuación, se presentan los esquemas resultantes del reconocimiento e identificación del tipo de escaleras que conectan a los diferentes niveles de las estaciones de estudio del STC Metro de esta investigación.

4.3.2.1. Estación Merced Línea 1

En la estación Merced sólo existen escaleras del tipo fijas o no mecánicas (ENM), con un total de 26 escalones por escalera (Figura 4.12) que sirven para entrar/salir del vestíbulo de la estación a la plataforma de vagones (andenes). Para cada sentido de dirección (Pantitlán y Observatorio) están habilitadas dos accesos con este tipo de escaleras fijas.

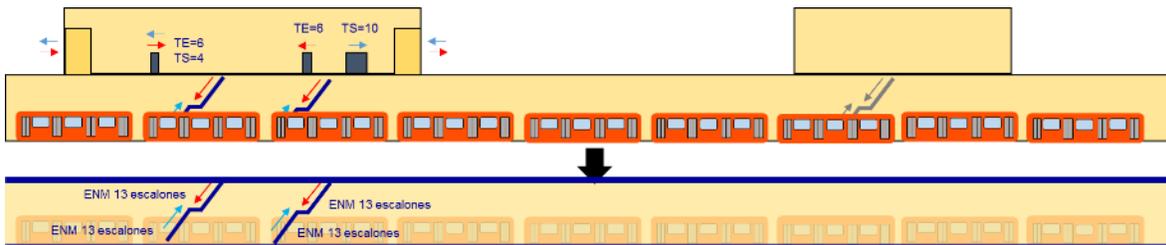


Figura 4.22 Esquema de los tipos de escaleras que conectan a los diferentes niveles de la Estación Merced (Línea 1)

Las siglas “ENM” de la Figura 4.16 corresponden a escaleras no mecánicas o fijas; con las siglas “TE” se identifican los torniquetes de entrada y con las siglas “TS” los torniquetes de salida. Las flechas de color azul claro simbolizan el flujo de salidas, mientras que las flechas de color rojo simbolizan el flujo de entrada.

4.3.2.2. Estación Hidalgo Línea 2

En la estación Hidalgo de Línea 2, existen escaleras mecánicas (EM) y escaleras no mecánicas o fijas (ENM). Las escaleras fijas con un total de 28 escalones por escalera que sirven para entrar/salir del vestíbulo de la Estación a la plataforma de vagones. Para cada dirección (Tasqueña y Cuatro Caminos) están habilitadas cuatro accesos con este tipo de escaleras fijas, dos de ellos cuentan también con escaleras mecánicas. En la Figura 4.17 la línea de punto rojo de color rojo simboliza las escaleras mecánicas, mientras las de color azul simbolizan las escaleras fijas o EMC.

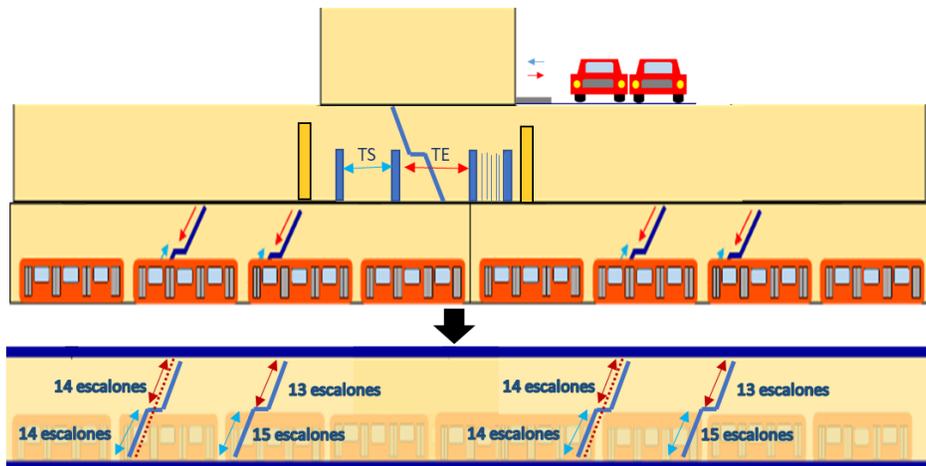


Figura 4.23 Esquema de los tipos de escaleras que conectan a los diferentes niveles de la Estación Hidalgo (Línea 2)

Como en el caso del esquema de la estación Merced, para la estación Hidalgo, con las siglas “TE” se identifican los torniquetes de entrada y con las siglas “TS” los torniquetes de salida. Las flechas de color azul claro simbolizan el flujo de salidas, mientras que las flechas de color rojo simbolizan el flujo de entrada (Figura 4.17)

4.3.2.3. Estación Guerrero Línea 3

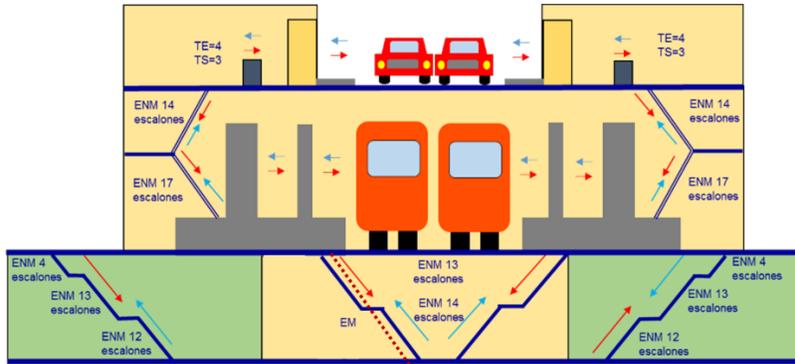


Figura 4.24 Esquema de los tipos de escaleras que conectan a los diferentes niveles de la Estación Guerrero (Línea 3)

En la estación Guerrero, también existen escaleras mecánicas y no mecánicas (fijas). Las escaleras NM con un total de 31 escalones por escalera y sirven para entrar/salir del vestíbulo de la estación a la plataforma de vagones y, dos escaleras con 27 escalones para hacer cambio de dirección y/o correspondencia, mismas que se encuentran por debajo del nivel por donde transita el Tren (Figura 4.18). Para cada dirección (Indios Verdes y Universidad) están habilitadas con un acceso dividido en dos escaleras fijas para salir/entrar a la Estación y dos accesos, uno con escaleras mecánicas y fijas, y el otro sólo con escaleras fijas para hacer cambio de dirección y/o correspondencia.

Como en el caso del esquema de la estación Merced, para la estación Hidalgo, con las siglas “TE” se identifican los torniquetes de entrada y con las siglas “TS” los torniquetes de salida. Las flechas de color azul claro simbolizan el flujo de salidas, mientras que las flechas de color rojo simbolizan el flujo de entrada (Figura 4.17)

4.3.3. Reconocimiento e Identificación de los controles existentes del flujo peatonal

Otro factor relevante para la caracterización de la configuración de las estaciones es el reconocimiento y la identificación del tipo de controles de flujo peatonal existentes dentro de las instalaciones de las estaciones de estudio. A continuación, se presentan los esquemas resultantes del reconocimiento e identificación de los controles de flujo peatonal existentes para cada una de las estaciones de estudio del STC Metro de esta investigación. Para la señalización y clasificación de los tipos de control peatonal se identificaron 3 tipos:

- 1) *Totalmente Fijos*: Barreras de metal ancladas a las paredes (totalmente o con un mecanismo para mantenerse cerradas, cerraduras y/o candados) por lo que para moverlos se requieren maniobras de desmontaje y, sólo el personal debidamente

autorizado dispone de los medios para hacer uso de estos accesos, con ello el STC controla las áreas de traslado de los usuarios.

- 2) *Parcialmente Fijos*: Barreras de metal, con sólo un lado de la estructura soldada a alguna de las paredes y del otro extremo tiene un mecanismo de ruedas para moverla fácilmente; cuando no se emplean para el control de flujo peatonal se encuentra “abiertas” lo que significa que se encuentran en paralelo con la pared a la que están ancladas.
- 3) *Medianamente Movibles*: Barreras que no requieren maniobras de montaje, es decir, vallas de plástico que no están unidas o fijas a las paredes por lo que se pueden mover con fuerza física de los usuarios

Es imperante precisar que los mecanismos del tipo 2 y 3, antes mencionados son utilizados por el personal del STC para realizar la maniobra de control y dosificación de usuarios en los horarios establecidos. Fuera de los tiempos mencionados estos mecanismos son retirados para el libre paso de los usuarios.

4.3.3.1. Estación Merced Línea 1

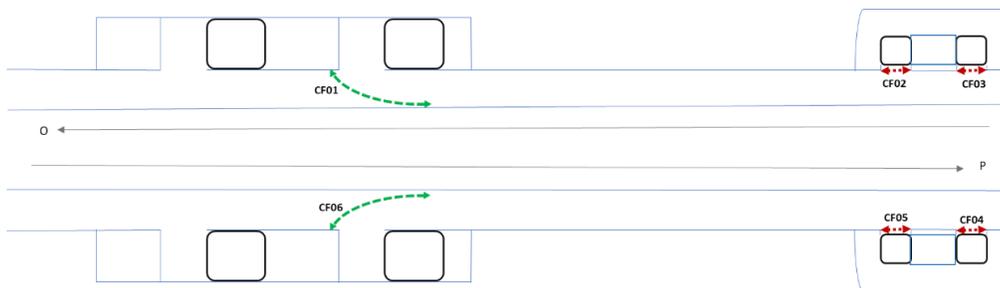


Figura 4.25 Esquema de ubicación de los controles de flujo en la Estación Merced (Línea 1)

En la estación Merced (Línea 1) se identificaron dos tipos de controladores de flujo peatonal. Como se aprecia en la Figura 4.25, en color verde se identificaron controles medianamente móviles, esto es, como se describe al inicio del apartado 4.3.3., son barreras que no requieren maniobras de montaje, vallas de plástico que no están unidas o fijadas a las paredes. En color rojo se identificaron los controles de flujo totalmente fijos, como se describe anteriormente, son de metal, están anclados a las paredes y tienen un mecanismo para mantenerse cerrados, por lo que sólo el personal debidamente autorizado dispone de los medios para hacer uso de estos accesos, con ello el STC controla las áreas de traslado de los usuarios. Los controles de flujo fueron etiquetados con las siglas "CF#" seguidas del número de identificación: CF01, CF02, CF03, CF04, CF05 y CF06. Las siglas TB hacen referencia a Control de Flujo.

Conviene señalar, normalmente los controles que son utilizados para realizar la maniobra de control y dosificación de usuarios, fuera de los tiempos mencionados estos mecanismos son retirados para el libre paso de los usuarios, esto no sucede en esta estación, debido a la densidad de usuarios presente en la estación a lo largo del día, los controles del tipo 3, son de funcionalidad permanente, es decir, no se retiran en ningún horario del día.



Figura 4.26 Imagen de los controles medianamente movibles: Vallas plásticas en la Estación Merced (Línea 1)

En la Figura 4.20 se observa una toma fotográfica de los controles medianamente movibles observados en la estación Merced (Línea 1)

4.3.3.2. Estación Hidalgo Línea 2

Respecto a la estación Hidalgo (Línea 2), se identificaron los tres tipos de controles de flujo peatonal: 1) totalmente fijos, que como ya se ha descrito, son metálicos y soldados a las paredes, por lo que para moverlos se requieren maniobras de desmontaje, 2) parcialmente fijos; de metal, pero sólo un lado de la valla esta soldada a alguna de las paredes y del otro extremo tiene un mecanismo de ruedas para moverla fácilmente; cuando no se emplean para el control de flujo peatonal se encuentra “abiertas” lo que significa que se encuentran en paralelo con la pared a la que están fijos y 3) medianamente movibles, barreras de plástico.

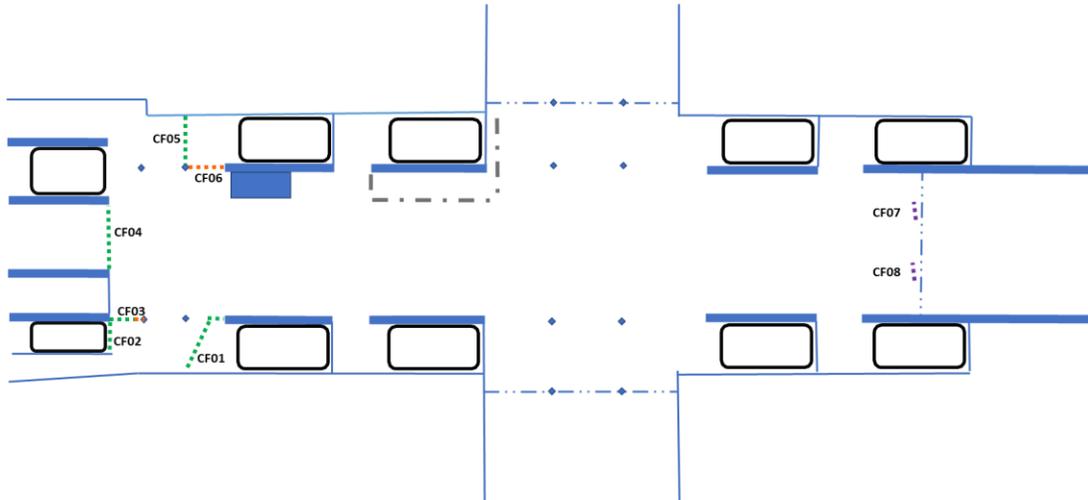


Figura 4.27 Esquema de ubicación de los controles de flujo en vestíbulo de la Estación Hidalgo (Línea 2)

En la Figura 4.21 se aprecian los controles de flujo identificados, con líneas de punto redondo de color verde los del tipo 1: totalmente fijos, de color naranja los del tipo 2: parcialmente fijos y de color morado los del tipo 3: medianamente móviles. Los controles de flujo fueron etiquetados con las siglas CF seguidas del número de identificación. En color gris y con líneas estilo guion y punto se identificó una pared temporal establecida por actividades de mantenimiento.

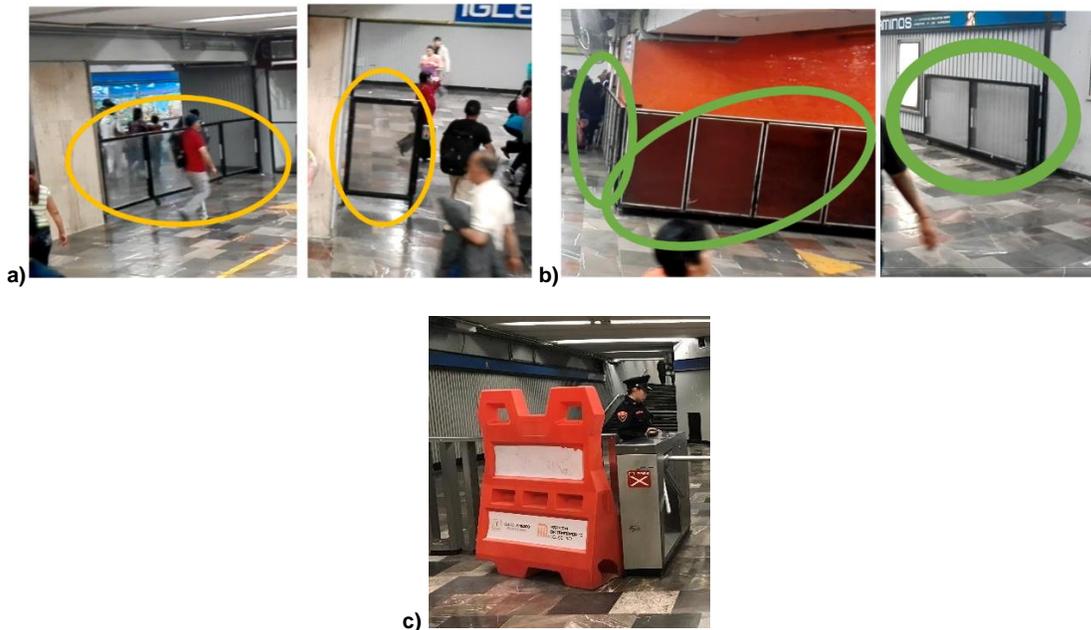


Figura 4.28 Imágenes de los controles de flujo en la Estación Hidalgo (Línea 2): a) totalmente fijo, b) parcialmente fijos y c) medianamente móviles

En la Figura 4.22 se observan tomas fotográficas los controles de flujo peatonal a) totalmente fijos b) parcialmente fijos y c) medianamente móviles identificados en la estación Hidalgo (Línea 2)

4.3.3.3. Estación Guerrero Línea 3

Como en los casos de la Hidalgo, en la estación Guerrero (línea 3), se identificaron los tres tipos de controles de flujo peatonal: 1) totalmente fijos, 2) parcialmente fijos; 3) medianamente móviles. Con las siglas CF se identifican los controles de flujo peatonal (Figura 4.23), las líneas punteadas en color verde corresponden a controles de flujo medianamente móviles, en color rojo los controles de flujo totalmente fijos, y en color naranja los controles de flujo parcialmente fijos

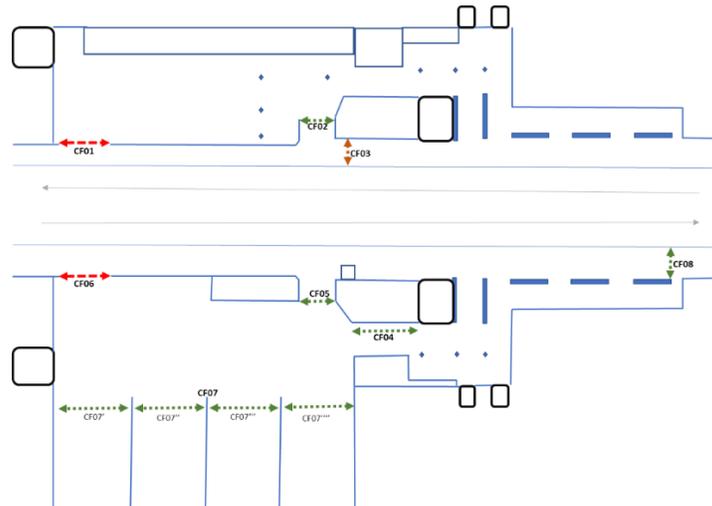


Figura 4.29 Esquema de ubicación de los controles de flujo en la Estación Guerrero (Línea 3)

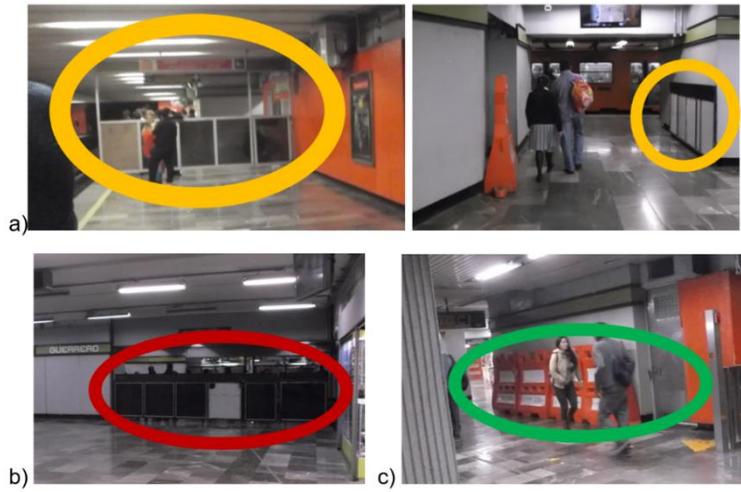


Figura 4.30 Imágenes de los controles de flujo en la Estación Guerrero (Línea 3) a) parcialmente fijos, b) totalmente fijo y c) medianamente movibles

En la Figura 4.24 se observan tomas fotográficas de los controles de flujo peatonal a) parcialmente fijos b) totalmente fijos y c) medianamente movibles identificados en la estación Hidalgo (Línea 2)

4.3.4. Reconocimiento e Identificación de las rutas para el desplazamiento de los usuarios

Otro factor relevante para la caracterización de la configuración de las estaciones es el reconocimiento y la identificación de las rutas para el desplazamiento de los usuarios dentro de las estaciones. La conformación de rutas requiere que se definan actividades que ejecutan los usuarios del STC. Para esta investigación se definieron 3 actividades: entrada al sistema, uso de torniquete y salida del sistema. Las entradas al sistema tienen 4 orígenes: 1) Por ingreso de trasborde (correspondencia), 2) Ingreso por tren vía 1, 3) Ingreso por tren vía 2 y, 4) por el ingreso directo de torniquetes. Se pueden identificar como rutas de evacuación todas las que lleven del interior de la estación al exterior de esta.

A continuación, se presentan los esquemas resultantes del reconocimiento e identificación de las rutas para el desplazamiento para cada una de las estaciones de estudio del STC Metro de esta investigación. Las siglas S/E están asociados a la entrada y salida de la estación, mientras que TS indica los torniquetes salida y TE los torniquetes de entrada, y V1 y V2 son los andenes, la “M” se emplea para representar la zona del andén exclusiva para mujeres, y la “Mx” representa la zona mixta del andén, es decir, para hombres y mujeres. Por último, cada ruta es identificada con letra “R” seguida del número de identificación.

4.3.4.1. Estación Merced Línea 1

En la estación Merced se identificaron 24 rutas para el desplazamiento de los usuarios, mismas que se presentan en la Figura 4.25.

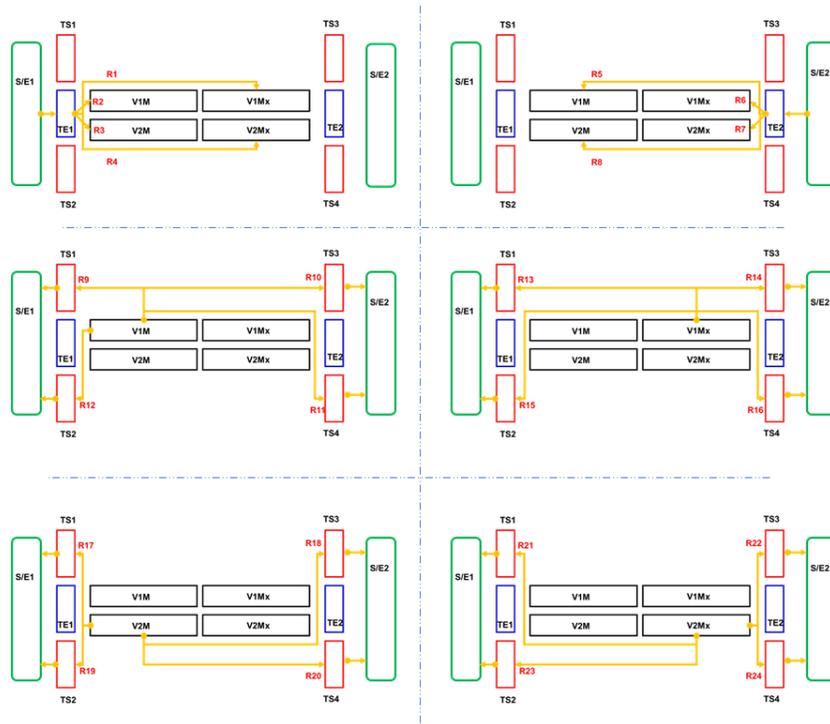


Figura 4.31 Diagrama lógico de desplazamiento para la generación de Rutas para la estación Merced Línea 1

Tal como se menciona con anterioridad, de la figura 4.25, las siglas S/E están asociados a la entrada y salida de la estación, mientras que TS indica los torniquetes salida y TE los torniquetes de entrada, seguidos por un número de identificación. Las siglas V1 y V2 representan los andenes de cada sentido de dirección, la “M” se emplea para representa la zona del andén exclusiva para mujeres, y la “Mx” representa la zona mixta del andén, es decir, para hombres y mujeres. Cada ruta es identificada con letra “R” seguida del número de identificación. Así “V1M” corresponde al andén en el sentido de dirección 1 en la zona exclusiva para mujeres, mientras que, por ejemplo, “V2Mx” corresponde al andén en el sentido de dirección 2 en la zona mixta (hombres y mujeres).

En la Tabla 4.4 se muestra el desglose de cada ruta para el desplazamiento de los usuarios en la estación Merced (Línea 1).

Tabla 4.5 Rutas para el desplazamiento de los usuarios en la estación Merced

RUTA	TIPO DE RUTA	ACTIVIDADES DE LA RUTA				
R1	ENTRADA	S/E1	→	TE1	→	V1Mx
R2	ENTRADA	S/E1	→	TE1	→	V1M
R3	ENTRADA	S/E1	→	TE1	→	V2Mx
R4	ENTRADA	S/E1	→	TE1	→	V2M
R5	ENTRADA	S/E2	→	TE2	→	V1Mx
R6	ENTRADA	S/E2	→	TE2	→	V1M
R7	ENTRADA	S/E2	→	TE2	→	V2Mx
R8	ENTRADA	S/E2	→	TE2	→	V2M
R9	SALIDA	V1M	→	TS1	→	S/E1
R10	SALIDA	V1M	→	TS2	→	S/E1
R11	SALIDA	V1M	→	TS3	→	S/E2
R12	SALIDA	V1M	→	TS4	→	S/E2
R13	SALIDA	V1Mx	→	TS1	→	S/E1
R14	SALIDA	V1Mx	→	TS2	→	S/E1
R15	SALIDA	V1Mx	→	TS3	→	S/E2
R16	SALIDA	V1Mx	→	TS4	→	S/E2
R17	SALIDA	V2M	→	TS1	→	S/E1
R18	SALIDA	V2M	→	TS2	→	S/E1
R19	SALIDA	V2M	→	TS3	→	S/E2
R20	SALIDA	V2M	→	TS4	→	S/E2
R21	SALIDA	V2Mx	→	TS1	→	S/E1
R22	SALIDA	V2Mx	→	TS2	→	S/E1
R23	SALIDA	V2Mx	→	TS3	→	S/E2
R24	SALIDA	V2Mx	→	TS4	→	S/E2

4.3.4.2. Estación Hidalgo Línea 2

En la estación Hidalgo (Línea 2) se identificaron 19 rutas para el desplazamiento de los usuarios, en la Figura 4.26 se puede apreciar su conformación.

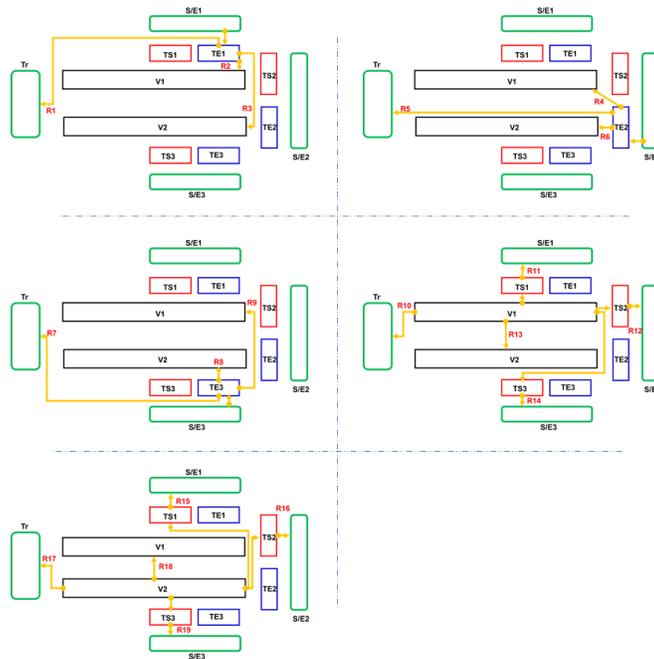


Figura 4.32 Diagrama lógico de desplazamiento para la generación de Rutas para la estación Hidalgo Línea 2.

Como en el caso de la estación Merced (Línea 1), para la estación Hidalgo (Línea 2), de la figura 4.26, las siglas S/E están asociados a la entrada y salida de la estación, TS indica los torniquetes salida y TE los torniquetes de entrada, seguidos por un número de identificación. Las siglas V1 y V2 representan los andenes de cada sentido de dirección y, Tr corresponde a un trasbordo o también conocido como “Cambio de Línea”. Cada ruta es identificada con letra “R” seguida del número de identificación. En la Tabla 4.5 se muestra cada ruta para el desplazamiento de los usuarios en la estación Hidalgo (Línea 2).

Tabla 4.6 Rutas para el desplazamiento de los usuarios en la estación Hidalgo

RUTA	TIPO DE RUTA	ACTIVIDADES DE LA RUTA				
R1	ENTRADA	S/E1	→	TE1	→	Tr
R2	ENTRADA	S/E1	→	TE1	→	V1
R3	ENTRADA	S/E1	→	TE1	→	V2
R4	ENTRADA	S/E2	→	TE2	→	V1
R5	ENTRADA	S/E2	→	TE2	→	Tr
R6	ENTRADA	S/E2	→	TE2	→	V2
R7	ENTRADA	S/E3	→	TE3	→	Tr

R8	ENTRADA	S/E3	→	TE3	→	V2
R9	ENTRADA	S/E3	→	TE3	→	V1
R10	CAMBIO DE LÍNEA	V1	→	Tr	·	
R11	SALIDA	V1	→	TS1	→	S/E1
R12	SALIDA	V1	→	TS2	→	S/E2
R13	CAMBIO DE DIRECCIÓN	V1	→	V2	·	
R14	SALIDA	V1	→	TS3	→	S/E3
R15	SALIDA	V2	→	TS1	→	S/E1
R16	SALIDA	V2	→	TS2	→	S/E2
R17	CAMBIO DE LÍNEA	V2	→	Tr	·	
R18	CAMBIO DE DIRECCIÓN	V2	→	V1	·	
R19	SALIDA	V2	→	TS3	→	S/E3

4.3.4.3. Estación Guerrero Línea 3

En la estación Guerrero (Línea 3) se identificaron 14 rutas para el desplazamiento de los usuarios, en la Figura 4.26 se puede apreciar su conformación.

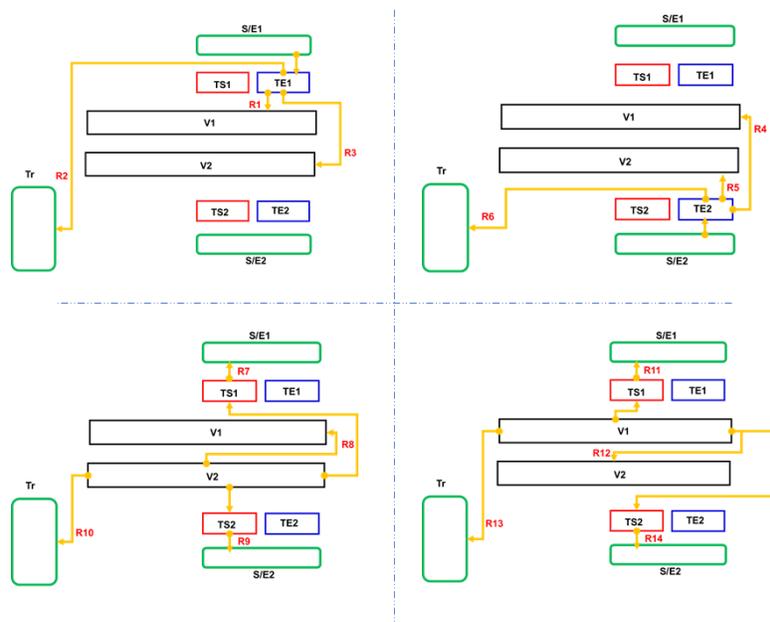


Figura 4.33 Diagrama lógico de desplazamiento para la generación de Rutas para la estación Guerrero Línea 3.

Para la conformación de ruta para el desplazamiento de los usuarios de la estación Guerrero (Línea 3) se siguió la misma lógica de señalización de las actividades, se emplearon las mismas siglas tanto para las entradas y salidas de la estación, los torniquetes de entrada y salida, andenes de cada sentido de dirección y para el trasborde o cambio de línea. En la Tabla 4.6 se muestra cada ruta para el desplazamiento de los usuarios.

Tabla 4.7 Rutas para el desplazamiento de los usuarios en la estación Guerrero

RUTA	TIPO DE RUTA	ACTIVIDADES DE LA RUTA				
R1	ENTRADA	S/E1	→	TE1	→	V1
R2	ENTRADA	S/E1	→	TE1	→	Tr
R3	ENTRADA	S/E1	→	TE1	→	V2
R4	ENTRADA	S/E2	→	TE2	→	V1
R5	ENTRADA	S/E2	→	TE2	→	V2
R6	ENTRADA	S/E2	→	TE2	→	Tr
R7	SALIDA	V2	→	TS1	→	S/E1
R8	CAMBIO DE DIRECCIÓN	V2	→	V1		
R9	SALIDA	V2	→	TS2	→	S/E2
R10	CAMBIO DE LÍNEA	V2	→	Tr		
R11	SALIDA	V1	→	TS1	→	S/E1
R12	CAMBIO DE DIRECCIÓN	V1	→	V2		
R13	CAMBIO DE LÍNEA	V1	→	Tr		
R14	SALIDA	V1	→	TS2	→	S/E2

4.3.5. Síntesis los resultados de la caracterización de las configuraciones de las estaciones de estudio

De la caracterización de las configuraciones de las estaciones de estudio: Merced (Línea 1), Hidalgo (Línea 2) y guerrero (Línea 3), que contribuyen a definir en ambiente de operación del STC, para lo cual, se llevó a cabo el reconocimiento e identificación del número de entradas y salidas a nivel de la plataforma (anden) de los vagones así como las entradas y salidas para cada una de las estaciones de estudio, el tipo de escaleras que conectan a los diferentes niveles de la estación (mecánicas y fijas), los sistemas de control del flujo peatonal existentes y, las rutas para el desplazamiento de los usuarios generadas, para las estaciones: Merced (Línea 1), Hidalgo (Línea 2) y Guerrero (Línea 3).

Tabla 4.8 Resultados de la Clasificación de las estaciones de estudio.

ESTACIÓN	LINEA	CLASIFICACIÓN	CLASIFICACIÓN
		POR USO	POR TIPO
MERCED	1	De paso	Subterránea
HIDALGO	2	De correspondencia	Subterránea
GUERRERO	3	De correspondencia	Subterránea

Tabla 4.9 Resultados del reconocimiento e Identificación del número de entradas y salidas a nivel de plataforma de los vagones, entradas y salidas a las Estaciones de estudio y, entradas y salidas por correspondencia

ESTACIÓN	LINEA	ENTRADAS / SALIDAS A LA ESTACIÓN	ENTRADAS / SALIDAS A NIVEL DE PLATAFORMA	ENTRADAS / SALIDAS PARA CAMBIO DE DERECCIÓN	ENTRADAS / SALIDAS POR TRASBORDE
MERCED	1	4	8	0	0
HIDALGO	2	5	8	0	1
GUERRERO	3	2	2	2	1

En la tabla anterior (Tabla 4.8) se muestran el concentrado final del reconocimiento e Identificación del número de entradas y salidas a nivel de plataforma de los vagones, entradas y salidas a las estaciones de estudio y, entradas y salidas por correspondencia de las estaciones de estudio.

Tabla 4.10 Resultados del reconocimiento e Identificación del tipo de escaleras que conectan a los diferentes niveles de la estación

ESTACIÓN	LINEA	ESCALERAS MECANICAS	ESCALERAS NO MECANICAS
MERCED	1	0	4
HIDALGO	2	4	8
GUERRERO	3	1	6

En la tabla anterior (Tabla 4.9) se muestran el concentrado final del reconocimiento e Identificación del número y tipo de escaleras que conectan a los diferentes niveles de las estaciones de estudio.

Tabla 4.11 Resultados del reconocimiento e Identificación de los controles existentes del flujo peatonal

ESTACIÓN	LINEA	TOTALMENTE FIJOS	PARCIALMENTE FIJOS	MEDIANAMENTE MOVIBLES
MERCED	1	4	0	2
HIDALGO	2	2	5	2
GUERRERO	3	2	2	3

En la tabla anterior (Tabla 4.10) se muestran el concentrado final del reconocimiento e Identificación del número y tipo de los controles existentes del flujo peatonal en las estaciones de estudio.

En la Tabla 4.11 se muestran el concentrado final del reconocimiento e Identificación del número y tipo de rutas para el desplazamiento de los usuarios en las estaciones de estudio.

Tabla 4.12 Resultados del reconocimiento e Identificación de las rutas para el desplazamiento de los usuarios

ESTACIÓN	LÍNEA	NÚMERO DE RUTAS
MERCED	1	24
HIDALGO	2	19
GUERRERO	3	14

Con los resultados aquí presentados se establecen los elementos clave contribuyen a definir el ambiente de operación propias de las estaciones de estudio: Meced (Línea 1), Hidalgo (Línea 2) y Guerrero (Línea 3) en el contexto de los sistemas concretos; mismos que permitieron establecer las bases para el diseño y construcción de los escenarios de simulación de evacuación por eventos sísmicos.

4.4. Caracterización de la configuración de la movilidad los agentes: Usuarios de las estaciones de estudio

A continuación, se presentan los resultados de la caracterización de la configuración de la movilidad de los agentes, los cuales son los usuarios en estaciones de estudio y que, contribuyen a definir el ambiente de operación del STC. Con la finalidad de cuantificar, predecir y replicar los movimientos de los usuarios del STC en los escenarios de simulación de evacuación por eventos sísmicos, se llevó a cabo un análisis de: 1) la cantidad de usuarios, 2) el área del usuario promedio y, 3) la velocidad máxima de los usuarios. En seguida se muestran los resultados obtenidos.

4.4.1. Estimación del número de usuarios en las estaciones de estudio.

Para llevar a cabo la estimación del número de usuarios presentes en el momento de una evacuación por evento sísmico se realizó un análisis de las estaciones de estudio. Las estaciones se consideraron como un sistema abierto que cuenta con entradas y salidas. Las entradas identificadas son: por trasborde, ingreso por tren vía 1 y vía 2, y por el ingreso directo por torniquetes. Es mediante este enfoque que se hace la estimación de agentes a emplear. En seguida se muestran los valores obtenidos para cada fuente.

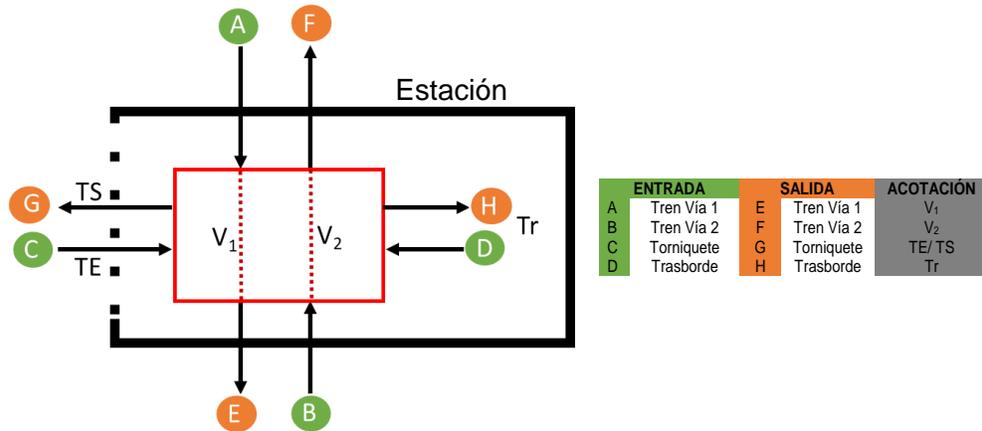


Figura 4.34 Modelo de transferencia de usuarios de una estación en operación normal.

En la figura 4.28 se observan el modelo establecido para representar las entradas de usuarios a la estación, así observamos que el origen de dichas entradas es: A) ingreso por tren vía 1, B) ingreso por tren vía 2, C) por el ingreso directo por torniquetes y D) por trasborde.

4.4.1.1. Del número de usuarios que entran a la estación por Tren vía 1 y Tren vía 2

Derivado de los datos de densidad obtenidos en campo fue posible hacer una estimación sobre la cantidad promedio de usuarios que están dentro de un tren y que serían potencialmente evacuados en caso de llevarse a cabo una evacuación total, el método para la determinación del número de usuarios en las estaciones de estudio que ingresan por tren vía 1 y vía 2 se encuentra detallado en el anexo B.

A continuación, en la Tabla 4.12 se presentan los resultados de la estimación de la cantidad promedio de usuarios en las estaciones de estudio que ingresan a la estación dentro de los trenes por Vía 1 y Vía 2.

Tabla 4.13 Estimación de la cantidad promedio de usuarios dentro del tren

LÍNEA	DIRECCIÓN	HORARIOS	PERCENTIL					
			50	75	90	95	99	
1	Vía 1	Observatorio a	08 a 09 hrs	479	539	592	624	684
		Pantitlán	13 a 14 hrs	758	899	1,027	1,103	1,245
			18 a 19 hrs	1,626	1,814	2,063	2,251	2,688
	Vía 2	Pantitlán a	08 a 09 hrs	1,085	1,417	1,717	1,896	2,232
		Observatorio	13 a 14 hrs	573	671	782	862	1,043
			18 a 19 hrs	439	496	548	578	636
2	Vía 1	Cuatro Caminos	07 a 80 hrs	834	1,104	1,413	1,634	2,135
		Taxqueña	14 a 15 hrs	455	535	641	723	917
			17 a 18 hrs	546	576	615	645	714
	Vía 2	Taxqueña - Cuatro	09 a 10 hrs	1,044	1,139	1,263	1,358	1,577
		Caminos	14 a 15 hrs	616	710	804	867	1,008
			19 a 20 hrs	991	1,151	1,311	1,420	1,661
3	Vía 1	Indios Verdes -	09 a 10 hrs	1,308	1,531	1,726	1,840	2,047
		Universidad	14 a 15 hrs	1,173	1,292	1,450	1,570	1,848
			18 a 19 hrs	1,271	1,455	1,621	1,720	1,906
	Vía 2	Universidad - Indios	08 a 09 hrs	681	860	1,067	1,213	1,535
		Verdes	13 a 14 hrs	1,112	1,237	1,329	1,376	1,454
			18 a 19 hrs	1,334	1,577	1,821	1,986	2,352

4.4.1.2. Del número de usuarios que entran a la estación por trasborde

Tal como se describe en el apartado 4.3.2, la estación Merced (Línea 1) es una estación de paso, lo que significa que no tiene trasborde, cosa distinta es para las estaciones Hidalgo (Línea 2) y Guerrero (Línea 3) las cuales si cuentan con trasbordos. Volviendo al tema que nos ocupa, para la obtención del número de usuarios que ingresan la estación por trasborde, con las videograbaciones se hizo un conteo por periodos de descarga de trenes en la línea de correspondencia (Tabla 4.13). Lo que implica un comportamiento periódico.

Tabla 4.14 Aportaciones promedio por trasborde

ESTACIÓN	HORARIO	USUARIOS	PERIODOS
		DESCARGADOS	[S]
Hidalgo (Línea 2)	Hora pico matutina	380	215
	Hora valle	500	215
	hora pico vespertina	384	215
Guerrero (Línea 3)	Hora pico matutina	387	220
	Hora valle	229	210
	Hora pico vespertina	154	180

4.4.1.3. Del número de usuarios que entran a la estación por torniquetes

Para estimar el número de usuarios que entran a la estación por torniquetes se hizo un conteo de personas que entraban y salían por las puertas de los vagones, del conteo total se estima la cantidad promedio de usuarios que suben y bajan de un tren. Ahora bien, para estaciones de correspondencia, es decir, con trasborde, el ingreso a vagones es explicado por dos componentes: a) ingreso al andén directo por torniquetes y b) por el ingreso al andén por trasborde. En el caso de las estaciones de paso (como la estación Merced), que no tienen trasborde es verosímil afirmar que el ingreso a vagones es explicado por el ingreso directo de torniquetes.

Lo dicho hasta aquí supone que, en el caso de las estaciones de correspondencia (Hidalgo y Guerrero), el ingreso por torniquetes puede ser determinado: a) Por medio del balance de usuarios, es decir, del estimado de los usuarios que ingresan a los andenes, es posible obtener la cantidad de usuarios que ingresan por torniquete mediante la sustracción del aporte por trasborde y, b) Por medio del conteo directo de las grabaciones efectuadas en las zonas de torniquetes. Es claro que pueden existir otras modalidades que contribuyan al ingreso a los vagones, pero, debido a las limitaciones expuestas en la sección 3.5, es que se hacen las consideraciones arriba mencionadas.

Así, en la Tabla 4.13, se muestra el resultado de la estimación de ingreso de usuarios a la estación por torniquetes.

Tabla 4.15 Tasa de ingreso de usuarios por torniquete

ESTACIÓN	HORARIO	TASA DE INGRESO DE
		USUARIOS MEDIANTE TORNQUETES [USUARIO/S]
Merced (Línea 1)	Hora pico matutina	0.79645982
	Hora valle	0.33189245
	Hora pico vespertina	0.92974469
Hidalgo Línea 2)	Hora pico matutina	0.53719319
	Hora valle	1.37953044
	Hora pico vespertina	1.89588315
Guerrero (Línea 3)	Hora pico matutina	2.5248281
	Hora valle	1.16639176
	Hora pico vespertina	1.68145726

4.4.2. Estimación del Área del agente

En la siguiente tabla (Tabla 4.15) se muestra el área de los agentes establecida para esta investigación y que se empleara en la construcción de la simulación por computadora de los escenarios de evacuación de emergencia sísmica. Cabe señalar que el valor por defecto que se maneja en el Software de simulación empleado es 0.1800 m²; para trabajos similares se han empleado 0.2827 m² (Méndez Alvarez, 2011), en la misma línea, la lógica de la densidad máxima descrita por (Fritz, 1983) corresponde a 0.1393 m². No obstante, estos valores pueden no reflejar la realidad de los fenotipos de los usuarios del STC del CDMX, por ello se ocupan las máximas densidades registradas en las ZEP por arriba de la densidad máxima de Fritz (1983) para los diferentes levantamientos a fin de hallar un valor que sea referente a la población en estudio, de lo anterior se muestra que el área se estima en 0.11392 m²/P. Ante el riesgo de no adoptar un valor exacto se hace un promedio de los valores entre los datos de la literatura y los valores de la CDMX que se aproxima al valor de área de los agentes como se ve en la Tabla 4.15.

Tabla 4.16 Radios y diámetros adoptados para los agentes

FUENTE	RADIO [M]	ÁREA [M ²]
Estándar de Software	0.2394	0.18005
Área de los vagones con densidad máxima de Fritz (1983)	0.1979	0.12304
Área de los vagones con densidad de inicio del aplastamiento de los usuarios (Li & Hensher, 2013)	0.2202	0.15233
Promedio	0.2191	0.15081

4.4.3. Estimación de la Velocidad máxima del agente

La velocidad máxima de los peatones es un elemento clave para la caracterización de la configuración de los escenarios de evacuación a simular, por ello, para determinar las velocidades de los usuarios se ocuparon conceptos de la cinemática, tales como movimiento rectilíneo, velocidad promedio, posición y tiempo de desplazamiento, pues al conocer las coordenadas de la “partícula” (usuario) en todo valor del tiempo es posible decir que se conoce el movimiento de esta. (P. Beer & E. Russell, 1990).

En la determinación de la velocidad de los usuarios con desplazamiento en línea recta (movimiento rectilíneo) hace uso de la definición de velocidad promedio: sea X la posición ocupada

por el usuario en un tiempo t y $X' = X + \Delta X$ la posición ocupada por el usuario en un tiempo $t + \Delta t$; el cociente entre ΔX y Δt define la velocidad promedio del usuario (P. Beer & E. Russell, 1990).

De los registros en video levantados se ubicaron escenas que enfocaran zonas con distancias conocidas y que provocaran desplazamientos rectilíneos, con ello, se registraba el tiempo cuando el usuario iniciaba recorrido y el tiempo al finalizar el recorrido (Tabla 4.16).

Tabla 4.17 Cálculo de la velocidad peatonal

DISTANCIA RECORRIDA [m]	TIEMPO [s]	VELOCIDAD [m/s]
ΔX	Δt	$\Delta X / \Delta t$
5.52	8	0.69
5.52	7	0.79
5.52	5	1.01

Derivado de lo anterior, se calculó el valor de la velocidad máxima, que estaría asociado al percentil 95, lo que se muestra en la Tabla 4.17

Tabla 4.18 Velocidad promedio y velocidad máxima

ESTACIÓN	VELOCIDAD PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	VELOCIDAD MAXIMA (AL PERCENTIL 95)
Merced (línea 1)	1.09744	0.274813	1.48 m/s
Hidalgo (línea 2)	1.30743	0.456542	1.69 m/s
Guerrero (línea 3)	1.40276	0.510585	2.24 m/s

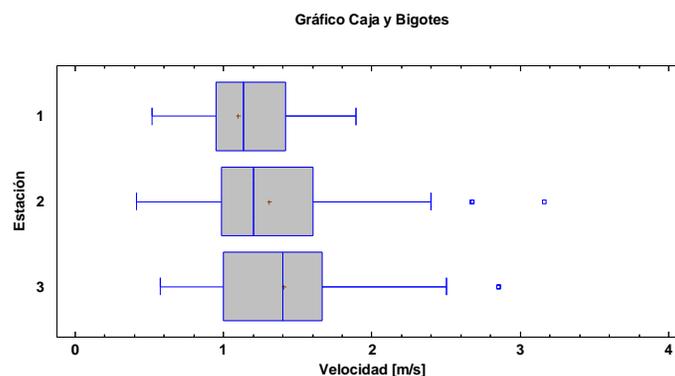


Figura 4.35 Velocidad de los usuarios registrada para cada estación: (1) Merced, (2) Hidalgo, (3) Guerrero

Así, para cada estación se encuentra una diferencia entre las velocidades de los usuarios de las estaciones Hidalgo, Guerrero y Merced. Lo anterior queda sustentado mediante los resultados de la Prueba de Kruskal-Wallis para Velocidad [m/s] por Estación la cual arroja que existe diferencia

estadísticamente significativa entre las medias con un nivel del 95.0% de confianza ya que el valor P obtenido es de 1.05056×10^{-8} .

Tabla 4.19 Resumen estadístico de los valores de Velocidad peatonal obtenidos

ESTACIÓN	RECuento	PROMEDIO	MEDIANA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	MÍNIMO	MÁXIMO	RANGO	CUARTIL INFERIOR	CUARTIL SUPERIOR
Merced	103	1.097	1.136	0.275	0.250	0.516	1.893	1.377	0.947	1.420
Hidalgo	153	1.307	1.200	0.457	0.349	0.412	3.160	2.748	0.988	1.600
Guerrero	249	1.403	1.400	0.511	0.364	0.573	2.855	2.282	1.000	1.667
Total	505	1.3116	1.2	0.468943	0.3575	0.412	3.16	2.748	0.947	1.428

4.5. Reconocimiento e identificación de las infraestructuras críticas y zonas de vulnerabilidad

Se construyen un conjunto de escenarios para efectuar el reconocimiento e identificación de las infraestructuras críticas y zonas de vulnerabilidad durante el proceso de evacuación en caso de emergencia en las estaciones de estudio.

Se seleccionaron los escenarios más críticos, es decir los escenarios con la mayor cantidad de agentes afectables según la estimación obtenida de la cantidad promedio de usuarios dentro del tren, en donde se empleando la densidad asociada al percentil 95, según la distribución que aplique a cada horario y sentido (ver Tabla 4.12). Los escenarios definidos son:

Tabla 4.20 Determinación de los escenarios de evacuación a simular por computadora para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables.

ESCENARIO	ESTACIÓN	LÍNEA	DIRECCIÓN	HORARIOS	CANTIDAD DE USUARIOS
1	MERCED	1	De Observatorio a Pantitlán	18 a 19	2,742
2	MERCED	1	De Pantitlán a Observatorio	08 a 09	1,727
3	HIDALGO	2	Tasqueña a Cuatro Caminos	08 a 09	1,283
4	HIDALGO	2	Cuatro Caminos a Tasqueña	07 a 08	1,679
5	GUERRERO	3	Indios Verdes a Universidad	08 a 09	2,139
6	GUERRERO	3	Universidad a Indios Verdes	18 a 19	2,188

Como resultado a lo anteriormente expuesto, se definieron total de 6 escenarios para las actividades de simulación por computadora (Tabla 4.20). Los cuales corresponden a evacuación total de solo un tren en la dirección establecida, sin contra flujos, sin que arriben más trenes y con la restricción de acceso a andenes, se excluye también la llegada de trenes vía contraria.

Tabla 4.21 Descripción de los escenarios de evacuación a simular por computadora para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables

ESCENARIO	ESTACIÓN	LÍNEA	DIRECCIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Merced	1	De Observatorio a Pantitlán	Se plantea una evacuación total del tren que se ubique en la dirección Observatorio a Pantitlán sin contra flujos y sin que arriben más trenes y con la restricción de acceso a andenes. También se excluye la llegada de trenes en la otra vía
2	Merced	1	De Pantitlán a Observatorio	Se plantea una evacuación total del tren que se ubique en la dirección Pantitlán a Observatorio sin contra flujos y sin que arriben más trenes y con la restricción de acceso a andenes. También se excluye la llegada de trenes en la otra vía
3	Hidalgo	2	De Tasqueña a Cuatro Caminos	Se plantea una evacuación total del tren que se ubique en la dirección Tasqueña a Cuatro Caminos sin contra flujos y sin que arriben más trenes

				y con la restricción de acceso a andenes. También se excluye la llegada de trenes en la otra vía.
4	Hidalgo	2	De Cuatro Caminos a Tasqueña	Se plantea una evacuación total del tren que se ubique en la dirección Cuatro Caminos a Tasqueña sin contra flujos y sin que arriben más trenes y con la restricción de acceso a andenes. También se excluye la llegada de trenes en la otra vía.
5	Guerrero	3	De Indios Verdes a Universidad	Se plantea una evacuación total del tren que se ubique en la dirección Indios Verdes a Universidad sin contra flujos y sin que arriben más trenes y con la restricción de acceso a andenes. También se excluye la llegada de trenes en la otra vía.
6	Guerrero	3	De Universidad a Indios Verdes	Se plantea una evacuación total del tren que se ubique en la dirección Universidad a Indios Verdes sin contra flujos y sin que arriben más trenes y con la restricción de acceso a andenes. También se excluye la llegada de trenes en la otra vía.

Dado que un gran número de catástrofes con multitudes se hayan unidas a eventos deportivos y culturales (Fruin, 1993), es por ello que el sector cultural y deportivo han generado guías para la gestión de masas tal es el ejemplo de la “Guide to Safety at Sports Grounds”, la cual indica como capacidad máxima de 4.7 P/m² (Department for Culture Media and sports, 2008). Por otra parte Sun, Luo, Yao, Qiu, & Rong, (2017) reporta que las densidades en estaciones de Sistemas Metro son mayores a 1.08 P/m², también cabe señalar que, la legislación en la Ciudad de México en materia de protección civil toma como límite para fincar la obligatoriedad para contar con un programa interno de protección civil a 50 o más personas (Secretaría de Protección Civil, 2016), el cual incluye un plan de evacuación. En el mismo tenor, en pregunta expresa al personal de la Coordinación de Protección Civil sobre cuál es la densidad límite que ocupa el STC se respondió que 4 P/m².

En seguida se muestran los mapas de densidad que ayudan a determinar si las densidades en andenes y zonas conexas están en las condiciones definidas, en este caso menor o igual a 4 P/m² para ello se ocupa la dinámica peatonal para simular la evacuación total de un tren en el horario de máxima carga sin contraflujos. Las descripciones de los escenarios se encuentran en el anexo E.

Con el desarrollo de estos escenarios, se identifican las críticas y zonas vulnerables, que como se menciona al inicio del párrafo, superan las condiciones de densidad idóneas, y que por consiguiente son potenciales de causar severos aplastamientos entre las multitudes, además que de influyen en el desempeño de la evacuación.

4.5.1. Estación Merced de Línea 1, dirección de Observatorio a Pantitlán

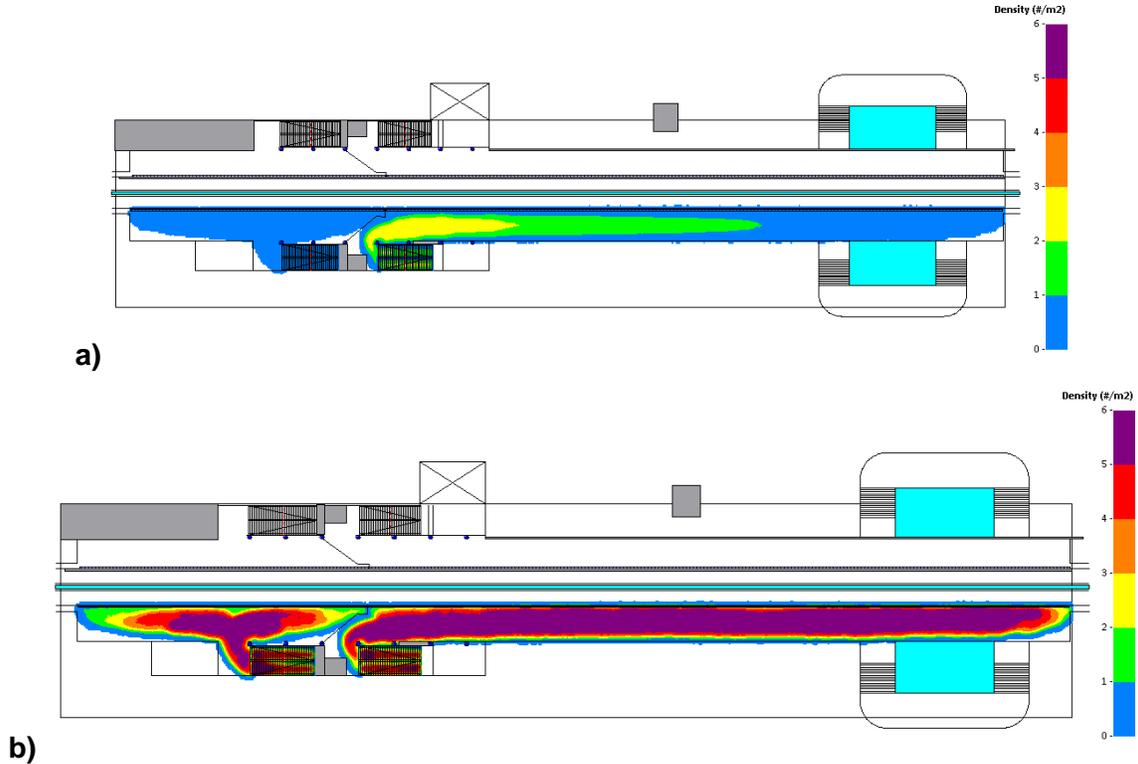


Figura 4.36 a) Mapa de densidad promedio en andén y b) Mapa de densidad máxima en andén. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 1

En este escenario en la estación Merced dirección Pantitlán no presenta áreas con densidades mayores a 4 P/m^2 (Figura 4.13a), mas es evidente que en el segundo mapa (máximas densidades registradas) (Figura 4.13b) se identifican zonas con densidades superiores al límite establecido. En consecuencia, es verosímil afirmar que la configuración del andén en combinación con la multitud en tránsito generará aplastamientos severos de los usuarios y por tanto se prevé un bajo desempeño ante una evacuación total del tren presente. Por lo que, es notable que 1) la configuración de los accesos a las escaleras hace a esta una zona de vulnerabilidad y, 2) es posible que la implementación de los controles de flujo peatonal tenga una gran influencia en el desempeño de la evacuación.

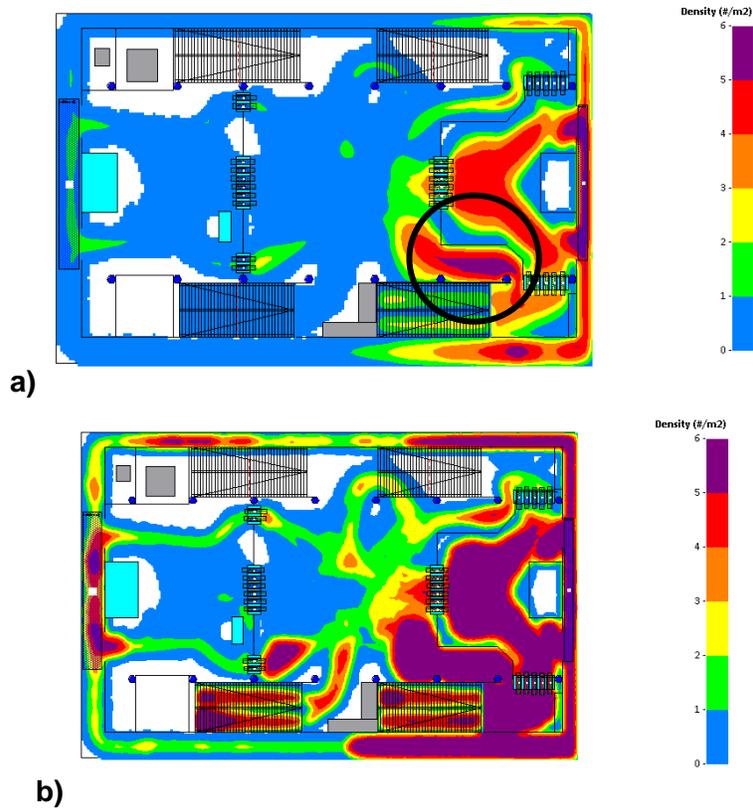


Figura 4.37 a) Mapa de densidad promedio en vestíbulo y b) Mapa de densidad máxima en vestíbulo. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 1

En el mismo escenario, pero en el área de vestíbulo (Figura 4.14a), se aprecian áreas con densidades mayores a 4 P/m² y se indican con una circunferencia de color negro. En consecuencia, es verosímil afirmar que la configuración del pasillo que comunica las escaleras para vagones mixtos dirección Pantitlán en combinación con la multitud en tránsito generarán aplastamientos severos de los usuarios y por tanto un bajo desempeño ante una evacuación total del tren presente y, como en el caso del andén, esta estructura es crítica y a causa de ello, hace de esta una zona de vulnerabilidad.

4.5.2. Estación Merced de Línea 1, dirección de Pantitlán a Observatorio

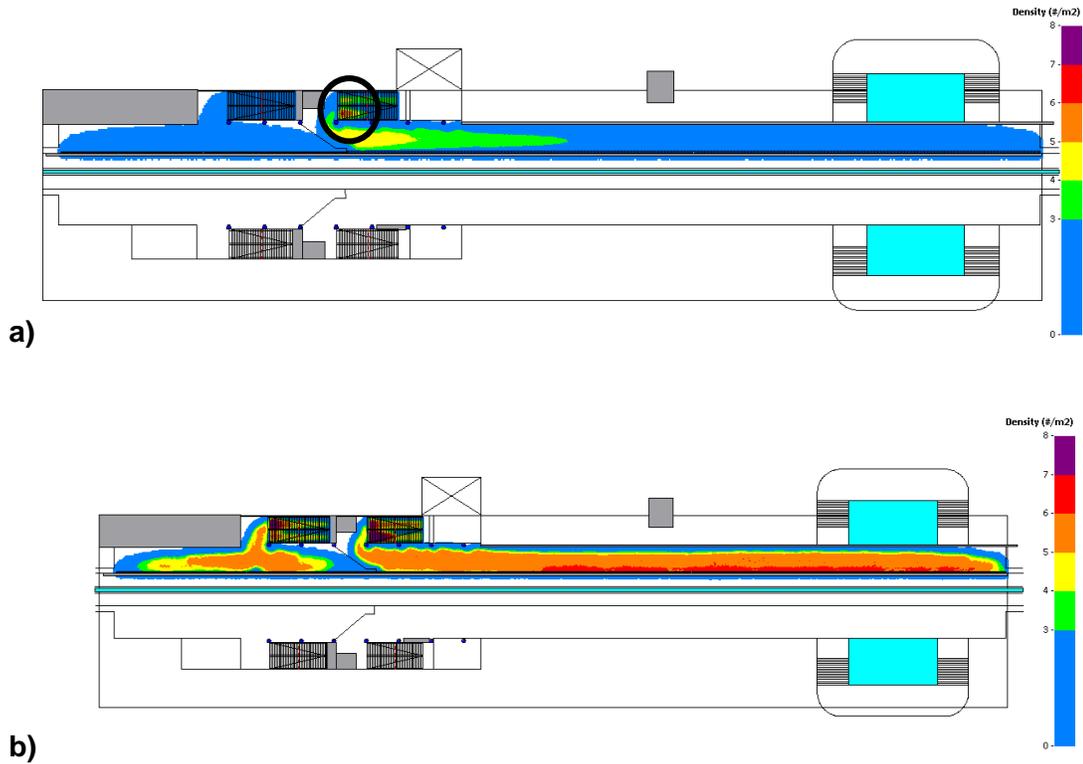


Figura 4.38 a) Mapa de densidad promedio en andén y b) Mapa de densidad máxima en andén. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 2

En el escenario 2, que corresponde también en la estación Merced, pero en dirección Observatorio se aprecian áreas con densidades mayores a 4 P/m² (Figura 4.15a) y se indican con una circunferencia de color negro. En consecuencia, es verosímil afirmar que la configuración de los primeros escalones de la escalera para vagones mixtos dirección Observatorio en combinación con la multitud en tránsito generarán aplastamientos severos de los usuarios y por tanto un bajo desempeño ante una evacuación total del tren presente; así como en el caso del escenario 1, para este escenario esa zona señalizada, la configuración de los accesos a las escaleras hace a esta una zona de vulnerabilidad y, del mismo modo, es posible que la implementación de los controles de flujo peatonal tenga una gran influencia en el desempeño de la evacuación.

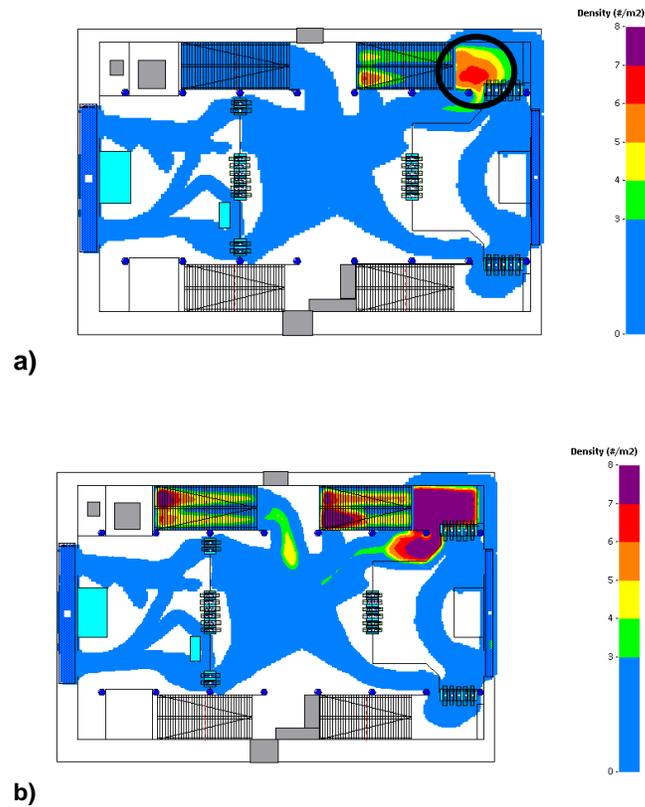


Figura 4.39 a) Mapa de densidad promedio en vestíbulo y b) mapa de densidad máxima en vestíbulo. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 2

En el mismo escenario, pero en el vestíbulo (Figura 4.16), se aprecian áreas con densidades mayores a $4 P/m^2$ y se indican con una circunferencia de color negro. En consecuencia, es verosímil afirmar que la configuración del pasillo que comunica las escaleras para vagones mixtos dirección Observatorio en combinación con la multitud en tránsito generará aplastamientos severos de los usuarios y por tanto un bajo desempeño ante una evacuación total del tren presente, situación en donde se infiere que esta estructura es crítica y a causa de ello, hace de esta una zona de vulnerabilidad.

4.5.3. Hidalgo (Línea 2) dirección Cuatro Caminos: Escenario 3

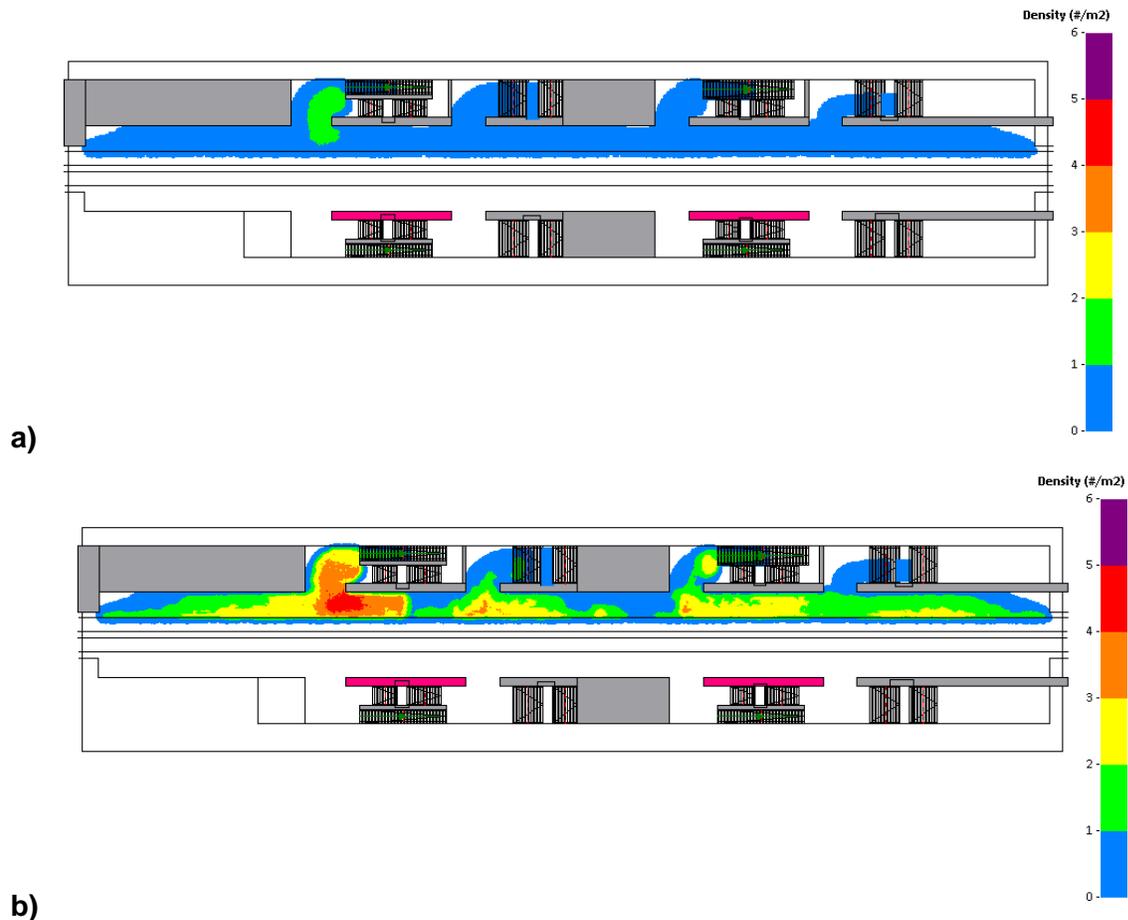


Figura 4.40 a) Mapa de densidad promedio en andén y b) mapa de densidad máxima en andén. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 3.

En el caso del escenario 3, en la estación Hidalgo en dirección a Cuatro Caminos no se presentaron áreas con densidades mayores a 4 P/m², mas es evidente que en el segundo mapa (máximas densidades registradas) se identifican zonas con densidades superiores al límite establecido, en especial en la escalera de la cabecera del andén (Figura 4.33). En consecuencia, es verosímil afirmar que la configuración del andén en combinación con la multitud en tránsito generará aplastamientos severos de los usuarios y por tanto se prevé un bajo desempeño ante una evacuación total del tren presente. Estas observaciones, permiten suponer que, así como en el caso de los escenarios 1 y 2, en la estación Hidalgo (Línea 2) en dirección a Cuatro Caminos, la configuración del acceso a esa escalera hace de ésta una zona de vulnerabilidad y, del mismo modo, es posible que la implementación de los controles de flujo peatonal tenga una gran influencia en el desempeño de la evacuación de la estación en análisis.

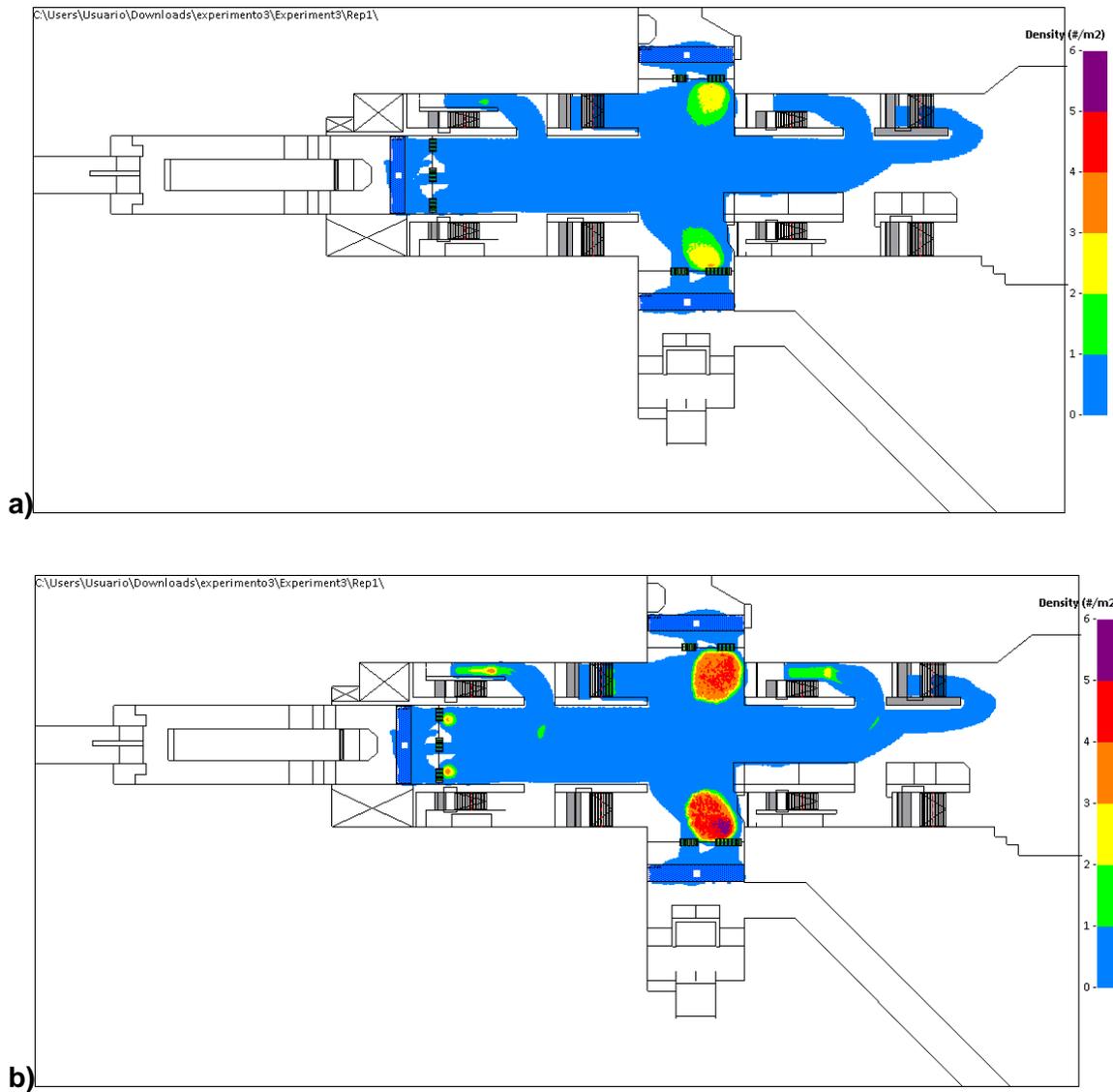


Figura 4.41 a) Mapa de densidad promedio en vestíbulo y b) mapa de densidad máxima en vestíbulo. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 3

En el mismo escenario, pero en el vestíbulo (Figura 4.34), en el primer mapa (densidades promedio) no se presentan áreas con densidades mayores a 4 P/m², mas es evidente que en el segundo mapa (máximas densidades registradas) se identifica a los torniquetes de salida como zonas con densidades superiores al límite establecido. En consecuencia, es verosímil afirmar que la configuración de la zona de torniquetes en combinación con la multitud en tránsito generará aplastamientos severos de los usuarios y por tanto se prevé un bajo desempeño ante una evacuación total del tren presente. Razón por la cual, esta área se reconoce e identifica como una infraestructura crítica y una zona de vulnerabilidad.

4.5.4. Hidalgo (Línea 2) dirección Taxqueña: Escenario 4

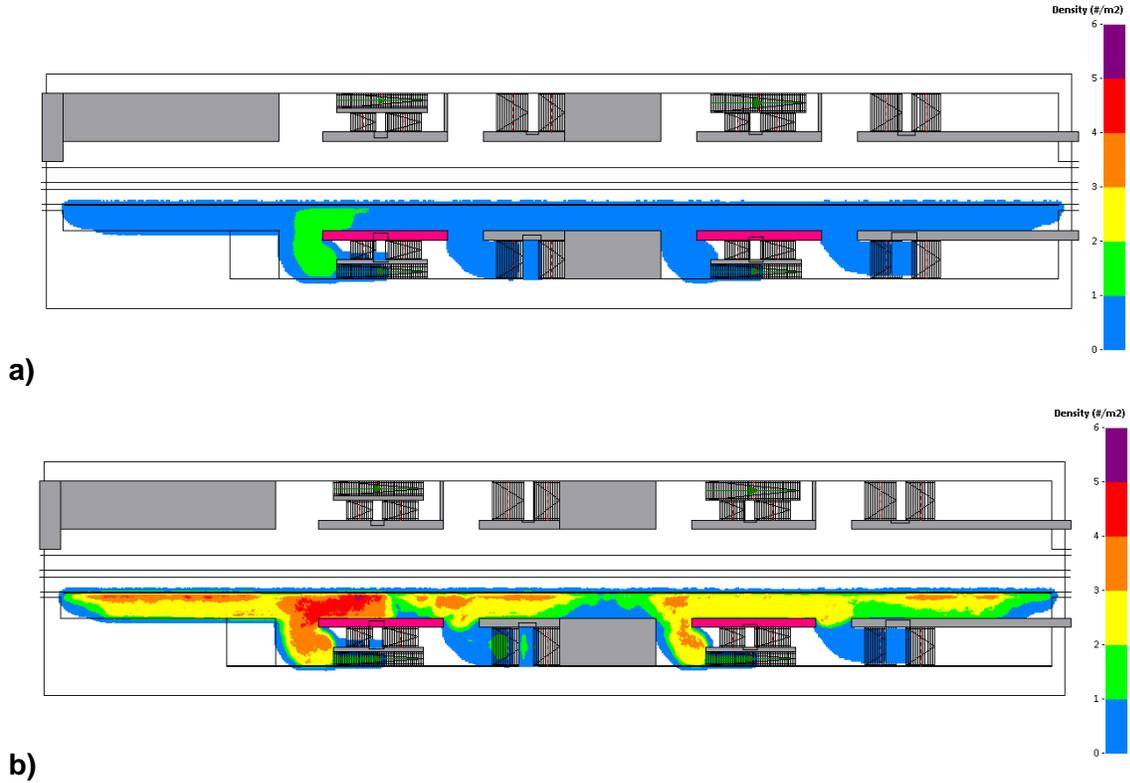


Figura 4.42 a) Mapa de densidad promedio en andén y b) mapa de densidad máxima en andén. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 4

Del escenario 4, también en la estación Hidalgo (Línea 2), pero ahora en dirección a Taxqueña, tal como se aprecia en el primer mapa (Figura 4.a), no se presentan áreas con densidades mayores a 4 P/m² más es evidente que en el segundo mapa (máximas densidades registradas) se identifican zonas con densidades superiores al límite establecido, en especial en la escalera de la retaguardia del andén (Figura 4.35 b). En consecuencia, es verosímil afirmar que la configuración del andén en combinación con la multitud en tránsito generará aplastamientos severos de los usuarios y por tanto se prevé un bajo desempeño ante una evacuación total del tren presente. Como se ha dicho en los contextos de los escenarios anteriores, estas observaciones, permiten suponer que, en la estación Hidalgo (Línea 2) en dirección a Tasqueña, la configuración del acceso a esa escalera hace de ésta una zona de vulnerabilidad y, del mismo modo, es posible que la implementación de los controles de flujo peatonal tenga una gran influencia en el desempeño de la evacuación de la estación en análisis.

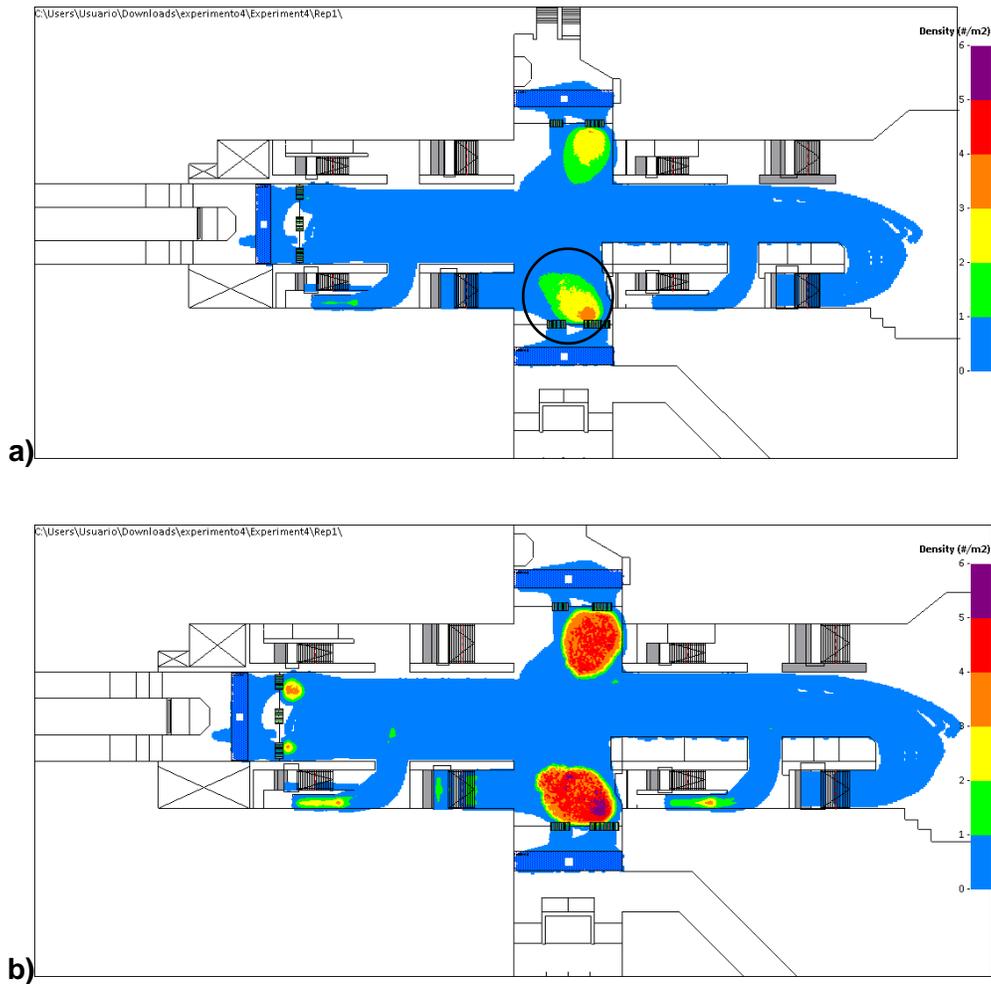


Figura 4.43 a) Mapa de densidad promedio en vestíbulo y b) mapa de densidad máxima en vestíbulo. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 4

En el contexto del mismo escenario 4, pero en el vestíbulo, se aprecian áreas con densidades mayores a 4 P/m^2 y se indican con una circunferencia de color negro (Figura 4.36). En consecuencia, es verosímil afirmar que la configuración de los torniquetes de salida de dirección Tasqueña en combinación con la multitud en tránsito generarán aplastamientos severos de los usuarios y por tanto un bajo desempeño ante una evacuación total del tren presente. Así, como se observó en los resultados del escenario 3, se admite por el momento que la zona de torniquetes de salida de esta estación se reconoce e identifica como una infraestructura crítica y una zona de vulnerabilidad.

4.5.5. Guerrero (Línea 3) dirección Universidad: Escenario 5

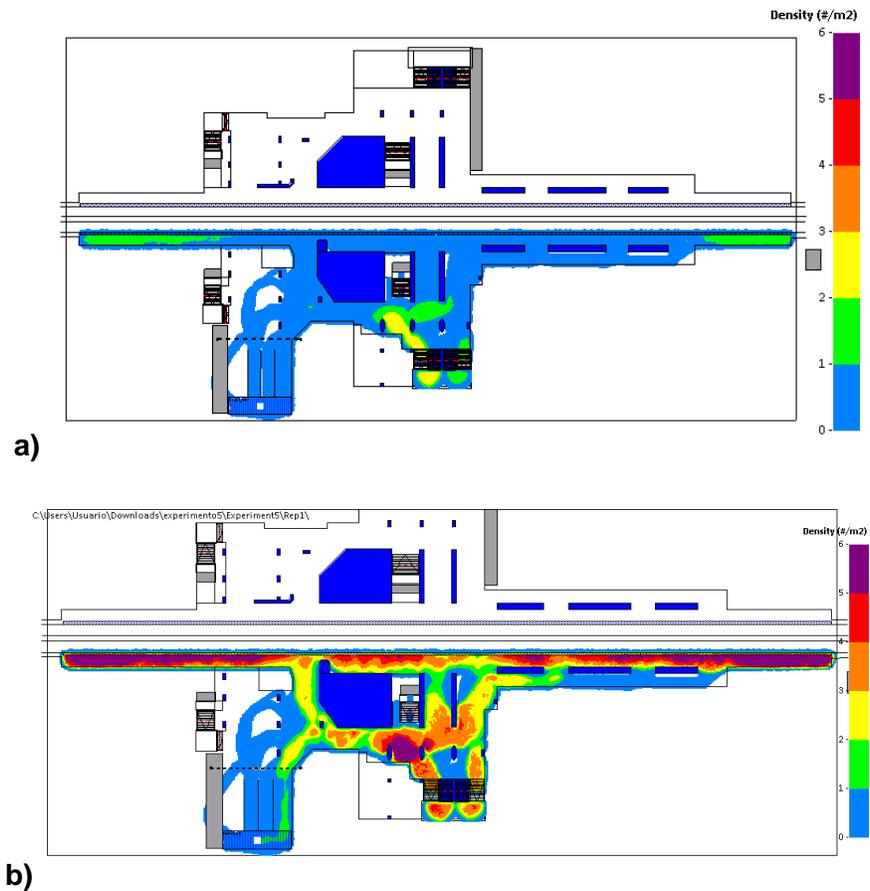


Figura 4.44 a) Mapa de densidad promedio en andén y b) mapa de densidad máxima en andén. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 5

El escenario 5 se desarrolló para la estación Guerrero en dirección a Universidad, en la imagen del primer mapa podemos observar claramente que no se presentan áreas con densidades mayores a 4 P/m², mas, como en el caso de los escenarios anteriores, se evidencia que en el segundo mapa (máximas densidades registradas) se identifican zonas con densidades superiores al límite establecido (Figura 4.57). En consecuencia, es verosímil afirmar que a configuración del andén en combinación con la multitud en tránsito generará aplastamientos severos de los usuarios y por tanto se prevé un bajo desempeño ante una evacuación total del tren presente. Bajo la misma lógica del análisis, es pertinente suponer que, en la estación Guerrero (Línea 3) en dirección a Universidad, la configuración del acceso a escaleras hace de ésta una zona de vulnerabilidad y, de igual manera, es posible que la implementación de los controles de flujo peatonal tenga una gran influencia en el desempeño de la evacuación de la estación en análisis.

