



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS – INGENIERÍA INDUSTRIAL

MEDICIÓN DEL TIEMPO DE ABORDAJE DE LOS PASAJEROS DEL STC:
ESTACIÓN PANTITLÁN, LÍNEA 1

TESIS,
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING. YAZMIN DILLARZA ANDRADE

TUTORA PRINCIPAL
DRA. AIDA HUERTA BARRIENTOS, FACULTAD DE INGENIERÍA.

CIUDAD DE MÉXICO, SEPTIEMBRE 2017.

JURADO ASIGNADO:

Presidente:

Secretario:

Vocal:

1^{er.} Suplente:

2^{do.} Suplente:

Lugar donde se realizó la tesis:

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Facultad de Ingeniería (FI)
Ciudad Universitaria, Ciudad de México.

TUTORA DE TESIS:

DRA. AIDA HUERTA BARRIENTOS

FIRMA

(Segunda hoja)

RESUMEN

La demanda del Sistema de Transporte Colectivo (STC) de la Ciudad de México, comúnmente llamado “metro”, ha crecido exponencialmente, actualmente este sistema transporta más de 1,600 millones de pasajeros anualmente. En conjunto con el equipo de la Gerencia de Ingeniería y Nuevos Proyectos del STC se observó que la saturación continua, junto con los problemas operativos, afectan el tiempo de traslado de los pasajeros y por ende la calidad del servicio; sin embargo, no se tienen mediciones del tiempo de espera de los pasajeros para abordar el tren. El objetivo de esta tesis es medir el tiempo de abordaje de los pasajeros del STC y, por medio de un modelo de simulación de la estación terminal Pantitlán, Línea 1, generar una herramienta para coadyuvar en la toma de decisiones de las gerencias operativas. Para el desarrollo del modelo híbrido se utilizó la Metodología basada en Modelos de Simulación para el Análisis de Sistemas Complejos, MoSASCoM, en el Software AnyLogic, el cual permite una interfaz en 2D y 3D, que brindan información numérica y visual como apoyo para la gerencia operativa del STC. En el presente trabajo de investigación determinó que el tiempo de abordaje durante el cuarto trimestre del 2016 fue de 0.093 a 24.9893 minutos, lo que indica que los pasajeros subieron en cuanto llegó el primer tren hasta la espera de seis trenes posteriores a su llegada.

Palabras clave: tiempo de abordaje, tránsito en andén, simulación híbrida, movilidad urbana, Sistema de Transporte Colectivo.

ABSTRACT

Demand for Mexico City's Collective Transportation System (STC), commonly called "subway", has grown exponentially, currently this system transports more than 1.6 billion passengers annually. In conjunction with the team of the Engineering and New Projects Department of the STC, it was observed that the continuous saturation, together with the operational problems, affect the time of transfer of the passengers and therefore the quality of the service; However, there are no measurements of the waiting time of the passengers to board the train. The objective of this thesis is to measure the time of boarding of STC passengers and, through a simulation model of the Pantitlán terminal station, Line 1, generate a tool to assist the decision making of the operative managements. For the development of the hybrid model, the Simulation Model-Based Methodology for Complex Systems Analysis, MoSASCoM, was used in the AnyLogic Software, which allows a 2D and 3D interface, which provides numerical and visual information as support for management of the STC. In the present research work, the boarding time during the fourth quarter of 2016 was 0.093 to 24.9893 minutes, indicating that the passengers went up as soon as the first train arrived until waiting for six trains after their arrival.

Key-words: boarding time, platform transit, hybrid simulation, urban mobility, Collective Transportation System.

ÍNDICE GENERAL

PÁG.

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABLAS.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I – PROBLEMÁTICA DE LA MOVILIDAD URBANA.....	3
1.1 Necesidad y derecho a la movilidad urbana	3
1.2 Evolución del ferrocarril a nivel mundial.....	4
1.3 Evolución del ferrocarril en América.....	6
1.4 Historia del Sistema de Transporte en la Ciudad de México.....	7
1.5 Evolución del Sistema de Transporte Colectivo (STC).....	9
1.6 Infraestructura del STC.....	12
1.7 Desarrollo del Sistema de Transporte Colectivo (STC).....	14
1.8 Movilidad urbana en la Ciudad de México.....	18
1.9 Problemática de la movilidad urbana en la Ciudad de México.....	22
1.10 Planteamiento del problema por resolver	28
1.11 Objetivo general.....	28
1.12 Objetivos específicos	28
1.13 Preguntas de investigación	29
1.14 Alcances y limitaciones.....	29
1.15 Estrategia de investigación	30
CAPÍTULO II – REVISIÓN DE LA LITERATURA Y MARCO TEÓRICO	31
2.1 Grupos de Evaluación Comparativa CoMET y Nova.....	31
2.2 Resultados CoMET Benchmarking 2013.....	34
2.3 Resultados del STC 2013	37
2.4 Importancia de la medición del desempeño.....	41
2.5 Indicadores KRI, PI y KPI.....	42
2.6 Modelos de gestión con impacto en los indicadores	43
2.7 Modelos matemáticos y simulación	46
2.7.1 Modelo para la predicción del tiempo de viaje de pasajeros.....	46
2.7.2 Modelación matemática del comportamiento dinámico del metro de la Ciudad de México	46



2.7.3	Modelo probabilístico para que los usuarios permanezcan en la cola en el andén de la estación del metro	47
2.7.4	Modelado de circulación de pasajeros en las estaciones del transporte ferroviario, usando micro-simulación.....	47
CAPÍTULO III – MEDICIÓN DEL TIEMPO DE ABORDAJE EN EL STC		49
3.1	Relevancia de la medición del tiempo de abordaje.....	49
3.2	Descripción del proceso de abordaje al tren del STC	50
3.3	Factores que intervienen en el tiempo de abordaje de los pasajeros.....	52
3.4	Definición del tiempo de abordaje de los pasajeros.....	56
3.5	Descripción del caso de estudio: Estación Pantitlán, Línea 1 del STC	59
3.6	Definición de las variables.....	61
3.7	Análisis de datos.....	62
CAPÍTULO IV – UN MODELO DE SIMULACIÓN DE LA ESTACIÓN TERMINAL PANTITLÁN, LÍNEA 1		109
4.1	Complejidad de la estación terminal Pantitlán	109
4.2	Desarrollo del modelo aplicando la metodología MoSASCoM.....	109
CAPÍTULO V – ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		130
CONCLUSIONES.....		136
BIBLIOGRAFÍA.....		138

LISTA DE FIGURAS

PÁG.

Figura 1. Ilustración de la técnica muro de pantalla	4
Figura 2. Primeros ferrocarriles en América	6
Figura 3. Primeros transportes colectivos en la Ciudad de México.....	8
Figura 4. Mapa de la Red Actual del STC	11
Figura 5. Trenes formados por nueve convoyes	13
Figura 6. Tren formado por siete convoyes.....	13
Figura 7. Trenes formados de seis a nueve convoyes.....	13
Figura 8. Tren formado por seis convoyes	13
Figura 9. Afluencia de pasajeros 2015 (Por Línea).....	14
Figura 10. Construcción de estaciones de líneas 1 y2.....	15
Figura 11. Vagoneros del STC.....	16
Figura 12. Plazas de ambulantes en entradas del STC.....	17
Figura 13. Resultado de los motivos de desplazamientos.....	19
Figura 14. Horas pico.....	20
Figura 15. Hora de inicio de trayecto	21
Figura 16. Extensión del STC en la ZMVM.....	21
Figura 17. ¿Cuál foto refleja mejor lo que se vive en el STC?.....	23
Figura 18. No cabe un alfiler en la estación Pino Suárez del STC.....	23
Figura 19. A bordo en la estación San Lázaro del STC	24
Figura 20. Hora pico en la Línea A del STC	24
Figura 21. Aglomeración en la estación Pantitlán del STC	25
Figura 22. Sobredemanda en la estación Pantitlán del STC.....	25
Figura 23. Pasajeros esperando al tren.....	29
Figura 24. Pasajeros abordando el tren.....	29
Figura 25. Metros miembros de CoMET y Nova	31
Figura 26. Factor de seguridad	34
Figura 27. Rendimiento financiero	34
Figura 28. Ingresos por tarifa.....	35
Figura 29. Costos del servicio	35
Figura 30. Costo por viaje	35
Figura 31. Eficiencia del personal.....	36
Figura 32. Servicio al cliente.....	36
Figura 33. Viajes sin problemas.....	36
Figura 34. Utilización de activos	37
Figura 35. Longitud y pasajeros de los 11 metros más grandes del mundo	38
Figura 36. Pasajeros transportados vs programados.....	38
Figura 37. Ingresos gratuitos.....	39
Figura 38. Vueltas realizadas vs programadas	39
Figura 39. Pasajeros transportados por km recorrido	39
Figura 40. Consumo de energía por pasajeros transportados.....	40
Figura 41. Consumo de energía eléctrica mensual por kilómetro de red.....	40
Figura 42. Consumo de energía eléctrica por kilómetro recorrido	40
Figura 43. Cadena de evaluación de desempeño.....	42

Figura 44. Caja de herramienta - Mejores prácticas.....	45
Figura 45. Descripción del proceso general.....	50
Figura 46. Cierre de puertas.....	51
Figura 47. Llegada de pasajeros y del siguiente tren	51
Figura 48. Cierre de puertas del siguiente tren	51
Figura 49. Factores que intervienen en el tiempo de abordaje.....	52
Figura 50. Tiempo del ciclo de trenes	53
Figura 51. Tiempo de espera.....	53
Figura 52. Comportamiento constante de las variables	54
Figura 53. Comportamiento con incremento en la demanda	54
Figura 54. Comportamiento de incremento del tiempo de llegada.....	55
Figura 55. Comportamiento dinámico (demanda y tiempo de llegada de trenes)	55
Figura 56. Variables del sistema.....	56
Figura 57. Planteamiento del sistema.....	59
Figura 59. Zona de levantamiento de datos.....	113
Figura 60. Arquitectura ANYLOGIC™.....	114
Figura 61. Integración de la metodología MoSASCoM con la arquitectura ANYLOGICTM, base de datos y software de edición.....	115
Figura 62. Interfaz de animación.....	116
Figura 63. Interfaz en 2D.....	116
Figura 64. Interfaz de inicio.....	125
Figura 65. Curva MSpE	125
Figura 66. Gráfica de efectos principales para el tiempo de abordaje.....	128
Figura 67. Gráfica de interacción de los factores.....	129
Figura 68. Gráficas de superficie de los resultados de la interacción de las variables	129
Figura 69. Protocolo de documentación TRACE.....	130
Figura 70. Resultados del tiempo de abordaje de octubre 2016	131
Figura 71. Resultados del tiempo de abordaje de noviembre y diciembre 2016	132

LISTA DE TABLAS

PÁG.

Tabla 1. Distribución de trenes por Línea.....	12
Tabla 2. Capacidad de pasajeros por tren	12
Tabla 3. Resultados de encuesta ¿Cuál foto refleja mejor lo que se vive en el STC?	22
Tabla 4. Tipos de incidentes durante 2009, 2010, 2011 y 2012	27
Tabla 5. Cronograma de la estrategia de investigación	30
Tabla 6. KPI CoMET y Nova.....	33
Tabla 7. Comparativa de metros por longitud y viajeros al día	37
Tabla 8. Características de los modelos estudiados	48
Tabla 9. Relación de actividades para el abordaje del tren.....	60
Tabla 10. Análisis del tiempo entre trenes que llegan de la estación Zaragoza	63
Tabla 11. Análisis del tiempo entre trenes que parten de la estación de trenes.....	64
Tabla 12. Análisis del tiempo de apertura de puertas	65
Tabla 13. Análisis de la cantidad de pasajeros que abordan.....	66
Tabla 14. Análisis de la cantidad de pasajeros que llegan por minuto	67
Tabla 15. Análisis del tiempo entre trenes que terminan e inician corrida	68
Tabla 16. Análisis del tiempo entre trenes que inician corrida.....	69
Tabla 17. Análisis del tiempo de apertura de puertas	70
Tabla 18. Análisis de la cantidad de pasajeros que abordan.....	71
Tabla 19. Análisis de la cantidad de pasajeros que llegan por minuto	72
Tabla 20. Análisis del tiempo entre trenes que terminan e inician corrida	73
Tabla 21. Análisis del tiempo entre trenes que inician corrida.....	74
Tabla 22. Análisis del tiempo de apertura de puertas	75
Tabla 23. Análisis de la cantidad de pasajeros que abordan.....	76
Tabla 24. Análisis de la cantidad de pasajeros que llegan por minuto	77
Tabla 25. Análisis del tiempo entre trenes que terminan e inician corrida	78
Tabla 26. Análisis del tiempo entre trenes que inician corrida.....	79
Tabla 27. Análisis del tiempo de apertura de puertas	80
Tabla 28. Análisis de la cantidad de pasajeros que abordan.....	81
Tabla 29. Análisis de la cantidad de pasajeros que llegan por minuto	82
Tabla 30. Análisis del tiempo entre trenes que terminan e inician corrida	83
Tabla 31. Análisis del tiempo entre trenes que inician corrida.....	84
Tabla 32. Análisis del tiempo de apertura de puertas	85
Tabla 33. Análisis de la cantidad de pasajeros que abordan.....	86
Tabla 34. Análisis de la cantidad de pasajeros que llegan por minuto	87
Tabla 35. Análisis del tiempo entre trenes que terminan e inician corrida	88
Tabla 36. Análisis del tiempo entre trenes que inician corrida.....	89
Tabla 37. Análisis del tiempo de apertura de puertas	90
Tabla 38. Análisis de la cantidad de pasajeros que abordan.....	91
Tabla 39. Análisis de la cantidad de pasajeros que llegan por minuto	92
Tabla 40. Análisis del tiempo entre trenes que terminan e inician corrida	93
Tabla 41. Análisis del tiempo entre trenes que inician corrida.....	94
Tabla 42. Análisis del tiempo de apertura de puertas	95
Tabla 43. Análisis de la cantidad de pasajeros que abordan.....	96

Tabla 44. Análisis de la cantidad de pasajeros que llegan por minuto	97
Tabla 45. Análisis del tiempo entre trenes que terminan e inician corrida	98
Tabla 46. Análisis del tiempo entre trenes que inician corrida	99
Tabla 47. Análisis del tiempo de apertura de puertas	100
Tabla 48. Análisis de la cantidad de pasajeros que abordan	101
Tabla 49. Análisis de la cantidad de pasajeros que llegan por minuto	102
Tabla 50. Análisis del tiempo entre trenes que terminan e inician corrida	103
Tabla 51. Análisis del tiempo entre trenes que inician corrida	104
Tabla 52. Tabla 37. Análisis del tiempo de apertura de puertas.....	105
Tabla 53. Análisis de la cantidad de pasajeros que abordan.....	106
Tabla 54. Análisis de la cantidad de pasajeros que llegan por minuto	107
Tabla 55. Ajuste del levantamiento de datos a una distribución de probabilidad	108
Tabla 56. Modelo conceptual de la estación terminal Pantitlán Línea 1.....	111
Tabla 57. Proceso y lógica de los trenes que llegan de la estación Zaragoza.....	117
Tabla 58. Proceso y lógica de los trenes que salen de la estación de trenes para ir de la estación Pantitlán a la estación Zaragoza.....	119
Tabla 59. Proceso y lógica del descenso de pasajeros en área restringida	120
Tabla 60. Proceso y lógica del descenso de pasajeros en área sin restricción	121
Tabla 61. Proceso y lógica del ascenso de pasajeros	122
Tabla 62. Factores del diseño de experimentos 2 ⁴	126
Tabla 63. Resultado de los escenarios.....	127
Tabla 64. Tiempo de abordaje de pasajeros y ciclos de espera del mes de octubre 2016	133
Tabla 65. Tiempo de abordaje de pasajeros y ciclos de espera del mes de noviembre de 2016.....	134
Tabla 66. Tiempo de abordaje de pasajeros y ciclos de espera del mes de diciembre de 2016.....	135

AGRADECIMIENTOS

Gracias

Por medio de estas líneas ofrezco mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que apoyaron y contribuyeron con sus conocimientos y orientación para hacer posible el presente trabajo. Y a todos aquellos lectores, gracias por el tiempo prestado.

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) Sistema de Transporte Colectivo (STC)

Gracias a las instituciones UNAM, CONACYT y STC por hacer posible, a través de su patrocinio y apoyo, la realización del presente proyecto de tesis: medición del tiempo de abordaje de los pasajeros del STC: estación Pantitlán, Línea 1. También quiero agradecer al equipo de la Gerencia de Ingeniería y Nuevos Proyectos del STC, en particular a la Ing. Yolanda Carrillo Hernández por el tiempo dedicado a este proyecto, así como en la gestión del mismo. De igual forma agradezco al Ing. Agustín Patiño Acencio quien nos abrió las puertas para adentrarnos al STC. Al Ing. Roberto Román Mota y al Dr. José Ángel Bermejo Arenas gracias por el apoyo y atenciones brindadas.

Ingeniería de Sistemas

Quiero agradecer en especial a la Dra. Aida Huerta Barrientos por todas las atenciones y trato hacia mi persona, y en particular por tomarse el tiempo, día a día en orientarme y desarrollarme profesionalmente mediante la dirección del presente. A la M.I. Francis Soler Anguiano, gracias por su amistad incondicional, su confianza y su impulso por hacernos partícipes en el Departamento de Ingeniería de Sistemas. A la Dra. Idalia Flores de la Mota, gracias por su alto compromiso en el desarrollo de las oportunidades para el progreso de los planes de las maestrías y doctorados de Ingeniería de Sistemas.

A Dios, a mis padres, hermanos y amigos

Gracias Dios por darme la oportunidad de vivir y de contar con todos los elementos para salir adelante. Gracias a mis padres por ser lo seres más maravillosos del mundo, a quienes amo, admiro y respeto, gracias por guiar mi camino. A mis hermanos y sobrinos, quiero que sientan que el objetivo logrado también es suyo, y que la fuerza que me ayudó a conseguirlo fue su apoyo. Gracias Geraldo Salazar Diaz por creer en mí, por apoyarme en todo momento y caminar de la mano por el resto de nuestras vidas. Y a todos mis amigos quiero darles las gracias por permítame ser parte de su vida.

Jamás existirá una forma de agradecer todos sus esfuerzos 🌹.

INTRODUCCIÓN

El Sistema de Transporte Colectivo (STC) se establece como parte del transporte público de pasajeros, el cual es declarado como organismo público descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propio, cuya planeación, organización, crecimiento y desarrollo es regida por su decreto de creación y por las disposiciones jurídicas y administrativas aplicables, Asamblea Legislativa del Distrito Federal, VI Legislatura (2014). Desde su inauguración, el 4 de septiembre de 1969, ha sido el principal medio de transporte masivo de la Ciudad de México, el cual traslada al año a más de 1,600 millones de personas a lo largo de sus 12 líneas, STC a) (2016).

El precio del boleto es de \$5.00 M.N. por lo que el STC es considerado de los más baratos a nivel mundial. Este bajo costo del transporte y el incremento desmesurado de pasajeros trajo consigo la aparición de diversos problemas sociales, mecánicos y de mantenimiento que afectan día a día el tiempo de abordaje de los pasajeros y por ende la calidad del servicio del mismo, STC b) (2014). Parte de la misión del STC es satisfacer las expectativas de calidad, accesibilidad, frecuencia y cobertura de los pasajeros, STC c) (2007). El objetivo de esta tesis es medir el tiempo de abordaje de los pasajeros del STC y, por medio de la simulación de la estación terminal Pantitlán, Línea 1, generar una herramienta para coadyuvar en la toma de decisiones de las gerencias operativas. Con lo anterior, se busca enfocar los esfuerzos en satisfacer las expectativas de calidad y accesibilidad de los pasajeros al abordar los convoyes, y apoyar el cumplimiento de la misión de este organismo.

La determinación del tiempo de permanencia para abordar los trenes de sistemas de transporte masivo similares al STC, a nivel mundial, ha sido analizada desde el punto de vista de la estructura y diseño del andén; sin embargo, también se han realizado estudios de los sistemas que trabajan sobre calendarización de la llegada del tren a las estaciones, bajo las suposiciones de frecuencia de salida y capacidad de los trenes constante, en el caso de la presente tesis se analiza el tiempo de abordaje de los pasajeros del STC mediante variabilidad de sus factores.

La estructura de esta tesis está constituida por cinco capítulos.

En el capítulo I se describe la necesidad y evolución de los sistemas de transporte masivo, en particular el STC y la movilidad en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), las afectaciones en su funcionamiento y cómo perciben los pasajeros el servicio que se les brinda. Finalmente, se define la necesidad de la medición del tiempo de abordaje de los pasajeros de la estación terminal Pantitlán, Línea 1 del STC.

En el capítulo II se estudia la comparativa de metros a nivel mundial, las mediciones internas del STC, la importancia de la medición del desempeño y el tiempo de abordaje de los pasajeros como indicador dentro del STC, además de la revisión de otros estudios de modelos matemáticos y simulaciones más recientes para la elaboración de la simulación de la estación terminal Pantitlán, Línea 1 del STC.

En el capítulo III se identifica la relevancia de la medición del tiempo de abordaje de pasajeros en la misión y visión del STC, se describe el proceso de abordaje al tren, se identifican los factores que intervienen, los puntos y técnicas de medición, así como los detalles y resultados del levantamiento de los datos tomados en campo.

En el capítulo IV se describe el proceso del desarrollo del modelo de simulación de la estación terminal Pantitlán, Línea 1, el cual se realizó por medio de la Metodología basada en Modelos de Simulación para el Análisis de Sistemas Complejos, MoSASCoM, para desarrollar el modelo por síntesis y por descomposición usando el software AnyLogic™.

En el capítulo V, se concluye la cuarta etapa de la metodología MoSASCoM, *Análisis del modelo de simulación*, para ello se introdujeron los datos obtenidos en la investigación en campo y se analizaron los resultados obtenidos.

CAPÍTULO I – PROBLEMÁTICA DE LA MOVILIDAD URBANA

En el presente capítulo, se describe la necesidad y evolución de los sistemas de transporte masivo, en particular el Sistema de Transporte Colectivo (STC) y la movilidad en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), las afectaciones su funcionamiento y cómo perciben los pasajeros el servicio que se les brinda. Finalmente, se define la necesidad de la medición del tiempo de abordaje de los pasajeros de la estación terminal Pantitlán, Línea 1 del STC.

1.1 Necesidad y derecho a la movilidad urbana

El acelerado e incontrolado proceso de urbanización que se desarrolla día a día en la ZMVM ha propiciado la necesidad del desarrollo y uso de transportes masivos de pasajeros que sean eficientes, a fin de facilitar la capacidad de desplazarse de un lugar a otro para poder llegar a diferentes destinos optimizando la movilidad de las personas, lo que se conoce como movilidad urbana (Matix González, 2010). Sin embargo, además de ser una necesidad, también es un derecho, como lo señala la Ley de Transporte y Vialidad del Distrito Federal, en su artículo 101 *“Los usuarios tienen derecho a que el servicio público de transporte se preste en forma continua, uniforme, permanente e ininterrumpida y en las mejores condiciones de seguridad, comodidad, higiene y eficiencia”*. En el año 2007, México fue sede del evento para la aprobación de un instrumento con la finalidad de facilitar el conocimiento y el debate en torno de los derechos humanos sin cuestionar los ya establecidos nacional e internacionalmente, la Declaración Universal de Derechos Humanos Emergentes (DUDHE), además se obtuvieron foros organizados por el Instituto de Derechos Humanos de Cataluña (IDHC) y la sociedad civil internacional, en donde también se reconoció expresamente el derecho a la movilidad, al señalar que:

“Toda persona tiene derecho a un tráfico ordenado y respetuoso con el medio ambiente y a moverse con facilidad por la ciudad metropolitana. Toda persona discapacitada tiene derecho a que se facilite su movilidad y a la supresión de todas las barreras arquitectónicas” (Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal, 2011-2012).

1.2 Evolución del ferrocarril a nivel mundial

El desarrollo de la tecnología en el ferrocarril, dio como resultado lo que hoy conocemos comúnmente como metro; o bien, STC. El origen del ferrocarril como tal se dio en el siglo XVI, era un transporte subterráneo de los mineros alemanes, elaborado con vagones que se apoyaban sobre dos series de maderas planas, dos siglos después las series se elaboraron con lingotes de hierro y se introdujo la rueda con llanta o cerco metálico (Microsoft Corporation, 2006). El 13 de abril de 1771, con en el descubrimiento de la máquina de vapor, se construyó la primera locomotora de vapor en Inglaterra para el transporte de pasajeros. En 1825, se construyó una locomotora más potente, capaz de arrastrar seis vagones cargados de hierro y carbón junto con 20 carrozas ocupadas por 400 pasajeros. Lo anterior originó que por primera vez se establecieran tarifas comerciales, horarios y un trayecto comercial. La primera línea de ferrocarril del mundo se inauguró el 15 de abril de 1830 en Inglaterra, conectando a Liverpool con Manchester, a partir de ese año se consideró el inicio de la era moderna del ferrocarril en el mundo. El tráfico de viajeros se intensificó de manera sorprendente, la velocidad que se alcanzaba era de 20 millas/h (Gómez Estrada, 2010). En otros países como Francia, Alemania, Bélgica, Rusia y Estados Unidos comenzaron a implantar líneas ferroviarias. En 1848, se instauró la primera línea peninsular, de Barcelona a Mataró, habiéndose realizado con anterioridad en Cuba la primera línea ferroviaria española (Gómez Estrada, 2010).

Sin embargo, los primeros trenes usaron como combustible el carbón, los cuales emitían grandes cantidades de hollín, motivo por el cual se prohibió la entrada de estos en Londres, pero ante la necesidad del transporte surgió la idea de construir un tren metropolitano de pasajeros que transitara por debajo de la zona urbana, para lo cual se utilizó la técnica de muro pantalla (representada en la Figura 1), la cual consistió en abrir una zanja, construir el túnel y volver a tapar); de ahí se deriva el nombre de “Underground”, que al español significa subterráneo.

Figura 1. Ilustración de la técnica muro de pantalla



Fuente: Piqueras (2016).

El inventor fue Carles Pearson quien vio frenada su idea por la imposibilidad de obtener fondos para financiar la construcción, entonces, Pearson abogó por la existencia de un ferrocarril subterráneo económico, que permitiera a las clases obreras residir en distritos adyacentes y hacer frente, a su vez, a los problemas de congestión en Londres (Cavendish, 2013). En 1854, el Parlamento autorizó la creación de un enlace subterráneo entre Paddington y Farrinddon Street, pasando por King's Cross. EL 10 de enero de 1863, se inauguró un tren que se trasladaba bajo la tierra, esa se consideró como la primera línea del metro, los coches de este tren al igual que los trenes de esa época eran para pasajeros de primera y de tercera clase y, una locomotiva a vapor con un dispositivo especial para poder limitar la emisión de humo y vapor, para el siguiente año se proyectaron 259 nuevas líneas; sin embargo, en 1868 se realizó únicamente la línea entre South Kensington y Westminer (Lodresweb Est, 1996).

Además de conseguir el desarrollo en los medios de transporte, también se obtuvo el desarrollo en el tema de las construcciones. En 1848, el ingeniero Marc Isambard Brumel había construido el primer túnel. En 1980, se construye el Greathead Shield, el cual se considera como el progenitor de lo que conocemos actualmente como metro, se trataba de coches llamados padded cells que eran tirados por un pequeño locomotor eléctrico. En 1898, 1900, 1904, 1906 y 1907 fueron creados Waterloo & Ciry Line, la Central, Great Northern & City, la Bekerloo & la Piccadilly y la Hampstead, respectivamente. Sin embargo, el locomotor eléctrico presentaba una gran desventaja que al final de trayecto tenía que ser trasladado al extremo opuesto del tren. Para resolver ese problema la tracción fue sistematizada directamente en los dos coches extremos del convoy, por lo que era suficiente mover solamente a los conductores. A partir de ese momento se convirtió en el medio principal de transporte urbano londinense, el cual fue llamado Underground desde 1907 (Lodresweb Est, 1996). En África, Asia y Australasia no tuvieron ferrocarril hasta 1850. Muchos constructores de estos continentes prefirieron un ancho de vía de menos de 1435 mm, mientras que las rutas principales de la India tienen una medida superior (Microsoft Corporation, 2006).

1.3 Evolución del ferrocarril en América

Durante la década de los 1820's en Estados Unidos, la segunda mejora más importante fue la construcción de canales; no obstante, la construcción de estos canales era lento y costoso, así que en cuanto se construyeron los primeros ferrocarriles en Inglaterra, Estados Unidos siguió de cerca su desarrollo. Los inicios del ferrocarril en el continente americano, como podemos ver en la Figura 2, se dieron a partir de 1830 con la construcción del primer sistema de ferrocarril, la Charleston & Hamburg en Carolina del sur y el Mohawk & Hudson en New York. En 1853, se fusionaron 15 ferrocarriles locales en la New York Central de 600 millas de largo, dando lugar a la primera consolidación importante en la industria del ferrocarril en Estados Unidos. En 1865, fue aprobado por el congreso, un ferrocarril transcontinental. Sin embargo, en las décadas de 1870 y 1890, el mercado se desplomó y se produjeron largas depresiones (Marin SRTS Resource Center, 2012). Seguido de Estados Unidos, se introdujo el Ferrocarril Cubano, en la década de 1830, convirtiéndose Cuba en el primer país de América Latina, el segundo en el continente americano y el séptimo a nivel mundial en utilizarlo. En sus inicios fue empleado con fines económicos y posteriormente para facilitar la transportación masiva de pasajeros (Microsoft Corporation, 2006). Las inversiones importantes para el desarrollo de las redes ferroviarias en América Latina se realizaron a través de concesiones que otorgaban los gobiernos en especial a empresarios británicos y estadounidenses, como ocurrió en Argentina. En 1857 se inauguró el primer ferrocarril de ese país con el propósito de enlazar los centros de producción ganadera y minera con el puerto desde donde se exportaba la materia prima a Europa y Estados Unidos (Microsoft Corporation, 2006).

Figura 2. Primeros ferrocarriles en América



Fuente: Elaboración propia con base en Microsoft Corporation (2006) y Marin SRTS Resource Center (2012).

1.4 Historia del Sistema de Transporte en la Ciudad de México

A través de la historia de la Ciudad de México, se han utilizado diversos transportes, desde las canoas hasta llegar a la etapa eléctrica del transporte, ver Figura 3. Durante la primera mitad del siglo XIX, la Ciudad de México tuvo la necesidad de crear un medio de transporte para las personas que provenían de lugares alejados y que necesitaban trasladarse a esta ciudad para vender o trabajar, la solución fue encontrada en los ómnibus, que eran grandes carretones tirados por animales. En 1856, por primera vez se otorgó una concesión para construir una línea de tranvías de tracción animal conocidos como tranvías de mulitas, los cuales sustituyeron paulatinamente al ómnibus, su proliferación condujo el crecimiento urbano a lo largo de sus rutas (STC e), 2016). En 1821, con la independencia de México, los consideraron que el establecimiento de ferrocarriles era factor importante para el desarrollo y progreso de nuestro país.