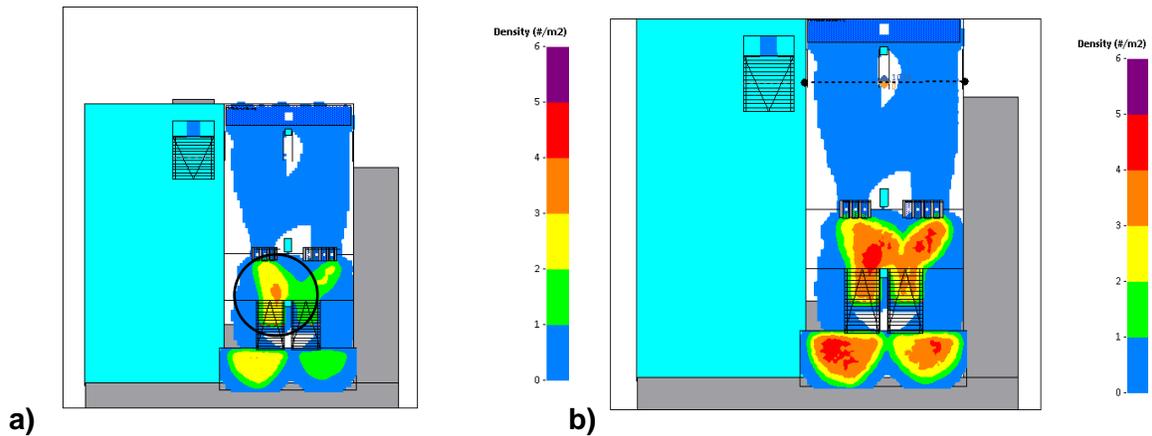
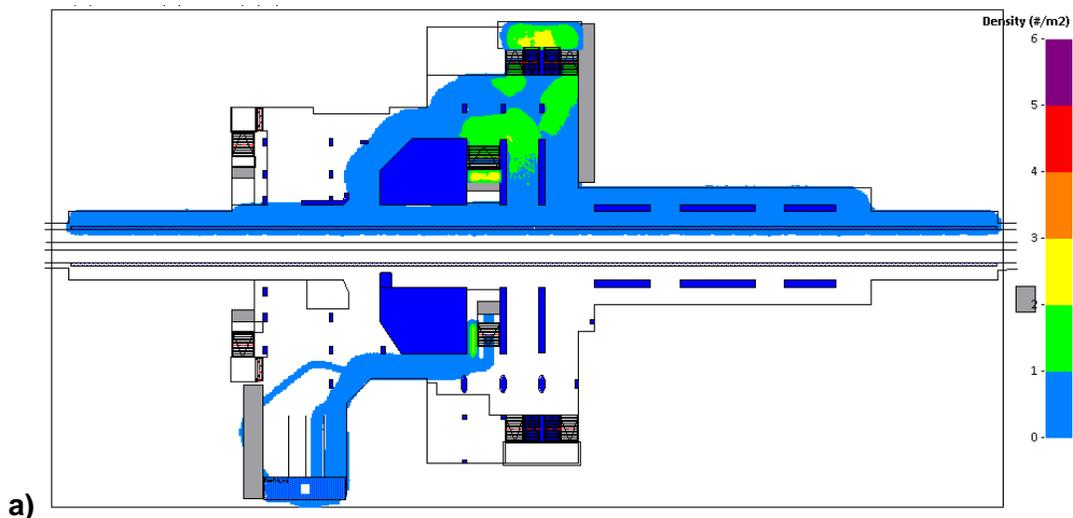


Figura 4.45 a) Mapa de densidad promedio en vestíbulo y b) mapa de densidad máxima en vestíbulo. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 5

En el mismo escenario 5, pero en el vestíbulo de la estación Guerrero (Figura 4.58), para ambas densidades se aprecian áreas con densidades mayores a 4 P/m², las cuales se indican con una circunferencia de color negro. En consecuencia, es verosímil afirmar que la configuración de los torniquetes de salida de dirección Universidad en combinación con la multitud en tránsito generarán aplastamientos severos de los usuarios y por tanto un bajo desempeño ante una evacuación total del tren presente. Como se observó en los resultados de la estación Merced (Línea 1) e Hidalgo (Línea 2), es pertinente admitir que hasta este momento que la zona de torniquetes de salida de la estación Guerrero (línea 3) se reconoce e identifica como una infraestructura crítica y una zona de vulnerabilidad.

4.5.6. Guerrero (Línea 3) dirección Indios Verdes: Escenario 6



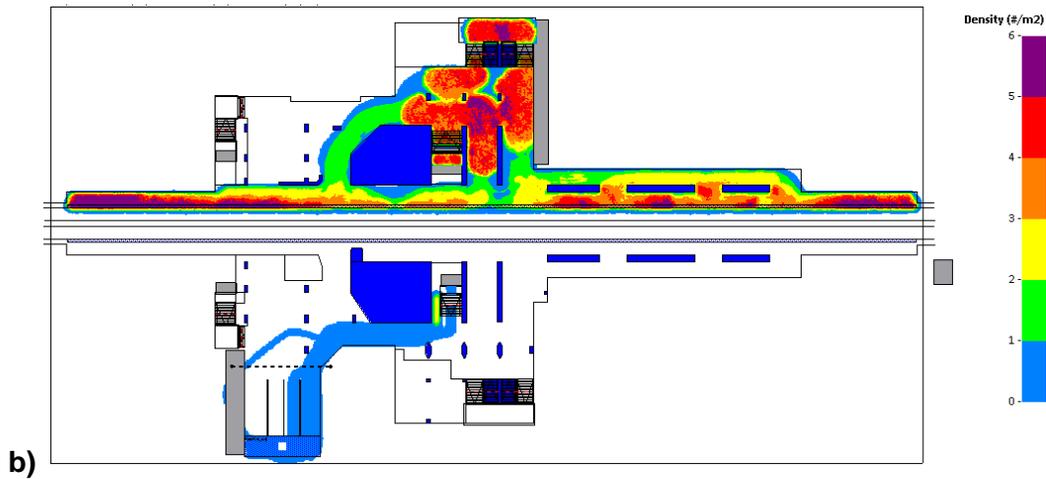


Figura 4.46 a) Mapa de densidad promedio en andén y b) mapa de densidad máxima en andén. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 6

El escenario 6 corresponde también a la estación Guerrero (Línea 3), pero en dirección a Indios Verdes, como se puede notar, ocurre el mismo patrón, en el mapa de las densidades promedio no presentan áreas con densidades mayores a 4 P/m², sin embargo, se puede observar que en el segundo mapa (máximas densidades registradas) se identifican zonas con densidades superiores al límite establecido (Figura 4.59). En consecuencia, es verosímil afirmar que la configuración del andén en combinación con la multitud en tránsito generará aplastamientos severos de los usuarios y por tanto se prevé un bajo desempeño ante una evacuación total del tren presente. Por consiguiente y, bajo la lógica del análisis, es pertinente suponer que, en la estación Guerrero (Línea 3) en dirección a Indios Verdes, la configuración del acceso a escaleras hace de ésta una zona de vulnerabilidad y, de igual manera, es posible que la implementación de los controles de flujo peatonal tenga una gran influencia en el desempeño de la evacuación de la estación en análisis.

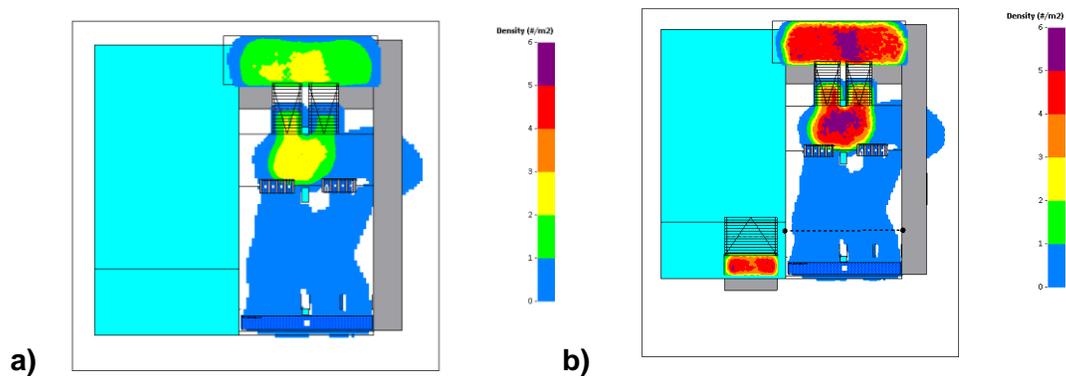
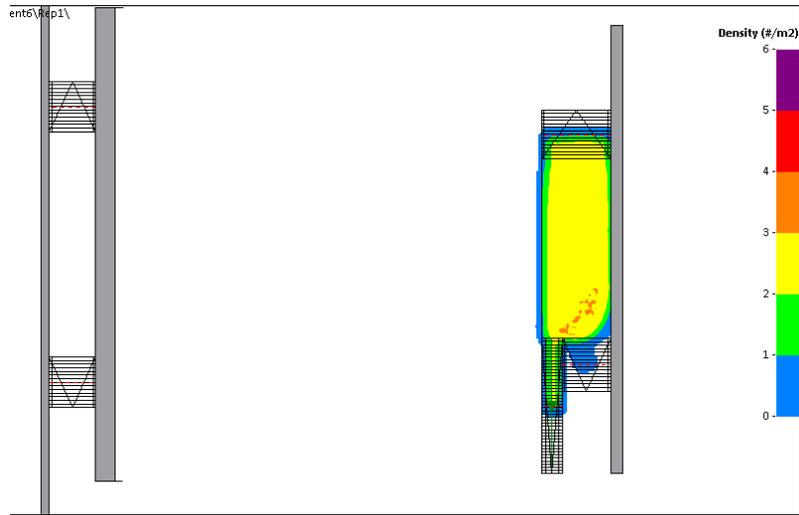


Figura 4.47 a) Mapa de densidad promedio en vestíbulo y b) mapa de densidad máxima en vestíbulo. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 6

En el mismo escenario, pero en el vestíbulo, para densidades promedio, no se aprecian áreas con densidades mayores a 4 P/m², sin embargo, para densidades máximas, se puede apreciar en la imagen de la Figura (4.b) zonas con densidades superiores al límite establecido. En consecuencia, es poco verosímil afirmar que la configuración de los torniquetes de salida de dirección Indios Verdes en combinación con la multitud en tránsito generarán aplastamientos severos de los usuarios. Por lo tanto, para la estación Guerrero (línea 3) es pertinente admitir hasta este momento que la zona de torniquetes de salida de dirección a Indios Verdes se reconoce e identifica como una infraestructura crítica y una zona de vulnerabilidad.

a)



b)

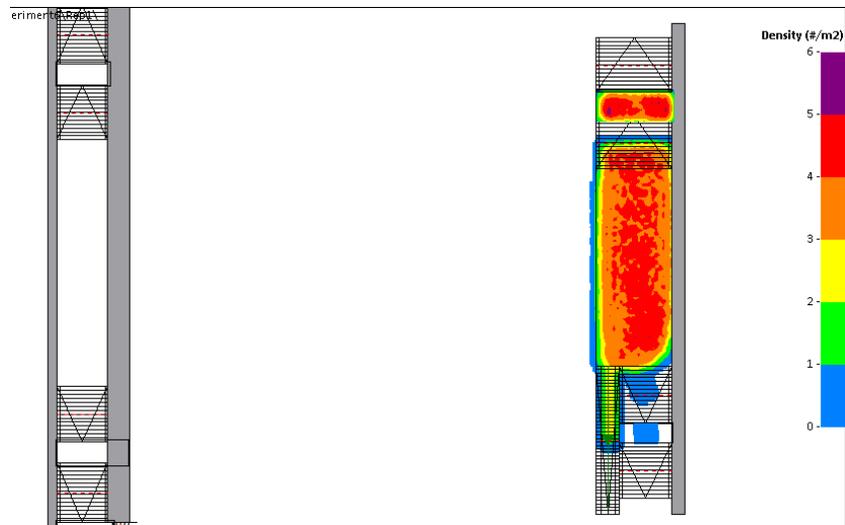


Figura 4.48 a) Mapa de densidad promedio en las escaleras de cambio de dirección y b) mapa de densidad máxima en las escaleras de cambio de dirección. Ambos generados bajo las condiciones del escenario 6

La estación Guerrero (Línea 3) a diferencia de las otras estaciones de estudio, cuenta con zonas para cambio de dirección adicionales a las escaleras de acceso a plataforma. Como se aprecia en el mapa de la Figura 4.61, para las densidades máximas, existen áreas con densidades mayores a 4 P/m². En consecuencia, es poco verosímil afirmar que la configuración del pie de las escaleras eléctricas en combinación con la multitud en tránsito generará aplastamientos severos de los usuarios y, con ellos también es pertinente reconocerla como una infraestructura crítica y una zona de vulnerabilidad.

4.6. Determinación de los factores críticos para la definición de las características de simulación de los escenarios de evacuación de emergencia

Existen una cantidad de factores que afectan a los procesos de evacuación tales como la arquitectura del lugar, el número personas presente, los perfiles de personas que están en el sitio (edad, condición física, sexo, educación) (Kisko & Francis, 1985), las fuente y sumideros de las personas, la conformación de grupos (Khan et al., 2017), además de otras características psicológicas que permitan modelar la respuesta ante situaciones de pánico (Wang, 2016), es por ello, que para el desarrollo de esta investigación se establecieron cinco factores.

Como se afirmó arriba, se postularon cinco factores que pueden conformar a los diferentes escenarios de evacuación por emergencia, y mediante el Proceso de Análisis Jerárquico o también llamado Proceso Jerárquico Analítico, se ha acotado el número de escenarios que se han de simular según la prioridad que le confieren las partes interesadas del proyecto (académico, el STC y el usuario de sistema).

Los factores que se analizaron son: 1) La cantidad de usuarios en los horarios establecidos, 2) El tiempo que tardan los trenes en pasar por la estación, 3) Los bloqueos que pueden presentarse en la estación, 4) El escenario de emergencia, y 5) la presencia de tren en andén. A su vez estos factores poseen subfactores (Figura 4.30)

4.6.1. Implementación del Proceso Jerárquico Analítico para la determinación de los factores críticos

A fin de establecer la configuración de los escenarios de evacuación de mayor importancia se empleó el Proceso de Análisis Jerárquico o también llamado Proceso Jerárquico Analítico, el cual es un método desarrollado por Thomas L. Saaty para la toma de decisiones, que se basa en la capacidad intrínseca del ser humano de estructurar sus percepciones o ideas jerárquicamente a través de comparaciones por pares similares contra un criterio dado, la toma de decisiones puede proporcionar juicios para representar la intensidad de la importancia de una cosa sobre el otro (Saaty, 2008; Toskano Hurtado, 2005; Zhu & Xu, 2014) .

4.6.1.1. Modelación de la jerarquía de los elementos de análisis

El primer paso para resolver problemas complejos es descomponerlos en subproblemas más simples (Berger, 2005). Para esta investigación, de la operación de las estaciones: Merced (Línea 1), Hidalgo (Línea 2) y Guerrero (Línea 3), se obtuvieron 7 elementos de análisis para la toma de decisión de los escenarios de evacuaciones, mismos que a continuación se enlistan como los elementos de análisis que permitirán priorizar los escenarios de evacuaciones masivas a simular para su posterior análisis. Los Elementos de Análisis son:

1. Perfil del evaluador:
2. Criterios para selección de escenarios: Relativos a los factores que influyen en la operación del STC
3. Subcriterios de decisión de C1: Relativo a estructuras críticas de análisis tales como escaleras, pasillos, torniquetes, etc.
4. Subcriterios de decisión de C2: Relativo al origen del escenario evento, Incendio y Sismo
5. Subcriterios de decisión de C3: Relativo a la presencia o ausencia de un tren en la estación
6. Subcriterios de decisión de C4: Relativo al horario del escenario evento
7. Subcriterios de decisión de C5: Relativo al tiempo de espera en la llegada de trenes a la estación

Tal como se menciona anteriormente, de los 7 elementos de análisis, se descompusieron en subcriterios presentes en la operación de las estaciones del STC, por ejemplo, del criterio "Perfil del evaluador" el cual es relativo a las partes interesadas pertinentes se establecieron tres subcriterios que corresponden a los juicios del 1) experto académico, 2) personal experto del STC y 3) usuario.

Respecto a los factores determinados para la conformación de las condiciones de las evacuaciones (elemento de análisis 2 "Criterios para selección de escenarios") se consideraron un total de cinco criterios: C1.- Cantidad de usuarios /horario, es decir, la cantidad de usuarios presente con base al horario en el que se presente el escenario evento, C2.- Periodo entre trenes, es decir, el periodo de tiempo de espera entre un tren y el siguiente en llegar a la estación, C3.- Bloqueos en la estación, es decir, bloqueos físicos en estructuras críticas de la estación, C4.- Escenarios de emergencia y C5.- Presencia de tren en andén, es decir, la presencia de un tren en el andén durante el escenario evento (Figura 4.30). Del factor C1 "Cantidad de usuarios /horario" es la *cantidad de usuarios* presente con base al horario en el que se presente el escenario evento", de este factor se definieron tres subfactores: 1) Hora Pico Matutina (HPM), 2) Hora Valle (HV) y 3) Hora pico vespertina (HPV). Del factor C2 "Periodo entre trenes" se definieron tres subfactores: 1) Menos tiempo entre trenes, que significa tiempos cortos de espera en la estación entre la llegada de un tren y el siguiente; 2) Tiempo Promedio entre trenes, es decir, con el valor promedio de tiempo de espera en operación normal y; 3) Más tiempo entre trenes, es decir, con tiempo prolongados de espera en la estación

entre la llegada de un tren y el siguiente. Del factor C3 “Bloqueos en la estación” se definieron cinco subfactores: 1) Escaleras, 2) Pasillos, 3) Torniquetes, 4) Andén y 5) Trasborde. Del factor C4 “Escenarios de emergencia” se definieron dos subfactores: 1) Sismo e 2) Incendio. Del factor C5 “Presencia de tren en andén” se definieron dos subfactores: 1) Con tren en el andén y 2) Sin tren en el andén. En la Tabla 4.18 se muestra el desglose de los 7 elementos de análisis con sus respectivos subcriterios.

Tabla 4.22 Desgloses de los elementos de análisis establecidos para la selección de los escenarios evento de evacuaciones

ELEMENTOS DE ANÁLISIS PARA LA TOMA DE DECISIONES	
<p>1. Perfil del evaluador</p> <ul style="list-style-type: none"> ▲ Académico ▲ Personal del STC ▲ Usuario 	<p>4. Subcriterios de decisión de C2</p> <ul style="list-style-type: none"> ▲ Sismo ▲ Incendio
<p>2. Criterios para selección de escenarios</p> <ul style="list-style-type: none"> ▲ Cantidad de usuarios /horario (C4) ▲ Periodo entre trenes (C5) ▲ Bloqueos en la estación (C1) ▲ Escenarios de emergencia (C2) ▲ Presencia de tren en andén (C3) 	<p>5. Subcriterios de decisión de C3</p> <ul style="list-style-type: none"> ▲ Con tren en el andén ▲ Sin tren en el andén
<p>3. Subcriterios de decisión de C1</p> <ul style="list-style-type: none"> ▲ Escaleras ▲ Pasillos ▲ Torniquetes ▲ Anden ▲ Trasborde 	<p>6. Subcriterios de decisión de C4</p> <ul style="list-style-type: none"> ▲ Hora pico matutina ▲ Hora valle ▲ Hora poco vespertina <p>7. Subcriterios de decisión de C5</p> <ul style="list-style-type: none"> ▲ Más tiempo entre trenes ▲ Tiempo promedio entre trenes ▲ Menos tiempo entre trenes

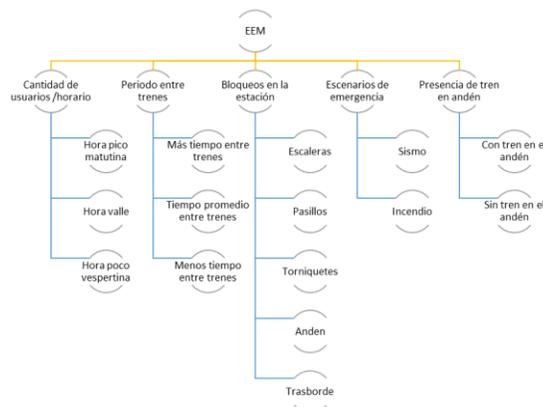


Figura 4.49 Esquema de configuración base para la selección de los escenarios evento de evacuación con base a los criterios de jerarquización (Tomado de Balderas Castro et al., 2017)

Tal como se aprecia en la siguiente figura (Figura 4.30) existen tres niveles de jerarquización con diferente cantidad de elementos de análisis, con la perspectiva de un árbol de decisiones se puede apreciar que existen distintos enfoques de juicios de decisión para la selección de escenarios de evacuaciones (Figura 4.31), que proyectados por sus diferentes órdenes de importancia se derivarán en un complejo arreglo de escenarios de evacuación. Cada nivel establecido representa un valor de importancia o “peso” distinto en relación con el origen del juicio de valor, es decir la fuente de la valoración, y como se mencionó con anterioridad, para esta investigación se definieron tres: el perfil del experto Académico, el perfil del experto del STC y el perfil del usuario.

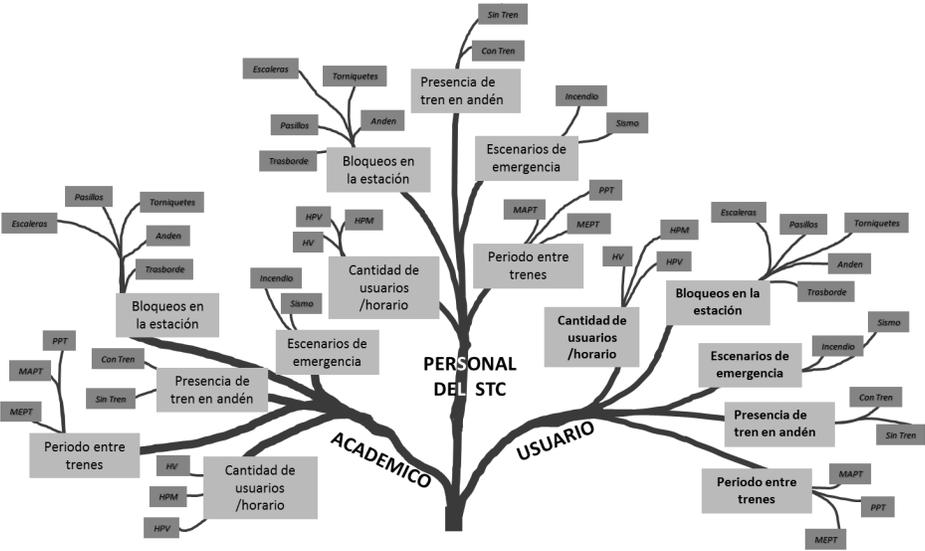


Figura 4.50 Árbol de decisión ramificado con base a los factores de análisis. (Tomado de Balderas Castro et al., 2017)

Del análisis anterior se puede apreciar que, dadas las configuraciones de las condiciones de jerarquización de los criterios de selección de los escenarios de evacuación, el total de escenarios de evacuación para su análisis es de 180 escenarios evento base por estación.

$$NET = (Cu)(Pnt)(Be)(Ee)(Prt)$$

Donde:

NET: Número de escenarios base totales

Cu: Número de subcriterios del Criterio “Cantidad de usuarios /horario”

Pnt: Número de subcriterios del Criterio “Periodo entre trenes”

Be: Número de subcriterios del Criterio “Bloqueos en la estación”

Ee: Número de subcriterios del Criterio “Escenarios de emergencia”

Prt: Número de subcriterios del Criterio “Presencia de tren en andén”

Por lo que:

$$NET = (3)(3)(5)(2)(2) = 180$$

Esta cantidad de escenarios representan un y, tal como se estableció en el capítulo 3, en la sección 3.5 Consideraciones y limitaciones, para el desarrollo de esta investigación, las principales limitantes corresponden al tiempo, el diseño y construcción de los 180 escenarios base requiere de trabajo en horas-hombre y horas- computo que sobrepasarían la viabilidad de esta investigación en el plazo que debe concluirse, por lo que debe valorarse para establecer la prioridad de cada uno. Esta valoración se realiza con base a una medida de escala de razón 1-9, las partes proporcionan juicios sobre comparaciones pareadas de objetivos en cada nivel de la jerarquía. La priorización emplea el método de derivación de las prioridades locales de los objetivos en cada nivel de la jerarquía.

4.6.1.2. Valoración de los elementos de análisis

Para llevar a cabo la priorización se desarrollaron matrices de valoración en donde se registran los juicios de valor emitidos de las comparaciones pareadas de objetivos en cada nivel de la jerarquía con base a una medida de escala de razón 1-9.

Criterio de comparación	Subcriterio 1	Subcriterio 2	Subcriterio 3	Subcriterio 4	Subcriterio 5
Subcriterio 1	1				
Subcriterio 2		1			
Subcriterio 3			1		
Subcriterio 4				1	
Subcriterio 5					1

Figura 4.51 Ejemplo de la matriz de valoración de juicios de comparación pareada de subcriterios

La matriz de valoración (Figura 4.32) consiste de dos zonas, la zona I: por arriba de la diagonal pivote, es en esta zona donde se coloca los valores de los juicios de comparación pareada, y en la zona II, se coloca el valor recíproco de su posición traspuesta.

Tabla 4.23 Valores de descripción de la Escala de Saaty

ESCALA NUMÉRICA	ESCALA VERBAL
1	Ambos criterios o elementos son de igual importancia
3	Débil o moderada importancia de uno sobre el otro
5	Importancia esencial o fuerte de un criterio sobre otro
7	Importancia demostrada de un criterio sobre otro
9	Importancia absoluta de un criterio sobre otro
2, 4, 6, 8,	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores
2	Entre igualmente y moderadamente preferible
4	Entre moderadamente y fuertemente preferible
6	Entre fuertemente y extremadamente preferible
8	Entre muy fuertemente y extremadamente preferible

Los juicios emitidos por las partes pertinentes en las matrices de valoración se observan en el anexo E.

4.6.1.3. *Determinación del Índice de consistencia de las matrices de valoración*

La medición del grado de consistencia de los juicios que muestra el tomador de decisiones durante las comparaciones pareadas es importante porque le permite saber si debe continuar con el proceso de decisión o debe reconsiderar o modificar sus juicios. Los resultados del índice de consistencia deben ser menor a 0.1 para que los juicios sean considerados viables.

Tabla 4.24 Valores del Índice de consistencia obtenidos

Matriz	EXPERTO ACADÉMICO			EXPERTO DEL STC			USUARIO		
	CI	RI	CR	CI	RI	CR	CI	RI	CR
1	0.03872	0.66000	0.05867	0.03361	0.66000	0.05093	0.01363	0.66000	0.02065
2	0.03542	1.18800	0.02982	0.02450	1.18800	0.02063	0.01368	1.18800	0.01152
3	0.05765	1.18800	0.04853	0.02722	1.18800	0.02291	0.03063	1.18800	0.02578
6	0.00695	0.66000	0.15112	0.010530	0.66000	0	0	0.66000	0
7	0.02123	0.66000	0.03216	0.05004	0.66000	0.07582	0.02642	0.66000	0.04003

4.6.1.4. *Obtención de los Pesos de priorización para la definición de los factores críticos*

Con los valores de los juicios de comparación pareados obtenidos, se obtendrán los pesos de priorización de subcriterios de los escenarios de evacuaciones que serán analizados; para ello se calcula por perfil definido, el valor promedio del total de los elementos fila del subcriterio comparado con los elementos de cada columna de la matriz de valorización normalizada; este valor corresponde al elemento fila del vector P correspondiente al subcriterio analizado.

En las tablas 4.24, 4.25 y 4.26 se presenta los pesos o nivel de importancia para cada factor y subfactor de los elementos de análisis, emitidos por los tres diferentes perfiles del evaluador, quienes dieron su respuesta con base a los juicios de valor de su expertiz.

Tabla 4.25 Pesos de priorización obtenidos para el perfil Académico
ACADÉMICO 0.42085092

Factor		Cantidad de usuarios /horario	Periodo entre trenes	Bloqueos en la estación	Escenarios de emergencia	Presencia de tren en andén				
Subfactores	Cantidad de usuarios /horario	0.55	0.08	0.05	0.27	0.05				
	Hora pico matutina	0.78	Más tiempo entre trenes	0.79	Escaleras	0.12	Sismo	0.90	Con tren en el andén	0.90
	Hora valle	0.13	Tiempo promedio entre trenes	0.13	Pasillos	0.11	Incendio	0.10	Sin tren en el andén	0.10
	Hora poco vespertina	0.09	Menos tiempo entre trenes	0.08	Torniquetes	0.08	Andén	0.60	Trasborde	0.08

Tabla 4.26 Pesos de priorización obtenidos para el perfil Personal del STC

PERSONAL DEL STC 0.49880456

Factor		Cantidad de usuarios /horario	Periodo entre trenes	Bloqueos en la estación	Escenarios de emergencia	Presencia de tren en andén				
Subfactores	Cantidad de usuarios /horario	0.37	0.15	0.08	0.37	0.04				
	Hora pico matutina	0.46	Más tiempo entre trenes	0.07	Escaleras	0.37	Sismo	0.50	Con tren en el andén	0.90
	Hora valle	0.08	Tiempo promedio entre trenes	0.17	Pasillos	0.15	Incendio	0.50	Sin tren en el andén	0.10
	Hora poco vespertina	0.46	Menos tiempo entre trenes	0.76	Torniquetes	0.08	Andén	0.37	Trasborde	0.04

Tabla 4.27 Pesos de priorización obtenidos para el perfil Usuario

USUARIO DEL STC 0.08034

Factor		Cantidad de usuarios /horario	Periodo entre trenes	Bloqueos en la estación	Escenarios de emergencia	Presencia de tren en andén				
Subfactores	Cantidad de usuarios /horario	0.23	0.08	0.05	0.49	0.08				
	Hora pico matutina	0.46	Más tiempo entre trenes	0.70	Escaleras	0.09	Sismo	0.33	Con tren en el andén	0.83
	Hora valle	0.08	Tiempo promedio entre trenes	0.08	Pasillos	0.30	Incendio	0.67	Sin tren en el andén	0.17
	Hora poco vespertina	0.46	Menos tiempo entre trenes	0.21	Torniquetes	0.09	Andén	0.48	Trasborde	0.039

4.6.2. Definición de la configuración de las características base de simulación de los escenarios de evacuación de emergencia

Con los pesos obtenidos de la valoración de los elementos, se calificó cada una de las 180 combinaciones que conformaban a los escenarios iniciales, de tal forma que los escenarios más relevantes son los que se presenta en la siguiente tabla (Tabla 4.24)

Tabla 4.28 Configuración de los Escenarios de evacuación priorizados

CANTIDAD DE USUARIOS /HORARIO	PERIODO ENTRE TRENES	BLOQUEOS EN LA ESTACIÓN	ESCENARIOS DE EMERGENCIA	PRESENCIA DE TREN EN ANDÉN
Hora pico matutina	Menos tiempo entre trenes	Anden	Sismo	Con tren en el andén
Hora pico matutina	Menos tiempo entre trenes	Escaleras	Sismo	Con tren en el andén
Hora pico matutina	Menos tiempo entre trenes	Pasillos	Sismo	Con tren en el andén
Hora pico matutina	Menos tiempo entre trenes	Anden	Incendio	Con tren en el andén
Hora pico matutina	Menos tiempo entre trenes	Escaleras	Incendio	Con tren en el andén
Hora pico matutina	Menos tiempo entre trenes	Pasillos	Incendio	Con tren en el andén

Como se puede apreciar en la Tabla 4.24, la cantidad de usuario presente en la Hora Pico Matutina representa mayor importancia de análisis, así como también es de mayor importancia de análisis cuando existe menos tiempo entre trenes, es decir, cuando es menor el periodo de tiempo de espera entre un tren y el siguiente en llegar a la estación, de igual manera, es de mayor importancia de análisis la presencia de tren en el andén cuando existe un evento que detone una evacuación. Finalmente, los bloqueos con mayor interés de análisis son en andén, escaleras y pasillos. Estas características fueron empleadas en el diseño y construcción de la simulación de los escenarios en las tres estaciones de estudio.

4.7. Definición de las características de simulación por computadora de los escenarios de evacuación de emergencia sísmica

4.7.1. Ambiente de simulación para las estaciones de estudio

El primer paso para efectuar el proceso de simulación es la construcción de los ambientes que los agentes enfrentarán. En el software Pedestrian Dynamics® se exportaron los planos en formato DWG (es un formato de archivo utilizado principalmente por el programa AutoCAD), adicional a esto se construyeron las capas y lógica de tránsito implícitas en la estación. En seguida se muestran los ambientes en 2D y 3D (segunda y tercera dimensión):

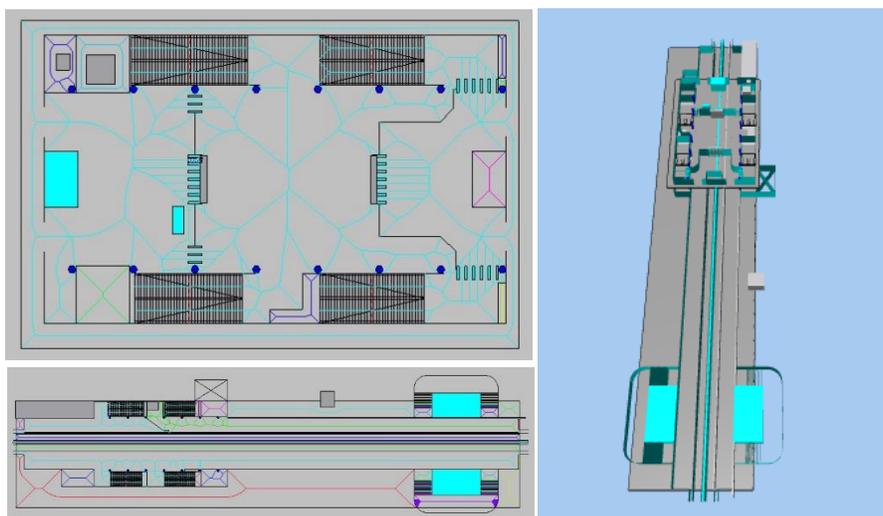


Figura 4.52 Ambiente de simulación de la estación Merced Línea 1

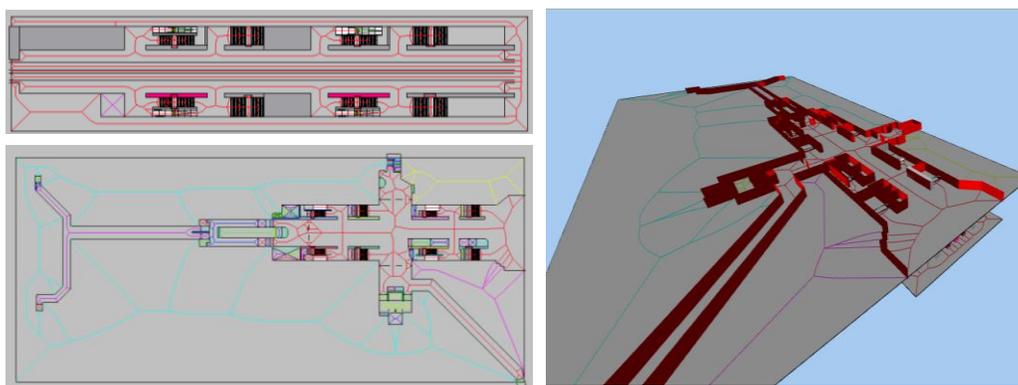


Figura 4.53 Ambiente de simulación de la estación Hidalgo Línea 2

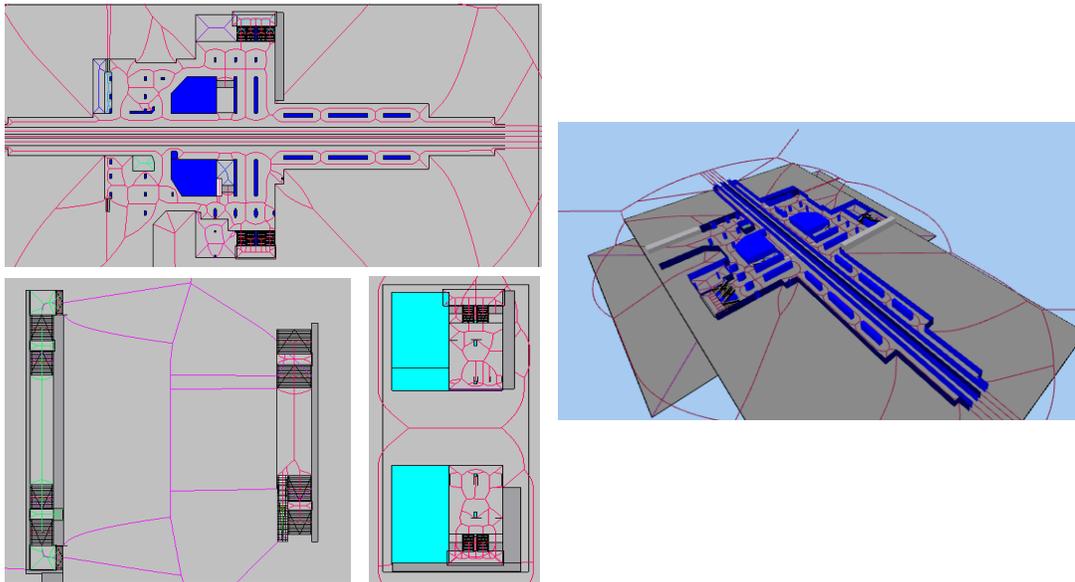


Figura 4.54 Ambiente de simulación de la estación Guerrero Línea 3

4.7.2. Descripción de Escenario Base de evento para la evacuación por emergencia Sísmica.

Durante la hora pico matutina (9 a 10 am), en la estación “de estudio” correspondiente a la Línea “de estudio” llega un tren por la vía de Dirección “1” y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acaece un sismo. La estación posee un bloqueo “Tipo de bloqueo”, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de “X” % del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso al tiempo cero (inmediatamente) del “Y” % de un tren superpoblado. La instrucción a los usuarios es de repliegue. Dicho esto, a los 3 minutos se da la orden evacuar la estación. Además, la puerta de cortesía no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasborde y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.

Tabla 4.29 Parámetros establecidos para la simulación de escenarios de evacuación por emergencia sísmica

PARAMETRO	VALOR
Periodo entre trenes [s]	95
Tiempo de detección [s]	0
Número de usuarios en el tren	Vía 1 2250 Vía 2 0
Tasa de ingreso torniquete	1 U / 0.54 s
Tasa de ingreso trasborde	380 U / 215 s
Área del agente[m ²]	0.2191

Velocidad máxima [m/s]		U~ (1.475, 1.69)
Número de replicas		30
Tipo de respuesta		Inmediata
Tiempo de inicio de la evacuación [s]		180
Proporción de división del	Vía 1	0.64
flujo de entrada	Vía 2	0.36

4.8. Evaluación de la Simulación de Escenarios de Evacuación por Emergencia Sísmica.

Como se ha descrito en esta investigación, México se encuentra en una zona de alta sismicidad debido a la interacción de 5 placas tectónicas: la placa de Norteamérica, la de Cocos, la del Pacífico, la de Rivera y la placa del Caribe. Por esta razón no es rara la ocurrencia de sismos (Gutiérrez Martínez et al., 2014; Krishna Singh, 1991; Rosenblueth, 1992). El Servicio Sismológico Nacional reporta en promedio la ocurrencia de 40 sismos por día. Tan solo, de enero del 2017 a julio del 2018 se registraron 109 sismos mayores a 5 unidades de magnitud (Servicio Sismológico Nacional, 2018), esto marca la relevancia de llevar a cabo simulaciones por computadora de escenarios de evacuación en el marco de un sismo.

Mas aún, el STC en el Protocolo de Actuación para la Atención de la Emergencia generada por un sismo (PAAES) perteneciente al Manual de Protocolos de Actuación en la Atención de Casos de Emergencia, clasifica las estaciones de estudio con Alta Vulnerabilidad Sísmica por la zona geográfica en la que se ubican, es decir, con base al "Atlas de riesgos, zonas sísmicas" que el propio STC presenta en el PAAES.

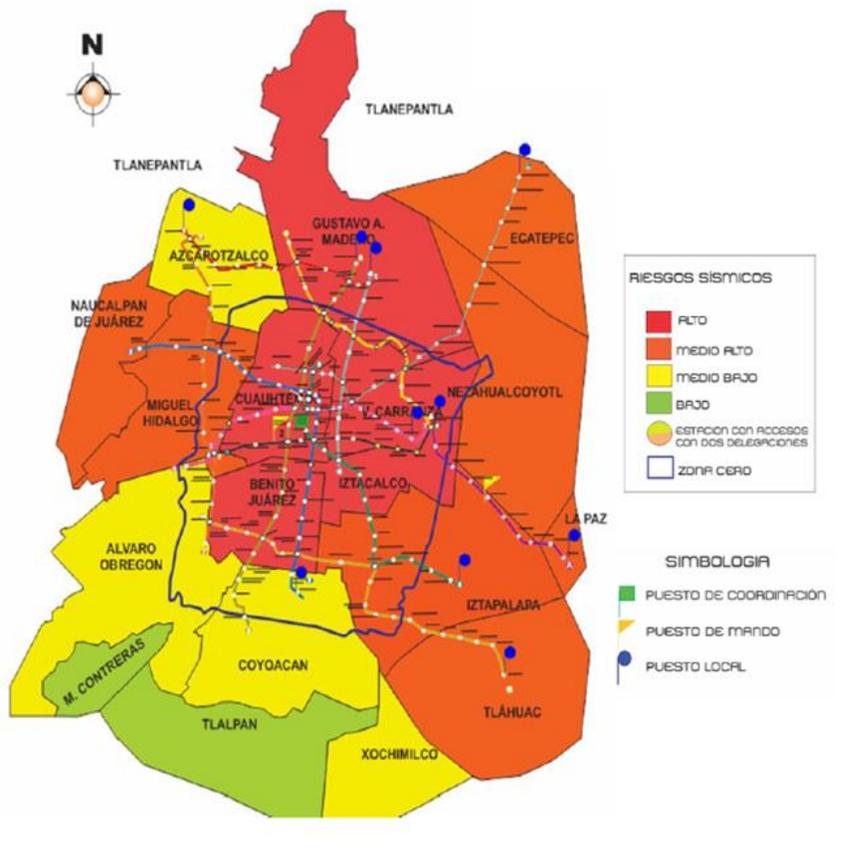


Figura 4.55. Atlas de Riesgo. Zonas Sísmicas (STC Metro, 2017)

Por lo antes mencionado, para la presente investigación se definieron, los escenarios de evacuación por emergencia sísmica, con base al análisis de los resultados obtenidos de la determinación de los factores críticos en las características de simulación de los escenarios de evacuación de emergencia (ver sección 4.6). Los cuales se diferencian por el tipo de bloqueo (Ver Tabla 4.30, de la sección 4.6.2).

Es necesario recalcar que, tal como se estableció en el capítulo 3, en la sección 3.5 Consideraciones y limitaciones para el desarrollo de esta investigación, las principales limitantes corresponden al tiempo; la construcción, evaluación y análisis de la simulación de los escenarios de evacuación por emergencia sísmica bajo los diferentes tipos de bloqueos requiere de trabajo en horas-hombre y horas-computo que sobrepasan la viabilidad de esta investigación en el plazo que debe concluirse. Por lo que, derivado del análisis de resultados obtenidos en los escenarios de incendio (Anexo F), en donde se evaluó el efecto que los diferentes tipos de bloqueos definidos tiene en el tiempo de evacuación de las estaciones de estudio; así con base a los resultados de este análisis, se determinó que, la simulación de los escenarios de evacuación por emergencia sísmica

se realizará bajo los bloqueos descritos en la Tabla 4.31. Estos bloqueos fueron los que tuvieron un efecto estadísticamente significativo en el tiempo de evacuación de las estaciones de estudio.

Descripción de los bloqueos para las estaciones de estudio.

ESTACIÓN	LÍNEA	ID DE BLOQUEO	DESCRIPCIÓN DEL BLOQUEO
MERCED	1	2B	Bloqueo parcial del 50% en las escaleras para vagones mixtos dirección Observatorio
		3A	Bloqueo del 50% en el pasillo del vestíbulo que da a las escaleras para vagones mixtos dirección Observatorio
HIDALGO	2	2B	Bloqueo total de la escalera 2 dirección Tasqueña
		3A	Bloqueo del 50% en el vestíbulo
GUERRERO	3	1A	Bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén
		3C	Bloqueo total del pasillo 3

Por otra parte, el PAAES del STC antes mencionado, indica que, en el caso de un evento sísmico, el personal debe, durante el evento, realizar a través del interfono los voceos respectivos para informar y tranquilizar a los usuarios, difundir que mantengan la calma, que las instalaciones son seguras, que se evite salir de la estación, que se permanezca en el interior del tren o se repliéguese hacia la pared del andén, vestíbulos y pasillos, y; después del evento, evacuar las instalaciones. Por su parte, Centro de Comando, Control, Comunicaciones y Contacto Ciudadano de la Ciudad de México (conocido como C5) menciona en su plataforma digital que, si el tren se encuentra cerca de la estación, este llegará y abrirá las puertas para que los usuarios puedan replegarse en las zonas de menor riesgo y, una vez que termine el sismo se sigan las indicaciones de los brigadistas de Protección Civil. Por lo que, tomando como base de referencia que el STC por medio del Protocolo de Actuación para la Atención de la Emergencia generada por un sismo (PAAES) busca:

“Establecer los mecanismos de actuación y comunicación a desarrollar por el personal del Sistema de Transporte Colectivo antes, durante y después de la emergencia generada por un sismo y, aplicando los criterios de actuación y las consignas operativas, con el propósito de salvaguardar la integridad física de los usuarios y empleados.”

En la presente investigación desarrollaron simulaciones por computadora de escenarios de evacuación por emergencia sísmica, en donde se consideró variaciones en los porcentajes designados para las áreas de zona de repliegue y en los porcentajes de descarga de usuarios del

tren al andén durante un evento sísmico, con el fin de evaluar el efecto de ellos en los tiempos de evacuación de la estación.

De las zonas de repliegue, se definieron tres variaciones en los porcentajes del área viable y disponible para el repliegue, considerando las áreas en andén, vestíbulos y pasillos establecidas en el protocolo, así los porcentajes evaluados fueron: 15%, 30% y 45%. De los porcentajes de descenso del tren al andén, en protocolo no existe referencia de la cantidad pertinente de usuarios que deben descender, por otro lado, se llevó a cabo el análisis de videograbaciones de estaciones del STC en el momento en el que se presentó un sismo, pero derivado de éste, no fue posible establecer un valor del porcentaje de descenso de usuarios del tren al andén, inmediato o al tiempo cero de iniciado el evento sísmico, así mismo, en la revisión de la literatura tampoco se encontró evidencia de otras investigaciones en donde se evaluó el efecto al tiempo de evacuación del porcentaje de descenso del vagón al andén, por lo que, en el marco de esta investigación, se evaluaron cuatro valores de porcentajes de descarga de los usuarios presentes en un tren superpoblado que fueron: 25%, 50%, 75% y 100%. Con ello, se busca identificar si existe un efecto en el tiempo de evacuación de la estación debido a las actividades de repliegue y salvaguarda en el vagón del tren.

Tabla 4.32 Factores de evaluación de los escenarios en el marco de un sismo referentes a zonas de repliegue y descenso de usuarios

PORCENTAJES DEFINIDOS PARA LAS ÁREAS DE ZONA DE REPLIEGUE	PORCENTAJES DEFINIDOS PARA EL DESCENSO DE USUARIOS DEL VAGÓN AL ANDEN
15	25
30	50
45	75
	100

Así, para el presente proyecto, se llevó a cabo un diseño experimental para la simulación por computadora de escenarios de evacuación bajo las características de tres porcentajes para la zona de repliegue y cuatro porcentajes de descenso, donde se observa el efecto en el tiempo de evacuación de los escenarios con los dos bloqueos establecidos para cada estación de estudio, cabe destacar que para evaluar si existe un efecto se compararon los escenarios bajo las mismas condiciones, pero sin bloqueo.

4.8.1. De la simulación de los Escenario de evacuación en la Estación Guerrero (Línea 3)

Como se ha descrito en el texto anterior, derivado del análisis de resultados obtenidos en los escenarios de incendio se determinó que, para el caso del marco de un sismo, la simulación por computadora de los escenarios de evacuación de emergencia sísmica para la estación Guerrero (Línea 3) se desarrollaran con los bloqueos descritos en la Tabla 4.33.

Tabla 4.33 Descripción de los bloqueos en la estación Guerrero (Línea 3)

ID DE BLOQUEO	DESCRIPCIÓN DEL BLOQUEO
1A	Bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén
3C	Bloqueo total del pasillo 3

Con respecto a las condiciones de repliegue y descenso para la simulación por computadora de los escenarios de evacuación de emergencia sísmica, como se describió anteriormente, los porcentajes de las áreas de zona de repliegue establecidos fueron de 15%, 30% y 45% del área total en andén, vestíbulos y pasillos.

Así también, de los porcentajes de descenso del tren al andén establecieron los cuatro valores de porcentajes de descarga de los usuarios presentes en un tren superpoblado que fueron: 25%, 50%, 75% y 100%, para evaluar el efecto en el tiempo de evacuación de la estación.

Así, se llevó a cabo un diseño del experimento (Tabla 4.34) para la simulación por computadora de escenarios de evacuación masiva de la estación Guerrero (Línea 3) bajo las características de tres porcentajes para la zona de repliegue y cuatro porcentajes de descenso, donde se observará el efecto en el tiempo de evacuación de los escenarios con los dos bloqueos establecidos (Tabla 4.33), comparándolos con escenarios bajo las mismas condiciones, pero sin bloqueo (Tabla 4.35).

Tabla 4.34 Diseño del experimento para la simulación por computadora de escenarios de evacuación masiva con dos tipos de bloqueo en la estación Guerrero (línea 3)

SECUENCIA DE ESCENARIO	ID	TIPO DE BLOQUEO EN ESTACIÓN	PORCENTAJE PARA ZONA DE REPLIEGUE	PORCENTAJE DE DESCENSO DE USUARIOS DEL TREN AL ANDÉN
1	1AZ1D1	1A	15	25
2	1AZ1D2	1A	15	50
3	1AZ1D3	1A	15	75
4	1AZ1D4	1A	15	100
5	1AZ3D1	1A	30	25
6	1AZ3D2	1A	30	50
7	1AZ3D3	1A	30	75

8	1AZ3D4	1A	30	100
9	1AZ4D1	1A	45	25
10	1AZ4D2	1A	45	50
11	1AZ4D3	1A	45	75
12	1AZ4D4	1A	45	100
13	3CZ1D1	3C	15	25
14	3CZ1D2	3C	15	50
15	3CZ1D3	3C	15	75
16	3CZ1D4	3C	15	100
17	3CZ3D1	3C	30	25
18	3CZ3D2	3C	30	50
19	3CZ3D3	3C	30	75
20	3CZ3D4	3C	30	100
21	3CZ4D1	3C	45	25
22	3CZ4D2	3C	45	50
23	3CZ4D3	3C	45	75
24	3CZ4D4	3C	45	100

Tabla 4.35 Diseño experimental para la simulación por computadora de escenarios de evacuación masiva sin de bloqueo en la estación Guerrero (línea 3)

CORRIDA	ID	PORCENTAJE PARA ZONA DE REPLIEGUE	PORCENTAJE DE DESCARGA DE USUARIOS DE TRENES
1	TZ1D1	15	25
2	TZ1D2	15	50
3	TZ1D3	15	75
4	TZ1D4	15	100
5	TZ3D1	30	25
6	TZ3D2	30	50
7	TZ3D3	30	75
8	TZ3D4	30	100
9	TZ4D1	45	25
10	TZ4D2	45	50
11	TZ4D3	45	75
12	TZ4D4	45	100

En la Figura 4.50 se parecían la localización de los bloqueos establecidos para los escenarios de emergencia sísmica de la estación Guerrero (Línea 3).

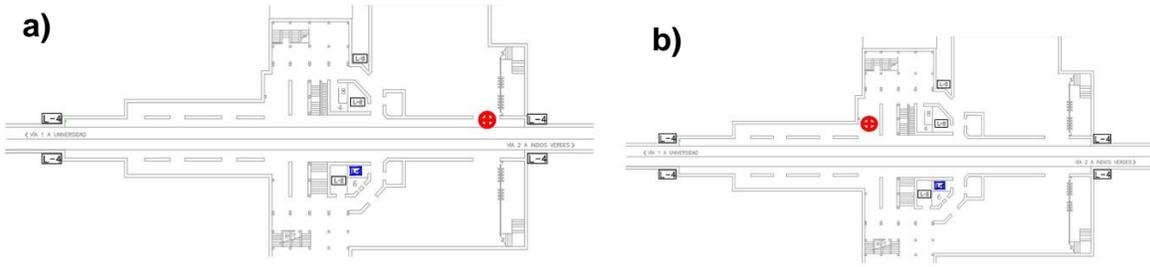


Figura 4.56 Localización de los bloqueos de los escenarios para la estación Guerrero (Línea 3) a) Bloqueo "1A" y b) Bloqueo "3C"

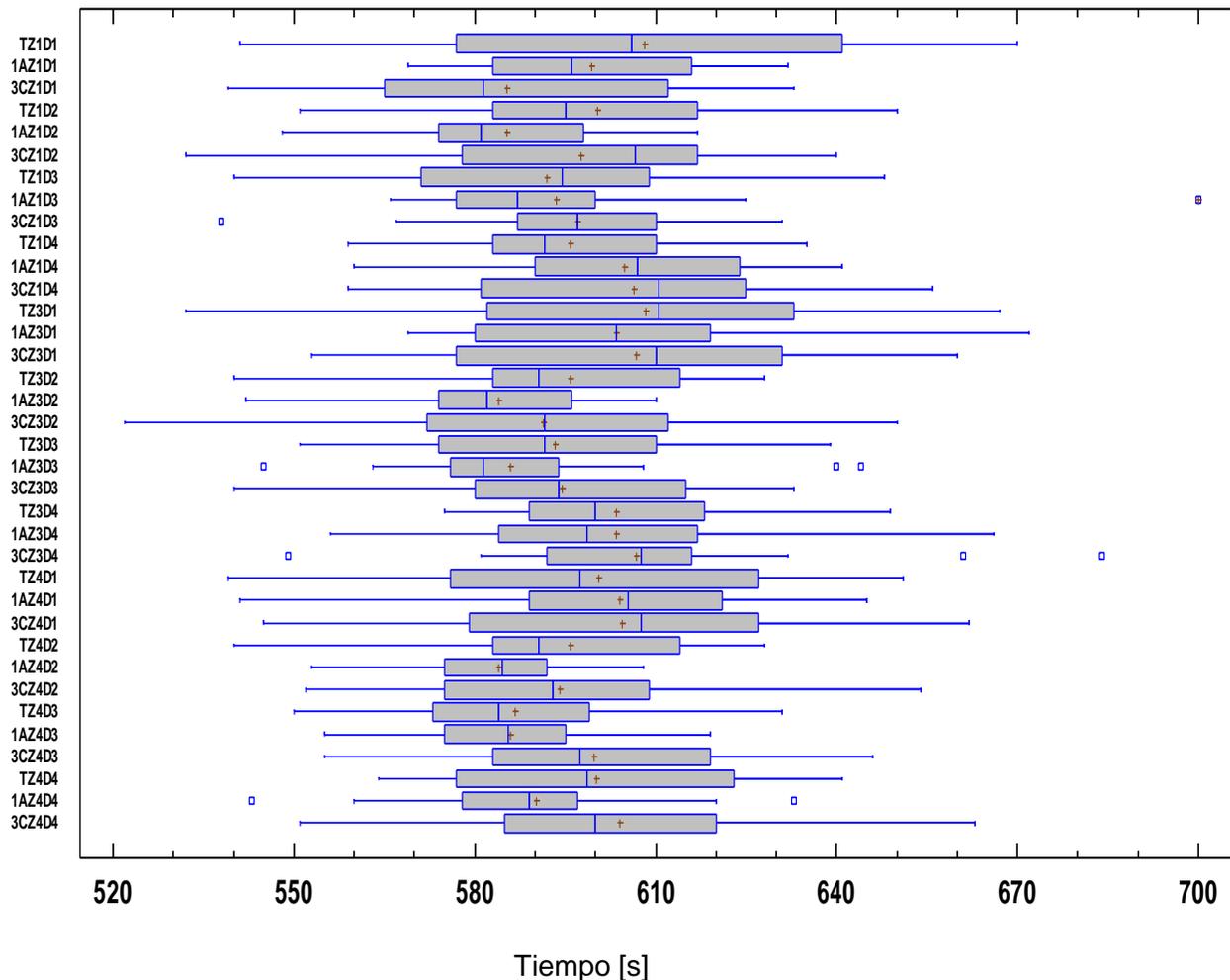


Figura 4.57 Tiempo de evacuación de los escenarios de sismo ensayados en la estación Guerrero (Línea 3) considerando el tipo de bloqueo en la estación, las zonas de repliegue del 15%, 30% y 45% del área disponible en andenes, pasillos y vestíbulo, los 4 porcentajes de descenso 25%, 50%, 75% y 100%

En la gráfica anterior (Figura 4.51) es posible observar los tiempos de evacuación resultantes de la simulación de los escenarios de la estación Guerrero (Línea 3), es decir, la simulación por computadora de evacuación en el marco de un evento sísmico sin bloqueo y con bloqueo en la estación, recordemos que se evaluaron dos tipo de bloqueos (Tabla 4.46) bajo las condiciones variantes del porcentaje del área disponible para la zona de repliegue y los porcentajes de descenso de usuarios del tren al andén, para la estación Guerrero (Línea 3) del análisis visual de la Gráfica de Caja y Bigotes, no se observa variación evidentes en los tiempos de respuesta por efecto del bloque, del porcentaje de descenso y por el porcentaje del área disponible para la zona de repliegue; por lo que, para determinar si existe una diferencia significativa entre los tiempos de evacuación provocados por los ensayos se realizó un análisis de varianza multivariado, donde se considera como

factores principales el tipo de bloqueo, el porcentaje de área disponible para la zona de repliegue, y el porcentaje de descenso de usuarios del tren al andén para la estación Guerrero (línea 3).

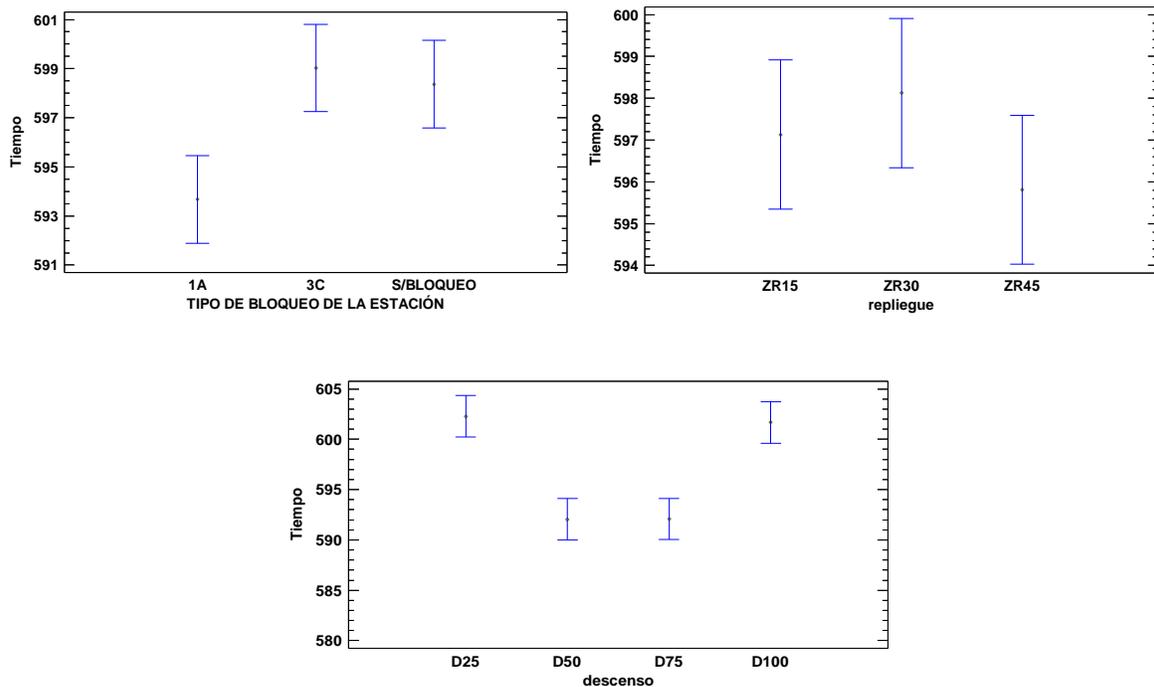


Figura 4.58 Gráficas de Medias de los Tiempos de evacuación de los escenarios de sismo ensayados en la estación Guerrero (Línea 3) sin bloqueo y con bloqueos tipo 1A y 3C, considerando las zonas de repliegue del 15%, 30% y 45% del área disponible en andenes, pasillo y evaluando porcentajes de descenso de usuarios del tren al andén del 25%, 50%, 75% y 100%

Las gráficas que se aprecian en la figura anterior (Figura 4.52), muestran el análisis de los datos de tiempo de evacuación para la estación Guerrero (línea 3), en la gráfica de “Tipo de Bloqueo en la estación” vemos que el mayor valor de media del tiempo de evacuación corresponde a los escenarios con el tipo de bloqueo 3C (Bloqueo total del pasillo 3), seguido de los escenarios sin bloqueo, por lo que de primera instancia podemos decir que gráficamente se ve una diferencia del tiempo de evacuación debido al efecto del bloqueo de la estación; así también podemos observar que es el bloqueo tipo 1A (Bloqueo parcial del 50%” en el segmento correspondiente al 25% del andén) registra el valor de media más bajo, lo que se traduce en que el bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén (Tabla 4.42) reduce el tiempo de evacuación para la estación Guerrero (línea 3). El efecto del bloque se puede explicar debido a que la acumulación se mantiene en el andén lo que permite el flujo constante y poco entorpecido en torniquetes y demás salidas, lo que se refleja en tiempos menores de evacuación.

Respecto a efecto por los porcentajes del área de las zonas de repliegue, para la estación Guerrero se observa que el valor de media más baja se registra en el 45% del área de las zonas de repliegue y la media más alta se registra en el 30% del área de las zonas de repliegue; por lo que es necesario evaluar si existe diferencia estadísticamente significativa en el efecto del porcentaje del área de las zonas de repliegue. Sin embargo, de la gráfica se puede sugerir que el 45% del área

para zona de repliegue tiene un efecto positivo en el tiempo de evacuación a comparación de 30% y 15%.

Del efecto del porcentaje de descenso de usuarios del tren al andén se observa que los porcentajes 25% y 100% registran los valores de medias de tiempo de evacuación más altos, mientras que los porcentajes del 50% y 75% registran los valores de medias de tiempo de evacuación más bajos, por lo que es necesario evaluar si existe diferencia estadísticamente significativa por efecto del porcentaje de descenso de usuarios del tren al andén.

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras se llevó a cabo un procedimiento de comparación múltiple, no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las Pruebas de Múltiple Rangos del efecto producido por el tipo de bloqueo en la estación, el efecto del porcentaje del área disponible para la zona de repliegue, y el porcentaje de descenso de usuarios del tren al andén en la estación Guerrero (Línea 3).

Tabla 4.36 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Tipo de bloqueo en la estación Guerrero (Línea 3).

EFFECTO BLOQUE	CASOS	MEDIA LS	GRUPOS HOMOGÉNEOS
1A	360	593.67	X
T	360	598.36	X
3C	360	599.03	X

Tabla 4.37 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Porcentaje del área disponible para la zona de repliegue en la estación Guerrero (Línea 3).

REPLIEGUE	CASOS	MEDIA LS	GRUPOS HOMOGÉNEOS
ZR45	360	595.81	X
ZR15	360	597.13	X
ZR30	360	598.12	X

Tabla 4.38 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo por porcentaje de descenso de usuarios del tren al andén en la estación Guerrero (Línea 3).

DESCENSO	CASOS	MEDIA LS	GRUPOS HOMOGÉNEOS
D50	270	592.056	X
D75	270	592.078	X
D100	270	601.681	X
D25	270	602.27	X

En las Tablas 4.49, 4.50 y 4.51 se aprecia el resultado de la determinación de cuáles medias son significativamente diferentes de otras en un procedimiento de comparación múltiple, de las cuales observamos que, en los escenarios el efecto del porcentaje del área disponible para la zona de repliegue no existe diferencia estadísticamente significativa (Tabla 4.50), por lo que, es pertinente definir que para la estación Guerrero (línea 3) este factor no influye en el tiempo de evacuación. Por otro lado, el factor de porcentaje de descenso de usuarios del tren al andén existe diferencias estadísticamente significativas entre los porcentajes de

50% y 75% y los porcentajes del 25%; y 100% (Tabla 4.51), siendo los porcentajes 50% y 75% los que favorecen una disminución en el tiempo de evacuación.

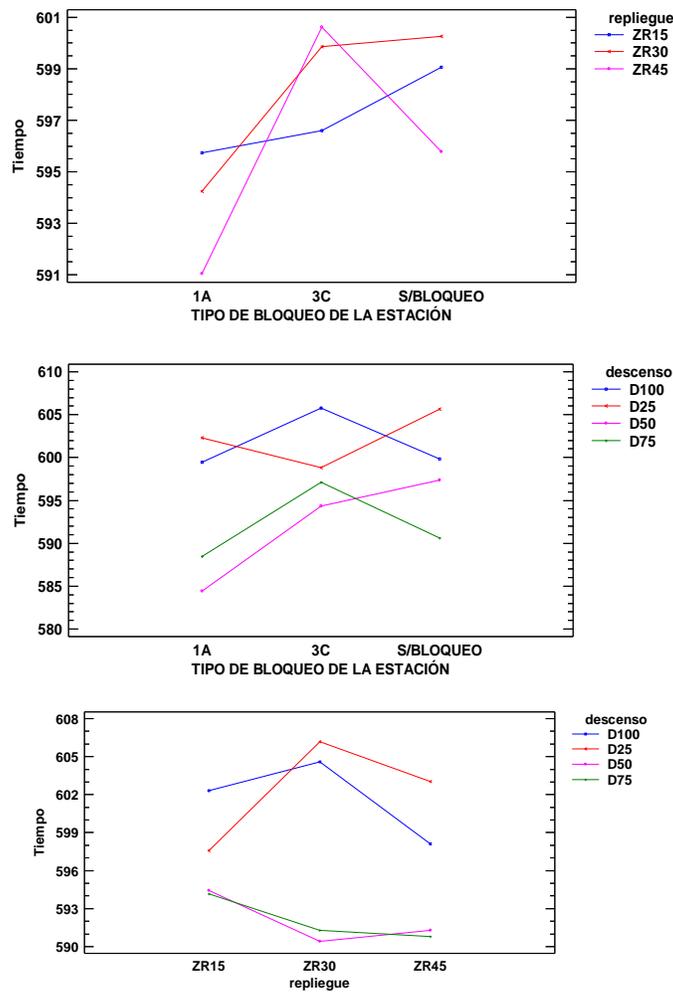


Figura 4.59 Graficas de Interacciones de los factores principales (tipo de bloqueo en la estación, el efecto del porcentaje del área disponible para la zona de repliegue, y el porcentaje de descenso de usuarios del tren al andén) que modifican el tiempo de evacuación de los escenarios de sismo ensayados en la estación Guerrero (Línea 3)

De la gráfica de interacción de “Tipo de Bloqueo en la estación vs Porcentaje de Repliegue” (Figura 4.53), podemos observar que el porcentaje del 45% del área disponible para la zona de repliegue incrementa los tiempos de evacuación de los escenarios con tipo de bloqueo 3C, pero en contraste, favorece la reducción de los tiempos de evacuación de los escenarios con tipo de bloqueo 1A y en menor proporción los escenarios sin bloqueo. Por otro lado, el porcentaje del 30% del área disponible para la zona de repliegue incrementa el tiempo de evacuación en escenarios sin bloqueo y del tipo de bloqueo 1A, pero en los escenarios con el tipo de bloqueo 3C favorece la disminución del tiempo de evacuación. (Tabla 4.39)

Tabla 4.39. Comparación entre el Menor y el Mayor tiempo obtenido entre las interacciones de los factores "Tipo de bloque - Porcentaje para Zona de Repliegue en la estación Guerrero (Línea 3)

TIPO DE BLOQUEO	MENOR TIEMPO DE EVACUACIÓN	MAYOR TIEMPO DE EVACUACIÓN
S/BLOQUE	45%	30%
1A	45%	15%
3C	15%	45%

De la gráfica “Tipo de Bloqueo en la estación vs Descenso” (Figura 4.53) se observa que el porcentaje del 50% de descenso de usuarios del tren al andén, favorece la disminución del tiempo de evacuación en los escenarios con bloqueo, Por otro lado, el tipo de bloqueo 1A con los porcentajes del 50% y 75% de descenso de usuarios del tren al andén presentan los tiempos de evacuación más bajos respecto a los escenarios con porcentajes del 25% y 100% de descenso de usuarios, con el tipo de bloqueo 3C, el menor tiempo de evacuación se presenta con el descenso del 50% de usuarios seguido del 75 % de los usuarios, posteriormente del 25%; el mayor tiempo de evacuación se registra en el 100% de descenso. Si no existe Bloqueo en la estación, con el descenso del 75% de los usuarios de registra el menor tiempo de evacuación, seguido del 50%, el mayor tiempo de evacuación se registró con el descenso del 25%. (Tabla 4.40)

Tabla 4.40. Comparación entre el Menor y el Mayor tiempo obtenido entre las interacciones de los factores “Tipo de bloqueo - Porcentaje de Descenso en la estación Guerrero (Línea 3)

TIPO DE BLOQUEO	MENOR TIEMPO DE EVACUACIÓN	MAYOR TIEMPO DE EVACUACIÓN
S/BLOQUE	75%	25%
1A	50%	25%
3C	50%	100%

Finalmente, en la gráfica Repliegue vs Descenso (Figura 4.53), podemos observar que el descenso del 50% y 75% de usuarios del tren al andén y con porcentajes de 30% y 45% del área disponible para la zona de repliegue presentan los menores tiempos de evacuación de la estación Guerrero (Línea 3), aunque las zonas de repliegue no son estadísticamente diferentes, presentan efectos diferentes cuando se combinan con porcentajes de descenso de 50% y 75% de usuarios del tren al andén siendo los porcentajes del 30% y 45% los más favorables para la disminución del tiempo de evacuación, en contraste, el 25% y 100% de descenso de usuarios del tren al andén, incrementa el tiempo de evacuación en todos los porcentajes del área disponible, potencialmente mayor para el porcentaje del 30% para la zona de repliegue de la estación Guerrero. (Tabla 4.41)

Comparación entre el Menor y el Mayor tiempo obtenido entre las interacciones de los factores “Porcentaje para Zona de Repliegue - Porcentaje de Descenso en la estación Guerrero (Línea 3)

PORCENTAJE PARA ZONA DE REPLIEGUE	MENOR TIEMPO DE EVACUACIÓN	MAYOR TIEMPO DE EVACUACIÓN
15	75% - 50%	100%
30	50% - 75%	25%
45	75% - 50%	25%

Por último, es destacables que, en todos los registros del tiempo de evacuación por emergencia sísmica, este es superior a 590 segundos lo que equivale a más de 9 minutos con 40 segundos, es decir, el tiempo de evacuación en situación de emergencia sísmica en la estación Guerrero es de más de nueve minutos.

4.8.2. De la simulación de los Escenario de evacuación en la Estación Hidalgo (Línea 2)

Derivado del análisis de resultados obtenidos en los escenarios de incendio se determinó que, para el caso del marco de un sismo, la simulación por computadora de los escenarios de evacuación de emergencia sísmica para la estación Hidalgo (Línea 2), se desarrollaran con los bloqueos descritos en la Tabla 4.42.

Tabla 4.42 Descripción de los bloqueos en la estación Hidalgo (Línea 2)

ID DE BLOQUEO	DESCRIPCIÓN DEL BLOQUEO
2B	Bloqueo total de la escalera 2 dirección Tasqueña
3A	Bloqueo del 50% en el vestíbulo

Con respecto a las condiciones de repliegue y descenso para la simulación por computadora de los escenarios de evacuación de emergencia sísmica, como se describió anteriormente, los porcentajes de las áreas de zona de repliegue establecidos fueron de 15%, 30% y 45% del área total en andén, vestíbulos y pasillos.

Así también, de los porcentajes de descenso del tren al andén establecieron los cuatro valores de porcentajes de descarga de los usuarios presentes en un tren superpoblado que fueron: 25%, 50%, 75% y 100%, para evaluar el efecto en el tiempo de evacuación de la estación.

Así, se llevó a cabo un diseño del experimento (Tabla 4.43) para la simulación por computadora de escenarios de evacuación masiva de la estación Hidalgo (Línea 2) bajo las características de tres porcentajes para la zona de repliegue y cuatro porcentajes de descenso, donde se observará el efecto en el tiempo de evacuación de los escenarios con los dos bloqueos establecidos (Tabla 4.42), comparándolos con escenarios bajo las mismas condiciones, pero sin bloqueo (Tabla 4.44)

Tabla 4.43 Diseño experimental para la simulación por computadora de escenarios de evacuación masiva con dos tipos de bloqueo en la estación Hidalgo (línea 2)

SECUENCIA DE ESCENARIO	ID	TIPO DE BLOQUEO EN ESTACIÓN	PORCENTAJE PARA ZONA DE REPLIEGUE	PORCENTAJE DE DESCENSO DE USUARIOS DEL TREN AL ANDÉN
1	2BZ1D1	2B	15	25
2	2BZ1D2	2B	15	50
3	2BZ1D3	2B	15	75
4	2BZ1D4	2B	15	100
5	2BZ3D1	2B	30	25

6	2BZ3D2	2B	30	50
7	2BZ3D3	2B	30	75
8	2BZ3D4	2B	30	100
9	2BZ4D1	2B	45	25
10	2BZ4D2	2B	45	50
11	2BZ4D3	2B	45	75
12	2BZ4D4	2B	45	100
13	3AZ1D1	3A	15	25
14	3AZ1D2	3A	15	50
15	3AZ1D3	3A	15	75
16	3AZ1D4	3A	15	100
17	3AZ3D1	3A	30	25
18	3AZ3D2	3A	30	50
19	3AZ3D3	3A	30	75
20	3AZ3D4	3A	30	100
21	3AZ4D1	3A	45	25
22	3AZ4D2	3A	45	50
23	3AZ4D3	3A	45	75
24	3AZ4D4	3A	45	100

Tabla 4.44 Diseño experimental para la simulación por computadora de escenarios de evacuación masiva sin de bloqueo en la estación Hidalgo (línea 2)

CORRIDA	ID	PORCENTAJE DE	
		PORCENTAJE PARA ZONA DE REPLIEGUE	DESCARGA DE USUARIOS DE TRENES
1	TZ1D1	15	25
2	TZ1D2	15	50
3	TZ1D3	15	75
4	TZ1D4	15	100
5	TZ3D1	30	25
6	TZ3D2	30	50
7	TZ3D3	30	75
8	TZ3D4	30	100
9	TZ4D1	45	25
10	TZ4D2	45	50
11	TZ4D3	45	75
12	TZ4D4	45	100

En la Figura 4.54 se parecían la localización de los bloqueos establecidos para los escenarios de emergencia sísmica de la estación Hidalgo (Línea 2).

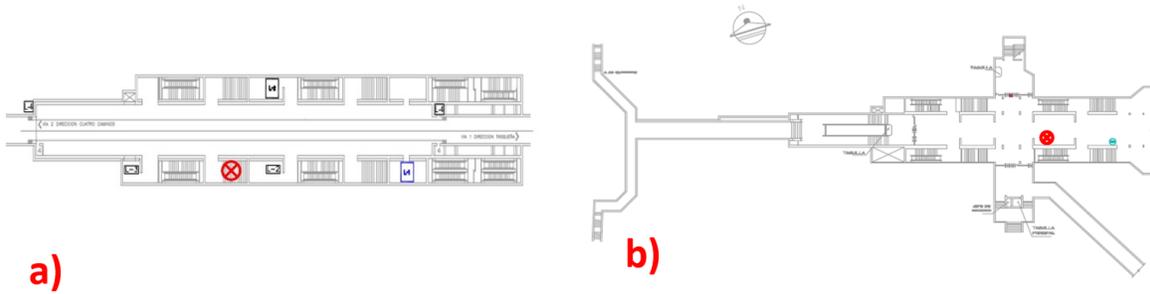


Figura 4.60 Localización de los bloqueos de los escenarios para la estación Hidalgo (Línea 2) a) Bloqueo "2B" y b) Bloqueo "3A"

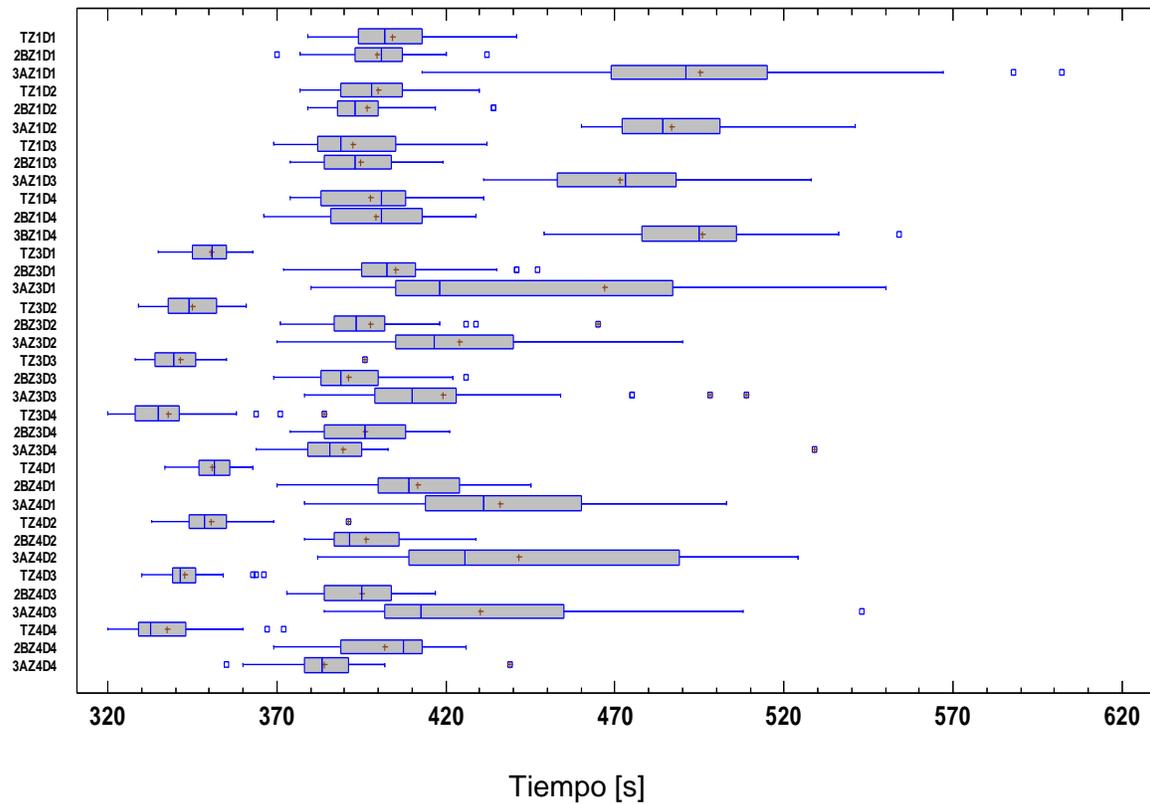


Figura 4.61 Tiempo de evacuación de los escenarios de sismo ensayados en la estación Hidalgo (Línea 2) considerando el tipo de bloqueo en la estación, las zonas de repliegue del 15%, 30% y 45% del área disponible en andenes, pasillos y vestíbulo, los 4 porcentajes de descenso 25%, 50%, 75% y 100%

Derivado de la gráfica anterior (Figura 4.55) es posible observar los escenarios ensayados en la estación Hidalgo (Línea 2), es decir, la simulación por computadora de evacuación en el marco de un evento sísmico sin bloqueo y con bloqueo en la estación, se evaluaron dos bloqueos (Tabla 4.42) bajo las condiciones variantes del porcentaje del área disponible para la zona de repliegue y los porcentajes de descenso de usuarios del tren al andén. En la estación Hidalgo (Línea 2) se observa

variación en los tiempos de respuesta por efecto del bloque, del porcentaje de descenso y por el porcentaje del área disponible para la zona de repliegue; por lo que, para determinar si existe una diferencia significativa entre los tiempos de evacuación provocados por los ensayos se realizó un análisis de varianza multivariado, donde se considera como factores principales el tipo de bloqueo, el porcentaje de área disponible para la zona de repliegue, y el porcentaje de descenso de usuarios del tren al andén, al valor del tiempo de evacuación se le realizó una transformación analizando el inverso del valor del tiempo de evacuación registrado³.

³ Se empleó la transformación de los datos del tiempo de evacuación debido a que estos violan el supuesto de normalidad, que imposibilitaba el uso del ANOVA multifactorial.

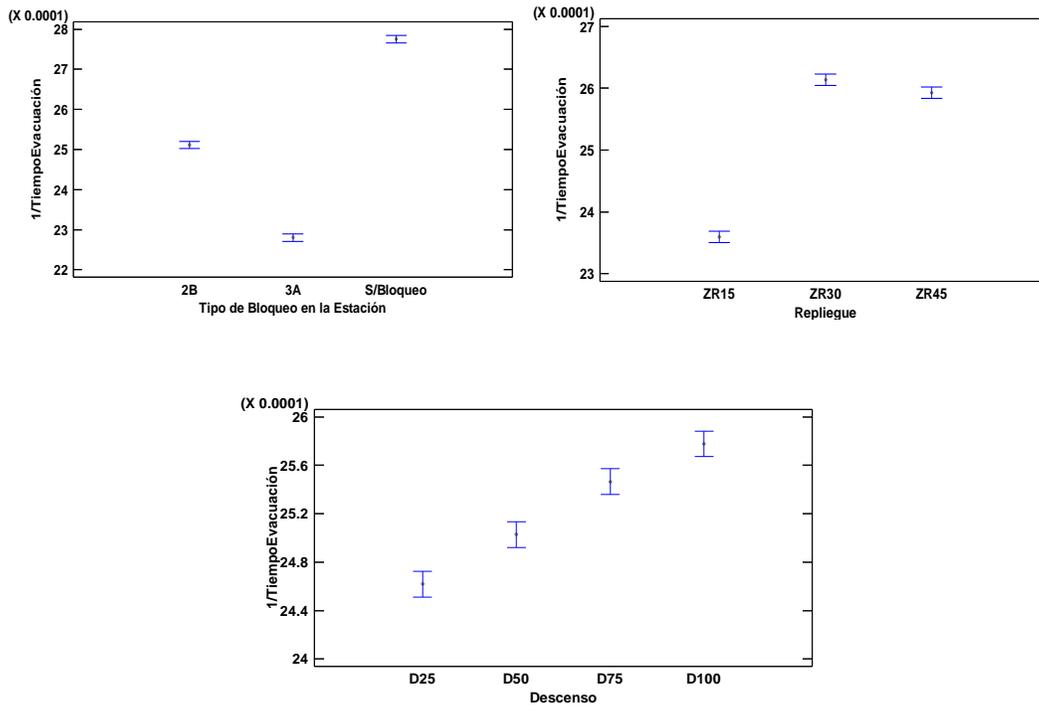


Figura 4.62 Gráficas de Medias de los Tiempos de evacuación de los escenarios de sismo ensayados en la estación Hidalgo (Línea 2) sin bloqueo y con bloqueos tipo 2B y 3A, considerando las zonas de repliegue del 15%, 30% y 45% del área disponible en andenes, pasillos y evaluando porcentajes de descenso de usuarios del tren al andén del 25%, 50%, 75% y 100%

Las gráficas que se aprecian en la figura anterior (Figura 4.56), muestran el análisis del inverso de los datos, por lo que la interpretación de las mismas debe ser al inverso de lo que se muestra, en la gráfica de “Tipo de Bloqueo en la estación” vemos que el mayor valor del inverso del tiempo de evacuación corresponde a los escenarios sin bloqueo, lo que se traduce en que en estos escenarios es donde se registraron los menores tiempo de evacuación, por lo que de primera instancia podemos decir que gráficamente se ve una diferencia del tiempo de evacuación debido al efecto del bloqueo de la estación, así también podemos observar que es el bloqueo tipo 3A el que en la gráfica registra los valores más bajos del inverso del tiempo de evacuación, lo que se traduce que el “3A: bloqueo del 50% en el vestíbulo” (Tabla 4.42) incrementa el tiempo de evacuación para la estación Hidalgo (línea 2).

Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras se llevó a cabo un procedimiento de comparación múltiple, no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. A continuación, se muestran los resultados obtenidos

de las Pruebas de Múltiple Rangos del efecto producido por el tipo de bloqueo en la estación, el efecto del porcentaje del área disponible para la zona de repliegue, y el porcentaje de descenso de usuarios del tren al andén en la estación Hidalgo (Línea 2).

Tabla 4.45 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación Transformado por Tipo de bloqueo en la estación Hidalgo (Línea 2).

TIPO DE BLOQUEO	CASOS	MEDIA LS	GRUPOS HOMOGÉNEOS
3A	360	0.00228031	X
2B	360	0.00251138	X
S/Bloqueo	360	0.00277502	X

Tabla 4.46 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación Transformado por Porcentaje del área disponible para la zona de repliegue en la estación Hidalgo (Línea 2).

REPLIEGUE	CASOS	MEDIA LS	GRUPOS HOMOGÉNEOS
ZR15	360	0.00236005	X
ZR45	360	0.00259301	X
ZR30	360	0.00261365	X

Tabla 4.47 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación Transformados por porcentaje de descenso de usuarios del tren al andén en la estación Hidalgo (Línea 2).

DESCENSO	CASOS	MEDIA LS	GRUPOS HOMOGÉNEOS
D25	270	0.00246192	X
D50	270	0.00250281	X
D75	270	0.00254651	X
D100	270	0.0025777	X

De las Tablas 4.45, 4.46 y 4.47 se observa que, del resultado de la determinación de las diferencias estadísticamente significativas de las medias con el procedimiento de comparación múltiple, cada análisis demuestra que:

- 1) Existe una diferencia estadísticamente significativa entre los tipos de bloqueo.
- 2) Existe una diferencia estadísticamente significativa entre los porcentajes del área disponible para la zona de repliegue
- 3) Existe una diferencia estadísticamente significativa entre los porcentajes de descenso de usuarios del tren al andén

Siendo: para el caso de porcentaje de área disponible para la zona de repliegue, 30% del área disponible para la zona de repliegue y, para el caso de porcentaje el descenso del 100% de los usuarios en donde se registraron los menores tiempos de evacuación

Tabla 4.48 Valores de las Medias del tiempo de evacuación de los escenarios analizados para la estación Hidalgo (línea 2)

FACTOR	MEDIA LS
Tipo de bloqueo 3A	438.54

	2B	398.19
	S/Bloqueo	360.36
Repliegue	ZR15	423.72
	ZR45	385.65
	ZR30	382.61
	D25	406.19
Descenso	D50	399.55
	D75	392.69
	D100	387.94

Por lo que, de los escenarios con tipo de bloqueo 3A, porcentaje del área disponible para la zona de repliegue al 45% y un porcentaje del 25% de descenso de usuarios del tren al andén se registran medias más altas del tiempo de evacuación (Tabla 4.48).

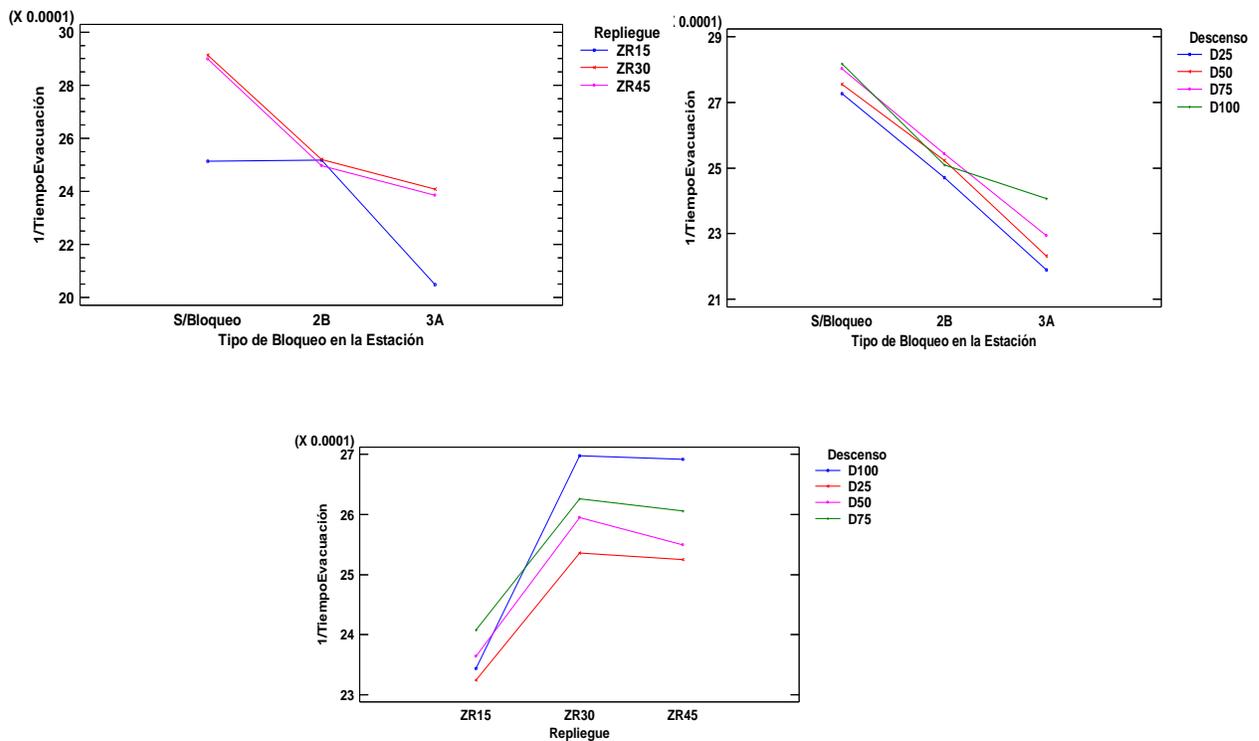


Figura 4.63 Graficas de Interacciones de los factores principales (tipo de bloqueo en la estación, el efecto del porcentaje del área disponible para la zona de repliegue, y el porcentaje de descenso de usuarios del tren al andén) que modifican el tiempo de evacuación de los escenarios de sismo ensayados en la estación Hidalgo (Línea 2)

Las gráficas de interacción (Figura 4.63) los factores analizados son con el inverso del tiempo de evacuación, por lo que la interpretación de estas debe ser con base a esta transformación de los datos. De la gráfica de interacción del Tipo de Bloque en la estación vs Repliegue, podemos observar que para la estación Hidalgo, el efecto de un factor depende del nivel de otro, es decir, el tipo de

bloqueo tiene un efecto en el tiempo de evacuación correlacionado con el porcentaje del área disponible para la zona de repliegue, cuando este porcentaje es del 15% se incrementan los tiempos de evacuación de los escenarios con tipo de bloqueo 3A, así las zonas de repliegue con el porcentaje de 15% tienen un efecto con una diferencia estadísticamente significativa de los porcentajes 30% y 45% en el tiempo de evacuación de la estación. Por lo que; son los porcentajes del 30% y 45% del área disponible para la zona de repliegue los que representan los menores tiempos de evacuación.

Tabla 4.49. Comparación entre el Menor y el Mayor tiempo obtenido entre las interacciones de los factores "Tipo de bloque - Porcentaje para Zona de Repliegue en la estación Hidalgo (línea 2)

TIPO DE BLOQUEO	MENOR TIEMPO DE EVACUACIÓN	MAYOR TIEMPO DE EVACUACIÓN
S/BLOQUE	30 - 45%	15%
2B	15 - 30%	45%
3A	30 - 45%	15%

De la gráfica Tipo de bloque en la estación vs Descenso, se observa que el efecto del porcentaje de descenso depende del tipo de bloqueo; siendo el porcentaje del 25% de descenso inmediato (tiempo cero del inicio del evento sísmico) de usuarios del tren al andén el que registra los mayores tiempos de evacuación de la estación Hidalgo.

Tabla 4.50. Comparación entre el Menor y el Mayor tiempo obtenido entre las interacciones de los factores "Tipo de bloque - Porcentaje de Descenso en la estación Hidalgo (línea 2)

TIPO DE BLOQUEO	MENOR TIEMPO DE EVACUACIÓN	MAYOR TIEMPO DE EVACUACIÓN
S/BLOQUE	100%	25%
2B	75%	25%
3A	100%	25%

Finalmente, de la gráfica Repliegue vs Descenso, podemos observar que el efecto del descenso de usuarios del tren al andén depende de los porcentajes del área disponible para la zona de repliegue, siendo el 30% y 45% los porcentajes que presentan los menores tiempos de evacuación de la estación Hidalgo (Línea 2), en contraste, el 25% de descenso de usuarios del tren al andén, incrementa el tiempo de evacuación en todos los porcentajes del área disponible para la zona de repliegue de la estación Hidalgo.

Tabla 4.51. Comparación entre el Menor y el Mayor tiempo obtenido entre las interacciones de los factores "Porcentaje para Zona de Repliegue - Porcentaje de Descenso en la estación Hidalgo (línea 2)

PORCENTAJE PARA ZONA DE REPLIEGUE	MENOR TIEMPO DE EVACUACIÓN	MAYOR TIEMPO DE EVACUACIÓN
15	75%	25%
30	100%	25%

45	100%	25%
----	------	-----

Es destacables que, en todos los registros del tiempo de evacuación por emergencia sísmica, este del rango de los 360 segundos a los 438 segundos, lo que equivale a un rango de 6 a 7 minutos con 18 segundos.

4.8.3. De la simulación de los Escenario de evacuación en la Estación Merced (Línea 1)

Derivado del análisis de resultados obtenidos en los escenarios de incendio se determinó que, para el caso del marco de un sismo, la simulación por computadora de los escenarios de evacuación de emergencia sísmica para la estación Hidalgo (Línea 2), se desarrollaran con los bloqueos descritos en la Tabla 4.52.

Tabla 4.52 Descripción de los bloqueos en la estación Merced (Línea 1)

ID DE BLOQUEO	DESCRIPCIÓN DEL BLOQUEO
2B	Bloqueo parcial del 50% en las escaleras para vagones mixtos dirección Observatorio
3A	Bloqueo del 50% en el pasillo del vestíbulo que da a las escaleras para vagones mixtos dirección Observatorio

Con respecto a las condiciones de repliegue y descenso para la simulación por computadora de los escenarios de evacuación de emergencia sísmica, como se describió anteriormente, los porcentajes de las áreas de zona de repliegue establecidos fueron de 15%, 30% y 45% del área total en andén, vestíbulos y pasillos.

Así también, de los porcentajes de descenso del tren al andén establecieron los cuatro valores de porcentajes de descarga de los usuarios presentes en un tren superpoblado que fueron: 25%, 50%, 75% y 100%, para evaluar el efecto en el tiempo de evacuación de la estación.

Así, se llevó a cabo un diseño del experimento (Tabla 4.53) para la simulación por computadora de escenarios de evacuación masiva de la estación Guerrero (Línea 3) bajo las características de tres porcentajes para la zona de repliegue y cuatro porcentajes de descenso, donde se observará el efecto en el tiempo de evacuación de los escenarios con los dos bloqueos establecidos (4.52), comparándolos con escenarios bajo las mismas condiciones, pero sin bloqueo (Tabla 4.54).

Tabla 4.53 Diseño experimental para la simulación por computadora de escenarios de evacuación masiva con dos tipos de bloqueo en la estación Merced (línea 1)

SECUENCIA DE ESCENARIO	ID	TIPO DE BLOQUEO EN ESTACIÓN	PORCENTAJE PARA ZONA DE REPLIEGUE	PORCENTAJE DE DESCENSO DE USUARIOS DEL TREN AL ANDÉN
1	2BZ1D1	2B	15	25
2	2BZ1D2	2B	15	50

3	2BZ1D3	2B	15	75
4	2BZ1D4	2B	15	100
5	2BZ3D1	2B	30	25
6	2BZ3D2	2B	30	50
7	2BZ3D3	2B	30	75
8	2BZ3D4	2B	30	100
9	2BZ4D1	2B	45	25
10	2BZ4D2	2B	45	50
11	2BZ4D3	2B	45	75
12	2BZ4D4	2B	45	100
13	3AZ1D1	3A	15	25
14	3AZ1D2	3A	15	50
15	3AZ1D3	3A	15	75
16	3AZ1D4	3A	15	100
17	3AZ3D1	3A	30	25
18	3AZ3D2	3A	30	50
19	3AZ3D3	3A	30	75
20	3AZ3D4	3A	30	100
21	3AZ4D1	3A	45	25
22	3AZ4D2	3A	45	50
23	3AZ4D3	3A	45	75
24	3AZ4D4	3A	45	100

Tabla 4.54 Diseño experimental para la simulación por computadora de escenarios de evacuación masiva sin de bloqueo en la estación Merced (línea 1)

SECUENCIA DE ESCENARIO	ID	PORCENTAJE PARA ZONA DE REPLIEGUE	PORCENTAJE DE DESCARGA DE USUARIOS DE TRENES
1	TZ1D1	15	25
2	TZ1D2	15	50
3	TZ1D3	15	75
4	TZ1D4	15	100
5	TZ3D1	30	25
6	TZ3D2	30	50
7	TZ3D3	30	75
8	TZ3D4	30	100
9	TZ4D1	45	25
10	TZ4D2	45	50
11	TZ4D3	45	75
12	TZ4D4	45	100

En la Figura 4.58 se parecían la localización de los bloqueos establecidos para los escenarios de emergencia sísmica de la estación Hidalgo (Línea 2).

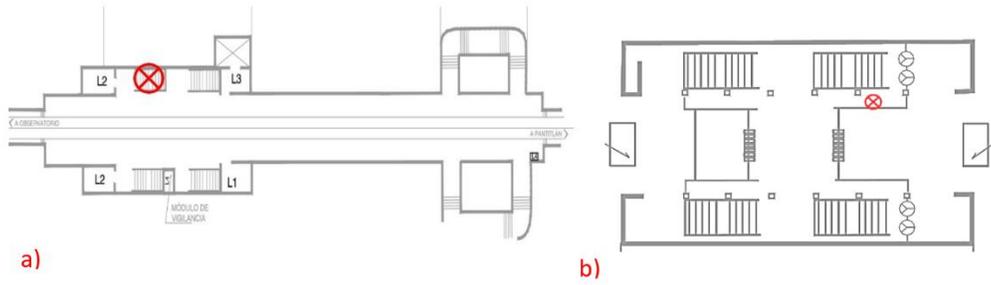


Figura 4.64 Localización de los bloqueos de los escenarios para la estación Hidalgo (Línea 2) a) Bloqueo "2B" y b) Bloqueo "3A"

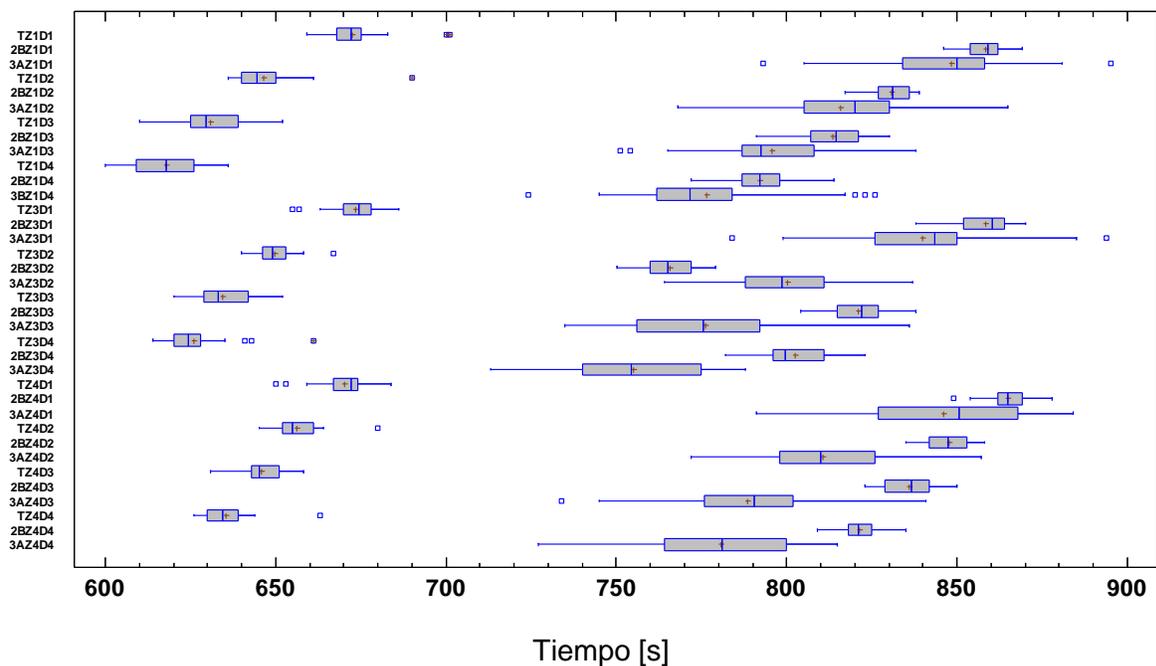


Figura 4.65 Tiempo de evacuación de los escenarios de sismo ensayados en la estación Merced (Línea 1) considerando el tipo de bloqueo en la estación, las zonas de repliegue del 15%, 30% y 45% del área disponible en andenes, pasillos y vestíbulo, los 4 porcentajes de descenso 25%, 50%, 75% y 100%

Derivado de la gráfica anterior (Figura 4.59) es posible observar los resultados de las simulaciones de los escenarios ejecutados para la estación Merced (Línea 1), es decir, la simulación por computadora de evacuación en el marco de un evento sísmico sin bloqueo y con bloqueo en la estación, se evaluaron dos bloqueos (Tabla 4.52) bajo las condiciones variantes del porcentaje del área disponible para la zona de repliegue y los porcentajes de descenso de usuarios del tren al andén; aquí es notoria la diferencia de los tiempos de evacuación entre los escenarios sin bloqueo y con bloqueo, así también, se observa variación en los tiempos de respuesta por efecto del porcentaje de descenso; por lo que, para determinar si existe una diferencia significativa entre los tiempos de evacuación provocados por los ensayos se realizó un análisis de varianza simple por cada porcentaje de área disponible para la zona de repliegue para los escenarios sin bloqueo y con bloqueo⁴.

⁴ Se emplearon ANOVA's simples para cada porcentaje de zona de repliegue debido a que, en conjunto los datos violan el supuesto de normalidad, que imposibilitaba el uso del ANOVA multifactorial.

Destacan los escenarios 2BZ4D1, 2BZ3D1 y 2BZ1D1 con las medias (promedios) más altas del tiempo de evacuación; los tres escenarios corresponden al bloqueo parcial del 50% en las escaleras para vagones mixtos dirección Observatorio; así también es bajo la condición del 25% de descenso de los usuarios del tren al andén, estos escenarios se presentan para los tres porcentajes del área disponible para la zona de repliegue, por lo que es pertinente destacar que el bloqueo y el porcentaje de descenso genera una diferencia significativa que crea una disminución en el tiempo de evacuación. Ahora bien, los resultados de los escenarios 2BZ4D1, 2BZ3D1 y 2BZ1D1 pueden ser atribuidos a la pérdida de espacio transitable en las escaleras para vagones mixtos y en los pasillos que dan a las mismas escaleras.

Del análisis de varianza simple por cada porcentaje de área disponible para la zona de repliegue para los escenarios sin bloqueo y con bloqueo, se realizó la Prueba de Múltiples Rangos para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras y, se identifican los grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0. A continuación se muestran los resultados de las pruebas de Múltiples Rangos calculadas para cada análisis de los escenarios sin bloqueo y con bloqueo por cada porcentaje de área disponible para la zona de repliegue.

Tabla 4.55 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Porcentaje de Descenso en escenarios sin Bloqueo con Zonas de Repliegue al 15% en la estación Merced (Línea1).

NIVEL	CASOS	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS
D100	30	617.833	X
D75	30	630.9	X
D50	30	646.367	X
D25	30	672.533	X

Como se aprecia en la tabla anterior (Tabla 4.55), en los cuatro porcentajes de descenso existen diferencias estadísticamente significativas en escenarios sin Bloqueo con Zonas de Repliegue al 15%, por lo que podemos definir que el porcentaje de descenso de usuarios del tren a la estación es un factor relevante en el tiempo de evacuación; destacando que el 25% de descenso incrementa el tiempo de la evacuación en comparación con el descenso del 100% de los usuarios en el tren al andén.

Tabla 4.56 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Porcentaje de Descenso en escenarios sin Bloqueo con Zonas de Repliegue al 30% en la estación Merced (Línea1)

NIVEL	CASOS	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS
D100	30	626.0	X
D75	30	634.4	X
D50	30	649.567	X
D25	30	673.4	X

Como en el análisis anterior, para el caso de los escenarios sin Bloqueo con Zonas de Repliegue al 30% (Tabla 4.56) existen diferencias estadísticamente significativas entre los porcentajes de descenso de usuarios del tren a la estación, igualmente el 25% de descenso incrementa el tiempo de la evacuación y el escenario con el menor tiempo corresponde al descenso del 100% de los usuarios del tren al andén.

Tabla 4.57 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Porcentaje de Descenso en escenarios sin Bloqueo con Zonas de Repliegue al 45% en la estación Merced (Línea1)

NIVEL	CASOS	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS
D100	30	635.267	X
D75	30	645.767	X
D50	30	656.267	X
D25	30	670.233	X

Para los escenarios sin Bloqueo con Zonas de Repliegue al 45% el fenómeno se repite, (Tabla 4.57) existen diferencias estadísticamente significativas entre los porcentajes de descenso de usuarios del tren a la estación, igualmente el 25% de descenso incrementa el tiempo de la evacuación y el escenario con el menor tiempo corresponde al descenso del 100% de los usuarios del tren al andén

Tabla 4.58 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Porcentaje de Descenso en escenarios con tipo de bloqueo 2B y con Zonas de Repliegue al 15% en la estación Merced (Línea1)

NIVEL	CASOS	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS
D100	30	792.0	X
D75	30	813.467	X
D50	30	830.9	X
D25	30	858.267	X

En cuanto a los escenarios con tipo de bloqueo 2B y con Zonas de Repliegue al 15%, observamos que este comportamiento se mantiene, (Tabla 4.58) es decir, que existen

diferencias estadísticamente significativas entre los porcentajes de descenso de usuarios del tren a la estación, y es con el 25% de descenso donde se incrementa el tiempo de la evacuación y el escenario con el menor tiempo corresponde al descenso del 100% de los usuarios del tren al andén.

Tabla 4.59 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Porcentaje de Descenso en escenarios con tipo de bloqueo 2B y con Zonas de Repliegue al 30% en la estación Merced (Línea1)

NIVEL	CASOS	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS
D50	30	765.633	X
D100	30	802.533	X
D75	30	821.1	X
D25	30	858.567	X

En contraste, los escenarios con tipo de bloqueo 2B y con Zonas de Repliegue al 30% (Tabla 4.59) es pertinente destacar que existen diferencias estadísticamente significativas entre los porcentajes de descenso de usuarios del tren a la estación, pero en este caso, es con el 50% de descenso donde se registra el menor el tiempo de la evacuación; el 25% de descenso es también el porcentaje con el mayor tiempo de evacuación. Este dato puede ser una pauta para obtener el porcentaje óptimo cuando se ha obstruido parcialmente el 50% del paso en las escaleras para vagones mixtos dirección Observatorio.

Tabla 4.60 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Porcentaje de Descenso en escenarios con tipo de bloqueo 2B y con Zonas de Repliegue al 45% en la estación Merced (Línea1)

NIVEL	CASOS	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS
D100	30	821.4	X
D75	30	836.0	X
D50	30	847.567	X
D25	30	864.967	X

Por último para los escenarios con tipo de bloqueo 2B, con Zonas de Repliegue al 45% (Tabla 4.59) observamos nuevamente el comportamiento donde, existen diferencias estadísticamente significativas entre los porcentajes de descenso de usuarios del tren a la estación, y es el 25% de descenso donde se registra el mayor tiempo de evacuación y el escenario con el menor tiempo corresponde al descenso del 100% de los usuarios del tren al andén.

Tabla 4.61 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Porcentaje de Descenso en escenarios con tipo de bloqueo 3A y con Zonas de Repliegue al 15% en la estación Merced (Línea1)

NIVEL	CASOS	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS
D100	30	776.6	X
D75	30	795.833	X
D50	30	815.9	X
D25	30	848.2	X

Tabla 4.62 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Porcentaje de Descenso en escenarios con tipo de bloqueo 3A y con Zonas de Repliegue al 30% en la estación Merced (Línea1)

NIVEL	CASOS	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS
D100	30	755.0	X
D75	30	776.233	X
D50	30	800.2	X
D25	30	839.833	X

Tabla 4.63 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Porcentaje de Descenso en escenarios con tipo de bloqueo 3A y con Zonas de Repliegue al 45% en la estación Merced (Línea1)

NIVEL	CASOS	MEDIA	GRUPOS HOMOGÉNEOS
D100	30	780.7	X
D75	30	788.6	X
D50	30	810.767	X
D25	30	846.133	X

Respecto a los escenarios con tipo de bloqueo 3A, para los tres porcentajes de áreas para las zonas de repliegue 15%, 30% y 45% (Tabla 4.61, Tabla 4.62 y Tabla 4.63 respectivamente) observamos nuevamente el comportamiento donde, existen diferencias estadísticamente significativas entre los porcentajes de descenso de usuarios del tren a la estación, y es el 25% de descenso donde se registra el mayor tiempo de evacuación y el escenario con el menor tiempo corresponde al descenso del 100% de los usuarios del tren al andén.

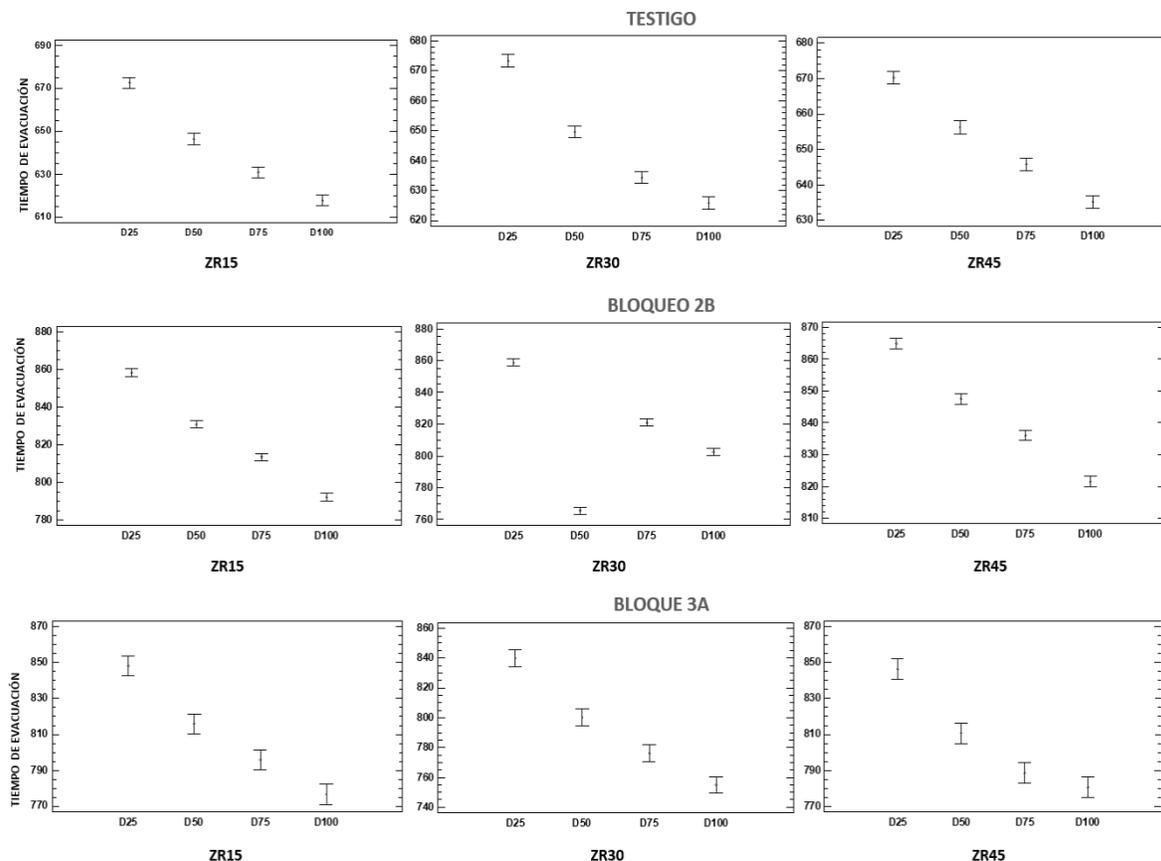


Figura 4.66 Graficas de Medias de los Tiempos de evacuación de los escenarios de sismo ensayados en la estación Merced (Línea 1) sin bloqueo y con bloqueos tipo 2B y 3A considerando las zonas de repliegue del 15%, 30% y 45% del área disponible en andenes, pasillos

De los análisis anteriores podemos decir, que el porcentaje de descenso de usuarios del tren a andén es un factor relevante en el tiempo de evacuación; destacando que el 25% de descenso de usuarios del tren a andén incrementa el tiempo de la evacuación en comparación con el descenso del 100% de los usuarios del tren al andén en la Estación Merced (línea 1).

En la gráfica de caja (Figura 4.59), fue posible notar el efecto del bloqueo de la estación respecto a los escenarios sin bloqueo, ahora, en la Figura 4.60, es posible observar las representaciones graficas de los comportamientos antes descritos, donde se observa que los menor tiempos registrados tanto en escenarios sin Bloqueo (Testigo) como los escenarios con bloqueo, se presentan en el 100% de descenso, recordemos descenso inmediato (tiempo cero del inicio del evento sísmico), de los usuarios del tren al andén para las estación Merced (Línea 1)

De esta estación, es destacables que, en todos los registros del tiempo de evacuación por emergencia sísmica, el rango es de los 600 segundos a los 900 segundos, lo que equivale a un rango de 10 a 15 minutos

CAPÍTULO 5

DISCUSIÓN

Efecto del porcentaje para zona de repliegue y porcentaje de descenso al andén en escenarios de sismo

Destaquemos primero que, la simulación de los escenarios de evacuación por emergencia sísmica se desarrolló como un diseño experimental de tres factores, a saber:

Factor 1) Porcentaje de área designada para zona de repliegue, este con tres posibles niveles: el 15%, el 30% y el 45%.

Factor 2) Porcentaje de descenso de usuarios del vagón al andén al tiempo cero de iniciado el evento sísmico, con cuatro niveles: 25%, 50%, 75% y 100%

Factor 3) Bloqueo de alguna de las infraestructuras del sistema (Andén, escalera, pasillo, total o parcialmente) con tres niveles: “Sin Bloque”; “Con bloqueo Tipo 1”, “Con Bloque tipo 2)

Es preciso mostrar de nuevo los tipos de bloqueo definidos:

Tabla 5.1 Descripción de los bloqueos definidos en las estaciones de estudio para la simulación de escenarios de evacuación de emergencia sísmica

ESTACIÓN	LÍNEA	ID DE BLOQUEO	DESCRIPCIÓN DEL BLOQUEO
MERCED	1	2B	Bloqueo parcial del 50% en las escaleras para vagones mixtos dirección Observatorio
		3A	Bloqueo del 50% en el pasillo del vestíbulo que da a las escaleras para vagones mixtos dirección Observatorio
HIDALGO	2	2B	Bloqueo total de la escalera 2 dirección Tasqueña
		3A	Bloqueo del 50% en el vestíbulo
GUERRERO	3	1A	Bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén
		3C	Bloqueo total del pasillo 3

Ahora bien, de las simulaciones de los escenarios de evacuación por emergencia sísmica, se tiene que del análisis de los resultados obtenidos del efecto de los factores “porcentaje del área disponible para la zona de repliegue”, “porcentaje de descenso de usuarios del tren al vagón en el tiempo cero” y “Tipo de bloqueo” con base a los análisis realizadas a los datos de tiempo de evacuación, los cuales fueron 30 réplicas para las 36 corridas totales de las tres estaciones de estudio, se encontró evidencia de que existen diferencias estadísticamente significativas en el efecto producido al tiempo de evacuación por el porcentaje de área designada a la zona de repliegue, por el porcentaje de descenso de los usuarios del tren al vagón al tiempo cero de iniciado el evento sísmico, por el tipo de bloqueo que existe en la infraestructura de la estación y, que modifica el flujo de desplazamiento de los usuarios.

De los tres porcentajes de área disponible para zona de repliegue evaluados, a saber, el 15%, el 30% y el 45%; el 30% y 45% del área disponible para la zona de repliegue son en los que obtuvo los menores tiempos de evacuación de las estaciones Hidalgo y Guerrero, principalmente el 45%, es decir, se infiere que estos porcentajes de área asignada a zonas de repliegue contribuyen favorablemente en el desempeño de los escenarios por emergencia sísmica tanto en escenarios con bloqueo como en escenarios sin bloqueo para estas estaciones (Tabla 5.2).

Tabla 5.2. Comparación entre el Menor y el Mayor tiempo obtenido entre las interacciones de los factores "Tipo de bloque - Porcentaje para Zona de Repliegue"

ESTACIÓN	TIPO DE BLOQUEO	MENOR TIEMPO DE EVACUACIÓN	MAYOR TIEMPO DE EVACUACIÓN
Guerrero (Línea 3)	S/BLOQUE	45%	30%
	1A	45%	15%
	3C	15%	45%
Hidalgo (Línea 2)	S/BLOQUE	30 - 45%	15%
	2B	15 - 30%	45%
	3A	30 - 45%	15%

Consideremos ahora, del análisis del factor porcentaje de descenso de usuarios del tren al andén se observó en las estaciones Hidalgo (Línea 2) y Guerrero (Línea 3) que el efecto del porcentaje de descenso del 25% de los usuarios no favorece el tiempo de evacuación, siendo en este porcentaje de descenso donde se registraron los mayores tiempos de evacuación para las tres estaciones. A diferencia en contraste con el porcentaje de descenso del 100% de los usuarios del tren al andén, que registran menores tiempos de evacuación; sin embargo, por condiciones de seguridad puede no ser recomendable ni factible para ser empleado en procedimientos de evacuación.

Tabla 5.3. Comparación entre el Menor y el Mayor tiempo obtenido entre las interacciones de los factores "Tipo de bloque & Porcentaje de Descenso"

ESTACIÓN	TIPO DE BLOQUEO	MENOR TIEMPO DE EVACUACIÓN	MAYOR TIEMPO DE EVACUACIÓN
Guerrero (Línea 3)	S/BLOQUE	75%	25%
	1A	50%	25%
	3C	50%	100%
Hidalgo (Línea 2)	S/BLOQUE	100%	25%
	2B	75%	25%
	3A	100%	25%

De las interacciones de los porcentajes del área disponible para la zona de repliegue en la estación y los porcentajes de descenso de usuarios del tren al andén en la estación, de obtuvo que,

en general, del descenso inmediato del 50% y 75% de los usuarios del tren al andén en la estación se favorece la disminución de tiempo de evacuación, en contraste, el 25% de descenso inmediato de los usuarios del tren al andén en la estación, en general, incrementa los tiempos de evacuación. Ahora bien, el 50% y 75% son porcentajes del factor que en interacción con el factor de porcentajes de área para zona de repliegue del 30% y 45% presentaron los valores con los menores tiempos de evacuación, esto así, para las estaciones Hidalgo (Línea 2) y Guerrero (Línea 3) (Ver Tabla 5.3)

Se destaca el caso particular de la estación Guerrero, que con la configuración del 15% de área para zona de repliegue el mayor tiempo de evacuación se registró con el descenso del 100% de los usuarios del vagón al andén en el tiempo cero, lo que puede ser explicado a la saturación de las infraestructuras críticas identificadas y de las zonas de vulnerabilidad, particularmente los torniquetes.

Comparación entre el Menor y el Mayor tiempo obtenido entre las interacciones de los factores "Porcentaje para Zona de Repliegue & Porcentaje de Descenso"

ESTACIÓN	PORCENTAJE PARA ZONA DE REPLIEGUE	MENOR TIEMPO DE EVACUACIÓN	MAYOR TIEMPO DE EVACUACIÓN
Guerrero (Línea 3)	15	75% - 50%	100%
	30	50% - 75%	25%
	45	75% - 50%	25%
Hidalgo (Línea 2)	15	75%	25%
	30	100%	25%
	45	100%	25%

Nuevamente se destaca del análisis efectuado en la presentación de los resultados que, en todos los registros del tiempo de evacuación por emergencia sísmica para la estación Guerrero (Línea 3), este fue siempre superior a 590 segundos lo que equivale a de 9 minutos con 40 segundos, es decir, el tiempo de evacuación en situación de emergencia sísmica en la estación Guerrero es de más de nueve minutos; para la estación Hidalgo (Línea 2) los registros del tiempo de evacuación por emergencia sísmica, están en el rango de los 360 segundos a los 438 segundos, lo que equivale a un rango de 6 a 7 minutos con 18 segundos.

Para estación Merced, los tiempos de evacuación registrados varían entre 600 y 900 segundos, es decir, entre 10 y 15 minutos. Los menores tiempos de evacuación se registraron en los escenarios con el 15% del área disponible para la zona de repliegue; cabe destacar que en caso particular de esta estación, no se llevó a cabo un análisis de varianza multifactorial debido que los datos violan el supuesto de normalidad, que imposibilita el uso de un ANOVA multifactorial, sin embargo, con el desarrollo de los ANOVA´s simples se puede observar que en el caso de la estación Merced, con el descenso del 25% de los usuarios al tiempo cero registra los mayores tiempos de evacuación tanto para los tres porcentajes de área asignadas a zonas de repliegue como para los diferentes tipos de bloqueo, esto se puede traducir a que, cuando sólo el 25% de los ocupantes de

un tren (en condiciones de saturación, al 100% de su capacidad) desciende inmediatamente de que comienza un sismo, y que el 75% restante sale hasta que recibe la orden de evacuar, el tiempo de evacuación de la estación es mucho mayor a que si descienden todos los usuarios inmediatamente que comienza el evento sísmico, este efecto se repite en las condiciones de “bloqueo” analizados, a saber con 1) Bloqueo parcial del 50% en las escaleras para vagones mixtos, 2) Bloqueo del 50% en el pasillo del vestíbulo que da a las escaleras para vagones mixtos dirección Observatorio y 3) Cuando no existe bloqueo de los pasillos y escaleras y; para los tres porcentajes de área para zonas de repliegue.

Con estos resultados se establece un antes y un después en el contexto de la estación Merced, que como se observó en el proceso de caracterización de la configuración de la estación, de las tres estaciones de estudio, es la que menor número de salidas /entradas a la estación tiene (4 salidas/entradas); la de menor número de accesos a plataforma de vagones (4 accesos de entrada/salida a plataformas), en la que se registraron las velocidades peatonales más bajas, en la que una sola escaleras (en el área mixta) da servicio al 66% de los vagones de un tren, pues en ella se mueven la descarga de 6 de 9 de los vagones que comprenden un tren. Luego entonces, podemos explicar este comportamiento con base a la distribución que se genera, al salir el 100% de los usuarios del vagón, comenzarán a distribuirse a lo largo del andén, así para cuando se da la orden de evacuar, ya existe un avance en el desplazamiento de los usuarios, lo que disminuye la aglomeración en la zona de las escaleras y existe un flujo constante de movimiento en las mismas. De lo anterior corresponde a futuros trabajos considerar evaluar porcentajes mayores al 45% para valorar si existe diferencia significativa al efecto de los porcentajes aquí evaluados. Se considera que es necesario realizar un estudio para evaluar diferentes configuraciones para la estación Merced que le permitan obtener menores tiempos de evacuación.

Los resultados aquí expuestos ponen en tela de juicio las indicaciones emitidas por el STC a través de las infografías difundidas en redes sociales oficiales, donde la instrucción es “Si estás en el tren, permanece ahí”.

De las multitudes en los vagones

Derivado del análisis presentado de la densidad de los vagones se exhibe que la línea 3 posee mayor prevalencia con trenes en estado de saturación, después sigue la línea 1 y hasta el último la línea 2.

A la luz de lo anterior, es verosímil afirmar que en la línea 3 predomina la saturación en los horarios analizados, a saber: HPM: Hora Pico Matutina, HV: Hora Valle y HPV: Hora Pico Vespertino; después en horarios bien focalizados se haya la línea 1, y por debajo de los límites de inicio de aplastamiento (5 P/m²) se encuentra la línea 2. Lo anterior es el resultado de una serie de interacciones entre operación de la línea, la ubicación geográfica y tal vez otras que se coadyunen a lo presentado en la línea de estudio que sería un punto que desarrollar en futuros trabajos.

Se toma como criterio el de Li & Hensher (2013) para definir la saturación de un vagón. En consecuencia, se consideran superior al límite las condiciones de línea 1 dirección Pantitlán en la hora pico matutino, línea 1 dirección Observatorio en la hora pico vespertina, línea 3 dirección Universidad en la hora pico matutina y vespertina y, por último, la línea 3 dirección Indios Verdes hora valle y hora pico vespertina.

Las altas densidades son un aspecto que impacta el desalojo o evacuación en una estación, por lo que ya es un factor de riesgo ante posibles afectaciones en el proceso de evacuación, por ello es relevante verificar que la distribución en los andenes y los sistemas de control en las estaciones no propicien zonas de alta densidad.

Infraestructuras críticas y zonas de vulnerabilidad en los andenes y áreas conexas

Las principales áreas que tienen el potencial de generar densidades superiores a las 4 P/m² son los pies de escaleras y las áreas de torniquetes, y estaciones como la Merced, los pasillos estrechos. Puede decirse que estas zonas generan en los agentes una disminución de la velocidad y una disminución del espacio transitable lo que en conjunto configuran un cuello de botella. Estas zonas son importantes porque en ellas es más probable que en momentos de crisis existan aplastamientos y posibles lesiones de diversas magnitudes.

En seguida se muestran con rectángulos negros las zonas de mayor densidad promedio en las tres estaciones. (ver sección 4.5 para mejor resolución)

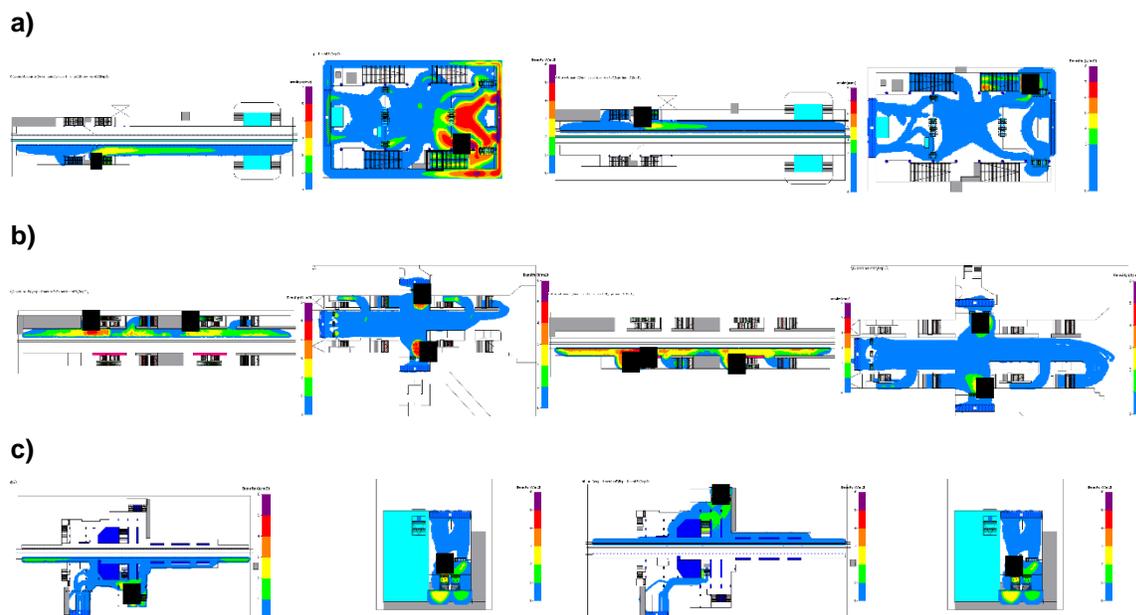


Figura 5.1 Mapas de densidad destacando las zonas generadoras de densidades superiores a 4 p/m². a) Estación Merced, b) Estación Hidalgo y c) Estación Guerrero

En las zonas mencionadas anteriormente sería prudente colocar puntos de observación que permitan observar el comportamiento de los usuarios, en otras palabras, el STC estaría en posibilidad de monitorear posibles condiciones de aplastamiento. También los extremos del andén son puntos relevantes ya que muchos escenarios de aplastamiento se hallan por una falta de comunicación entre la vanguardia y la retaguardia del flujo de personas (Fruin, 1993)

Del efecto del bloqueo de las estaciones

En general los bloqueos evaluados en los escenarios del marco de un incendio crearon un incremento en el tiempo de evacuación con respecto a los escenarios sin bloqueo. En el caso de la estación Merced el bloqueo del 50% de la escalera que conecta los vagones mixtos de la dirección Observatorio con el vestíbulo genera un incremento del tiempo de evacuación en más de un 30% que el tiempo sin bloqueo.

En la estación Hidalgo el bloqueo total de la escalera 2 de la dirección taxqueña provoca un 35 % más del tiempo de evacuación respecto a la estación sin bloqueo. Esto puede explicarse mediante la Figura 5.2 en la cual puede apreciarse como los agentes que salen de los vagones próximos a la escalera 2 incrementan su desplazamiento y se ven frenados por los agentes de los vagones vecinos que descargan a las escaleras 1 y 3.

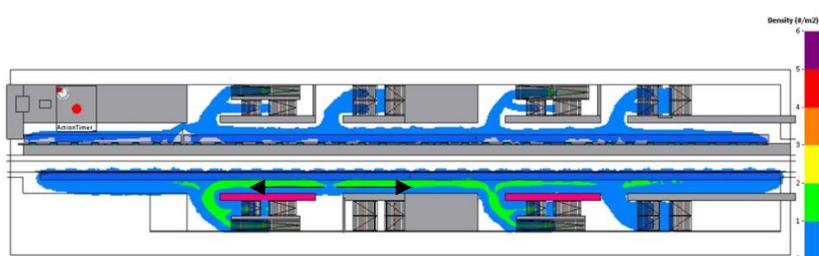


Figura 5.2 Mapa de densidad promedio del escenario de simulación por computadora 2 estación Hidalgo

Por otro lado, en la estación Guerrero el bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén dirección Universidad genera el máximo incremento de tiempo registrado de las corridas efectuadas (figura 6.5), el cual corresponde a un 5% de incremento con respecto a la estación sin bloqueos. Esto es debido a la pérdida de espacio transitable generado al bloqueo, lo que genero un retraso de los usuarios de los últimos vagones.



Figura 5.3 Mapa de densidad promedio del escenario de simulación por computadora 1 estación Guerrero

En general, los bloqueos en las escaleras más próximas a las salidas, las condiciones de la estación que más contribuyen al incremento del tiempo de evacuación, esto lo podemos apreciar en las gráficas de caja (Figura 6.6). Lo anterior es reafirmado por Jiang, Yuan, & Chow (2010) y Jiang et al. (2009), donde destaca que el bloqueo con consecuencias más graves se encuentran en las escaleras inferiores que conectan a los pasillos con la plataforma y que el ancho de las escaleras y la velocidad de los peatones en las zonas de descarga son factores clave que afectan la eficiencia de la evacuación .

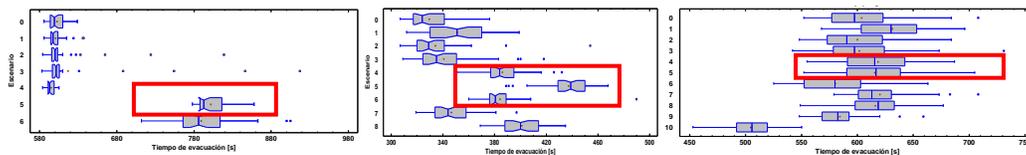


Figura 5.4 Contribución del tiempo de evacuación por efecto del bloqueo de las escaleras más próximas a las salidas

En la tabla 5.1 se presentan concentrados los resultados del análisis de la simulación de los escenarios de evacuaciones en las estaciones Merced de Línea 1, Hidalgo de Línea 2 y Guerrero de Línea 3. Para la interpretación de estos es indispensable que la lectura sea a la luz del contexto en el que fueron determinados y a las secciones correspondientes de este documento a las que se encuentran adscritos.

Principales resultados del análisis de escenarios de evacuaciones masivas en el sistema de transporte colectivo en las líneas de máxima demanda

ESTACIÓN	MERCED (LÍNEA 1)	HIDALGO (LÍNEA 2)	GUERRERO (LÍNEA 3)
Velocidad promedio	1.1 m/s (sección 4.1.2)	1.3 m/s (sección 4.1.2)	1.4 m/s (sección 4.1.2)
Máxima densidad registrada en vagones (mediana)	6.8 P/m ² (sección 4.4.1 y Anexo B)	4.2 P/m ² (sección 4.4.1 y Anexo B)	5.2 P/m ² (sección 4.4.1 y Anexo B)
Máxima densidad registrada en andenes	5-6 P/m ² (sección 4.4.1 y Anexo B)	3 – 4 P/m ² (sección 4.4.1 y Anexo B)	3 – 4 P/m ² (sección 4.4.1 y Anexo B)
Direcciones y horarios en condiciones de saturación en vagones	Observatorio a Pantitlán (18 a 19 hrs) (Anexo I)	Cuatro Caminos (9 a 10 hrs) (Anexo I)	Universidad a Indios Verdes (18 a 19 hrs) e Indios Verdes a Universidad (9 a 10 hrs) (Anexo I)
Bloqueos que contribuyen al incremento del tiempo de evacuación	Bloqueo parcial del 50% en las escaleras para vagones mixtos dirección Observatorio Bloqueo del 50% en el pasillo del vestíbulo que da a las escaleras para vagones mixtos dirección Observatorio (Anexo F)	Bloqueo total de la escalera 2 dirección Tasqueña Bloqueo del 50% en el vestíbulo (Anexo F)	Bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén Bloqueo total del pasillo 3 (Anexo F)
Porcentaje de descenso de usuarios del vagón al andén durante un sismo y porcentaje de la zona de repliegue en el que registran el menor tiempo de evacuación	Descenso del 100% y un 15% del área disponible para la zona de repliegue (sección 4.8.3)	Descenso del 100% y un rango del 30% y 45% del área disponible para la zona de repliegue (sección 4.8.2)	Descenso del 50% y 75% de usuarios del tren al andén y con porcentajes de 30% y 45% del área disponible para la zona de repliegue (sección 4.8.1)

Validación del modelo de simulación

El diseño de Pedestrian Dynamics® permite simular y evaluar infraestructuras a gran escala con un gran número de ocupantes que se mueven en el ambiente construido. (Fernández Díaz et al., 2017; INCONTROL, 2017) modelando en la llamada escala mesoscópica La dinámica de los peatones puede manejar modelos con multitudes formadas por cientos de miles de agentes. Sin embargo, hay situaciones en las que este enfoque mesoscópico no proporciona predicciones satisfactorias del flujo peatonal, en estos casos, la simulación también se puede ejecutar en la llamada escala microscópica, con ella se reproduce una representación más detallada de los movimientos peatonales y proporciona resultados más precisos al costo de un mayor esfuerzo computacional.(INCONTROL, 2017)

INCONTROL Simulation Solutions desarrolló experimentos entre modelos de escala microscópica y mesoscópica para examinar las diferencias. En unos experimentos se analiza una situación con flujo unidireccional a densidades crecientes, esperando que la diferencia en los tiempos de viaje entre micro y meso aumente con la densidad. En otro escenario el experimento se analiza en contraflujo, dos flujos de peatones en direcciones opuestas en el mismo corredor. En estos experimentos se mantiene constante el número de peatones y se varía la relación entre los dos flujos. El tiempo de viaje es la principal medida de rendimiento considerada en estos experimentos. Durante el análisis de la sensibilidad micro/meso, es decir, la relación entre los tiempos de viaje promedio de una serie de simulaciones de microescala y una serie de simulaciones de escala meso el promedio de sensibilidad es de 114.9 % de todos los experimentos. Ahora bien, la mayor sensibilidad encontrada fue la de 142%, y corresponde a recorridos bidireccionales Oeste-Este, esto se explica porque en el contraflujo se da lugar a muchas interacciones (INCONTROL, 2017)

Ahora, los expertos reconocen que los modelos microscópicos son los que mejor reproducen la realidad (Haghani et al., 2014; Jager et al., 2001). Ante esto se puede esperar que los resultados del software Pedestrian Dynamics suministre valores más conservadores en comparación con los modelos microscópicos en al menos un 114.9%.

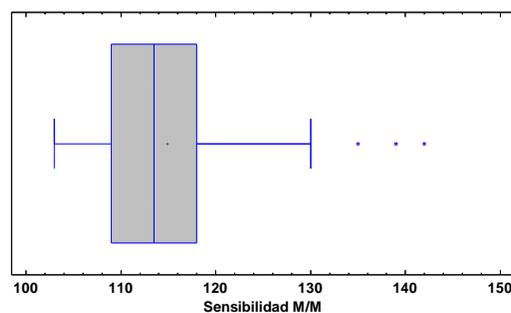


Figura a) Grafico de Caja y bigotes con los datos de la Sensibilidad determinada en 42 mediciones efectuadas en los experimentos desarrollados

Señalamientos de rutas de evacuación

De las estaciones analizadas, la única estación que cuenta con señalamiento de seguridad de conformidad con la NOM-003-SEGOB-2011⁵ es la estación Merced. Por otro lado, Künzer, Hofinger, & Zink, (2014b) estudiaron los factores que influyen en el comportamiento individual y social de los usuarios durante una evacuación, y encontraron que una gran parte de los usuarios necesitaría ayuda durante una evacuación porque existe un desconocimiento sobre los señalamientos de evacuación y el comportamiento requerido en una emergencia. Con base a lo anterior, es extrapolable que los usuarios del STC también requieran ayuda al momento de evacuar las estaciones y esto es magnificado ya que en la estación Hidalgo y Guerrero no cuenta con los señalamientos de evacuación de conformidad con la NOM-003-SEGOB-2011. La información, como la señalización, es importante para mantener a los pasajeros en movimiento y evitar tener que intentar caminar contra el flujo general (Office of Rail and Road, 2015).

Dispositivos de iluminación de emergencia

Dado que las estaciones analizadas son de al menos dos niveles por debajo de la calle, es necesario, contar con dispositivos de iluminación de emergencia. En pregunta expresa al personal del área de Transportación del STC sobre este tema, él contestó que no existe tal sistema, pero el STC cuenta con sistema de dos suministros paralelos en la red para el abastecimiento de energía eléctrica fiable, lo que casi no genera apagones en el sistema, pues cuando se llega a presentar una falla en el suministro empleado entra en operación el relevo. Por otro lado, hay videos que muestran que si es factible la ausencia de iluminación tras un siniestro, lo anterior es relevante dado que la falta de luz genera en los usuarios un estado de exaltación y puede acaecer un evento similar como el descrito por Fruin (1993), a saber, en 1981 en la torre de Quitab minar (Nueva Delhi, India) murieron 45 personas, 27 de ellos niños, esto debido a una falla en el suministro de la energía eléctrica, más el rumor de que la torre estaba cayendo lo que provocó un éxodo repentino de 300 a 400 personas.

Aunque la estación Merced cuenta con elementos que permitan percibir las rutas ¿estas serían visibles en condiciones de superpoblación?

El STC puede procurar el desarrollo de acciones para asegurar que se cuente con elementos que permitan percibir el piso y cualquier modificación en su superficie cuando se interrumpa la energía eléctrica o falte iluminación natural.

⁵ NORMA Oficial Mexicana NOM-003-SEGOB-2011, Señales y avisos para protección civil. - Colores, formas y símbolos a utilizar

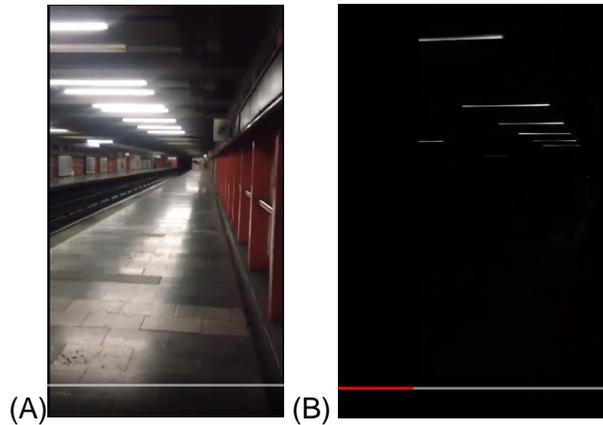


Figura 5.5 (A) Imagen al minuto 00:02; (B) imagen al minuto 00:05. Las imágenes son tomadas del video "Temblor Ciudad de México 7 de septiembre Metro Puebla Línea 9" de la plataforma de YouTube ⁶

Bloqueo de energía en escaleras eléctricas

La estación Hidalgo y Guerrero cuentan con escaleras eléctricas; todas ellas tienen un sentido del andén hacia el vestíbulo o, en el caso de Guerrero, del pasillo de cambio de dirección al andén, lo que favorece su uso en el momento en el que se requiera una evacuación. No obstante, por protocolo del STC y la NOM-002-STPS-2010 en situaciones debe bloquearse la energía eléctrica en las escaleras eléctricas. Lo relevante es quién, cuándo y si se cuenta con el número de personas que puedan ejecutar el procedimiento. Ante esta incertidumbre, es prudente investigar el proceso y efecto en el tiempo de evacuación.

Acceso de cuerpos de emergencia.

En caso de que los cuerpos de atención de emergencia ingresen por la entrada de la estación a la zona caliente, esto siempre será en contra flujo en condiciones de evacuación. Actualmente no se encuentra reportado que tanto influye este factor en el tiempo de atención de la emergencia, y si contribuye en el tiempo de evacuación de los usuarios, por ello, es necesario ensayar posibles escenarios de ingreso de cuerpos de emergencia con el fin de incrementar la eficiencia de los planes de evacuación de tal manera que se cumplan dos objetivos, a saber, minimizar el tiempo de evacuación de los usuarios y minimizar el tiempo de ingreso de los cuerpos de emergencia a la zona.

⁶ <https://www.youtube.com/watch?v=ogUWBxL2mpw>

Regulación de la capacidad en la estación.

Con ayuda de la información y parámetros obtenidos del personal de la Coordinación de Protección Civil del STC fue factible estimar la capacidad de usuarios en los andenes poniendo como máxima densidad permisible la de 4 P/m². Con lo anterior aunado a tecnología de reconocimiento sería posible construir un sistema de dosificación de usuarios que permita respetar el criterio de 4 P/m².

Tabla 5.6 Capacidad máxima de usuarios en andenes

ESTACIÓN	DIRECCIÓN	CAPACIDAD MÁXIMA DE USUARIOS
Merced	Observatorio	2,412
	Pantitlán	3,016
Hidalgo	Tasqueña	2,111
	Cuatro Caminos	2,111
Guerrero	Indios Verdes	1,894
	Universidad	1,860

Comunicación de entre STC y los usuarios

Las personas adoptan comportamientos diferentes ante un peligro y es mediante la comunicación que se logra una respuesta unificada (Fischer et al., 1995). Además, Wan et al. (2014) indica que se asocia el desconocimiento de la situación peligrosa con el número de fatalidades en la emergencia. En consecuencia, el mensaje del STC puede atender los siguientes puntos según Fischer et al. (1995):

- Comunicar que existe una situación de emergencia y las acciones que el usuario tiene que hacer en esa condición
- Conservar la uniformidad en el mensaje, es decir, que el mensaje sea el mismo
- Debe existir una reiteración de las advertencias.

Lo anterior puede potencializarse al promover un programa de diagnóstico y seguimiento para el sistema de sonorización en estaciones y trenes.

Formación del usuario

Künzer, Hofinger, & Zink, (2014b) estudiaron los factores que influyen en el comportamiento individual y social de los usuarios durante una evacuación, y encontraron que una gran parte de los usuarios necesitaría ayuda durante una evacuación porque existe un desconocimiento sobre los señalamientos de evacuación y el comportamiento requerido en una emergencia. Con base a lo anterior, se le recomienda al STC analizar el nivel de conocimiento y preparación para emergencias del usuario, y el nivel de familiaridad de los ocupantes en sus estaciones ya que estos son factores relevantes al momento de evacuar tal como lo expresa Graham y Roberts (2000) citado en

(Tashrifullahi & Hassanain, 2013). Por otro lado, una superpoblación se puede entender como una serie de células de comportamiento interrelacionadas. Cada célula se compone de un pequeño grupo de personas circundantes, con una comunicación limitada entre ellos. Los miembros de la célula no tienen una visión amplia de lo que está ocurriendo en la multitud, pero un miembro celular dominante puede influir en el comportamiento positivo colectivo de la célula (Fruin, 1993). Por lo que, la formación de los usuarios para saber cómo actuar ante emergencias es importante para el STC ya que funge como un factor protector para de él y los propios usuarios.

Gestión de multitudes

Con base a los resultados obtenidos se considera relevante que el STC evalúe si una estación por si sola puede enfrentar emergencias. Para ello, lo primero es evaluar si cuenta en cada estación con personal que tenga las habilidades requeridas para llevar a cabo tareas de gestión de multitudes tanto en situaciones normales como de emergencia, y lo segundo es establecer capacitaciones que al menos contemplen los siguientes aspectos según Davis Associates (2004) y Health and Safety Executive (2000):

- Técnicas de monitoreo de la densidad.
- Comunicación efectiva del riesgo y de procedimiento de actuación
- Comprensión de los roles y autoridad de los demás.
- Uso de equipo de CCTV, radio y comunicaciones telefónicas.

Por otro lado, las tendencias de la industria de servicios están enfocadas en la satisfacción de las necesidades del cliente, en el ámbito del transporte una característica de calidad es la comodidad del usuario que, a su vez, está estrechamente ligada con la saturación, por lo que, se recomienda implementar medidas para monitorear y aumentar las condiciones que eviten la saturación en trenes y andenes. Así como, la integración de un indicador de superpoblación al conjunto de indicadores operativos del STC.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIÓN Y TRABAJOS FUTUROS

Mediante los datos de movilidad fue posible identificar a las estaciones Merced (línea 1), Hidalgo (línea 2) y Guerrero (línea 3) como las estaciones con mayor número de usuarios por hora, lo que las coloca como las estaciones con mayor número de agentes afectables, en otras palabras, son las estaciones en las que en caso de impactar un agente perturbador tendrían la mayor probabilidad de generar la mayor cantidad de muertes debido al nivel de exposición. Derivado de ello se efectuaron las identificaciones y reconocimientos de las características de estas estaciones, así se identificaron los pies de escaleras, pasillos reducidos y zonas de torniquetes como las zonas de vulnerabilidad e infraestructuras críticas en donde es potencial La generación de grandes concentraciones de usuarios.

La dinámica peatonal, tal como comenta Fruin (1993) y Pan & Liu (2017) las zonas generadoras de multitudes se encuentran en las aproximaciones de las escaleras tanto eléctricas como fijas. Para las tres estaciones en estudio se detectó a las escaleras como propiciadoras de altas densidades, también los torniquetes presentan estas situaciones y para algunas estaciones destacan pasillos y estructuras de segregación que fomentan la aglomeración, tal como lo es el caso de la estación Merced, cuyos controles de flujo peatonal propician condiciones generadoras de multitudes, que hacen de estas zonas, estructuras críticas.

Por otro lado, respecto a los resultados obtenidos es verosímil afirmar que las líneas 1, 2 y 3 presentan condiciones superiores a límite de saturación en vagones de la siguiente forma: en línea 1 dirección Pantitlán en la hora pico matutino, línea 1 dirección Observatorio en la hora pico vespertina, línea 3 dirección Universidad en la hora pico matutina y vespertina, y por último la línea 3 dirección Indios Verdes hora valle y hora pico vespertina.

En el diagnóstico del proceso de evacuación es factible mencionar que las estaciones Merced y Guerrero no cuentan con un buen desempeño para facilitar la salida de los usuarios en comparación con la estación Hidalgo, esto en términos del tiempo de evacuación, toda vez que algunas estaciones superan los 15 minutos. También la gestión de las multitudes es deficiente en las tres estaciones, debido que existieron áreas con densidad superior a los 4 P/m².

Por otro lado, en general los bloqueos en las escaleras más próximas a las salidas son las condiciones de la estación que más contribuyen al incremento del tiempo de evacuación en al menos un 30 % en comparación a la estación sin bloqueos. Todas las estaciones, en escenarios con cargas superiores a 10 usuarios por vagón, superan el tiempo máximo de evacuación que establece la NOM-002-STPS-2010 y que corresponde a 180 segundos cuando la distancia por recorrer desde el punto más alejado del interior hacia cualquier punto de la ruta de evacuación sea mayor de 40 m. Por otro lado, las estaciones Merced y Guerrero superan el tiempo de 900 segundos cuando las cargas en trenes son de 300 usuarios por vagón. Aunque en este trabajo se ocuparon dos valores para comparar el tiempo de evacuación ante un incendio, es necesario complementar el análisis de incendio dentro de las estaciones con simulaciones de la propagación del humo, ya que estos darán el tiempo estándar para establecer el tiempo óptimo de evacuación.

Al evaluar el efecto del repliegue y descenso de usuarios en diferentes concentraciones en dos tiempos definidos se tienen elementos para cuestionar la funcionalidad de las recomendaciones que ha emitido el STC de que hacer en caso de Sismo al interior de las instalaciones del STC, donde se difunde que en caso de estar en un tren, permanecer ahí, puesto que como el análisis de las simulaciones efectuadas indica, cuando permanecen en el tren porcentajes arriba del 75%, es decir, que solo desciende el 25% se presentan incrementos en el tiempo de evacuación.

Para el mismo objetivo, se evaluó el efecto de diferentes porcentajes de área para zonas de repliegue como influye el repliegue de estas concentraciones en el tiempo de evacuación.

Futuros trabajos

Llevar a cabo la fase dos de la percepción de riesgo sísmico y de una estampida en los usuarios del Sistema de Transporte Colectivo Metro, en donde se diseñe el instrumento de valoración de la percepción tomando como base el análisis de los elementos presentados en la presente investigación.

Si bien la presente investigación presenta el análisis de factores para determinar si existe un efecto en el proceso de evacuación por emergencia sísmica, es decir si influyen en el tiempo de evacuación, de los resultados obtenidos se establece que es indispensable y necesario que en lo futuro, se exploren configuraciones administrativas y operativas a fin de minimizar la carga de usuarios, preservar la simplicidad de las rutas y evitar flujos cruzados, la asignación de las zonas de repliegue y la valoración del descenso de usuarios del tren al andén considerando la logística para su gestión, que permitan incrementar el nivel de eficiencia de los planes de evacuación. También, complementar el análisis del resto de los 174 escenarios de acuerdo con el Proceso de Análisis Jerárquico.

Un punto relevante que no se evalúa en esta investigación fue el aspecto de “zonas de descarga de salida” al exterior de las estaciones de estudio, con la capacidad de albergar al menos 2250 usuarios. A través de imágenes satelitales se llevó a cabo un análisis preliminar para identificar si existen dichas “zonas de descarga” al exterior de las estaciones de estudio, así, en la figura 6.1a), se observa que en la estación Merced existe un bloqueo de las salidas de la estación ocasionado por puestos comerciales. En el caso de la estación Hidalgo y Guerrero ambas parecen no contar con obstrucciones relevantes (figura 6.1 b) y c) respectivamente). Con el análisis preliminar anterior no es posible determinar si las “zonas de descarga” de las estaciones tengan las condiciones de seguridad, por ello, es imperioso contar con un análisis de seguridad vial enfocado al tránsito del peatón desde la salida de la estación hasta la ubicación del punto de reunión o zona de servicio provisional.

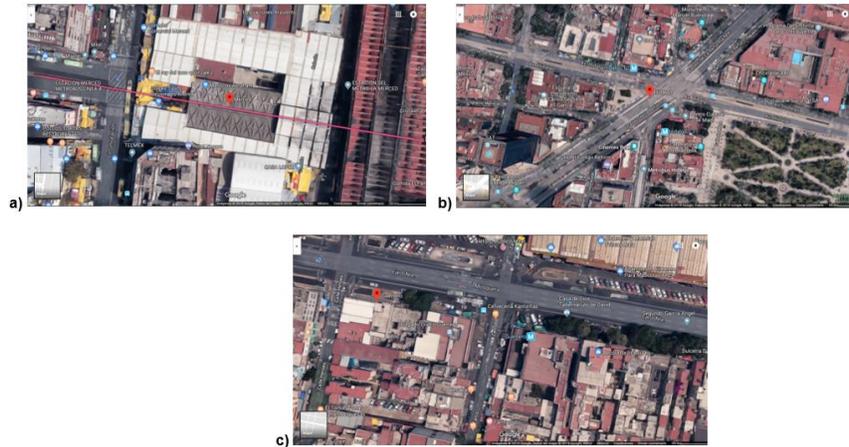


Figura 6.1 Vista satelital de las estaciones a) Estación Merced, b) Estación Hidalgo y c) Estación Guerrero. Imágenes tomadas de Google Maps.

Recomendaciones

Pasajeros con percepciones inexactas pueden tener implicaciones en el comportamiento de la seguridad de estos, en el cómo prestar atención a la información y los anuncios de seguridad, es por ello que se pueden obtener muchos beneficios al hacer esfuerzos para educar a los usuarios sobre dónde se encuentran los riesgos reales (Thomas, Rhind, & Robinson, 2006), así se recomienda llevar a cabo investigación en el tema de la comunicación de los protocolos de actuación, pero más importante, investigación donde se analice el efecto que tienen actividades como el permanecer en determinados sitios, por ejemplo, dentro de los vagones, en los procesos de evacuación, de tal manera que se garantice la eficiencia del Sistemas pero también la seguridad de los usuarios.

Es aconsejable realizar un perfil sociodemográfico de los usuarios del STC (sexo, grupos de edad, escolaridad, ocupación, condición física y otras pertinentes) y que este sea vinculado con la velocidad peatonal. Lo anterior, con base a que los datos de esta investigación sugieren que la velocidad de los peatones no es homogénea y puede ser explicada en parte por la heterogeneidad de perfiles que conforman a las multitudes del STC. Con esta acción se generaría la información pertinente para ejecutar más ejercicios de simulación por computadora que contribuyan a la planeación de la evacuación de tal forma que se ayude a incrementar los elementos del qué y el cómo debieran ser las evacuaciones masivas en el marco de las emergencias.

Como se menciona con anterioridad llevar a cabo investigación que proporcione elementos eficientes para el diseño de campañas permanentes de concientización y educación sobre el comportamiento individual y social que los usuarios deben tener antes, durante y después de una evacuación del STC. Lo anterior, con base a la información recopilada del análisis de la literatura de evacuaciones en otros sistemas de trenes urbanos, en los cuales se ha encontrado que una gran parte de los usuarios necesitaría ayuda durante una evacuación además de presentar

desconocimiento sobre los señalamientos de evacuación. Con esta acción se fomenta la autoprotección del usuario, y la familiarización de los usuarios con los protocolos de evacuación del STC, siendo esto un agente protector ante emergencias.

Se propone que se incluya en los protocolos de actuación en procesos de evacuación el monitoreo y apoyo a grupos con velocidades de desplazamiento bajas (personas mayores o con alguna condición que no permita un desplazamiento como el promedio de usuarios), haciendo énfasis en las áreas de escaleras y torniquetes de salida. Lo anterior, con base a los resultados de esta investigación, en los cuales, los datos sugieren que los bloqueos en las escaleras incrementan el tiempo de evacuación en forma significativa. Con esta acción se tendría un factor que contribuiría en la disminución del tiempo de evacuación.

Es recomendable definir estrategias para disminuir la densidad dentro de los vagones a una densidad aceptable en términos de seguridad y calidad del servicio. Lo anterior, con base a la información recopilada del análisis de la literatura de superpoblaciones, en las cuales, se destaca que en condiciones de saturación es gravoso el ingreso de cuerpos de emergencia y de extracción de heridos. Con esta acción se tendría un factor que contribuye al ingreso rápido de cuerpos de emergencias a las estaciones y evacuación con tiempos inferiores a los 900 segundos.

Por otro lado, se le recomienda al STC implementar, o en su caso, enfatizar en sus protocolos operativos actividades tendientes a evitar los bloqueos en las escaleras y torniquetes, ya sea por comercio informal o alguna otra actividad que implique la obstrucción del libre flujo de usuarios por las escaleras y torniquetes. Con esta acción se disminuye el riesgo de estampidas y aplastamientos en las estaciones de estudio.

Es pertinente al STC considere colocar en las estaciones Guerrero e Hidalgo y donde sean requeridos los señalamientos de seguridad de conformidad con la NOM-003-SEGOB-2011, aunado con campañas de sensibilización del comportamiento individual y social de los usuarios durante una evacuación. Con esta acción incrementa el conocimiento de los usuarios al momento de evacuar las estaciones y evitar los contraflujos.

De igual manera se recomienda al STC considere verificar y /o colocar en las estaciones Guerrero e Hidalgo elementos que permitan percibir las rutas y cualquier modificación en la superficie, cuando se interrumpa la energía eléctrica o falte iluminación natural. Con esta acción, en estados de emergencia, se contribuye a evitar que los usuarios entren en una situación de exaltación y pueda generar un éxodo repentino.

REFERENCIAS

© The AnyLogic Company. (2018). Pedestrian Library.

- a.Z. Keller, Meniconi, M., Al-Shammari, I., & Cassidy, K. (1997). Analysis of fatality, injury, evacuation and cost data using the Bradford Disaster Scale. *Disaster Prevention and Management*, 6(1), 33–42. <https://doi.org/10.1108/09653569710162433>
- Amini Hosseini, K., Hosseini, M., Hosseinioon, S., O. Izadkhah, Y., Shaw, T., & Takahashi, R. (2014). A survey on evacuation planning and its challenges for potential earthquake in Tehran. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 5(1), 38–52. <https://doi.org/10.1108/IJDRBE-09-2011-0033>
- Balderas Castro, E. J., López Amatitla, M., Padilla Pérez, D. A., & Santos Reyes, J. R. (2017). Análisis de Escenarior de Evacuaciones Masivas en el Sistema de Transporte Colectivo en las líneas de Máxima Demanda. México: Sistema de Transporte Colectivo Metro (STCM).
- Ballesteros Mancilla, L. I. (2015). PROPOSICIÓN CON PUNTO DE ACUERDO POR EL QUE SE EXHORTA AL GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL, AL GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO Y A LA COMISIÓN METROPOLITANA DE TRANSPORTE Y VIALIDAD (COMETRAVI), A QUE SE INICIEN LOS TRABAJOS PARA DESTINAR DE MANERA ESPECIFICA . México: Asamblea Legislativa del Distrito Federal VI Legislatura. Retrieved from <http://www.aldf.gob.mx/archivo-e69374e21d400585621a69e0817aa47a.pdf>
- Benz, H. M., L. Dart, R., Villaseñor, A., Hayes, G. P., Tarr, A. C., Furlong, K. P., & Rhea, S. (2011). *Seismicity of the Earth 1900 – 2010 Mexico and Vicinity*. U.S. Geological Survey (Vol. 80225). <https://doi.org/10.1130/G23631A.1.DeMets>
- Checkland, P. (1993). *Pensamiento de sistemas, práctica de sistemas*. México: LIMUSA GRUPO NORIEGA EDITORES.
- Chen, L. (2014). Towards a Multi-Agent Based Software Framework for Fine-Scale Pedestrian Movement Modelling. *International Journal of Modelling and Simulation*, 34(2). <https://doi.org/10.2316/Journal.205.2014.2.205-5945>
- Chiu, Y.-P., Shiau, Y.-C., & Lai, Y.-H. (2018). Study on evacuation simulation under crowd-diversion condition. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(7), 168781401878509. <https://doi.org/10.1177/1687814018785092>

- Co-investigador, N. (2008). *Pedestrian Dynamics*. (P. P. E. Kachroo, S. Amin Wadoo, S. J. Al-nasur, & A. Shende, Eds.), *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis* (Vol. 53). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-75561-6>
- Cruz, H. (2017, June). Metro, sin recursos para la ampliación a Observatorio. *El Sol de México*. México. Retrieved from <https://www.elsoldemexico.com.mx/metropoli/678658-metro-sin-recursos-para-la-ampliacion-a-observatorio>
- Daamen, W., Campanella, M., & Hoogendoorn, S. P. (2013). Traffic and Granular Flow '11. *DUP Science*, 403. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-39669-4>
- Davidich, M., & Köster, G. (2014). Calibrating a General Pedestrian Stream Simulation Model According to a Specific Real Life Scenario of a German Railway Station. In U. Weidmann, U. Kirsch, & M. Schreckenberg (Eds.), *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2012* (pp. 639–647). New York: Springer Cham Heidelberg.
- Department for Culture Media and sports. (2008). *Guide to Safety at Sports Grounds*. Department for Culture, Media and Sport (5th ed.). United Kingdom: Information & publishing solutions.
- Eldursi, S., Alamoudi, N., Haron, F., Aljarbua, F., & Albakri, G. (2017). Crowd Density Estimation System for Al-Masjid Al-Haram. *Int'l Journal of Computing, Communications & Instrumentation Engg*, 4(1), 60–63. Retrieved from <https://doi.org/10.15242/IJCCIE.IAE1216012>
- Fernández Díaz, R., Hernández Sánchez, G., & Peña García, M. A. (2017). *Simulación del comportamiento de multitudes en casos de siniestro para el estudio de planes de evacuación en la Escuela Superior de Cómputo*. Instituto Politecnico Nacional.
- Fritz, M. S. (1983). Effect of crowding on light rail passenger boarding times. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 43–50.
- Fruin, J. (1993). The Causes and Prevention of Crowd Disasters. *First International Conference on Engineering for Crowd Safety*, 1–10. Retrieved from <http://www.crowdsafe.com/FruinCauses.pdf>
- García Acosta, V. (2005). El riesgo como construcción social y la construcción social de riesgos. *Desacatos. Revista de Ciencias Sociales*, 19(1607–050X), 11–24. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13901902>
- Gascón, M. (2009). *Percepción del desastre natural*. Buenos Aires. Argentina: Editorial Biblos.
- Gutiérrez Martínez, M. en C. C., Quaas Weppen, M. en I. R., Ordaz Schroeder, D. M.,

- Guevara Ortíz, I. E., Muriá Vilá, D. D., & Singh, D. S. K. (2014). *Sismos* (5ta ed.). Centro Nacional de Prevención de Desastres; Secretaria de Gobernación.
- Haghani, M., Ejtemai, O., Sarvi, M., Sobhani, A., Burd, M., & Aghabayk, K. (2014). Random utility models of pedestrian crowd exit selection based on SP-off-RP experiments. *Transportation Research Procedia*, 2, 524–532. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.09.070>
- Haghani, M., & Sarvi, M. (2017). Following the crowd or avoiding it? Empirical investigation of imitative behaviour in emergency escape of human crowds. *Animal Behaviour*, 124, 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2016.11.024>
- INCONTROL, S. S. (2017). Pedestrian Dynamics Tutorial.
- Jackson, M. C. (2002). *Systems Approaches to Management*. KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS (Vol. 29). NEW YORK, BOSTON, DORDRECHT, LONDON, MOSCOW.
- Jager, W., Popping, R., & van de Sande, H. (2001). Clustering and Fighting in Two-party Crowds: Simulating the Approach-avoidance Conflict. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 4(2001), 1–17. Retrieved from <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/4/3/7.html>
- Jiang, C. S., Ling, Y., Hu, C., Yang, Z., Ding, H., & Chow, W. K. (2009). Numerical simulation of emergency evacuation of a subway station: A case study in beijing. *Architectural Science Review*, 52(3), 183–193. <https://doi.org/10.3763/asre.2008.0047>
- Jiang, C. S., Yuan, F., & Chow, W. K. (2010). Effect of varying two key parameters in simulating evacuation for subway stations in China. *Safety Science*, 48(4), 445–451. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2009.12.004>
- Kawamoto, Y., Yamada, N., Nishiyama, H., Kato, N., Shimizu, Y., & Zheng, Y. (2017). A Feedback Control Based Crowd Dynamics Management in IoT System. *IEEE Internet of Things Journal*, 4662(c), 1. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2724642>
- Khan, S. D., Saqib, M., & Blumenstein, M. (2017, September). Towards a Dedicated Computer Vision Tool set for Crowd Simulation Models. Makkah: Institute of Integrated and Intelligent Systems, Griffith University. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1709.02243>
- Kinsey, M. J., Galea, E. R., & Lawrence, P. J. (2014). Modelling Evacuation Using Escalators: A London Underground Dataset. In U. Weidmann, U. Kirsch, & M. Schreckenberg (Eds.), *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2012* (pp. 385–400). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-02447-9>
- Kisko, T. M., & Francis, R. L. (1985). EVACNET+: A computer program to determine optimal

- building evacuation plans. *Fire Safety Journal*, 9(2), 211–220. [https://doi.org/10.1016/0379-7112\(85\)90009-8](https://doi.org/10.1016/0379-7112(85)90009-8)
- Könnecke, R., & Schneider, V. (2007). Evacuation from underground railway stations – Available and required safe egress time for different station types and general evaluation criteria. In N. Waldau, P. Gattermann, H. Knoflacher, & M. Schreckenberg (Eds.), *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2005* (pp. 363–368). Springer Berlin Heidelberg.
- Krishna Singh, D. S. (1991). Riesgo Sísmico en México. Ciudad de Mexico. Retrieved from <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Abril-Mayo2005/CD1/pdf/spa/doc1522/doc1522.htm>
- Künzer, L., Hofinger, G., & Zink, T. (2014a). Psychological Aspects of German Signal Words in Evacuation Warnings. In U. Weidmann, U. Kirsch, M. Schreckenberg, & Editors (Eds.), *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2012* (pp. 1135–1148). Springer Cham Heidelberg.
- Künzer, L., Hofinger, G., & Zink, T. (2014b). Psychological Aspects of Human Dynamics in Underground Evacuation: Field Experiments. In U. Weidmann, U. Kirsch, M. Schreckenberg, & Editors (Eds.), *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2012* (pp. 1149–1162). Springer Cham Heidelberg.
- Legion International Limited. (2007). Methodology and Validation.
- Lei, W., Li, A., Gao, R., Hao, X., & Deng, B. (2012). Simulation of pedestrian crowds' evacuation in a huge transit terminal subway station. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 391(22), 5355–5365. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2012.06.033>
- Li, Z., & Hensher, D. A. (2013). Crowding in public transport: A review of objective and subjective measures. *Journal of Public Transportation*, 16(2), 107–134. <https://doi.org/10.5038/2375-0901.16.2.6>
- Lv, Y., Yan, X. D., Sun, W., & Gao, Z. Y. (2015). A risk-based method for planning of bus-subway corridor evacuation under hybrid uncertainties. *Reliability Engineering and System Safety*, 139, 188–199. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2015.03.002>
- Mansilla, E. (2000). *Riesgo y ciudad*. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://doi.org/Tesis de Doctorado>
- Méndez Alvarez, S. (2011). *Análisis de evacuación de estación subterránea tipo usando distintas herramientas informáticas*. Universidad Pontificia Comillas. Retrieved from <https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/4ea0426977313.pdf>
- Orozco Flores, M. (1998). *Operaciones unitarias 1* (1st ed.). México: LIMUSA NORIEGA

EDITORES.