Desde la década de 1830, se intentó construir el primer ferrocarril en México, pero fue hasta el 15 de septiembre de 1850 que se inauguró. El primer tramo recorría unos 20 Kilómetros que unía el puerto de Veracruz con la población vecina de San Juan (Microsoft Corporation, 2006). En la Ciudad de México, fue hasta el 4 de julio de 1857, que el presidente Comonfort puso en marcha el primer tramo de la ruta entre México y la Villa de Guadalupe. Conforme la Ciudad de México y su población crecían, las diferentes líneas nacieron, lo que causó la necesidad de efectuar diversos cambios en la modalidad de tracción debido a que presentaron nuevas problemáticas para el transporte urbano. Por sus características de gran peso y tamaño, los ferrocarriles no tenían acceso a las estrechas calles. Entonces, se optó por que los ferrocarriles se instalaran en las periferias, mientras que el servicio al interior de la ciudad, lo darían los tranvías de mulitas. Este sistema estuvo en funcionamiento hasta el siglo XX, con la llegada de los tranvías eléctricos se efectuaron los recorridos que realizaban los tranvías mulitas, la sustitución de éstas por los nuevos “trolebuses” terminó hasta 1934 Hoy en día se siguen utilizando los trolebuses junto con otros medios de transporte eléctricos e hidrocarburos, tanto en medios particulares como privados, que en su conjunto muestran la dinámica y la necesidad de movilidad urbana de la Ciudad de México (STC e), 2016).

Figura 3. Primeros transportes colectivos en la Ciudad de México



1951 –Trolebús, el cual fue desplazado, no en su totalidad, por el transporte subterráneo.



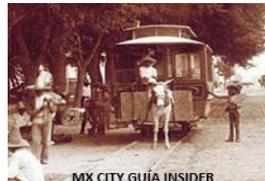
Conexión entre transporte externo e interno, ferrocarril y tranvía eléctrico respectivamente.



1900 - Tranvía eléctrico, transporte que gradualmente sustituye a los anteriores.



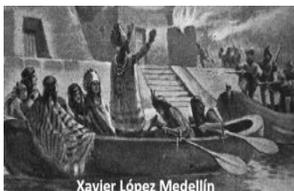
1857 - Ferrocarril, trasporte para conexión con Veracruz y periferias de la Ciudad de México.



1883 - Tranvías mulitas; sin embargo, las concesiones se habían dado 33 años antes.



1824 – Ómnibus, primer transporte colectivo en la Ciudad de México.



Canoa y carrozas coloniales usadas principalmente en la Gran Tenochtitlán.



Fuente: Elaboración propia con base en STC e) (2016).

1.5 Evolución del Sistema de Transporte Colectivo (STC)

Para la segunda mitad del siglo XX, la Ciudad de México presentaba graves problemas de transporte público y congestionamiento de la red vial, particularmente en la Zona Centro, en donde se concentraba el 40 por ciento del total diario de los viajes realizado. En este lugar y sus alrededores, circulaban 65 de las 91 líneas de autobuses y transportes eléctricos de pasajeros, con cuatro mil unidades además de los 150 mil automóviles particulares (STC e), 2016).

En las horas de mayor afluencia de tránsito, la velocidad de circulación era menor a la de una persona caminando. La Ciudad de México había dejado de ser una entidad rural y la economía urbana requería de una movilidad ágil para los trabajadores tanto de las industrias como del sector de los servicios. Ante tal crecimiento de la población en 1965, se hace la propuesta de construir un metro (STC f), 2016). El principal promotor de la construcción ese metro fue el Ingeniero Bernardo Quintana, quien al frente de la empresa Constructores Civiles y Asociados (ICA), realizó una serie de estudios que hicieron posible que el 29 de abril de 1967 se publicara el proyecto de construcción, en el Diario Oficial de la Federación por Decreto presidencial, mediante el cual se creó el organismo público y descentralizado: Sistema de Transporte Colectivo (STC), mejor conocido comúnmente como “metro” (STC f), 2016).

Para el 19 de junio de 1967, se realiza la ceremonia de inauguración a la obra civil más grande en la historia de la Ciudad de México, tanto por su dimensión y costo, como por el beneficio que aporta a sus habitantes (STC f), 2016). El 4 de septiembre de 1969, un convoy realizó el recorrido inaugural, entre las estaciones Insurgentes y Zaragoza. La construcción del STC es probablemente, la obra civil y arquitectónica más grande y compleja de la Ciudad de México. Su principal característica es que está en un proceso permanente de transformación y crecimiento, con la incorporación de nuevas tecnologías y la ampliación constante de la red, a través de investigaciones, análisis y estudios de la viabilidad de objetivos y metas planteados desde sus inicios en el Programa Maestro, buscando así brindar la eficiente movilidad de sus pasajeros (STC f), 2016).

Durante la década de los 80's el transporte eléctrico de la Ciudad de México no sólo se concentró en el STC, ya que fue en ese tiempo los vehículos del Sistema de Transportes Eléctricos (STE) comenzaron fabricarse en México por la compañía Mexicana de Autobuses, S.A.; sin embargo, para la década de los 90's fue eminente el reemplazo total de los antiguos tranvías PCC, para lo cual se importaron unidades nuevas (STC f), 2016).

En el año de 1983, comenzó la tercera etapa de expansión del STC con la conclusión de las Líneas 1, 2 y 3 y la construcción de las líneas 6 y 7, con lo que este Organismo incrementó su longitud a 114.7 km y 105 estaciones en 1985. Un año más tarde comenzaría su cuarta etapa con la ampliación de las líneas 6 y 7, además de iniciarse la construcción de la línea 9. En ese periodo el STC aumentaría su extensión 16 km y 16 estaciones más (STC f), 2016). En el año de 1994, se inició la construcción de la Línea B, la cual fue terminada en su totalidad en el año 2000, tiempo en el que se inauguró el segundo tramo para completar la obra. Finalmente, la línea 12, se inauguró el 30 de abril de 2012. Actualmente estas 12 líneas con 195 estaciones, recorren los 196.383 Km que conforman la red del Sistema de Transporte Colectivo (STC) ver Figura 4 (STC f), 2016). La Ciudad de México es recorrida de oriente a poniente por las líneas 1, 6, 8, 9, A, B y 12; de norte a sur por las Líneas 2, 3, 4 y 7; de oriente a norponiente por la Línea 5. Para realizar las conexiones entre las 12 líneas existen estaciones (intermedias y terminales) de correspondencia, el transbordo de estaciones se realiza sin costo extra.

Por otra parte, se contempla un plan de expansión de 43 kilómetros, para las líneas 9, 12, A y B, que durará por lo menos cuatro años. El Director General del STC, Jorge Gaviño señaló que, a partir de 2016 los trabajos se iniciaron e incluyen la ampliación de la línea 12 hacia Observatorio; la línea A, conectará la terminal La Paz a Chalco, en el Estado de México. La línea 9, llegará a Observatorio, de tal manera que junto con la Línea 1 se apoyarán de manera paralela, porque ambas salen de Pantitlán y llegarán a Observatorio. Aunado a lo anterior también se considera la necesidad de mantener a la vanguardia de la tecnología del material rodante, (Gaviño, 2016).

Figura 4. Mapa de la Red Actual del STC



Fuente: Agencia de Gestión Urbana de la Ciudad de México (2013).

1.6 Infraestructura del STC

El Sistema de Transporte Colectivo (STC) tiene un parque vehicular de 390 trenes, de los cuales, de rodadura neumática 292 trenes son de 9 carros y 29 de 6 carros, así como de rodadura férrea 12 son de 9 carros, 27 de 6 y 30 de 7 carros. Este parque vehicular está integrado por 4 modelos férreos y el resto neumáticos (STC g), 2016). Las constructoras Concarril, Bombardier, Alstom y CAF son firmas reconocidas, que se destacan por su experiencia, innovación tecnológica, medidas de seguridad, capacidad, comodidad y confiabilidad (STC g), 2016). Para proporcionar el servicio a los pasajeros en horas pico se tiene un polígono de operación de 282 trenes, los 108 trenes restantes se encuentran distribuidos en mantenimiento sistemático, mantenimiento mayor, rehabilitación, proyectos especiales y como reserva, en la tabla se encuentra la distribución de trenes por Línea (STC g), 2016).

Tabla 1. Distribución de trenes por Línea

Línea	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	A	B	Total
Trenes	49	40	50	12	25	17	33	30	29	30	39	36	390

Nota: La cantidad de trenes por línea puede variar por una redistribución del parque vehicular en función de las necesidades del servicio.

Fuente: Adaptado de STC g (2016).

Con objeto de proporcionar un mejor servicio, el STC modificó trenes de 6 convoyes por trenes de 9 convoyes (las capacidades e ilustraciones de éstos se presentan en la Tabla 2 y Figuras: 5 - 8) y se han reparado 18 trenes que se encontraban fuera de servicio, incorporándose a la operación de las Líneas 1, 3, 5, 7, 8, 9, A y B (STC g), 2016).

Tabla 2. Capacidad de pasajeros por tren

Tren	sentados	parados	Total
Seis vagones	240	780	1020
Siete vagones	336	1139	1475
Nueve vagones	360	1170	1530

Fuente: Adaptado de STC g (2016).

Figura 5. Trenes formados por nueve convoyes



Figura 6. Tren formado por siete convoyes



Figura 7. Trenes formados de seis a nueve convoyes



Figura 8. Tren formado por seis convoyes



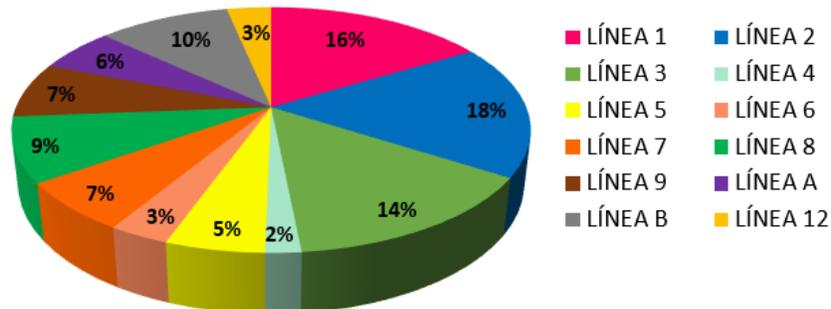
Fuente: STC g) (2016).

1.7 Desarrollo del Sistema de Transporte Colectivo (STC)

Con base en la Ley de Movilidad del Distrito Federal (publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 28 de noviembre de 2014), en su artículo 78, apartado I, establece que forman parte del sistema de transporte público local de pasajeros el concesionado, así como los que proporciona el gobierno, mismos que clasifica en: Sistema de Transporte Colectivo (STC), Servicio de Transportes Eléctricos del Distrito Federal, la Red de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal, el Sistema de Corredores de Transporte Público de Pasajeros del Distrito Federal y los diferentes sistemas de transporte público establecidos o que establezca el Gobierno del Distrito Federal, para satisfacer necesidades de población. Así mismo, define al Sistema de Transporte Colectivo (STC) como, organismo público descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propio, cuya planeación, organización, crecimiento y desarrollo se registrará por su Decreto de Creación, el cual forma parte del Programa Integral de Transporte y Vialidad del Distrito Federal y por las disposiciones jurídicas y administrativas aplicables; la red pública de transporte de pasajeros deberá ser planeada como alimentador de este Sistema, (Asamblea Legislativa del Distrito Federal, VI Legislatura, 2014).

Actualmente cumple su cometido al ser el principal medio de movilidad de pasajeros en la Ciudad de México, anteriormente con la denominación de Distrito Federal. En el año 2015, se obtuvo una afluencia de poco más de 1,600 millones de pasajeros, tanto en accesos pagado como gratuito, ver porcentaje de afluencia por línea en la Figura 9 (STC h), 2016).

Figura 9. Afluencia de pasajeros 2015 (Por Línea)

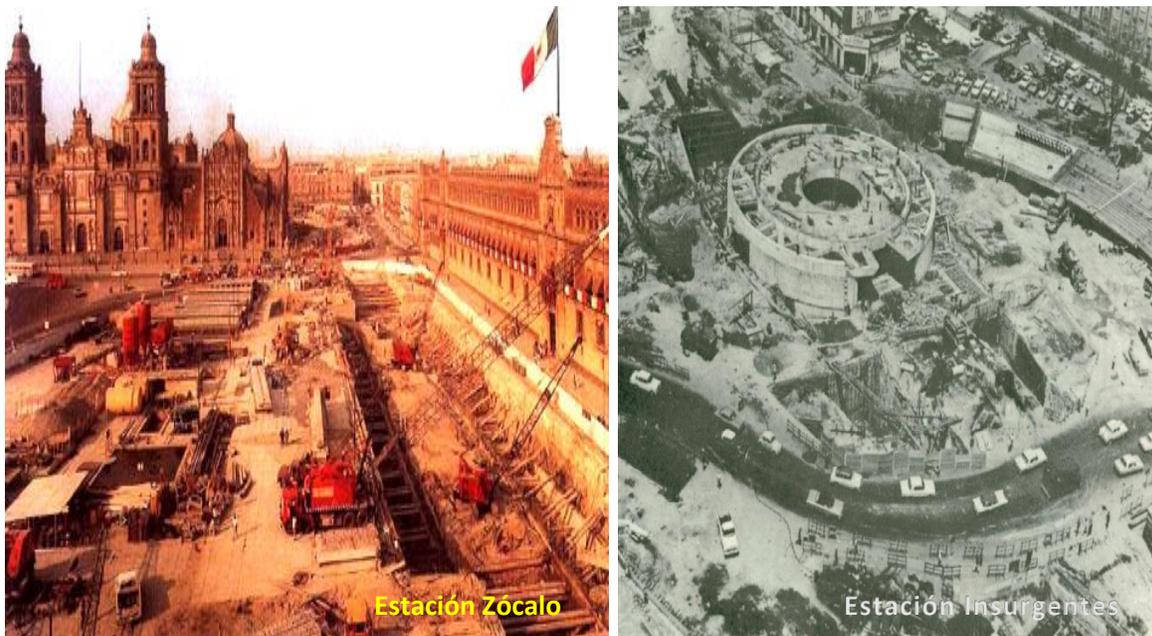


Fuente: Elaboración propia con datos del: STC h) (2016).

Desde sus inicios en 1969, el STC fue un ejemplo de modernidad, como en su momento fue la llegada de los ferrocarriles, el cual hacía a la Ciudad de México más cosmopolita al acortar las fronteras. Su llegada fue pensada para cubrir todas las necesidades colectivas de la nueva economía urbana, de las cuales, la principal era realizar la movilidad expedita de los pasajeros, al ser subterráneo, eléctrico y masivo.

Las dos primeras líneas del STC, Línea 1 y 2 (rosa y azul respectivamente), se construyeron en el trazo de grandes avenidas (ver Figura 10), en donde se concentraban las industrias, los comercios y las viviendas, por lo que la alta afluencia de personas requería de tiempos cortos de traslado, quedando entonces conectadas a través de túneles las estaciones Chapultepec, Zaragoza, Insurgentes y Tlalpan. Las etapas de ampliación resultaron sumamente útiles, además de incluir la facilidad de entrada y salida por sus torniquetes, se encontraba la accesibilidad a múltiples lugares (históricos, recreativos, mercados de abasto, salud pública entre otros, con un solo boleto por viaje (STC b), 2014).