- P. Beer, F., & E. Russell, J. J. (1990). *Mecánica vectorial para ingenieros* (quinta). México: McGRAW-HILL/ INTERAMERICANA DE MEXICO S.A. de C.V.
- Padilla Pérez, D.-A. (2014). *Modelado de interdependencias en sistemas críticos: caso del Sistema de Transporte Colectivo Metro*. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL. Retrieved from <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/18076>
- Pan, H., & Liu, Z. (2017). A Queuing Network Based Optimization Model for Calculating Capacity of Subway Station. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2017, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2017/4825802>
- Preuss, J., & Godfrey, J. (2006). Guidelines for Developing an Earthquake Scenario. *Earthquake Engineering Research Institute*. Earthquake Engineering Research Institute (EERI) and FEMA.
- Rosas Gutiérrez, J. (2008). *El Sistema de Transporte Colectivo Metro como una solución viable al problema del transporte en la ciudad de México 1994-2006*. Universidad Nacional Autónoma de México. Retrieved from <http://132.248.9.195/ptd2008/septiembre/0632127/Index.html>
- Rosenblueth, E. (1992). Sismos y sismicidad en México. *Macrosismos. Aspectos Físicos, Sociales, Económicos y Políticos*.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Sahal, A., Leone, F., & Péroche, M. (2013). Complementary methods to plan pedestrian evacuation of the French Riviera's beaches in case of tsunami threat: Graph-and multi-agent-based modelling. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(7), 1735–1743. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-1735-2013>
- Santos-Reyes, G. C. (2016). *Percepción del Riesgo de Terremotos en una Región Sísmica del Estado de Oaxaca*. Instituto Politécnico Nacional. <https://doi.org/10.1109/CCECE.2014.6901098>
- Santos-Reyes, J., Gouzeva, T., & Santos-Reyes, G. (2014). Earthquake risk perception and Mexico City's public safety. *Procedia Engineering*, 84, 662–671. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.484>
- Santos-Reyes, J., Padilla-Pérez, D., & Beard, A. N. (2015). Modeling Critical Infrastructure Interdependency: The Case of the Mexico City Metro Transport System. *Human and Ecological Risk Assessment*, 21(5), 1428–1444. <https://doi.org/10.1080/10807039.2014.957956>

- Schenk, G. J. (2007). Historical disaster research. State of research, concepts, methods and case studies. *Historical Social Research (Themanz. Historical Disaster Research. Concepts, Methods and Case Studies)*, 32, 9–31. <https://doi.org/10.2307/20762218>
- Secretaría de Protección Civil. (2016). Términos de referencia para la elaboración de programas internos de protección civil, TR-SPC-001-PIPC-2016. México: GACETA OFICIAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO. Retrieved from <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Ciudad>
- Seitz, M. J., & Köster, G. (2012). Natural discretization of pedestrian movement in continuous space. *Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 86(4), 1–8. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.86.046108>
- Servicio Geológico Mexicano. (2017). Sismología de México. Retrieved from <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Sismologia-de-Mexico.html>
- Servicio Sismológico Nacional. (2017). Servicio Sismológico Nacional. *Universidad Autónoma Nacional de México*. Retrieved from http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2017/SSNMX_rep_esp_20170919_Puebla-Morelos_M71.pdf
- Servicio Sismológico Nacional. (2018). Catalogo de Sismos. *Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)*. Retrieved from <http://www.ssn.unam.mx/divulgacion/carteles/>
- Severiukhina, O., Voloshin, D., Lees, M. H., & Karbovskii, V. (2017). The study of the influence of obstacles on crowd dynamics. *Procedia Computer Science*, 108(June), 215–224. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.05.162>
- StatPoint, I. (2005a). Comparación de dos Muestras. STATGRAPHICS.
- StatPoint, I. (2005b). Comparación de Varias Muestras. STATGRAPHICS.
- Sun, L., Luo, W., Yao, L., Qiu, S., & Rong, J. (2017). A comparative study of funnel shape bottlenecks in subway stations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 98, 14–27. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.01.021>
- Taneja, L., & Bolia, N. B. (2017). Network redesign for efficient crowd flow and evacuation. *Applied Mathematical Modelling*. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.08.030>
- Tapia Hernández, Edgar; Reddy, Elizabeth A.; Oros Avilés, L. J. (2017). RETOS E INCERTIDUMBRES EN LA PREDICCIÓN Y PREVENCIÓN DEL RIESGO SÍSMICO. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 96, 66–87. <https://doi.org/10.18867/ris.96.186>
- Tashrifullahi, S. A., & Hassanain, M. A. (2013). A simulation model for emergency

- evacuation time of a library facility using EVACNET4. *Structural Survey*, 31(2), 75–92. <https://doi.org/10.1108/02630801311317509>
- Thalmann, D., & Musse, S. R. (2013). *Crowd simulation. Crowd Simulation (Second)*. Springer-Verlag London. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4450-2>
- Thomas, L. J., Rhind, D. J. A., & Robinson, K. J. (2006). Rail passenger perceptions of risk and safety and priorities for improvement. *Cognition, Technology and Work*, 8(1), 67–75. <https://doi.org/10.1007/s10111-005-0021-9>
- Thompson, P. a, & Marchant, E. W. (1995). Computer and Fluid Modeling of Evacuation. *Safety Science*, 18(4), 277–289. [https://doi.org/10.1016/0925-7535\(94\)00036-3](https://doi.org/10.1016/0925-7535(94)00036-3)
- Toskano Hurtado, G. B. (2005). *El Proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores : aplicación en la selección del proveedor para la Empresa Gráfica Comercial MyE S.R.L.* Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Retrieved from http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/monografias/Basic/toskano_hg/toskano_hg.htm
- Van Gigch, J. P. (2001). *Teoría General De Sistemas* (octava). México: TRILLAS.
- Vera Morales, A. E. (2017). *Un Modelo de Simulación para mejorar los Mecanismos de evacuación en el STC Metro.* Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vizzari, G., & Bandini, S. (2013). Studying pedestrian and crowd dynamics through integrated analysis and synthesis. *IEEE Intelligent Systems*, 28(5), 56–60. <https://doi.org/10.1109/MIS.2013.135>
- Wan, J., Sui, J., & Yu, H. (2014). Research on Evacuation in Subway Station based on Combined Social Force Model in the Context of Gas Diffusion, 394, 33–46. <https://doi.org/10.5729/iel.vol3.issue1.67>
- Wang, Q. (2016). Subway Crowded and Stampede Neural Networks Safety Assessment Basing on SHEL Model. In S. Long & B. S. Dhillon (Eds.), *Man-Machine-Environment System Engineering* (Vol. 406, pp. 455–468). Singapore: Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-2323-1>
- Watts, J. M. (1987). Computer models for evacuation analysis. *Fire Safety Journal*, 12(3), 237–245. [https://doi.org/10.1016/0379-7112\(87\)90008-7](https://doi.org/10.1016/0379-7112(87)90008-7)
- Zbsejn, O., Us, C. F. E. V, Istanbul, O., Ibdjibtbophmv, P., Us, Z. F. E. V, Pg, B., & Boe, S. (2014). Urban sections.
- Zeng, Y., Song, W., Huo, F., & Vizzari, G. (2018). Modeling evacuation dynamics on stairs by an extended optimal steps model. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 84, 177–189. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2018.02.001>

- Zheng, X., ying Li, H., yun Meng, L., yue Xu, X., & Chen, X. (2015). Improved social force model based on exit selection for microscopic pedestrian simulation in subway station. *Journal of Central South University*, 22(11), 4490–4497. <https://doi.org/10.1007/s11771-015-2997-5>
- Zhong, M., Shi, C., Tu, X., Fu, T., & He, L. (2008). Study of the human evacuation simulation of metro fire safety analysis in China. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 21(3), 287–298. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2007.08.001>
- Zhu, B., & Xu, Z. (2014). Analytic hierarchy process-hesitant group decision making. *European Journal of Operational Research*, 239(3), 794–801. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.06.019>
- Zurita Herrera, N. L. (2003). *La protección civil en el Sistema de Transporte Colectivo Metro*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Anexo A MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS ESTACIONES CON MAYOR NÚMERO DE AGENTES AFECTABLES

Tal como se estableció en el **capítulo 3, en la sección 3.5** Consideraciones y limitaciones, para el desarrollo de esta investigación, es necesario recalcar que las principales limitantes corresponden al tiempo, el análisis de 195 estaciones distribuidas en 12 líneas requiere de trabajo en horas-hombre y horas-computo que sobrepasarían la viabilidad de esta investigación en el plazo que esta debe concluirse.

Por lo anteriormente expuesto y, con finalidad de establecer el alcance de la investigación se llevó a cabo un análisis que permitió determinar las líneas de máxima demanda. Con base a datos del proyecto “Desarrollo de un plan de emergencia mediante el pronóstico de la movilidad” (Segundo Premio a la Innovación Tecnológica “Ing. Juan Manuel Ramírez Caraza” del STCM, 2015) así, se estimó la cantidad de usuarios en cada una de las líneas que conforman la red del STC. Posteriormente, se estimó el número de usuarios correspondientes a cada estación de las líneas de máxima demanda. La cantidad de usuarios fue determinada con base en los datos de afluencia 2010-2015 y a los polígonos de carga.

A.1 Análisis de movilidad del Sistema de Transporte Colectivo

En la Figura A.1 se aprecia la afluencia diaria histórica y su proyección para cada línea del STC. La afluencia diaria histórica abarca el periodo del 2010-2015, mientras que, la proyección va desde 2016 al 2020, lo anterior es tomado de Padilla Pérez (2014). Destacan dos tipos de líneas, las de máxima demanda y las de demanda promedio. Las líneas de máxima demanda corresponden a las líneas 1, 2 y 3.

La línea 1 del Sistema de Transporte Colectivo Metro tiene una longitud total de vía de 18 Kilómetros con 828 metros de los cuales 17.702 Km están en operación y de ellos, para servicio son 16.654 Km el resto se usan para maniobras de mantenimiento o retornos. Está conformada por un total de 20 estaciones, de las cuales 12 estaciones son de paso y, 7 estaciones son de correspondencias, es decir, que tienen conexión con otra línea, una de ellas es también estación terminal. El tipo de construcción de las estaciones de la línea 1 son: 19 estaciones subterráneas y una superficial, no tiene estaciones elevadas.

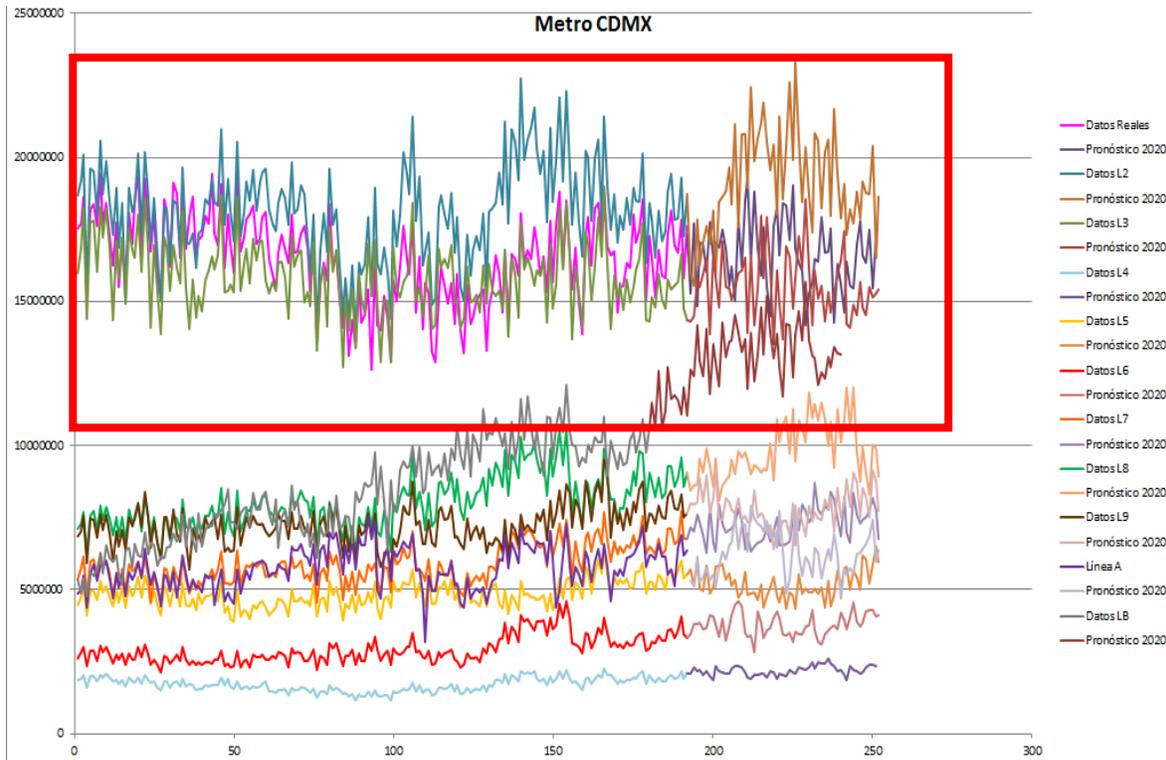


Figura A.1 Afluencia diaria histórica y su proyección para cada línea del STC.
Tomado de Padilla Pérez (2014)

La línea 2 del Sistema de Transporte Colectivo Metro tiene una longitud total de 23 Kilómetros con 431 metros de los cuales 22.006 Km están en operación y de ellos, para servicio son 20.713 Km el resto se usan para maniobras de mantenimiento o retornos. Esta línea se compone de 24 estaciones, de las cuales 16 estaciones son de paso y 6 de ellas de correspondencia, sus terminales no son con correspondencia. El tipo de construcción de las estaciones de la línea 2 son: 14 estaciones subterráneas y 10 son estaciones superficiales, tampoco tiene estaciones elevadas.

La línea 3 del Sistema de Transporte Colectivo Metro tiene una longitud total de 23 Kilómetros con 609 metros de los cuales 22.594 Km están en operación y de ellos, para servicio son 21.278 Km el resto se usan para maniobras de mantenimiento o retornos. Esta línea se compone de 21 estaciones, de las cuales 12 estaciones son de paso y 7 de ellas de correspondencia, al igual que la línea 2, sus terminales no son con correspondencia. El tipo de construcción de las estaciones de la línea 3 son: 17 estaciones subterráneas y 4 estaciones superficiales.

El reconocimiento de esta información nos permite establecer los criterios de operación que tiene el STC, tener un panorama amplio de las características del sistema es fundamental para el diseño del modelo de las estaciones de estudio.

Una vez ubicadas las líneas de máxima demanda, Línea 1, Línea 2 y Línea 3, se llevó a cabo la revisión de las estaciones con mayor cantidad de usuarios para cada una de las tres líneas definidas.

A.2 Análisis de movilidad de la línea 1 “Observatorio - Pantitlán”

Mediante un análisis de movilidad en cada una de las estaciones que conforman la línea 1, se estimó la cantidad de usuarios que transitaban en periodos de una hora en tres horarios particulares: 1) Hora pico matutina, de las 08:00 a las 09:00 horas; 2) Hora valle, de las 13:00 a las 14:00 horas y; 3) Hora pico vespertina, de las 18:00 a las 19:00 horas. Esto se realizó para ambos sentidos de la línea 1, es decir, en sentido de dirección Observatorio–Pantitlán y en sentido de dirección Pantitlán-Observatorio, los resultados se presentan en las Tablas A.1 y A.2 respectivamente. Para este análisis se empleó la afluencia y los estudios de movilidad; esta última fuente de información permitió estimar los movimientos internos dentro de la red.

Tabla A.1 Ranking de movilidad línea 1, Dirección de Observatorio a Pantitlán

SENTIDO DE DIRECCIÓN OBSERVATORIO - PANTITLÁN					
	08 a 09 hrs		13 a 14 hrs		18 a 19 hrs
Sevilla	17717	Pino Suarez	29549	<i>Merced</i>	37573
Chapultepec	17675	<i>Merced</i>	21222	Candelaria	37323
Balderas	17150	Candelaria	20078	Pino Suarez	37095
Juanacatlan	16591	Balderas	18141	San Lázaro	33154
Tacubaya	16341	S. del Agua	17964	I. la Católica	31744
S. del Agua	15942	I. la Católica	17864	S. del Agua	30258
Insurgentes	15676	Cuauhtémoc	17816	Balderas	29948
Cuauhtémoc	14886	San Lázaro	17620	Cuauhtémoc	29693
Pino Suarez	14638	Insurgentes	16292	Moctezuma	29264
I. la Católica	14040	Moctezuma	15702	Balbuena	28622
Candelaria	12362	Balbuena	15332	Insurgentes	27983
<i>Merced</i>	12320	Aeropuerto	13067	Aeropuerto	25237
San Lázaro	10738	Sevilla	12370	Sevilla	23809
Observatorio	10189	Gómez Farías	11691	Gómez Farías	23419
Balbuena	8948	Chapultepec	11155	Chapultepec	20250
Moctezuma	8906	Zaragoza	8575	Zaragoza	16337
Aeropuerto	6421	Juanacatlan	7543	Juanacatlan	13556
Gómez Farías	5700	Tacubaya	6947	Tacubaya	10852
Zaragoza	4353	Observatorio	4224	Observatorio	4158
Pantitlán	0	Pantitlán	0	Pantitlán	0

Tabla A.2 Ranking de movilidad línea 1, Dirección de Pantitlán a Observatorio

SENTIDO DE DIRRECCIÓN PANTITLÁN - OBSERVATORIO					
08 a 09 hrs		13 a 14 hrs		18 a 19 hrs	
Merced	46365	Merced	22402	Merced	14183
Candelaria	45932	Candelaria	20773	S. del Agua	14118
San Lázaro	45670	San Lázaro	20717	I. la Católica	13633
Pino Suarez	40567	S. del Agua	19222	Cuauhtémoc	13046
Moctezuma	39690	I. la Católica	17948	Insurgentes	13008
S. del Agua	38346	Pino Suarez	17588	Sevilla	12970
I. la Católica	38198	Moctezuma	17465	Pino Suarez	12912
Balderas	36950	Balderas	17097	Balderas	12561
Balbuena	35940	Cuauhtémoc	16291	Candelaria	12560
Cuauhtémoc	33724	Balbuena	15532	San Lázaro	12361
Aeropuerto	31161	Aeropuerto	14512	Chapultepec	12315
Gómez Farías	28955	Insurgentes	14263	Juanacatlan	11803
Insurgentes	26782	Gómez Farías	12021	Moctezuma	10026
Zaragoza	22690	Sevilla	11782	Balbuena	7786
Sevilla	20183	Zaragoza	9834	Aeropuerto	7159
Pantitlán	13508	Chapultepec	9404	Tacubaya	6593
Chapultepec	9753	Juanacatlan	8820	Gómez Farías	5678
Juanacatlan	7671	Pantitlán	7698	Zaragoza	4435
Tacubaya	5932	Tacubaya	4767	Pantitlán	3381
Observatorio	0	Observatorio	0	Observatorio	0

Enseguida se muestran la gráfica de barras acumulada (figura A.2) en la que puede apreciarse la movilidad en los tres periodos característicos de operación del STC, es decir, en los horarios de análisis: hora pico matutina (HPM), hora valle (HV) y hora pico vespertina (HPV). Con el gráfico descrito es evidente hallar a la estación Merced como la estación con mayor movilidad de la línea 1.

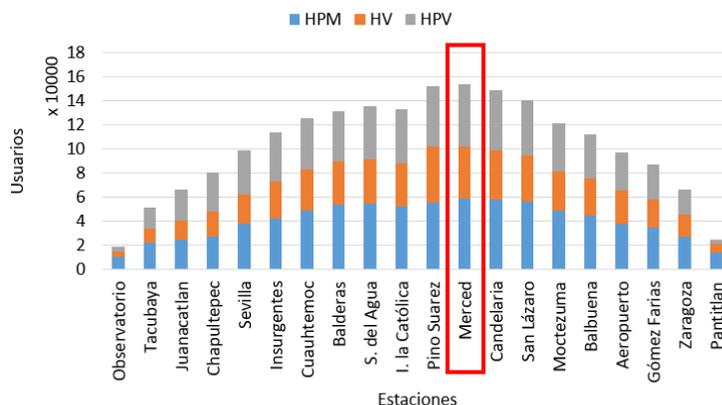


Figura A.2 Movilidad en los tres periodos característicos de operación del STC para la Línea 1

A.3 Análisis de movilidad en la línea 2 “Cuatro Caminos- Tasqueña”

De la misma forma que se realizó con la línea 1, para la Línea 2 se estimó la cantidad de usuarios que transitaban en periodos de una hora en tres horarios particulares: 1) Hora pico matutina, de las 07:00 a las 08:00 horas; 2) Hora valle, de las 14:00 a las 15:00 horas y; 3) Hora pico vespertina, de las 17:00 a las 18:00 horas para el sentido de dirección Cuatro Caminos-Tasqueña; en el caso del sentido de dirección Tasqueña-Cuatro Caminos los tres horarios fueron: 1) Hora pico matutina, de las 09:00 a las 10:00 horas; 2) Hora valle, de las 14:00 a las 15:00 horas y; 3) Hora pico vespertina, de las 19:00 a las 20:00 horas, esta variación en los horarios de las HPM, HV y HPV se deben a la diferencia de la movilidad de los usuarios en esta línea, siendo éstos los periodos donde se registra la mayor concentración de usuarios, los resultados se presentan en las Tablas A.3 y A.4 respectivamente.

Tabla A.3 Ranking de movilidad línea 2, Dirección Tasqueña

SENTIDO DE DIRECCIÓN CUATRO CAMINOS - TASQUEÑA					
07 a 08 hrs		14 a 15 hrs		17 a 18 hrs	
<i>Hidalgo</i>	24200	<i>Hidalgo</i>	24609	Revolución	25347
Cuitláhuac	23736	Bellas Artes	22892	<i>Hidalgo</i>	25160
Popotla	23633	Revolución	22385	San Cosme	23440
Revolución	23547	Allende	22308	Bellas Artes	22132
San Cosme	23164	San Cosme	20851	Normal	21534
Tacuba	23028	Zócalo	20492	Allende	20898
Normal	22996	Normal	19415	Zócalo	20262
C. Militar	22613	Pino Suarez	18036	C. Militar	19178
Chabacano	22397	Chabacano	17804	Popotla	17421
Allende	22051	Viaducto	16924	Pino Suarez	17234
Bellas Artes	22046	Sn A. Abad	16614	Sn A. Abad	17047
Viaducto	21592	C. Militar	16551	Cuitláhuac	16412
Xola	21490	V. de Cortés	16248	Chabacano	15141
Pino Suarez	20604	Nativitas	15763	Tacuba	14879
Zócalo	20491	Xola	15749	Viaducto	14655
V. de Cortés	20361	Portales	15031	Xola	13944
Nativitas	19017	Popotla	14573	V. de Cortés	13309
Panteones	18865	Ermita	14151	Nativitas	12299
Sn A. Abad	18342	Cuitláhuac	14024	Panteones	11103
Portales	17564	Tacuba	13574	Portales	10916
Cuatro Caminos	16970	General Anaya	12188	Cuatro Caminos	10692
Ermita	16004	Panteones	9527	Ermita	9907
General Anaya	10609	Cuatro Caminos	8929	General Anaya	8897
Tasqueña	0	Tasqueña	0	Tasqueña	0

Tabla A.4 Ranking de movilidad línea 2, Dirección Cuatro Caminos

SENTIDO DE DIRRECCIÓN TAXQUEÑA - CUATRO CAMINOS					
	09 a 10 hrs		14 a 15 hrs		19 a 20 hrs
Pino Suarez	26602	Bellas Artes	23311	Bellas Artes	24971
Sn A. Abad	24669	Allende	21346	Allende	23521
Chabacano	24236	Zócalo	20844	Hidalgo	23342
Hidalgo	23593	Hidalgo	20556	Revolución	23168
Zócalo	23014	Pino Suarez	19345	San Cosme	22210
Viaducto	22844	Revolución	19231	Normal	21029
Revolución	21745	San Cosme	18404	Zócalo	21007
Xola	21631	Sn A. Abad	17115	Popotla	20961
Bellas Artes	21420	Normal	16812	Cuitláhuac	20788
V. de Cortés	20658	Popotla	16621	C. Militar	20687
Nativitas	20526	C. Militar	16451	Tacuba	19886
Allende	20447	Chabacano	15416	Panteones	19376
San Cosme	19238	Cuitláhuac	15295	Pino Suarez	17820
Portales	18833	Viaducto	14116	Sn A. Abad	16986
Ermita	17980	Xola	12551	Chabacano	16040
Normal	17031	V. de Cortés	12082	Viaducto	15877
General Anaya	16408	Tacuba	11411	Xola	14315
C. Militar	16323	Panteones	11315	V. de Cortés	13985
Popotla	15796	Nativitas	11247	Nativitas	13430
Cuitláhuac	14489	Portales	10645	Portales	11958
Taxqueña	13695	Ermita	10010	Ermita	10791
Tacuba	11681	General Anaya	8710	General Anaya	9343
Panteones	11154	Taxqueña	6580	Taxqueña	6552
Cuatro Caminos	0	Cuatro Caminos	0	Cuatro Caminos	0

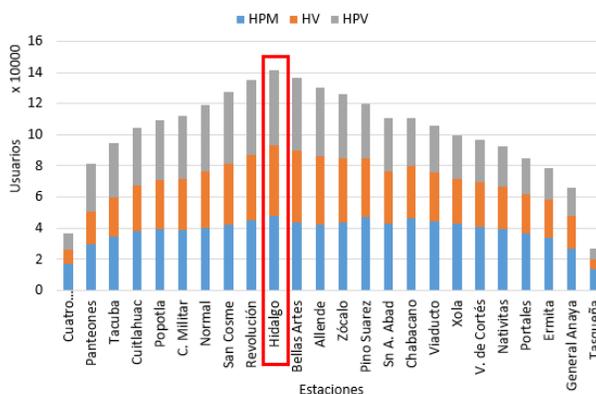


Figura A.3 Movilidad en los tres periodos característicos de operación del STC para la línea 2

En la gráfica de barras acumulada (Figura A.3) en la que puede apreciarse la movilidad en los tres periodos característicos de operación de la Línea 2 del STC, es decir, en los horarios de análisis: hora pico matutina (HPM), hora valle (HV) y hora pico vespertina (HPV). En el gráfico correspondiente, se aprecia que la estación con mayor movilidad de esta línea es la estación Hidalgo

A.4 Análisis de movilidad en la línea 3 “Indios Verdes- Universidad

Finalmente, para la línea 3 se obtuvo la estimación de la cantidad de usuarios que transitaban en periodos de una hora en los horarios: Hora pico matutina (HPM), Hora valle (HV) y Hora pico vespertina (HPV). La hora pico matutina varió según el sentido de análisis, es decir, en el sentido de dirección de Indios Verdes a Universidad fue de 09:00 a las 10:00 horas, mientras que en sentido de Universidad a indios Verdes fue de 08:00 a 09:00 horas. La hora valle también varió según el sentido de análisis, en el sentido de dirección de Indios Verdes a Universidad fue de 14:00 a las 15:00 horas, mientras que en sentido de Universidad a indios Verdes fue de 13:00 a las 14:00 horas. La hora pico vespertina fue de las 18:00 a las 19:00 horas para ambos sentidos, los resultados obtenidos se presentan en las Tablas A.5 y A.6 respectivamente.

Tabla A.5 Ranking de movilidad línea 3, Dirección Universidad
SENTIDO DE DIRECCIÓN INDIOS VERDES - UNIVERSIDAD

09 a 10 hrs		14 a 15 hrs		18 a 19 hrs	
<i>Guerrero</i>	44462	<i>Guerrero</i>	19516	Centro Médico	17700
Tlatelolco	43820	Hidalgo	19380	Niños Héroe	17648
La Raza	42308	Juárez	19199	Juárez	17519
Potrero	37258	Tlatelolco	18777	Hospital General	17327
Hidalgo	36578	La Raza	17487	Hidalgo	16992
Juárez	35596	Balderas	17407	Div. del Norte	16891
Basílica	34528	Centro Médico	17092	Balderas	16812
Balderas	27886	Niños Héroe	16857	<i>Guerrero</i>	16465
Indios Verdes	26927	Hospital General	16124	Etiopia	16453
Niños Héroe	26614	Etiopia	15622	Eugenia	16363
Centro Médico	25346	Potrero	15369	Coyoacán	15785
Hospital General	24994	Eugenia	14843	Zapata	15027
Etiopia	22624	Basílica	13986	Tlatelolco	14780
Eugenia	21236	Div. del Norte	13741	Viveros	14153
Div. del Norte	20080	Zapata	11581	La Raza	12170
Zapata	16024	Coyoacán	11538	M.A. Quevedo	11594
Coyoacán	13882	Indios Verdes	10626	Copilco	9499
Viveros	12378	Viveros	10390	Potrero	8943
M.A. Quevedo	9424	M.A. Quevedo	8184	Basílica	7875
Copilco	6876	Copilco	6163	Indios Verdes	5265
Universidad	0	Universidad	0	Universidad	0

Tabla A.6 Ranking de movilidad línea 3, Dirección Indios Verdes
SENTIDO DE DIRRECCIÓN UNIVERSIDAD - INDIOS VERDES)

	08 a 09 hrs		13 a 14 hrs		18 a 19 hrs
Etiopia	22814	Hidalgo	22278	Etiopia	39612
Eugenia	22593	Guerrero	21393	Guerrero	39550
Div. del Norte	22551	Balderas	20925	Hidalgo	39464
Centro Médico	22323	Juárez	20905	Tlatelolco	38939
Zapata	21915	Tlatelolco	19642	La Raza	37459
Viveros	20288	Niños Héroes	18611	Potrero	37080
Hospital General	20053	Hospital General	17539	Juárez	34042
Coyoacán	20034	Centro Médico	17484	Balderas	32797
Niños Héroes	19384	La Raza	17063	Niños Héroes	32015
M.A. Quevedo	19059	Etiopia	16788	Basilica	31192
Copilco	17475	Eugenia	15754	Hospital General	30480
Balderas	16759	Div. del Norte	14946	Centro Médico	28654
Juárez	16327	Potrero	14935	Eugenia	28019
Hidalgo	13464	Zapata	14326	Div. del Norte	25903
Guerrero	13033	Coyoacán	13555	Zapata	23498
Universidad	12452	Viveros	12257	Coyoacán	19004
Tlatelolco	11296	Basilica	11528	Viveros	17294
La Raza	11102	M.A. Quevedo	10885	M.A. Quevedo	14715
Potrero	10018	Copilco	9135	Copilco	10453
Basilica	7215	Universidad	5693	Universidad	6424
Indios Verdes	0	Indios Verdes	0	Indios Verdes	0

En la gráfica de barras acumuladas (Figura A.4) en la que se aprecia la movilidad en los tres periodos característicos de operación de la Línea 3 del STC, a saber: hora pico matutina (HPM), hora valle (HV) y hora pico vespertina (HPV); se observa que la estación con mayor movilidad de esta línea es la estación Guerrero.

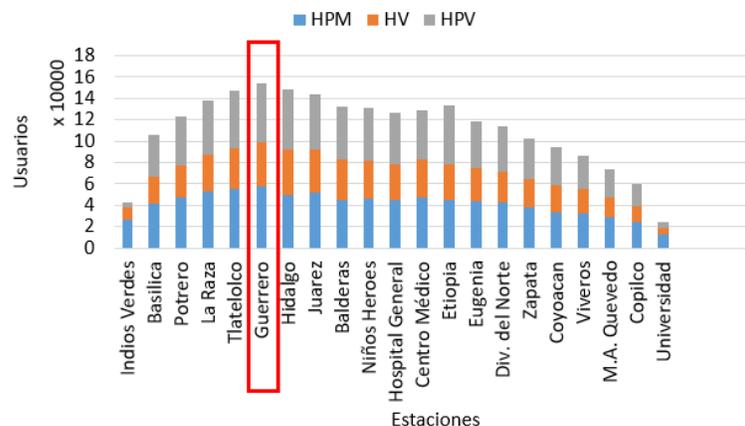


Figura A.4 Movilidad en los tres periodos característicos de operación del STC para la línea 3

A.5 Síntesis

Las estaciones Merced (Línea 1), Hidalgo (Línea 2) y Guerrero (Línea 3) son las que resultaron con la mayor persistencia de usuarios, es decir, con la cantidad más grande de usuarios que transitan por la estación respecto a la hora y sentido de marcha de los trenes, en otras palabras, estaciones con mayor nivel de agentes expuestos (mayor movilidad) y, bajo este criterio es como se definieron las estaciones para el análisis de esta investigación. En la Tabla A.7 se presentan los horarios de análisis para cada uno de los sentidos de dirección de las estaciones de estudio de las líneas 1, 2 y 3.

Tabla A.7 Estaciones con mayor nivel de agentes expuestos

ESTACIÓN	LÍNEA	SENTIDO	HORARIOS
Merced	1	Observatorio a Pantitlán	08 a 09 hrs
			13 a 14 hrs
		Pantitlán a Observatorio	18 a 19 hrs
			08 a 09 hrs
			13 a 14 hrs
			18 a 19 hrs
Hidalgo	2	Cuatro Caminos Taxqueña	07 a 08 hrs
			14 a 15 hrs
		Taxqueña - Cuatro Caminos	17 a 18 hrs
			09 a 10 hrs
			14 a 15 hrs
			19 a 20 hrs
Guerrero	3	Indios Verdes - Universidad	09 a 10 hrs
			14 a 15 hrs
		Universidad - Indios Verdes	18 a 19 hrs
			08 a 09 hrs
			13 a 14 hrs
			18 a 19 hrs

Anexo B MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE USUARIOS EN LAS ESTACIONES DE ESTUDIO QUE INGRESAN POR TREN VÍA 1 Y VÍA 2

Una vez determinadas las estaciones de estudio y los horarios de análisis, fue necesario llevar a cabo la obtención de los datos en campo para determinar el número de usuarios en las estaciones de estudio que ingresan por tren vía 1 y vía 2. Para ello se gestionaron: los permisos ante el STC, la adquisición de materiales y equipos de grabación, personal de apoyo y la logística de grabación. La obtención de datos en campo se divide en tres actividades principales:

- B1 Determinación de las dimensiones de los vagones de las estaciones de estudio
 - Dimensionamiento de la Zona entre Puertas (ZEP)
 - Dimensionamiento del número de vagones de un tren
- B.2 Obtención de cantidad de usuarios en la ZEP de los vagones.
 - Extracción del número de usuarios en la ZEP de los vagones
 - Determinación de la densidad de usuarios en la ZEP de los vagones
- B.3 Determinación del número de usuarios en un tren

B.1 Determinación de las dimensiones de los vagones de las estaciones de estudio

Una actividad importante e indispensable para la determinación del número de usuarios en las estaciones de estudio que ingresan por tren vía 1 y vía 2 es la realización de mediciones de las dimensiones de los trenes que circulan en las estaciones de estudio de la línea 1, 2 y 3. Particularmente de las zonas donde los usuarios viajan de pie, es decir, las Zona entre Puertas (ZEP) y la Zona entre Asientos (ZEA). A continuación, se presentan el método para dimensionamiento de la Zona entre Puertas (ZEP).

B.1.1 Dimensionamiento de la Zona entre Puertas (ZEP)

Es indispensable conocer el área en la que se concentraban los usuarios dentro del tren, en consecuencia, se levantaron las medidas de la Zona entre puertas (ZEP) con ayuda de un telemetro con las siguientes características: pantalla LCD brillante de 2 líneas, puede cambiar entre metro (m), pulgada (in) y pies (ft), el medidor de distancia puede registrar en un rango de 0.05 a 100 m y

proporciona área y volumen junto con la distancia. En la Figura B.1 se presentan los esquemas de la ubicación de la ZEP.

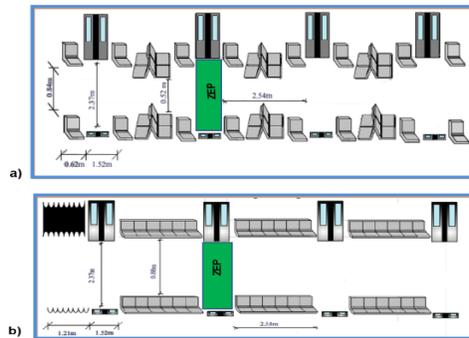


Figura B.1 Esquema de ubicación de la ZEP a) en trenes con geometría 1, b) en trenes con geometría 2

De las mediciones realizadas se encontraron dos tipos de geometrías de ZEP en las tres líneas de estudio del STC (Tabla B.1).

Tabla B.1 Identificación del tipo de geometría de la ZEP de las estaciones de estudio

LÍNEA	TIPO DE GEOMETRÍA DE LA ZEP
	1	1
2	2
3	1

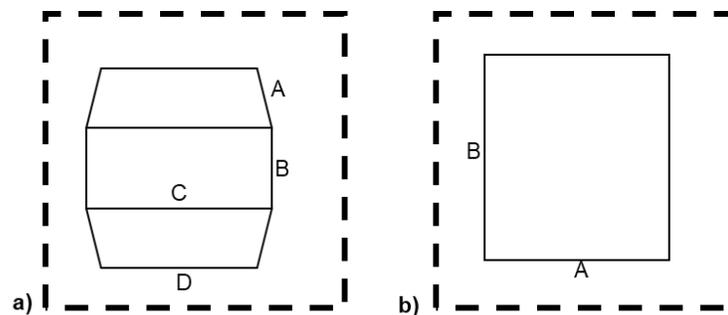


Figura B.2 a) Geometría 1 de la ZEP para línea s 1 y 3; b) Geometría 2 de la ZEP para línea 2.

La geometría 1 es una figura compuesta por dos trapezios y un rectángulo por lo que el área se calcula con suma de las áreas de los trapezios y el área del rectángulo. La geometría 2 es solo un rectángulo, las fórmulas para determinar el área de las ZEP se encuentran expresadas en la Tabla B.2.

Tabla B.2 Forma de cálculo del área de la ZEP

GEOMETRÍA 1	GEOMETRÍA 2
-------------	-------------

$$A_{G1} = A_R + 2A_{Tr}$$

$$A_{G2} = AB$$

Donde

$$A_{Tr} = \frac{A(C+D)}{2} \quad \text{y} \quad A_R = CB$$

$$A_{G1} = CB + 2 \left[\frac{A(C + D)}{2} \right] = CB + A(C + D)$$

A_{G1} es el área de la ZEP correspondiente a la geometría 1 A_{G2} es el área de la ZEP correspondiente a la geometría 2

A_R es el área del rectángulo que conforma a la ZEP

A_{Tr} es el área del trapecio que conforma a la ZEP

En la Tabla B.3 se muestran los promedios de las mediciones efectuadas a la ZEP de los vagones de las líneas 1, 2 y 3; las cuales son las Líneas del STC a las que pertenecen las estaciones de estudio. Las mediciones fueron hechas durante el cambio de vía de cada recorrido.

Tabla B.3 Estimación del área disponible para usuarios de pie en la ZEP

LÍNEA	TIPO DE GEOMETRÍA	A [m]	B [m]	C [m]	D [m]	Área [m ²]
1	1	0.6899	0.8646	1.654	1.3804	3.523
2	2	1.3839	2.2459	NA	NA	3.108
3	1	0.690	0.862	1.664	1.376	3.532

B.1.2 Dimensionamiento del número de vagones de un tren

Los trenes en líneas 1, 2 y 3 se constituyen mediante nueve carros. Existen carros tipo M, N, R y PR y su ordenación es tal como aparece en la Figura B.3. los carros M están equipados con cabina de conducción y con tracción propia, mientras que los carros N son motrices con tracción propia y sin cabina de conducción, así también los carros R son remolques y, por último, los carros PR son de tipo remolque central que cuenta con el equipo del sistema de pilotaje automático. (STCM, 2017)



Figura B.3 Constitución de los trenes en el STC
 Imagen tomada de <http://www.metro.cdmx.gob.mx/operacion/conformacion-de-un-tren>

Los trenes que circulan por Línea 1, 2 y 3 poseen en general una longitud en los carros tipo “M” de 17.18 metros, los carros tipo “R” y “N” de 16.18 metros, es así como, la longitud total de un tren es de 147.62 metros. Cada vagón o carro posee 4 puertas de lado izquierdo y 4 del lado derecho, que dan servicio según el sentido en el que transite el tren, por tanto, un tren posee en total 72 puertas, Teniendo en cuenta que, en las estaciones de estudio definidas, los trenes sólo dan servicio con las puertas de un único lado, se encuentran activas 36 puertas, es decir, la mitad del total de puertas.

B.2 Obtención de la cantidad de usuarios en la ZEP de los vagones mediante videograbación.

Las grabaciones dentro de vagones se enfocaron a registrar el hacinamiento en la Zona entre Puertas (ZEP). Las grabaciones se programaron y realizaron de tal manera que se obtuvieran al menos un registro por corrida, es decir, por dirección y por horario. Se efectuaron las grabaciones de terminal a terminal, es decir, desde la estación terminal inicio a la estación terminal final de un recorrido. En la figura B.4 se presentan tomas fotográficas registradas en los días de grabación.

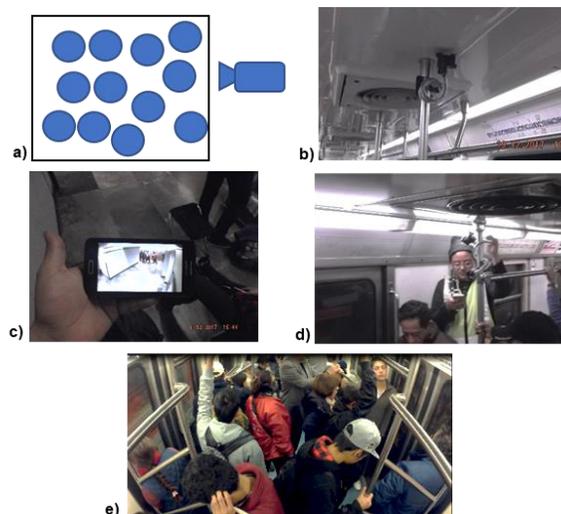


Figura B.4 Imágenes de las actividades de grabación para la obtención de datos a) Diagrama de grabación en vagón, b) imagen del montaje de las cámaras de videograbación, c) imagen de control de las cámaras de videograbación; d) imagen de operación de las cámaras de videograbación y, e) producto de las acciones de grabación.

En la Tabla B.4 se muestran el control de grabaciones efectuadas en vagones.

Tabla B.4 Cuadro de registro y control de las videograbaciones efectuadas

ESTACIÓN	LÍNEA	SENTIDO	HORARIOS	VAGÓN		
				REPLICA 1	REPLICA 2	REPLICA 3
Merced	1	Observatorio a	08 a 09 h	X	X	
		Pantitlán	13 a 14 h	X		
			18 a 19 h	X	X	X
		Pantitlán a	08 a 09 h	X	X	X
		Observatorio	13 a 14 h	X		
			18 a 19 h	X		
Hidalgo	2	Cuatro Caminos a	07 a 08 h	X		
		Tasqueña	14 a 15 h	X	X	
			17 a 18 h	X	X	
		Tasqueña a	09 a 10 h	X	X	X
		Cuatro Caminos	14 a 15 h	X		
			19 a 20 h	X		
Guerrero	3	Indios Verdes a	08 a 09 h	X	X	X
		Universidad	14 a 15 h	X	X	
			18 a 19 h	X		
		Universidad a	08 a 09 h	X		
		Indios Verdes	13 a 14 h	X		
			18 a 19 h	X	X	X

B.2.1 Extracción del número de usuarios en la ZEP de los vagones

La estimación de los usuarios se llevó a cabo mediante el conteo de los usuarios registrados en las videograbaciones efectuadas dentro de los vagones. Tal como se establece en el apartado de consideraciones y limitaciones de la investigación, se debe agregar que, por cuestiones de recursos humanos, materiales y financieros, para el análisis de estos datos se determinó hacer un procesamiento de usuarios sin uso de algún software especial, no se descarta que en futuros trabajos los videos sean sometidos a software de reconocimiento de personas y conteo para la extracción de otros parámetros. Hecha esta salvedad, el número de usuarios se determinó después de que el tren salía de la estación, con ayuda de las capturas de pantalla del reproductor de video se efectuó el conteo de los usuarios presentes, esta acción se replica para cada interestación durante todo el recorrido del tren. El análisis mencionado se efectuó para todos los videos obtenidos, los cuales se mencionan en la Tabla B.4



Figura B.5 Capturas de imágenes del video en vagón de Línea3 dirección Universidad y su identificación para el conteo.

B.2.2 Determinación de la densidad de usuarios en la ZEP de los vagones

Del análisis de las videograbaciones levantadas, como se ha descrito en el apartado anterior (B.3), es decir, el conteo de usuarios realizado después de que el tren sale de la estación y durante todo el recorrido del tren, se obtuvo el número de usuarios en la ZEP. De igual manera, se llevó a cabo el levantamiento de las dimensiones físicas de la zona entre puertas (ZEP) para el cálculo del área de la ZEP. Así, con la obtención de estos parámetros, se continuó con la determinación de la densidad de usuarios en la ZEP, la cual se calcula mediante la razón del número de usuarios y el área de la ZEP. En la Tabla B.5 se encuentra expresada la fórmula de cálculo de la densidad de usuarios en la ZEP.

Tabla B.5 Fórmula del cálculo de densidad de usuarios en la ZEP

FÓRMULA

$$\rho = \frac{N}{A_{ZEP}}$$

Donde

ρ es la densidad en la ZEP

N es el número de usuarios en la ZEP

A_{ZEP} es el área de la ZEP

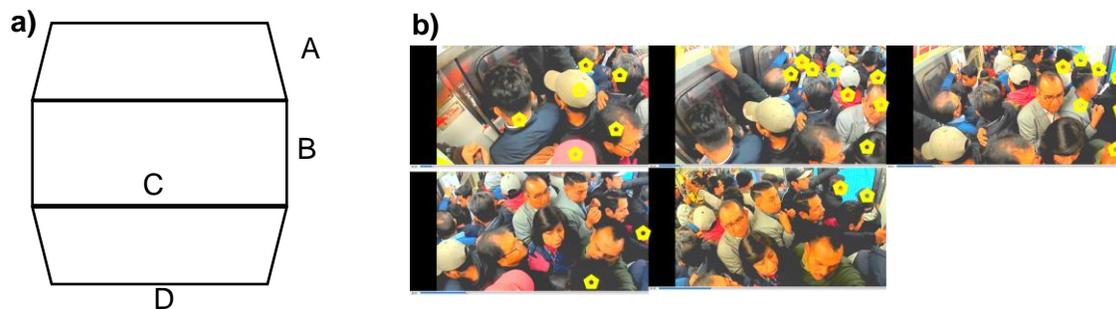


Figura B.6 Esquema para densidad de la ZEP, a) Geometría 1 de la ZEP; b) Capturas de imágenes del video en vagón de Línea3 dirección Indios Verdes - Universidad y su identificación para el conteo.

Así, con el valor del área promedio y el número de usuarios se obtiene la densidad mediante la razón de estas dos variables. El área promedio para los trenes inspeccionados con la geometría 1 (Figura B.2a) es de 3.532 m², esta área referida corresponde a los vagones tipo “N” de los trenes que transitan en la Línea 3. De la contabilización de los usuarios se obtuvo en promedio 25 usuarios, por consiguiente, esto corresponde a una densidad de 7.08 P/m².

B.3 Determinación del número de usuarios en un tren

La estimación del número de usuarios en un tren se efectúa mediante la siguiente expresión.

$$U = (A_i N_B + \rho A_L + B) N_V$$

Donde:

U es el número total de usuarios en un tren

A_i es el número de asiento en una barra

N_B es el número de barras de asientos

B es el número de asientos que se encuentran en los extremos

ρ es la densidad obtenida (de los videos)

A_L es el área libre en el vagón y es la suma de las superficies de ZEP y ZEA

N_V es el número de carros de un tren

Tabla B.6 Estimación de las áreas disponible para usuarios de pie por vagón

LÍNEA	ASIENTOS A_i	NÚMERO DE BARRAS N_B	VAGONES N_V	B	ZEP TOTAL POR VAGÓN	ZEA TOTAL POR VAGÓN	A_L
1	6	6	9	3	4.572	14.092	18.66
2	6	6	9	0	6.7056	12.432	19.138
3	6	6	9	3	4.572	14.16	18.73

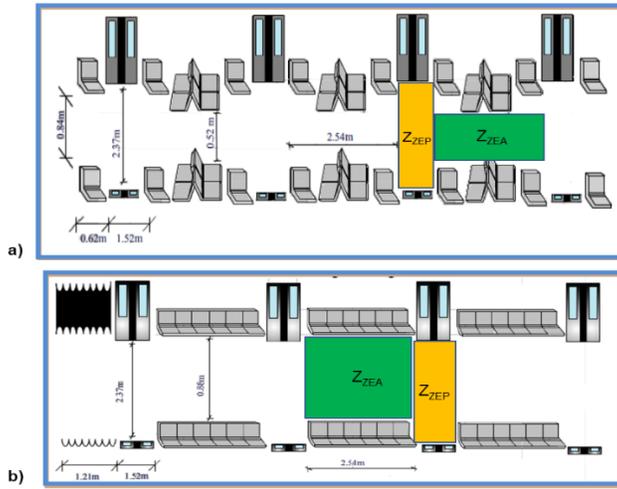


Figura B.7 A) Geometría 1; B) Geometría 2. Z1 es la zona entre puertas (ZEP), Z2 es la zona entre asientos (ZEA)
 Imágenes y datos de ZEA tomados de (Padilla Pérez, 2014)

Con los datos registrados en la tabla B.6 fue posible hacer el cálculo del número de usuarios en un tren

Anexo C METODO PARA EL LEVANTAMIENTO DE VIDEOS EN ANDENES Y VAGONES EN HORAS PICO (HP) Y NO PICO (NHP) CON MAYOR NIVEL DE AGENTES EXPUESTOS

La obtención de información necesaria para el desarrollo de esta investigación se llevó a cabo mediante videograbaciones del flujo de peatones en andenes, pasillos, escaleras, vagones y demás áreas conexas de las estaciones. Referente a la obtención de las videograbaciones, inicialmente se exploraron dos opciones: 1) A través de la red instalada de videovigilancia en operación normal, en días laborables, durante horas punta y no pico y, 2) Realización de videograbación directas en las áreas antes mencionadas en días de operación normal. Sin embargo, la complejidad del tema de los “videos” de la red instalada de videovigilancia, los cuales son de carácter confidencial, se definió con el apoyo de la Gerencia de Ingeniería e Innovación del STC, obtener la información por la opción 2, de ahí que se llevará a cabo la solicitud de permiso de grabación.

C.1 Planeación

De la planeación de las acciones de grabación y el apoyo a las gestiones para la obtención de los oficios que autorizaron llevar a cabo las acciones de grabación tanto en andén como al interior de los vagones, implicó diversas reuniones con coordinadores de transportación de las Líneas 1, 2 y 3, así como el desarrollo de un plan de grabación (Figura C.1), en donde se establecieron: periodos de grabación, horarios de grabación, estación de grabación, sitio de grabación (andén o vagón), sentido de la dirección de la línea a grabar, recursos humanos participantes, la estimación de las fechas de inicio y termino de grabaciones, entre otros (Figura C.2). Simultáneamente, se realizaron las gestiones para la adquisición de los equipos de grabación y demás materiales necesarios para el desarrollo de las actividades estas actividades.

PLAN DE GRABACION

PLAN DE GRABACION NUMERO 1 ESTACION 'MERCED' LINEA 1

No.	Línea	Estación	Horario	Fecha	Lugar	Responsable	Estado	Observaciones
1	1	MERCED	07:00 - 08:00	12/01/2023	Andén	...	...	...
2	1	MERCED	08:00 - 09:00	12/01/2023	Andén	...	...	...
3	1	MERCED	09:00 - 10:00	12/01/2023	Andén	...	...	...
4	1	MERCED	10:00 - 11:00	12/01/2023	Andén	...	...	...
5	1	MERCED	11:00 - 12:00	12/01/2023	Andén	...	...	...
6	1	MERCED	13:00 - 14:00	12/01/2023	Andén	...	...	...
7	1	MERCED	14:00 - 15:00	12/01/2023	Andén	...	...	...
8	1	MERCED	15:00 - 16:00	12/01/2023	Andén	...	...	...
9	1	MERCED	16:00 - 17:00	12/01/2023	Andén	...	...	...
10	1	MERCED	17:00 - 18:00	12/01/2023	Andén	...	...	...
11	1	MERCED	18:00 - 19:00	12/01/2023	Andén	...	...	...
12	1	MERCED	19:00 - 20:00	12/01/2023	Andén	...	...	...
13	1	MERCED	20:00 - 21:00	12/01/2023	Andén	...	...	...
14	1	MERCED	21:00 - 22:00	12/01/2023	Andén	...	...	...
15	1	MERCED	22:00 - 23:00	12/01/2023	Andén	...	...	...
16	1	MERCED	07:00 - 08:00	13/01/2023	Andén	...	...	...
17	1	MERCED	08:00 - 09:00	13/01/2023	Andén	...	...	...
18	1	MERCED	09:00 - 10:00	13/01/2023	Andén	...	...	...
19	1	MERCED	10:00 - 11:00	13/01/2023	Andén	...	...	...
20	1	MERCED	11:00 - 12:00	13/01/2023	Andén	...	...	...
21	1	MERCED	13:00 - 14:00	13/01/2023	Andén	...	...	...
22	1	MERCED	14:00 - 15:00	13/01/2023	Andén	...	...	...
23	1	MERCED	15:00 - 16:00	13/01/2023	Andén	...	...	...
24	1	MERCED	16:00 - 17:00	13/01/2023	Andén	...	...	...
25	1	MERCED	17:00 - 18:00	13/01/2023	Andén	...	...	...
26	1	MERCED	18:00 - 19:00	13/01/2023	Andén	...	...	...
27	1	MERCED	19:00 - 20:00	13/01/2023	Andén	...	...	...
28	1	MERCED	20:00 - 21:00	13/01/2023	Andén	...	...	...
29	1	MERCED	21:00 - 22:00	13/01/2023	Andén	...	...	...
30	1	MERCED	22:00 - 23:00	13/01/2023	Andén	...	...	...
31	1	MERCED	07:00 - 08:00	14/01/2023	Andén	...	...	...
32	1	MERCED	08:00 - 09:00	14/01/2023	Andén	...	...	...
33	1	MERCED	09:00 - 10:00	14/01/2023	Andén	...	...	...
34	1	MERCED	10:00 - 11:00	14/01/2023	Andén	...	...	...
35	1	MERCED	11:00 - 12:00	14/01/2023	Andén	...	...	...
36	1	MERCED	13:00 - 14:00	14/01/2023	Andén	...	...	...
37	1	MERCED	14:00 - 15:00	14/01/2023	Andén	...	...	...
38	1	MERCED	15:00 - 16:00	14/01/2023	Andén	...	...	...
39	1	MERCED	16:00 - 17:00	14/01/2023	Andén	...	...	...
40	1	MERCED	17:00 - 18:00	14/01/2023	Andén	...	...	...
41	1	MERCED	18:00 - 19:00	14/01/2023	Andén	...	...	...
42	1	MERCED	19:00 - 20:00	14/01/2023	Andén	...	...	...
43	1	MERCED	20:00 - 21:00	14/01/2023	Andén	...	...	...
44	1	MERCED	21:00 - 22:00	14/01/2023	Andén	...	...	...
45	1	MERCED	22:00 - 23:00	14/01/2023	Andén	...	...	...
46	1	MERCED	07:00 - 08:00	15/01/2023	Andén	...	...	...
47	1	MERCED	08:00 - 09:00	15/01/2023	Andén	...	...	...
48	1	MERCED	09:00 - 10:00	15/01/2023	Andén	...	...	...
49	1	MERCED	10:00 - 11:00	15/01/2023	Andén	...	...	...
50	1	MERCED	11:00 - 12:00	15/01/2023	Andén	...	...	...
51	1	MERCED	13:00 - 14:00	15/01/2023	Andén	...	...	...
52	1	MERCED	14:00 - 15:00	15/01/2023	Andén	...	...	...
53	1	MERCED	15:00 - 16:00	15/01/2023	Andén	...	...	...
54	1	MERCED	16:00 - 17:00	15/01/2023	Andén	...	...	...
55	1	MERCED	17:00 - 18:00	15/01/2023	Andén	...	...	...
56	1	MERCED	18:00 - 19:00	15/01/2023	Andén	...	...	...
57	1	MERCED	19:00 - 20:00	15/01/2023	Andén	...	...	...
58	1	MERCED	20:00 - 21:00	15/01/2023	Andén	...	...	...
59	1	MERCED	21:00 - 22:00	15/01/2023	Andén	...	...	...
60	1	MERCED	22:00 - 23:00	15/01/2023	Andén	...	...	...

Figura C.1 Imagen del Plan de Grabación desarrollado.

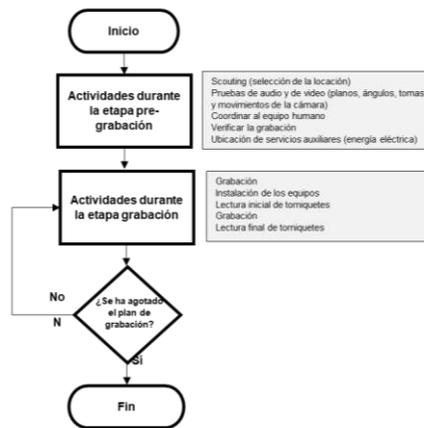


Figura C.2 Diagrama de flujo del proceso de grabación

C.2 Desarrollo

C.2.1 Etapa de pregrabación

En el desarrollo del plan de grabación se determinó llevar a cabo una etapa de pregrabación, en la que se realizaron pruebas para la selección de la locación, pruebas de audio y de video, pruebas de ángulos, tomas y movimientos de la cámara, coordinación con el equipo humano, ubicación de servicios auxiliares, verificaciones de las tomas de grabación, entre otros. Como resultado de las actividades ejecutadas en esta etapa se pudo hacer la selección de los puntos en los que se montarían las cámaras, tal como se muestra en los siguientes croquis (Figura C.3, C.4 y C.5).

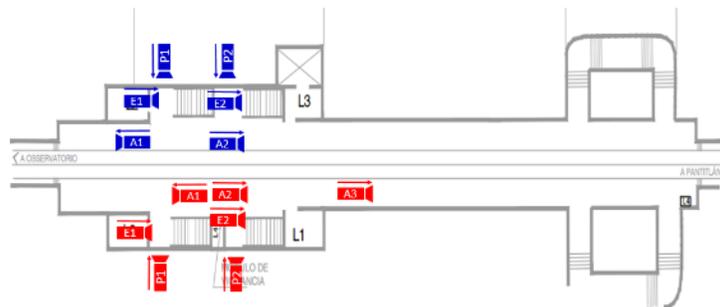


Figura C.3 Croquis de posicionamiento de cámaras en la Estación Merced de la Línea 1

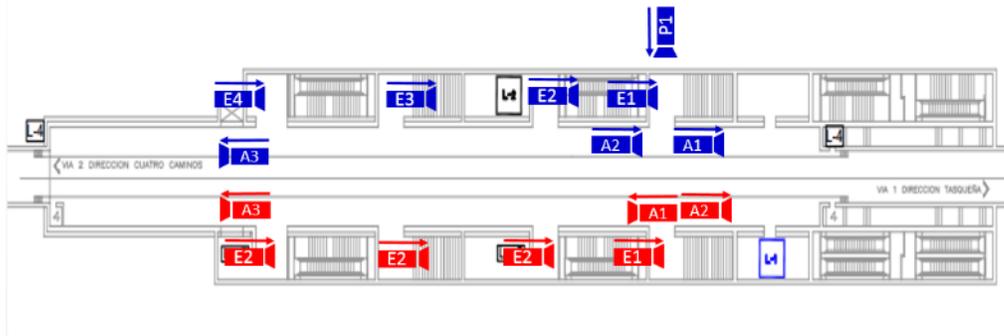


Figura C.4 Croquis de posicionamiento de cámaras en la Estación Hidalgo de la Línea 2



Figura C.5 Croquis de posicionamiento de cámaras en la Estación Guerrero de la Línea 3

C.2.2 Etapa de grabación

En la etapa de planeación se postularon los días y horarios de grabación. En la programación inicial, el periodo de grabación se tenía contemplado del 28 de noviembre del 2017 al 22 de enero 2018. Cabe mencionar que en juntas llevadas a cabo con coordinadores de las Líneas 1, 2 y 3, se les notificó la realización de recorridos en las Estaciones Merced, Hidalgo de la Línea 2 y Guerrero de la Línea 3 para verificar el número de cámaras y la ubicación de estas; lo anterior con la finalidad de que dichas actividades se realizarán dentro del marco de seguridad durante el desarrollo de la investigación y para los usuarios del Sistema.

A continuación, se presenta el cuadro de control de grabaciones (Tabla C.1).

Tabla C.1 Cuadro de registro y control de las grabaciones efectuadas

ESTACIÓN	LÍNEA	SENTIDO	HORARIOS	ANDÉN			VAGÓN		
				Replica 1	Replica 2	Replica 3	Replica 1	Replica 2	Replica 3
Merced	1	Pantitlán	08 a 09 has	✓			✓	✓	
			13 a 14 has	✓	✓		✓		
			18 a 19 has	✓	✓		✓	✓	✓
		Observatorio	08 a 09 has	✓	✓		✓	✓	✓
			13 a 14 has	✓			✓		
			18 a 19 has	✓			✓		
Hidalgo	2	Tasqueña	07 a 08 has	✓			✓		
			14 a 15 has	✓	✓		✓	✓	
			17 a 18 has	✓	✓	✓	✓	✓	
		Cuatro Caminos	09 a 10 has	✓	✓		✓	✓	✓
			14 a 15 has	✓			✓		
			19 a 20 has	✓	✓		✓		
Guerrero	3	Universidad	08 a 09 has	✓	✓		✓	✓	✓
			14 a 15 has	✓			✓	✓	
			18 a 19 has	✓			✓		
		Indios Verdes	08 a 09 has	✓			✓		
			13 a 14 has	✓			✓		
			18 a 19 has	✓	✓		✓	✓	✓

C.3 Análisis

Para el análisis de los datos obtenidos en campo, se llevó a cabo la revisión de las videograbaciones, se extrajeron los datos, por medio de capturas de pantalla y reproducción repetidas de las escenas tomadas, se realizaron los conteos necesarios y se evaluaron los datos registrados.

En forma de ejemplo se presenta la Tabla C.2 con diversas imágenes registradas en los días y horas mencionadas en la Tabla C.1.

Tabla C.2 Productos de las actividades de grabación

ÁREAS	MERCED (LÍNEA 1)	HIDALGO (LÍNEA 2)	GUERRERO (LÍNEA 3)
ANDÉN			
ESCALERAS FIJAS			
PASILLOS			
VAGÓN			

Anexo D MATRICES DE VALORACIÓN

A continuación, se presentan las matrices resultantes de la valorización de los elementos de análisis establecidos en el Proceso Jerárquico Analítico desarrollado en la etapa de la determinación de los factores críticos para la definición de las características de simulación de los escenarios de evacuación de emergencia (ver sección 4.6.), para los tres perfiles definidos (ver sección 4.6.1.1)

D.1 MATRICES DE VALORAIZACIÓN DEL PERFIL: EXPERTO DE STC

Jerarquización de escenarios

Matriz 1 Perfil del evaluador		A Académico	B Personal del STC	C Usuario
2	A Académico	1	$\frac{1}{3}$	5
1	B Personal del STC	X	1	8
3	C Usuario	x	x	1

Matriz 2 criterios para selección de escenarios		A Cantidad de usuarios /horario	B Periodo entre trenes	C Bloqueos en la estación	D Escenarios de emergencia	E Presencia de tren en andén
1	A Cantidad de usuarios /horario	1	3	5	1	8
2	B Periodo entre trenes	X	1	2	$\frac{1}{3}$	5
3	C Bloqueos en la estación	X	X	1	$\frac{1}{5}$	3
1	D Escenarios de emergencia	X	X	X	1	8
4	E Presencia de tren en andén	x	X	X	X	1

Matriz 3 Sub criterios de decisión de C1		A Escaleras	B Pasillos	C Torniquetes	D Anden	E Trasborde
5	A Escaleras	1	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{8}$	1
2	B Pasillos		1	2	$\frac{1}{4}$	4
3	C Torniquetes			1	$\frac{1}{6}$	2
1	D Anden				1	8
4	E Trasborde					1

Matriz 4 Sub criterios de decisión de C2		Sismo	Incendio
1	Sismo	1	1
1	Incendio	X	1



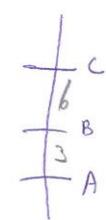
Matriz 5 Sub criterios de decisión de C3		Con tren en el andén	Sin tren en el andén
1	A Con tren en el andén	1	9
2	B Sin tren en el andén	X	1



Matriz 6 Sub criterios de decisión de C4		Hora pico matutina	Hora valle	Hora poco vespertina
1	A Hora pico matutina	1	6	1
2	B Hora valle	X	1	1/6
1	C Hora poco vespertina	X	X	1



Matriz 7 Sub criterios de decisión de C5		Más tiempo entre trenes	Tiempo promedio entre trenes	Menos tiempo entre trenes
3	A Más tiempo entre trenes	1	1/3	1/9
2	B Tiempo promedio entre trenes	X	1	1/6
1	C Menos tiempo entre trenes	X	X	1



D.2 MATRICES DE VALORAZACIÓN DEL PERFIL: EXPERTO ACADÉMICO

A > B > C

D > B > C

Jerarquización de escenarios

A B C

Matriz 1 Perfil del evaluador		Académico	Personal del STC	Usuario
1 2	A Académico	1	3 5	5 8
2 2	B Personal del STC	x 1/3	1	7 3
3 3	C Usuario	x 1/6	x 1/3	1

A
5
B
3
C

A > D > B > C = E

B C D E

Matriz 2 criterios para selección de escenarios		Cantidad de usuarios /horario	Periodo entre trenes	Bloqueos en la estación	Escenarios de emergencia	Presencia de tren en andén
1 3	A Cantidad de usuarios /horario	1	1 7	3 9 1/5	3	7 9
3	B Periodo entre trenes	x	1	9 2 1/7 1/4		5 2
2	C Bloqueos en la estación	x	x	1	1/7 1/6	5 1
1	D Escenarios de emergencia	x	x	x	1	7 6
4	E Presencia de tren en andén	x	x	x	x	1

A 3
D 4
B 2
C 2
E

A B E D E

Matriz 3 Sub criterios de decisión de C1		Escaleras	Pasillos	Torniquetes	Anden	Trasborde
4	A Escaleras	1	7 2	7 2	7 1/5	7 2
2	B Pasillos	7	1	1 1	1 1/7	1 1
3	C Torniquetes	7	3	1	3 1/7	3 1
①	D Anden	9	1	3	1	1 7
2	E Trasborde	7	1	7	1	1

D
5
A
2
B
E
C

Dog

Matriz 4 Sub criterios de decisión de C2		Sismo	Incendio
2	Sismo	1	5
1	Incendio	X	1

Matriz 5 Sub criterios de decisión de C3		Con tren en el andén	Sin tren en el andén
1	Con tren en el andén	1	7
2	Sin tren en el andén	X	1

Matriz 6 Sub criterios de decisión de C4		Hora pico matutina	Hora valle	Hora poco vespertina
1	Hora pico matutina	1	7/3	1
2	Hora valle	X	1	7
1	Hora poco vespertina	X	X	1

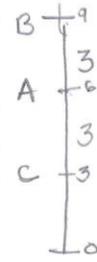
Matriz 7 Sub criterios de decisión de C5		Más tiempo entre trenes	Tiempo promedio entre trenes	Menos tiempo entre trenes
3	A Más tiempo entre trenes	1	7/5	9/5
2	B Tiempo promedio entre trenes	X	1	2/5
1	C Menos tiempo entre trenes	X 1/9	X 1/2	1

A
7
B
2
C

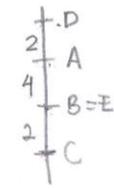
D.3 MATRICES DE VALORAZACIÓN DEL PERFIL: USUARIO DEL STC

Jerarquización de escenarios

Matriz 1 Perfil del evaluador		A	B	C
		Académico	Personal del STC	Usuario
A	2 Académico	1	1/3	3
B	1 Personal del STC	X	1	6
C	3 Usuario	X	X	1

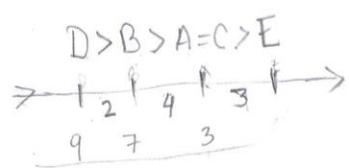


Matriz 2 criterios para selección de escenarios		A	B	C	D	E
		Cantidad de usuarios /horario	Periodo entre trenes	Bloqueos en la estación	Escenarios de emergencia	Presencia de tren en andén
A	2 Cantidad de usuarios /horario	1	4	6	1/2	4
B	3 Periodo entre trenes	X	1	2	1/6	1
C	4 Bloqueos en la estación	X	X	1	1/8	1/2
D	1 Escenarios de emergencia	X	X	X	1	6
E	3 Presencia de tren en andén	X	X	X	X	1

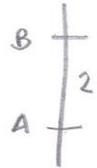


$D > A > B = E > C$

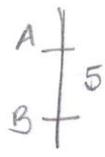
Matriz 3 Sub criterios de decisión de C1		A	B	C	D	E
		Escaleras	Pasillos	Torniquetes	Anden	Trasborde
3	A Escaleras	1	1/4	1	1/6	3
2	B Pasillos		1	4	1/2	7
3	C Torniquetes			1	1/6	3
1	D Anden				1	9
4	E Trasborde					1



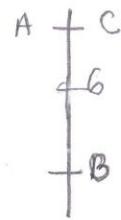
		A	B
Matriz 4 Sub criterios de decisión de C2		Sismo	Incendio
2	A	Sismo	1
1	B	Incendio	X



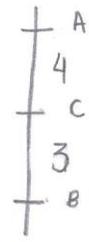
		A	B
Matriz 5 Sub criterios de decisión de C3		Con tren en el andén	Sin tren en el andén
1	A	Con tren en el andén	1
2	B	Sin tren en el andén	X



		A	B	C
Matriz 6 Sub criterios de decisión de C4		Hora pico matutina	Hora valle	Hora poco vespertina
1	A	Hora pico matutina	1	6
2	B	Hora valle	X	1
1	C	Hora poco vespertina	X	X



		A	B	C
Matriz 7 Sub criterios de decisión de C5		Más tiempo entre trenes	Tiempo promedio entre trenes	Menos tiempo entre trenes
A	1	Más tiempo entre trenes	1	7
B	3	Tiempo promedio entre trenes	X	1
C	2	Menos tiempo entre trenes	X	X



Anexo E METODO DE EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LOS FACTORES DE CARACTERIZACIÓN DE LA OPERACIÓN DE LAS ESTACIONES DE ESTUDIO

Para llevar a cabo el reconocimiento e identificación de las infraestructuras críticas y zonas de vulnerabilidad (ver sección 4.5) se construyeron un conjunto de escenarios que permitieran llevar a cabo un diagnóstico en las estaciones de estudio durante el proceso de evacuación.

E.1 Escenarios de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables en función a la cantidad máxima de usuarios en un tren dentro de las estaciones de estudio.

Se seleccionaron los escenarios más críticos, es decir los escenarios con la mayor cantidad de agentes afectables según la estimación obtenida de la cantidad promedio de usuarios dentro del tren, en donde se empleando la densidad asociada al percentil 95, según la distribución que aplique a cada horario y sentido (Tabla 4.12 de la sección 4.4.1.1.). Los escenarios definidos son los mostrados en la siguiente tabla (Tabla E.1).

Tabla E.1 Determinación de los escenarios de evacuación a simular por computadora para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables.

ESCENARIO	ESTACIÓN	LÍNEA	DIRECCIÓN	HORARIOS	USUARIOS
1	MERCED	1	De Observatorio a Pantitlán	18 a 19	2,742
2	MERCED	1	De Pantitlán a Observatorio	08 a 09	1,727
3	HIDALGO	2	Tasqueña a Cuatro Caminos	08 a 09	1,283
4	HIDALGO	2	Cuatro Caminos a Tasqueña	07 a 08	1,679
5	GUERRERO	3	Indios Verdes a Universidad	08 a 09	2,139
6	GUERRERO	3	Universidad a Indios Verdes	18 a 19	2,188

Como resultado a lo anteriormente expuesto, se definieron total de 6 escenarios para las actividades de simulación por computadora (Tabla E.2), esto a que se eligió un escenario por cada sentido de dirección de cada una de las estaciones de estudio, es decir, dos por estación, lo que da por resultado los 6 escenarios presentados. Los cuales corresponden a evacuación total de solo un tren en la dirección establecida, sin contra flujos, sin que arriben más trenes y con la restricción de acceso a andenes, se excluye también la llegada de trenes vía contraria.

Tabla E.2 Descripción de los escenarios de evacuación a simular por computadora para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables

ESCENARIO	ESTACIÓN	LÍNEA	DIRECCIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Merced	1	De Observatorio a Pantitlán	Se plantea una evacuación total del tren que se ubique en la dirección Observatorio a Pantitlán sin contra flujos y sin que arriben más trenes y con la restricción de acceso a andenes. También se excluye la llegada de trenes en la otra vía.
2	Merced	1	De Pantitlán a Observatorio	Se plantea una evacuación total del tren que se ubique en la dirección Pantitlán a Observatorio sin contra flujos y sin que arriben más trenes y con la restricción de acceso a andenes. También se excluye la llegada de trenes en la otra vía.
3	Hidalgo	2	De Tasqueña a Cuatro Caminos	Se plantea una evacuación total del tren que se ubique en la dirección Tasqueña a Cuatro Caminos sin contra flujos y sin que arriben más trenes y con la restricción de acceso a andenes. También se excluye la llegada de trenes en la otra vía.
4	Hidalgo	2	De Cuatro Caminos a Tasqueña	Se plantea una evacuación total del tren que se ubique en la dirección Cuatro Caminos a Tasqueña sin contra flujos y sin que arriben más trenes y con la restricción de acceso a andenes. También se excluye la llegada de trenes en la otra vía.
5	Guerrero	3	De Indios Verdes a Universidad	Se plantea una evacuación total del tren que se ubique en la dirección Indios Verdes a Universidad sin contra flujos y sin que arriben más trenes y con la restricción de acceso a andenes. También se excluye la llegada de trenes en la otra vía.
6	Guerrero	3	De Universidad a Indios Verdes	Se plantea una evacuación total del tren que se ubique en la dirección Universidad a Indios Verdes sin contra flujos y sin que arriben más trenes y con la restricción de acceso a andenes. También se excluye la llegada de trenes en la otra vía.

E.1.1 Escenario 1 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables

E.1.1.1 Ficha de descripción de las características de la simulación del escenario

ESCENARIO DE SIMULACIÓN				
Generales				
ID de escenario	1			
Escenario	Se plantea una evacuación total del tren que se ubique en la dirección Observatorio a Pantitlán sin contra flujos y sin que arriben más trenes y con la restricción de acceso a andenes. También se excluye la llegada de trenes en la otra vía.			
# de replicas	50			
Estados				
Estación	Merced, línea 1		Dirección	Observatorio a Pantitlán
Horario	18-19 hrs		Escenarios	NA
Condiciones físicas	NA		Temporalidad del disparador	NA
Número de usuarios	2742		Periodo de trenes	NA
Radio de agente	0.21915 m		Velocidad Max	1.475 m/s
Afluencias				
Ruta	Número de agentes		periodicidad	
R1	S/E1→TE1→V1Mx	0	Una vez	
R2	S/E1→TE1→V1M	0	Una vez	
R3	S/E1→TE1→V2Mx	0	Una vez	
R4	S/E1→TE1→V2M	0	Una vez	
R5	S/E2→TE2→V1Mx	0	Una vez	
R6	S/E2→TE2→V1M	0	Una vez	
R7	S/E2→TE2→V2Mx	0	Una vez	
R8	S/E2→TE2→V2M	0	Una vez	
R9	V1M→TS1→S/E1	0	Una vez	
R10	V1M→TS2→S/E1	0	Una vez	
R11	V1M→TS3→S/E2	0	Una vez	
R12	V1M→TS4→S/E2	0	Una vez	
R13	V1Mx→TS1→S/E1	0	Una vez	
R14	V1Mx→TS2→S/E1	0	Una vez	
R15	V1Mx→TS3→S/E2	0	Una vez	
R16	V1Mx→TS4→S/E2	0	Una vez	
R17	V2M→TS1→S/E1	305	Una vez	
R18	V2M→TS2→S/E1	305	Una vez	
R19	V2M→TS3→S/E2	0	Una vez	
R20	V2M→TS4→S/E2	0	Una vez	
R21	V2Mx→TS1→S/E1	533	Una vez	
R22	V2Mx→TS2→S/E1	533	Una vez	
R23	V2Mx→TS3→S/E2	533	Una vez	
R24	V2Mx→TS4→S/E2	533	Una vez	

E.1.1.2 Resultados del escenario 1 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables

En las figuras E.1 y E.2 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo promedio de salida de la estación y para el tiempo promedio de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 1



Figura E.1 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo de salida de la estación Merced de conformidad con el escenario 1



Figura E.2 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo promedio de salida de la estación Merced de conformidad con el escenario 1

En la figura E.3 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo máximo de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 1



Figura E.3 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo máximo de salida de la estación Merced de conformidad con el escenario 1

En la figura E.4 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para el tiempo máximo de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 1



Figura E.4 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo máximo de salida de la estación Merced de conformidad con el escenario 1

E.1.2 Escenario 2 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables

E.1.2.1 Ficha de descripción de las características de la simulación del escenario

Escenario de simulación				
Generales				
ID de escenario	2			
Escenario	Se plantea una evacuación total del tren que se ubique en la dirección Pantitlán a Observatorio sin contra flujos y sin que arriben más trenes y con la restricción de acceso a andenes. También se excluye la llegada de trenes en la otra vía.			
# de replicas	70			
Estados				
estación	Merced, línea 1		Dirección	Pantitlán a Observatorio
Horario	8a9 hrs		Escenarios	NA
condiciones físicas	NA		Temporalidad del disparador	NA
Número de usuarios	1727		Periodo de trenes	NA
Radio de agente	0.21915 m		Velocidad Max	1.475 m/s
Afluencias				
Ruta	Número de agentes	periodicidad		
R1	S/E1→TE1→V1Mx	0	Una vez	
R2	S/E1→TE1→V1M	0	Una vez	
R3	S/E1→TE1→V2Mx	0	Una vez	
R4	S/E1→TE1→V2M	0	Una vez	
R5	S/E2→TE2→V1Mx	0	Una vez	
R6	S/E2→TE2→V1M	0	Una vez	
R7	S/E2→TE2→V2Mx	0	Una vez	
R8	S/E2→TE2→V2M	0	Una vez	
R9	V1M→TS1→S/E1	192	Una vez	
R10	V1M→TS2→S/E1	192	Una vez	
R11	V1M→TS3→S/E2	0	Una vez	
R12	V1M→TS4→S/E2	0	Una vez	
R13	V1Mx→TS1→S/E1	336	Una vez	
R14	V1Mx→TS2→S/E1	336	Una vez	
R15	V1Mx→TS3→S/E2	336	Una vez	
R16	V1Mx→TS4→S/E2	336	Una vez	
R17	V2M→TS1→S/E1	0	Una vez	
R18	V2M→TS2→S/E1	0	Una vez	
R19	V2M→TS3→S/E2	0	Una vez	
R20	V2M→TS4→S/E2	0	Una vez	
R21	V2Mx→TS1→S/E1	0	Una vez	
R22	V2Mx→TS2→S/E1	0	Una vez	
R23	V2Mx→TS3→S/E2	0	Una vez	
R24	V2Mx→TS4→S/E2	0	Una vez	

E.1.2.1 Resultados del escenario 2 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables

En la figura E.5 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo promedio de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 2



Figura E.5 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo de salida de la estación Merced de conformidad con el escenario 2

En la figura E.6 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para el tiempo promedio de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 2



Figura E.6 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo promedio de salida de la estación Merced de conformidad con el escenario 2

En la figura E.7 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo máximo de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 2

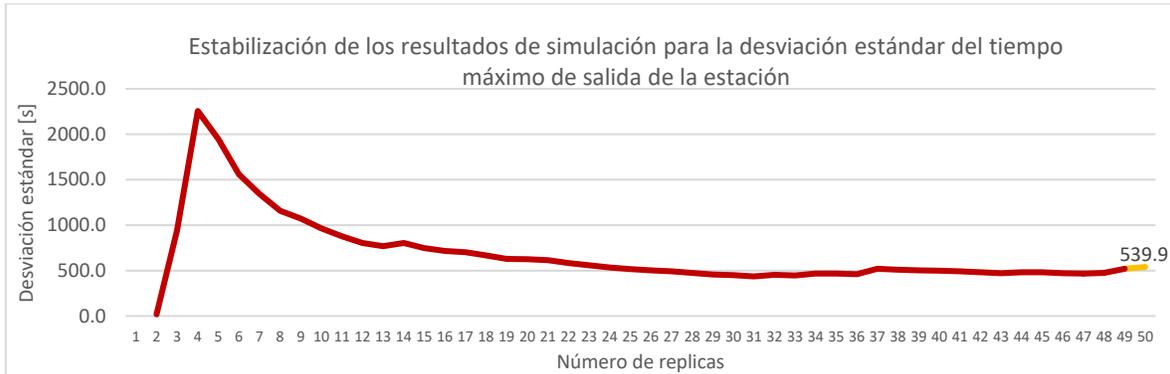


Figura E.7 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo máximo de salida de la estación Merced de conformidad con el escenario 2

En la figura E.8 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para el tiempo máximo de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 2

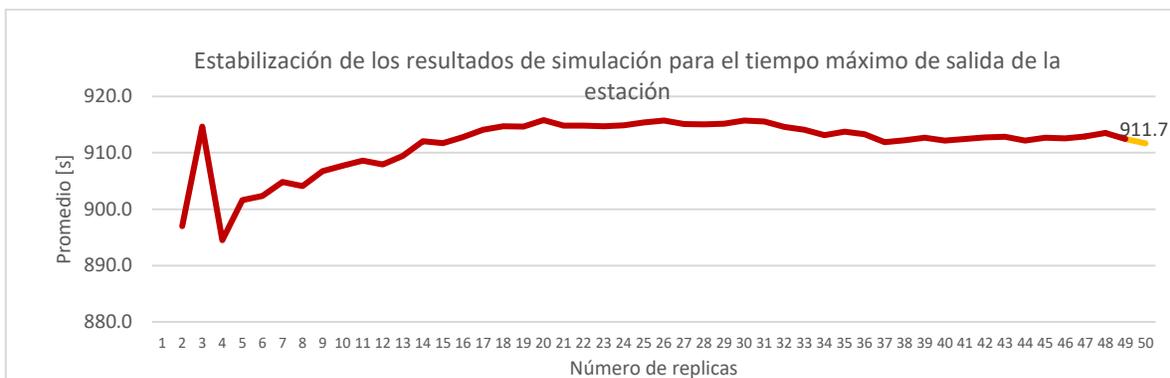


Figura E.8 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo máximo de salida de la estación Merced de conformidad con el escenario 2

E.1.3 Escenario 3 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables

E.1.3.1 Ficha de descripción de las características de la simulación del escenario

Escenario de simulación			
Generales			
ID de escenario	3		
Escenario	Se plantea una evacuación total del tren que se ubique en la dirección Tasqueña a Cuatro Caminos sin contra flujos y sin que arriben más trenes y con la restricción de acceso a andenes. También se excluye la llegada de trenes en la otra vía.		
# de replicas	70		
Estados			
estación	Hidalgo, línea 2	Dirección	Tasqueña a Cuatro Caminos
Horario	8a9 hrs	Escenarios	NA
condiciones físicas	NA	Temporalidad del disparador	NA
Número de usuarios	1283	Periodo de trenes	NA
Radio de agente	0.21915 m	Velocidad Max	1.69 m/s
Afluencias			
Ruta	Número de agentes	periodicidad	
R1	S/E1→TE1→Tr	0	Una vez
R2	S/E1→TE1→V1	0	Una vez
R3	S/E1→TE1→V2	0	Una vez
R4	S/E2→TE2→V1	0	Una vez
R5	S/E2→TE2→Tr	0	Una vez
R6	S/E2→TE2→V2	0	Una vez
R7	S/E3→TE3→Tr	0	Una vez
R8	S/E3→TE3→V2	0	Una vez
R9	S/E3→TE3→V1	0	Una vez
R10	V1→Tr→	0	Una vez
R11	V1→TS1→S/E1	0	Una vez
R12	V1→TS2→S/E2	0	Una vez
R13	V1→V2→	0	Una vez
R14	V1→TS3→S/E3	0	Una vez
R15	V2→TS1→S/E1	321	Una vez
R16	V2→TS2→S/E2	321	Una vez
R17	V2→Tr→	321	Una vez
R18	V2→V1→	0	Una vez
R19	V2→TS3→S/E3	321	Una vez

E.1.3.1 Resultados del escenario 3 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables

En la figura E.9 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo promedio de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 3



Figura E.9 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo de salida de la estación Hidalgo de conformidad con el escenario 3

En la figura E.10 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para el tiempo promedio de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 3



Figura E.10 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo promedio de salida de la estación Hidalgo de conformidad con el escenario 3

En la figura E.11 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo máximo de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 3



Figura E.11 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo máximo de salida de la estación Hidalgo de conformidad con el escenario 3

En la figura E.12 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para el tiempo máximo de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 3



Figura E.12 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo máximo de salida de la estación Hidalgo de conformidad con el escenario 3

E.1.4 Escenario 4 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables

E.1.4.1 Ficha de descripción de las características de la simulación del escenario

Escenario de simulación			
Generales			
ID de escenario	4		
Escenario	Se plantea una evacuación total del tren que se ubique en la dirección Cuatro Caminos a Tasqueña sin contra flujos y sin que arriben más trenes y con la restricción de acceso a andenes. También se excluye la llegada de trenes en la otra vía.		
# de replicas	70		
Estados			
estación	Hidalgo, línea 2	Dirección	Cuatro Caminos a Tasqueña
Horario	7a8 hrs	Escenarios	NA
condiciones físicas	NA	Temporalidad del disparador	NA
Número de usuarios	1679	Periodo de trenes	NA
Radio de agente	0.21915 m	Velocidad Max	1.69 m/s
Afluencias			
	Ruta	Número de agentes	periodicidad
R1	S/E1→TE1→Tr	0	Una vez
R2	S/E1→TE1→V1	0	Una vez
R3	S/E1→TE1→V2	0	Una vez
R4	S/E2→TE2→V1	0	Una vez
R5	S/E2→TE2→Tr	0	Una vez
R6	S/E2→TE2→V2	0	Una vez
R7	S/E3→TE3→Tr	0	Una vez
R8	S/E3→TE3→V2	0	Una vez
R9	S/E3→TE3→V1	0	Una vez
R10	V1→Tr→	420	Una vez
R11	V1→TS1→S/E1	420	Una vez
R12	V1→TS2→S/E2	420	Una vez
R13	V1→V2→	0	Una vez
R14	V1→TS3→S/E3	420	Una vez
R15	V2→TS1→S/E1	0	Una vez
R16	V2→TS2→S/E2	0	Una vez
R17	V2→Tr→	0	Una vez
R18	V2→V1→	0	Una vez
R19	V2→TS3→S/E3	0	Una vez

E.1.4.1 Resultados del escenario 4 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables

En la figura E.13 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo promedio de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 4



Figura E.13 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo de salida de la estación Hidalgo de conformidad con el escenario 4

En la figura E.14 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para el tiempo promedio de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 4



Figura E.14 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo promedio de salida de la estación Hidalgo de conformidad con el escenario 4

En la figura E.15 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo máximo de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 4

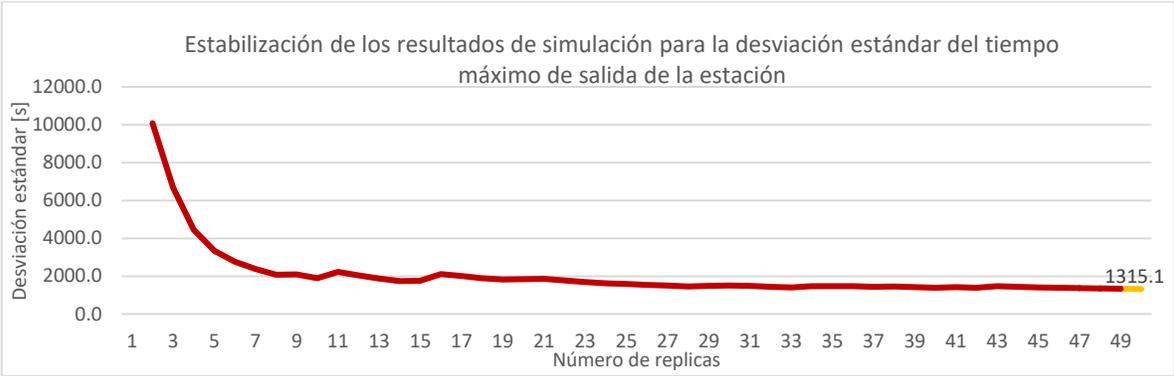


Figura E.15 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo máximo de salida de la estación Hidalgo de conformidad con el escenario 4

En la figura E.16 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para el tiempo máximo de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 4



Figura E.16 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo máximo de salida de la estación Hidalgo de conformidad con el escenario 4

E.1.5 Escenario 5 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables

E.1.5.1 Ficha de descripción de las características de la simulación del escenario

Escenario de simulación				
Generales				
ID de escenario	5			
Escenario	Se plantea una evacuación total del tren que se ubique en la dirección Indios Verdes a Universidad sin contra flujos y sin que arriben más trenes y con la restricción de acceso a andenes. También se excluye la llegada de trenes en la otra vía.			
# de replicas	70			
Estados				
Estación	Guerrero, línea 3		Dirección	Indios Verdes a Universidad
Horario	8-9hrs hrs		Escenarios	NA
condiciones físicas	NA		Temporalidad del disparador	NA
Número de usuarios	2139		Periodo de trenes	NA
Radio de agente	0.21915 m		Velocidad Max	2.239 m/s
Afluencias				
Ruta		Número de agentes	periodicidad	
R1	S/E1→TE1→V1	0	Una vez	
R2	S/E1→TE1→Tr	0	Una vez	
R3	S/E1→TE1→V2	0	Una vez	
R4	S/E2→TE2→V1	0	Una vez	
R5	S/E2→TE2→V2	0	Una vez	
R6	S/E2→TE2→Tr	0	Una vez	
R7	V2→TS1→S/E1	0	Una vez	
R8	V2→V1→	0	Una vez	
R9	V2→TS2→S/E2	1070	Una vez	
R10	V2→Tr→	1070	Una vez	
R11	V1→TS1→S/E1	0	Una vez	
R12	V1→V2→	0	Una vez	
R13	V1→Tr→	0	Una vez	
R14	V1→TS2→S/E2	0	Una vez	

E.1.5.1 Resultados del escenario 5 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables

En la figura E.17 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo promedio de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 5



Figura E.17 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo de salida de la estación Guerrero de conformidad con el escenario 5

En la figura E.18 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para el tiempo promedio de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 5



Figura E.18 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo promedio de salida de la estación Guerrero de conformidad con el escenario 5

En la figura E.19 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo máximo de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 5



Figura E.19 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo máximo de salida de la estación Guerrero de conformidad con el escenario 5

En la figura E.20 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para el tiempo máximo de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 5



Figura E.20 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo máximo de salida de la estación Guerrero de conformidad con el escenario 5

E.1.6 Escenario 6 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables

E.1.6.1 Ficha de descripción de las características de la simulación del escenario

Escenario de simulación			
Generales			
ID de escenario	6		
Escenario	Se plantea una evacuación total del tren que se ubique en la dirección Universidad a Indios Verdes sin contra flujos y sin que arriben más trenes y con la restricción de acceso a andenes. También se excluye la llegada de trenes en la otra vía.		
# de replicas	70		
Estados			
Estación	Guerrero, línea 3	Dirección	Universidad a Indios Verdes
Horario	18a19 hrs	Escenarios	NA
condiciones físicas	NA	Temporalidad del disparador	NA
Número de usuarios	2188	Periodo de trenes	NA
Radio de agente	0.21915 m	Velocidad Max	2.239 m/s
Afluencias			
Ruta	Número de agentes	periodicidad	
R1	S/E1→TE1→V1	0	Una vez
R2	S/E1→TE1→Tr	0	Una vez
R3	S/E1→TE1→V2	0	Una vez
R4	S/E2→TE2→V1	0	Una vez
R5	S/E2→TE2→V2	0	Una vez
R6	S/E2→TE2→Tr	0	Una vez
R7	V2→TS1→S/E1	0	Una vez
R8	V2→V1→	0	Una vez
R9	V2→TS2→S/E2	0	Una vez
R10	V2→Tr→	0	Una vez
R11	V1→TS1→S/E1	1094	Una vez
R12	V1→V2→	0	Una vez
R13	V1→Tr→	1094	Una vez
R14	V1→TS2→S/E2	0	Una vez

E.1.6.1 Resultados del escenario 1 de evacuación para la realización del diagnóstico de las infraestructuras críticas y zonas vulnerables

En la figura E.21 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo promedio de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 6



Figura E.21 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo de salida de la estación Guerrero de conformidad con el escenario 6

En la figura E.22 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para el tiempo promedio de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 6



Figura E.22 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo promedio de salida de la estación Guerrero de conformidad con el escenario 6

En la figura E.23 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo máximo de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 6



Figura E.23 Estabilización de los resultados de simulación para la desviación estándar del tiempo máximo de salida de la estación Guerrero de conformidad con el escenario 6

En la figura E.24 se muestra el proceso de estabilización de los resultados de simulación para el tiempo máximo de salida de la estación conforme al número de réplicas generadas del escenario 6



Figura E.24 Estabilización de los resultados de simulación para el tiempo máximo de salida de la estación Guerrero de conformidad con el escenario 6

E.1.7 Síntesis

A continuación, se muestra una tabla donde se resumen los resultados de los tiempos de desplazamiento hacia las salidas, es decir, un desalojo o evacuación de la estación, obtenidos para los seis escenarios evaluados en el software de simulación Pedestrian Dynamics®, considerando como parámetros: la estación y línea, la dirección de tren, el horario y el número de agentes presentes.

Tabla E.3 Estimación del tiempo promedio y tiempo máximo de evacuación respecto al escenario planteado

ESCENARIO	ESTACIÓN	LÍNEA	DIRECCIÓN	HORARIO	AGENTES	TIEMPO PROMEDIO [S]	TIEMPO MÁXIMO [S]
1	Merced	1	Observatorio a Pantitlán	18 a 19 hrs	2742	211	1498.8
2	Merced	1	Pantitlán a Observatorio	08 a 09 hrs	1727	443.3	911.7
3	Hidalgo	2	Tasqueña a Cuatro Caminos	08 a 09 hrs	1283	167.8	392.9
4	Hidalgo	2	Cuatro Caminos a Tasqueña	07 a 08 hrs	1679	210.9	537.6
5	Guerrero	3	Indios Verdes a Universidad	08 a 09 hrs	2139	196	492.3
6	Guerrero	3	Universidad a Indios Verdes	18 a 19 hrs	2188	473.6	1108.7

Recordando que las características de los escenarios simulados fueron considerando una evacuación total de solo un tren para cada una de las direcciones sin contra flujos y sin que arriben más trenes y con la restricción de acceso a andenes, también se excluyó la llegada de trenes en la otra vía. Tal como se aprecia en la tabla anterior (Tabla E.3), el menor tiempo promedio y menor tiempo máximo obtenidos fueron para el escenario 3, es decir en la estación Hidalgo, dirección de Tasqueña a Cuatro Caminos en el horario punta de la mañana. Caso contrario, el escenario 1 registró los mayores tiempos: promedio y máximo, este escenario corresponde a la estación Merced en el horario de las 18 a 19 horas, es decir, hora punta vespertina.

Ahora bien, de los resultados de las simulaciones tenemos, a) tiempos promedios y máximos necesarios para el desalojo (evacuación) de la estación, para eventos sísmicos, este valor es determinante en la toma de decisiones; b) mapeos de los andenes y vestíbulos de las estaciones identificando zonas potencialmente vulnerables; c) identificación del impacto de mecanismos de control de flujo peatonal.

Los datos obtenidos de estos primeros escenarios permiten tener una valoración inicial para comparar con datos de escenarios con operación en condiciones normales; pues cabe recordar que estos primeros seis se diseñaron con las condicionantes de cero contraflujos y con la llegada de un solo tren en el periodo de evacuación. Así también una identificación inicial de infraestructuras críticas y zonas vulnerables como consecuencia de la configuración propia de la estación o como consecuencia del impacto de los mecanismos de control de flujo peatonal.

Anexo F **EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LOS BLOQUEOS EN LAS ESTACIONES DE ESTUDIO**

Para evaluar el efecto que tiene el bloqueo en estructuras de las estaciones tales como: andén, escaleras, pasillos y vestíbulos, que impiden o limitan el flujo de los usuarios se desarrollaron simulaciones de escenarios en el marco de un incendio. La gran mayoría de los estudios de evacuación en Sistemas de Trenes Urbanos están relacionados en marco de un incendio, en el caso de esta investigación se experimentó bajo los criterios del protocolo que establece el STC para incendios, el cual se enfoca en la evacuación inmediata.

En relación con la definición de las características de la simulación de los escenarios de evacuación, se desarrolló un análisis de los factores que derivado del Proceso de Análisis Jerárquico se han determinado los siguientes escenarios que se centran en el efecto del boqueo en las estaciones. Se seleccionaron los tres escenarios más relevantes en marco de un incendio (ver sección 3.3.7), de lo cual, puede destacarse que los tres factores se diferencian únicamente en la ubicación del bloqueo por lo que estos escenarios se ensayan bajo los bloqueos específicos para las estaciones Merced de Línea 1 (ver Tabla F.1), Hidalgo de Línea 2 (ver Tabla F.2) y Guerrero de Línea 3 (Ver Tabla F.3).

Tabla F.1 Descripción de los bloqueos en la estación Merced

NÚMERO DE ESCENARIO	DESCRIPCIÓN DEL BLOQUEO
1	Bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén
2	Bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 50% del andén
3	Bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 75% del andén
4	Bloqueo parcial del 50% en las escaleras para vagones para mujeres dirección Observatorio
5	Bloqueo parcial del 50% en las escaleras para vagones mixtos dirección Observatorio
6	Bloqueo del 50% en el pasillo del vestíbulo que da a las escaleras para vagones mixtos dirección Observatorio

Tabla F.2 Descripción de los bloqueos en la estación Hidalgo

NÚMERO DE ESCENARIO	DESCRIPCIÓN DEL BLOQUEO
1	Bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén
2	Bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 50% del andén
3	Bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 75% del andén
4	Bloqueo total de la escalera 1 dirección Tasqueña
5	Bloqueo total de la escalera 2 dirección Tasqueña
6	Bloqueo total de la escalera 3 dirección Tasqueña
7	Bloqueo total de la escalera 4 dirección Tasqueña
8	Bloqueo del 50% en el vestíbulo

Tabla F.3 Descripción de los bloqueos en la estación Guerrero

NÚMERO DE ESCENARIO	DESCRIPCIÓN DEL BLOQUEO
1	Bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén
2	Bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 50% del andén
3	Bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 75% del andén
4	Bloqueo parcial del 50% de la escalera de salida dirección Universidad
5	Bloqueo parcial del 50% de la escalera de salida dirección Universidad
6	Bloqueo total del pasillo 1
7	Bloqueo total del pasillo 2
8	Bloqueo total del pasillo 3
9	Bloqueo total del pasaje de cambio de cambio de dirección
10	Bloqueo total del pasaje de trasborde

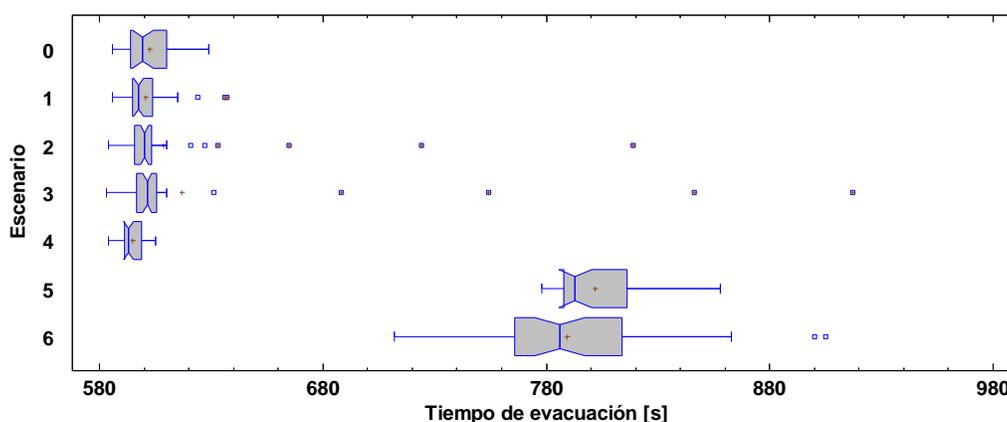


Figura F.1 Tiempo de evacuación de los escenarios de incendio ensayados en la estación Merced (Línea 1)

En la gráfica anterior (Figura F.1) es posible observar los seis escenarios ensayados en la estación Merced (Línea 1). Con ayuda de la prueba estadística de Kruskal-Wallis fue posible determinar que existe una diferencia significativa entre los tiempos de evacuación provocados por los seis ensayos⁷. Destacan los escenarios 5 y 6, en cuanto al incremento del tiempo de evacuación; el escenario 5 corresponde al bloqueo parcial del 50% en las escaleras para vagones mixtos dirección de Pantitlán a Observatorio; y el escenario 6 corresponde al bloqueo del 50% en el pasillo del vestíbulo que da a las escaleras de los andenes para vagones mixtos dirección de Pantitlán a Observatorio.

También en el escenario 4, que corresponde al bloqueo parcial del 50% en las escaleras para vagones de mujeres dirección de Pantitlán a Observatorio, el bloqueo genera una diferencia significativa que crea una disminución en el tiempo de evacuación.

⁷ Se ocupó la prueba de Kruskal-Wallis debido a que los datos violan el supuesto de homogeneidad de varianza, que imposibilitaba el uso del ANOVA.

Los resultados de los escenarios 5 y 6 son atribuidos a la pérdida de espacio transitable en las escaleras para vagones mixtos y en los pasillos que dan a las mismas escaleras. En cuanto al bloqueo del 50% en las escaleras para mujeres (escenario 4) se atribuye la disminución del tiempo al efecto de dosificación, la cual contribuye a la disminución de los contraflujos en los pasillos del vestíbulo

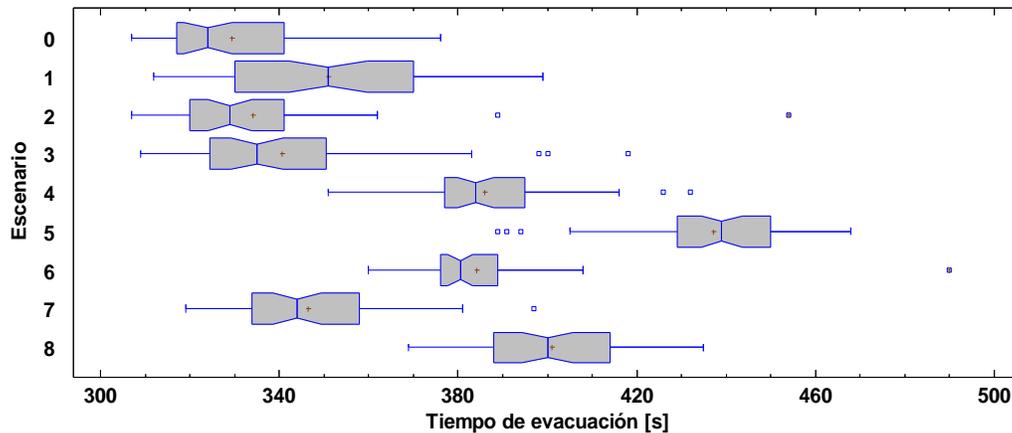


Figura F.2 Tiempo de evacuación de los escenarios de incendio ensayados en la estación Hidalgo (Línea 2)

En la gráfica anterior (Figura F.2) es posible observar los ocho escenarios ensayados en la estación Hidalgo (Línea 2). Con ayuda de la prueba estadística de Kruskal-Wallis fue posible determinar que existe una diferencia significativa entre los tiempos de evacuación provocadas por los ocho ensayos⁸. Destacan los escenarios 4, 5, 7 y 8 (Tabla 5-3) como los que afectan de mayor manera al tiempo de evacuación, es decir incrementa el tiempo de evacuación desde un 19 a un 35 % más del tiempo de evacuación respecto a la estación sin bloqueo. Destaca el escenario 5 como el que presenta el mayor tiempo de evacuación que corresponde al bloqueo total de la escalera 2 dirección Tasqueña.

⁸ Se ocupó la prueba de prueba de Kruskal-Wallis debido a que los datos violan el supuesto de homogeneidad de varianza, que imposibilitaba el uso del ANOVA.

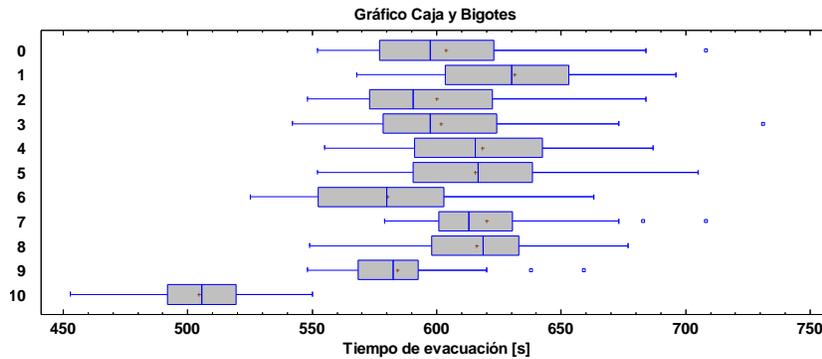


Figura F.3 Gráfico de caja y bigotes de los escenarios de incendio ensayados en la estación Guerrero (Línea 3)

Derivado de la gráfica anterior es posible observar los diez escenarios ensayados en la estación Guerrero (Línea 3). Con ayuda de la prueba estadística de Kruskal-Wallis fue posible determinar que existe una diferencia significativa entre los tiempos de evacuación provocadas por los diez ensayos⁹. Destacan los escenarios 1, 4, 7 y 8 como los que afectan de mayor manera al tiempo de evacuación, es decir incrementa el tiempo de evacuación desde un 3 a un 5 % más del tiempo de evacuación respecto a la estación sin bloqueo. Destaca el escenario 1 como el que presenta el mayor tiempo de evacuación que corresponde al bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén. Por otro lado, los escenarios 6, 9 y 10 disminuyen el tiempo de evacuación desde 2 a un 15% respecto a los escenarios testigo.

⁹ Se ocupó la prueba de prueba de Kruskal-Wallis debido a que los datos violan el supuesto de homogeneidad de varianza, que imposibilitaba el uso del ANOVA.

Anexo G PRUEBA DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIÓN DE EMERGENCIA SISMICA

G.1 Resultados de las Pruebas de Análisis de Varianza de los Escenarios de emergencia sísmica en la Estación Merced

Tabla G.1 ANOVA para Tiempo de Evacuación por el Porcentaje de Descenso en escenarios sin bloqueo con el 15% del área para zona de repliegue en la Estación Merced

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
Entre grupos	49756.7	3	16585.6	166.44	0.0000
Intra grupos	11559.3	116	99.6491		
Total (Corr.)	61316.0	119			

La tabla ANOVA descompone la varianza de Tiempo de Evacuación en escenarios sin bloqueo con el 15% del área para zona de repliegue en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 166.44, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Tiempo de Evacuación en escenarios sin bloqueo con el 15% del área para zona de repliegue entre un nivel del Porcentaje de Descenso y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla G.2 ANOVA Tiempo de Evacuación por el Porcentaje de Descenso en escenarios Sin bloqueo con el 30% del área para zona de repliegue en la Estación Merced

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
Entre grupos	38938.2	3	12979.4	212.01	0.0000
Intra grupos	7101.77	116	61.2221		
Total (Corr.)	46040.0	119			

La tabla ANOVA descompone la varianza de Anovas30.TiempoEvacuaciónT en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 212.005, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Anovas30.TiempoEvacuaciónT entre un nivel de Anovas30.PorcentajeDescenso y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla G.3 ANOVA Tiempo de Evacuación por el Porcentaje de Descenso en escenarios Sin bloqueo con el 45% del área para zona de repliegue en la Estación Merced

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
Entre grupos	20083.9	3	6694.63	135.66	0.0000
Intra grupos	5724.47	116	49.3489		
Total (Corr.)	25808.4	119			

La tabla ANOVA descompone la varianza de Anovas45.TiempoEvacuaciónT en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 135.659, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Anovas45.TiempoEvacuaciónT entre un nivel de Anovas45.PorcentajeDescenso y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla G.4 ANOVA Tiempo de Evacuación por el Porcentaje de Descenso en escenarios con el tipo de bloqueo 2B y con el 15% del área para zona de repliegue en la Estación Merced

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
Entre grupos	70689.0	3	23563.0	383.57	0.0000
Intra grupos	7126.03	116	61.4313		
Total (Corr.)	77815.0	119			

La tabla ANOVA descompone la varianza del Tiempo de Evacuación en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 383.566, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Tiempo de Evacuación de los escenarios con Bloque tipo 2B entre un nivel del Porcentaje de Descenso y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla G.5 ANOVA Tiempo de Evacuación por el Porcentaje de Descenso en escenarios con el tipo de bloqueo 2B y con el 30% del área para zona de repliegue en la Estación Merced

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
Entre grupos	134722.	3	44907.4	605.83	0.0000
Intra grupos	8598.5	116	74.125		
Total (Corr.)	143321.	119			

La tabla ANOVA descompone la varianza de Tiempo de Evacuación en escenarios con bloqueo tipo 2B en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 605.834, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Tiempo de Evacuación en escenarios con

bloqueo tipo 2B entre un nivel del Porcentaje de Descenso y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla G.6 ANOVA Tiempo de Evacuación por el Porcentaje de Descenso en escenarios con el tipo de bloqueo 2B y con el 45% del área para zona de repliegue en la Estación Merced

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
Entre grupos	30536.4	3	10178.8	239.33	0.0000
Intra grupos	4933.53	116	42.5305		
Total (Corr.)	35470.0	119			

La tabla ANOVA descompone la varianza de Tiempo de Evacuación en escenarios con bloqueo tipo 2B en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 239.33, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Tiempo de Evacuación en escenarios con bloqueo tipo 2B entre un nivel del Porcentaje de Descenso y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla G.7 ANOVA Tiempo de Evacuación por el Porcentaje de Descenso en escenarios con el tipo de bloqueo 3A y con el 15% del área para zona de repliegue en la Estación Merced

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
Entre grupos	84219.0	3	28073.0	57.64	0.0000
Intra grupos	56498.9	116	487.059		
Total (Corr.)	140718.	119			

La tabla ANOVA descompone la varianza de Tiempo de Evacuación en escenarios con bloqueo tipo 3A en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 57.6378, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Tiempo de Evacuación en escenarios con bloqueo tipo 3A entre un nivel del Porcentaje de Descenso y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla G.8 ANOVA Tiempo de Evacuación por el Porcentaje de Descenso en escenarios con el tipo de bloqueo 3A y con el 30% del área para zona de repliegue en la Estación Merced

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
Entre grupos	119106.	3	39701.9	83.42	0.0000
Intra grupos	55210.3	116	475.951		
Total (Corr.)	174316.	119			

La tabla ANOVA descompone la varianza de Tiempo de Evacuación en escenarios con bloqueo tipo 3A en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 83.4159, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Tiempo de Evacuación en escenarios con bloqueo tipo 3A entre un nivel de Porcentaje de Descenso y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla G.9 ANOVA Tiempo de Evacuación por el Porcentaje de Descenso en escenarios con el tipo de bloqueo 3A y con el 45% del área para zona de repliegue en la Estación Merced

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
Entre grupos	77251.4	3	25750.5	51.83	0.0000
Intra grupos	57630.3	116	496.813		
Total (Corr.)	134882.	119			

La tabla ANOVA descompone la varianza de Tiempo de Evacuación en escenarios con bloqueo tipo 3A en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 51.8313, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Tiempo de Evacuación en escenarios con bloqueo tipo 3A entre un nivel del Porcentaje de Descenso y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

G.2 Resultados de las Pruebas de Análisis de Varianza de los Escenarios de emergencia sísmica en la Estación Hidalgo de Línea 2

Tabla G.10 Análisis de Varianza para Tiempo de Evacuación Transformados - Suma de Cuadrados Tipo III para la Estación Hidalgo

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: T/Bloqueo	0.0000441158	2	0.0000220579	1390.17	0.0000
B: Repliegue	0.0000142813	2	0.00000714064	450.03	0.0000
C: Descenso	0.00000207392	3	6.91307E-7	43.57	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.00000775894	4	0.00000193974	122.25	0.0000
AC	0.00000107856	6	1.7976E-7	11.33	0.0000
BC	9.70197E-7	6	1.61699E-7	10.19	0.0000
RESIDUOS	0.0000165652	1044	1.58671E-8		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0000880032	1079			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de 1/Tiempo Evacuación en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 7 valores-P son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre 1/Tiempo Evacuación con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla G.11 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación Transformados por Tratamiento para la Estación Hidalgo

TRATAMIENTO	CASOS	MEDIA LS	GRUPOS HOMOGÉNEOS
3A	360	0.00228031	X
2B	360	0.00251138	X
T	360	0.00277502	X

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tabla G.12 Comparación de contratos por Tratamiento para la Estación Hidalgo

CONTRASTE	SIG.	DIFERENCIA	+/- LÍMITES
2B - 3A	*	0.000231069	0.0000184018
2B - T	*	-0.000263637	0.0000184018
3A - T	*	-0.000494706	0.0000184018

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tabla G.13 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación Transformado por Repliegue para la Estación Hidalgo

REPLIEGUE	CASOS	MEDIA LS	GRUPOS
			HOMOGÉNEOS
ZR15	360	0.00236005	X
ZR45	360	0.00259301	X
ZR30	360	0.00261365	X

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tabla G.14 Comparación de contratos por Repliegue para la Estación Hidalgo

CONTRASTE	SIG.	DIFERENCIA	+/- LÍMITES
ZR15 - ZR30	*	-0.000253603	0.0000184018
ZR15 - ZR45	*	-0.000232959	0.0000184018
ZR30 - ZR45	*	0.0000206444	0.0000184018

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 3 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tabla G.15 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación Transformados por Descenso para la Estación Hidalgo

DESCENSO	CASOS	MEDIA LS	GRUPOS HOMOGÉNEOS
D25	270	0.00246192	X
D50	270	0.00250281	X
D75	270	0.00254651	X
D100	270	0.0025777	X

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tabla G.16 Comparación de contratos por Descenso para la Estación Hidalgo

CONTRASTE	SIG.	DIFERENCIA	+/- LÍMITES
D100 - D25	*	0.000115782	0.0000212486
D100 - D50	*	0.000074886	0.0000212486
D100 - D75	*	0.0000311847	0.0000212486
D25 - D50	*	-0.0000408959	0.0000212486
D25 - D75	*	-0.0000845971	0.0000212486
D50 - D75	*	-0.0000437013	0.0000212486

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 6 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 4 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

G.3 Resultados de las Pruebas de Análisis de Varianza de los Escenarios de Emergencia Sísmica en la Estación Guerrero de Línea 3

Tabla G.17 Análisis de Varianza para Tiempo de Evacuación- Suma de Cuadrados Tipo III para la Estación Guerrero

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: T/Bloqueo	6136.14	2	3068.07	5.16	0.0059
B: Repliegue	967.869	2	483.934	0.81	0.4435
C: Descenso	26559.1	3	8853.04	14.89	0.0000
INTERACCIONES					
AB	2816.16	4	704.041	1.18	0.3162
AC	10136.0	6	1689.34	2.84	0.0095
BC	5782.59	6	963.765	1.62	0.1380
RESIDUOS	620875.	1044	594.707		
TOTAL (CORREGIDO)	681919.	1079			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de Tiempo en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III (por omisión), la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 3 valores-P son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Tiempo con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla G.18 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por Tratamiento para la Estación Guerrero

TRATAMIENTO	CASOS	MEDIA LS	SIGMA LS	GRUPOS HOMOGÉNEOS
2B	360	593.672	1.28529	X
T	360	598.364	1.28529	X
3A	360	599.028	1.28529	X

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tabla G.19 Comparación de contratos por Tratamiento para la Estación Guerrero

CONTRASTE	SIG.	DIFERENCIA	+/- LÍMITES
2B - 3A	*	-5.35556	3.56258
2B - T	*	-4.69167	3.56258
3A - T		0.663889	3.56258

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tabla G.20 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo de Evacuación por repliegue para la Estación Guerrero

REPLIEGUE	CASOS	MEDIA LS	SIGMA LS	GRUPOS HOMOGENEOS
ZR45	360	595.811	1.28529	X
ZR15	360	597.131	1.28529	X
ZR30	360	598.122	1.28529	X

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tabla G.21 Comparación de contratos por Repliegue para la Estación Guerrero

CONTRASTE	SIG.	DIFERENCIA	+/- LÍMITES
ZR15 - ZR30		-0.991667	3.56258
ZR15 - ZR45		1.31944	3.56258
ZR30 - ZR45		2.31111	3.56258

* indica una diferencia significativa.

Tabla G.22 Pruebas de Múltiple Rangos para Tiempo por descenso para la Estación Guerrero

DESCENSO	CASOS	MEDIA LS	SIGMA LS	GRUPOS HOMOGENEOS
D50	270	592.056	1.48412	X
D75	270	592.078	1.48412	X
D100	270	601.681	1.48412	X
D25	270	602.27	1.48412	X

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tabla G.23 Comparación de contratos por Descenso para la Estación Guerrero

CONTRASTE	SIG.	DIFERENCIA	+/- LÍMITES
D100 - D25		-0.588889	4.11371
D100 - D50	*	9.62593	4.11371
D100 - D75	*	9.6037	4.11371
D25 - D50	*	10.2148	4.11371
D25 - D75	*	10.1926	4.11371
D50 - D75		-0.0222222	4.11371

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 4 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Anexo H ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS VALORES DE DENSIDADEN VAGONES DE LÍNEA 1, 2 Y 3, Y VELOCIDAD DE LOS USUARIOS

H.1 Pruebas de Kruskal-Wallis para densidad en vagones por horarios

En la siguiente sección se muestran las tablas que fueron ocupadas para la obtención del estadístico correspondiente a la Prueba de Kruskal-Wallis a fin de determinar si existe al menos un horario con densidad en la ZEP diferente al conjunto, para ello se presenta la tabla perteneciente a cada dirección y a cada línea.

H.1.1 Línea 1 dirección de Observatorio a Pantitlán

El análisis se llevó a cabo con base al tipo tres muestras independientes, donde las variables aleatorias son X_1 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 1 dirección Pantitlán en HPM, X_2 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 1 dirección Pantitlán en HV y X_3 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 1 dirección Pantitlán en HPV, es decir:

- X_1 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 1 dirección Pantitlán en horario 1 (HPM)
- X_2 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 1 dirección Pantitlán en horario 2 (HV)
- X_3 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 1 dirección Pantitlán en horario 3 (HPV)

Dado lo anterior, se plantean las siguientes hipótesis:

H₀: Las medianas de las densidades de la ZEP en el vagón de la línea 1 dirección Pantitlán en los tres horarios de estudio son iguales.

H_a: Al menos uno de los horarios presenta una mediana distinta a los otros

En la Tabla H.1 se muestran los resultados del análisis efectuado de la Prueba de Kruskal Wallis

Tabla H.1 Prueba de Kruskal-Wallis para Densidad [P/m²] por Horario para Línea 1 dirección Pantitlán

HORARIO	TAMAÑO MUESTRA DE MEDICIONES	RANGO PROMEDIO
1	17	10.2353
2	12	23.25
3	46	52.1087

Estadístico = 52.4185 Valor-P = 4.14446E-12

Puesto que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

En la siguiente grafica se muestran las densidades encontradas en vagones de la línea 1 dirección Pantitlán en los diferentes horarios (1: 8 a 9.; 2: 13 a 14; 3:18 a 19). Es plausible afirmar que no existe una densidad homogénea durante el tiempo de operación, lo anterior con base al valor P de 4.14446×10^{-12} para la Prueba de Kruskal-Wallis para Densidad (P/m^2) por Horario con un nivel de confianza de 95%. Por tanto, resulta que la mayor densidad se halla en el horario de 18 a 19 (3) y se estima en $6.8 P/m^2$.

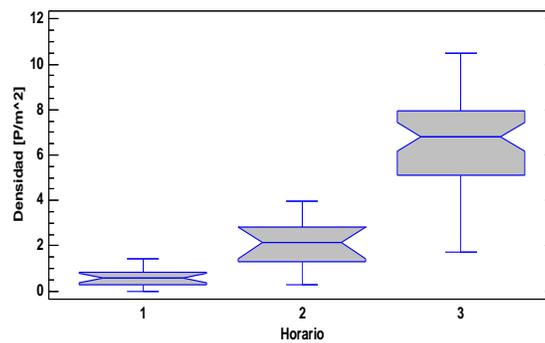


Figura H.1 Medianas de las densidades en ZEP en trenes de línea 1 dirección Pantitlán en diferentes horarios

H.1.2 Línea 1 dirección de Pantitlán a Observatorio

El análisis se llevó a cabo con base al tipo tres muestras independientes, donde las variables aleatorias son X_1 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 1 dirección Observatorio en HPM, X_2 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 1 dirección Observatorio en HV y X_3 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 1 dirección Observatorio en HPV, es decir:

- X_1 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 1 dirección Observatorio en horario 1 (HPM)
- X_2 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 1 dirección Observatorio en horario 2 (HV)
- X_3 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 1 dirección Observatorio en horario 3 (HPV)

Dado lo anterior, se plantean las siguientes hipótesis:

Ho: Las medianas de las densidades de la ZEP en el vagón de la línea 1 dirección Observatorio en los tres horarios de estudio son iguales.

Ha: Al menos uno de los horarios presenta una mediana distinta a los otros

En la Tabla H.2 se muestran los resultados del análisis efectuado de la Prueba de Kruskal Wallis

Tabla H.2 Prueba de Kruskal-Wallis para Densidad [P/m²] por Horario para Línea 1 dirección Observatorio

HORARIO	TAMAÑO MUESTRA	RANGO PROMEDIO
1	26	56.9615
2	33	39.2424
3	20	19.2

Estadístico = 30.9315 Valor-P = 1.92007E-7

Puesto que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Asimismo, se muestran las densidades encontradas en vagones de la línea 1 en la dirección Observatorio en los diferentes horarios (1: de 8 a 9 hrs, 2: de 13 a 14 hrs y 3: de 18 a 19 hrs). Es posible afirmar que no existe una densidad homogénea durante el tiempo de operación, lo anterior con base al valor P de 1.92007×10^{-7} para la Prueba de Kruskal-Wallis para Densidad (P/m²) por Horario con un nivel de confianza de 95%. De ahí que la mayor densidad se halla en el horario de 8 a 9 (1) y se estima en 3.9 P/m².

Gráfico Caja y Bigotes

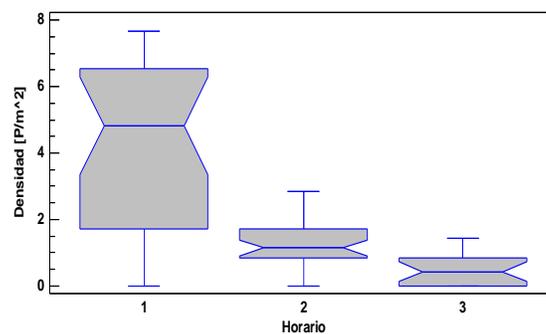


Figura H.2 Medianas de las densidades en ZEP en trenes de la Línea 1

H.1.3 Línea 2 dirección de Tasqueña a Cuatro Caminos

El análisis se llevó a cabo con base al tipo tres muestras independientes, donde las variables aleatorias son X_1 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 2 dirección Cuatro Caminos en HPM, X_2 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 2 dirección Cuatro Caminos en HV y X_3 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 2 dirección Cuatro Caminos en HPV, es decir:

- X_1 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 2 dirección Cuatro Caminos en horario 1 (HPM)
- X_2 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 2 dirección Cuatro Caminos en horario 2 (HV)
- X_3 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 2 dirección Cuatro Caminos en horario 3 (HPV)

Dado lo anterior, se plantean las siguientes hipótesis:

- Ho:** Las medianas de las densidades de la ZEP en el vagón de la línea 2 dirección Cuatro Caminos en los tres horarios de estudio son iguales.
- Ha:** Al menos uno de los horarios presenta una mediana distinta a los otros

En la Tabla H.3 se muestran los resultados del análisis efectuado de la Prueba de Kruskal Wallis

Tabla H.3 Prueba de Kruskal-Wallis para Densidad [P/m^2] por Horario para Línea 2 dirección Cuatro Caminos

HORARIO	TAMAÑO MUESTRA	RANGO PROMEDIO
1	93	76.8333
2	26	29.1923
3	9	39.0556

Estadístico = 38.2137 Valor-P = 5.035E-9

Puesto que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Igualmente, se presentan las densidades encontradas en vagones de la línea 2, dirección Cuatro Caminos, en los diferentes horarios (1: 9 a 10 hrs, 2: 14 a 15 hrs y 3:19 a 20 hrs). Es plausible afirmar que no existe una densidad homogénea durante el tiempo de operación, lo anterior con base al valor P de 5.035×10^{-9} para la Prueba de Kruskal-Wallis para Densidad (P/m^2) por Horario con un nivel de confianza del 95%. Como resultado la mayor densidad se halla en el horario de 9 a 10 (1) y se estima en $2.96 P/m^2$.

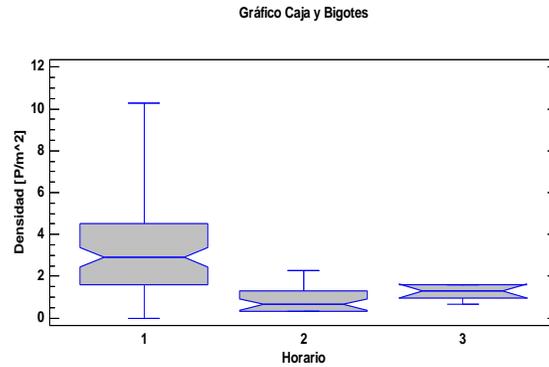


Figura H.3 Medianas de las densidades en ZEP en trenes de línea 2 dirección Cuatro Caminos en diferentes horarios

H.1.4 Línea 2 dirección Cuatro Caminos a Tasqueña

El análisis se llevó a cabo con base al tipo tres muestras independientes, donde las variables aleatorias son X_1 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 2 dirección Tasqueña en HPM, X_2 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 2 dirección Tasqueña en HV y X_3 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 2 dirección Tasqueña en HPV, es decir:

- X_1 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 2 dirección Tasqueña en horario 1 (HPM)
- X_2 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 2 dirección Tasqueña en horario 2 (HV)
- X_3 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 2 dirección Tasqueña en horario 3 (HPV)

Dado lo anterior, se plantean las siguientes hipótesis:

- H₀**: Las medianas de las densidades de la ZEP en el vagón de la línea 2 dirección Tasqueña en los tres horarios de estudio son iguales.
- H_a**: Al menos uno de los horarios presenta una mediana distinta a los otros

En la Tabla H.4 se muestran los resultados del análisis efectuado de la Prueba de Kruskal Wallis

Tabla H.4 Prueba de Kruskal-Wallis para Densidad [P/m²] por Horario para Línea 2 dirección Tasqueña

HORARIO	TAMAÑO MUESTRA	RANGO PROMEDIO
1	22	52.25
2	26	18.9231
3	29	46.9483

Estadístico = 32.3906 Valor-P = 9.25722E-8

Puesto que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Por otra parte, en la siguiente grafica se muestran las densidades encontradas en vagones en específico en la dirección Tasqueña en los diferentes horarios (1: 7 a 8 hrs, 2: 14 a 15 hrs y 3:17 a 18 hrs). Es plausible afirmar que no existe una densidad homogénea durante el tiempo de operación, lo anterior con base al valor P de 9.25722×10^{-8} para la Prueba de Kruskal-Wallis para Densidad (P/m^2) por Horario con un nivel de confianza del 95%. Resultando que la mayor densidad se halla en el horario de 7 a 8 (1) y se encuentra estimada en $4.2 P/m^2$.

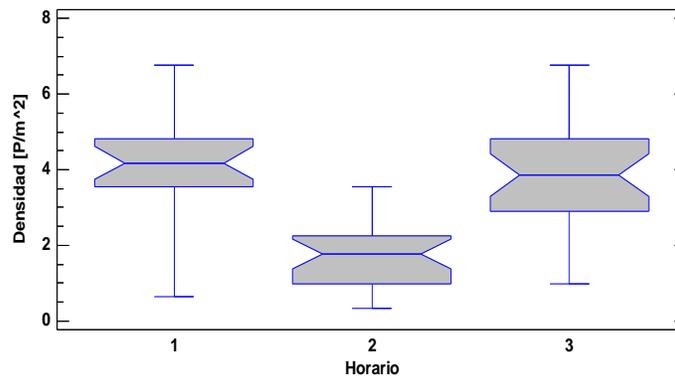


Figura H.4 Medianas de las densidades en ZEP en trenes de línea 2 dirección Tasqueña en diferentes horarios.

H.1.5 Línea 3 dirección de Indios Verde a Universidad

El análisis se llevó a cabo con base al tipo tres muestras independientes, donde las variables aleatorias son X_1 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 3 dirección Universidad en HPM, X_2 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 3 dirección Universidad en HV y X_3 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 3 dirección Universidad en HPV, es decir:

X_1 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 3 dirección Universidad en horario 1 (HPM)

X_2 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 3 dirección Universidad en horario 2 (HV)

X_3 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 3 dirección Universidad en horario 3 (HPV)

Dado lo anterior, se plantean las siguientes hipótesis:

H₀: Las medianas de las densidades de la ZEP en el vagón de la línea 3 dirección Universidad en los tres horarios de estudio son iguales.

H_a: Al menos uno de los horarios presenta una mediana distinta a los otros

En la Tabla H.5 se muestran los resultados del análisis efectuado de la Prueba de Kruskal Wallis

Tabla H.5 Prueba de Kruskal-Wallis para Densidad [P/m^2] por Horario para Línea 3 dirección Universidad

HORARIO	TAMAÑO MUESTRA	RANGO PROMEDIO
1	65	46.4615
2	8	31.125
3	15	43.1333

Estadístico = 2.62558 Valor-P = 0.269068

Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Además, en la siguiente grafica se muestran las densidades encontradas en vagones en específico en la dirección Universidad en los diferentes horarios (1: 8 a 9, 2: 14 a 15 y 3:18 a 19). Es posible afirmar que no existe una densidad homogénea durante el tiempo de operación, lo anterior con base al valor P de 0.269068 para la Prueba de Kruskal-Wallis para Densidad (P/m^2) por Horario para un nivel de confianza e 95%. Por consiguiente, la mayor densidad se halla en el horario de 8 a 9 (1) y se estima en 5.1 P/m^2 .

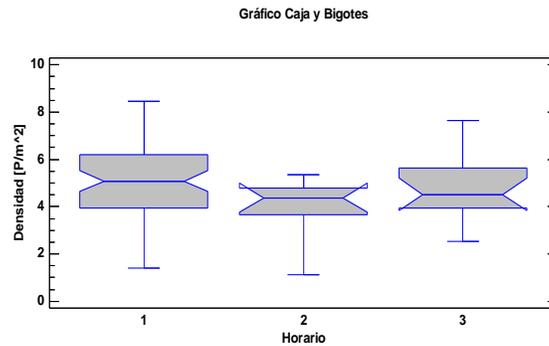


Figura H.5 Medianas de las densidades en ZEP en trenes de línea 3 dirección Universidad en diferentes horarios

H.1.6 Línea 3 dirección de Universidad a Indios Verdes

El análisis se llevó a cabo con base al tipo tres muestras independientes, donde las variables aleatorias son X_1 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 3 dirección Indios Verdes en HPM, X_2 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 3 dirección Indios Verdes en HV y X_3 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 3 dirección Indios Verdes en HPV, es decir:

- X_1 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 3 dirección Indios Verdes en horario 1 (HPM)
- X_2 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 3 dirección Indios Verdes en horario 2 (HV)
- X_3 : Densidad en la ZEP en el vagón de la línea 3 dirección Indios Verdes en horario 3 (HPV)

Dado lo anterior, se plantean las siguientes hipótesis:

- H₀**: Las medianas de las densidades de la ZEP en el vagón de la línea 3 dirección Indios Verdes en los tres horarios de estudio son iguales.
- H_a**: Al menos uno de los horarios presenta una mediana distinta a los otros

En la Tabla H.6 se muestran los resultados del análisis efectuado de la Prueba de Kruskal Wallis

Tabla H.6 Prueba de Kruskal-Wallis para Densidad [P/m²] por Horario para Línea 3 dirección Indios Verdes

HORARIO	TAMAÑO MUESTRA	RANGO PROMEDIO
1	24	22.3125
2	19	48.6842
3	66	68.7045

Estadístico = 38.871 Valor-P = 3.62475E-9

Puesto que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza.

Igualmente, en la siguiente grafica se observan las densidades encontradas en vagones en específico en la dirección Indios Verdes en los diferentes horarios (1: 8 a 9 hrs, 2: 13 a 14 hrs y 3: 18 a 19 hrs). Es posible afirmar que no existe una densidad homogénea durante el tiempo de operación, lo anterior con base al valor P de 3.62475×10^{-9} para la Prueba de Kruskal-Wallis para Densidad (P/m^2) por Horario con un nivel de confianza del 95%, resultando que la mayor densidad se halla en el horario de 18 a 19 (3) y se estima en $5.2 P/m^2$.

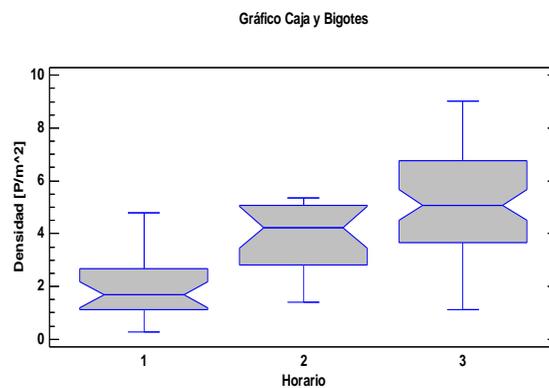


Figura A.6 Medianas de las densidades en ZEP en trenes de línea 3 dirección Indios Verdes en diferentes horarios.

H.2 Pruebas de Kruskal-Wallis para velocidad de usuarios

En la siguiente sección se muestran las tablas que fueron ocupadas para la obtención del estadístico correspondiente a la Prueba de Kruskal-Wallis a fin de determinar si existe al menos una estación con velocidades de desplazamiento diferentes.

El análisis se llevó a cabo con base al tipo tres muestras independientes, donde las variables aleatorias son:

- X_1 : la velocidad de desplazamiento en la estación Merced de la línea 1,
- X_2 : la velocidad de desplazamiento en la estación Hidalgo de la línea 2
- X_3 : la velocidad de desplazamiento en la estación Guerrero de la línea 3

Dado lo anterior, se plantean las siguientes hipótesis:

Ho: Las medianas de las velocidades de desplazamiento en las tres estaciones son iguales.

Ha: Al menos una estación presenta velocidades de desplazamiento distinta a las otras

En la Tabla H.7 se muestran los resultados del análisis efectuado de la Prueba de Kruskal Wallis

Tabla H.7 Prueba de Kruskal-Wallis para Velocidad de los usuarios de las estaciones de estudio

ESTACIÓN	TAMAÑO MUESTRA	RANGO PROMEDIO
Merced	103	178.951
Hidalgo	153	255.0
Guerrero	249	282.402

Estadístico = 36.7427 Valor-P = 1.05056E-8

Puesto que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95.0% de confianza, por lo que se rechaza la hipótesis nula. Siendo la estación Merced la que registra las velocidades más bajas.

H.3 Análisis de varianza para los datos obtenidos.

Se realizaron las pruebas de verificación de la varianza a los datos de velocidad y densidad obtenidos, para comparar las desviaciones estándar y verificar el supuesto de homogeneidad de varianzas de los diferentes horarios de estudio comparados y estaciones.

H.3.1 Verificación de la varianza para los datos de densidad en vagones de la estación Merced (Línea 1)

Tabla H.8 Verificación de Varianza de la densidad en los vagones de Línea 1 sentido de dirección de Pantitlán a Observatorio

Estadístico	Prueba	Valor-P
C de Cochran	0.909057	0

Tabla H.9 Verificación de Varianza de la densidad en los vagones de Línea 1 sentido de dirección de Observatorio a Pantitlán

Estadístico	Prueba	Valor-P
C de Cochran	0.717687	0.00000257405

El estadístico mostrado en las Tablas H.8 y H.9 se evalúa la hipótesis de que la desviación estándar de Densidad [P/m^2] en cada sentido de dirección dentro de cada uno de los 3 niveles de Horario es la misma. De particular interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza. Esto viola uno de los supuestos importantes subyacentes en el análisis de varianza e invalidará la mayoría de las pruebas estadísticas comunes. Puesto que las desviaciones estándar difieren por más de un factor de 3 a 1, y los tamaños de muestra no son iguales, los valores-P y los niveles de significancia pueden diferir en forma importante. Por esta razón se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para el análisis de los datos.

H.3.2 Verificación de la varianza para los datos de densidad en vagones de la estación Hidalgo (Línea 2)

Tabla H.10 Verificación de Varianza de la densidad en los vagones de Línea 2 sentido de dirección de Tasqueña a Cuatro Caminos

Estadístico	Prueba	Valor-P
C de Cochran	0.910099	0

Tabla H.11 Verificación de Varianza de la densidad en los vagones de Línea 2 sentido de dirección de Cuatro Caminos a Tasqueña

Estadístico	Prueba	Valor-P
C de Cochran	0.511081	0.0412733

El estadístico mostrado en las Tablas H.10 y H.11 se evalúa la hipótesis de que la desviación estándar de Densidad [P/m^2] en cada sentido de dirección dentro de cada uno de los 3 niveles de Horario es la misma. De particular interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza. Esto viola uno de los supuestos importantes subyacentes en el análisis de varianza e invalidará la mayoría de las pruebas estadísticas comunes. Puesto que las desviaciones estándar difieren por más de un factor de 3 a 1, y los tamaños de muestra no son iguales, los valores-

P y los niveles de significancia pueden diferir en forma importante. Por esta razón se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para el análisis de los datos.

H.3.3 Verificación de la varianza para los datos de densidad en vagones de la estación Guerrero (Línea 3)

Tabla H.12 Verificación de Varianza de la densidad en los vagones de Línea 3 sentido de dirección de Universidad a Indios Verdes

Estadístico	Prueba	Valor-P
C de Cochran	0.528188	0.00604449

El estadístico mostrado en la Tabla H.12 se evalúa la hipótesis de que la desviación estándar de Densidad [P/m^2] en el sentido de dirección de Universidad a Indios Verdes dentro de cada uno de los 3 niveles de Horario es la misma. De particular interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza. Esto viola uno de los supuestos importantes subyacentes en el análisis de varianza e invalidará la mayoría de las pruebas estadísticas comunes. Por esta razón se empleó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para el análisis de los datos.

Tabla H.13 Verificación de Varianza de la densidad en los vagones de Línea 3 sentido de dirección de Indios Verdes a Universidad

Estadístico	Prueba	Valor-P
C de Cochran	0.438769	0.228784

El estadístico mostrado en la Tabla H.13 evalúa la hipótesis de que la desviación estándar de Densidad [P/m^2] dentro de cada uno de los 3 niveles de Horario es la misma. De particular interés es el valor-P. Puesto que el valor-P es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla H.14 Prueba de Bondad de Ajuste para los residuos de los datos de densidad en los vagones de Línea 3 sentido de dirección de Indios Verdes a Universidad. Prueba de Kolmogórov-Smirnov

Estadístico	Normal
DMAS	0.0601622
DMENOS	0.0515387
DN	0.0601622
Valor-P	0.907663

En la Tabla H.14 se muestra los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si los residuos pueden modelarse adecuadamente con una distribución normal. Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que residuos proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

H.3.4 Verificación de la varianza para los datos de velocidad de desplazamiento

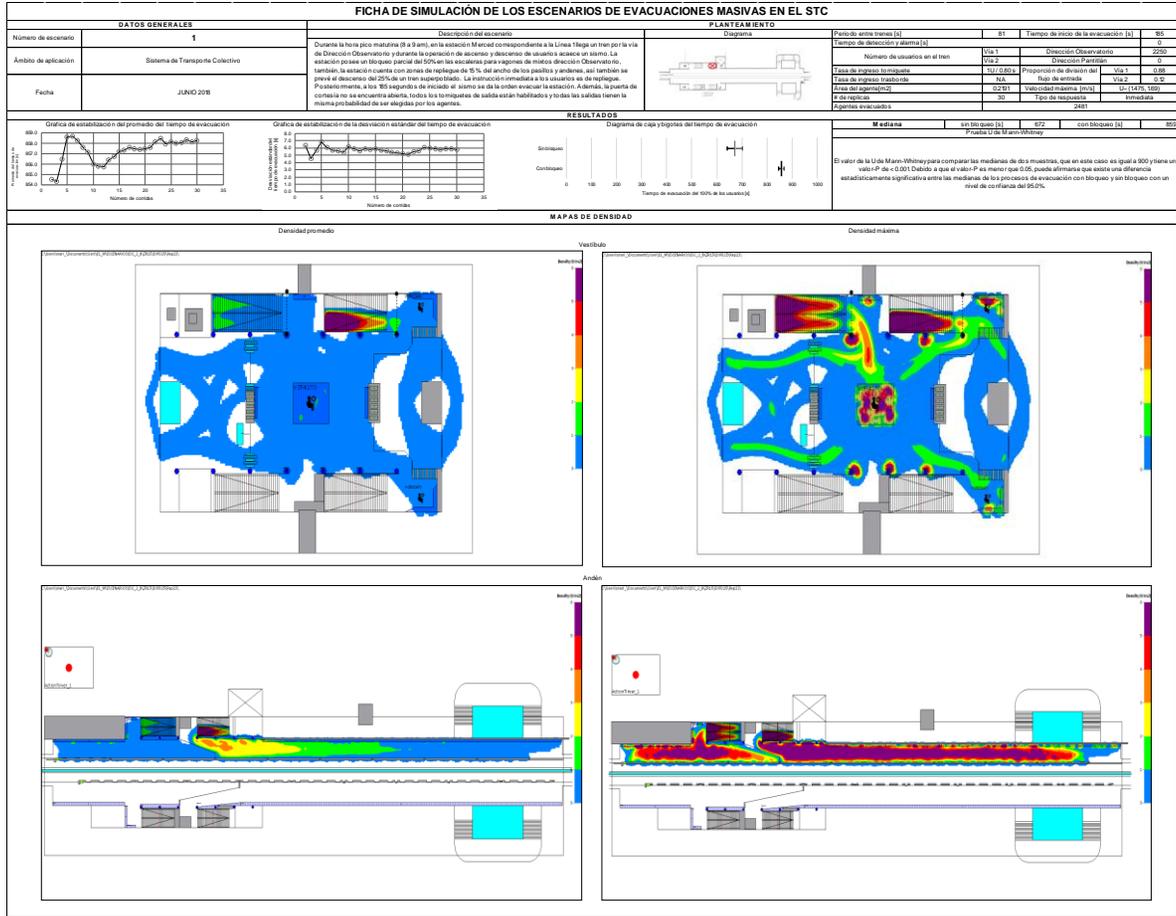
Tabla H.15 Verificación de Varianza de la velocidad de desplazamiento

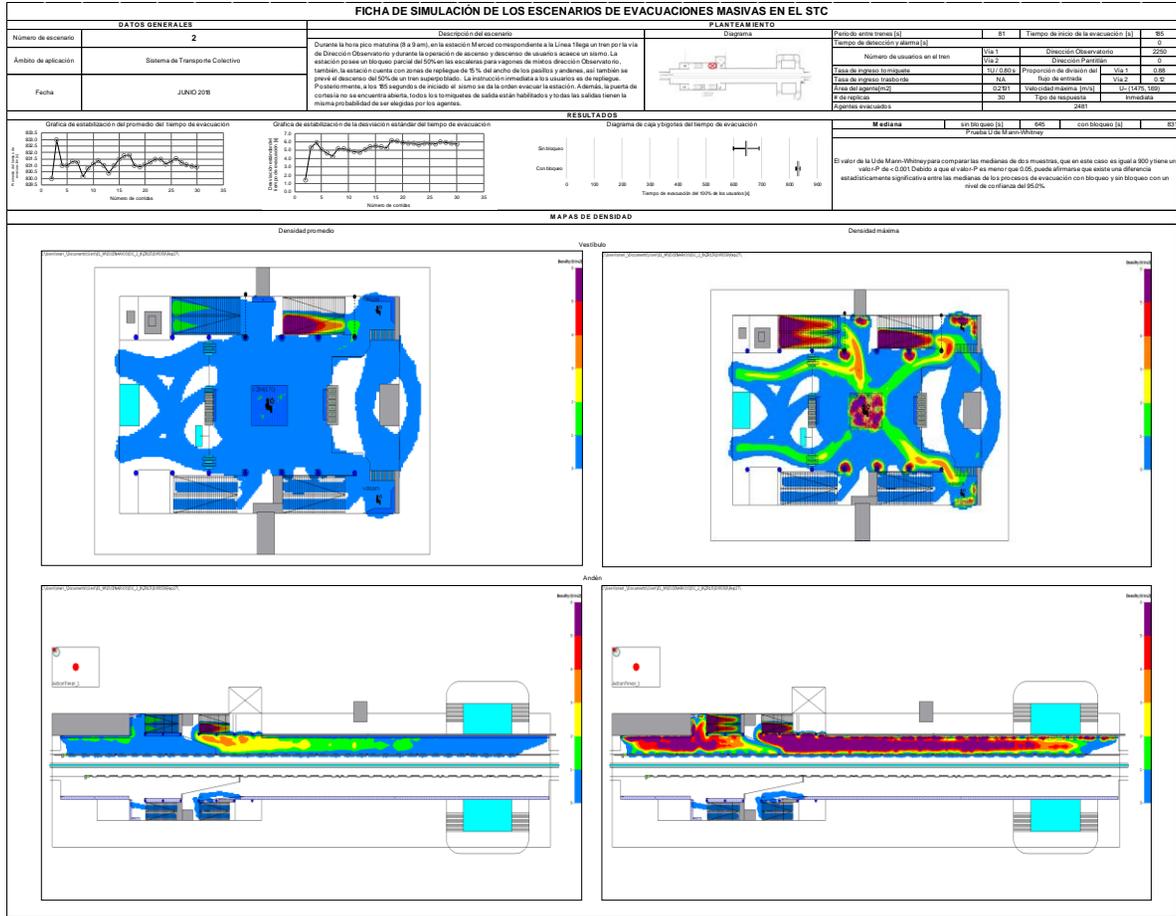
Estadístico	Prueba	Valor-P
C de Cochran	0.478651	0.00000446498

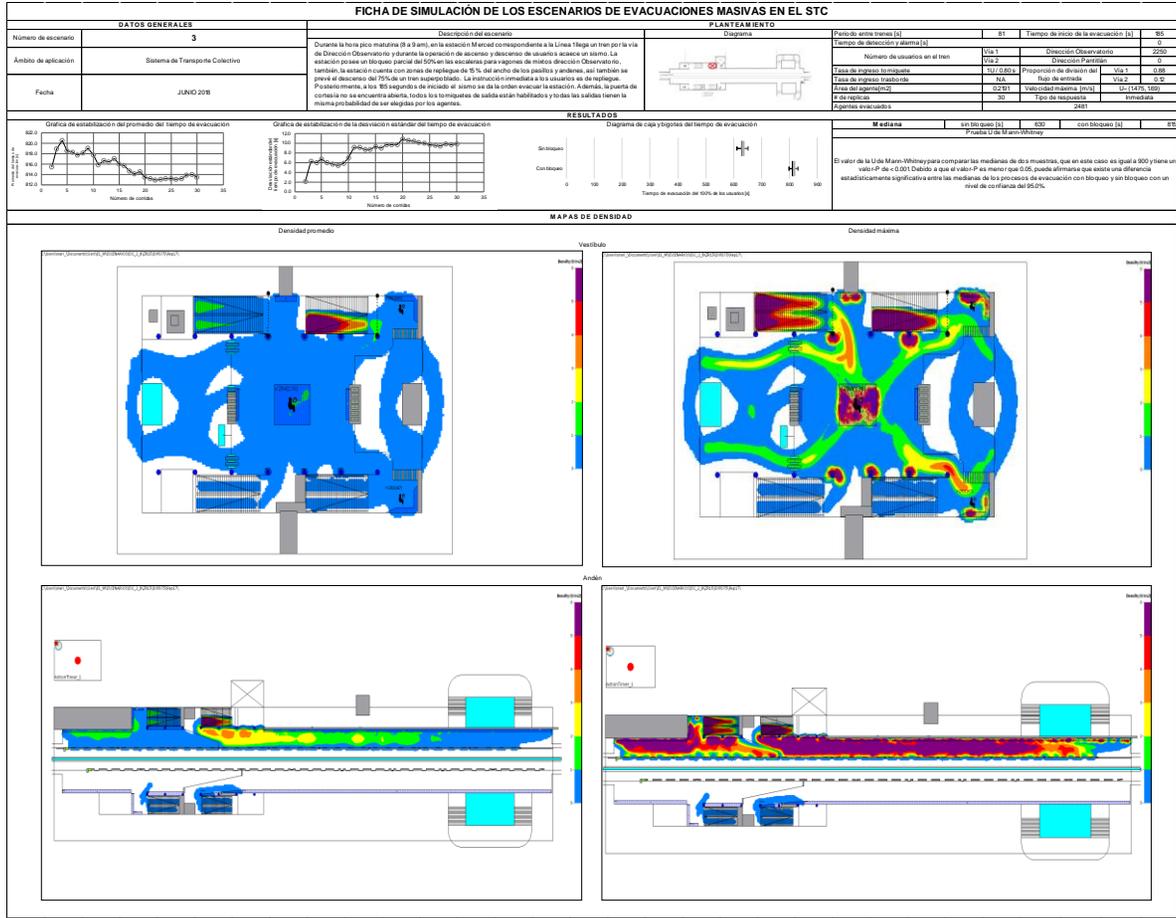
Puesto que el valor-P es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar, con un nivel del 95.0% de confianza. Esto viola uno de los supuestos importantes subyacentes en el análisis de varianza e invalidará la mayoría de las pruebas estadísticas comunes.

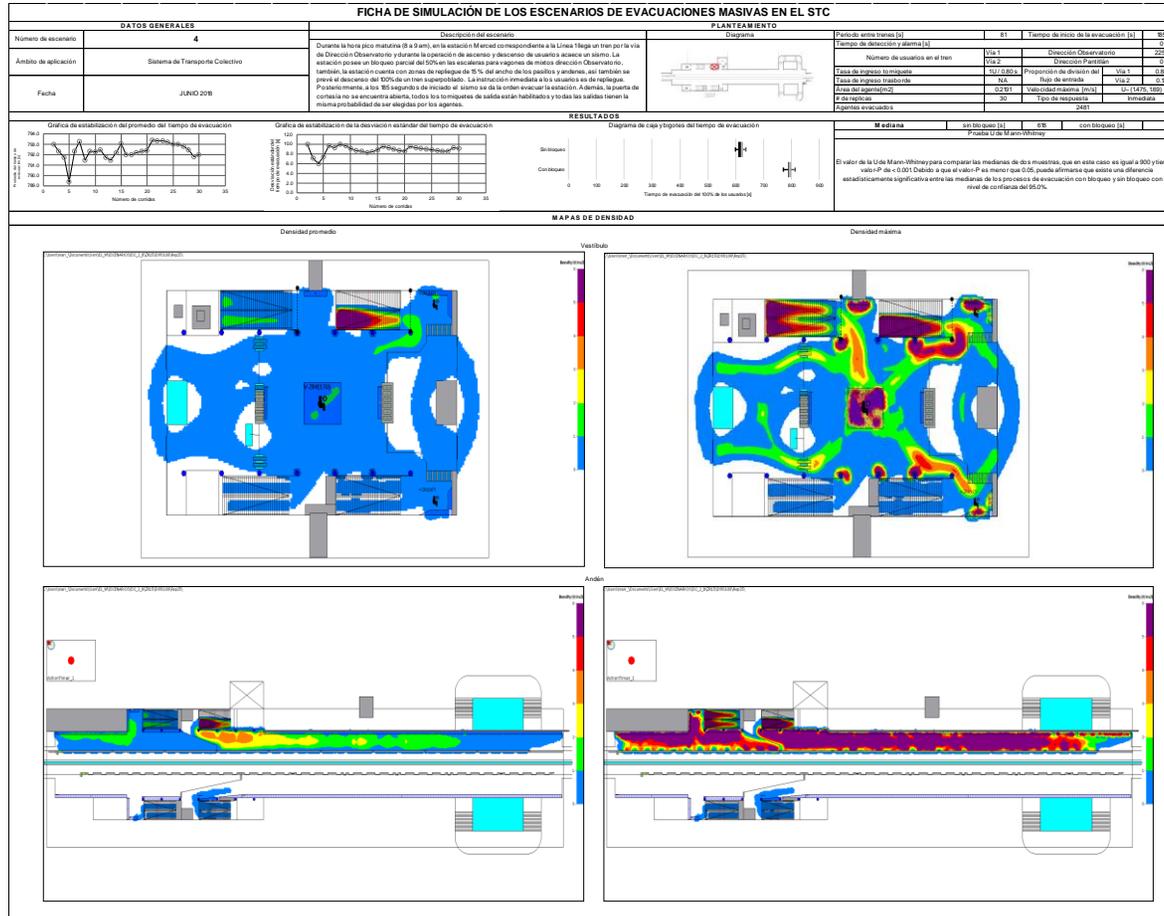
**Anexo I FICHAS DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES
MASIVAS EN EL STC: POR EMERGENCIA SÍSMICA**

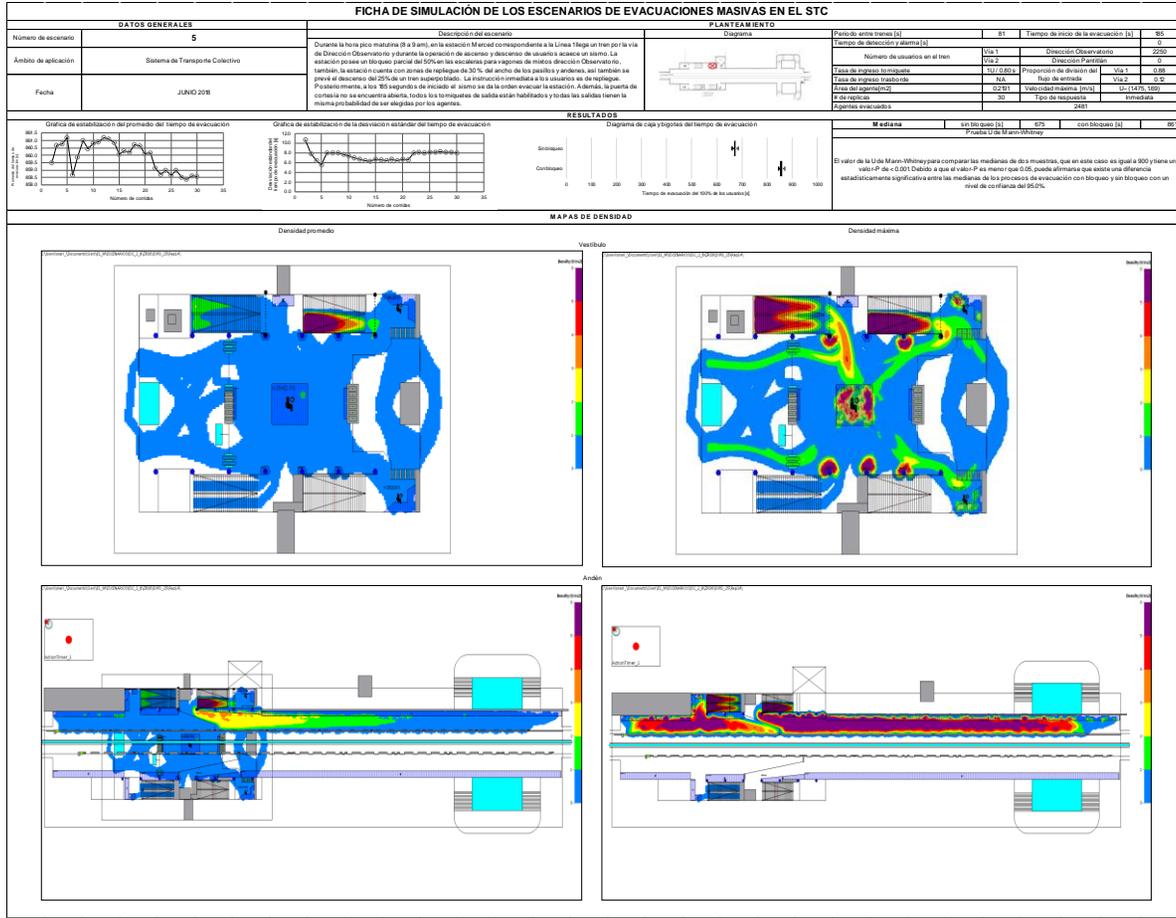
**I.1 Fichas de Simulación de los Escenarios de Evacuación en la Estación
Merced**