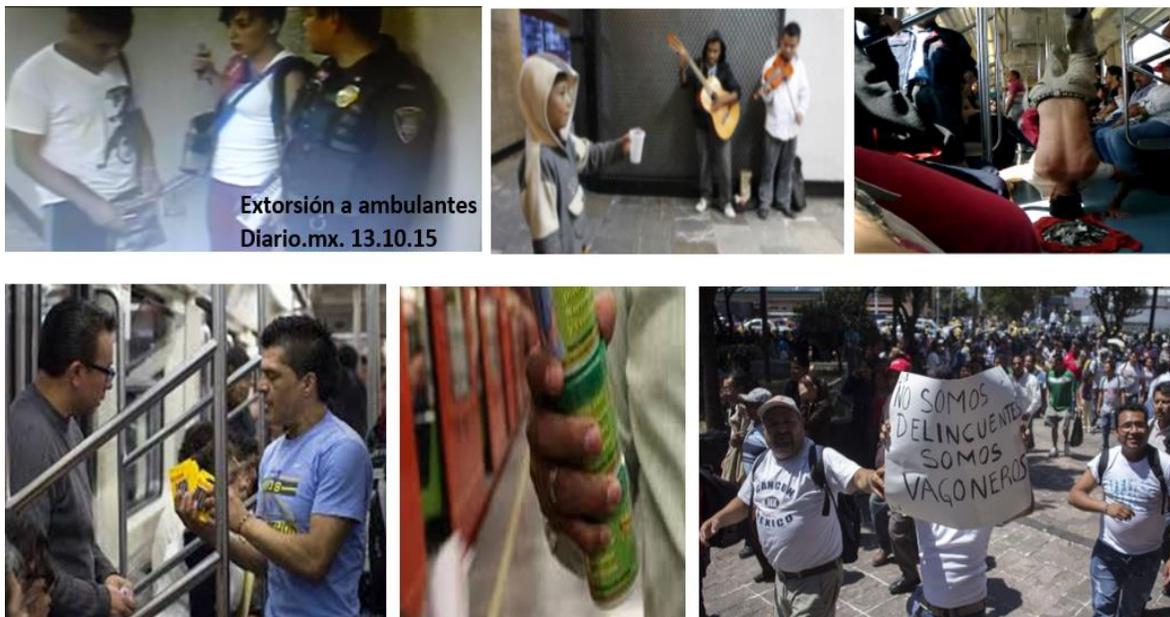
Figura 10. Construcción de estaciones de líneas 1 y 2



Fuente: Taringa (2013).

Por varios años el STC tuvo cronometría de evolución similar a la del continente europeo. Sin embargo, a principios de la década de 1980 debido a una gran crisis y a un cuestionable manejo de las finanzas públicas, la deuda externa alcanzó niveles insospechados, generando estancamiento, devaluación del peso, empresas quebradas (principalmente micros y pequeñas), desempleo o bajos salarios y la crisis del régimen de la seguridad social. La estrategia de sobrevivencia de muchos mexicanos coincidió en la economía informal y en la búsqueda de más de una actividad monetaria. Quienes perdían el empleo se aventuraron a vender diversos productos dentro de las instalaciones del STC (STC b), 2014). En cuestión de meses el STC se llenó de trabajadores angustiados y vendedores ambulantes con productos nacionales y extranjeros, originales o apócrifos, debido a que requerían de productos que los pasajeros pudieran adquirir en esa época de crisis. Ambulantes y vigilantes establecieron una simbiosis estructural cómplices de la necesidad (ver Figura 11). Aunado a lo anterior, jóvenes con instrumentos musicales, cantaban y/o tocaban para suplicar una ayuda por caridad, en paralelo con ambulantes y con grupos menesterosos rurales y urbanos, situación que empeoró a raíz del terremoto de 1985 (STC b), 2014).

Figura 11. Vagoneros del STC



Fuente: Reforma (2015) y Boom a) (2015).

A finales del sexenio de la presidencia del Lic. Carlos Salinas de Gortari, en 1991 se inauguró la Línea A, consiguiendo la conexión y penetración en el Estado de México (STC b), 2014). En 1994, se inauguró la Línea 8 del STC; sin embargo, parecería que el país se acercaría al primer mundo, pero sería todo lo contrario. La nueva crisis en 1994, trajo consigo nuevamente cierre de empresas, pérdida de empleos, quiebra de patrimonios. Los ambulantes hicieron plaza en muchas estaciones del STC (ver Figura 12), en donde se vendía de todo, productos no apócrifos principalmente y al igual que los alimentos con cuestionable calidad, pero accesibles en precio (STC b), 2014).

Figura 12. Plazas de ambulantes en entradas del STC



Fuente: Boom b) (2015).

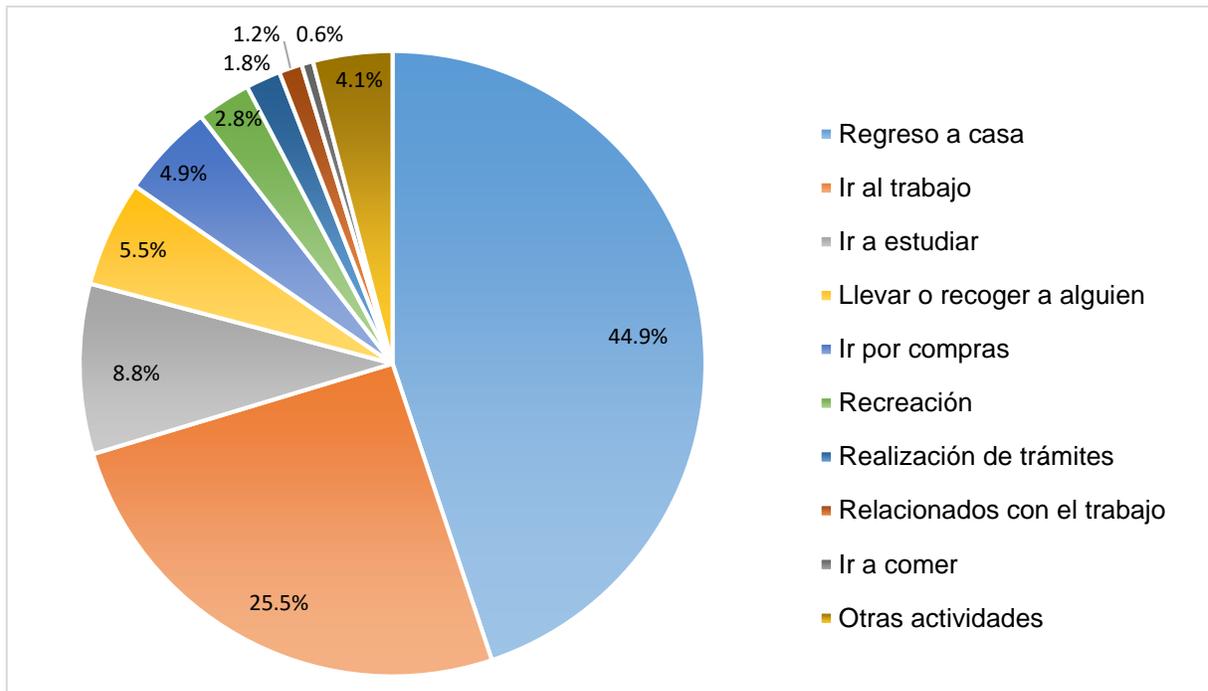
Conforme pasó el tiempo, el volumen de pasajeros comenzó a crecer exponencialmente obteniendo como resultado la aparición de aglomeraciones en donde todos los pasajeros tendrían que viajar apretados, situación que afectó notoriamente a las mujeres, debido a que entre empujones se presentaban los manoseos y el acoso sexual, por lo que en 2007 se puso en marcha el programa denominado “Acoso Cero”, que consiste en asignar los primeros vagones para uso exclusivo de mujeres, niños de hasta 12 años y adultos mayores. Esta medida fue pionera a nivel mundial, como es el caso de Tokio. Sin embargo, se observó que la violencia hacia las mujeres también es cometida por las propias mujeres (STC b), 2014).

En el STC se han presentado diversos actos que afectan la calidad del servicio, desde simples riñas hasta asesinatos, pasando por actos sexuales, amenazas de bomba (todas falsas), vandalismo, robos y asaltos, accidentes con y sin consecuencias fatales (tanto para trabajadores como pasajeros), suicidios y diversas situaciones médicas (desmayos, nacimientos entre otros (STC b), 2014). En cuestiones monetarias, la lucha por mantener el bajo costo del boleto de acceso produjo el deterioro de las instalaciones y el atraso en la rehabilitación de trenes descompuestos, por lo que el 13 de diciembre de 2013 se incrementó de \$3.00 M.N. a \$5.00 M.N., el costo del boleto de este medio de transporte, manteniendo un subsidio de \$6.14 M.N., ya que el costo por boleto se estimó en \$11.14 M.N. al año 2014 (Gabriela Romero, 2013). Por otra parte, en el caso de la construcción de la Línea 12 (última hasta el momento) que corre de Mixcoac a Tláhuac a través de sus 20 estaciones, representó un riesgo para sus pasajeros (detectado por la firma alemana ILF Consulting Engineer). Para evitar el riesgo de algún accidente se cerraron 11 de las 20 estaciones, lo cual generó costos millonarios por más de 1000 millones de pesos, por lo menos entre reparaciones y renta de camiones RTP (El Financiero, 2015). La falta de presupuesto, el deterioro de las instalaciones y la creciente demanda repercuten directamente en la calidad del servicio que brinda el STC a los pasajeros.

1.8 Movilidad urbana en la Ciudad de México

Desplazarse de un lugar a otro depende de las actividades de interés de cada individuo. Con base en la Encuesta 2007 Origen-Destino, que se realiza cada 10 años por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) con la finalidad de obtener información que permita determinar la movilidad de los residentes, se obtuvo que en la ZMVM, de 21,954,157 viajes: 44.9% fueron realizados para regresar a casa, 25.5% fueron para ir al trabajo, 8.8% para ir a estudiar, 5.5% para llevar o recoger a alguien, 4.9% para ir por compras, 2.8% para actividades de socializar y diversión; 1.8% para realizar trámites, 1.2% relacionados con el trabajo, 0.6% para ir a comer y 4.1% para otras actividades, ver Figura 13 (INEGI, 2007).

Figura 13. Resultado de los motivos de desplazamientos

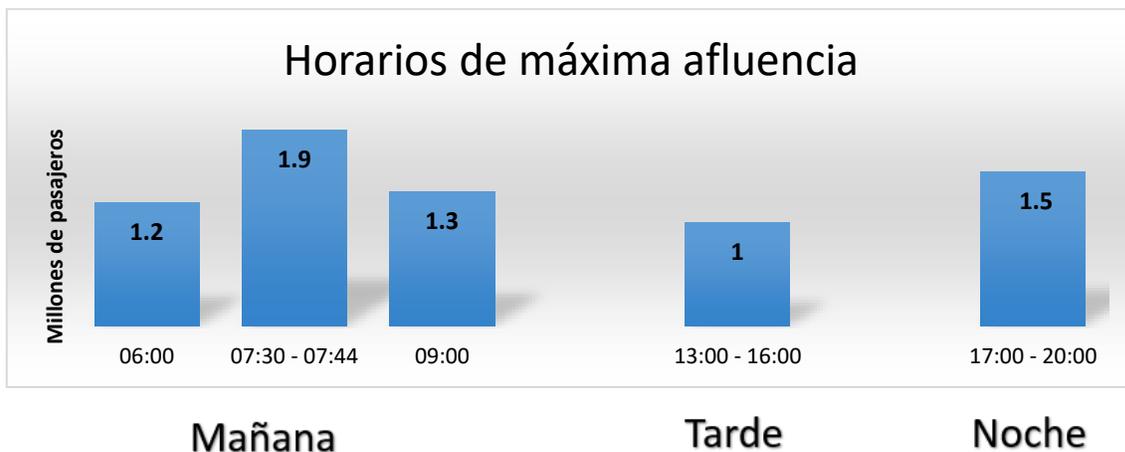


Fuente: INEGI (2007).

La movilidad urbana puede realizarse por diferentes medios de transporte, los cuales se pueden dividir (con base en la Encuesta Origen-Destino, INEGI 2007) en: Transporte público, STC, Tren ligero, Metrobús, Autobús RTP, Autobús suburbano, Colectivo y Taxi; mientras que el transporte privado en Automóvil, Motocicleta y Bicicleta. El medio de transporte mixto, se considera como la combinación entre transporte público y privado (INEGI, 2007). La Encuesta Origen-Destino, INEGI 2007, reveló que de los 21.9 millones de viajes que se realizan en un día hábil, por los residentes de la ZMVM, el 58.4% se originan en la Ciudad de México y el 41.3% en municipios del Estado de México. Dos terceras partes, de los 21.9 millones de viajes que se efectúan diariamente, se realizan en transporte público (14.8 millones), y una tercera parte (6.8 millones) son ejecutados en transporte privado; y pocos, en transporte mixto u otro (INEGI, 2007). Los viajes pueden tener uno o más tramos, utilizando diversos modos de transporte. En el caso del STC, la mayor parte de los pasajeros lo utiliza como el más importante medio de conexión con otras opciones de traslado.

La encuesta Origen-Destino 2007 del INEGI, estudió la duración de los viajes por origen y destino, para la Ciudad de México y para los 40 municipios del Estado de México. Se obtuvo como resultado que la duración promedio, de los viajes que se realizan en transporte mixto es de una hora con veintitrés minutos; para los viajes que salen del distrito de origen, es de una hora. Mientras que los viajes por tipo de transporte que se realizan en el mismo distrito, tienen una duración promedio de veinticinco minutos. Un factor de suma importancia es el tiempo, en el estudio de la encuesta Origen-Destino 2007 del INEGI, se identificó que entre las 06:00 y las 08:59 horas, es el periodo matutino de máxima afluencia de viajeros, durante el cual miles de personas se van agregando y retirando del flujo urbano. Empieza a las 6:00 horas de la mañana con 1.2 millones de viajeros, a los que se van agregando cada vez más hasta llegar a un máximo de 1.9 millones, entre las 7:30 y 7:44 horas de la mañana. Después de esa hora comienza a disminuir la cantidad de viajeros, hasta llegar a 1.3 millones, a las 9:00 horas de la mañana. El periodo de máxima demanda de transporte, se aprecia que entre las 7:00 y 7:59 horas (INEGI, 2007). Por la tarde, la encuesta 2007 Origen-Destino del INEGI, también se obtuvo que el periodo de máxima demanda ocurre de las 13:00 horas a las 16:00 horas, con un promedio de un millón de viajeros. Y hacia el final de la jornada, de 17:00 a 20:00 horas se tiene un promedio de viajeros de 1.5 millones (ver Figura 14).

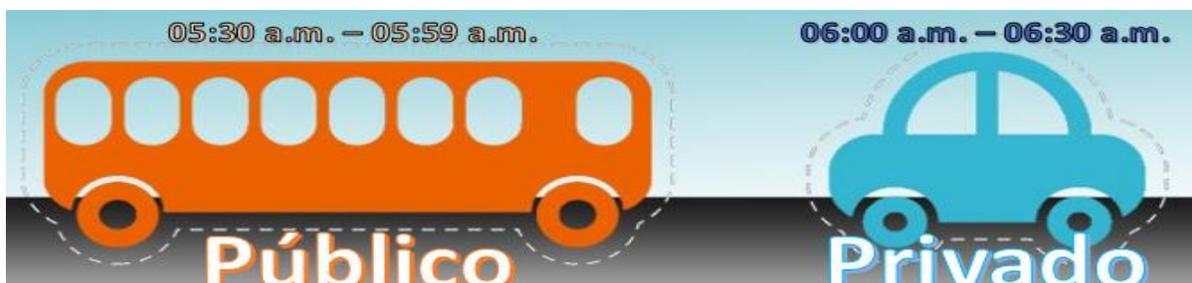
Figura 14. Horas pico



Fuente: Elaboración propia con datos de la encuesta Origen - Destino INEGI (2007).