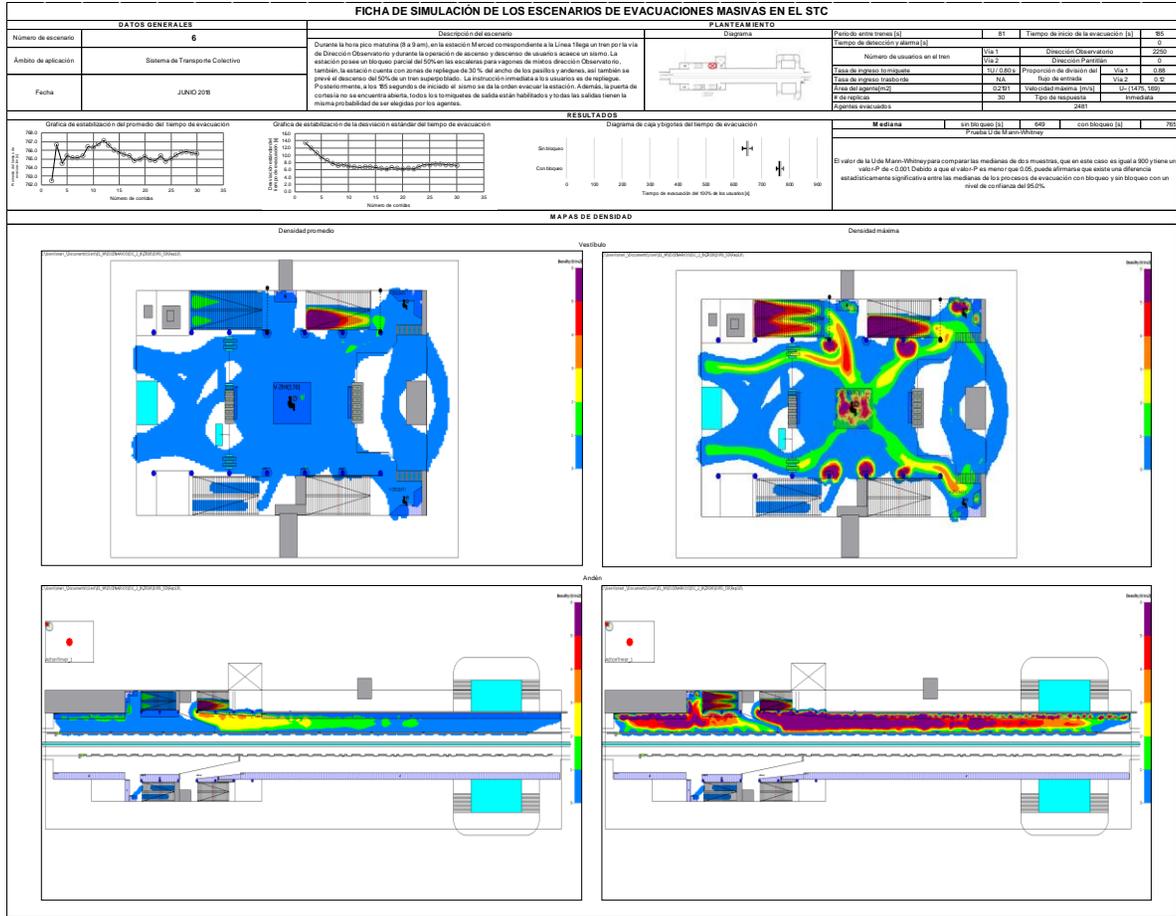


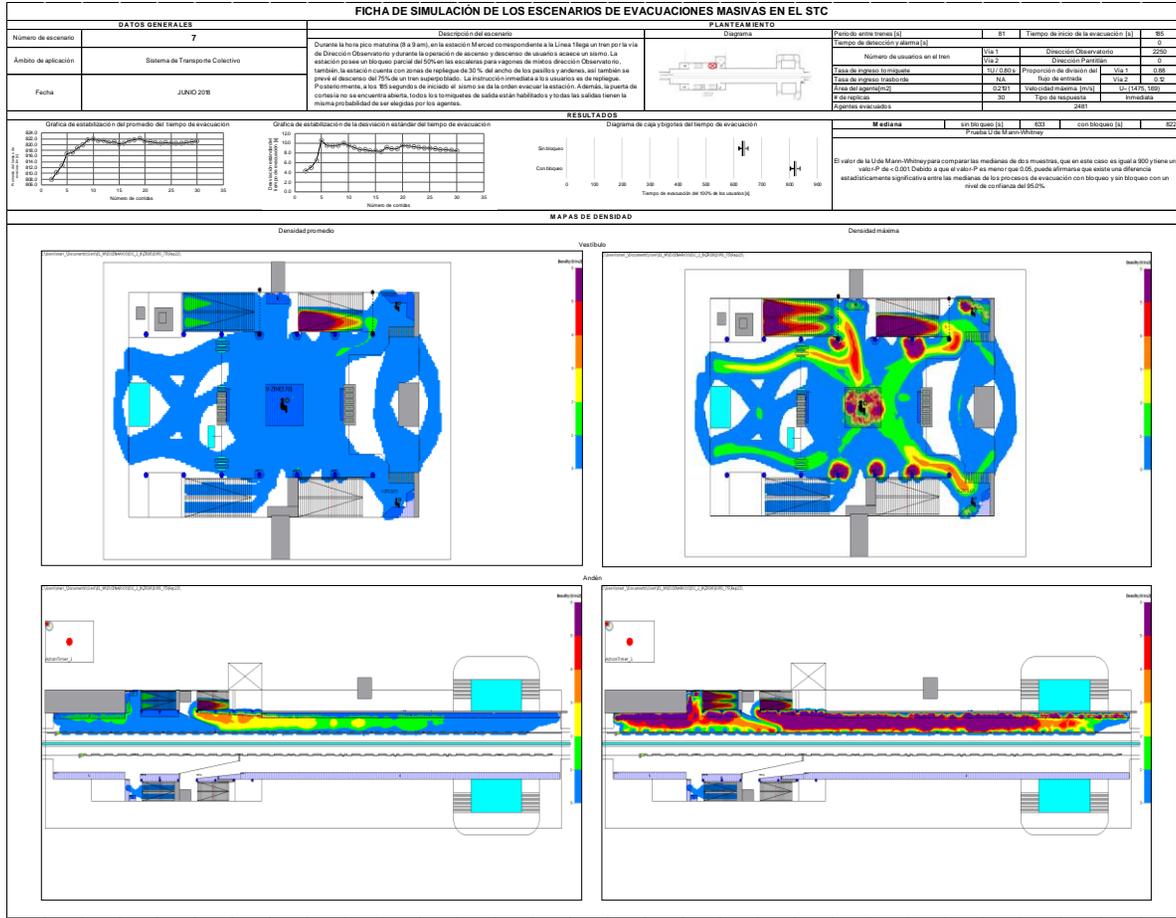


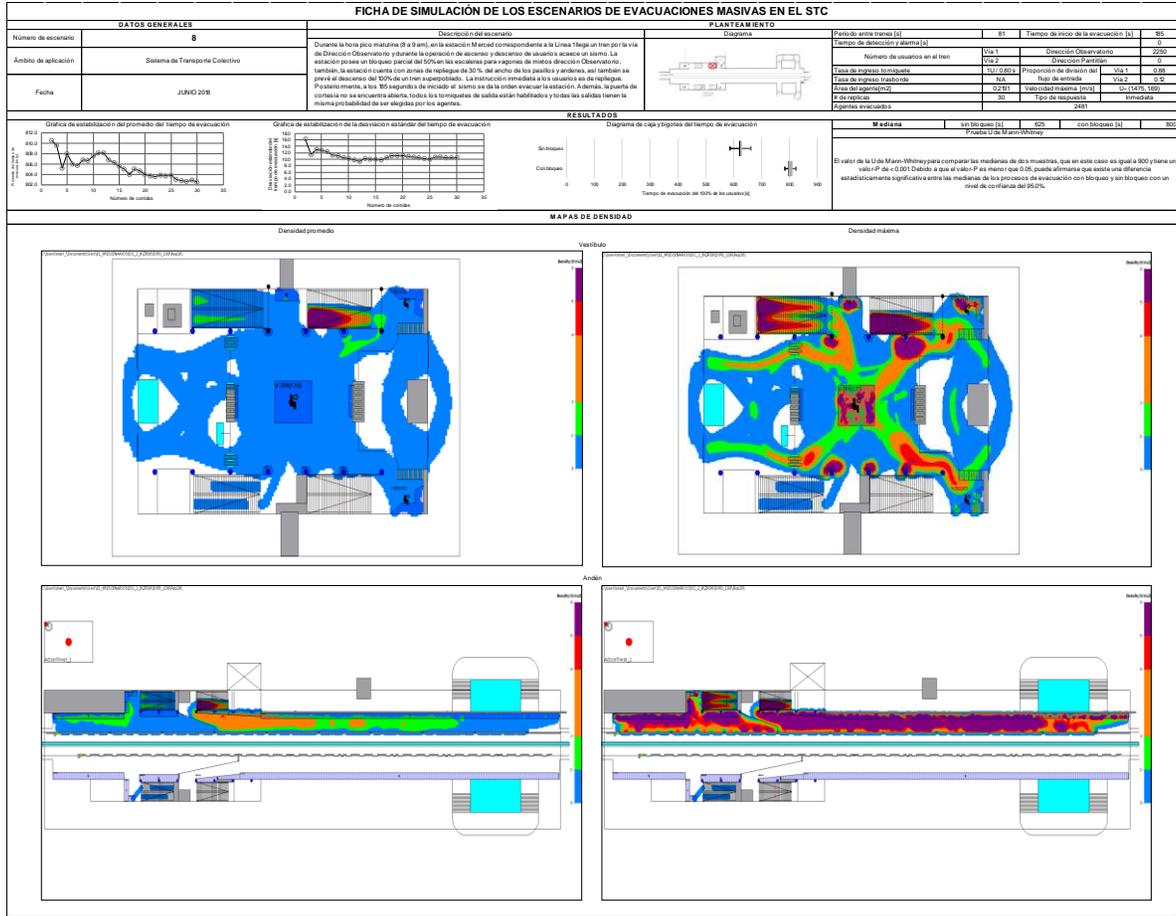


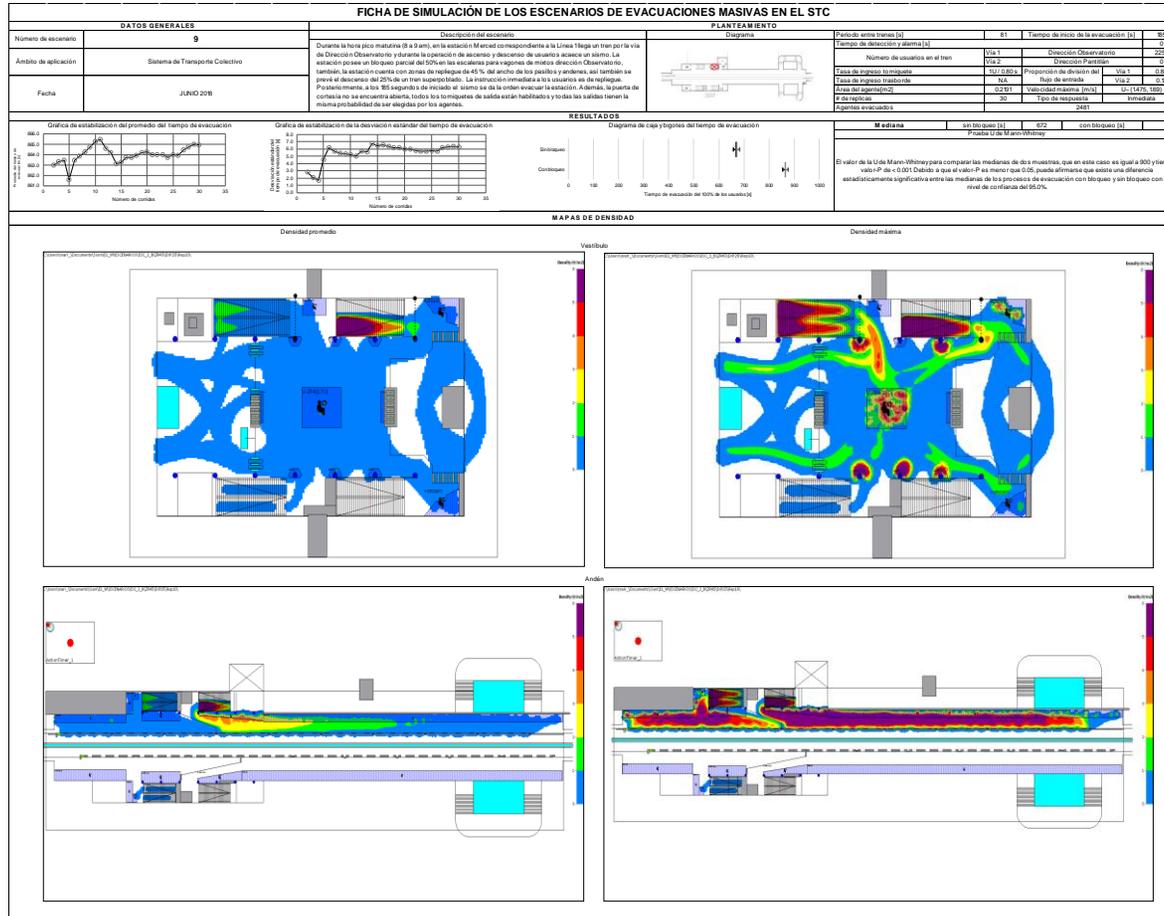


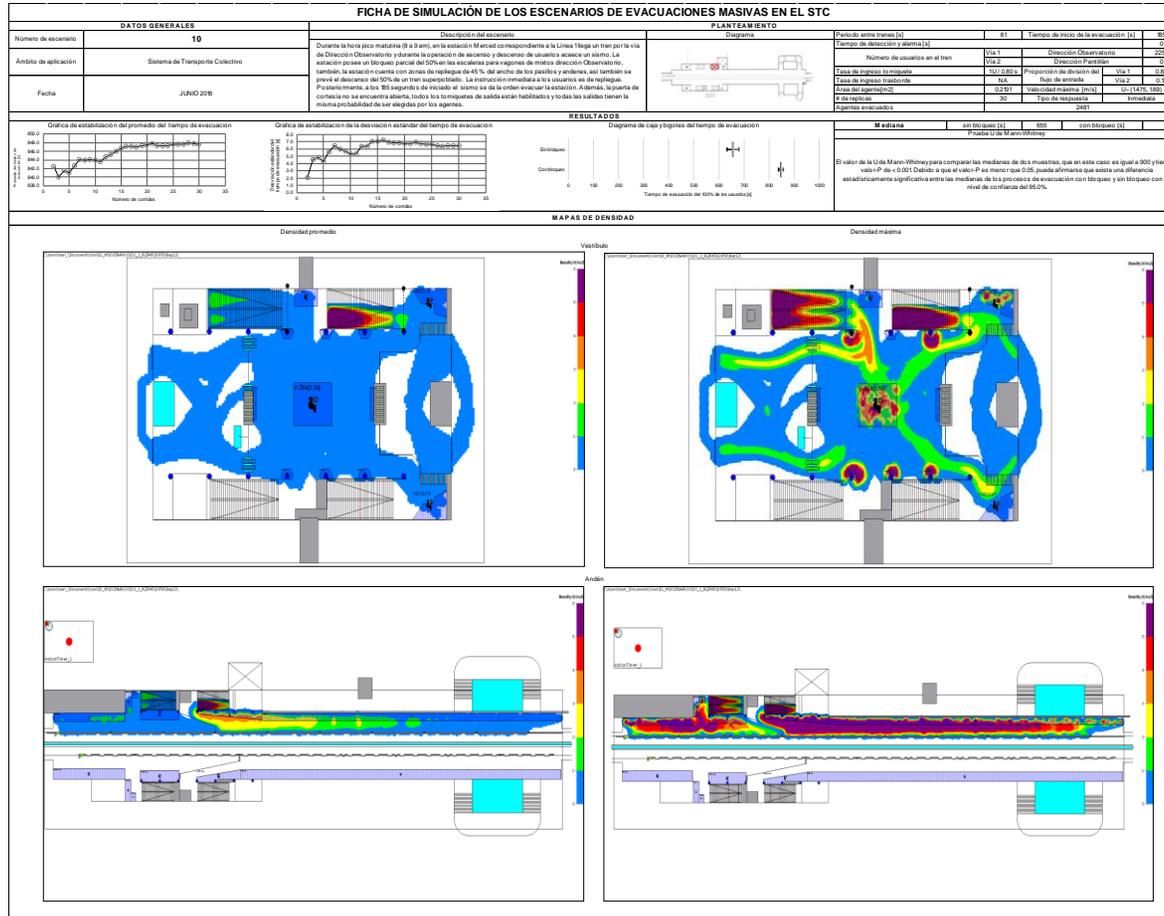


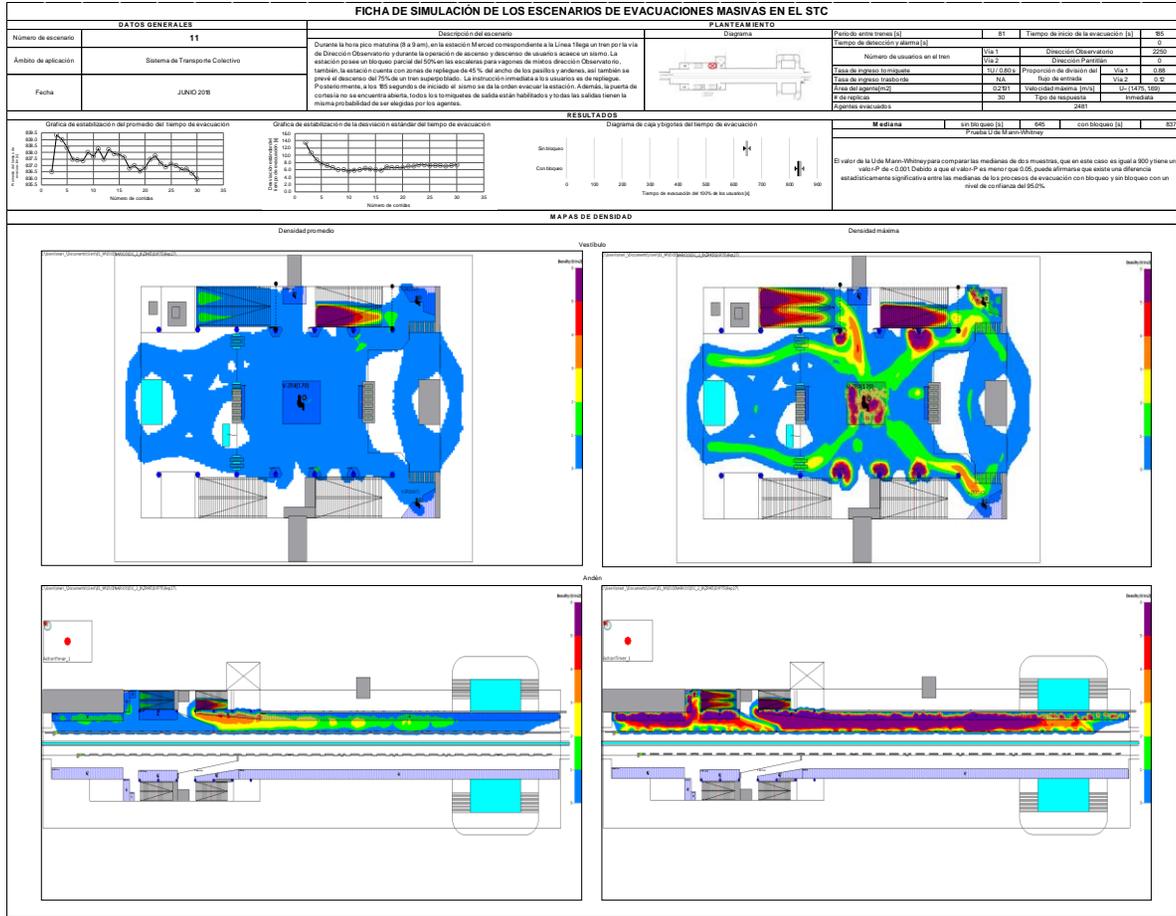


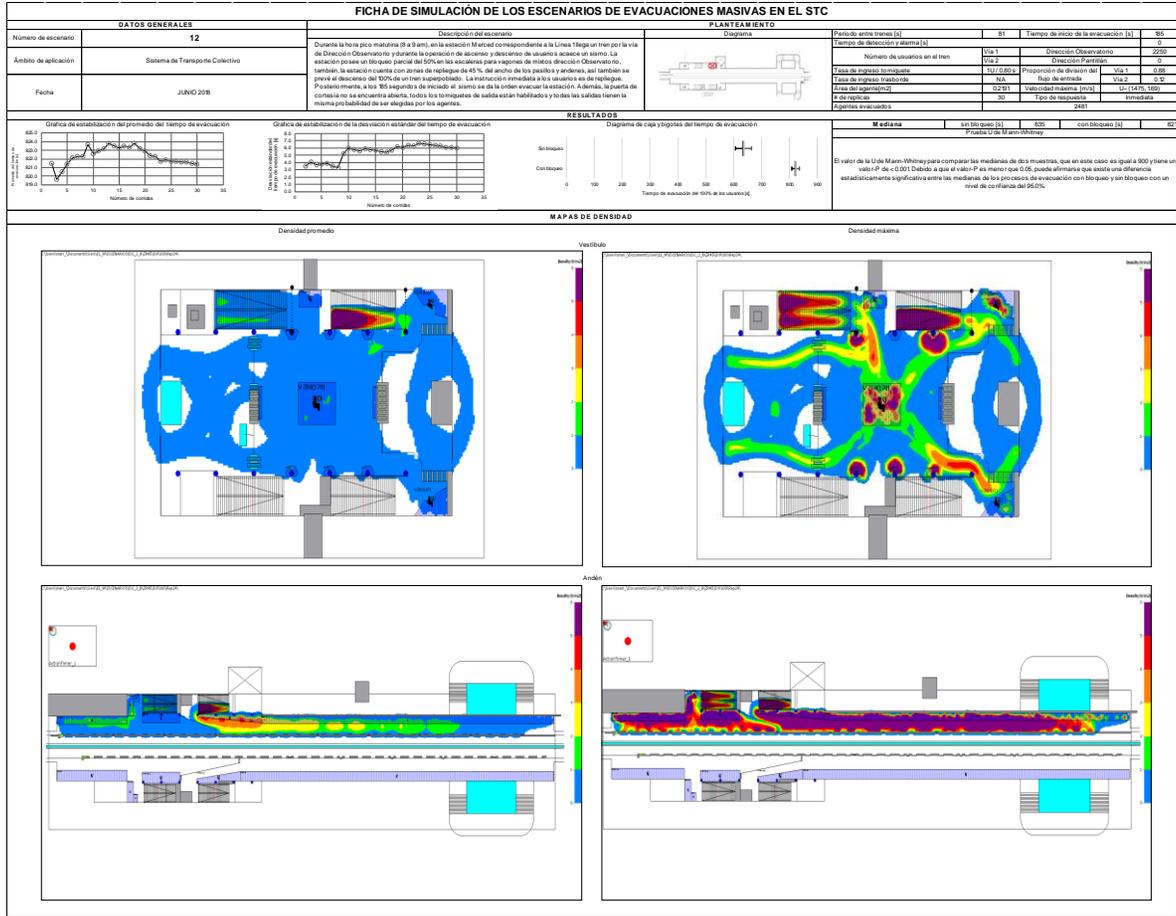


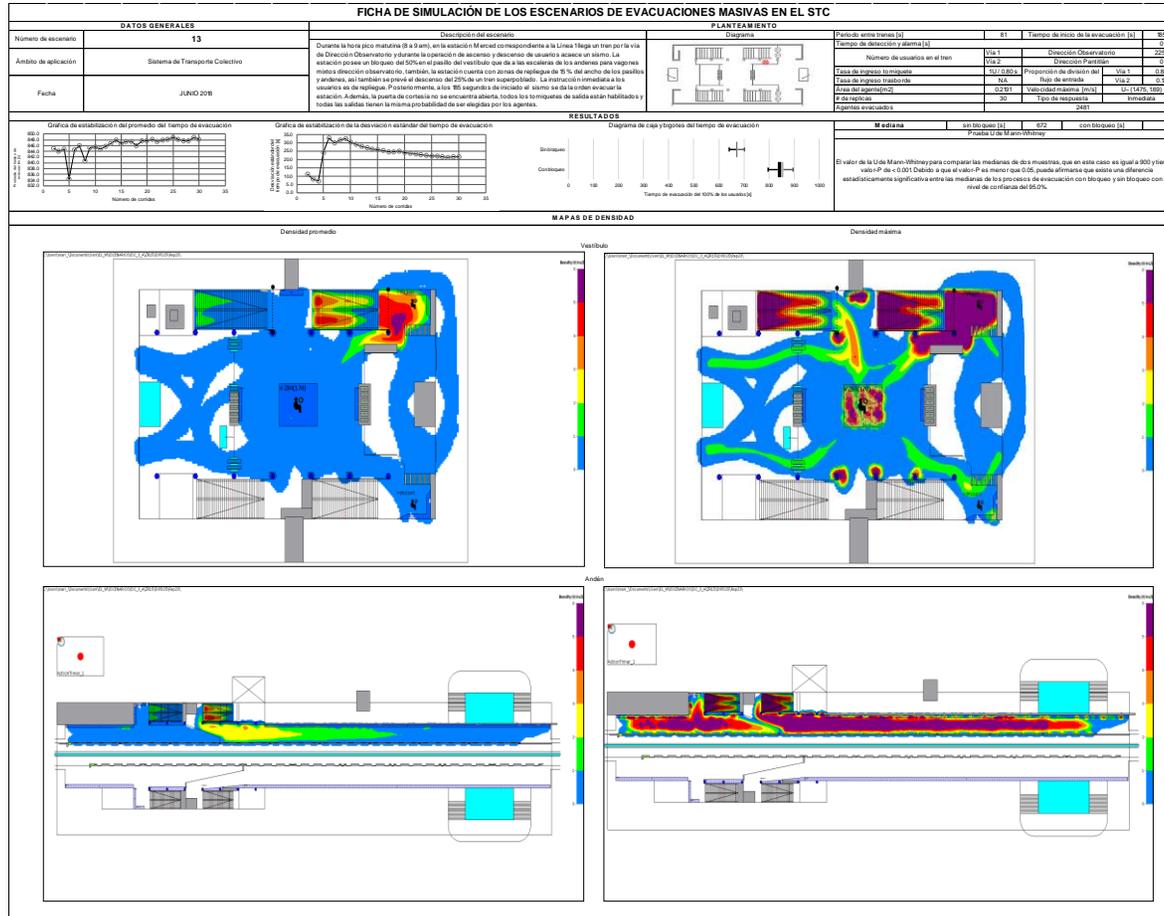


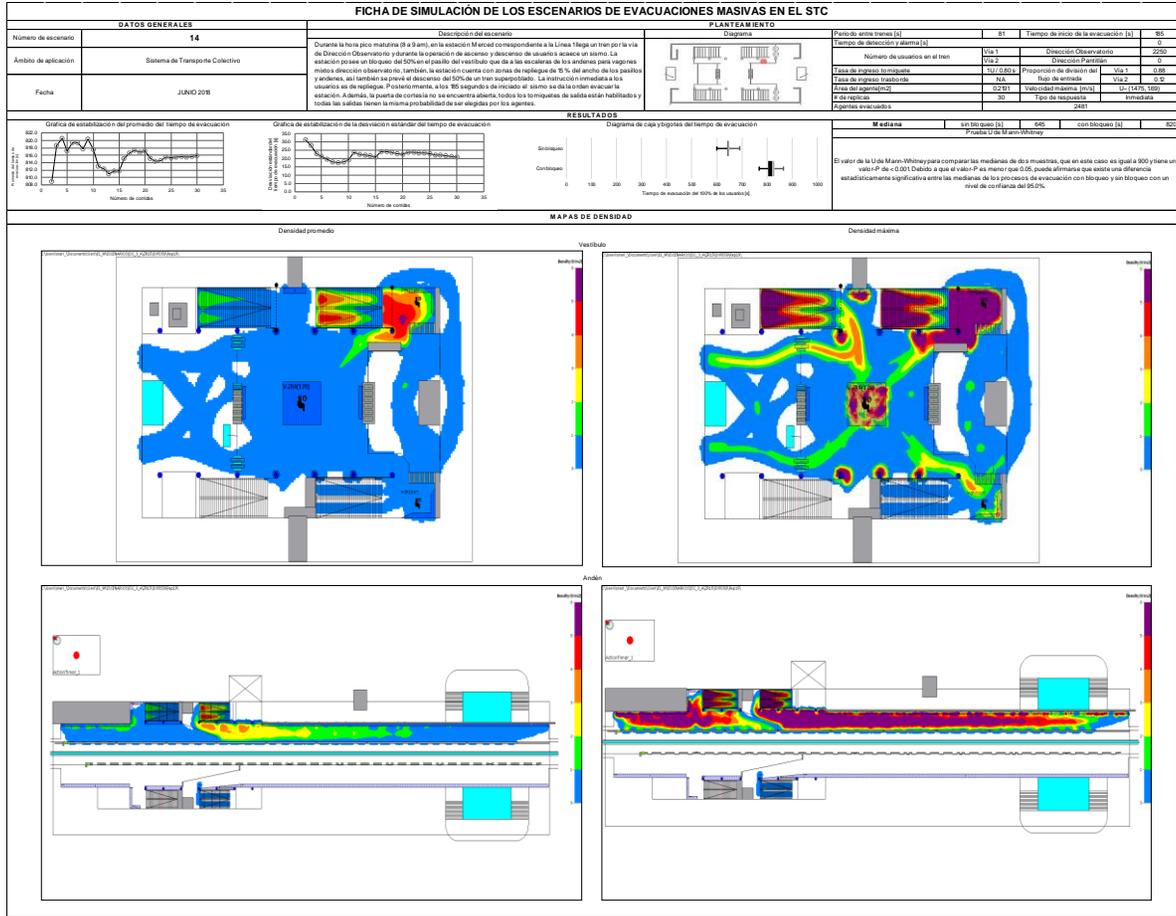


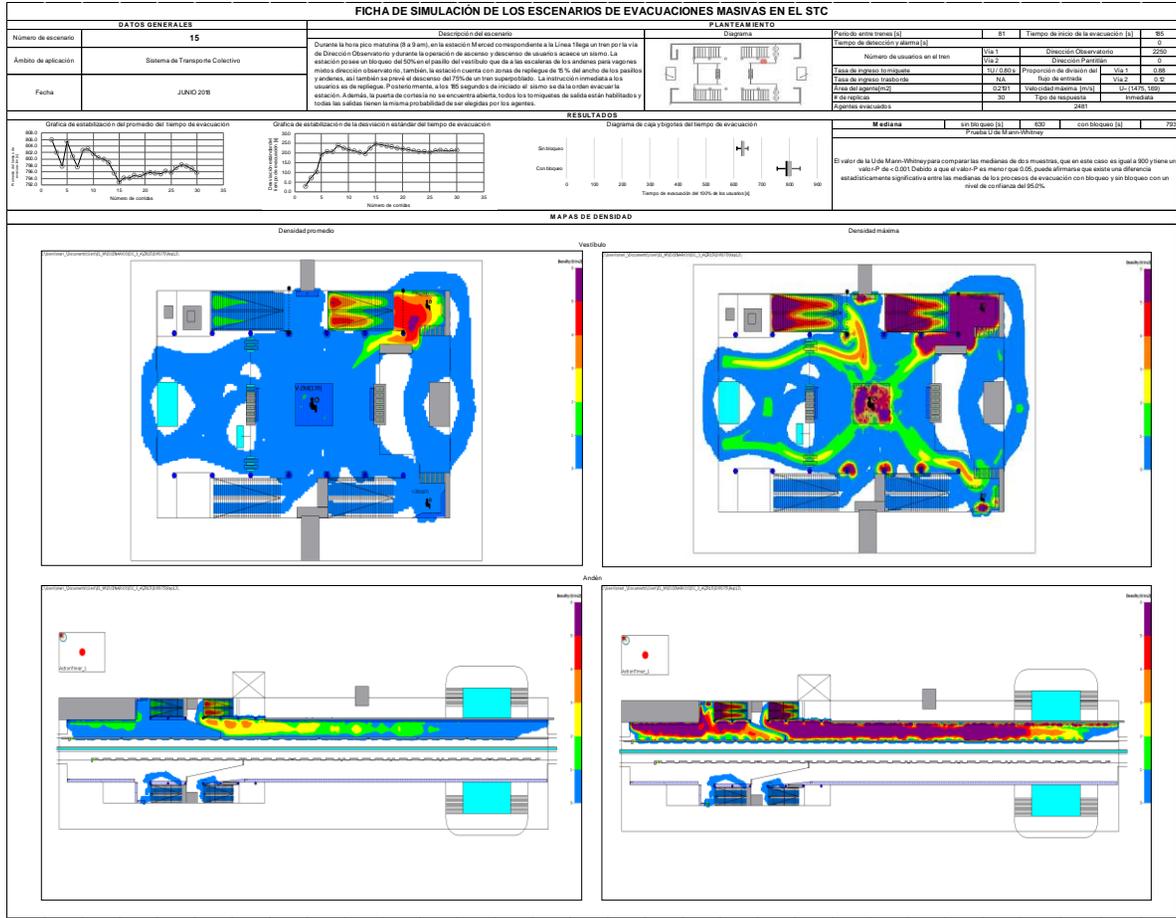


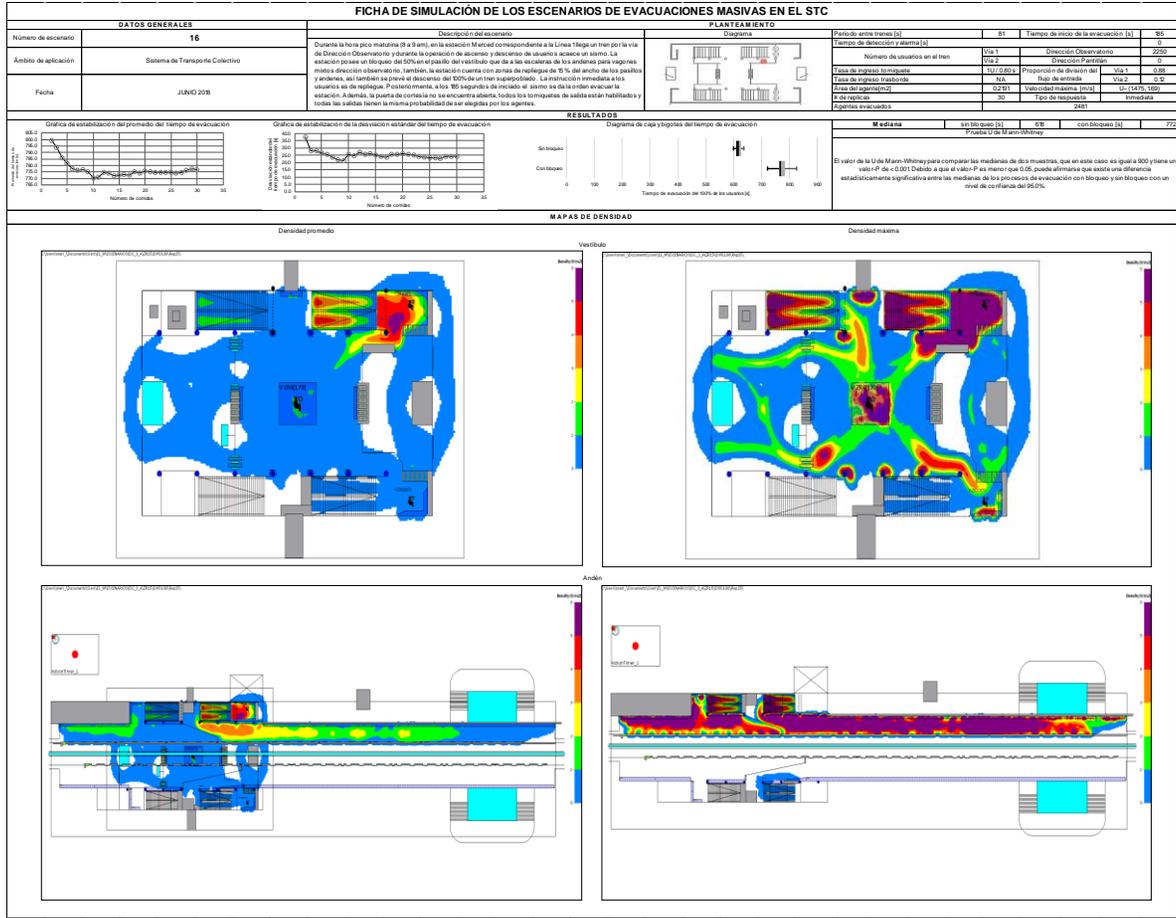


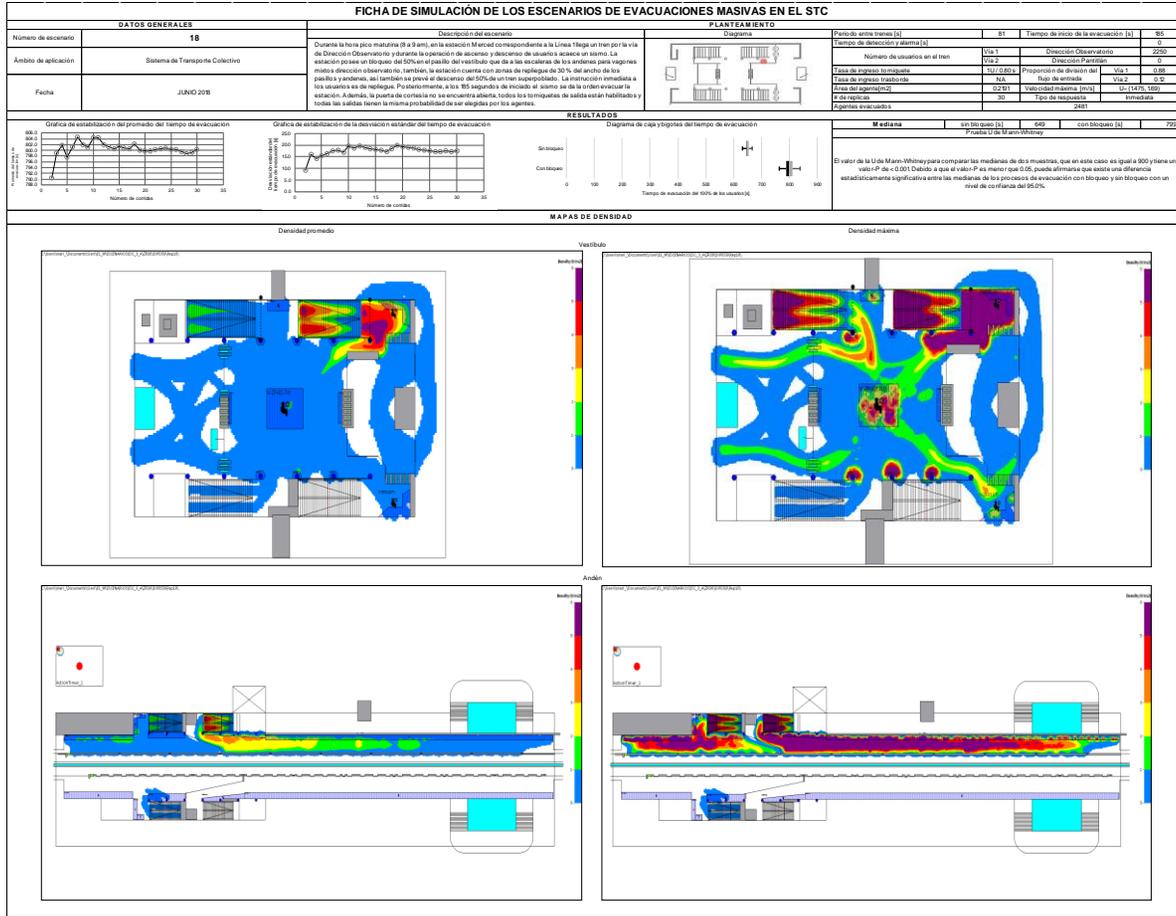


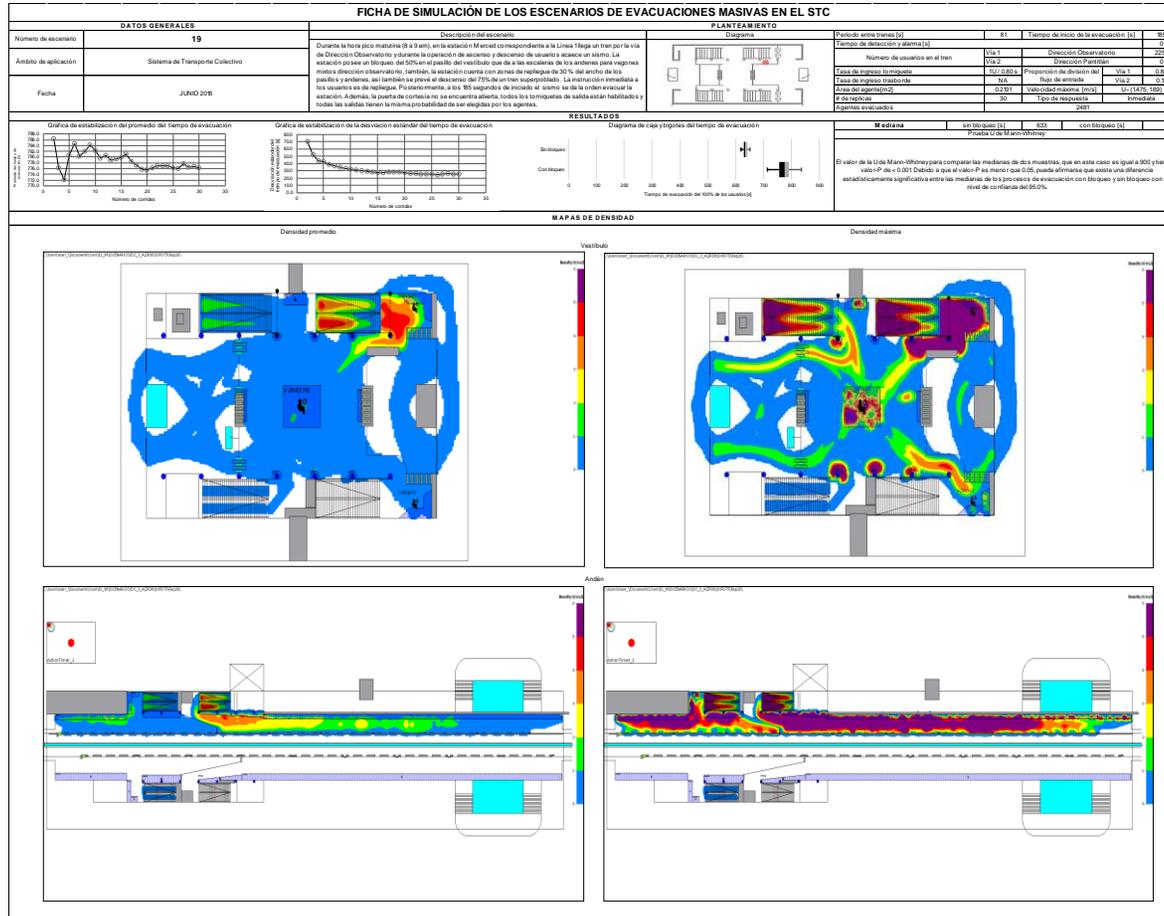


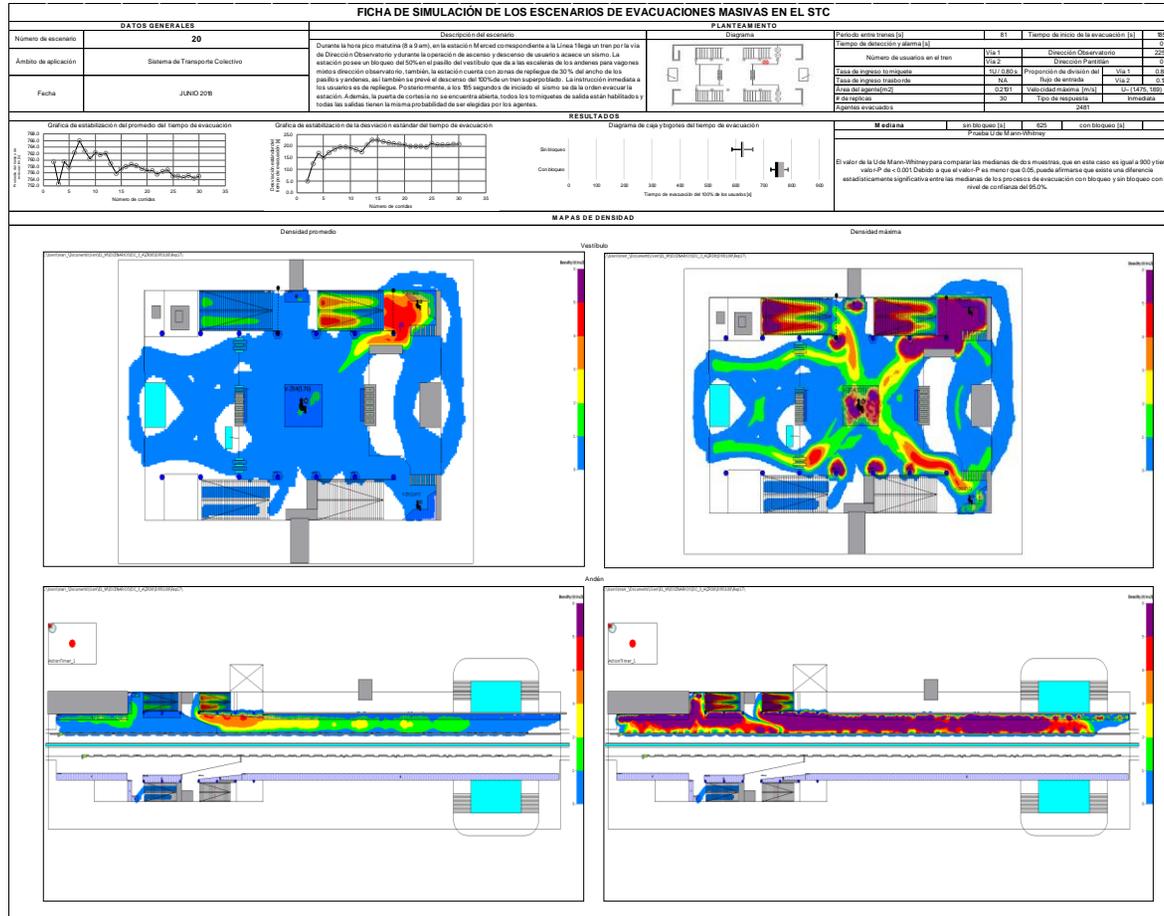


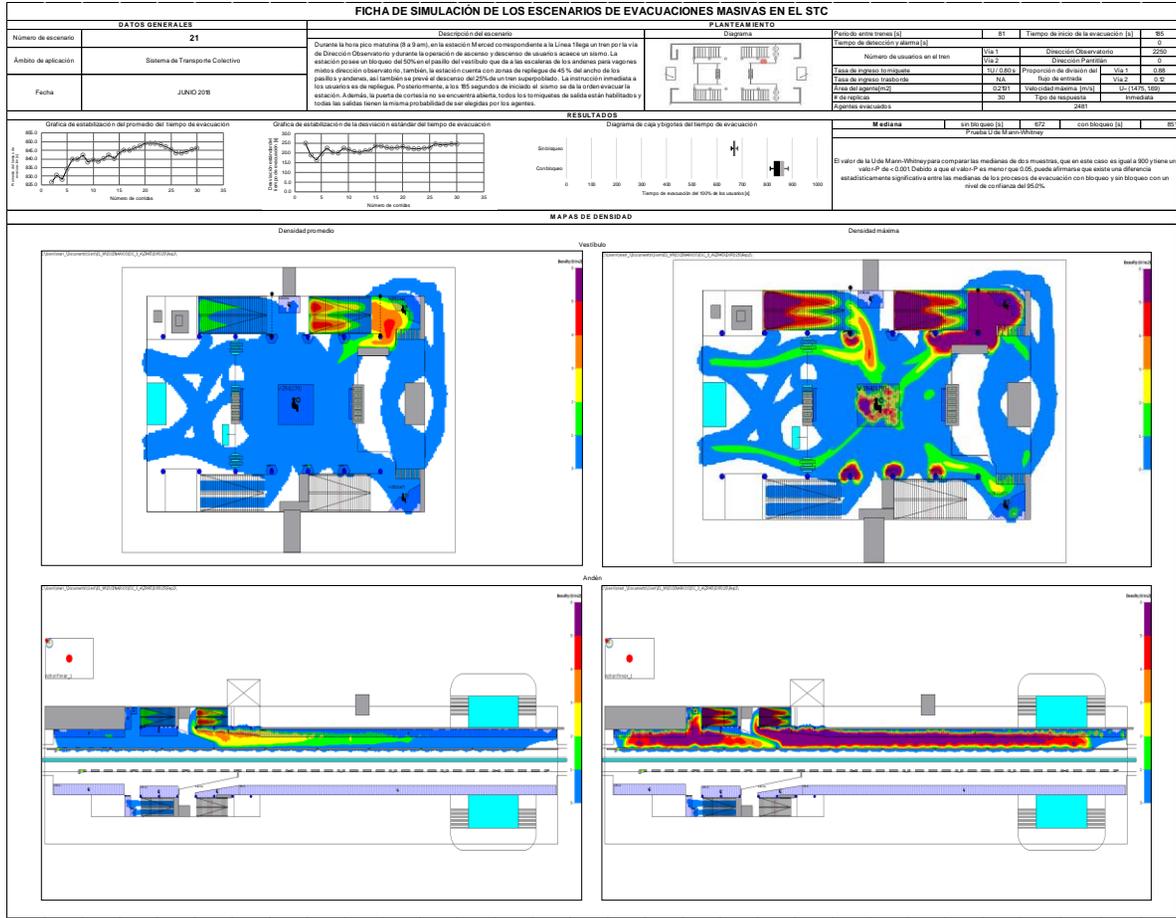


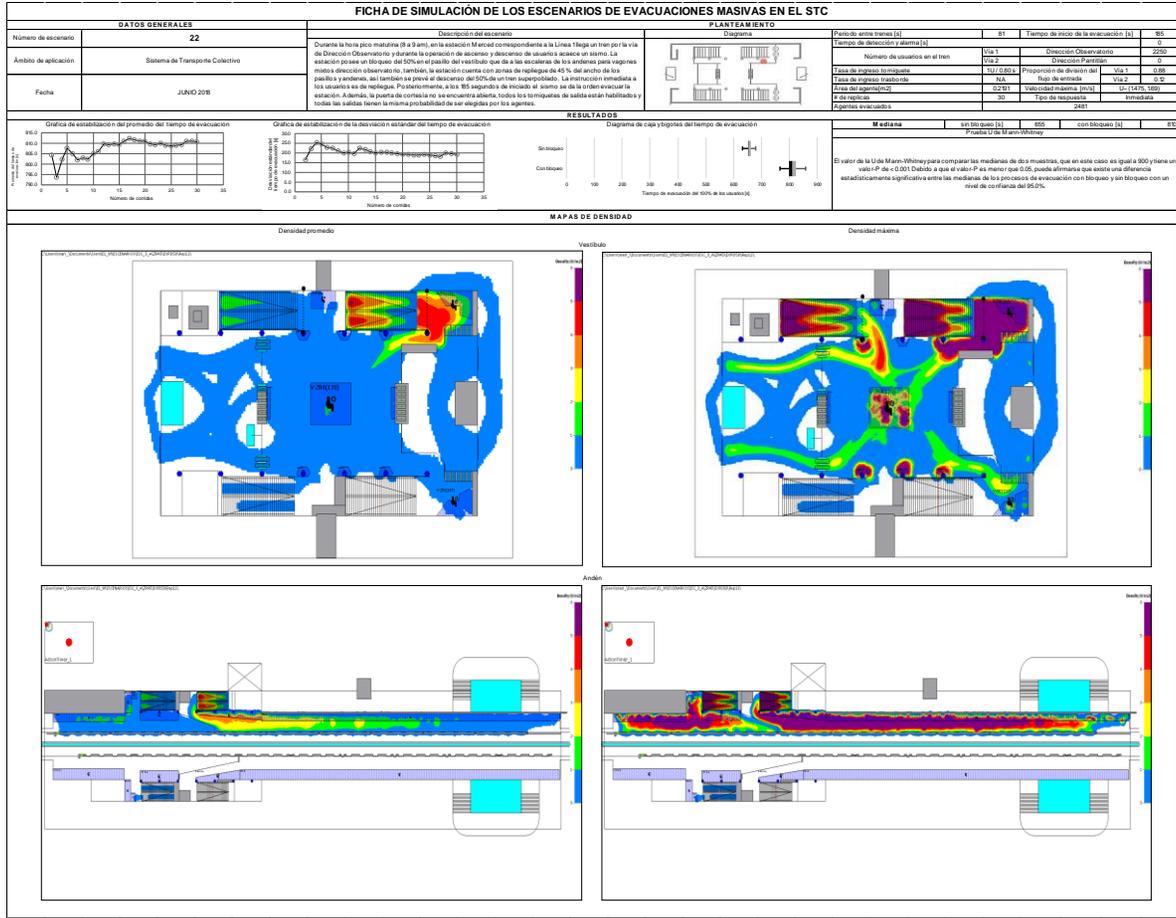


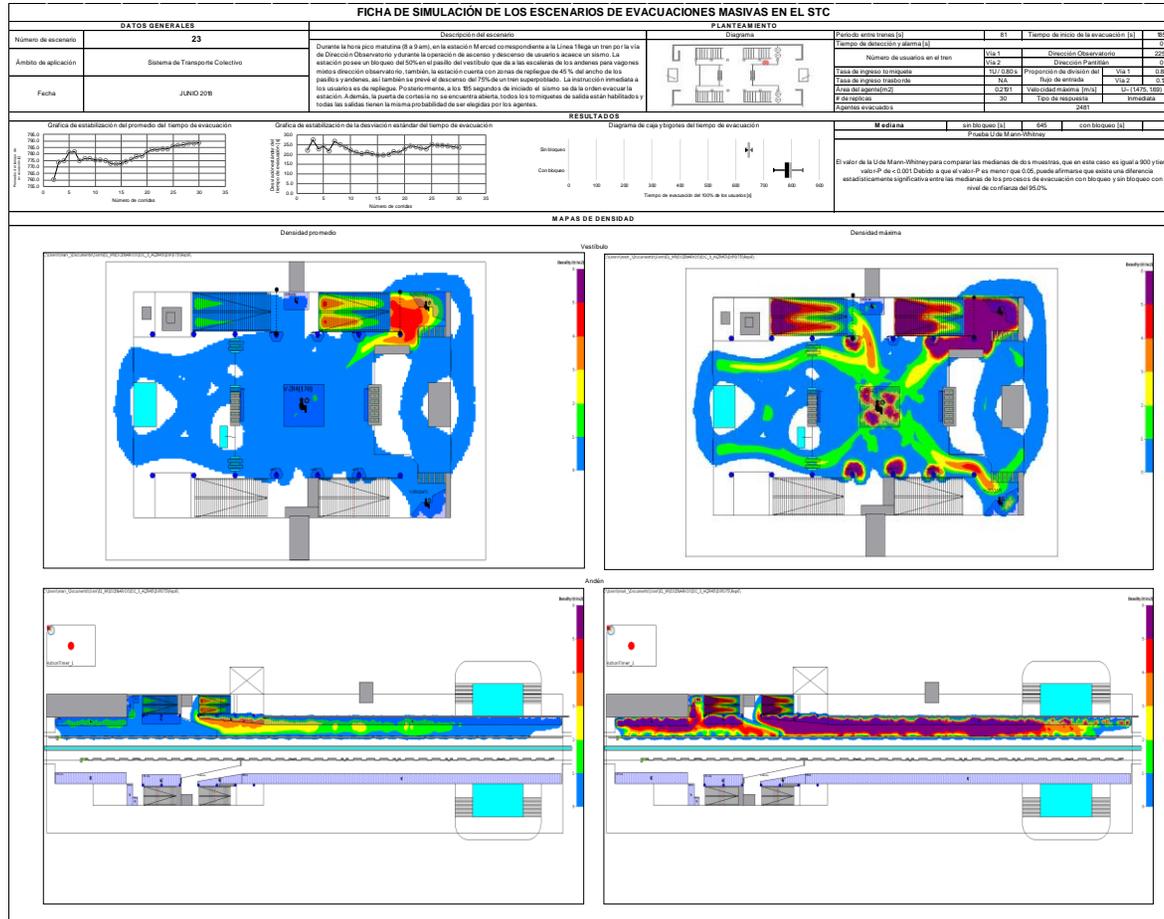


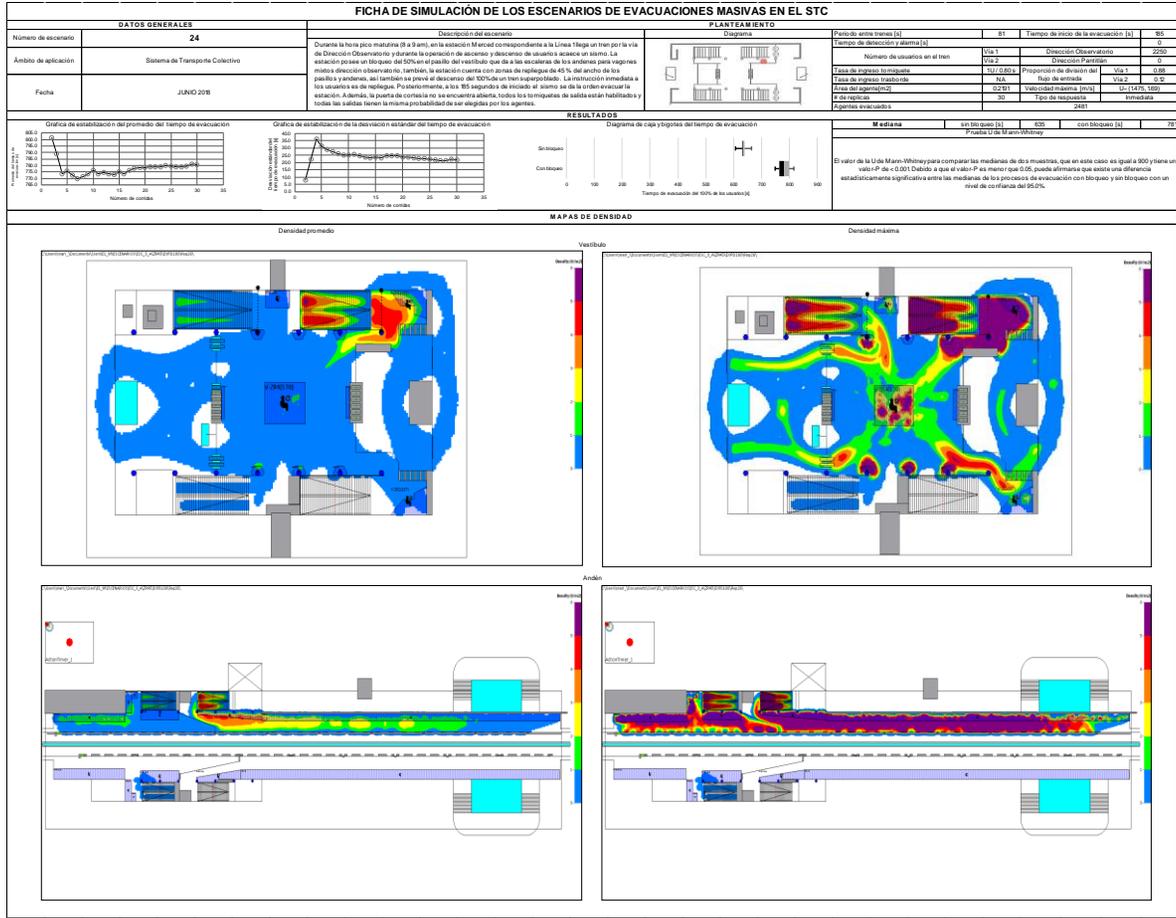




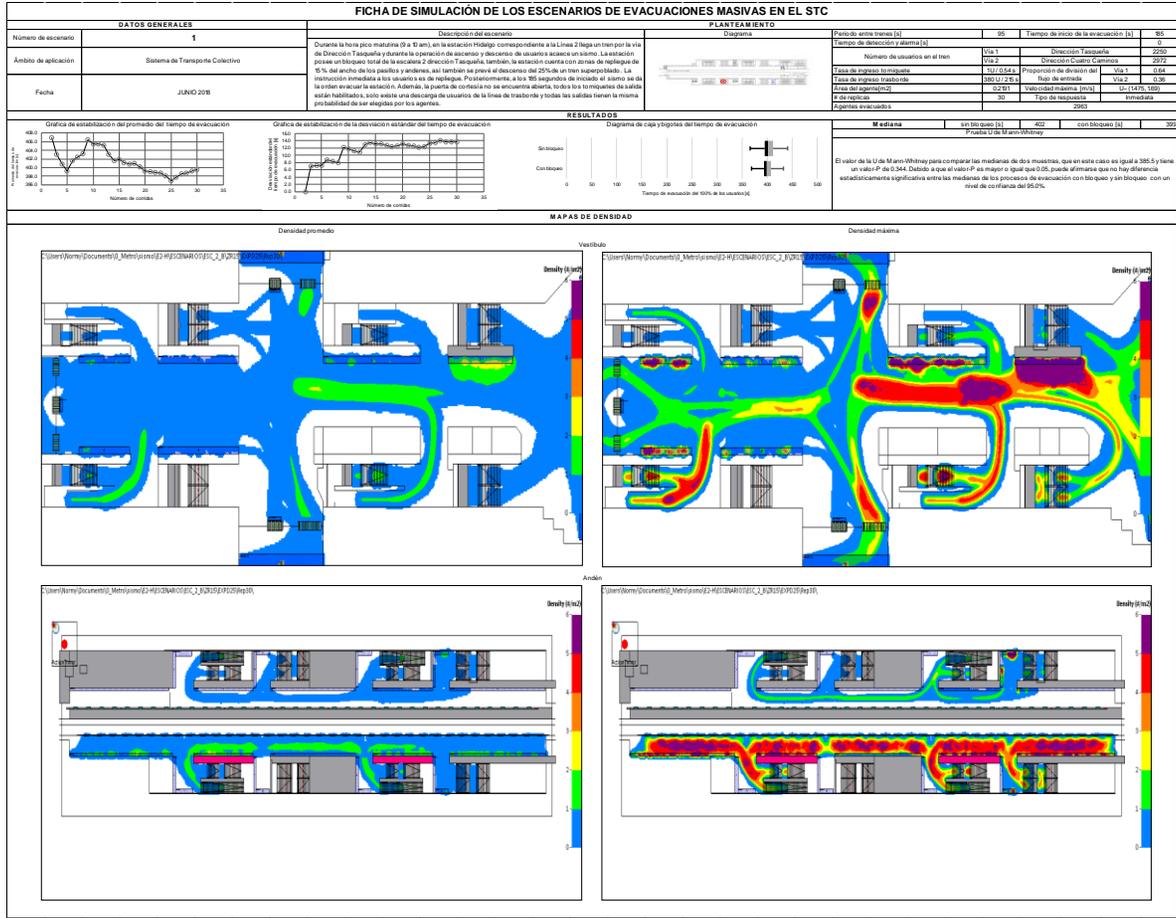


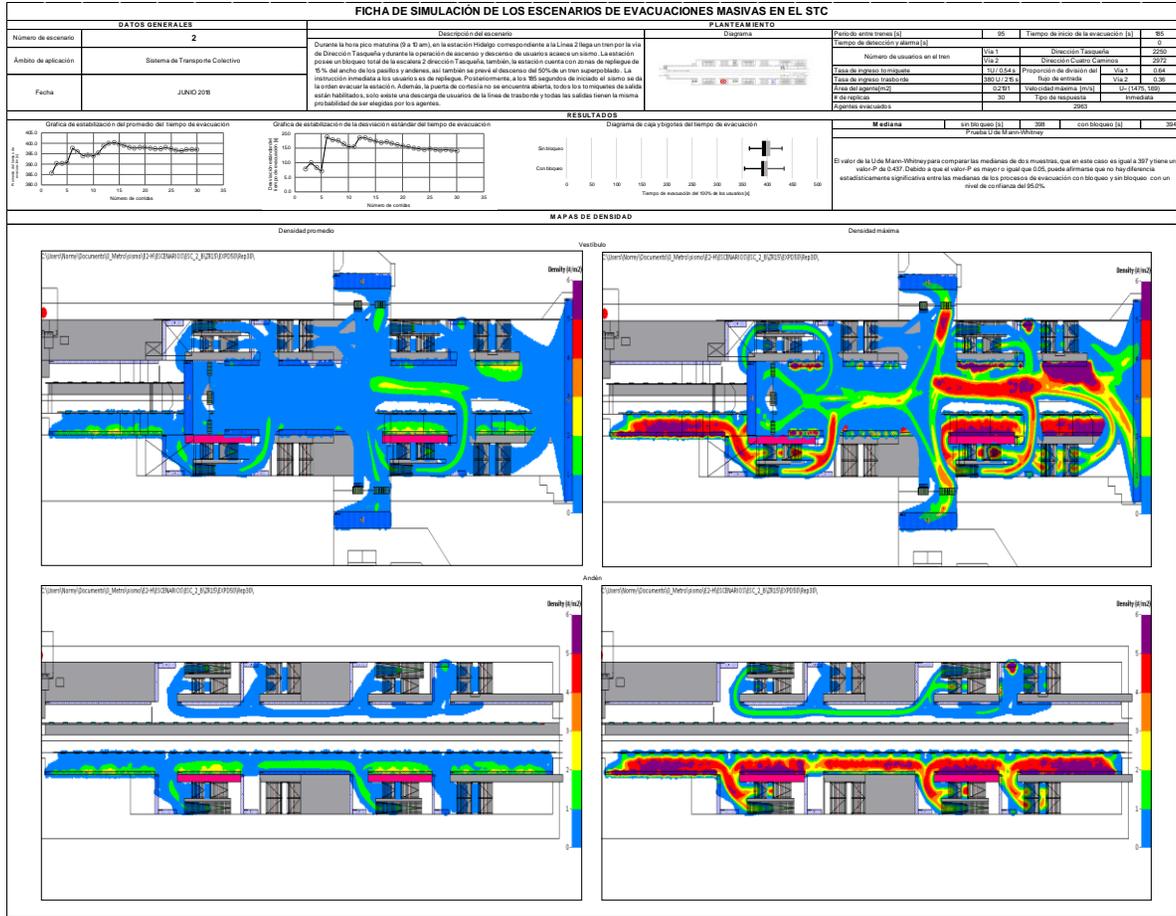


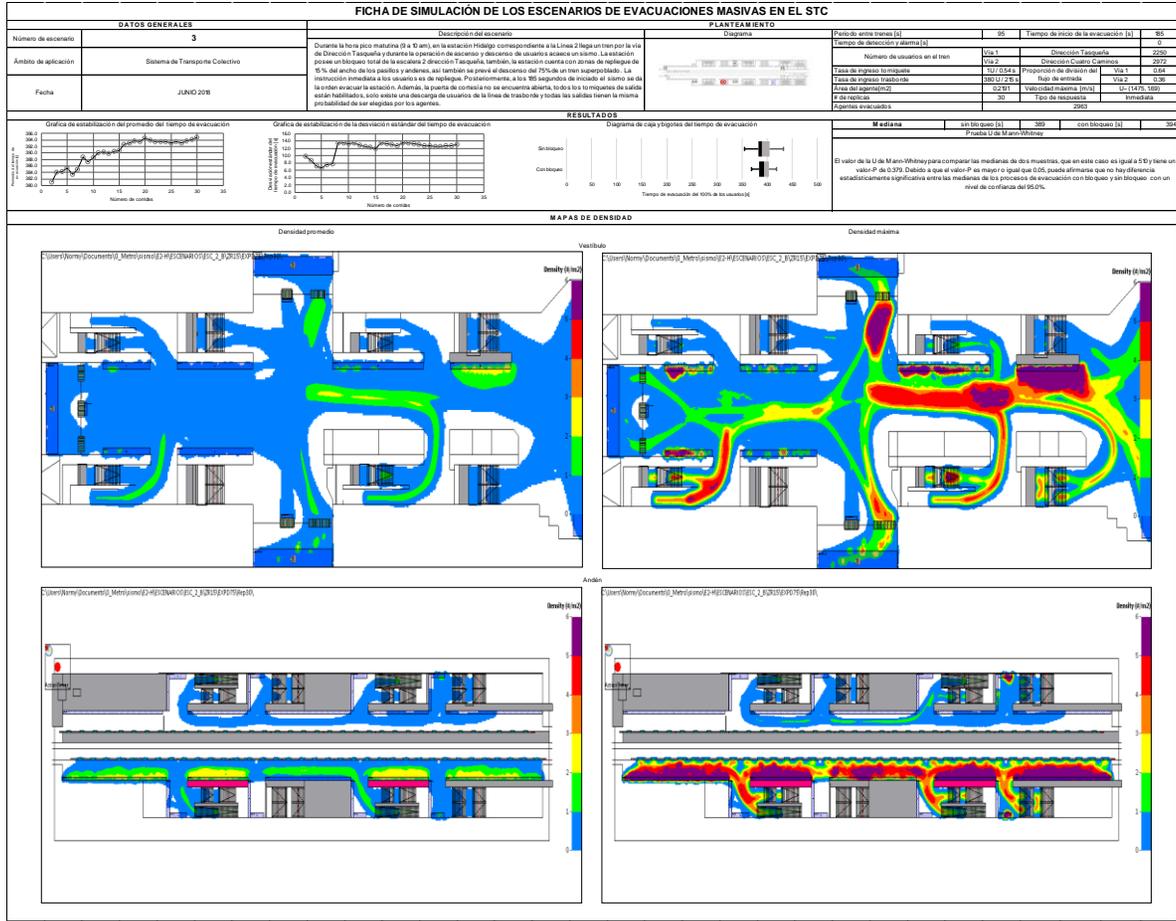


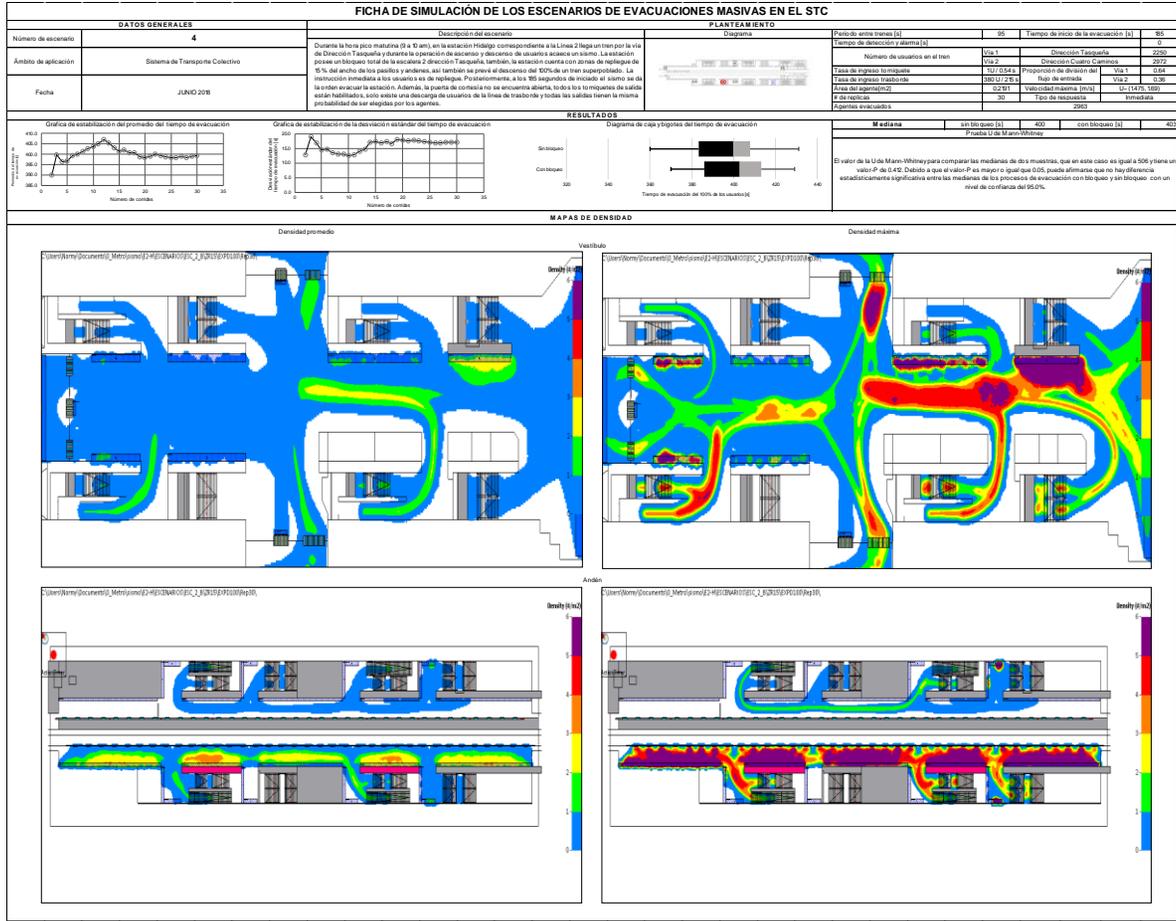


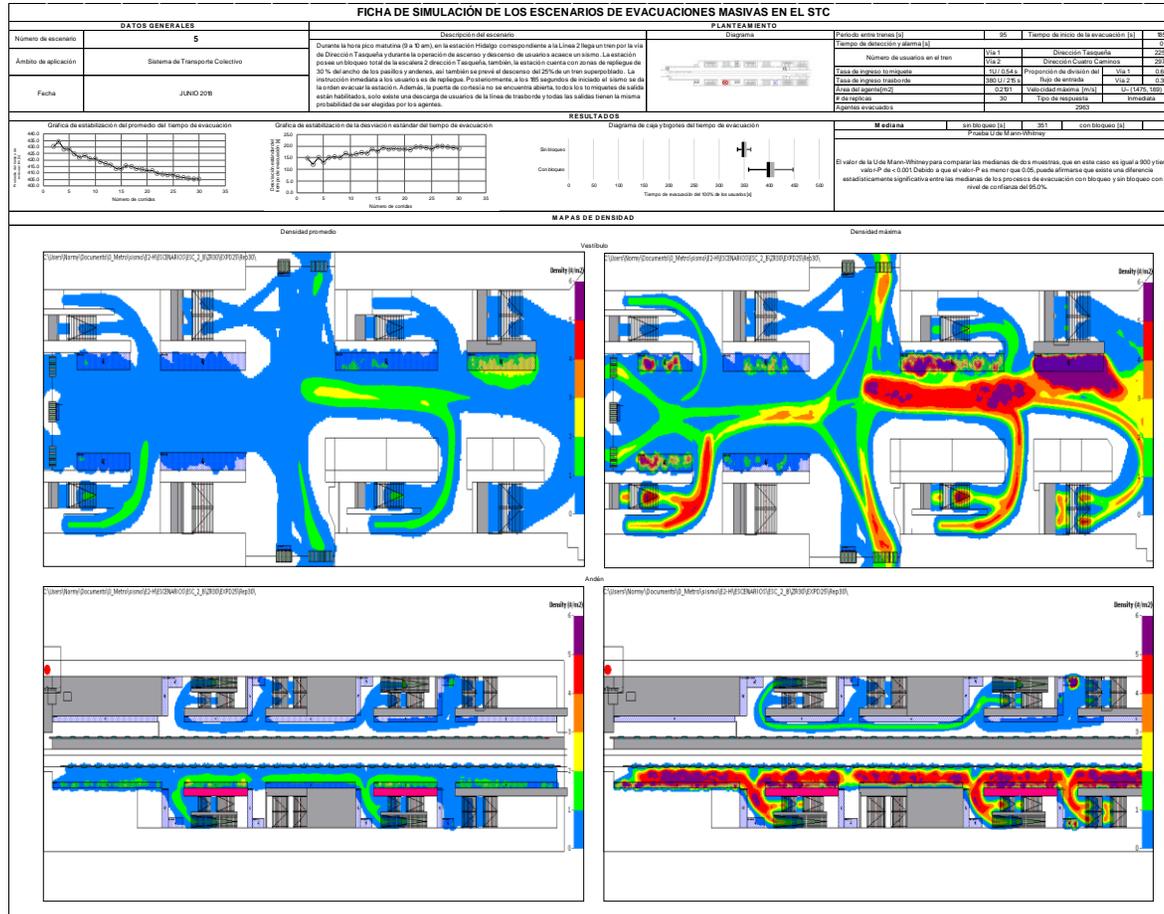
I.2 Fichas de Simulación de los Escenarios de Evacuación en la Estación Hidalgo (Línea 2)