Además de que se identificó que los viajeros del transporte público inician sus trayectos alrededor de las 5:30 y 5:59 horas de la mañana, mientras que los que viajan en transporte privado inician sus viajes entre las 6:00 y 6:30 horas (ver Figura 15), posteriormente el comportamiento es más uniforme durante el transcurrir de la jornada. Por otra parte, los viajeros en transporte público tienen los intervalos de mayor afluencia de las 6:30 a 6:44 horas, 7:00 a 7:14 horas y 7:30 a 7:44 horas, siendo este último el de mayor tránsito, con más de 1.2 millones de viajeros en dichos periodos (ver Figura 15).

Figura 15. Hora de inicio de trayecto



Fuente: Elaboración propia con base en el INEGI (2007).

Con base en lo analizado en la Encuesta 2007 Origen-Destino, el STC es el medio de transporte pilar en el desarrollo de la movilidad urbana, en la Figura 16, se muestra su extensión en la ZMVM.

Figura 16. Extensión del STC en la ZMVM



Fuente: Adaptado de México Metro (2016).

1.9 Problemática de la movilidad urbana en la Ciudad de México

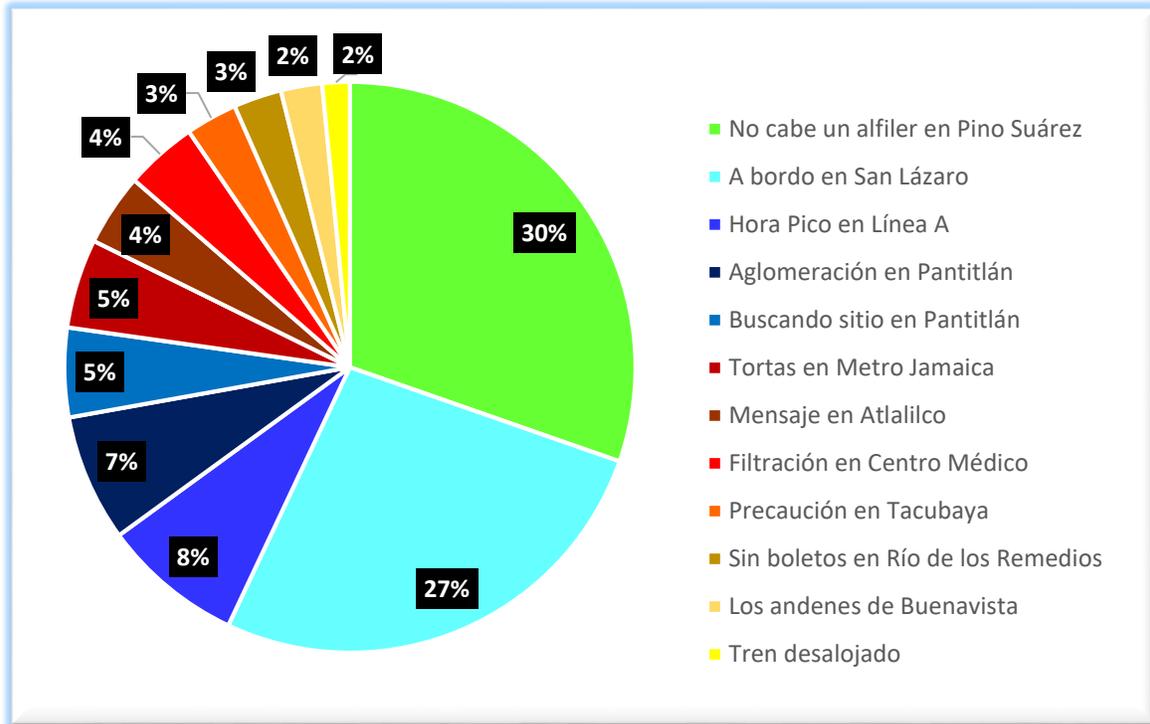
Como ejes principales en la calidad del servicio del STC, se encuentran: la percepción del pasajero respecto al servicio, la capacidad, la rapidez, la regularidad, accesibilidad en estaciones y seguridad, (STC i), 2012). Sin embargo, con base en los resultados de la encuesta (cerrada a las 21 horas del 12 de enero de 2016) realizada por el portal de noticias Animal político (ver Tabla 3), a un año del aumento del precio a \$5.00 M.N. por boleto, se observó que el 79% de las personas encuestadas consideran que el servicio del STC se refleja en las imágenes relacionadas con aglomeraciones y sobre demanda, las cuales se nombraron como: no cabe un alfiler en la estación Pino Suárez del STC, a bordo en la estación San Lázaro del STC, hora pico en la Línea A del STC, aglomeración en la estación Pantitlán del STC y sobredemanda en la estación Pantitlán del STC (ver Figuras 18,19, 20, 21 y 22).

Tabla 3. Resultados de encuesta ¿Cuál foto refleja mejor lo que se vive en el STC?

Imagen	Respuestas	Porcentaje
No cabe un alfiler en la estación Pino Suárez del STC	156	30
A bordo en la estación San Lázaro del STC	137	27
Hora Pico en Línea A del STC	41	8
Aglomeración en la estación Pantitlán del STC	37	7
Sobredemanda en la estación Pantitlán del STC	26	5
Tortas en la estación Jamaica del STC	26	5
Mensaje en Atlalilco	21	4
Filtración en la estación Centro Médico del STC	21	4
Precaución en la estación Tacubaya del STC	15	3
Sin boletos en la estación Río de los Remedios del STC	14	3
Los andenes de la estación Buenavista del STC	12	2
Tren desalojado	8	2
TOTAL	514	100

Fuente: Animal Político (2015).

Figura 17. ¿Cuál foto refleja mejor lo que se vive en el STC?



Fuente: Animal Político (2015).

Figura 18. No cabe un alfiler en la estación Pino Suárez del STC



Fuente: Animal Político (2015).

Figura 19. A bordo en la estación San Lázaro del STC



Fuente: Animal Político (2015).

Figura 20. Hora pico en la Línea A del STC



Fuente: Animal Político (2015).

Figura 21. Aglomeración en la estación Pantitlán del STC



Fuente: Animal Político (2015).

Figura 22. Sobredemanda en la estación Pantitlán del STC



Fuente: Animal Político (2015).

Por otra parte, en Internet hay infinidad de comentarios de las experiencias en el STC, como:

“En la mañana, en Tepalcates, de por sí llega el tren completamente lleno y, como se puede, hay que entrar entre empujones. En una ocasión a un señor se le cayó el zapato y el pobre solamente gritaba ‘¡mi zapato, mi zapato!’. Al parecer, se fue descalzo”.- Juan Guillermo García (Grupo Imagen Multimedia, 2015).

“Las peleas por los asientos en las mañanas son el pan de cada día y más en el vagón de mujeres. Apenas vi cómo unas señoras se pelearon y una le rasgó la cara con un anillo a la otra, quien le soltó un bolsazo. Las dos terminaron llorando y con sangre en la cara”.- Greace Dennis Calderón (Grupo Imagen Multimedia, 2015).

Con base en el CXL. Informe Final de Auditoria Derivada de la Revisión de la Cuenta Pública del Gobierno del Distrito Federal correspondiente al Ejercicio 2012, se identificó que de 2009 a 2012 se incrementó a 41.6% el número de incidentes (ver Tabla 4). El STC indicó que:

“... el aumento de este tipo de incidentes fue generado por un incremento en el volumen de pasajeros, el cual ha rebasado la capacidad de transporte que puede ofrecer, conforme al parque vehicular existente y al intervalo mínimo de diseño con el que es posible operar. Además de que el aumento de incidentes por interrupción del pilotaje automático fue originado principalmente por la obsolescencia de los equipos, ya que algunos de ellos se encuentran por concluir su vida útil. Según cifras presentadas, de los 33,359 incidentes ocurridos en 2012, el 14.8% correspondió al accionamiento de palanca de emergencia (KFS), el 11.7% a fallas en el pilotaje automático, el 11.5% al retiro de objeto extraño en vías, el 8.8% a la afluencia de pasajeros y el 7.0% a la falla en puertas por lo que, en suma, estos cinco tipos de incidentes representaron el 53.8% del total de casos, siendo el porcentaje más alto registrado durante el período 2009-2012. Por otra parte, se observó que en ese año se presentaron 37 incidentes por caída de persona en vías, 31 por persona arrollada, y 6 por pasajeros golpeados por rebasar la línea de seguridad; cantidades similares al promedio anual del período 2009-2012 para cada caso” (STC i), 2012).

Tabla 4. Tipos de incidentes durante 2009, 2010, 2011 y 2012

INCIDENTES	2009*	2010	2011	2012	Variación absoluta 2012-2009
Total general	23,566	26,866	28,962	33,359	9,793
Accionamiento de palanca de emergencia (KFS)	2,092	2,367	3,598	4,498	2,858
Interrupción del pilotaje automático	3,381	3,514	3,495	3,903	522
Retiro de objetos extraño en vías	2,560	3,842	4,535	3,847	1,287
Maniobras de dosificación por afluencia de usuarios	856	595	943	2,954	2,089
Problemas en la apertura y cierre de puertas	2,324	2,756	2,681	2,320	(4)
Motriz inactiva	1,366	1,347	1,239	1,295	(71)
Incidente en línea por daño en instalaciones fijas	477	448	466	1,209	732
Marcha lenta por lluvia	975	1,142	1,009	1,151	176
Aislamiento de electroválvula moderable de desfreno	61	42	568	1,012	951
Elemento apagado/baja tensión	865	774	759	805	(60)
Tracción lenta	967	1,059	938	791	(176)
Accionamiento de ruptor corte de urgencia de alimentación tracción	610	413	451	541	(69)
Maniobra lenta en terminal	16	25	12	520	504
Sistema Antifranqueamiento de Señal	n.d.	n.d.	n.d.	519	n.a.
Descenso de presión	485	539	531	401	(84)
Sin modos de conducción	300	335	324	367	67
Reducción de velocidad por fallas en vías	326	381	518	353	27
Persona ajena en vías	267	297	334	351	84
Riña1	88	232	274	345	257
Vandalismo	82	118	231	343	261
Revisión de instalaciones y/o equipo	264	208	225	332	68
Falla en compresor	124	209	203	328	204
Neumático/rueda férrea	368	453	490	327	(41)
Conato de incendio	191	238	220	250	59
Incidente en línea (MR)	193	150	118	227	34
Otros incidentes	4,328	5,352	4,764	3,929	(399)

*Las cifras incluyen los incidentes por robo y asalto

n.a. No aplicable

n.d. No disponible

Fuente: STC i) (2012).

1.10 Planteamiento del problema por resolver

En conjunto con el equipo de la Gerencia de Ingeniería y Nuevos Proyectos del STC se revisaron los diversos motivos que afectan la operación, desde la sobredemanda del propio sistema que genera aglomeraciones y el desorden por tratar de subir a los trenes hasta los constantes incidentes a los que se enfrenta el material rodante, lo cual impacta directamente en el tiempo de traslado de los pasajeros y por ende a la calidad del servicio del mismo; sin embargo, no se han realizado mediciones de cuánto es ese tiempo. La falta de valores de referencia y de la estimación del tiempo promedio que los usuarios permanecen en los andenes hasta abordar el tren se han visto reflejado en las recomendaciones de auditorías previas, al señalar la ausencia de la medición.

1.11 Objetivo general

Medir el tiempo de abordaje de los pasajeros del Sistema de Transporte Colectivo (STC) y, por medio de la simulación de la estación terminal Pantitlán, Línea 1, generar una herramienta para coadyuvar la toma de decisiones de las gerencias operativas. Con lo anterior, se busca enfocar los esfuerzos en satisfacer las expectativas de calidad y accesibilidad de los pasajeros al abordar los trenes, y apoyar el cumplimiento de la misión de este organismo.

1.12 Objetivos específicos

- ❖ Revisar la literatura acerca de los modelos que permitan medir el tiempo de abordaje de los pasajeros en el STC.
- ❖ Medir el tiempo que emplean los pasajeros del STC en abordar un convoy, con base en teoría de colas y estudios realizados en otros metros.
- ❖ Desarrollar un modelo de simulación de la estación Pantitlán de la Línea 1 del STC.

1.13 Preguntas de investigación

¿Cuál metodología se utiliza para la medición de forma eficaz y eficiente del tiempo que ocupa a los pasajeros abordar un convoy del STC, (ejemplo de las situaciones que se presentan en el STC se reflejan en las Figuras 23 y 24)?

Figura 23. Pasajeros esperando al tren



Fuente: Máximo (2014).

Figura 24. Pasajeros abordando el tren



Fuente: Máximo (2014).

¿Mediante cuál programa de simulación se puede representar el abordaje del convoy y que a su vez sea capaz de brindar opciones de solución?

¿Actualmente cómo se analiza o se ha analizado la medición del tiempo de abordaje?

¿Qué factores influyen para la óptima simulación del abordaje al convoy?

Mediante la simulación ¿Sería posible identificar cuáles son las afectaciones de los diferentes tiempos de abordaje de los pasajeros?

1.14 Alcances y limitaciones

La investigación se realizará en la estación terminal Pantitlán, Línea 1 del STC, no se considerarán los temas políticos, económicos ni ambientales. Para la investigación se cuenta con un solo personal para definir y analizar el tiempo de abordaje de los pasajeros del STC.

1.15 Estrategia de investigación

Tabla 5. Cronograma de la estrategia de investigación

OBJETIVO	feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16	nov-16	dic-16	ene-17	feb-17	mar-17	abr-17	may-17	jun-17
Problemática	X	X	X														
Revisión de la literatura				X	X	X	X										
Mediciones en campo								X	X	X							
Modelo de simulación										X	X	X	X	X			
Análisis de Resultados													X	X	X		
Conclusiones															X	X	

Fuente: Elaboración propia (2016).

En el presente capítulo se describió la aparición y evolución de los sistemas de transporte masivo; en específico, el desarrollo tecnológico, geográfico y social del STC, desde la inauguración el 4 de septiembre de 1969. Su demanda de pasajeros es de aproximadamente 1,600 millones de pasajeros año, lo que lo hace, el medio de transporte medular de la ZMVM; sin embargo, se ha presentado lentitud en el servicio por el incremento exponencial de pasajeros, provocando amontonamientos que afectan la calidad del servicio de este medio de transporte. Hasta el momento no se ha medido la afectación en el tiempo de espera de los pasajeros para subir al tren, en particular en las horas de mayor afluencia de pasajeros. El portal de noticias Animal Político, reveló a través de una encuesta, que el 79% de los pasajeros consideran al servicio del STC como una constante de aglomeraciones. A su vez, se señalaron los innumerables y diversos incidentes diarios, desde personas que pierden los zapatos pasando por las constantes peleas por los asientos, impedimentos al cierre de puertas y finalizando con numerosos accidentes (con y sin consecuencias fatales). Por lo anterior, se ha planteado como objeto de la presente tesis, el análisis del tiempo que emplean los pasajeros del STC en abordar un convoy del metro, específicamente en la estación Pantitlán, e implementarlo en un modelo de simulación para analizar su evaluación, y así coadyuvar a la toma de decisiones de las gerencias operativas.

CAPÍTULO II – REVISIÓN DE LA LITERATURA Y MARCO TEÓRICO

En este capítulo se estudia la comparativa de metros a nivel mundial, las mediciones internas del STC, la importancia de la medición del desempeño y el tiempo de abordaje de los pasajeros como indicador dentro del STC, además de la revisión de otros estudios de modelos matemáticos y simulaciones más recientes para la elaboración de la simulación de la estación terminal Pantitlán, Línea 1 del STC.

2.1 Grupos de Evaluación Comparativa CoMET y Nova

La Comunidad Internacional de Metros (CoMET) fue creada en 1994 para realizar la evaluación comparativa de los sistemas de trenes en las grandes urbes. En 1998, el grupo de metros Nova, fue otro programa internacional creado para la evaluación comparativa internacional de sistemas de metros de tamaño medio, actualmente incluye a quince metros de: Bangkok, Barcelona, Buenos Aires, Nueva Delhi, Glasgow, Lisboa, Milán, Montreal, Nápoles, Newcastle, Río de Janeiro, Singapur, Taipei, Toronto y Sydney. Los dos consorcios están compuestos de 33 sistemas de metro de tamaño grande y mediano en 31 ciudades de todo el mundo, ver Figura 24 (Community of Metros CoMET - Nova Group of metros, 2016).

Figura 25. Metros miembros de CoMET y Nova



Fuente: Community of Metros CoMET – Nova Group of metros (2016).

Los dos grupos son una propiedad conjunta dirigida por sus miembros, pero con la gestión de proyectos, administración e investigación del Centro de Estrategia Ferroviaria y Transporte (RTSC), en el Colegio Imperial de Londres. En un principio los metros de Londres y Hamburgo acordaron comparar a profundidad sus dos ferrocarriles, con datos adicionales para otros 24 trenes de metro; sin embargo, las estaciones de los metros eran muy diferentes en tamaño, estructura organizativa y prácticas de contabilidad, por lo que la comparación era difícil de realizar, a pesar de ello, el proyecto dio lugar a programas de gran éxito en materia de comparación e indicadores clave de desempeño (KPI's), Community of Metros CoMET – Nova Group of metros, 2016.

En materia de comparación se dio fuerza al Benchmarking, que es la búsqueda de las mejores prácticas de la industria que conducen a un desempeño excelente como lo describe Robert C. Camp, reconocido gurú de Benchmarking; o bien, es el proceso continuo de medir productos, servicios y prácticas contra los competidores más duros de aquellas compañías reconocidas como líderes en la industria (David T. Kearns). Más allá de comparar datos en CoMET y Nova se tienen cuatro objetivos principales: compartir conocimientos e identificar mejores prácticas en un entorno confidencial, apoyar a los miembros en el logro de sus objetivos operacionales y estratégicos - centrándose en las mejoras, construir sistemas de medidas para su uso por la dirección y establecer mejores prácticas de transporte público y priorizar áreas de mejora y apoyar la toma de decisiones para la administración, juntas directivas, gobierno y otras partes interesadas, por lo tanto, cualquier información liberada al exterior es anónima. Por otra parte, el sistema de Indicadores Clave de Desempeño (KPI) es la base del proceso de benchmarking, y está diseñado para comparar el desempeño e identificar líneas de investigación. CoMET y Nova utilizan un sistema de KPI (ver Tabla 6) diseñados para medir el desempeño general de la organización en sus distintas áreas de: crecimiento, aprendizaje e innovación; financiero; cliente (calidad del servicio y capacidad de provisión y utilización); procesos internos (eficiencia y confiabilidad y disponibilidad); seguridad patrimonial e industrial y medio ambiente. (Community of Metros CoMET - Nova Group of metros, 2016).

Tabla 6. KPI CoMET y Nova

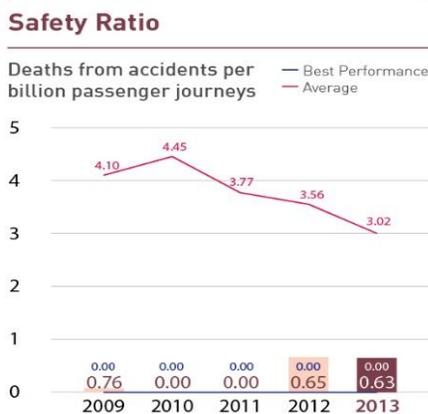
Área	Indicador
Crecimiento, aprendizaje e innovación	Tamaño de la Red y Viajes de Pasajeros
	Capacidad Operada km y km de Carrera
	Número de Horas de Entrenamiento / 1000 Horas de Personal
	Ingresos Comerciales No Tarifarios / Ingresos de Tarifas y / Viaje de Pasajeros
Financiero	Total de Ingresos Comerciales / Costo Operativo
	Costo de operación / Ingresos km de Carrera
	Costo de Operaciones de Servicio / km de Carrera
	Costo de mantenimiento / km de Carrera
	Costos administrativos / km de Carrera
	Costo de inversión / km de Carrera
	Costo de Operaciones / Viaje del Pasajero y km
	Ingreso de tarifas / viaje de pasajeros y km
Cliente Capacidad de provisión y utilización	Capacidad km / Ruta km
	Pasajero km / Capacidad km
Cliente Calidad de servicio	Horas de retraso de pasajeros / viajes de pasajeros
	Viajes de pasajeros a tiempo / Viajes totales de pasajeros
	Trenes a tiempo / Trenes totales
	Horas operadas del tren / hora retraso del tren
Procesos Internos Condiabilidad y disponibilidad	Vehículos disponibles y usados en hora pico
	Km de Carrera / hora entre incidentes (por categoría)
Procesos Internos Eficiencia	Viajes de Pasajeros / Horas de Personal + Conratistas
	Capacidad y km de Carrera / Horas de Personal + Contratista
	Horas de Tren / Horas de Conductor
	Absentismo Laboral
	Energía de Tracción Consumida / km de Vehículo
	Total de energía consumida / pasajeros de viaje y km
Seguridad Industrial y patrimonial	Total de fallecimientos / viajes totales de pasajeros
	Muertes por Suicidios / viajes totales de pasajeros
	Muertes por Accidentes / viajes de pasajeros
	Muertes por Actividades Ilegales/ Viajes de Pasajeros
	Incidencias de Crimen / viajes de pasajero
	Tiempo Perdido del Personal por Accidente / Horas del Personal
Medio Ambiente	CO2 por km de Pasajero

Fuente: Community of Metros CoMET – Nova Group of metros (2016).

2.2 Resultados CoMET Benchmarking 2013

Los resultados de la evaluación comparativa de CoMET realizada del 01 de enero al 31 de diciembre de 2013, de los sistemas en 15 ciudades: Beijing, Berlín, Guangzhou, Hong Kong, Londres, Ciudad de México, Madrid, Moscú, Nueva York, París, Santiago de Chile, Singapur, Shanghai, Sao Paulo y Tapei, publicada en la página del ferrocarril de tránsito de masas (MRT) de Hong Kong se muestran en las Figuras 25- 33 (CoMET Benchmarking Results, 2013).

Figura 26. Factor de seguridad



Fuente: CoMET Benchmarking Results (2013).

El factor de seguridad ha ido disminuyendo a partir de 2010 debido al incremento de muerte por accidentes, de 2009 a 2013, este últimos fue el año con más muertes, ver Figura 26 (CoMET Benchmarking Results, 2013).

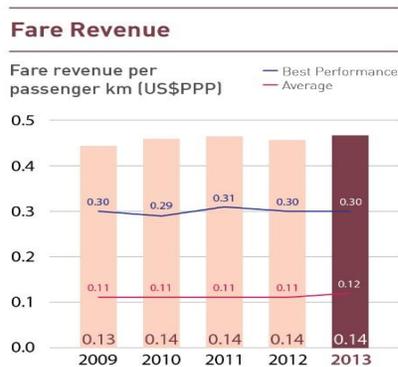
Figura 27. Rendimiento financiero



Fuente: CoMET Benchmarking Results (2013).

El rendimiento promedio financiero desde 2009 a 2013 ha disminuido, el valor más bajo se obtuvo en 2013 con un 52.7% por debajo del valor óptimo ver Figura 27 (CoMET Benchmarking Results, 2013).

Figura 28. Ingresos por tarifa



Fuente: CoMET Benchmarking Results (2013).

Los ingresos por tarifa por kilómetro recorrido por pasajero desde 2009 han estado por debajo, en alrededor del 60%; sin embargo, en 2013 se obtuvo ligeramente un ingreso mayor, ver Figura 28 (CoMET Benchmarking Results, 2013).

Figura 29. Costos del servicio



Fuente: CoMET Benchmarking Results (2013).

El ingreso de los costos operativos, a pesar del aumento del precio del viaje en 2013, fue 48% más bajos del objetivo establecido. El STC de la Ciudad de México ocupa el tercer lugar en el costo de producción más bajo y el segundo con menor inversión en mantenimiento, ver Figura 29 (CoMET Benchmarking Results, 2013).

Figura 30. Costo por viaje



Fuente: CoMET Benchmarking Results (2013).

El costo de operación por viaje por pasajero, mide el costo de operación por estación y por viaje por pasajero, el cual excluye los costos de mantenimiento de las estaciones. De 2009 a 2013 ha estado alrededor del 50% por arriba de lo propuesto, ver Figura 30 (CoMET Benchmarking Results, 2013).

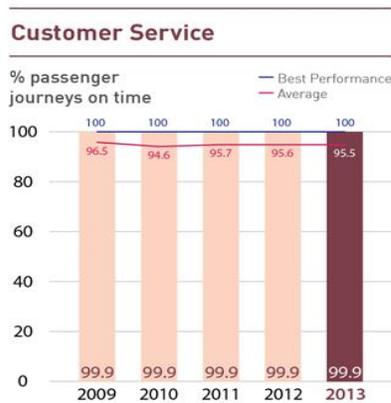
Figura 31. Eficiencia del personal



Fuente: CoMET Benchmarking Results (2013).

La productividad del trabajo, kilómetros de carros por horas totales de personal y contratistas, fue 37.4% menos que el objetivo planteado, ver Figura 31 (CoMET Benchmarking Results, 2013).

Figura 32. Servicio al cliente



Fuente: CoMET Benchmarking Results (2013).

El porcentaje de viajes de pasajeros en tiempo en 2009, fue de 96.5%. En 2010 decreció a 94.6%, en 2011 incrementó a 95.7% y en los dos años posteriores decreció 0.1%, llegando en 2013 a 95.5% del total de los viajes de pasajeros realizados a tiempo, ver Figura 32 (CoMET Benchmarking Results, 2013).

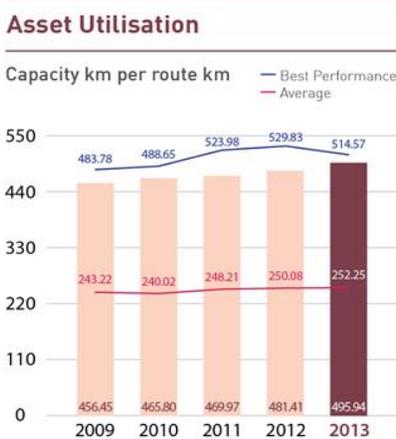
Figura 33. Viajes sin problemas



Fuente: CoMET Benchmarking Results (2013).

Los distintos metros declararon haber tenido más del 96% de viajes sin problemas y en tiempo, de 2009 a 2012, en 2013 se obtuvo un decremento de 0.6%, al concluir en 95.6% de 100% (valor objetivo), ver Figura 33 (CoMET Benchmarking Results, 2013).

Figura 34. Utilización de activos



Fuente: CoMET Benchmarking Results (2013).

En este indicador se evalúa la optimización de los activos, por medio de la capacidad por kilómetro por ruta, junto con el plan de renovación de activos, incluyendo sus condiciones y el rendimiento operativo, los registros y las tendencias de los costos de mantenimiento, y las estrategias de sustitución de los mismos, ver Figura 34 (CoMET Benchmarking Results, 2013).

2.3 Resultados del STC 2013

En 1996, el STC se integró a CoMET y actualmente se encuentra dentro de los 11 metros más grandes del mundo (ver Tabla 7). El metro de Nueva York es el más extenso con 102.3 kilómetros, mientras que el metro de Moscú es el más transitado con 13 millones de viajeros al día. El caso del STC, con una extensión de 225.38 kilómetros y 5.9 millones de pasajeros al día (ver Figura 35), El centro S.A., 2014.

Tabla 7. Comparativa de metros por longitud y viajeros al día

Sistema	Viajeros al día (millones)	Longitud (Km)
Metro de Londres	3	408
Metropolitano de París	4.4	199
Berliner U-Bahn	3.3	151
MTA New York City Transit	4.7	1102.3
Metropolitano de Madrid	2	10
Metro de Moscú	13	285
Metro de la Ciudad de México	5.9	225.38
Metropolitano de Sao Paulo	3	61
Metro de Santiago de Chile	1.6	84.4
Metro Hong Kong	3.4	168.1
Metro de Shanghai	2.2	227

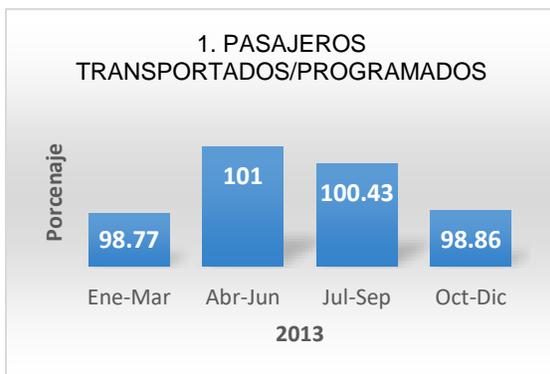
Fuente: El centro S.A. (2014).

Figura 35. Longitud y pasajeros de los 11 metros más grandes del mundo



Fuente: El Centro (2014).

Figura 36. Pasajeros transportados vs programados



Fuente: STC f) (2013).

Durante 2013, el STC reportó que se transportó el 98.77% y el 98.86% de los pasajeros programados, en los periodos de enero a marzo y de octubre a diciembre; mientras que en los periodos de abril a junio y de julio a septiembre, se transportaron el 101% y el 100.43%, es decir, más pasajeros de los pronosticados, ver Figura 36 (STC f), 2013).

Figura 37. Ingresos gratuitos



Fuente: STC f) (2013).

Los pasajeros con acceso gratuito también rebasaron los pronósticos, siendo el trimestre de julio a septiembre el que obtuvo la mayor afluencia gratuita, ver Figura 37 (STC f), 2013).

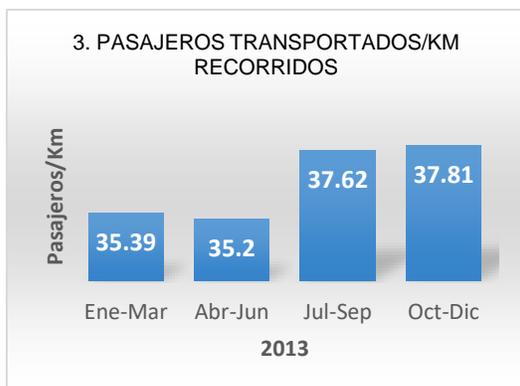
Figura 38. Vueltas realizadas vs programadas



Fuente: STC f) (2013).

El porcentaje de las vueltas realizadas respecto a las vueltas programadas, decreció en los cuatro trimestres. Los trimestres con menor porcentaje fueron de julio a septiembre y de octubre a diciembre, con 97.16% y 96.74%, respectivamente, ver Figura 38 (STC f), 2013).

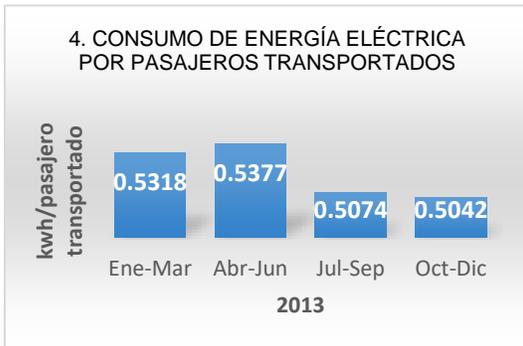
Figura 39. Pasajeros transportados por km recorrido



Fuente: STC f) (2013).