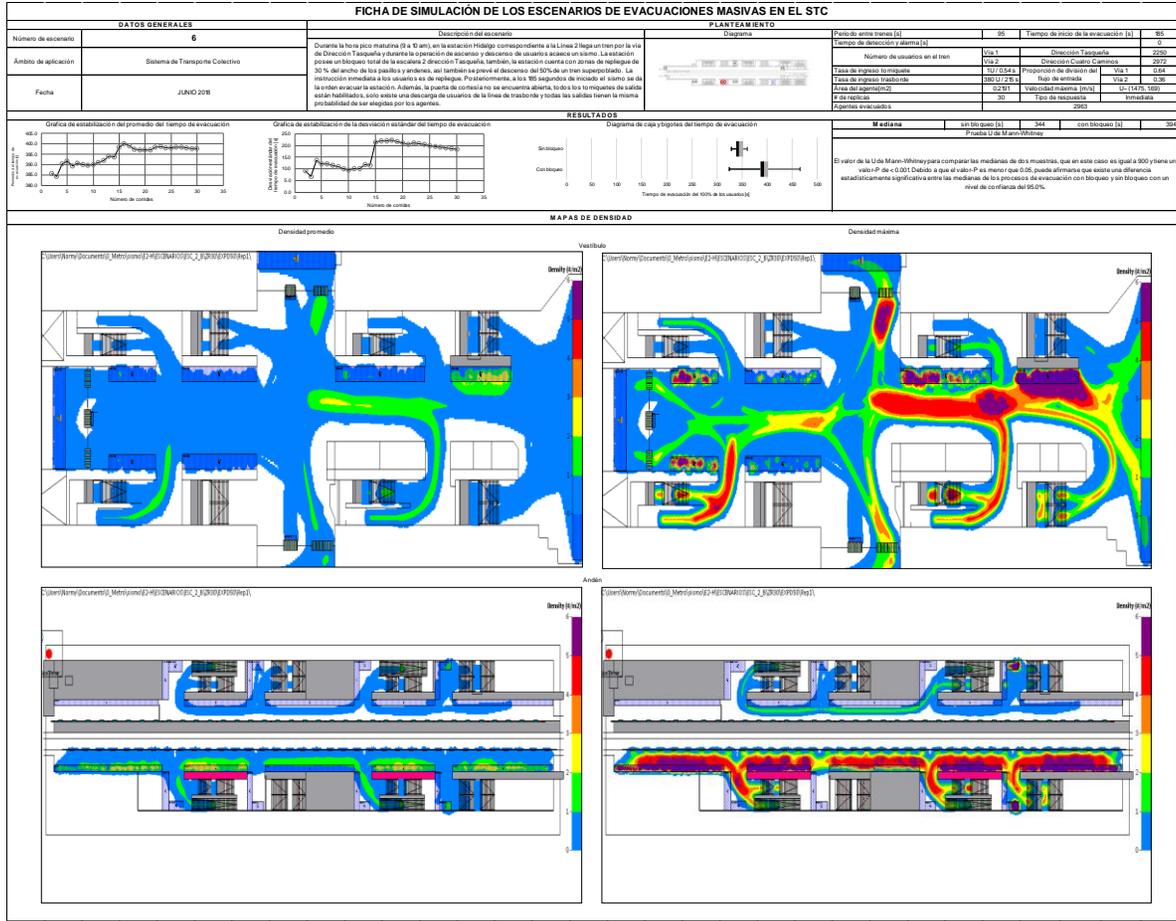


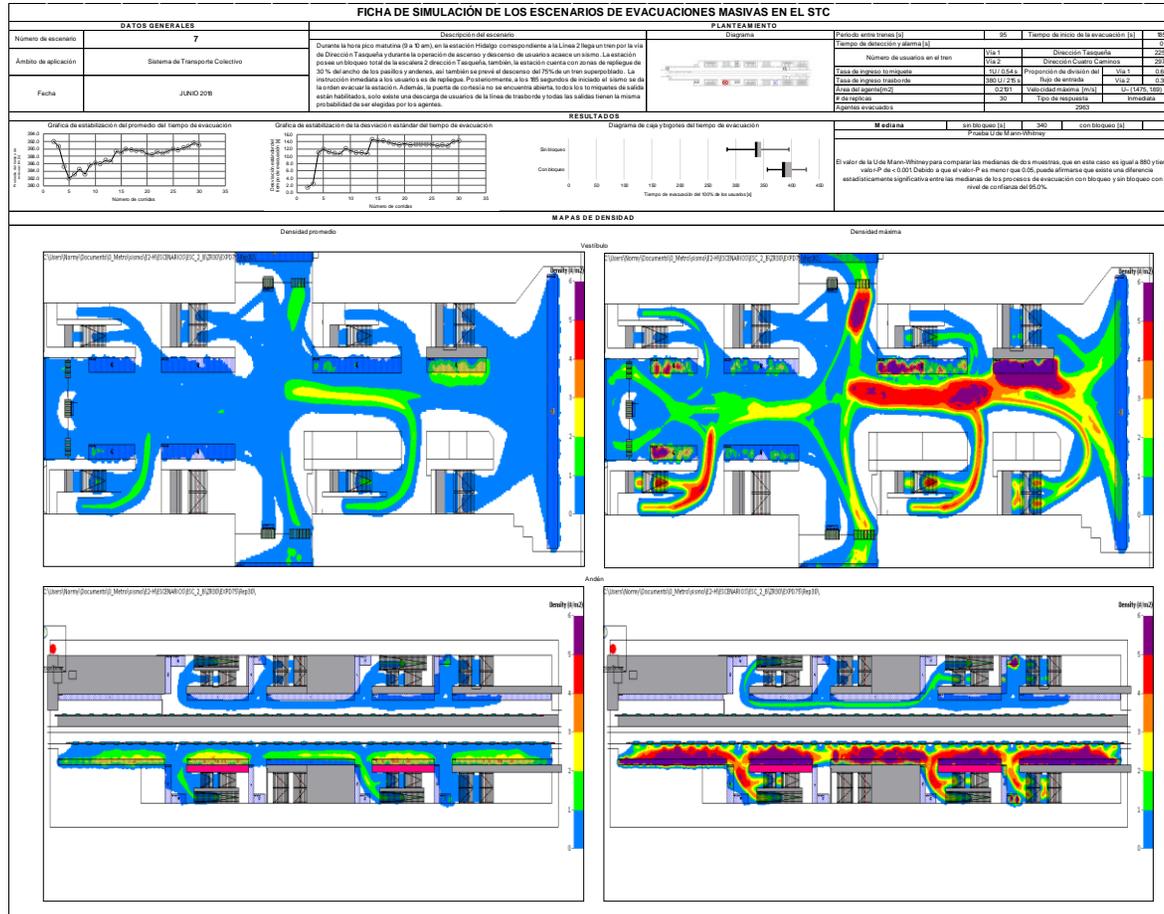


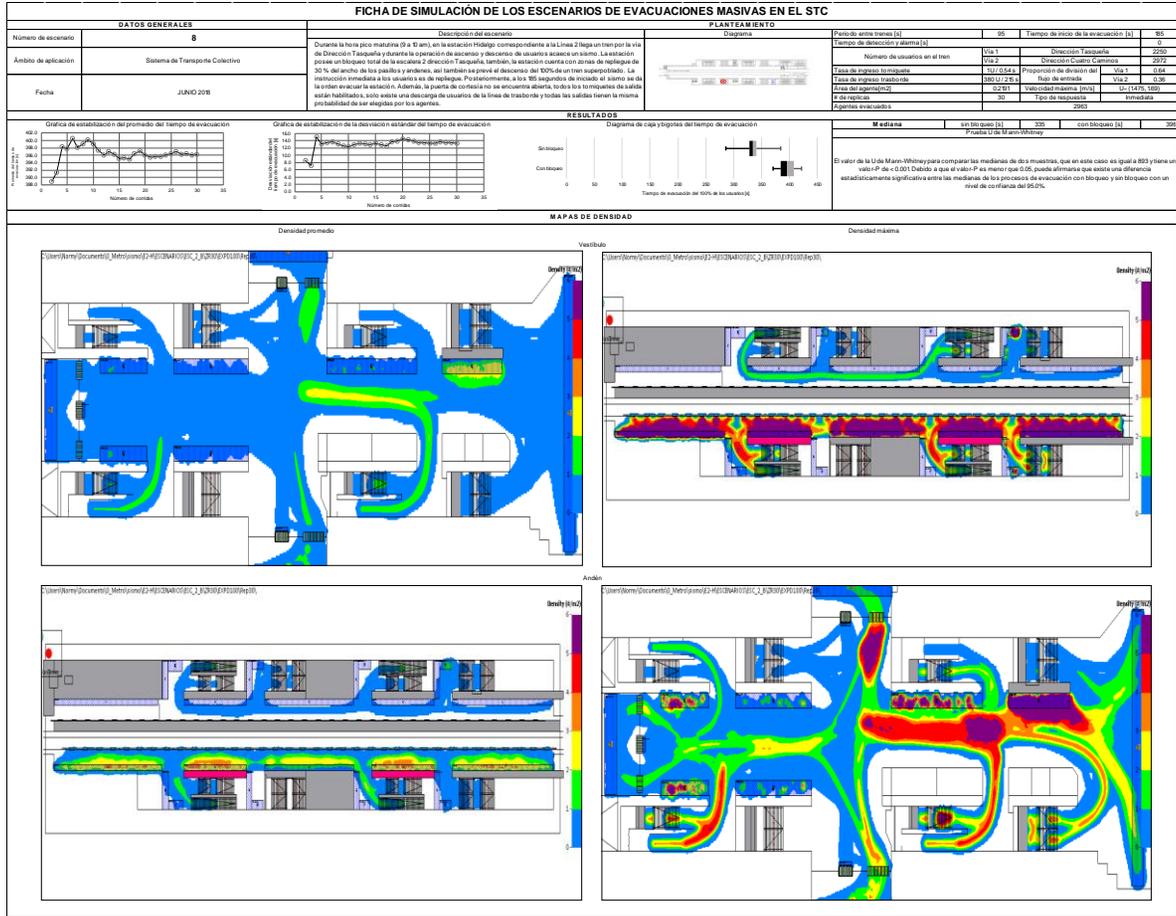


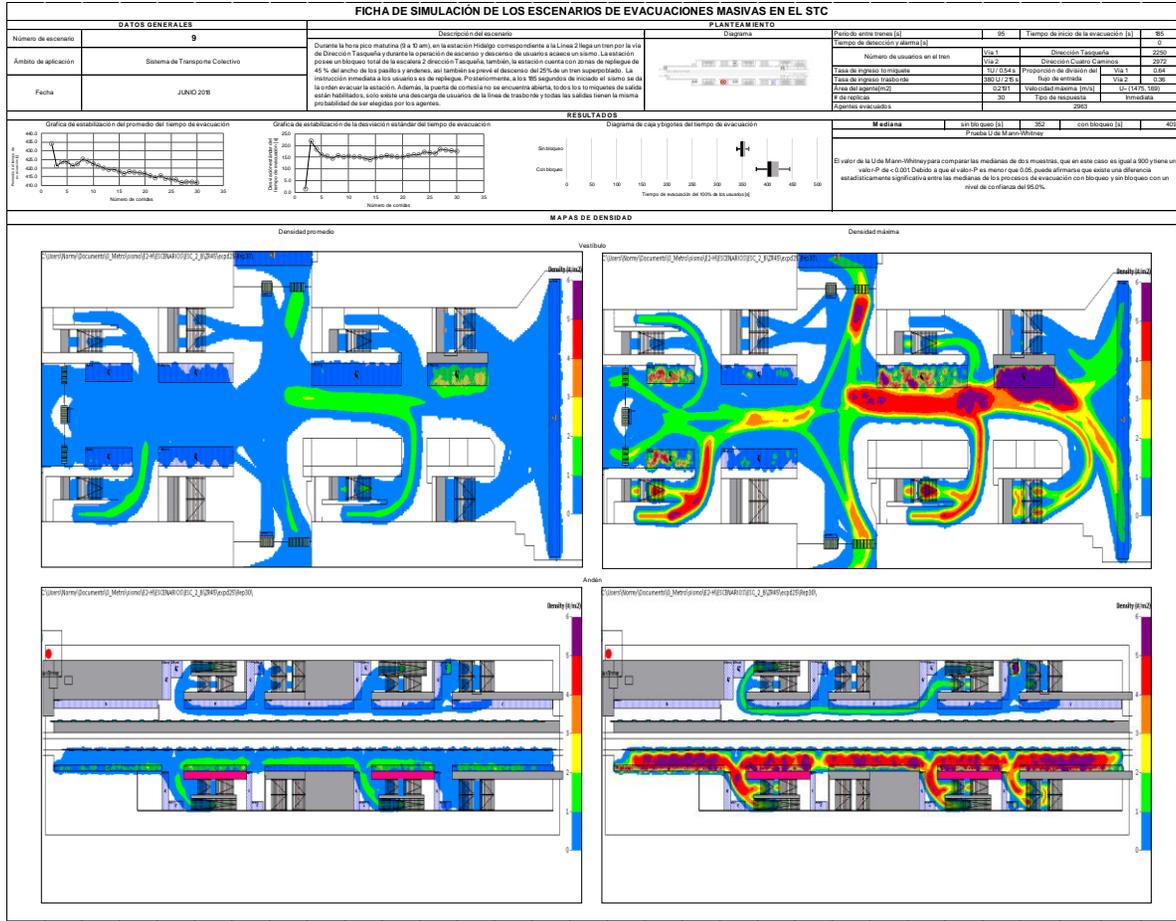


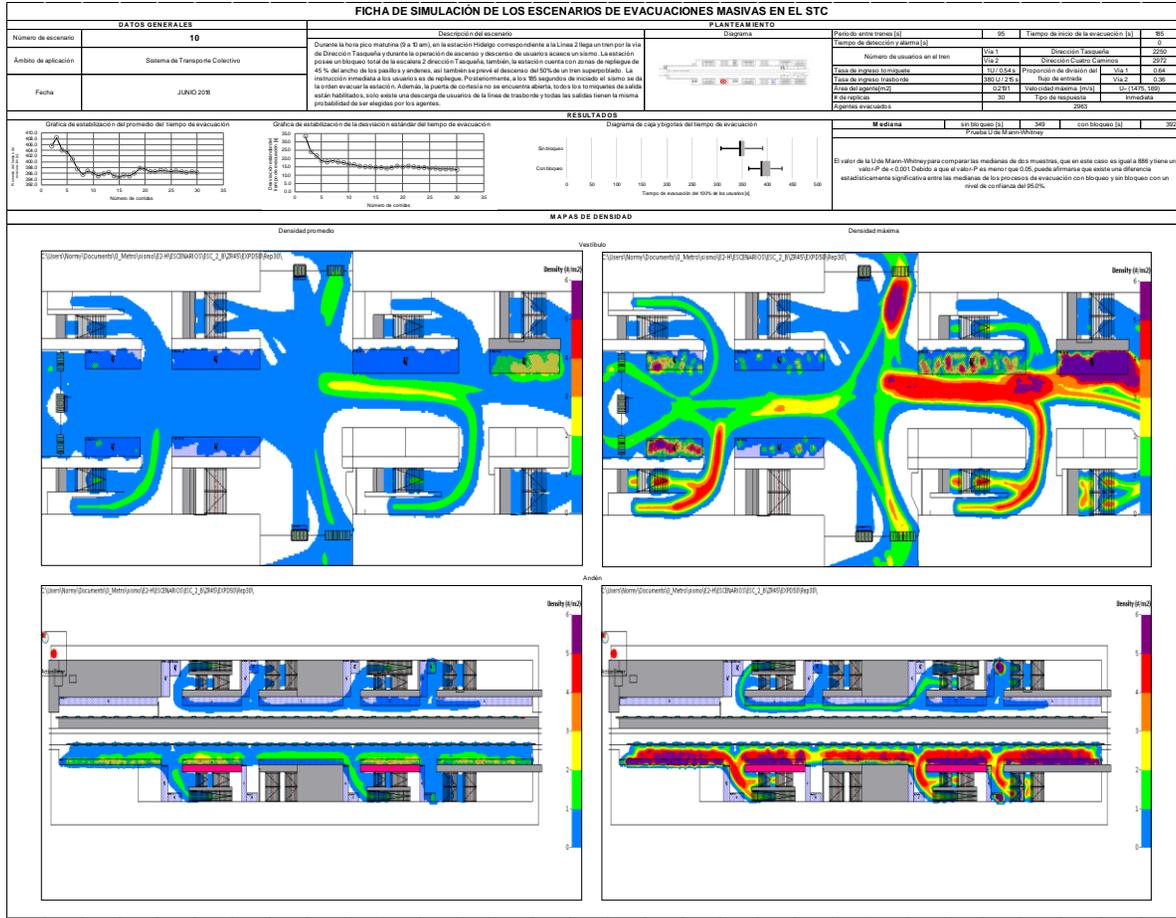


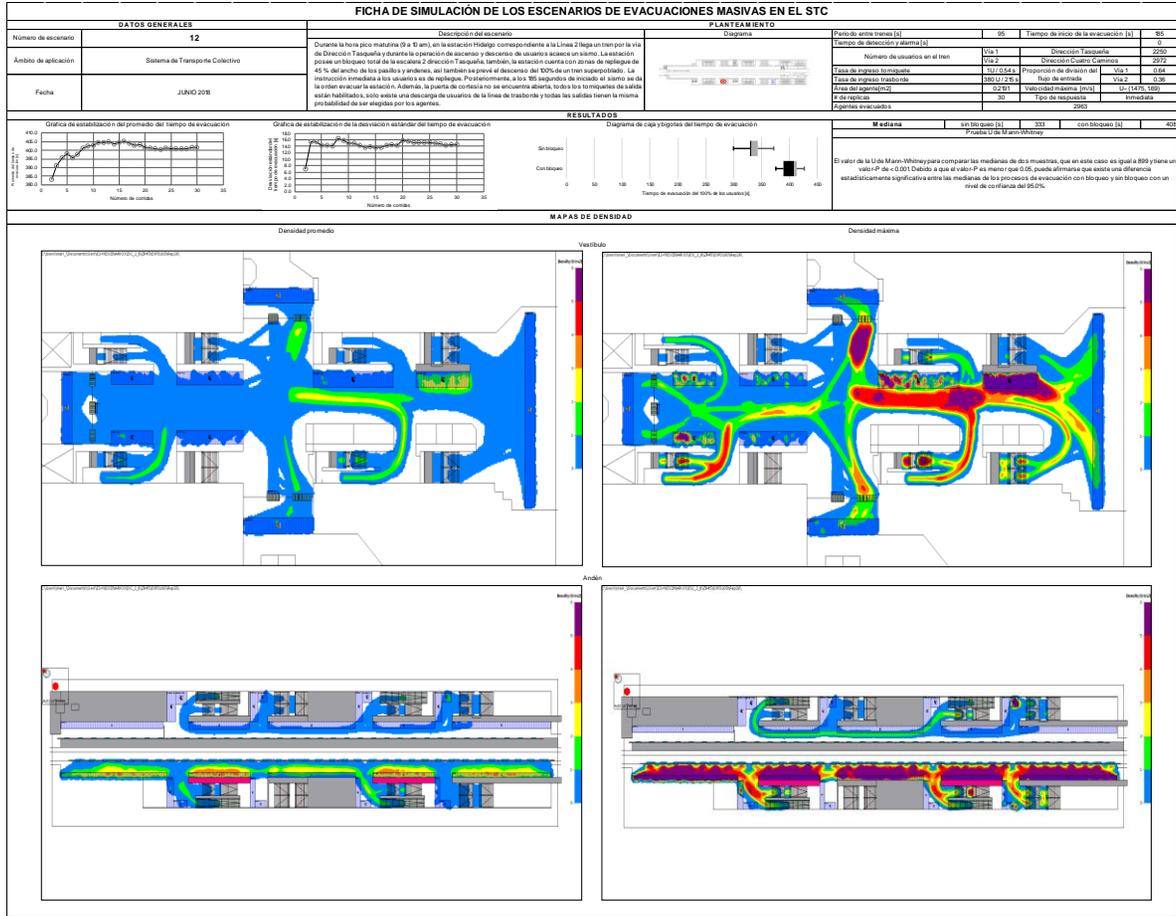


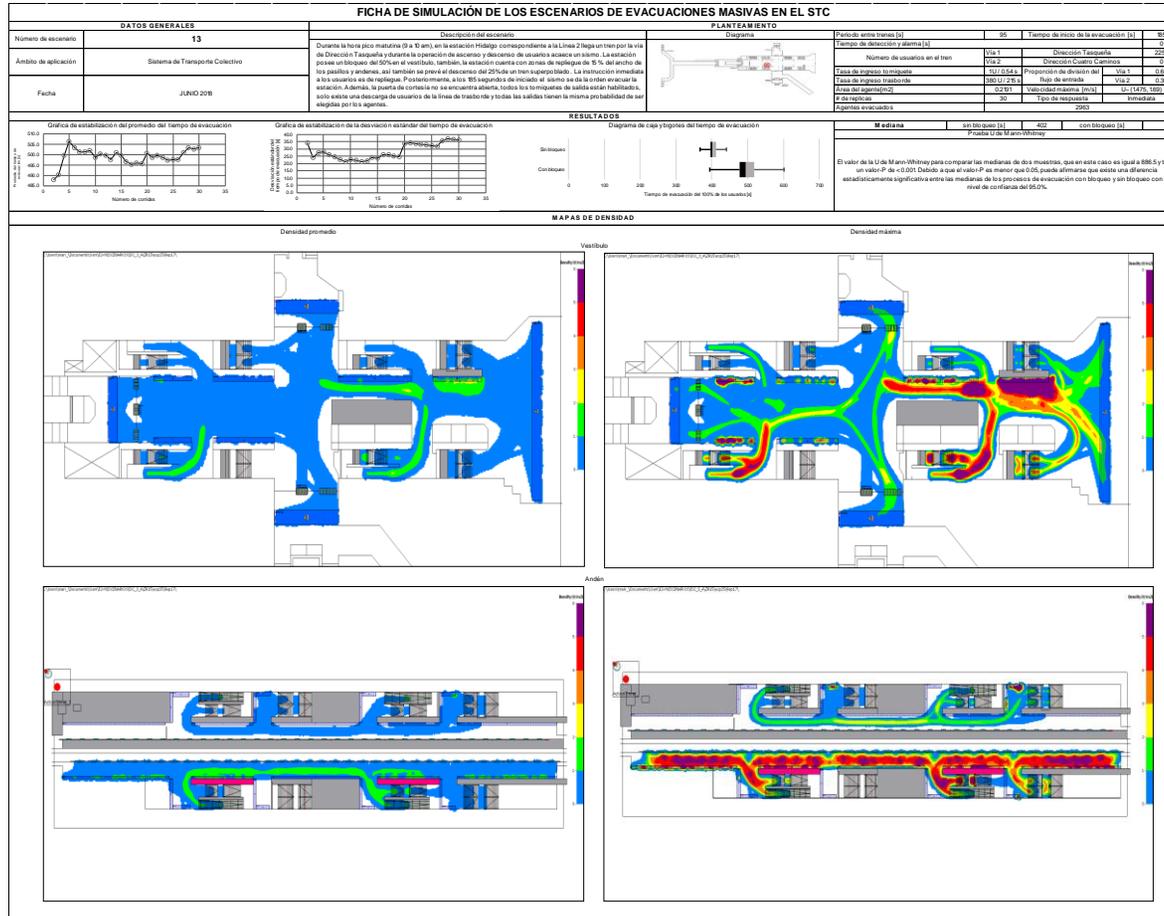


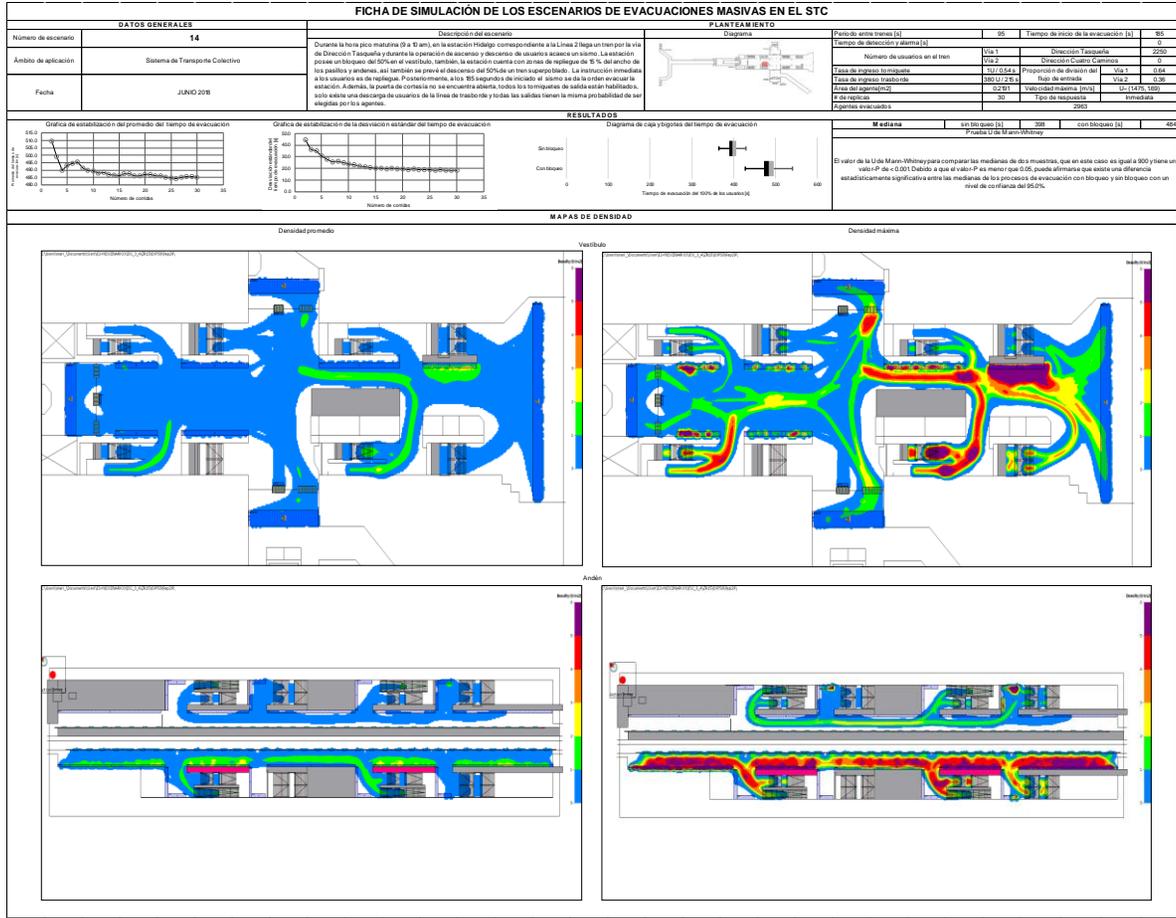


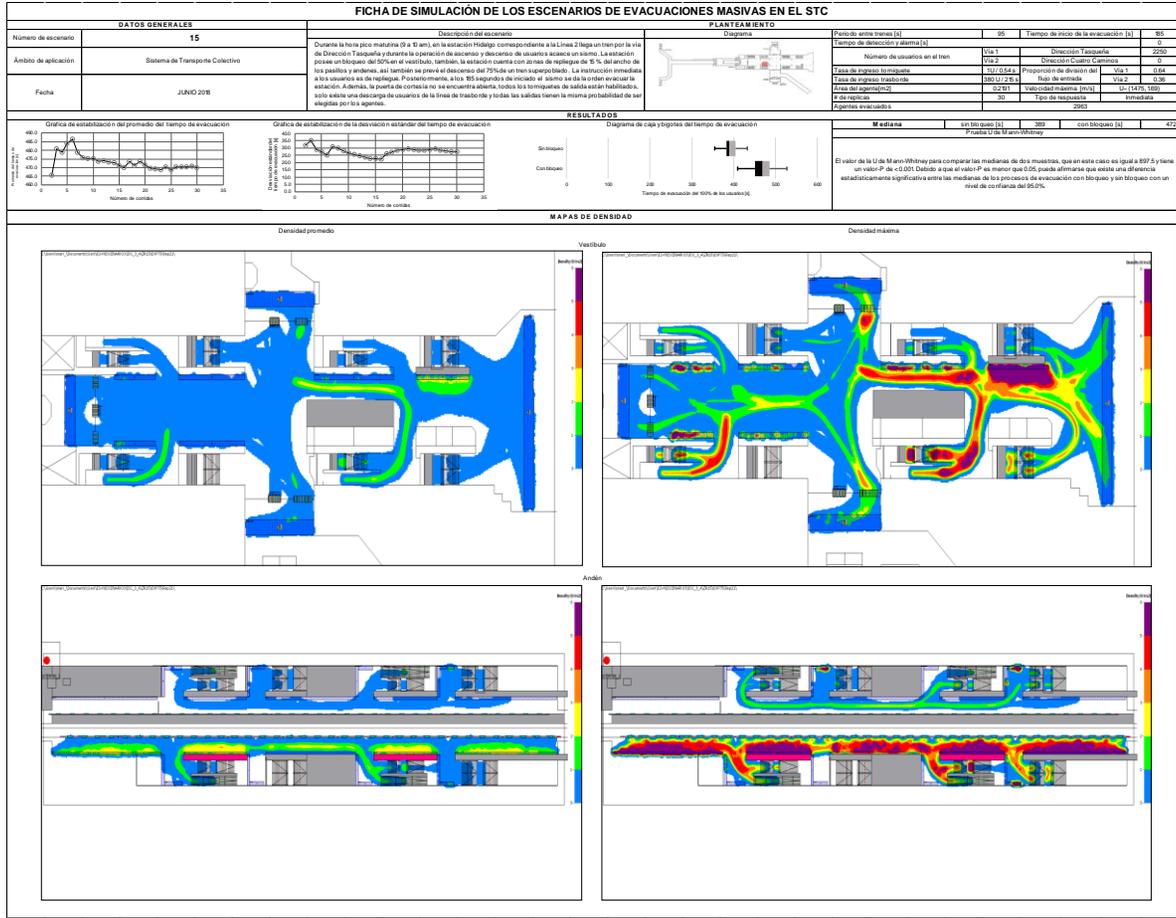


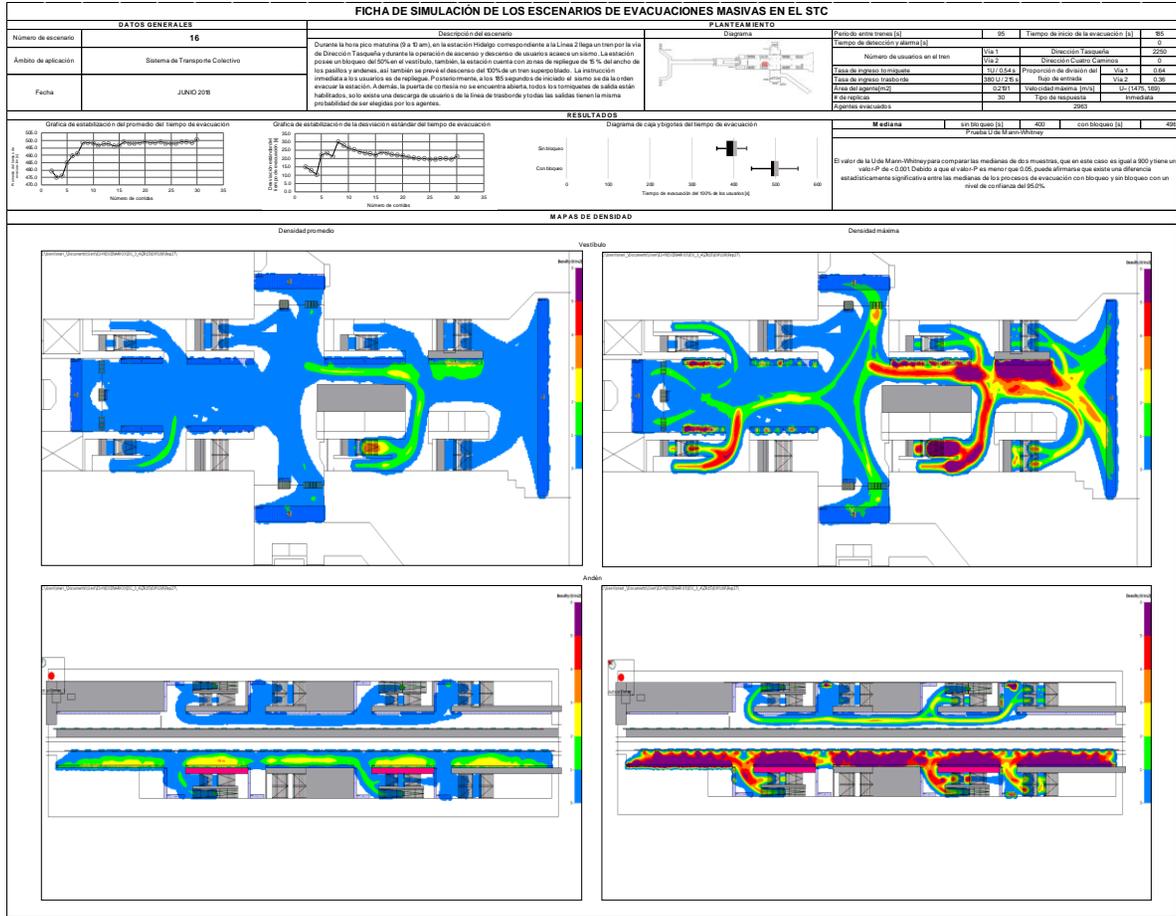


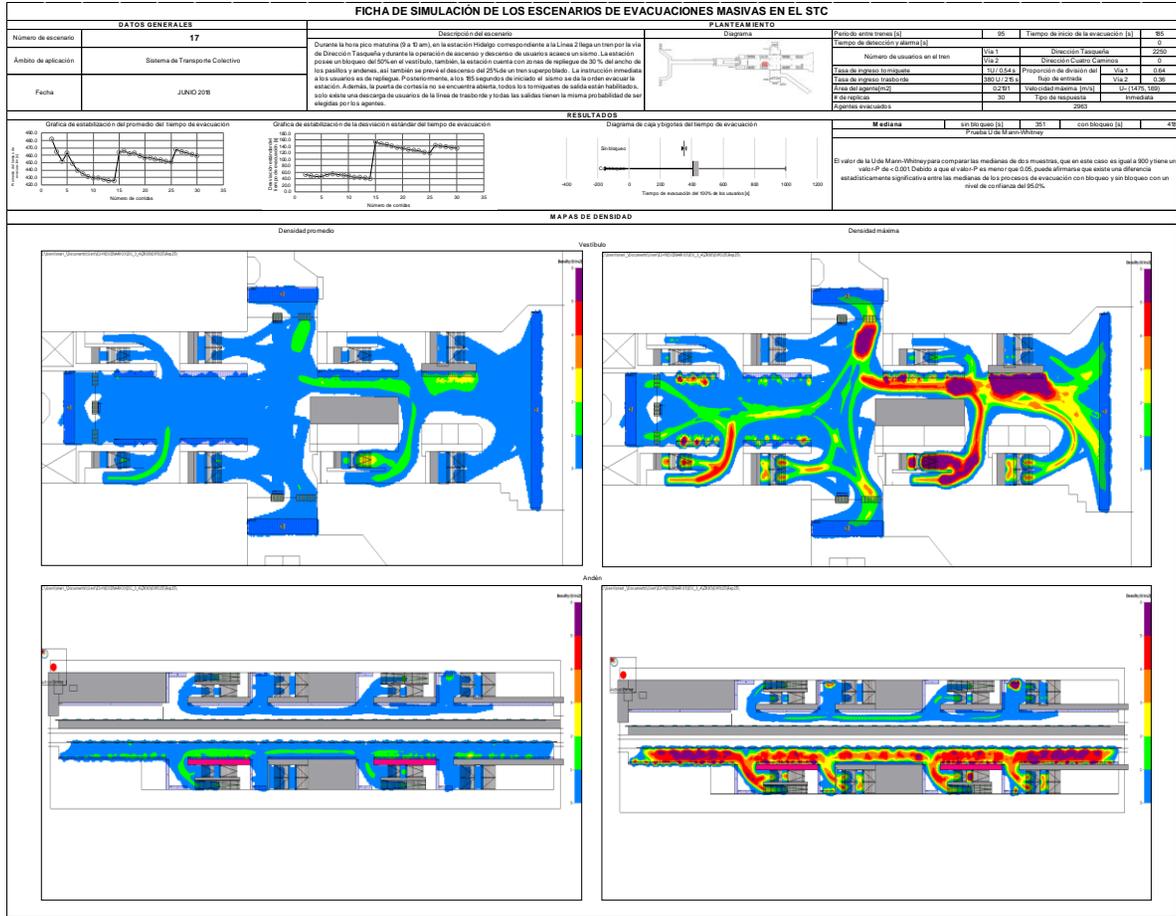


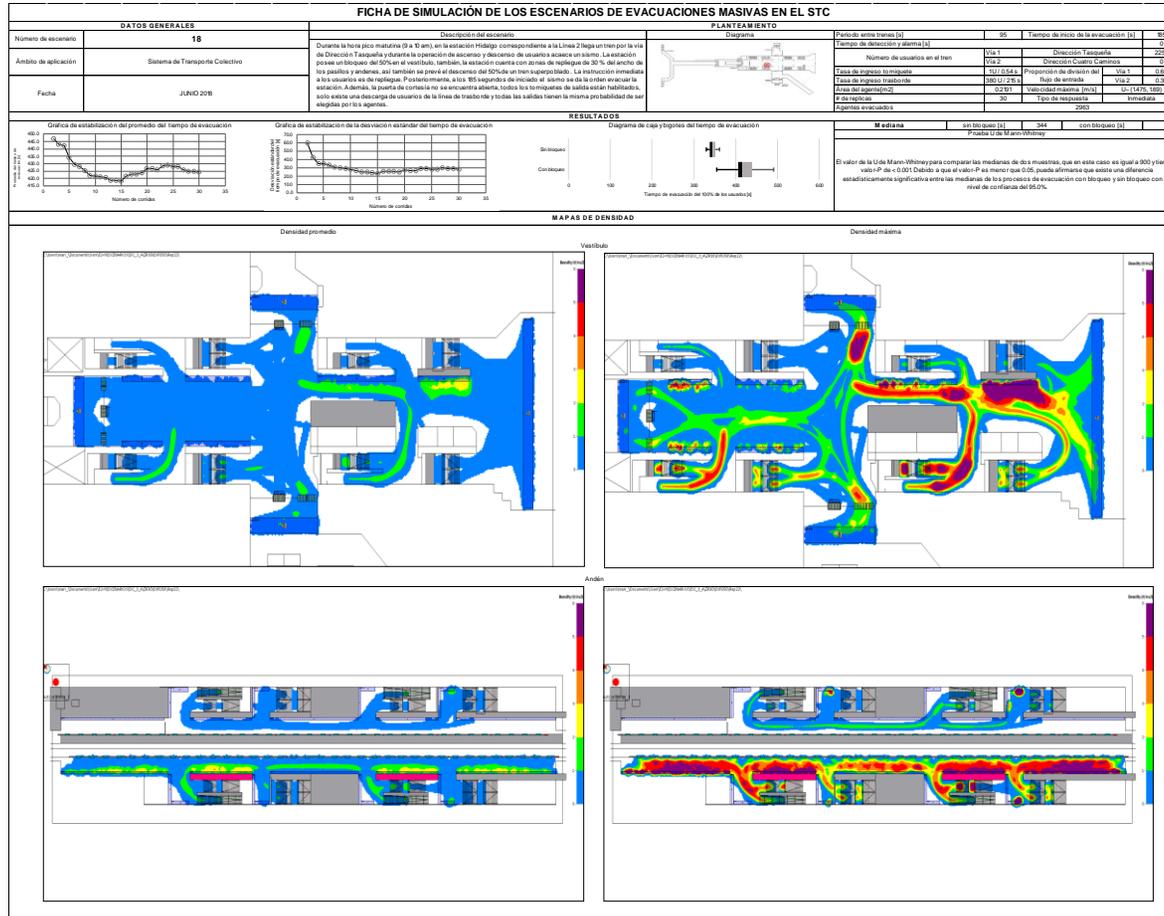


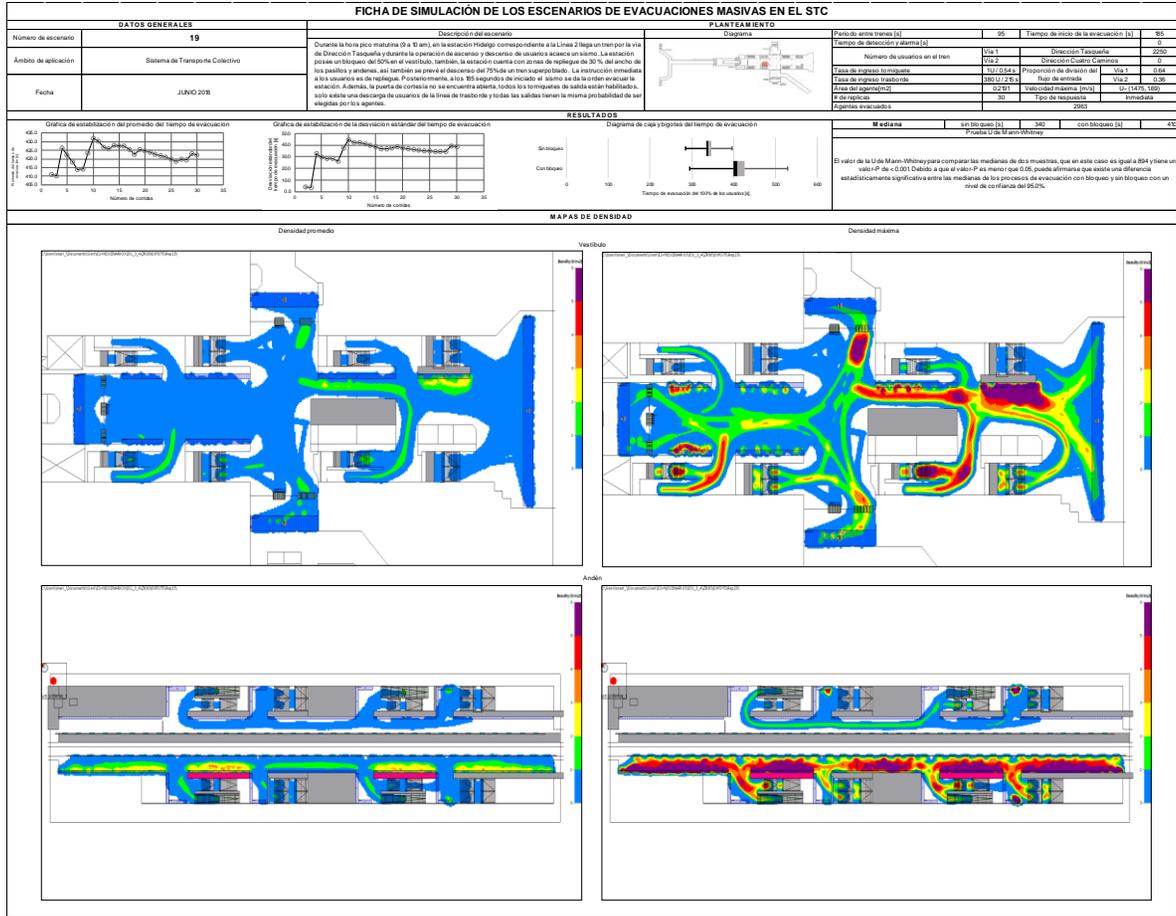


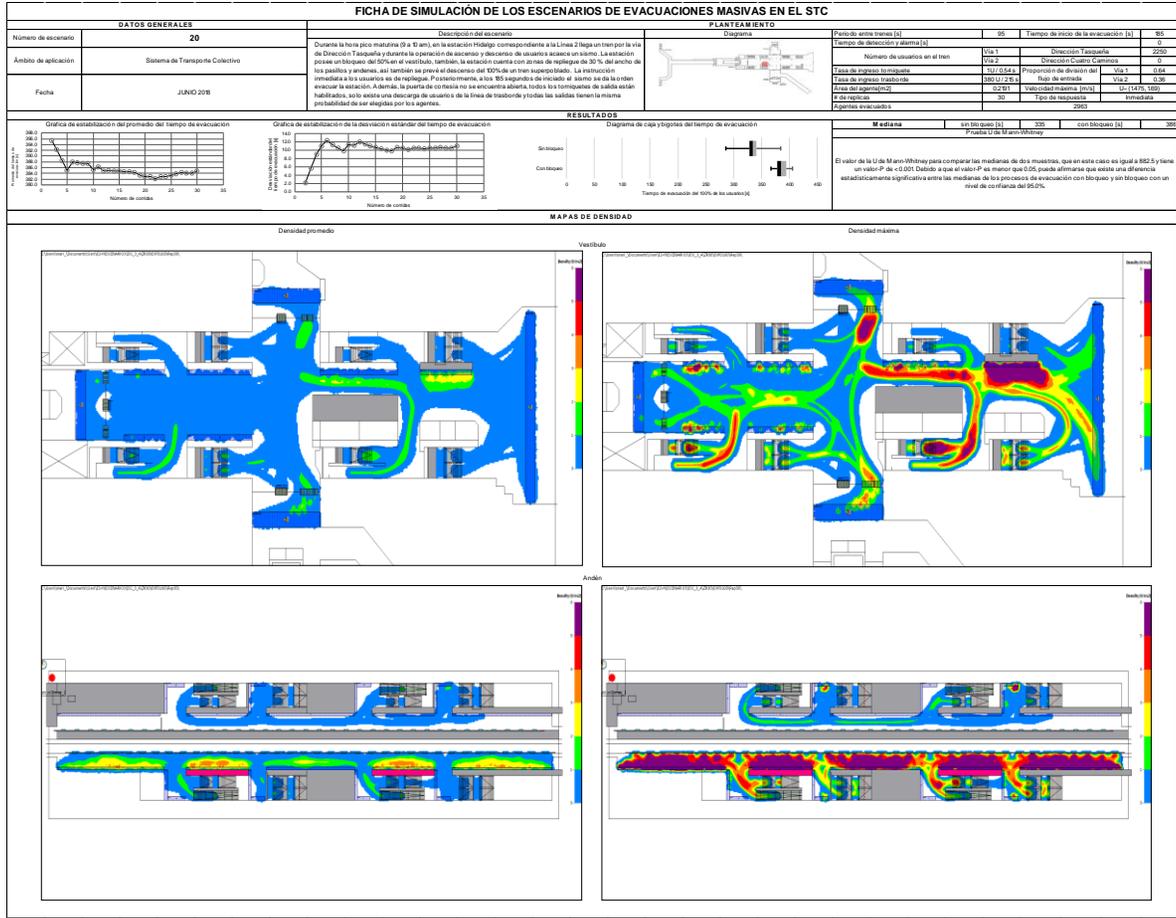


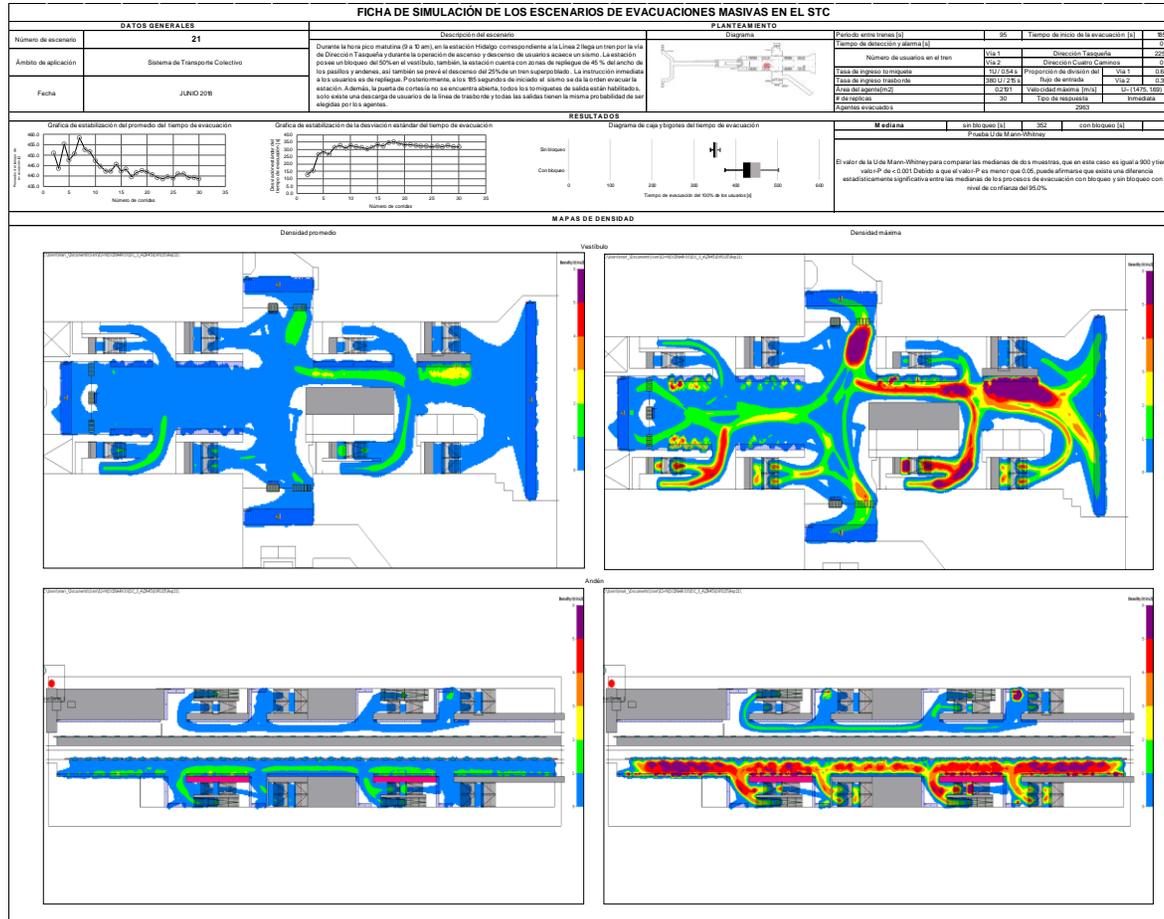


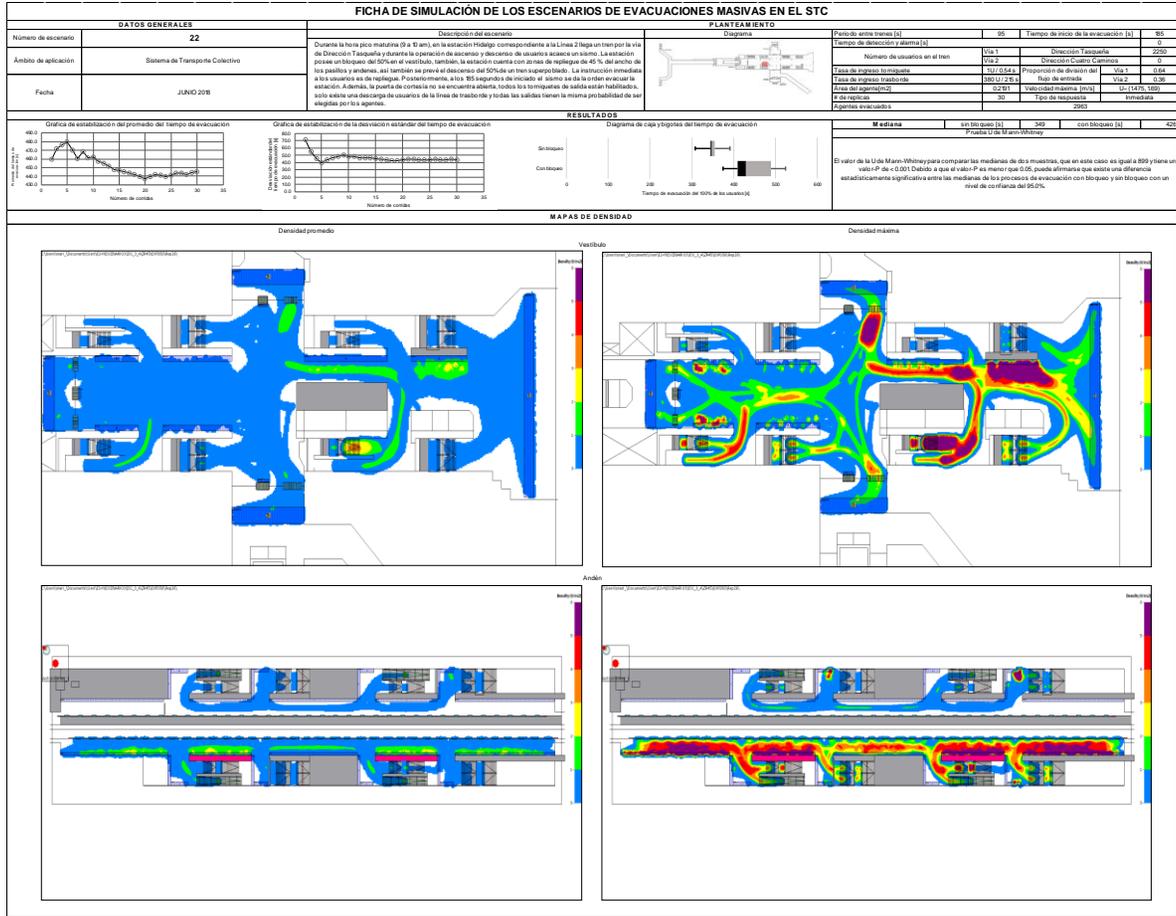


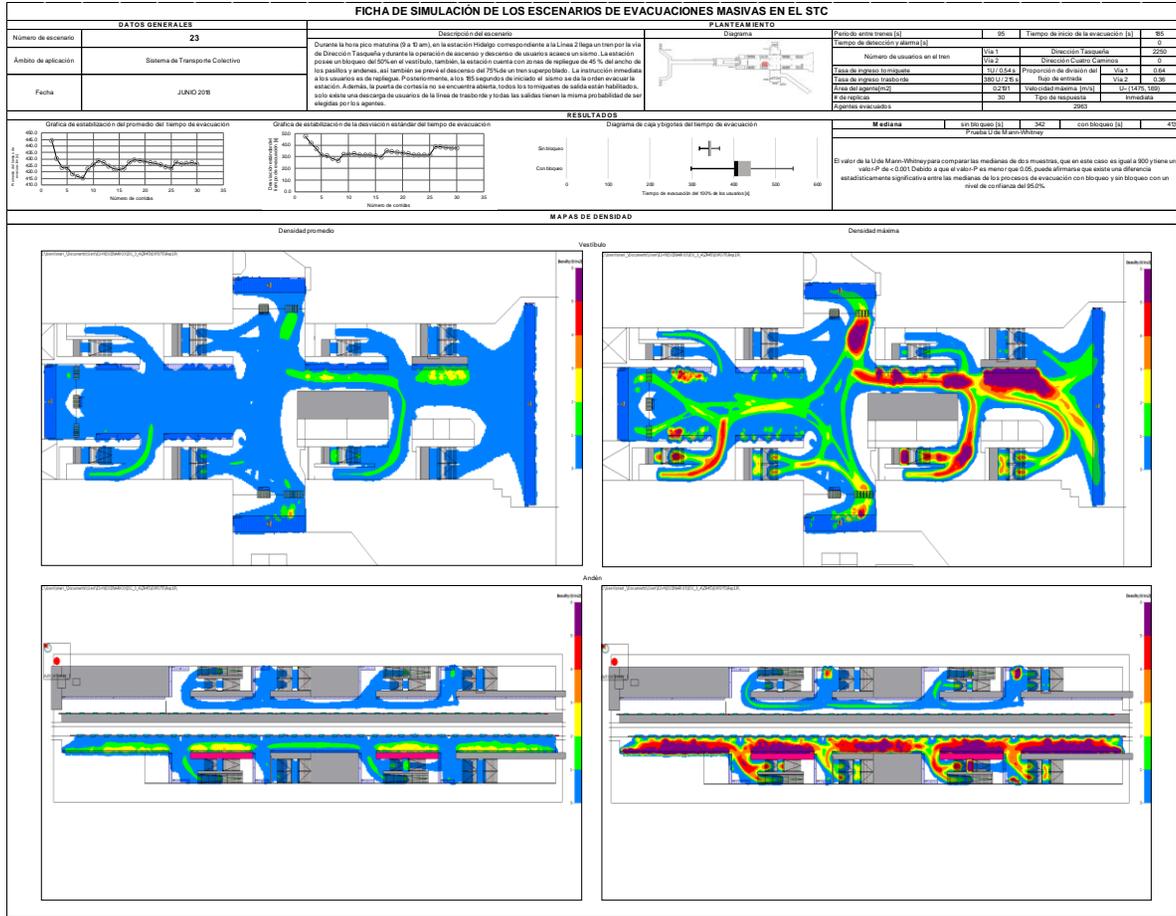








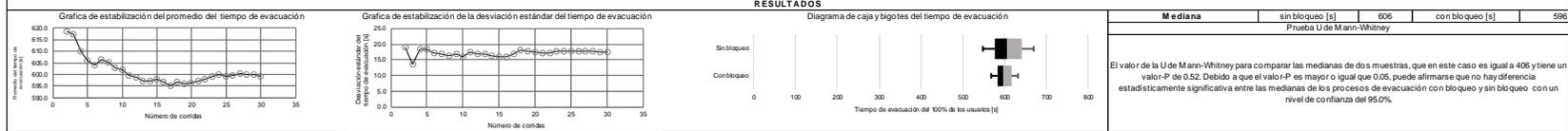




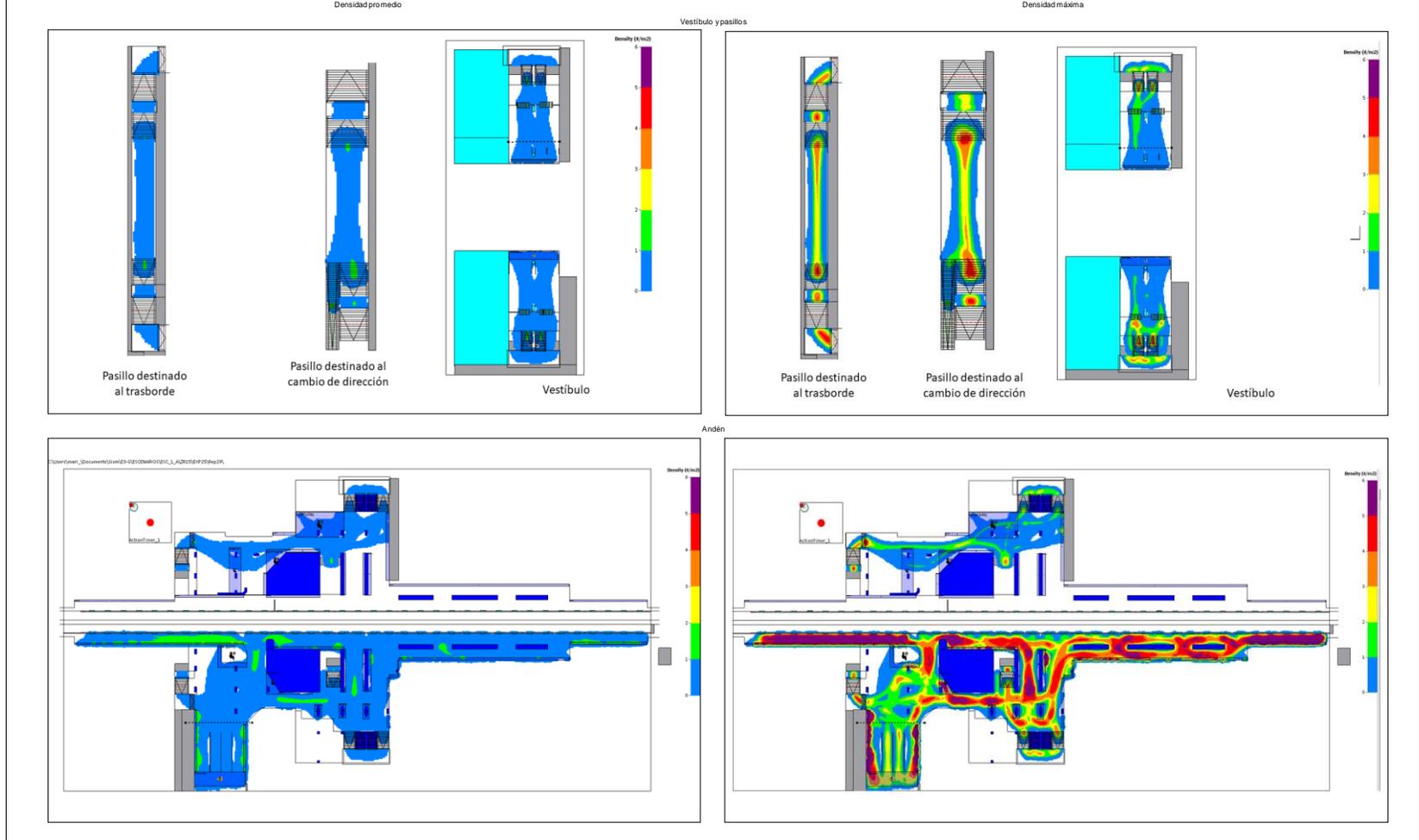
I.3 Fichas de Simulación de los Escenarios de Evacuación en la Estación Guerrero (Línea 3)

FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO																																					
Número de escenario	1		Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 15% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 25% de un tren superobrado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 85 segundos de iniciado el sismo se da la orden evacuar la estación. Además, la puerta de cortesía no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasbordo y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	<table border="1"> <tr> <td>Periodo entre trenes [s]</td> <td>49</td> <td>Tiempo de inicio de la evacuación [s]</td> <td>85</td> </tr> <tr> <td>Tempo de detección y alarma [s]</td> <td></td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Número de usuarios en el tren</td> <td>Vía 1 Universidad</td> <td></td> <td>2250</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso torniquete</td> <td>Vía 2 Indos Verdes</td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso trasbordo</td> <td>1U / 2.52 s</td> <td>Proporción de división del flujo de entrada</td> <td>Vía 1 0.9199366</td> </tr> <tr> <td>Área del agente (m²)</td> <td>380 U / 2.15 s</td> <td>Vía 2</td> <td>0.0800634</td> </tr> <tr> <td># de replicas</td> <td>0.291</td> <td>Velocidad máxima [m/s]</td> <td>U-1 (1475, 169)</td> </tr> <tr> <td>Agentes evacuados</td> <td>30</td> <td>Tipo de respuesta</td> <td>Inmediata</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>270</td> </tr> </table>	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	85	Tempo de detección y alarma [s]			0	Número de usuarios en el tren	Vía 1 Universidad		2250	Tasa de ingreso torniquete	Vía 2 Indos Verdes		0	Tasa de ingreso trasbordo	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Vía 1 0.9199366	Área del agente (m ²)	380 U / 2.15 s	Vía 2	0.0800634	# de replicas	0.291	Velocidad máxima [m/s]	U-1 (1475, 169)	Agentes evacuados	30	Tipo de respuesta	Inmediata			
Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]		85																																				
Tempo de detección y alarma [s]				0																																				
Número de usuarios en el tren	Vía 1 Universidad		2250																																					
Tasa de ingreso torniquete	Vía 2 Indos Verdes		0																																					
Tasa de ingreso trasbordo	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Vía 1 0.9199366																																					
Área del agente (m ²)	380 U / 2.15 s	Vía 2	0.0800634																																					
# de replicas	0.291	Velocidad máxima [m/s]	U-1 (1475, 169)																																					
Agentes evacuados	30	Tipo de respuesta	Inmediata																																					
			270																																					
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo																																							
Fecha	JUNIO 2018																																							

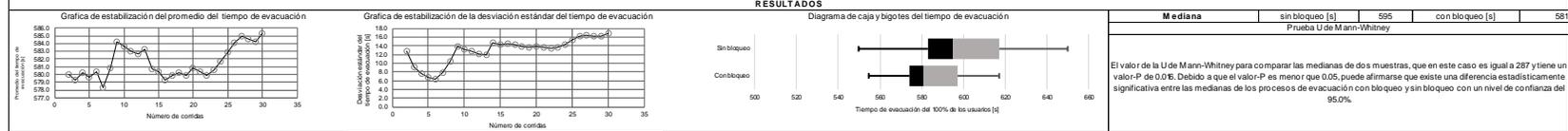


MAPAS DE DENSIDAD

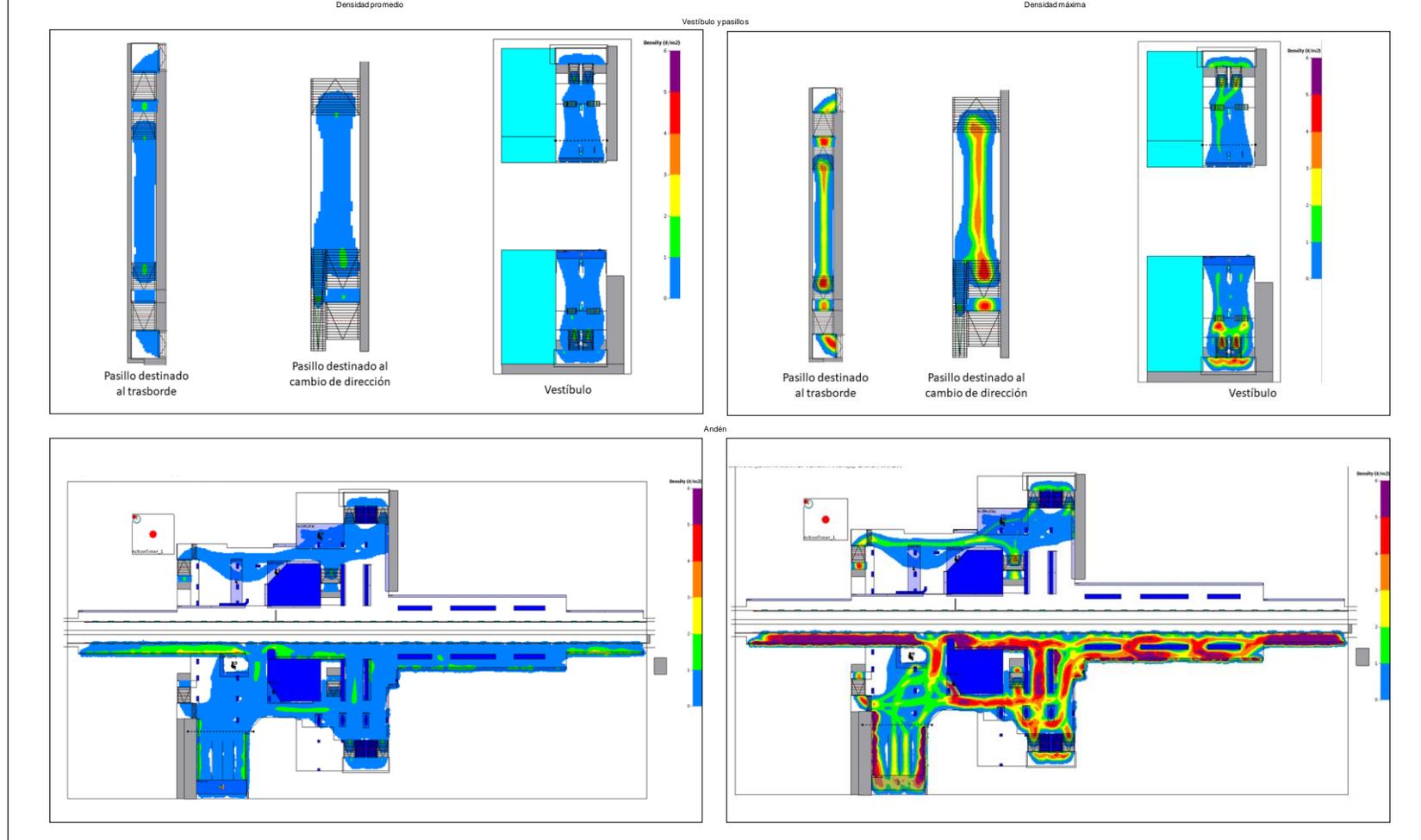


FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO																																	
Número de escenario	2	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 15% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 50% de un tren superobloado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 85 segundos de iniciado el sismo se da la orden evacuar la estación. Además, la puerta de cortesía no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitado, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasbordo y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Periodo entre trenes [s]</td> <td style="text-align: center;">49</td> <td>Tiempo de inicio de la evacuación [s]</td> <td style="text-align: center;">85</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de detección y alarma [s]</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Número de usuarios en el tren</td> <td style="text-align: center;">Via 1</td> <td style="text-align: center;">Universidad</td> <td style="text-align: center;">2250</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso torniquete</td> <td style="text-align: center;">1U / 2.52 s</td> <td style="text-align: center;">Proporción de división del flujo de entrada</td> <td style="text-align: center;">Via 1 0.9199366</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso trasbordo</td> <td style="text-align: center;">380 U / 2.15 s</td> <td style="text-align: center;">Via 2</td> <td style="text-align: center;">0.0800634</td> </tr> <tr> <td>Área del agente (m²)</td> <td style="text-align: center;">0.291</td> <td style="text-align: center;">Velocidad máxima (m/s)</td> <td style="text-align: center;">U- (1475, 169)</td> </tr> <tr> <td># de replicas</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">Tipo de respuesta</td> <td style="text-align: center;">Inmediata</td> </tr> <tr> <td>Agentes evacuados</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">270</td> </tr> </table>	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	85	Tiempo de detección y alarma [s]				Número de usuarios en el tren	Via 1	Universidad	2250	Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Via 1 0.9199366	Tasa de ingreso trasbordo	380 U / 2.15 s	Via 2	0.0800634	Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U- (1475, 169)	# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata	Agentes evacuados	270		
Periodo entre trenes [s]	49		Tiempo de inicio de la evacuación [s]	85																																
Tiempo de detección y alarma [s]																																				
Número de usuarios en el tren	Via 1	Universidad	2250																																	
Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Via 1 0.9199366																																	
Tasa de ingreso trasbordo	380 U / 2.15 s	Via 2	0.0800634																																	
Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U- (1475, 169)																																	
# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata																																	
Agentes evacuados	270																																			
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo	Diagrama																																		
Fecha	JUNIO 2018																																			

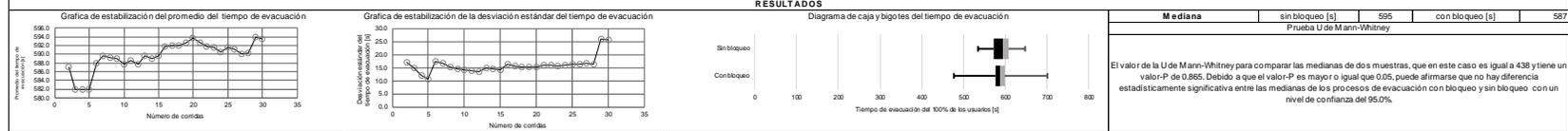


MAPAS DE DENSIDAD

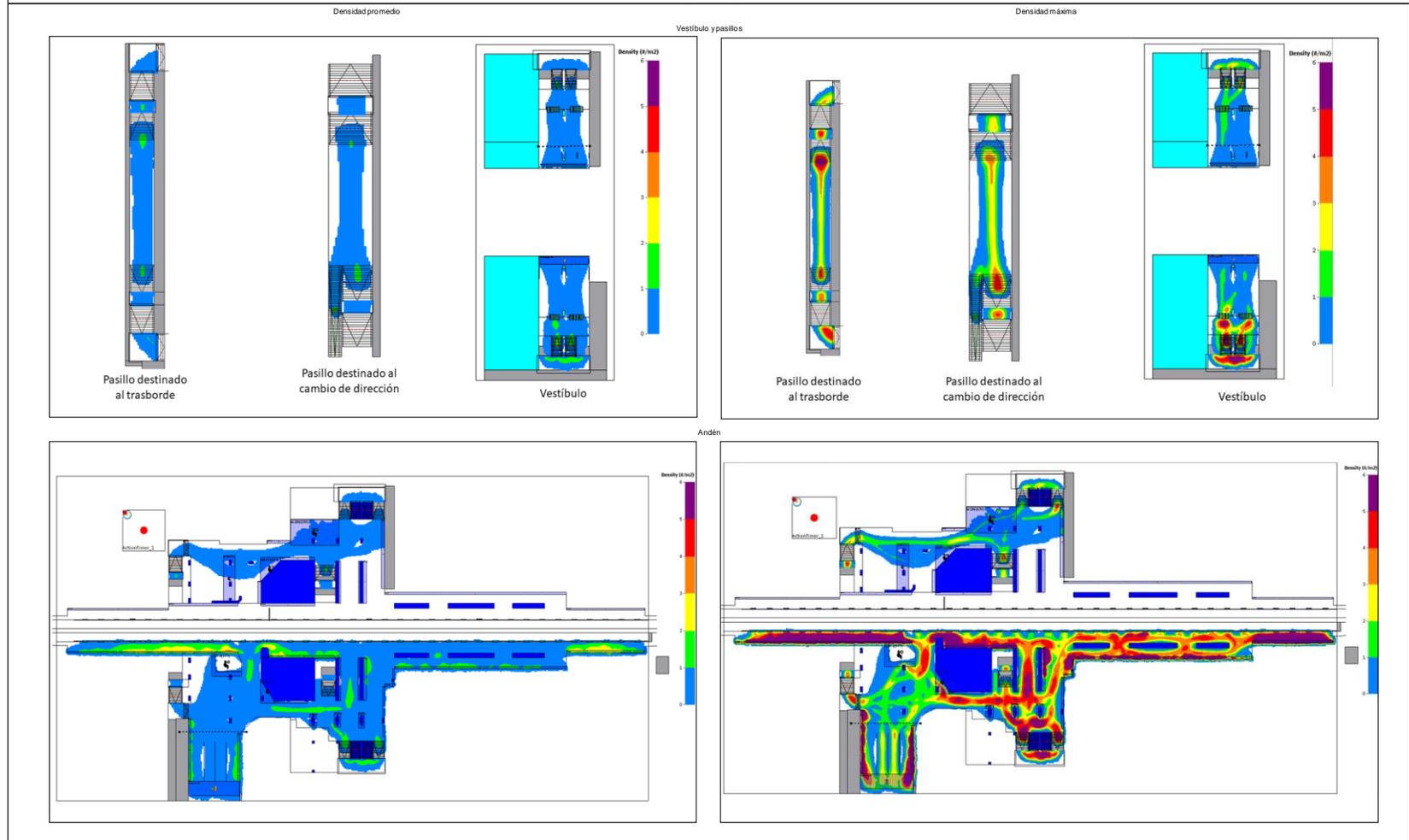


FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO																																	
Número de escenario	3	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 15% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 75% de un tren superobrado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 85 segundos de iniciado el sismo se da el orden evacuar la estación. Además, la puerta de cortesía no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasbordo y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Periodo entre trenes [s]</td> <td style="text-align: center;">49</td> <td>Tiempo de inicio de la evacuación [s]</td> <td style="text-align: center;">85</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de detección y alarma [s]</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Número de usuarios en el tren</td> <td style="text-align: center;">Via 1 Universidad</td> <td style="text-align: center;">Via 2 Indio Vardes</td> <td style="text-align: center;">2250</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso torniquete</td> <td style="text-align: center;">1U / 2.52 s</td> <td>Proporción de división del flujo de entrada</td> <td style="text-align: center;">Via 1 0.9199366</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso trasbordo</td> <td style="text-align: center;">380 U / 2.15 s</td> <td>Velocidad máxima [m/s]</td> <td style="text-align: center;">Via 2 0.0050634</td> </tr> <tr> <td>Área del agente [m²]</td> <td style="text-align: center;">0.291</td> <td>Velocidad máxima [m/s]</td> <td style="text-align: center;">U-1 (1475, 169)</td> </tr> <tr> <td># de replicas</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td>Tipo de respuesta</td> <td style="text-align: center;">Inmediata</td> </tr> <tr> <td>Agentes evacuados</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">270</td> </tr> </table>	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	85	Tiempo de detección y alarma [s]				Número de usuarios en el tren	Via 1 Universidad	Via 2 Indio Vardes	2250	Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Via 1 0.9199366	Tasa de ingreso trasbordo	380 U / 2.15 s	Velocidad máxima [m/s]	Via 2 0.0050634	Área del agente [m ²]	0.291	Velocidad máxima [m/s]	U-1 (1475, 169)	# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata	Agentes evacuados	270		
Periodo entre trenes [s]	49		Tiempo de inicio de la evacuación [s]	85																																
Tiempo de detección y alarma [s]																																				
Número de usuarios en el tren	Via 1 Universidad	Via 2 Indio Vardes	2250																																	
Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Via 1 0.9199366																																	
Tasa de ingreso trasbordo	380 U / 2.15 s	Velocidad máxima [m/s]	Via 2 0.0050634																																	
Área del agente [m ²]	0.291	Velocidad máxima [m/s]	U-1 (1475, 169)																																	
# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata																																	
Agentes evacuados	270																																			
Fecha	JUNIO 2018																																			

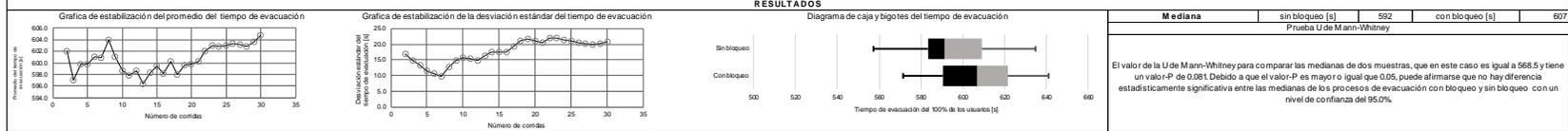


MAPAS DE DENSIDAD

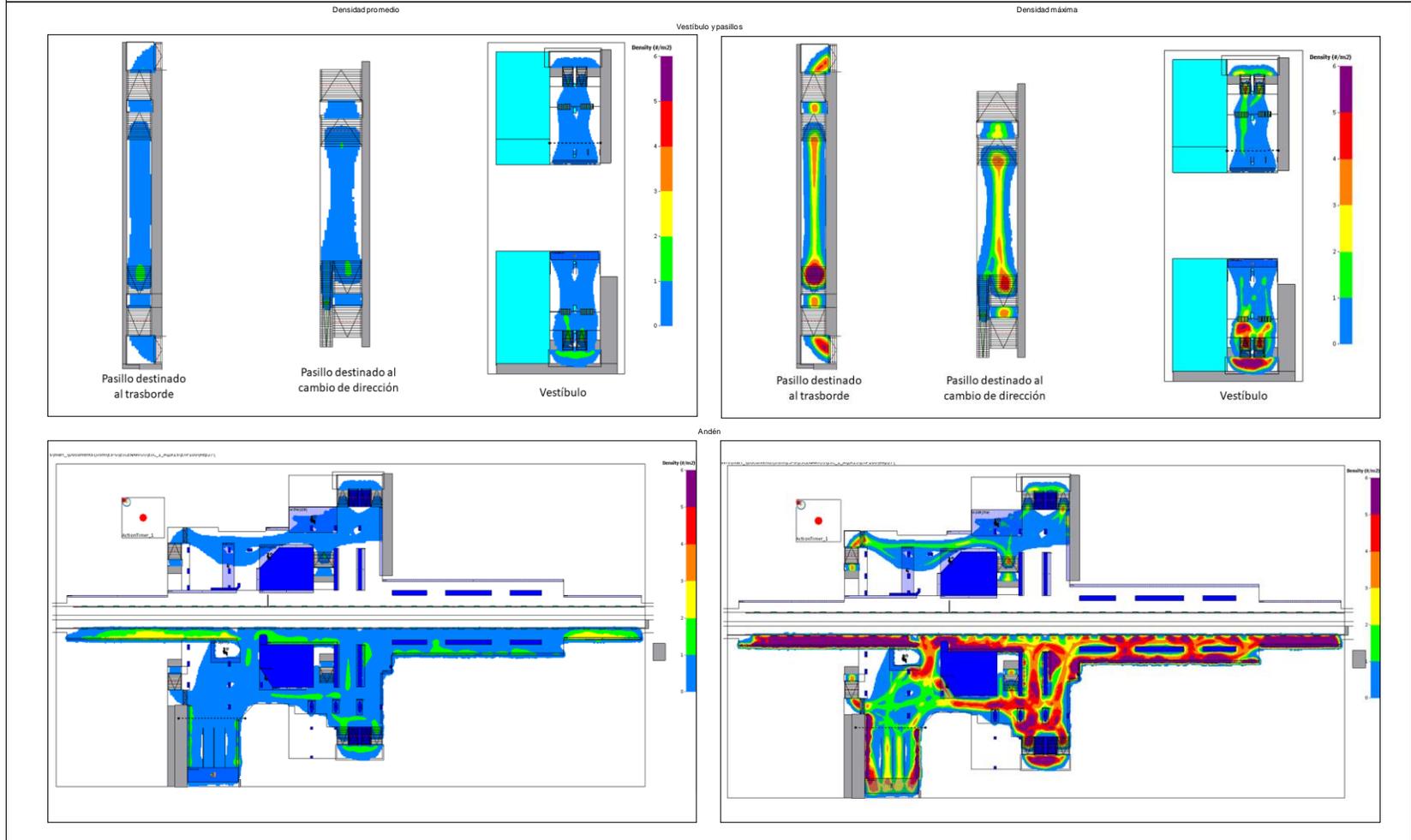


FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO																																	
Número de escenario	4	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 15% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 100% de un tren superobrado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 85 segundos de iniciado el sismo se da el orden evacuar la estación. Además, la puerta de cortesía no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasbordo y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Periodo entre trenes [s]</td> <td style="text-align: center;">49</td> <td>Tiempo de inicio de la evacuación [s]</td> <td style="text-align: center;">85</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de detección y alarma [s]</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Número de usuarios en el tren</td> <td style="text-align: center;">Via 1 Universidad</td> <td style="text-align: center;">Via 2 Indios Verdes</td> <td style="text-align: center;">2250</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso torniquete</td> <td style="text-align: center;">1U / 2.52 s</td> <td>Proporción de división del flujo de entrada</td> <td style="text-align: center;">Via 1 0.9199366</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso trasbordo</td> <td style="text-align: center;">380 U / 2.6 s</td> <td style="text-align: center;">Via 2</td> <td style="text-align: center;">0.0800634</td> </tr> <tr> <td>Área del agente (m²)</td> <td style="text-align: center;">0.291</td> <td>Velocidad máxima (m/s)</td> <td style="text-align: center;">U-1 (1475, 169)</td> </tr> <tr> <td># de replicas</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td>Tipo de respuesta</td> <td style="text-align: center;">Inmediata</td> </tr> <tr> <td>Agentes evacuados</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">270</td> </tr> </table>	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	85	Tiempo de detección y alarma [s]				Número de usuarios en el tren	Via 1 Universidad	Via 2 Indios Verdes	2250	Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Via 1 0.9199366	Tasa de ingreso trasbordo	380 U / 2.6 s	Via 2	0.0800634	Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U-1 (1475, 169)	# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata	Agentes evacuados	270		
Periodo entre trenes [s]	49		Tiempo de inicio de la evacuación [s]	85																																
Tiempo de detección y alarma [s]																																				
Número de usuarios en el tren	Via 1 Universidad	Via 2 Indios Verdes	2250																																	
Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Via 1 0.9199366																																	
Tasa de ingreso trasbordo	380 U / 2.6 s	Via 2	0.0800634																																	
Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U-1 (1475, 169)																																	
# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata																																	
Agentes evacuados	270																																			
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo																																			
Fecha	JUNIO 2018																																			

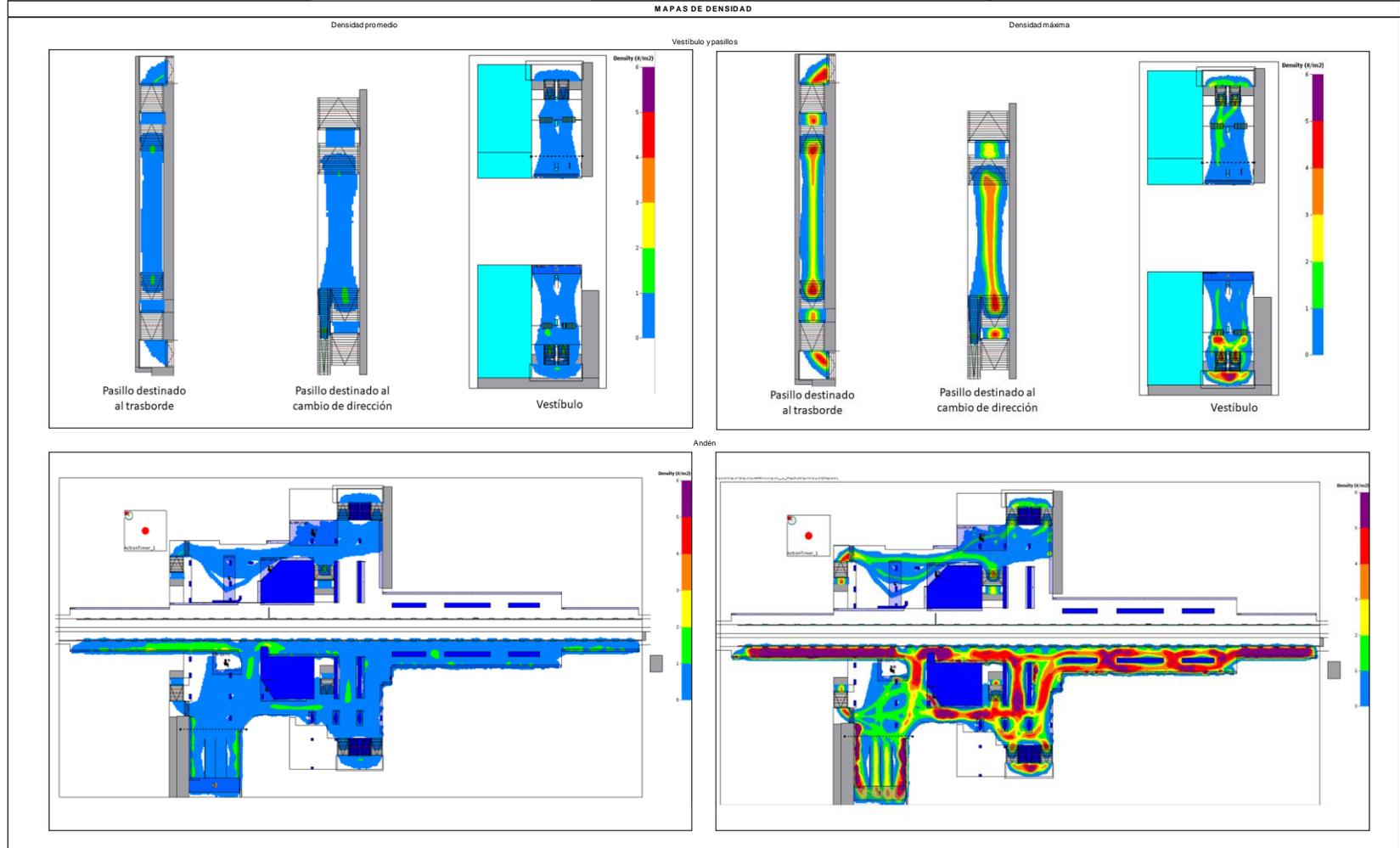
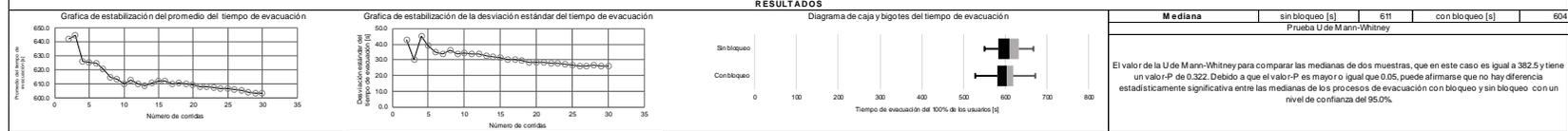


MAPAS DE DENSIDAD



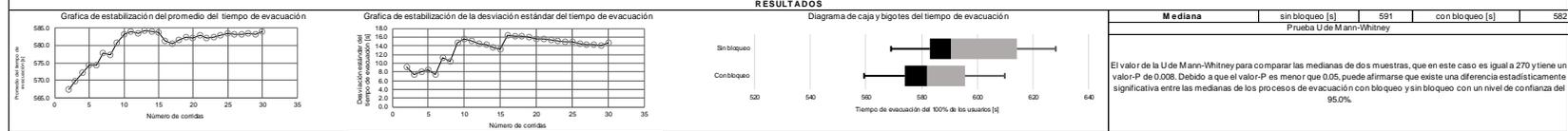
FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO																																	
Número de escenario	5	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 30% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 25% de un tren superobrado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 85 segundos de iniciado el sismo se da el orden evacuar la estación. Además, la puerta de cortesía no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasbordo y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Periodo entre trenes [s]</td> <td style="text-align: center;">49</td> <td>Tiempo de inicio de la evacuación [s]</td> <td style="text-align: center;">85</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de detección y alarma [s]</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Número de usuarios en el tren</td> <td style="text-align: center;">Via 1 Universidad</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso torniquete</td> <td style="text-align: center;">1U / 2.52 s</td> <td>Proportión de división del flujo de entrada</td> <td style="text-align: center;">Via 1 0.9199366</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso trasbordo</td> <td style="text-align: center;">380 U / 2.15 s</td> <td style="text-align: center;">Via 2 0.0800634</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Área del agente (m²)</td> <td style="text-align: center;">0.291</td> <td>Velocidad máxima (m/s)</td> <td style="text-align: center;">U-1 (1475, 169)</td> </tr> <tr> <td># de replicas</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td>Tipo de respuesta</td> <td style="text-align: center;">Inmediata</td> </tr> <tr> <td>Agentes evacuados</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">270</td> </tr> </table>	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	85	Tiempo de detección y alarma [s]				Número de usuarios en el tren	Via 1 Universidad			Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proportión de división del flujo de entrada	Via 1 0.9199366	Tasa de ingreso trasbordo	380 U / 2.15 s	Via 2 0.0800634		Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U-1 (1475, 169)	# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata	Agentes evacuados	270		
Periodo entre trenes [s]	49		Tiempo de inicio de la evacuación [s]	85																																
Tiempo de detección y alarma [s]																																				
Número de usuarios en el tren	Via 1 Universidad																																			
Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proportión de división del flujo de entrada	Via 1 0.9199366																																	
Tasa de ingreso trasbordo	380 U / 2.15 s	Via 2 0.0800634																																		
Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U-1 (1475, 169)																																	
# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata																																	
Agentes evacuados	270																																			
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo		Diagrama																																	
Fecha	JUNIO 2018																																			

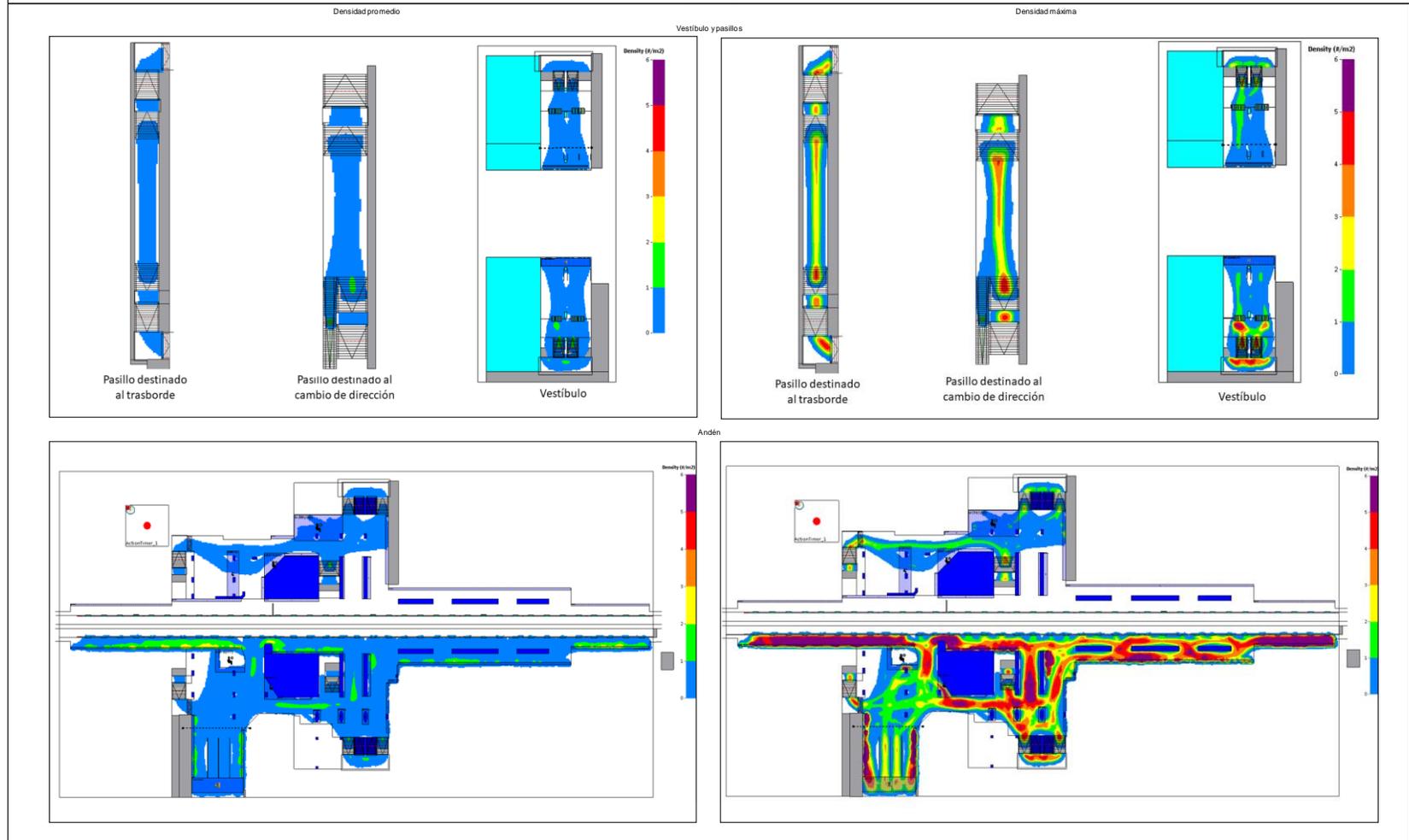


FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO					
Número de escenario	6	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 30% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 50% de un tren superobrado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 85 segundos de iniciado el sismo se da el orden evacuar la estación. Además, la puerta de cortesía no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasbordo y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	85	
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo		Diagrama	Tiempo de detección y alarma [s]				
Fecha	JUNIO 2018			Número de usuarios en el tren	Via 1	Universidad	2250	
				Tasa de ingreso torniquete	1U/ 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Via 1	0.9199366
				Tasa de ingreso trasbordo	380 U/ 215 s	Via 2	0.0800634	
				Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U- (1475, 169)	
				# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata	
				Agentes evacuados	270			



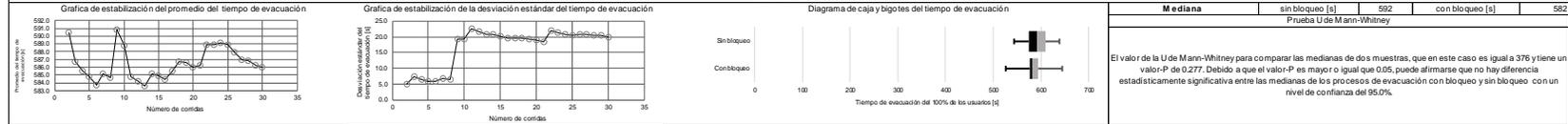
MAPAS DE DENSIDAD



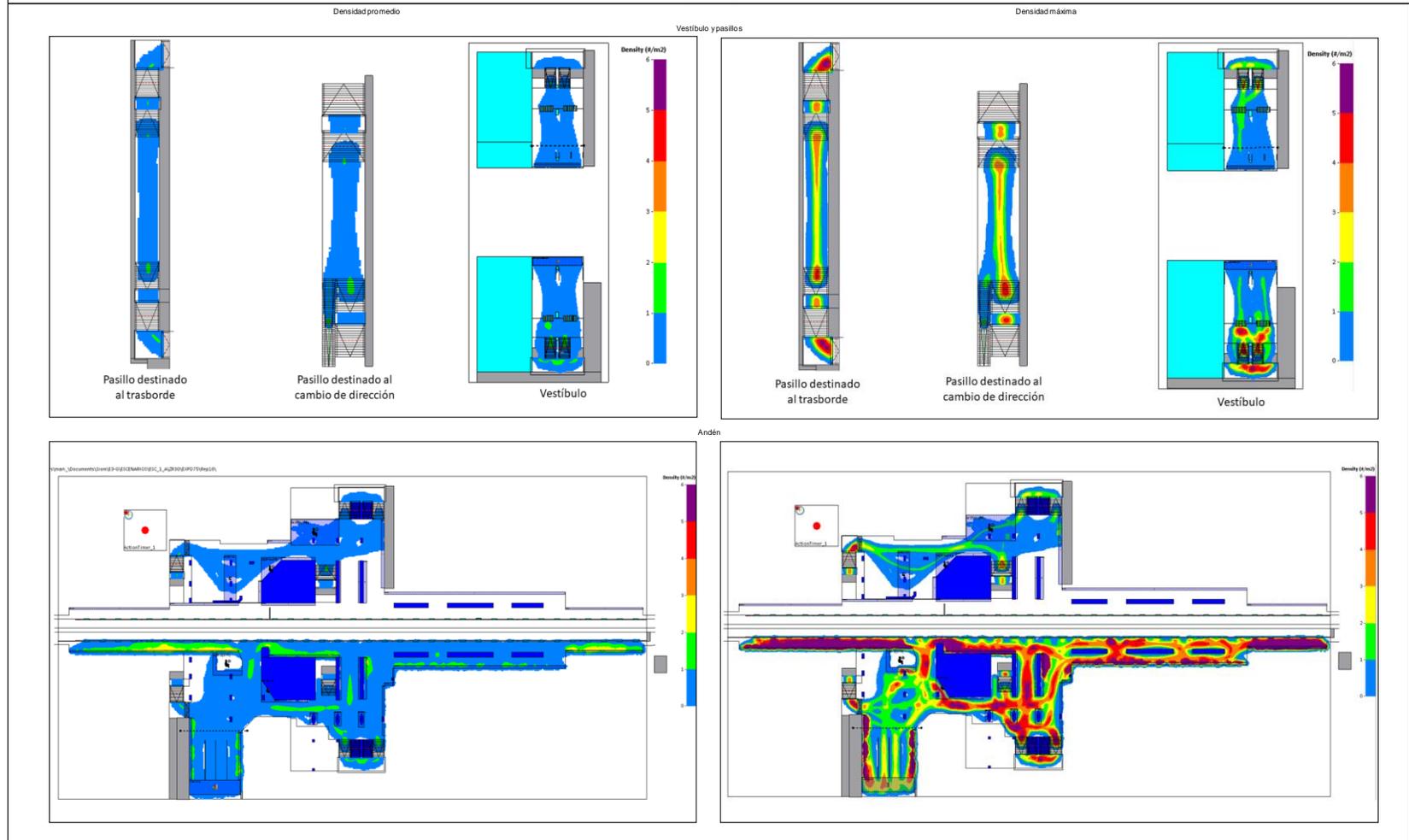
FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO	
Número de escenario	7	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 30% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 75% de un tren superobrado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 85 segundos de iniciado el sismo se da el orden evacuar la estación. Además, la puerta de cortesía no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasbordo y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	Periodo entre trenes [s]
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo			Tiempo de inicio de la evacuación [s]
Fecha	JUNIO 2018			Tiempo de detección y alarma [s]
				Número de usuarios en el tren
				Tasa de ingreso torniquete
				Tasa de ingreso trasbordo
				Área del agente (m ²)
				# de replicas
				Agentes evacuados

RESULTADOS

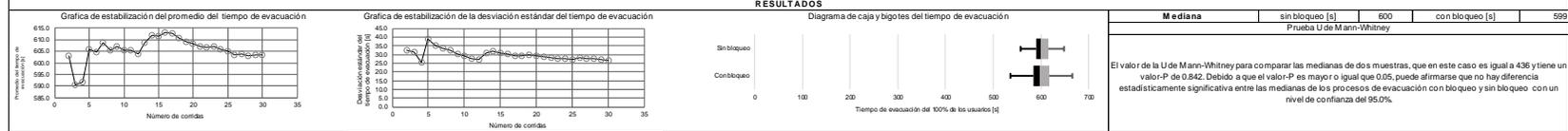


MAPAS DE DENSIDAD

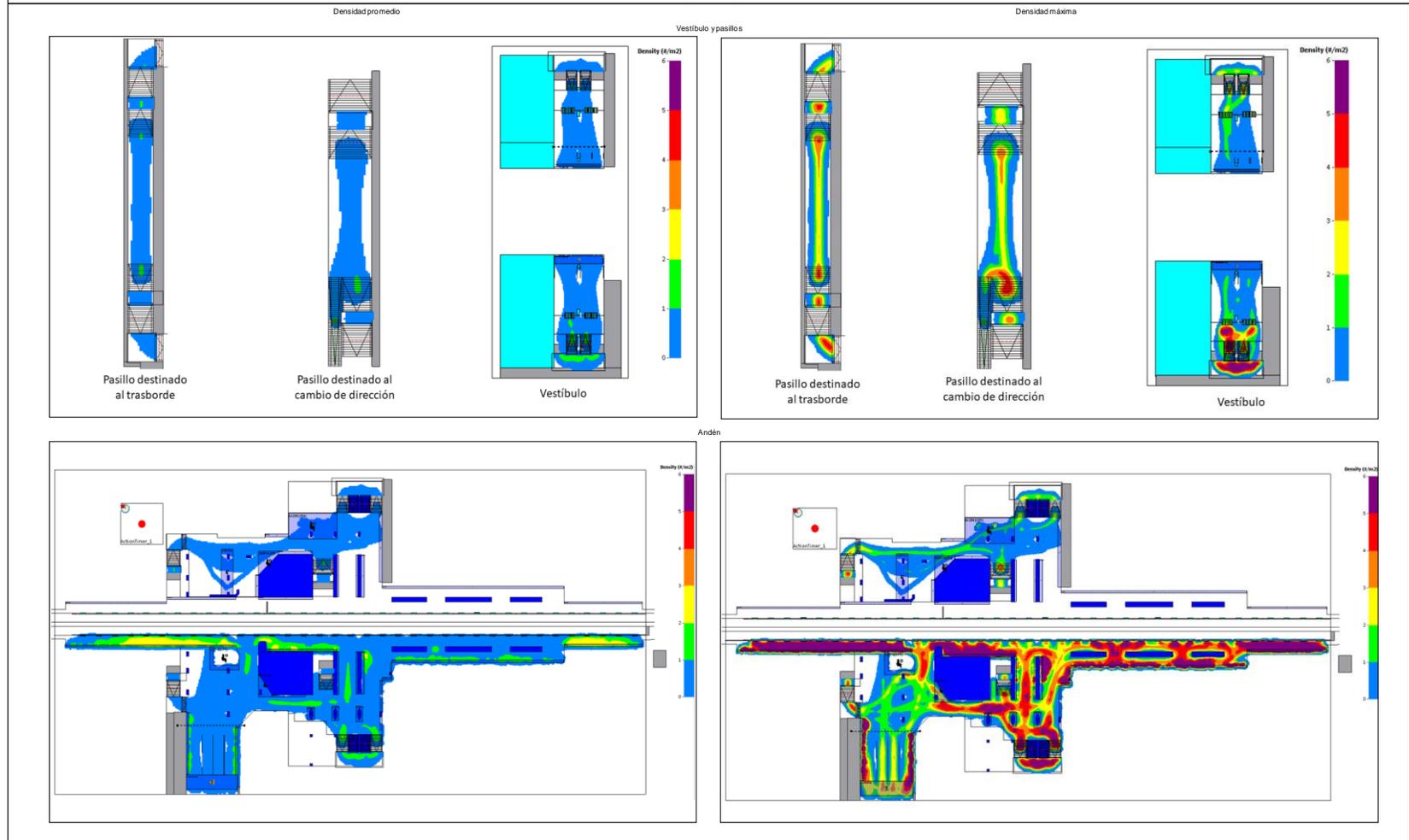


FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO	Diagrama	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	85
Número de escenario	8	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 30% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 100% de un tren superobloado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 85 segundos de iniciado el sismo se da el orden evacuar la estación. Además, la puerta de cortesía no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasbordo y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama		Tempo de detección y alarma [s]	0		
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo				Número de usuarios en el tren	Via 1	Universidad	2250
Fecha	JUNIO 2018				Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proportión de división del flujo de entrada	Via 1	0.9199366
					Tasa de ingreso trasbordo	380 U / 2.15 s	Via 2	0.0800634
					Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U- (1475, 169)
					# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata
					Agentes evacuados	270		



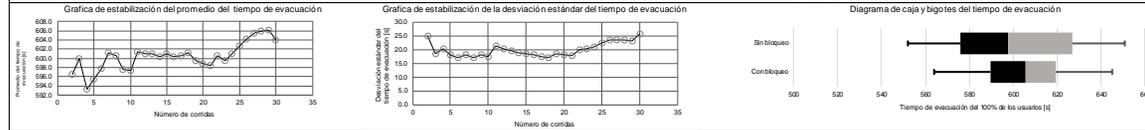
MAPAS DE DENSIDAD



FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

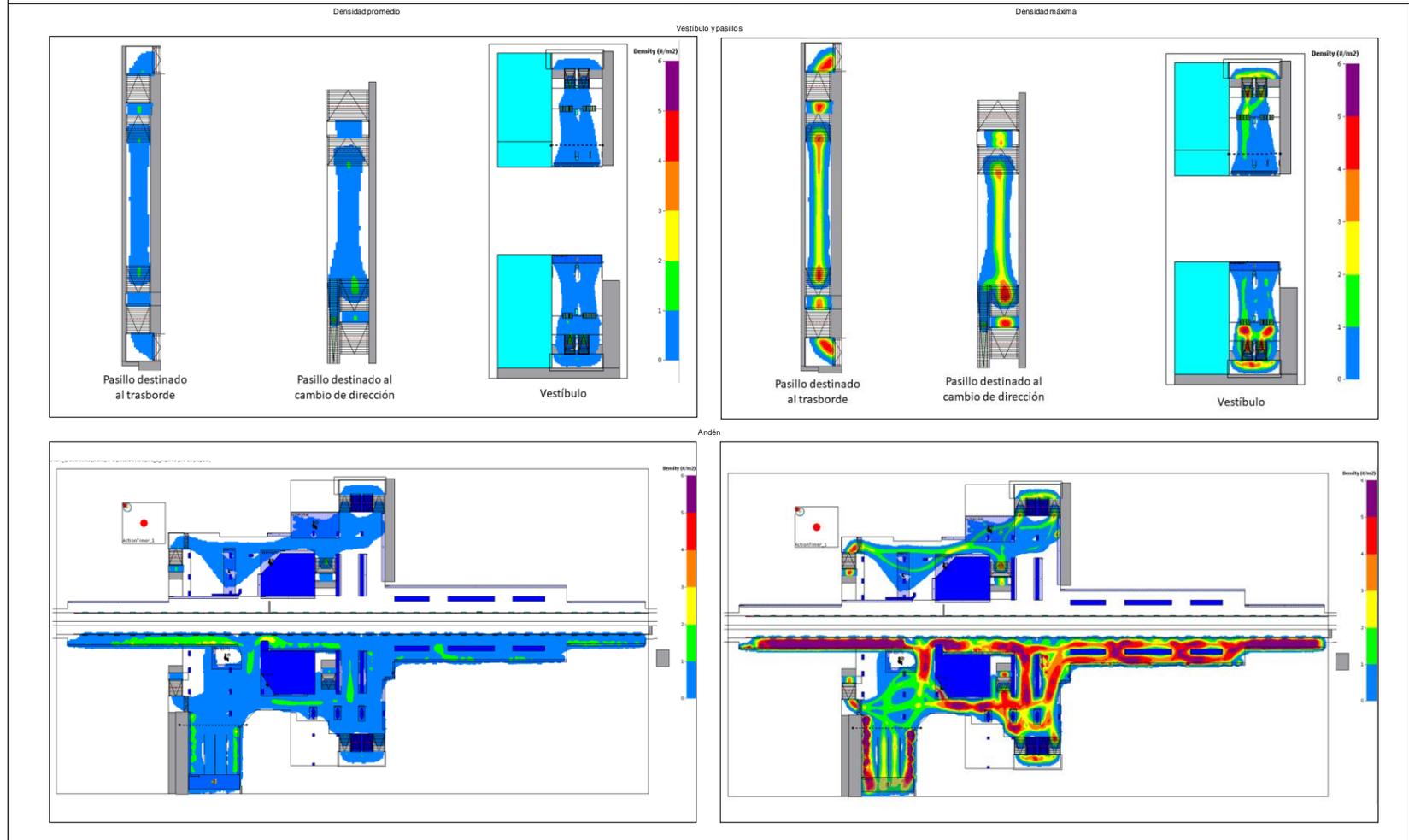
DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO																																	
Número de escenario	9	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 45% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 25% de un tren superobrado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 85 segundos de iniciado el sismo se da el orden evacuar la estación. Además, la puerta de cortesía no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasbordo y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Periodo entre trenes [s]</td> <td style="text-align: center;">49</td> <td>Tiempo de inicio de la evacuación [s]</td> <td style="text-align: center;">85</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de detección y alarma [s]</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Número de usuarios en el tren</td> <td style="text-align: center;">Via 1</td> <td style="text-align: center;">Universidad</td> <td style="text-align: center;">2250</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso torniquete</td> <td style="text-align: center;">1U / 2.52 s</td> <td style="text-align: center;">Indo y Verdes</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso trasbordo</td> <td style="text-align: center;">380 U / 2.15 s</td> <td style="text-align: center;">flujo de entrada</td> <td style="text-align: center;">Via 1</td> </tr> <tr> <td>Área del agente (m²)</td> <td style="text-align: center;">0.291</td> <td style="text-align: center;">Velocidad máxima (m/s)</td> <td style="text-align: center;">U-1 (1475, 169)</td> </tr> <tr> <td># de replicas</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">Tipo de respuesta</td> <td style="text-align: center;">Inmediata</td> </tr> <tr> <td>Agentes evacuados</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">270</td> </tr> </table>	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	85	Tiempo de detección y alarma [s]				Número de usuarios en el tren	Via 1	Universidad	2250	Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Indo y Verdes	0	Tasa de ingreso trasbordo	380 U / 2.15 s	flujo de entrada	Via 1	Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U-1 (1475, 169)	# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata	Agentes evacuados	270		
Periodo entre trenes [s]	49		Tiempo de inicio de la evacuación [s]	85																																
Tiempo de detección y alarma [s]																																				
Número de usuarios en el tren	Via 1	Universidad	2250																																	
Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Indo y Verdes	0																																	
Tasa de ingreso trasbordo	380 U / 2.15 s	flujo de entrada	Via 1																																	
Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U-1 (1475, 169)																																	
# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata																																	
Agentes evacuados	270																																			
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo	Diagrama	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">Mediana</th> <th style="text-align: center;">sin bloqueo [s]</th> <th style="text-align: center;">598</th> <th style="text-align: center;">con bloqueo [s]</th> <th style="text-align: center;">606</th> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Prueba U de Mann-Whitney</td> </tr> </table>		Mediana	sin bloqueo [s]	598	con bloqueo [s]	606	Prueba U de Mann-Whitney																										
Mediana	sin bloqueo [s]	598	con bloqueo [s]	606																																
Prueba U de Mann-Whitney																																				
Fecha	JUNIO 2018																																			

RESULTADOS



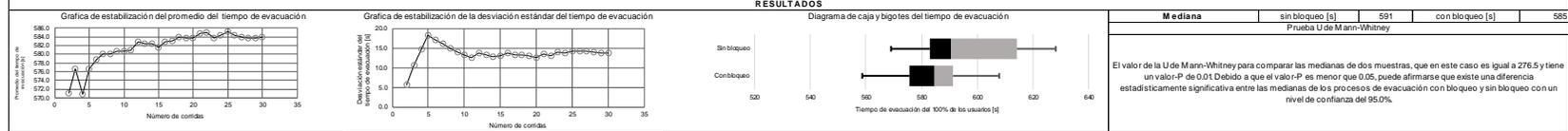
El valor de la U de Mann-Whitney para comparar las medianas de dos muestras, que en este caso es igual a 4915 y tiene un valor-P de 0.544. Debido a que el valor-P es mayor o igual que 0.05, puede afirmarse que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de los procesos de evacuación con bloqueo y sin bloqueo con un nivel de confianza del 95.0%.