En consecuencia, durante esos mismos trimestres de julio a septiembre y de octubre a diciembre, se obtuvo el mayor número de pasajeros por kilómetro transportado, 36.62 pasajeros/km y 37.81 pasajeros/km respectivamente, ver Figura 39 (STC f), 2013).

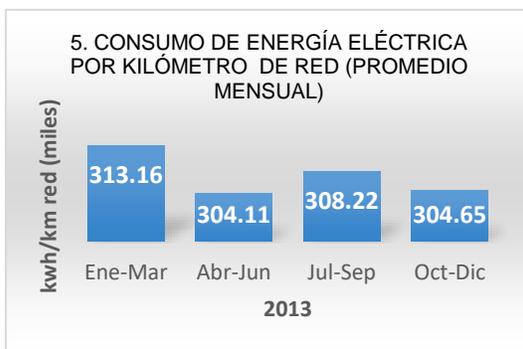
Figura 40. Consumo de energía por pasajeros transportados



Fuente: STC f) (2013).

Por otra parte, el mayor consumo de energía por pasajero transportado fue durante los trimestres de enero a marzo y de abril a junio, y los de menor consumo, fueron los trimestres de julio a septiembre y de octubre a diciembre, ver Figura 40 (STC f), 2013)

Figura 41. Consumo de energía eléctrica mensual por kilómetro de red



Fuente: STC f) (2013).

A diferencia del indicador anterior, el consumo de energía por kilómetro de red, fue mayor de enero a marzo seguido del trimestre de julio a septiembre, y finalizando con los trimestres de abril a junio y de octubre a diciembre, ver Figura 41 (STC f), 2013).

Figura 42. Consumo de energía eléctrica por kilómetro recorrido



Fuente: STC f) (2013).

El consumo de energía eléctrica por kilómetro obtuvo un comportamiento constante durante todo el año; sin embargo, en el trimestre de abril a junio se vio un decremento de 0.05 kwh/km recorrido, ver Figura 42 (STC f), 2013).

2.4 Importancia de la medición del desempeño

La evaluación del desempeño es parte de un sistema de gestión, usualmente se enfocan en la parte de: la cantidad de dinero requerida para la realización de actividades, productos y servicios, el volumen de servicios prestados o el número de beneficiarios servidos, lo cual está encaminado al impacto de la organización o iniciativa social. Sin embargo, una práctica superior requiere de la medición de resultados, lo que conlleva proveer evidencia de cambios observables en los clientes. Al ser evaluados los resultados, representa un desafío para el desarrollo del enfoque sistemático o la capacidad de la evaluación (Parmenter, 2007). Para que la medición sea una herramienta efectiva, la medición del desempeño debe estar integrada en el sistema de gestión de la calidad de una organización (Parmenter, 2007).

Para la evaluación del desempeño, los esfuerzos deben ser dirigidos al desarrollo de indicadores que cubran por completo de las metas establecidas por la organización, centrándose en la satisfacción de las necesidades de sus grupos de interés (Social Enterprise Knowledge Network, 2005). La misión junto con los grupos de interés son los fundamentos para diseñar indicadores de resultado asociados a los objetivos específicos; sin embargo, las medidas de desempeño deberán ser parte del proceso de gestión global de la organización a fin de proporcionar retroalimentación valiosa para evaluar su estrategia total, ver Figura 43 (Social Enterprise Knowledge Network, 2005).

- ❖ La misión puntualiza a dónde se quiere llegar;
- ❖ Los insumos son los recursos necesarios para la realización de las operaciones;
- ❖ Los indicadores operacionales son los medios a través de los cuales se evalúan los procesos involucrados en la implementación de la estrategia global y la eficiencia en el logro de la misión;
- ❖ Las medidas del producto y servicio demuestran los resultados intermedios de los procesos y, finalmente;
- ❖ Los indicadores de resultado son las medidas últimas que se traducen cuán correcta o incorrectamente se están llevando a cabo las acciones.

Figura 43. Cadena de evaluación de desempeño



Fuente: Social Enterprise Knowledge Network (2005).

Al integrar en el sistema de medición del desempeño, indicadores operacionales y de resultado, se permite la evaluación general de los procesos en la organización, incluyendo el alineamiento de la misión y la estrategia, así como el progreso hecho hacia el cumplimiento de la misión. Ambos indicadores deben ser desarrollados junto con las con otras herramientas como medidas complementarias que permitan optimizar los procesos internos y mejorar el alineamiento hacia el logro de la misión (Social Enterprise Knowledge Network, 2005).

2.5 Indicadores KRI, PI y KPI

Las medidas de rendimiento tienen tres clasificaciones principales:

1. Indicadores clave de resultados (KRI), los cuales indican cómo se ha hecho desde una perspectiva (dirección de la organización);
2. Indicadores de desempeño (IP), aquellos que indican qué hacer (administración organizacional) e;
3. Indicadores clave de desempeño (KPI), éstos indican qué hacer para aumentar el rendimiento (dirigidos a la administración).

La diferencia se puede realizar por medio de la analogía con una cebolla; la piel exterior, describiría el estado general de la cebolla (la cantidad de sol, agua y nutrientes que ha recibido); en las capas medias, se encontraría la forma en que se ha manejado desde la cosecha hasta el punto de venta final; y después de pelar todas esas capas, se encontraría el núcleo, el indicador clave del desempeño (KPI), (Parmenter, 2007).

Los KRI dan una idea clara de la dirección que se está siguiendo, y generalmente están acompañados de diferentes medidas, entre ellas el costo económico para su funcionamiento. En los informes de una organización se debe tener un informe de la administración, el cual incluye al cuadro de mandos y al tablero de mando integral, también conocido como board of balanced scorecard (BSC), obteniendo como resultado hasta 20 medidas, mezcla entre indicadores de rendimiento e indicadores de desempeño (KRI & PI). Los indicadores de rendimiento que se encuentran debajo de los indicadores clave de rendimiento, por ejemplo: la rentabilidad de los clientes, el beneficio neto en las líneas de productos clave, aumento porcentual de las ventas, número de empleados que participan en el plan de sugerencias, etcétera (Parmenter, 2007). Por otra parte, los KPIs representan un conjunto de medidas se centra en aquellos aspectos críticos del rendimiento de la organización (Parmenter, 2007). Las características principales de estos indicadores son: medidas no financieras (no expresadas en dólares, yenes, libras, euros, etc.), medición con frecuencia (periodo de tiempo), actuación prescindible del CEO y el equipo de alta dirección, comprensión de la medida y la necesidad de medidas correctoras por todo el personal, lazos de responsabilidad de la persona o equipo, impacto significativo (afecta la mayor parte del éxito del núcleo) e impacto positivo (afecta a todas las otras medidas de rendimiento en una manera positiva).

2.6 Modelos de gestión con impacto en los indicadores

❖ Cuadro de Mando Integral

El enfoque de Kaplan y Norton Cuadro de Mando Integral o Balanced Scorecard, engloba la estrategia y la misión de una organización en un amplio conjunto de medidas que proporcionan la estructura necesaria para un sistema de gestión y medición estratégica. Los objetivos de medición son: financieros, satisfacción del cliente, procesos internos, formación y crecimiento. Las cuatro perspectivas son de gran utilidad, pero no únicas, dependiendo de las circunstancias puede necesitar más perspectivas críticas que encaminen hacia el entorno competitivo actual y futuro, Malgioglio et al. (2002).

❖ Modelo de gestión más allá del presupuesto

Una encuesta internacional realizada por la consultora Hackett Benchmarking en 1998, reveló que el 90% de los responsables financieros encuestados no estaban satisfechos con su proceso de presupuesto, además de que el presupuesto anual no estaba relacionado con la estrategia organizacional. El modelo de gestión más allá de presupuestos, mejora el poder del Balance Scorecard, al ser un enfoque alternativo para el presupuesto en lugar de la presupuestación anual tradicional. Su concepto se enfoca a que cada parte de la compañía debe ser juzgada según su desempeño frente a sus pares y benchmarks de clase mundial. La propuesta es utilizar dos clases de elementos: pronósticos móviles junto con indicadores claves de desempeño (Hope & Fraser, 2003).

❖ Reportes y memorándums como información para la toma de decisiones

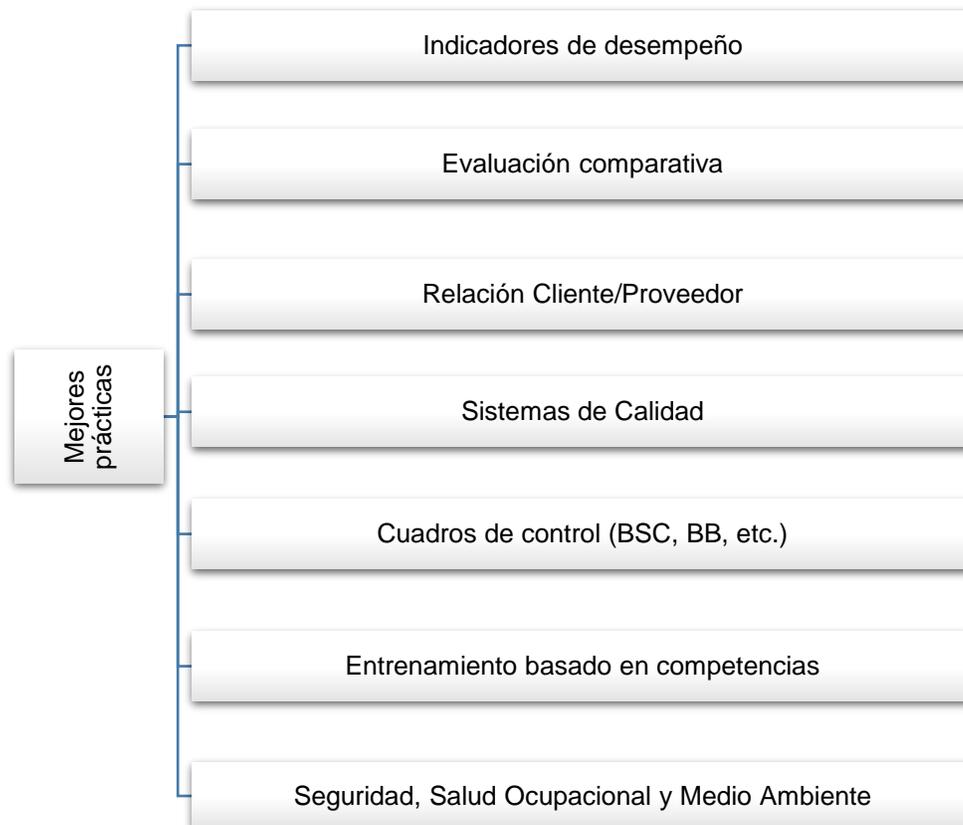
Los informes de gestión coadyuvan a fomentar la acción oportuna en la dirección correcta. Las organizaciones al medir e informar sobre sus actividades pueden identificar en qué se debe centrar la administración y el personal. Para que los informes de gestión se conviertan en una herramienta de gestión, los informes mensuales se deben combinar con los informes diarios y semanales. Así entonces se contará con información actualizada que permitan tomar decisiones oportunas. Esto tiene un impacto profundo en la presentación de informes KPI que necesita para ser oportuna, breve e informativo.

❖ Prácticas para el Recurso Humano

El ser humano es parte fundamental de las mejores prácticas. Las evaluaciones que se han llevado a cabo, demuestran el impacto que se tiene en los resultados empresariales, es por ello que las prácticas en el recurso humano se están entretejiendo en las mediadas de negocio en torno a un cuadro de mando integral, ya sea por departamentos, funciones o personas. Dentro de los principales se encuentran: comunicación integrada y eficiente de arriba hacia abajo, equipos auto dirigidos de abajo hacia arriba, satisfacción del empleado, formación y desarrollo de procesos que promueven las trayectorias profesionales, prácticas de salud y seguridad en el trabajo, sistema innovador de reconocimiento y remuneración al

personal, y el enfoque en clientes externos e internos (calidad, satisfacción, retención, uso de tecnologías emergentes entre otros), Ulrich (1997). En cada gestión se requiere de una herramienta para medir, informar y mejorar el rendimiento. Pueden ser clasificados como de referencia, consecuencia o clave. El Cuadro de Mando Integral, mejor conocido como Balance Scorecard, fue introducido por Kaplan y Norton, el cual describe la forma de medir una organización de manera integral y de diferentes perspectivas. Otra medición importante es la gestión eficiente y eficaz de personal. Para lograr el desempeño de clase mundial se utilizan las mejores prácticas, ver Figura 44, para lo cual se participa como miembros de gestión de calidad y organismos profesionales de mejora continua. La evaluación comparativa o Benchmarking es un proceso de comparación e introducción de las mejores prácticas, en ámbito de calidad, servicio al cliente, flexibilidad, puntualidad, innovación, costo y competitividad.

Figura 44. Caja de herramienta - Mejores prácticas



Fuente: Parmenter (2007).

2.7 Modelos matemáticos y simulación

2.7.1 Modelo para la predicción del tiempo de viaje de pasajeros

Yuyang Zhou et al. (2016) publicaron el artículo Modelo para la predicción del tiempo de viaje de pasajeros (Time prediction model of subway transfer), el cual se basó en la transferencia del flujo de pasajeros dependiendo del tipo de instalaciones, con lo cual se obtuvo una relación entre la velocidad de transferencia de caminar y el volumen de pasajeros. El estudio se realizó en la estación de Chaoyangmen de Beijing, y además de analizar las características de la velocidad de transferencia, se estudió el comportamiento a pie de los pasajeros respecto a las diferentes instalaciones peatonales en estaciones de transferencia. Para la sección de la predicción del tiempo de transferencia se estableció un modelo de tiempo de predicción de la plataforma, el ascensor y el paso horizonte basado en el volumen de flujo de transferencia y el tiempo caminando en diferentes instalaciones. Para el cálculo del tiempo de transferencia "T" se consideró el tiempo de los pasajeros en de un tren y embarcar en otro más los tiempos de traslado y de espera (Zhou et al., 2016).

2.7.2 Modelación matemática del comportamiento dinámico del metro de la Ciudad de México

Pérez y Saavedra (2016), publicaron el artículo Modelación matemática del comportamiento dinámico del STC, el cual describe un modelo probabilista de simulación, basándose en el movimiento de trenes, pasajeros y la interacción entre líneas a través de las estaciones de correspondencia, para evaluar la eficiencia del sistema a través del cálculo de una función de costo que contempla el costo operativo y el costo social, para medir la eficiencia y la calidad del servicio. De la encuesta que realiza cada 10 años el STC de los trayectos que siguen los pasajeros, se tomaron los datos para construcción de la matriz origen y destino y, se estimó la probabilidad de que un pasajero entre en el andén de la misma u otra línea. El procedimiento para estimar la demanda del andén subestima la demanda en las horas pico y sobreestima la demanda en las horas valle. Las líneas del metro que fueron estudiadas fueron las líneas 1, 2 y 3 del STC (Pérez y Saavedra, 2013).

2.7.3 Modelo probabilístico para que los usuarios permanezcan en la cola en el andén de la estación del metro

XU et al., (2013), publicaron el artículo Probabilistic model for remain passenger queues at subway station platform, donde se analizó la llegada de pasajeros y embarque de pasajeros en el andén, por lo que se plantearon las colas de pasajeros como un proceso estocástico y dinámico. El método se desarrolló sobre la base de la teoría de probabilidad y la teoría de cadena de Markov de tiempo discreto. El modelo probabilístico se utilizó para comprender el comportamiento cíclico de las colas, en donde el tiempo de espera fue el tiempo de salida del metro menos en tiempo de llegada, y durante ese tiempo se infirió el descenso y ascenso de pasajeros. Por otra parte, la distribución de llegada es considerada como invariante en el tiempo, además de suponer que abordan en máximo posible de pasajeros al convoy en cada llegada, por lo cual la capacidad efectiva se considera como una distribución de probabilidad binomial. Las variables aleatorias se consideran independientes tanto de la longitud de la cola y del flujo de entrada (Xu et al., 2013).