MAPAS DE DENSIDAD

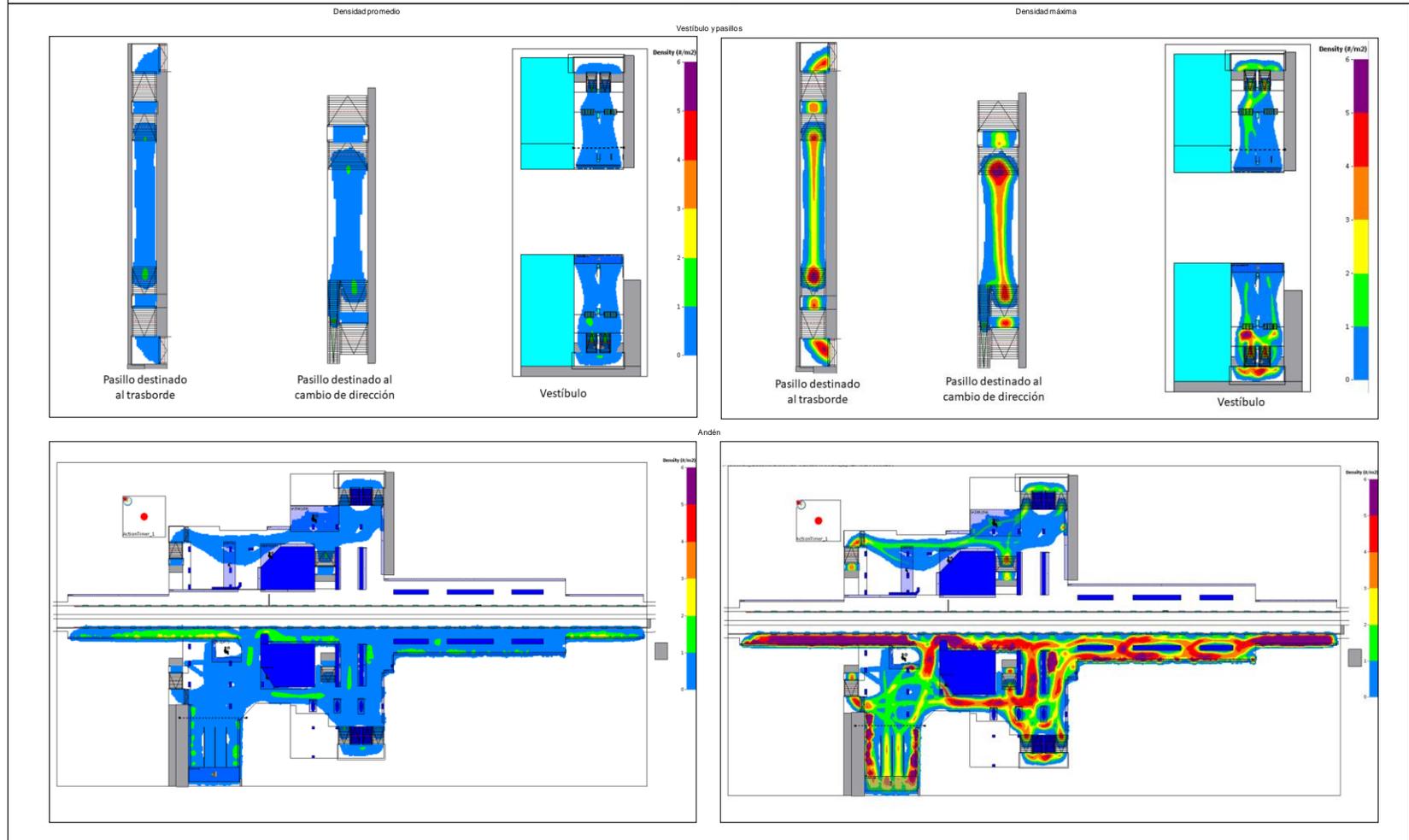


FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO																																					
Número de escenario	10	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 45% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 50% de un tren superobrado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 85 segundos de iniciado el sismo se da el orden evacuar la estación. Además, la puerta de cortesía no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasbordo y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Periodo entre trenes [s]</td> <td style="text-align: center;">49</td> <td>Tiempo de inicio de la evacuación [s]</td> <td style="text-align: center;">85</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de detección y alarma [s]</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Número de usuarios en el tren</td> <td style="text-align: center;">Via 1</td> <td style="text-align: center;">Universidad</td> <td style="text-align: center;">2250</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso torniquete</td> <td style="text-align: center;">Via 2</td> <td style="text-align: center;">Indos Verdes</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso trasbordo</td> <td style="text-align: center;">1U/ 2.52 s</td> <td>Proporción de división del flujo de entrada</td> <td style="text-align: center;">Via 1</td> </tr> <tr> <td>Área del agente (m²)</td> <td style="text-align: center;">380 U/ 2.6 s</td> <td style="text-align: center;">Via 2</td> <td style="text-align: center;">0.0505634</td> </tr> <tr> <td># de replicas</td> <td style="text-align: center;">0.291</td> <td>Velocidad máxima (m/s)</td> <td style="text-align: center;">U- (1475, 169)</td> </tr> <tr> <td>Agentes evacuados</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td>Tipo de respuesta</td> <td style="text-align: center;">Inmediata</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">270</td> </tr> </table>	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	85	Tiempo de detección y alarma [s]				Número de usuarios en el tren	Via 1	Universidad	2250	Tasa de ingreso torniquete	Via 2	Indos Verdes	0	Tasa de ingreso trasbordo	1U/ 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Via 1	Área del agente (m ²)	380 U/ 2.6 s	Via 2	0.0505634	# de replicas	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U- (1475, 169)	Agentes evacuados	30	Tipo de respuesta	Inmediata				270
Periodo entre trenes [s]	49		Tiempo de inicio de la evacuación [s]	85																																				
Tiempo de detección y alarma [s]																																								
Número de usuarios en el tren	Via 1	Universidad	2250																																					
Tasa de ingreso torniquete	Via 2	Indos Verdes	0																																					
Tasa de ingreso trasbordo	1U/ 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Via 1																																					
Área del agente (m ²)	380 U/ 2.6 s	Via 2	0.0505634																																					
# de replicas	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U- (1475, 169)																																					
Agentes evacuados	30	Tipo de respuesta	Inmediata																																					
			270																																					
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo																																							
Fecha	JUNIO 2018																																							

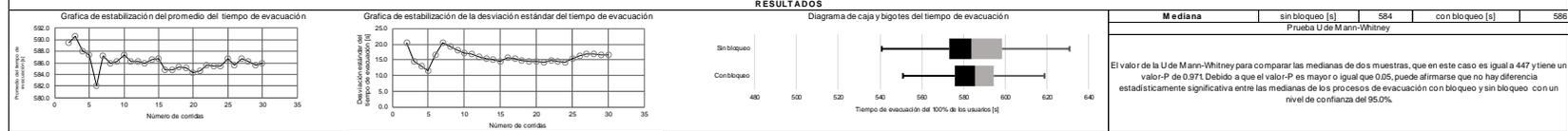


MAPAS DE DENSIDAD

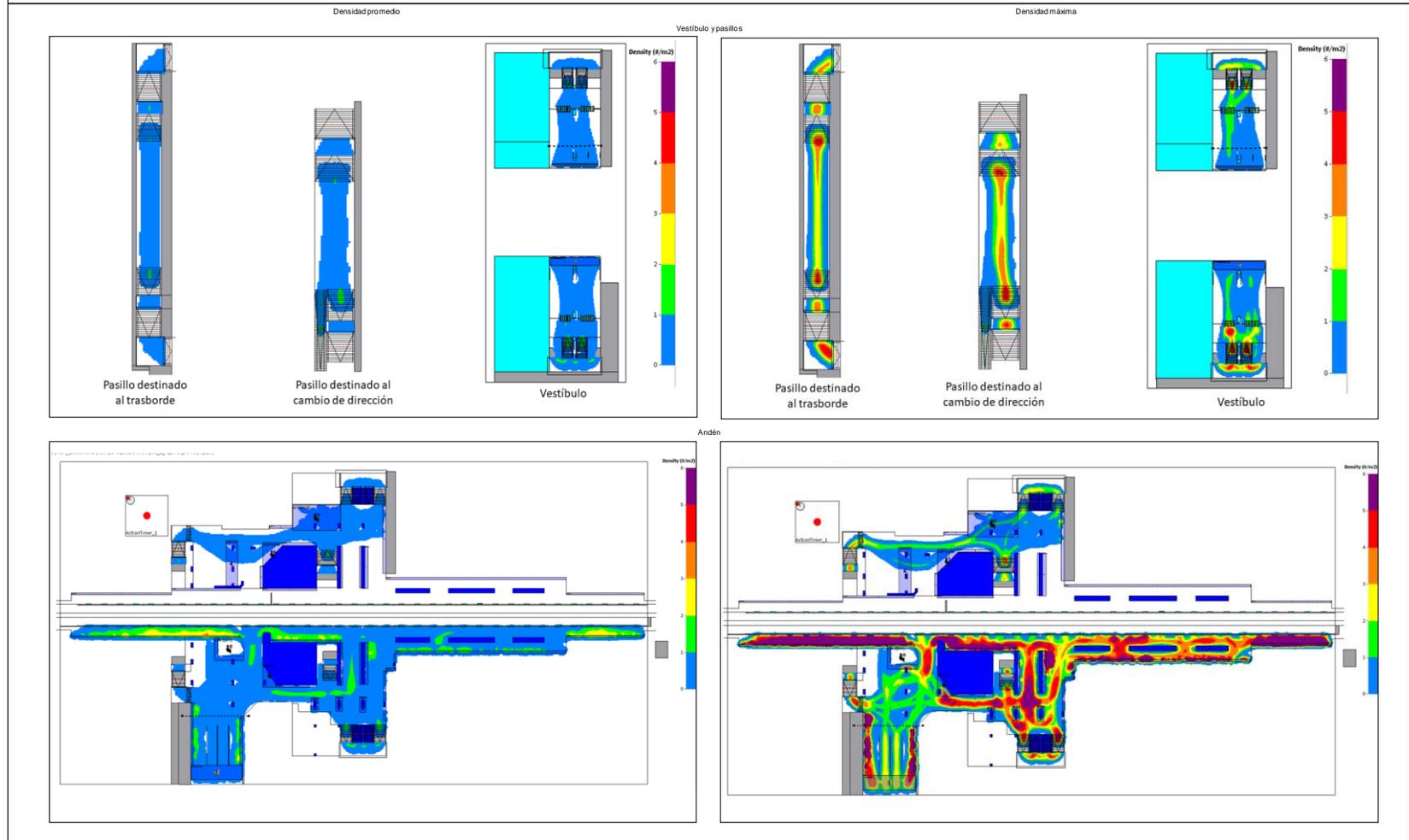


FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO																																	
Número de escenario	11	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 45% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 75% de un tren superobrado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 85 segundos de iniciado el sismo se da el orden evacuar la estación. Además, la puerta de cortesía no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasbordo y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Periodo entre trenes [s]</td> <td style="text-align: center;">49</td> <td>Tiempo de inicio de la evacuación [s]</td> <td style="text-align: center;">85</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de detección y alarma [s]</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Número de usuarios en el tren</td> <td style="text-align: center;">Via 1 Universidad</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso torniquete</td> <td style="text-align: center;">1U / 2.52 s</td> <td>Proportión de división del flujo de entrada</td> <td style="text-align: center;">Via 1 0.9199366</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso trasbordo</td> <td style="text-align: center;">380 U / 2.15 s</td> <td></td> <td style="text-align: center;">Via 2 0.0800634</td> </tr> <tr> <td>Área del agente (m²)</td> <td style="text-align: center;">0.291</td> <td>Velocidad máxima (m/s)</td> <td style="text-align: center;">U-1 (1475, 169)</td> </tr> <tr> <td># de replicas</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td>Tipo de respuesta</td> <td style="text-align: center;">Inmediata</td> </tr> <tr> <td>Agentes evacuados</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">270</td> </tr> </table>	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	85	Tiempo de detección y alarma [s]				Número de usuarios en el tren	Via 1 Universidad			Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proportión de división del flujo de entrada	Via 1 0.9199366	Tasa de ingreso trasbordo	380 U / 2.15 s		Via 2 0.0800634	Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U-1 (1475, 169)	# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata	Agentes evacuados	270		
Periodo entre trenes [s]	49		Tiempo de inicio de la evacuación [s]	85																																
Tiempo de detección y alarma [s]																																				
Número de usuarios en el tren	Via 1 Universidad																																			
Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proportión de división del flujo de entrada	Via 1 0.9199366																																	
Tasa de ingreso trasbordo	380 U / 2.15 s		Via 2 0.0800634																																	
Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U-1 (1475, 169)																																	
# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata																																	
Agentes evacuados	270																																			
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo		Diagrama																																	
Fecha	JUNIO 2018																																			



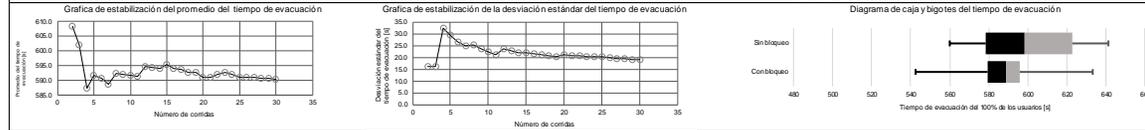
MAPAS DE DENSIDAD



FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

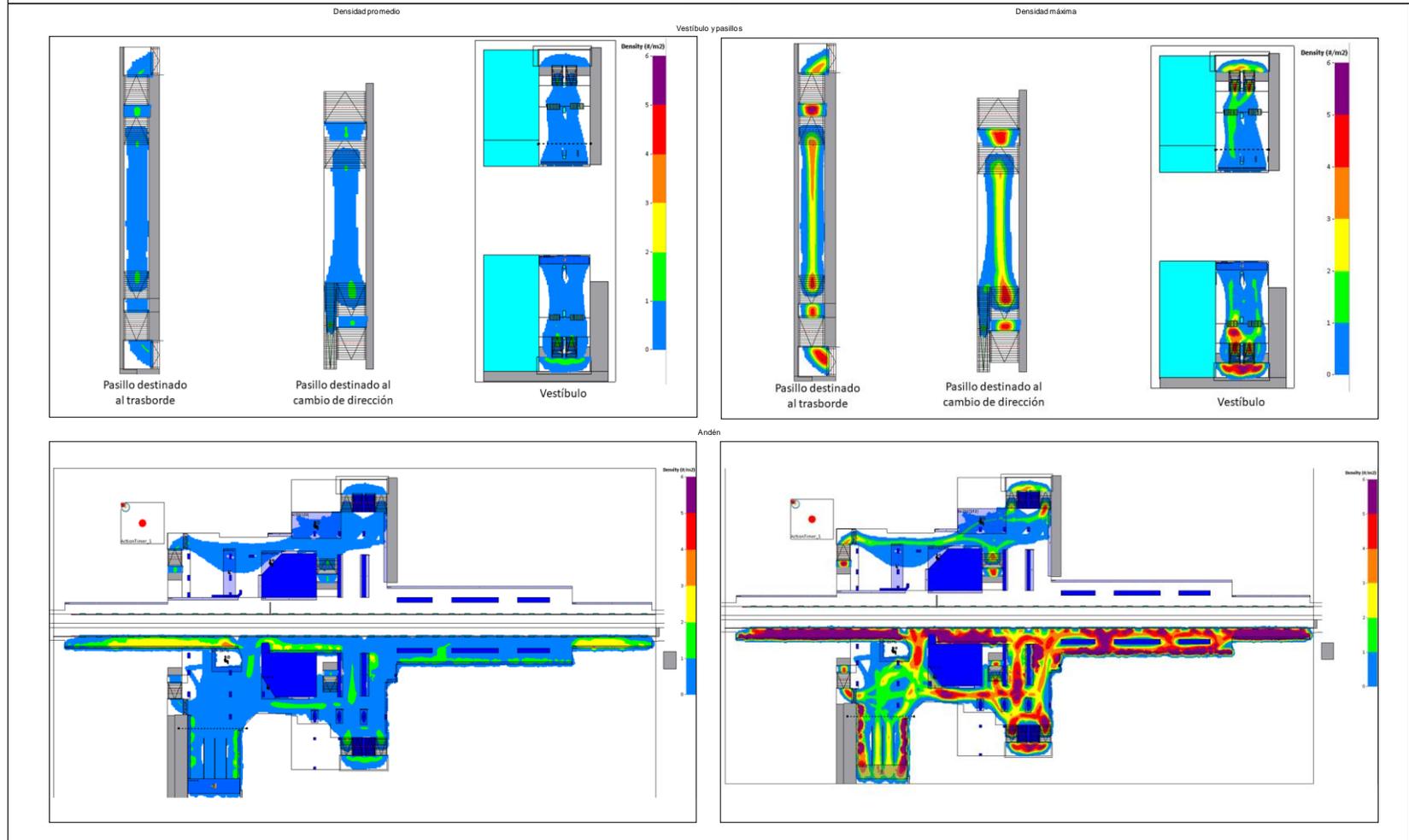
DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO		
Número de escenario	12	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo parcial del 50% en el segmento correspondiente al 25% del andén, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 45% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 100% de un tren superobrado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 85 segundos de iniciado el sismo se da el orden evacuar la estación. Además, la puerta de cortesía no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasbordo y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	Diagrama	
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo		Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	85
Fecha	JUNIO 2018	Tiempo de detección y alarma [s]			0
		Número de usuarios en el tren	Via 1	Universidad	2250
		Tasa de ingreso torniquete	Via 2	Indios Verdes	0
		Tasa de ingreso trasbordo	1U/ 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Via 1 0.9199366
		Área del agente(m ²)	380 U/ 2.6 s	Via 2	0.0800634
		# de replicas	0.291	Velocidad máxima [m/s]	U- (1475, 169)
		Agentes evacuados	30	Tipo de respuesta	Inmediata
			270		

RESULTADOS



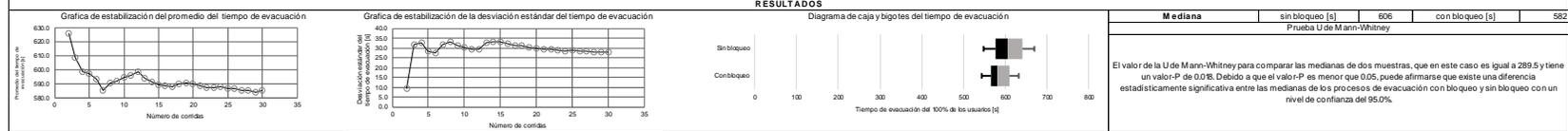
Mediana	sin bloqueo [s]	599	con bloqueo [s]	589
	Prueba U de Mann-Whitney			
<p>El valor de la U de Mann-Whitney para comparar las medianas de dos muestras, que en este caso es igual a 350.5 y tiene un valor-P de 0.843. Debido a que el valor-P es mayor o igual que 0.05, puede afirmarse que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de los procesos de evacuación con bloqueo y sin bloqueo con un nivel de confianza del 95.0%.</p>				

MAPAS DE DENSIDAD

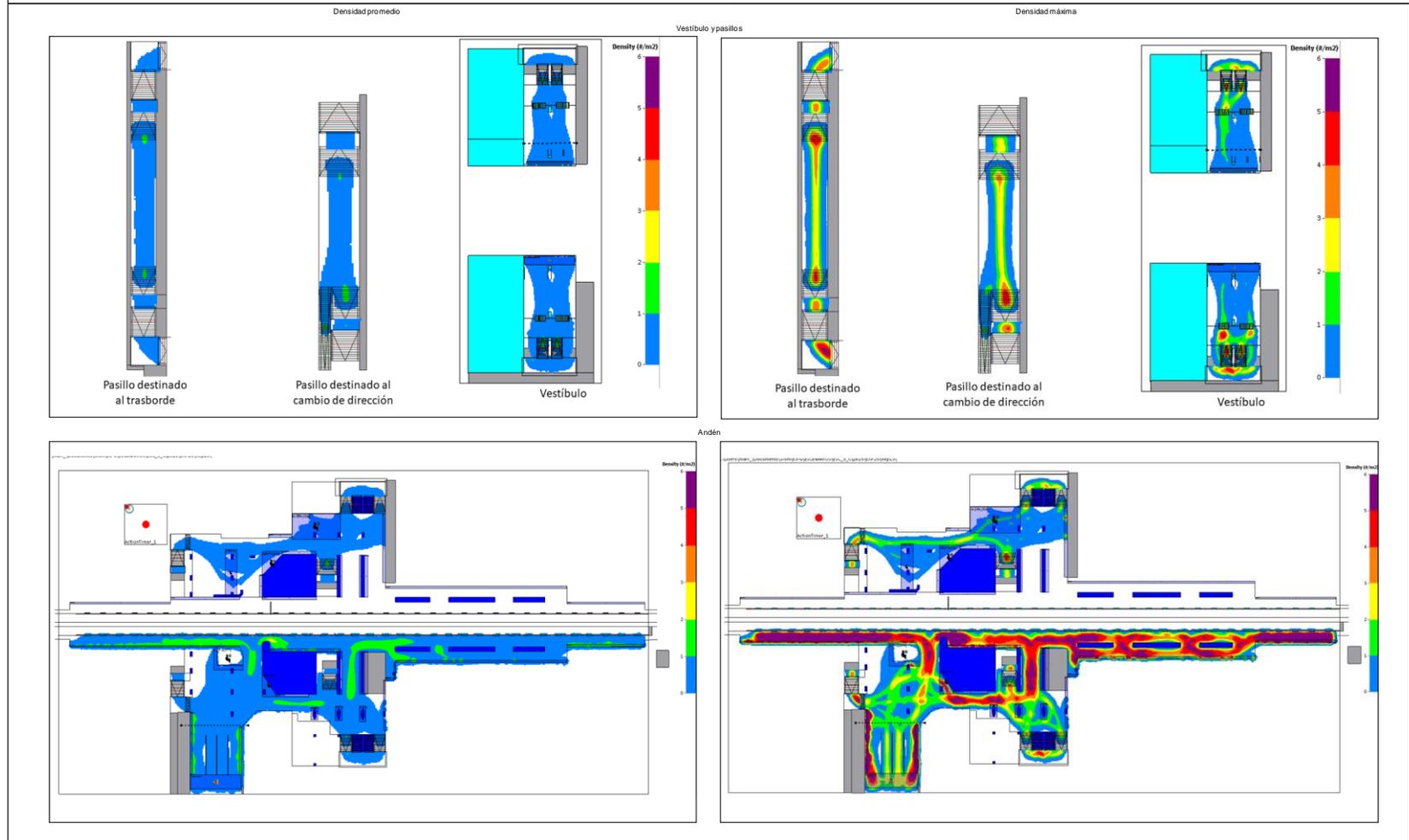


FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO					
Número de escenario	13	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo total del pasillo 3, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 5% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 25% de un tren superpoblado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 95 segundos de iniciado el sismo se da la orden evacuar la estación. Además, la puerta de conesia no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasborde y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	95	
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo		Diagrama	Diagrama	Tiempo de detección y alarma [s]	0		2250
Fecha	JUNIO 2018				Número de usuarios en el tren	Via 1	Universidad	Indos Verdes	0
				Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Via 1	0.9199366
				Tasa de ingreso trasborde	380 U / 215 s	Via 2	0.0800634	
				Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U-1 (1475, 169)	
				# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata	
				Agentes evacuados	270			

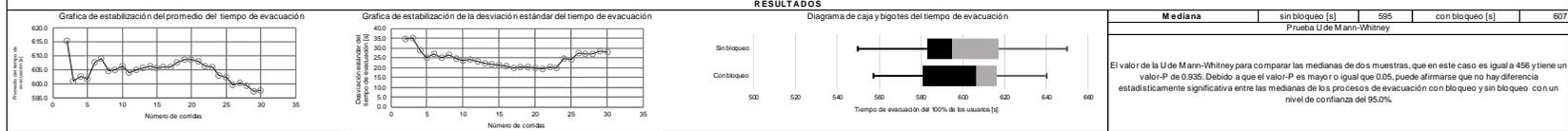


MAPAS DE DENSIDAD

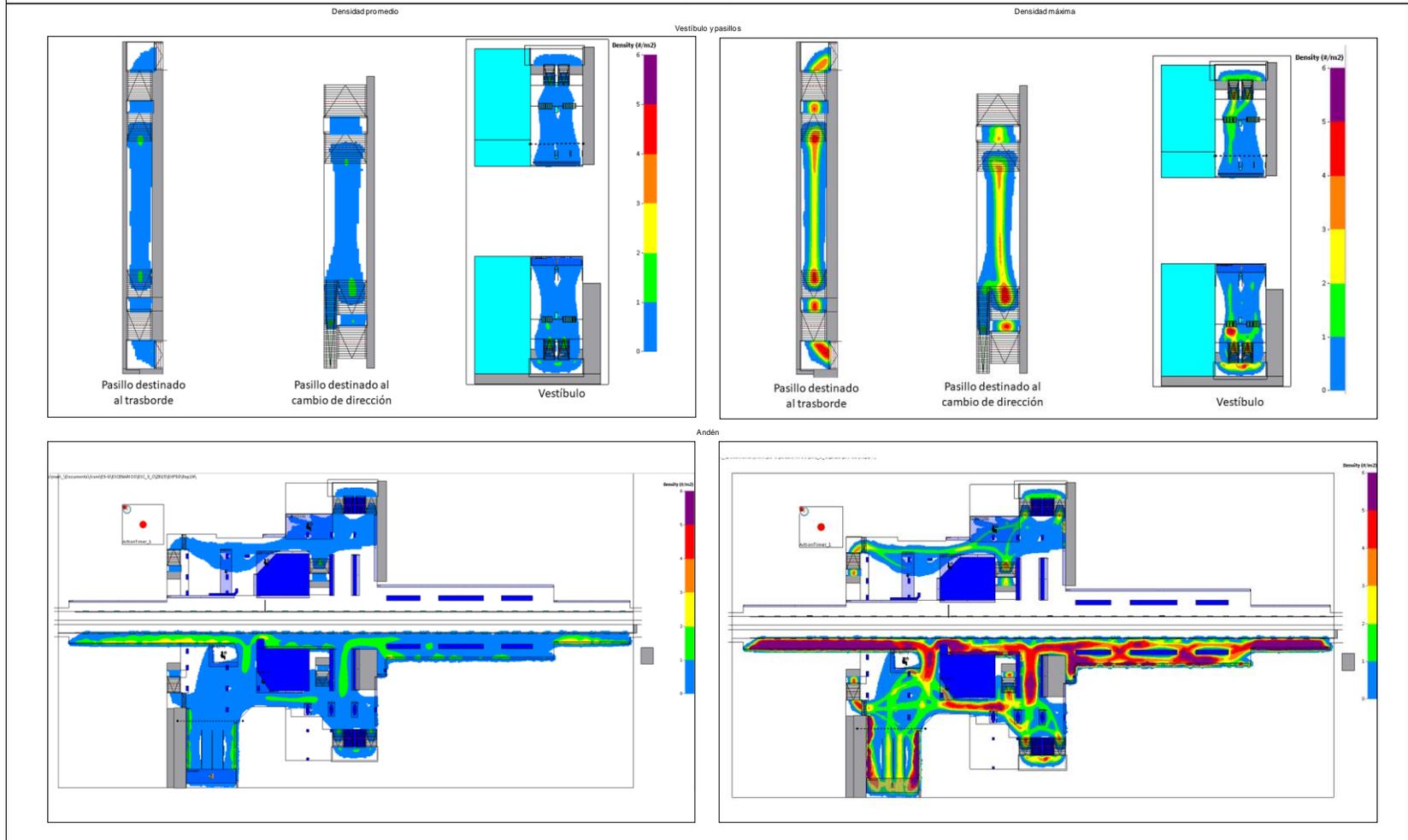


FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO					
Número de escenario	14	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo total del pasillo 3, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 5% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 50% de un tren superpoblado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 185 segundos de iniciado el sismo se da la orden evacuar la estación. Además, la puerta de condesa no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasborde y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	185	
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo		Diagrama	Diagrama	Tiempo de detección y alarma [s]	0		2250
Fecha	JUNIO 2018				Número de usuarios en el tren	Via 1 Universidad	Via 2 Indios Verdes	0
				Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Via 1 0.9199366	
				Tasa de ingreso trasborde	380 U / 215 s	flujo de entrada	Via 2 0.0800634	
				Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U-1 (1475, 169)	
				# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata	
				Agentes evacuados	270			



MAPAS DE DENSIDAD

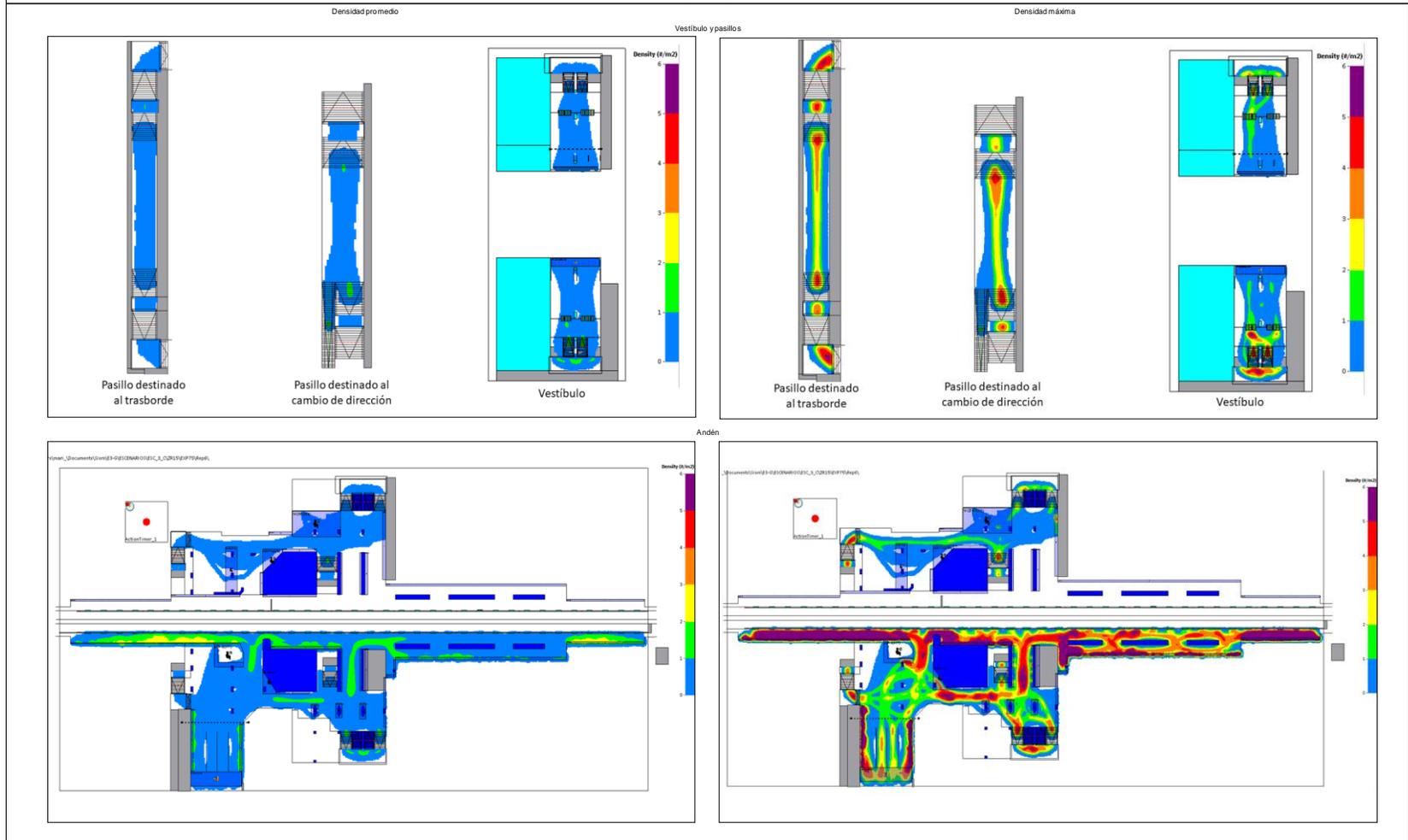


FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO																																	
Número de escenario	15	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo total del pasillo 3, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 5% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 75% de un tren superpoblado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 95 segundos de iniciado el sismo se da la orden evacuar la estación. Además, la puerta de conesia no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasborde y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Periodo entre trenes [s]</td> <td style="text-align: center;">49</td> <td>Tiempo de inicio de la evacuación [s]</td> <td style="text-align: center;">95</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de detección y alarma [s]</td> <td style="text-align: center;">2250</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Número de usuarios en el tren</td> <td style="text-align: center;">Via 1 Universidad</td> <td style="text-align: center;">Via 2 Indios Verdes</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso torniquete</td> <td style="text-align: center;">1U / 2.52 s</td> <td>Proporción de división del flujo de entrada</td> <td style="text-align: center;">Via 1 0.9199366</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso trasborde</td> <td style="text-align: center;">380 U / 2.15 s</td> <td style="text-align: center;">Via 2 0.0800634</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Área del agente (m²)</td> <td style="text-align: center;">0.2191</td> <td>Velocidad máxima (m/s)</td> <td style="text-align: center;">U-1 (1476, 169)</td> </tr> <tr> <td># de replicas</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td>Tipo de respuesta</td> <td style="text-align: center;">Inmediata</td> </tr> <tr> <td>Agentes evacuados</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">270</td> </tr> </table>	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	95	Tiempo de detección y alarma [s]	2250			Número de usuarios en el tren	Via 1 Universidad	Via 2 Indios Verdes	0	Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Via 1 0.9199366	Tasa de ingreso trasborde	380 U / 2.15 s	Via 2 0.0800634		Área del agente (m ²)	0.2191	Velocidad máxima (m/s)	U-1 (1476, 169)	# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata	Agentes evacuados	270		
Periodo entre trenes [s]	49		Tiempo de inicio de la evacuación [s]	95																																
Tiempo de detección y alarma [s]	2250																																			
Número de usuarios en el tren	Via 1 Universidad	Via 2 Indios Verdes	0																																	
Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Via 1 0.9199366																																	
Tasa de ingreso trasborde	380 U / 2.15 s	Via 2 0.0800634																																		
Área del agente (m ²)	0.2191	Velocidad máxima (m/s)	U-1 (1476, 169)																																	
# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata																																	
Agentes evacuados	270																																			
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo																																			
Fecha	JUNIO 2018																																			



MAPAS DE DENSIDAD



FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

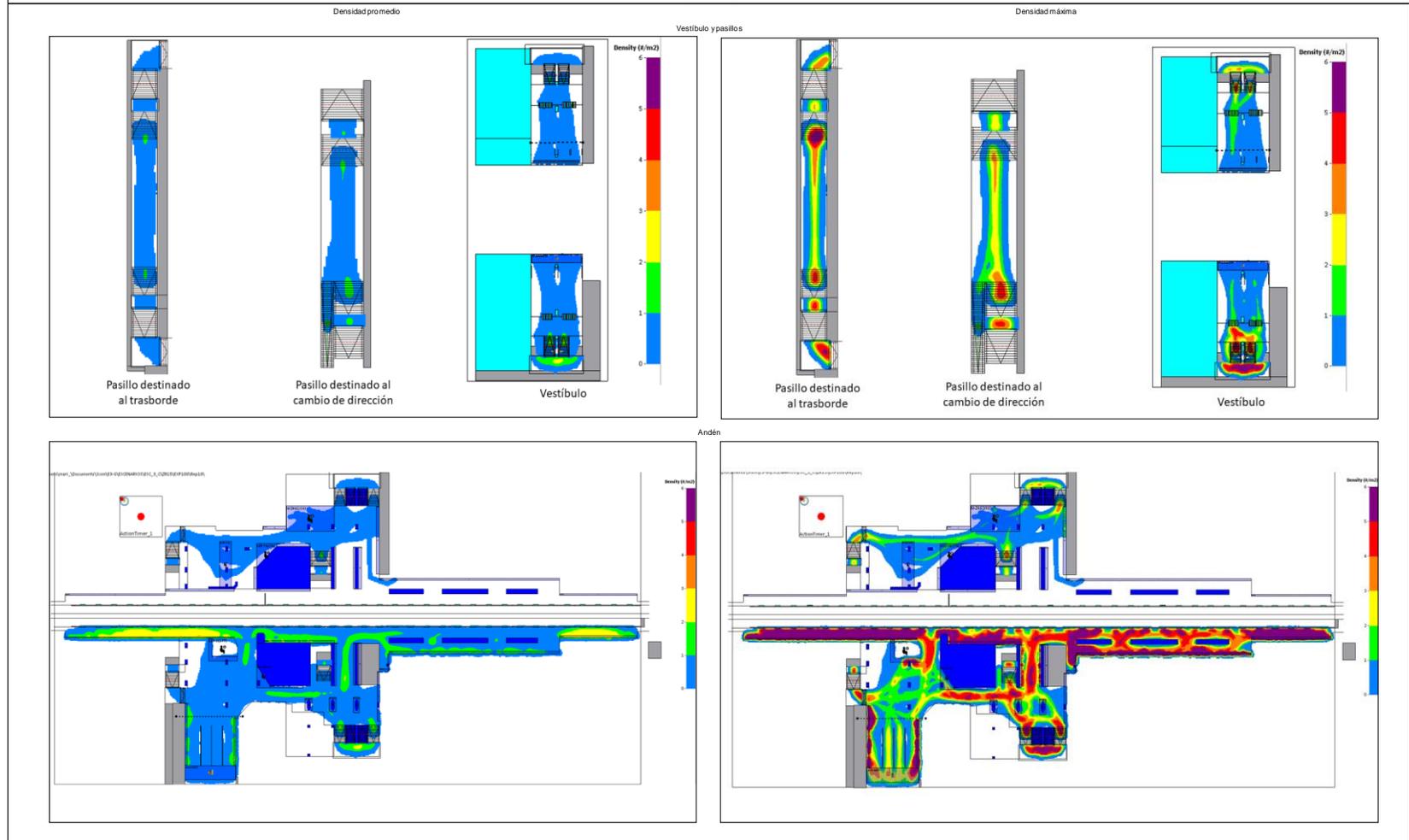
DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO					
Número de escenario	16	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo total del pasillo 3, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 5% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 100% de un tren superpoblado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 95 segundos de iniciado el sismo se da la orden evacuar la estación. Además, la puerta de condesa no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasborde y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	95	
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo		Diagrama	Diagrama	Tiempo de detección y alarma [s]	0		2250
Fecha	JUNIO 2018				Número de usuarios en el tren	Via 1 Universidad	Via 2 Indios Verdes	0
				Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Via 1 0.9199366	
				Tasa de ingreso trasborde	380 U / 215 s	flujo de entrada	Via 2 0.0800634	
				Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U-1 (1475, 169)	
				# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata	
				Agentes evacuados	270			

RESULTADOS



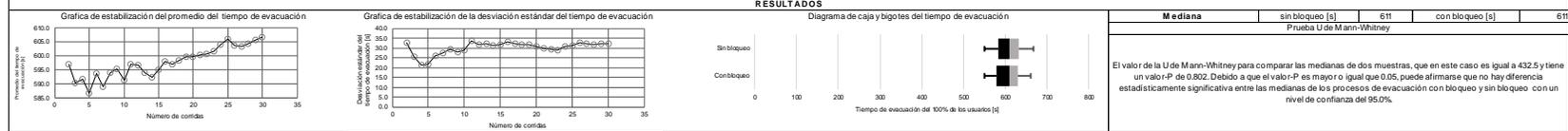
Mediana	sin bloqueo [s]	592	con bloqueo [s]	619
	Prueba U de Mann-Whitney			
El valor de la U de Mann-Whitney para comparar las medianas de dos muestras, que en este caso es igual a 556.5 y tiene un valor P de 0.07. Debido a que el valor P es mayor o igual que 0.05, puede afirmarse que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las medianas de los procesos de evacuación con bloqueo y sin bloqueo con un nivel de confianza del 95.0%.				

MAPAS DE DENSIDAD

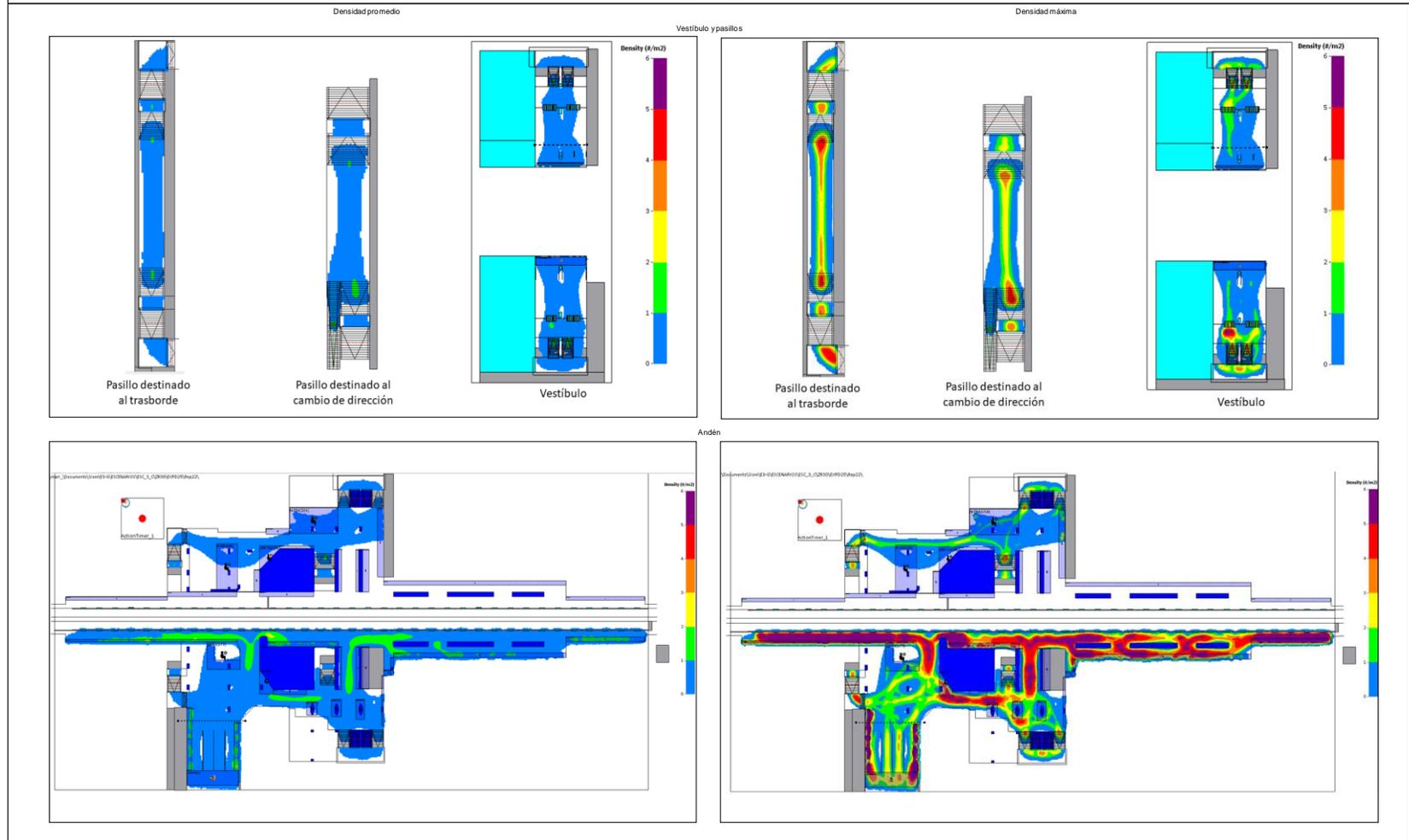


FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO																										
Número de escenario	17	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo total del pasillo 3, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 30% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 25% de un tren superpoblado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 95 segundos de iniciado el sismo se da la orden evacuar la estación. Además, la puerta de cohesión no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasborde y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	95																						
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo		Diagrama	Diagrama	Tiempo de detección y alarma [s]	0	2250																						
Fecha	JUNIO 2018		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Número de usuarios en el tren</td> <td>Vía 1</td> <td>Universidad</td> <td>Vía 2</td> <td>Indio Verdes</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso torniquete</td> <td>1U / 2.52 s</td> <td>Proporción de división del flujo de entrada</td> <td>Vía 1</td> <td>0.9199366</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso trasborde</td> <td>380 U / 215 s</td> <td>Vía 2</td> <td>0.0800634</td> </tr> <tr> <td>Área del agente (m²)</td> <td>0.291</td> <td>Velocidad máxima (m/s)</td> <td>U-1 (1475, 169)</td> </tr> <tr> <td># de replicas</td> <td>30</td> <td>Tipo de respuesta</td> <td>Inmediata</td> </tr> <tr> <td>Agentes evacuados</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">270</td> </tr> </table>	Número de usuarios en el tren	Vía 1	Universidad	Vía 2	Indio Verdes	Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Vía 1	0.9199366	Tasa de ingreso trasborde	380 U / 215 s	Vía 2	0.0800634	Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U-1 (1475, 169)	# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata	Agentes evacuados	270		
Número de usuarios en el tren	Vía 1	Universidad	Vía 2	Indio Verdes																									
Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Vía 1	0.9199366																									
Tasa de ingreso trasborde	380 U / 215 s	Vía 2	0.0800634																										
Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U-1 (1475, 169)																										
# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata																										
Agentes evacuados	270																												

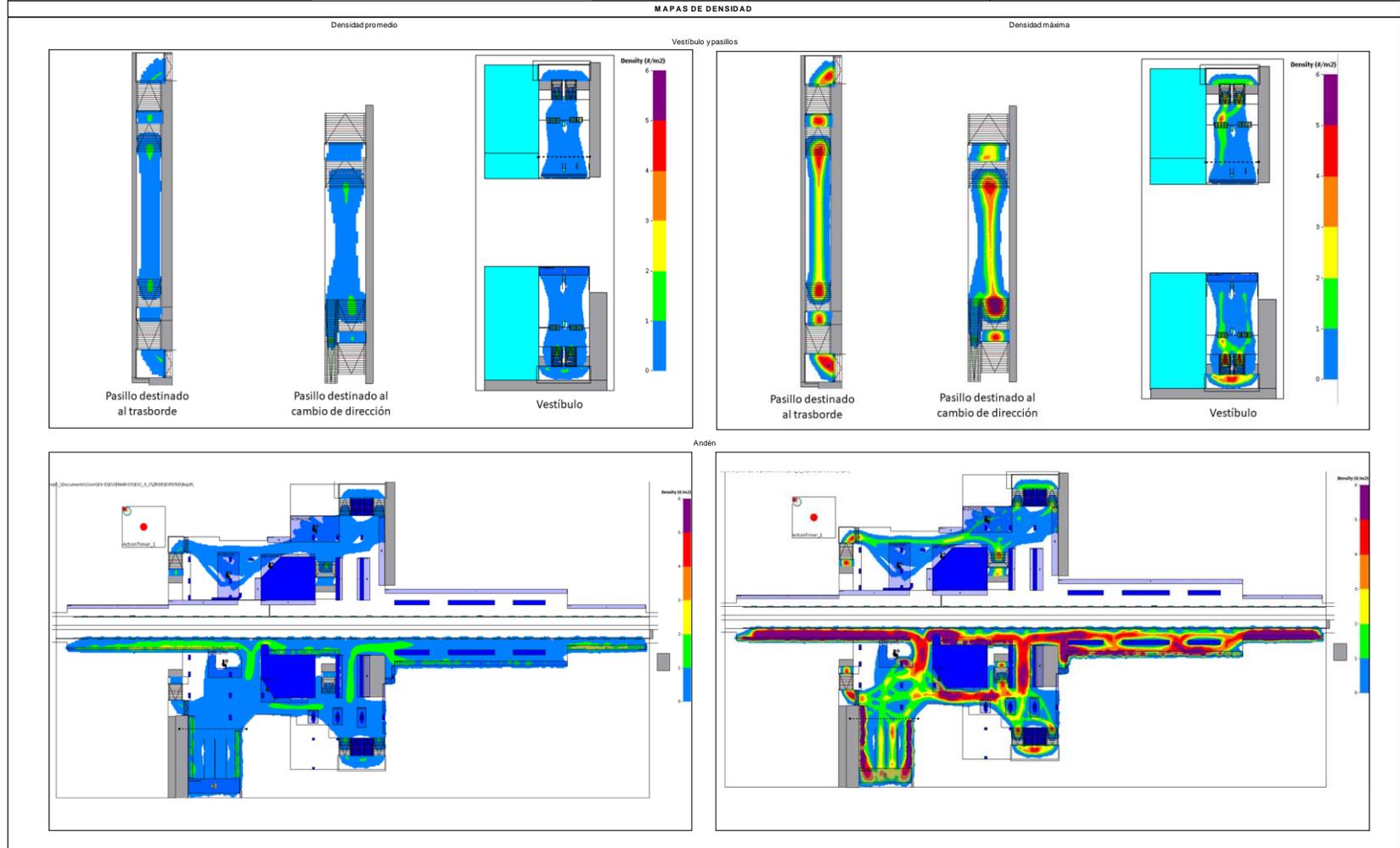
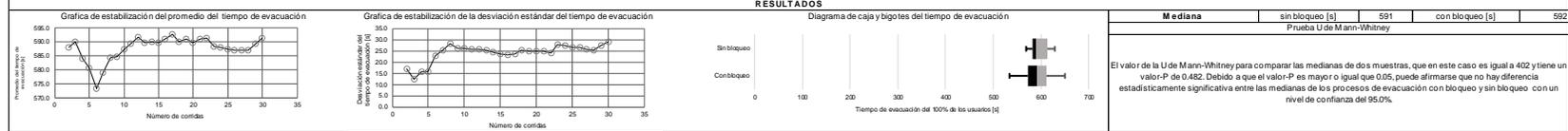


MAPAS DE DENSIDAD



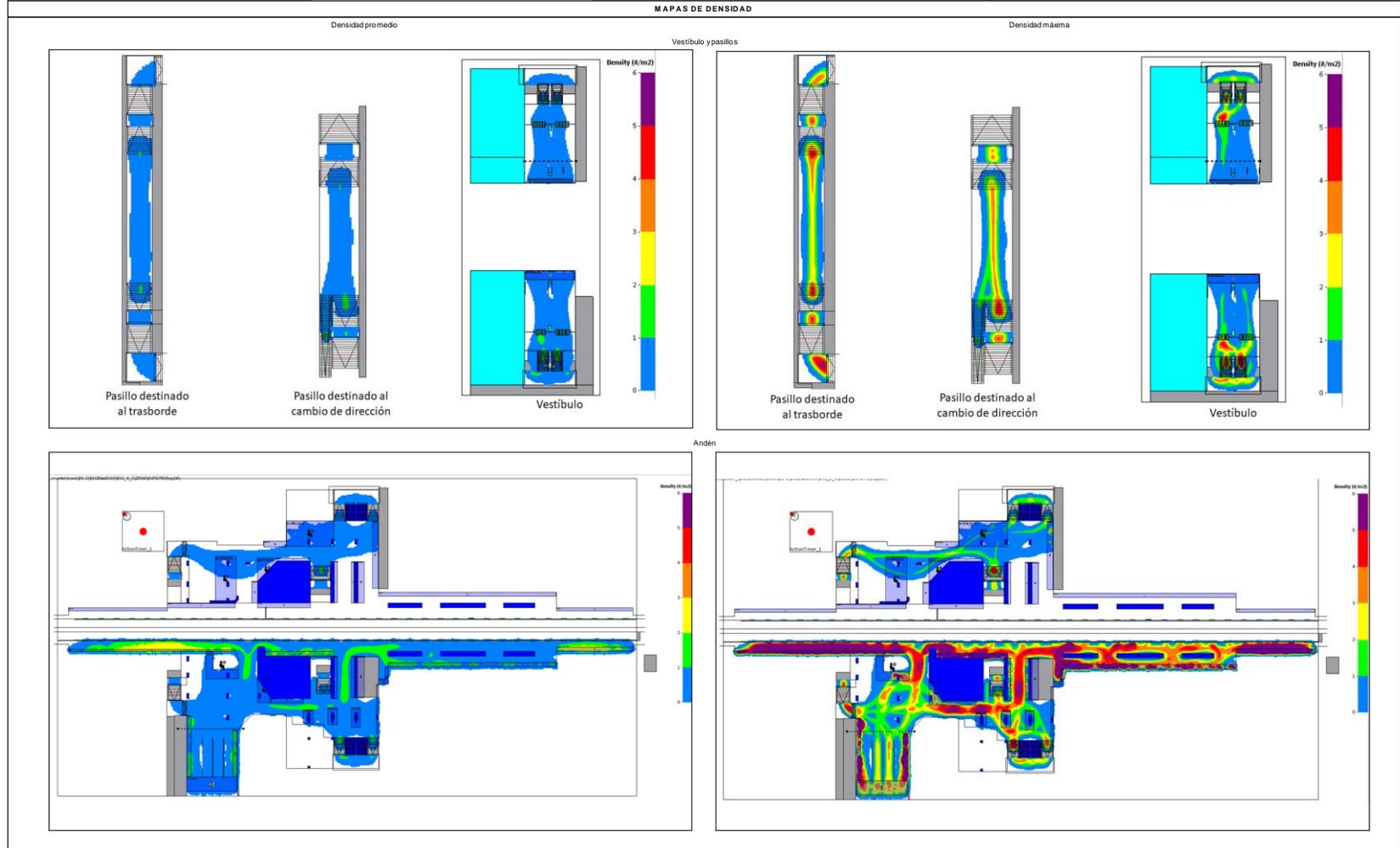
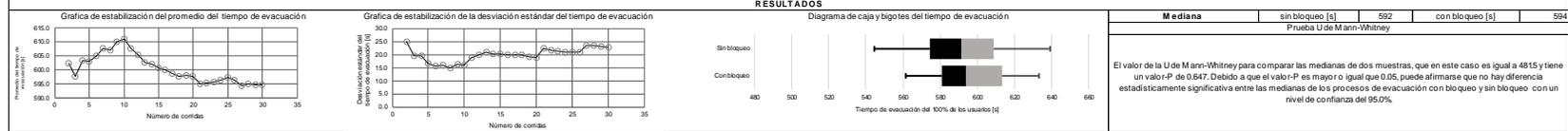
FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO																																	
Número de escenario	18	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios ocurre un sismo. La estación posee un bloqueo total del pasillo 3, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 30% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 50% de un tren superpoblado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 95 segundos de iniciado el sismo se da la orden evacuar la estación. Además, la puerta de condesa no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasbordo y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Periodo entre trenes [s]</td> <td style="text-align: center;">49</td> <td>Tiempo de inicio de la evacuación [s]</td> <td style="text-align: center;">95</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de detección y alarma [s]</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Número de usuarios en el tren</td> <td style="text-align: center;">Via 1</td> <td style="text-align: center;">Universidad</td> <td style="text-align: center;">2250</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso torniquete</td> <td style="text-align: center;">1U / 2.52 s</td> <td style="text-align: center;">Proporción de división del flujo de entrada</td> <td style="text-align: center;">Via 1 0.9199366</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso trasbordo</td> <td style="text-align: center;">380 U / 2.15 s</td> <td style="text-align: center;">Via 2</td> <td style="text-align: center;">0.0800634</td> </tr> <tr> <td>Área del agente (m²)</td> <td style="text-align: center;">0.291</td> <td style="text-align: center;">Velocidad máxima (m/s)</td> <td style="text-align: center;">U-1 (1475, 169)</td> </tr> <tr> <td># de replicas</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">Tipo de respuesta</td> <td style="text-align: center;">Inmediata</td> </tr> <tr> <td>Agentes evacuados</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">270</td> </tr> </table>	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	95	Tiempo de detección y alarma [s]				Número de usuarios en el tren	Via 1	Universidad	2250	Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Via 1 0.9199366	Tasa de ingreso trasbordo	380 U / 2.15 s	Via 2	0.0800634	Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U-1 (1475, 169)	# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata	Agentes evacuados	270		
Periodo entre trenes [s]	49		Tiempo de inicio de la evacuación [s]	95																																
Tiempo de detección y alarma [s]																																				
Número de usuarios en el tren	Via 1	Universidad	2250																																	
Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Via 1 0.9199366																																	
Tasa de ingreso trasbordo	380 U / 2.15 s	Via 2	0.0800634																																	
Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U-1 (1475, 169)																																	
# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata																																	
Agentes evacuados	270																																			
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo		Diagrama																																	
Fecha	JUNIO 2018																																			



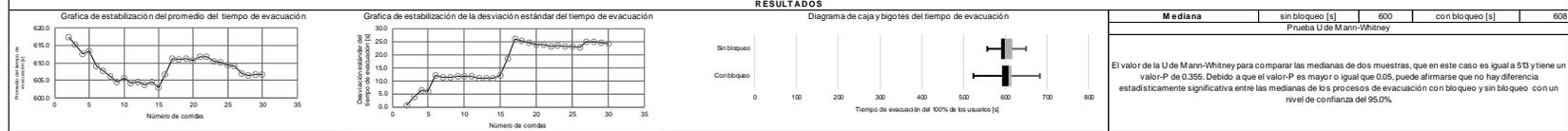
FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO																								
Número de escenario	19	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo total del pasillo 3, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 30% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 75% de un tren superplazado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 85 segundos de iniciado el sismo se da la orden evacuar la estación. Además, la puerta de condesia no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasborde y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	85																				
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo		Diagrama	Diagrama	Tiempo de detección y alarma [s]	0	Número de usuarios en el tren	2250																			
Fecha	JUNIO 2018		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Tasa de ingreso torniquete</td> <td style="text-align: center;">1U / 2.52 s</td> <td>Proporción de división del flujo de entrada</td> <td style="text-align: center;">Vía 1</td> <td style="text-align: center;">0.9199366</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso trasborde</td> <td style="text-align: center;">380 U / 215 s</td> <td></td> <td style="text-align: center;">Vía 2</td> <td style="text-align: center;">0.0800634</td> </tr> <tr> <td>Área del agente (m²)</td> <td style="text-align: center;">0.2191</td> <td>Velocidad máxima (m/s)</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td># de replicas</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td>Tipo de respuesta</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Agentes evacuados</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">270</td> </tr> </table>	Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Vía 1	0.9199366	Tasa de ingreso trasborde	380 U / 215 s		Vía 2	0.0800634	Área del agente (m ²)	0.2191	Velocidad máxima (m/s)			# de replicas	30	Tipo de respuesta			Agentes evacuados	270		
Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Vía 1	0.9199366																							
Tasa de ingreso trasborde	380 U / 215 s		Vía 2	0.0800634																							
Área del agente (m ²)	0.2191	Velocidad máxima (m/s)																									
# de replicas	30	Tipo de respuesta																									
Agentes evacuados	270																										

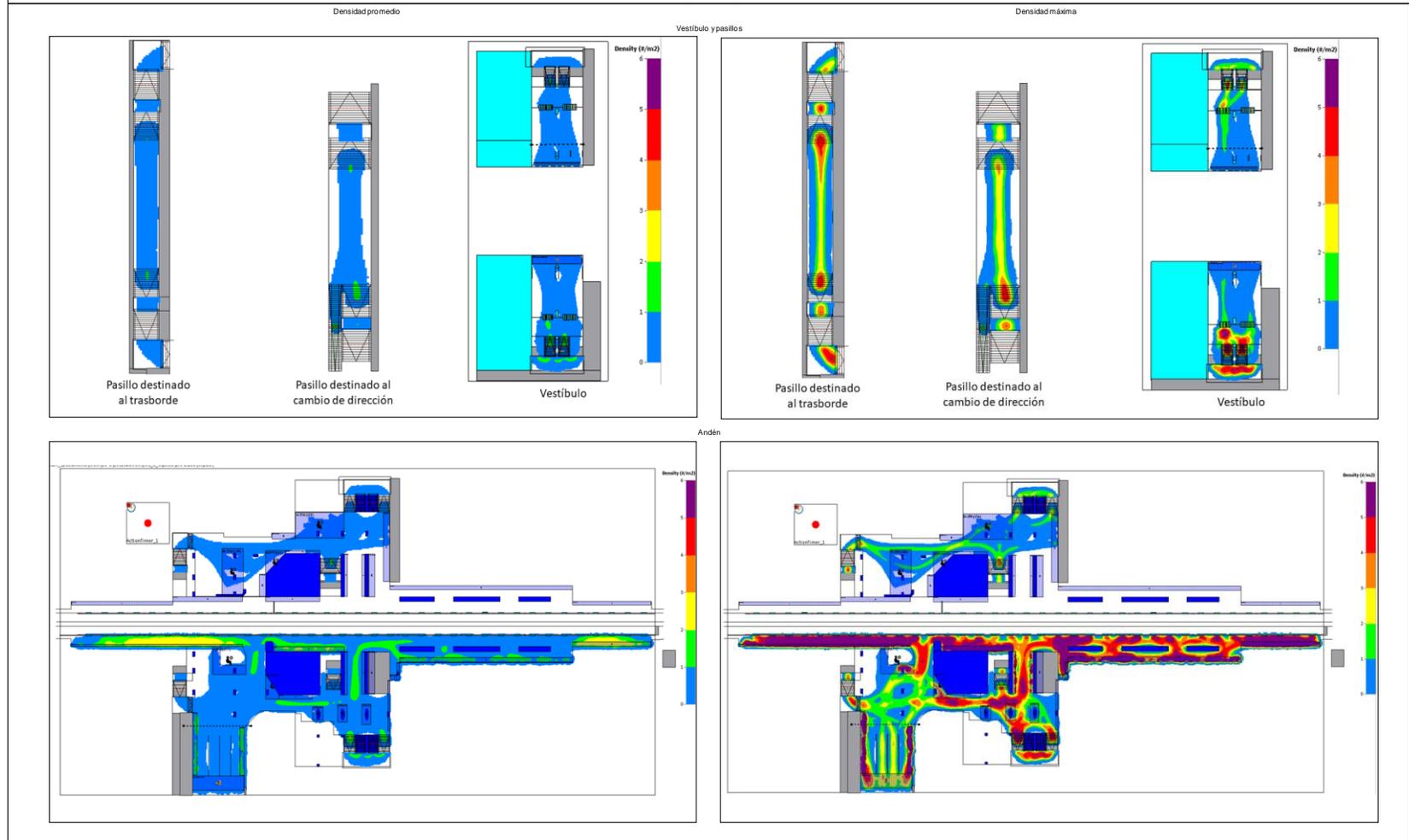


FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO																			
Número de escenario	20	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo total del pasillo 3, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 30% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 100% de un tren superpoblado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 95 segundos de iniciado el sismo se da la orden evacuar la estación. Además, la puerta de conesia no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasborde y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	95															
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo		Diagrama	Diagrama	Tiempo de detección y alarma [s]	0	Número de usuarios en el tren	2250														
Fecha	JUNIO 2018		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Tasa de ingreso torniquete</td> <td style="text-align: center;">1U / 2.52 s</td> <td>Proporción de división del flujo de entrada</td> <td style="text-align: center;">Vía 1 0.9199366</td> </tr> <tr> <td>Tasa de ingreso trasborde</td> <td style="text-align: center;">380 U / 215 s</td> <td></td> <td style="text-align: center;">Vía 2 0.0800634</td> </tr> <tr> <td>Área del agente (m²)</td> <td style="text-align: center;">0.291</td> <td>Velocidad máxima (m/s)</td> <td style="text-align: center;">U-1 (1475, 169)</td> </tr> <tr> <td># de replicas</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td>Tipo de respuesta</td> <td style="text-align: center;">Inmediata</td> </tr> <tr> <td>Agentes evacuados</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">270</td> </tr> </table>	Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Vía 1 0.9199366	Tasa de ingreso trasborde	380 U / 215 s		Vía 2 0.0800634	Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U-1 (1475, 169)	# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata	Agentes evacuados	270	
Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Vía 1 0.9199366																			
Tasa de ingreso trasborde	380 U / 215 s		Vía 2 0.0800634																			
Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U-1 (1475, 169)																			
# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata																			
Agentes evacuados	270																					

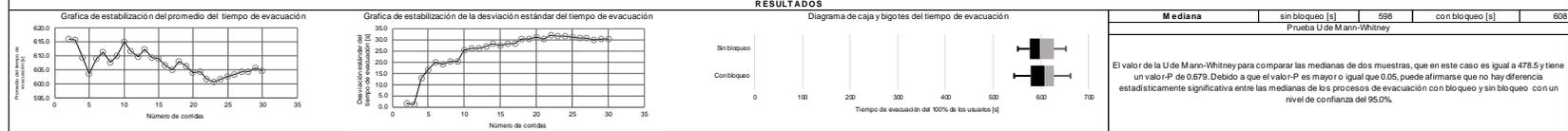


MAPAS DE DENSIDAD

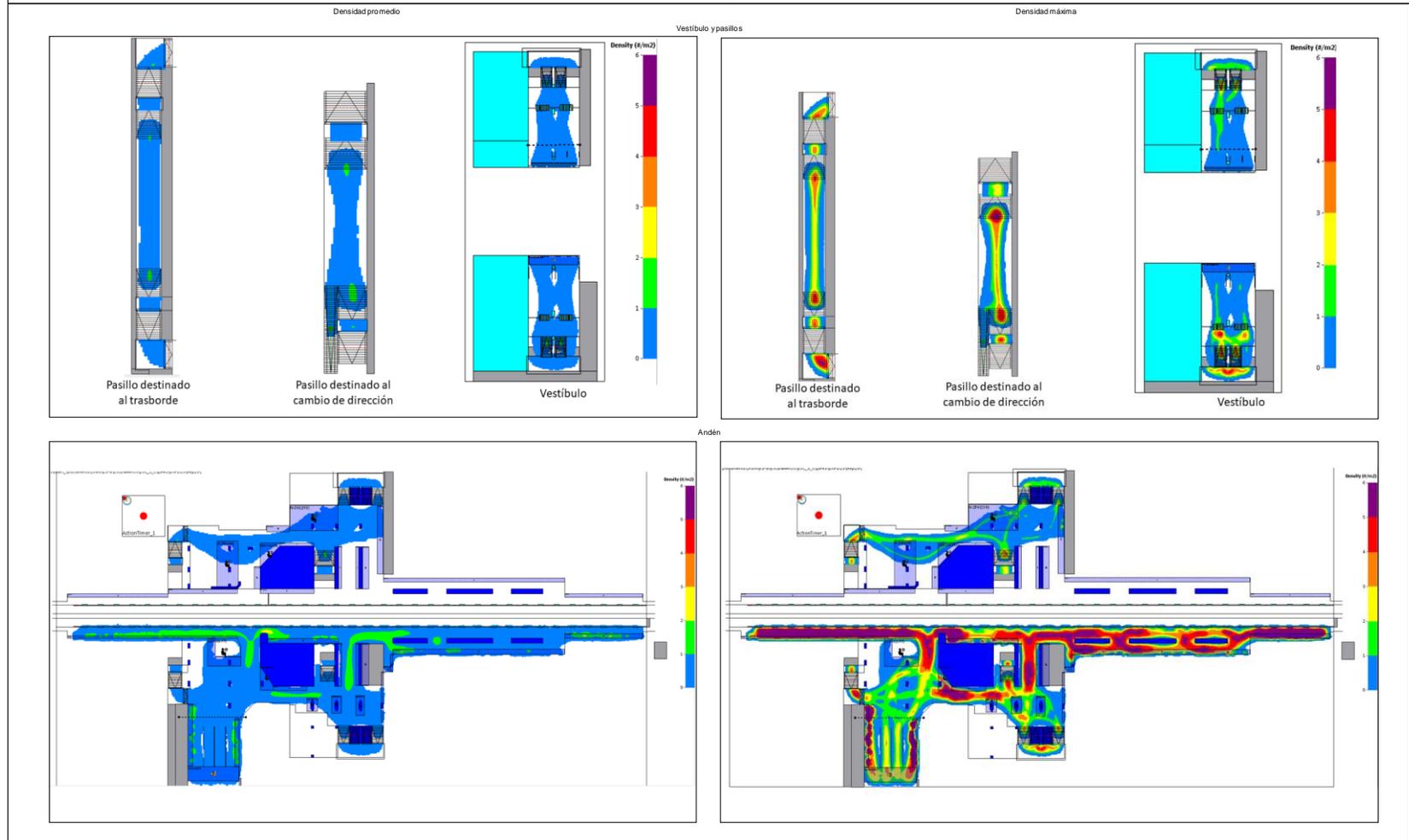


FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO					
Número de escenario	21	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo total del pasillo 3, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 45% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 25% de un tren superpoblado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 185 segundos de iniciado el sismo se da la orden evacuar la estación. Además, la puerta de conesia no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasborde y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	185	
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo		Diagrama	Diagrama	Tiempo de detección y alarma [s]	0		2250
Fecha	JUNIO 2018				Número de usuarios en el tren	Via 1	Universidad	0
				Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Via 1	0.9199366
				Tasa de ingreso trasborde	380 U / 215 s		Via 2	0.0800634
				Área del agente (m ²)	0.2191	Velocidad máxima (m/s)		
				# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata	
				Agentes evacuados				270

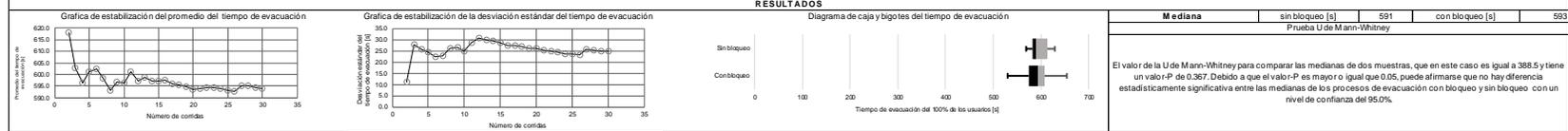


MAPAS DE DENSIDAD

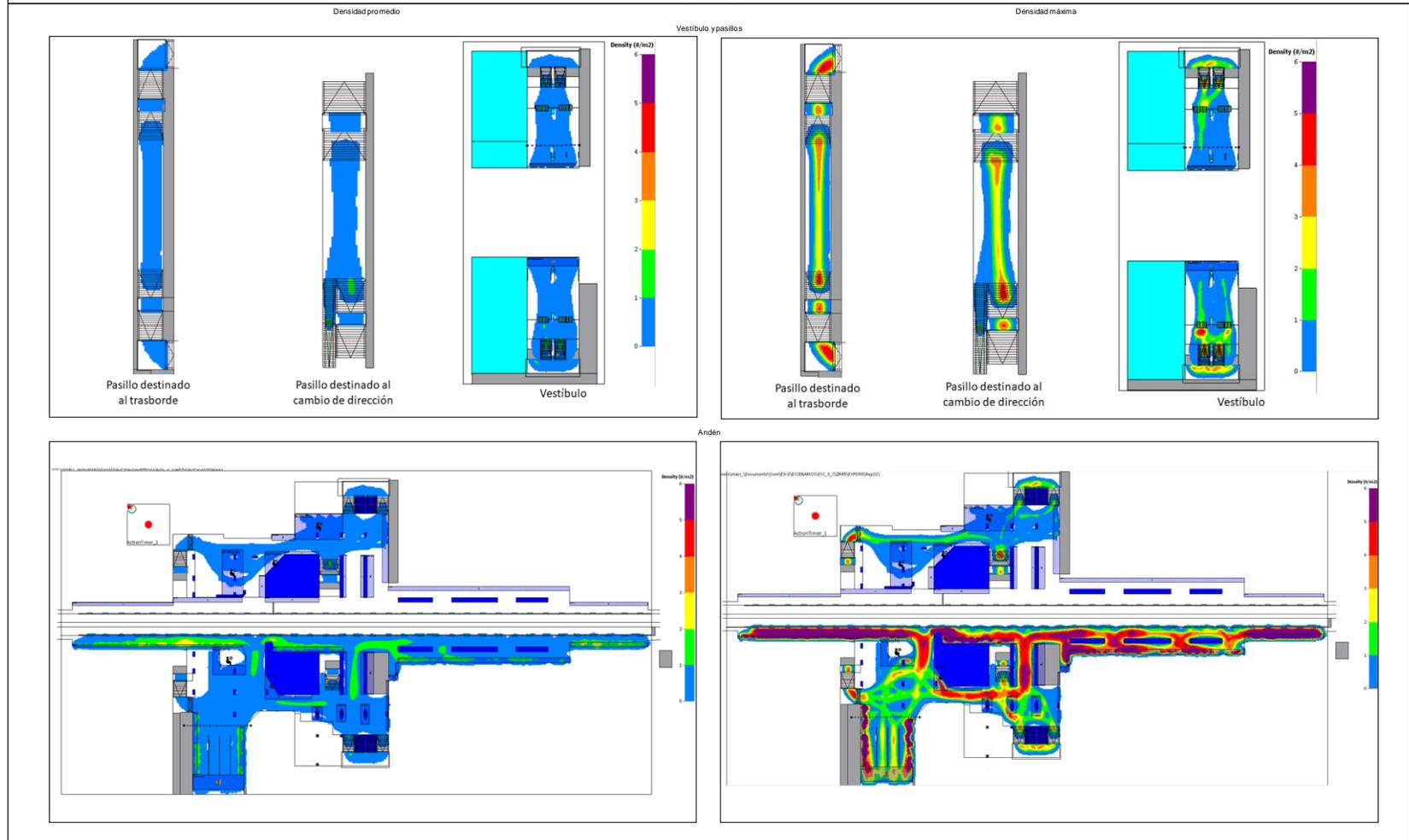


FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO					
Número de escenario	22	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo total del pasillo 3, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 45% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 50% de un tren superpoblado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 185 segundos de iniciado el sismo se da la orden evacuar la estación. Además, la puerta de condesa no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasborde y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	185	
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo		Diagrama	Diagrama	Tiempo de detección y alarma [s]	0		2250
Fecha	JUNIO 2018				Número de usuarios en el tren	Via 1 Universidad	Via 2 Indios Verdes	0
				Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Via 1 0.9199366	
				Tasa de ingreso trasborde	380 U / 215 s	flujo de entrada	Via 2 0.0800634	
				Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U-1 (1475, 169)	
				# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata	
				Agentes evacuados	270			

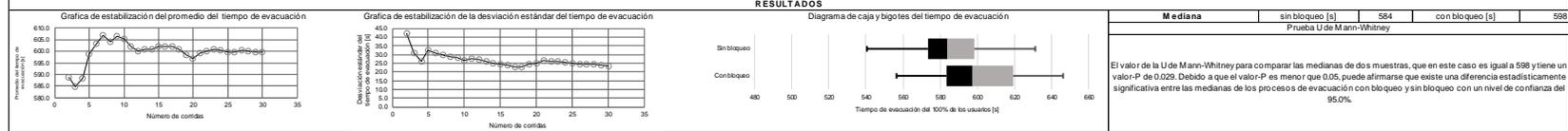


MAPAS DE DENSIDAD

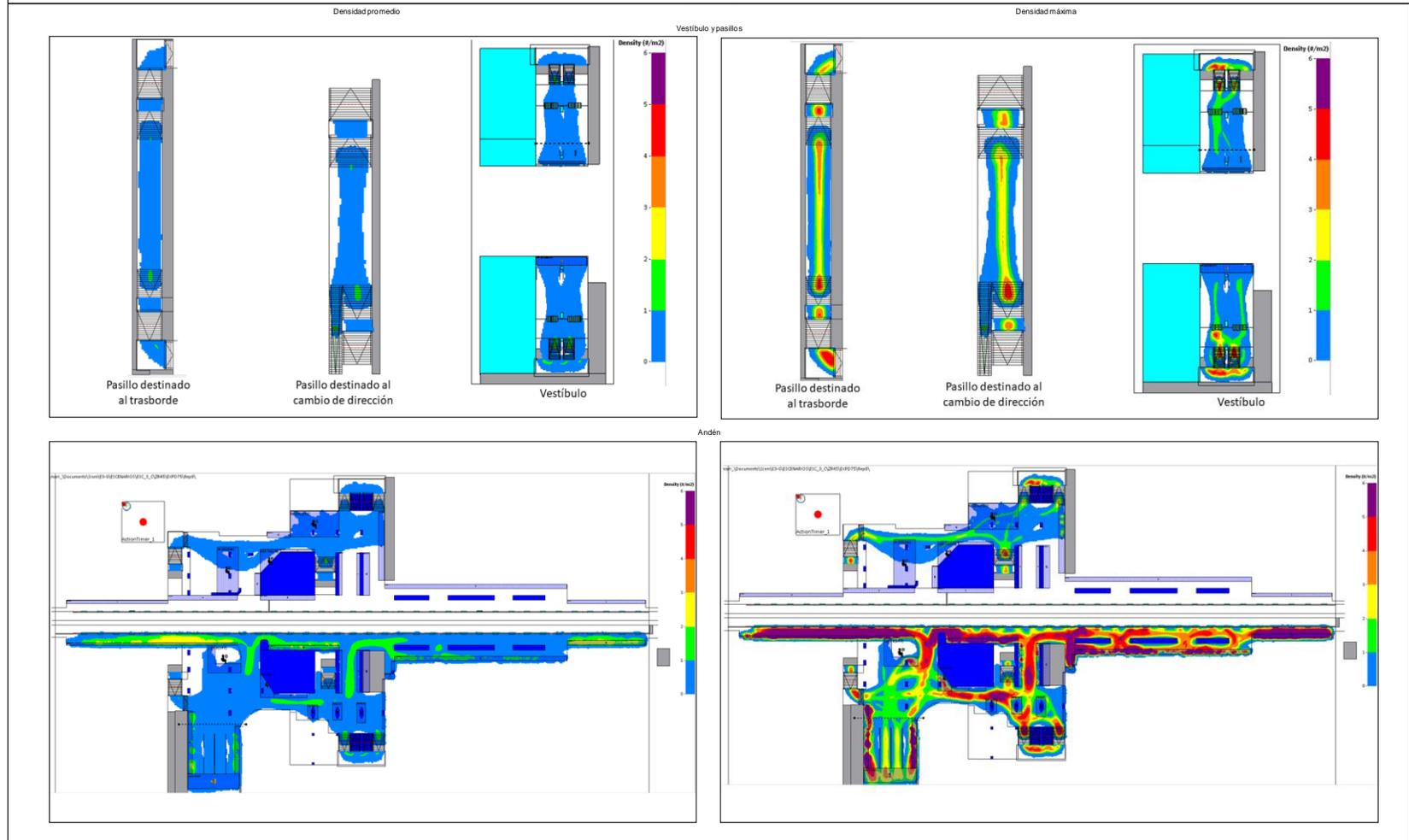


FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO					
Número de escenario	23	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo total del pasillo 3, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 45% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 75% de un tren superpoblado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 95 segundos de iniciado el sismo se da la orden evacuar la estación. Además, la puerta de conesia no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasborde y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	95	
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo		Diagrama	Diagrama	Tiempo de detección y alarma [s]	0		2250
Fecha	JUNIO 2018				Número de usuarios en el tren	Via 1	Universidad	0
				Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Via 1	0.9199366
				Tasa de ingreso trasborde	380 U / 215 s		Via 2	0.0800634
				Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)		U-1(1475, 169)
				# de replicas	30	Tipo de respuesta		Inmediata
				Agentes evacuados				270

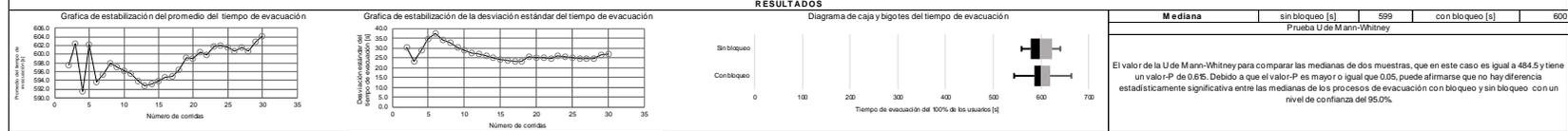


MAPAS DE DENSIDAD

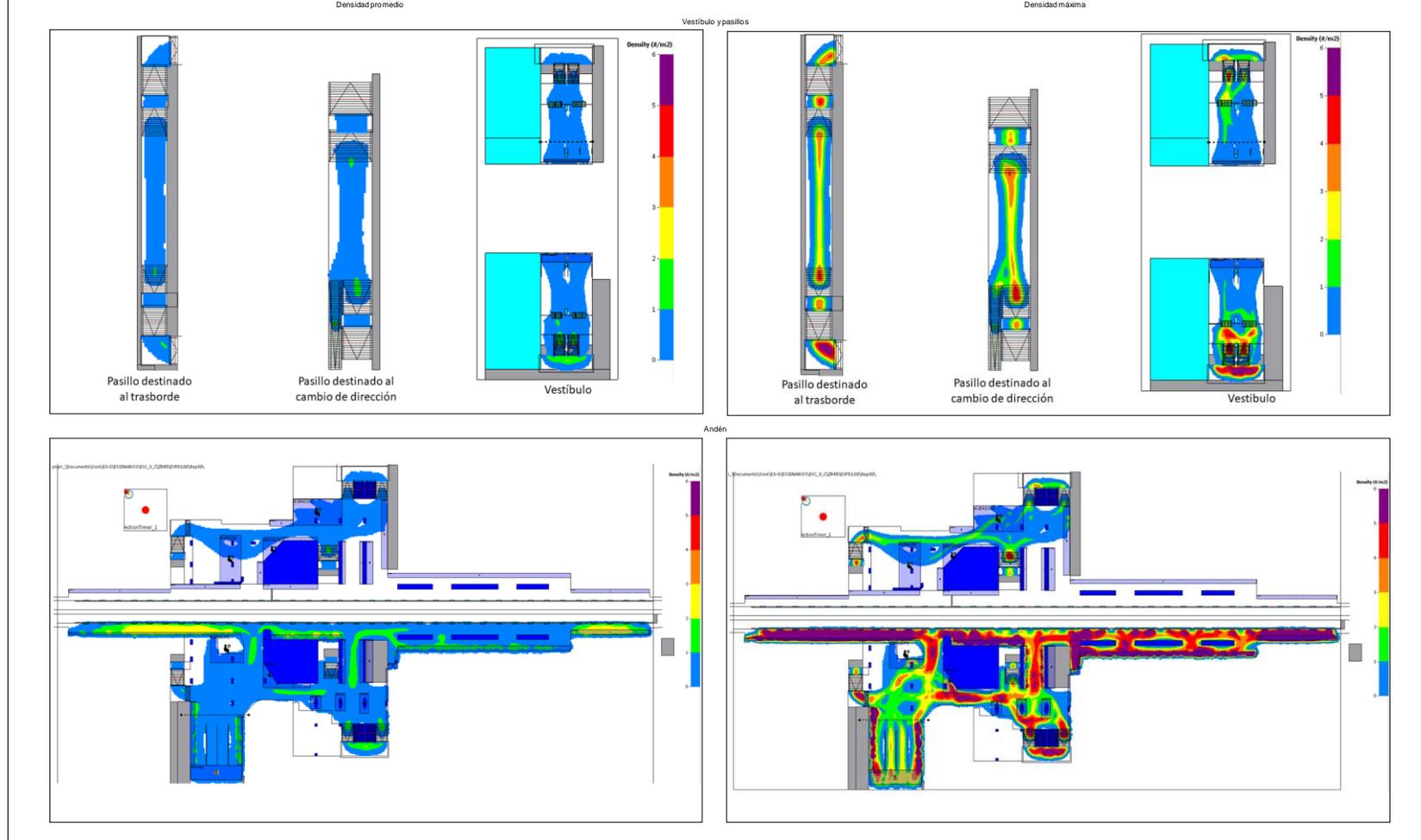


FICHA DE SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE EVACUACIONES MASIVAS EN EL STC

DATOS GENERALES		Descripción del escenario	PLANTEAMIENTO					
Número de escenario	24	Durante la hora pico matutina (8 a 9 am), en la estación Guerrero correspondiente a la Línea 3 llega un tren por la vía de Universidad y durante la operación de ascenso y descenso de usuarios acontece un sismo. La estación posee un bloqueo total del pasillo 3, también, la estación cuenta con zonas de repliegue de 45% del ancho de los pasillos y andenes, así también se prevé el descenso del 100% de un tren superpoblado. La instrucción inmediata a los usuarios es de repliegue. Posteriormente, a los 95 segundos de iniciado el sismo se da la orden evacuar la estación. Además, la puerta de conesia no se encuentra abierta, todos los torniquetes de salida están habilitados, solo existe una descarga de usuarios de la línea de trasborde y todas las salidas tienen la misma probabilidad de ser elegidas por los agentes.	Diagrama	Periodo entre trenes [s]	49	Tiempo de inicio de la evacuación [s]	95	
Ámbito de aplicación	Sistema de Transporte Colectivo		Diagrama	Diagrama	Tiempo de detección y alarma [s]	0		2250
Fecha	JUNIO 2018				Número de usuarios en el tren	Via 1	Universidad	Indio Verdes
				Tasa de ingreso torniquete	1U / 2.52 s	Proporción de división del flujo de entrada	Via 1	0.9199366
				Tasa de ingreso trasborde	380 U / 215 s	Via 2	0.0800634	
				Área del agente (m ²)	0.291	Velocidad máxima (m/s)	U-1 (1475, 169)	
				# de replicas	30	Tipo de respuesta	Inmediata	
				Agentes evacuados	270			



MAPAS DE DENSIDAD



Anexo J ACRONIMOS

STU	Sistemas de Trenes Urbanos
CDMX	Ciudad de México
STC	Sistema de Transporte colectivo
MCM	Metro de la Ciudad de México
STPS	Secretaria de Trabajo y Previsión Social
NFPA	National Fire Protection Association
Edo. Mex.	Estado de México
HPM	Hora pico matutina
HV	Hora valle
HPV	Hora pico vespertina
HP	Hora punta
HNP	Hora no punta
ZEP	Zona entre Puertas
ZEA	Zona entre Asientos