2.7.4 Modelado de circulación de pasajeros en las estaciones del transporte ferroviario, usando micro-simulación

Ronald Galiza et al., (2009), publicaron el artículo Modelling Pedestrian Circulation in Rail Transit Stations Using Micro-Simulation, en el cual estudió el caso de la estación Norte Melbourne, con el fin de gestionar mejor el intercambio significativo de pasajeros entre los sistemas ferroviarios regionales y metropolitanas. Como base del análisis parte de la calendarización de los sistemas móviles. La cantidad de tiempo estacionarios de cada tren en cada plataforma se deriva de un cálculo de la ocupación del servicio, más el número de subir y bajar de pasajeros. De esta manera, el servicio tiempos de permanencia reflejan la complejidad con experiencia en el ascenso y descenso de pasajeros en función de la ocupación. Los rangos de los tiempos de espera en el andén se han clasificado en cinco clases de demora, sobre la base de las observaciones de las visitas al sitio (Galiza, Inhi, Ferreira, & Laufer, 2009).

En el presente capítulo, se revisaron las métricas que se comparan entre metros a nivel mundial y las que genera el STC, de las cuales no se encontraron resultados del tiempo de abordaje de pasajeros. Por otra parte, se definió la importancia de las evaluaciones de desempeño y de los indicadores, las características de cada uno de ellos, las premisas para ser generados y la integración al sistema de gestión para obtener retroalimentación valiosa para el análisis de la estrategia total. Además de lo anterior, se revisaron los estudios más recientes que se relacionan con el tiempo de pasajeros (ver Tabla 8) para desarrollar la medición del tiempo de abordaje de los pasajeros del STC.

Tabla 8. Características de los modelos estudiados

Autores	Año	Tipo de modelo	Características principales
Zhou et al.	2016	Matemático	Predicción del tiempo de estaciones en transferencia con respecto al número de pasajeros y velocidad de caminar en diferentes tipos de instalaciones (peatonales curvas, rectas, de carga).
Pérez y Saavedra.	2016	Matemático	Descripción de un modelo probabilista de simulación del comportamiento dinámico del STC. Tiempo de llegada de pasajeros a partir de la entrada en torniquetes y capacidad de trenes infinita.
Xin-yue et al.	2013	Matemático	Modelo probabilístico para permanecer en las colas de pasajeros en el andén. Relación de la llegada del tren con respecto al embarque y desembarque de pasajeros. Consideración de llegadas de tren uniforme (llegadas y partidas), arribo acumulativo de peatones.
Ronald et al.	2009	Simulación	Modelo de flujo de peatones para la gestión del intercambio de pasajeros, basado en el análisis la calendarización de los sistemas.

Fuente: Elaboración propia (2016).

CAPÍTULO III – MEDICIÓN DEL TIEMPO DE ABORDAJE EN EL STC

En el capítulo III, se identifica la relevancia de la medición del tiempo de abordaje de pasajeros en la misión y visión del STC, se describe el proceso de abordaje al tren, se identifican los factores que intervienen, los puntos y técnicas de medición, así como los detalles y resultados del levantamiento de los datos tomados en campo.

3.1 Relevancia de la medición del tiempo de abordaje

La misión del STC es proveer un servicio de transporte público masivo, seguro, confiable y tecnológicamente limpio. Con una tarifa accesible, que satisfaga las expectativas de calidad, accesibilidad, frecuencia y cobertura de los pasajeros y se desempeñe con transparencia, equidad y eficiencia logrando niveles competitivos a nivel mundial. La visión del STC es lograr un servicio de transporte de excelencia, que coadyuve al logro de los objetivos de transporte sustentable en la Zona Metropolitana del Valle de México, con un alto grado de avance tecnológico nacional, con cultura, vocación industrial y de servicio a favor del interés general y el mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos (Actividad del Sistema de Transporte Colectivo, 2016). Y los valores primordiales son: cortesía, lealtad, respeto, equidad, disciplina, probidad, responsabilidad, creatividad y pasión (Actividad del Sistema de Transporte Colectivo, 2016).

Para medir, controlar y evaluar la calidad del servicio, como observamos en el capítulo 2, el STC cuenta con un sistema de índices e indicadores clave, orientado a dos categorías principales: benchmarking y calidad del servicio. En la categoría de benchmarking, se encuentra la evaluación interna de procesos para la efectividad de la administración y gestión realizada y, la eficiencia en la utilización de los recursos disponibles. Mientras que, en la categoría orientada a la calidad del servicio, se tiene como eje principal al pasajero considerando los atributos o características más importantes del servicio que satisfaga las expectativas de calidad, accesibilidad, frecuencia y cobertura de pasajeros (STC d), 2013). Es en este punto, es en donde se desarrolla la medición del tiempo de abordaje de los pasajeros del STC.

La medición a desarrollar se realiza mediante un modelo de simulación, que determine el tiempo que los pasajeros permanecen en el andén hasta abordar y partir junto con el tren y que, además funcione como una herramienta de retroalimentación que coadyuve a la toma de decisiones de las gerencias operativas.

3.2 Descripción del proceso de abordaje al tren del STC

En el abordaje de pasajeros al tren participan principalmente los trenes y las personas. En el caso del tren, éste llega a la estación, abre y cierra puertas (para el descenso y ascenso de pasajeros) y posteriormente parte a la siguiente estación. A su vez, los pasajeros van llegando al andén, esperan la llegada del tren y la apertura de puertas para realizar el descenso de los pasajeros que han llegado a su destino y el ascenso de los pasajeros que están en el andén esperando para abordar, si no lograron abordar el tren esperan el siguiente e intentan abordarlo nuevamente, en el caso de que si logren abordar el tren esperan el cierre de puertas y parten en el tren a la siguiente estación (ver Figura 45).

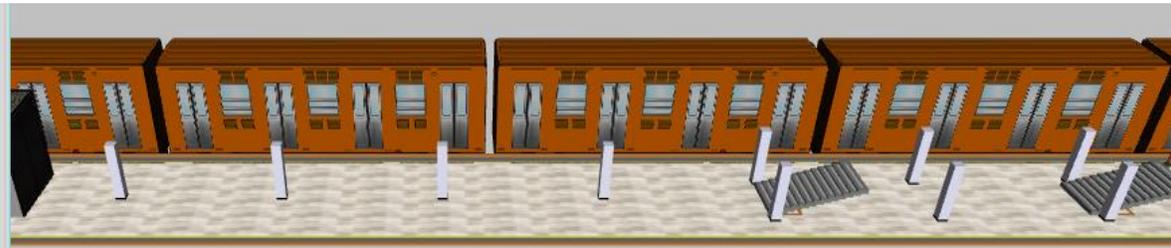
Figura 45. Descripción del proceso general



Fuente: Elaboración propia (2016).

El tiempo de espera para abordar el STC se considera como el tiempo que los pasajeros esperan en el andén para abordar el tren. Debido a que el análisis se realiza en el lapso de mayor demanda, es decir, cuando los trenes ya están en circulación, entonces a partir de que el tren cierra las puertas (ver Figura 46) se realizan las mediciones del tiempo de llegada del siguiente tren (ver Figura 47) hasta el cierre de puertas (ver Figura 48), se registra la tasa de llegada de pasajeros por minuto, además de medir el número de personas que abordan.

Figura 46. Cierre de puertas



Fuente: Elaboración propia (2016).

Figura 47. Llegada de pasajeros y del siguiente tren



Fuente: Elaboración propia (2016).

Figura 48. Cierre de puertas del siguiente tren

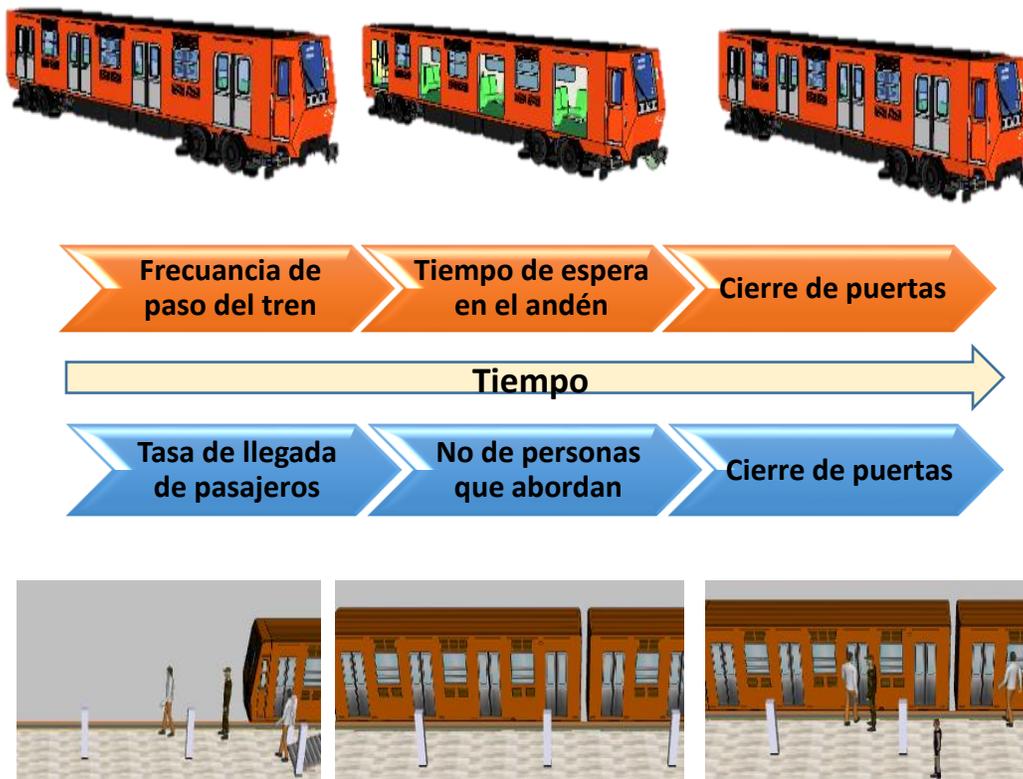


Fuente: Elaboración propia (2016).

3.3 Factores que intervienen en el tiempo de abordaje de los pasajeros

Los factores del tren que intervienen en el tiempo de abordaje son: la frecuencia de circulación entre un tren y otro, y el lapso que el tren se encuentra en el andén (desde la apertura hasta el cierre de puertas), mientras que, en el caso de los pasajeros, interviene la demanda (tasa de llegada de pasajeros) y el número de personas que abordan (ver Figura 49).

Figura 49. Factores que intervienen en el tiempo de abordaje



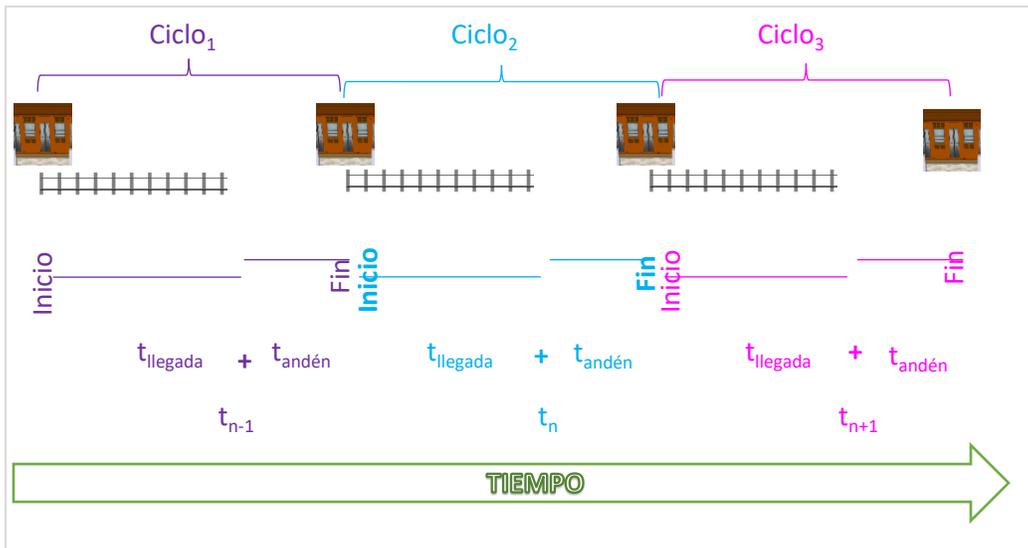
Fuente: Elaboración propia (2016).

La medición en los trenes se hace por ciclos, compuestos por el tiempo que se espera por el siguiente tren, $t_{llegada}$, más el tiempo del tren en el andén, $t_{andén}$, Ecuación (1), XU Xin -yue et. al., 2013. El tiempo de llegada corre desde que el tren en el andén cierra las puertas para el descenso y ascenso de pasajeros. Un ciclo comprende tanto el tiempo de llegada como el tiempo en el andén (ver Figura 50).

$$t_{ciclo} = t_{llegada} + t_{andén} \quad Ec. (1)$$

Fuente: XU Xin – yue et. al. (2013)

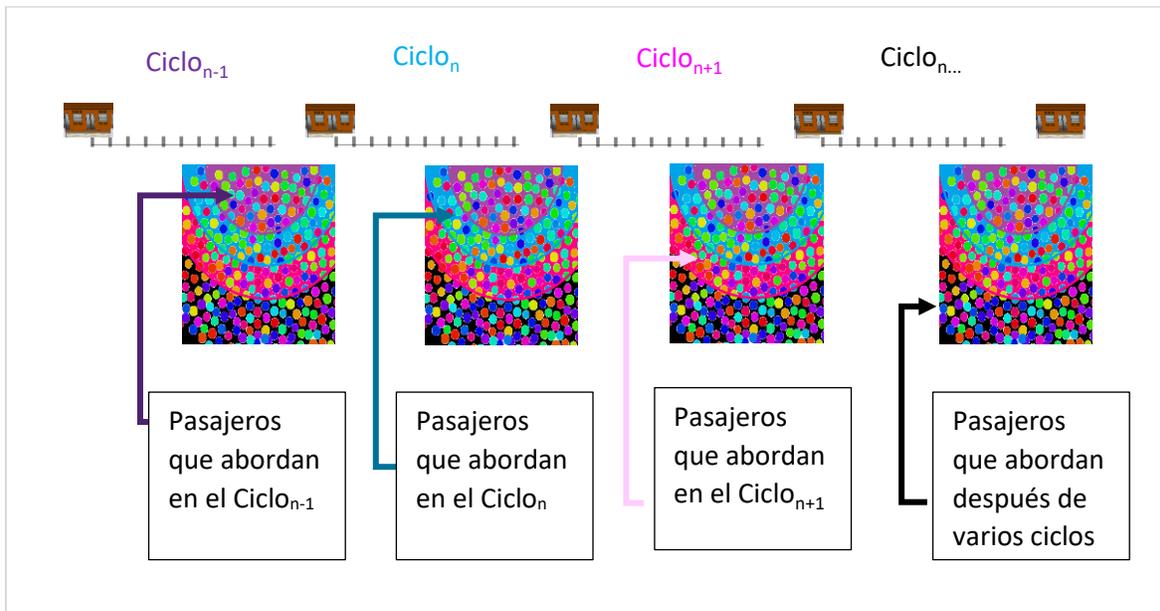
Figura 50. Tiempo del ciclo de trenes



Fuente: Elaboración propia (2016).

El tiempo de abordaje incrementará dependiendo de la cantidad de ciclos necesarios para que sea posible abordar el tren (ver Figura 51), por lo que el número de personas que abordan por ciclo es la que se considera como la capacidad del servicio.

Figura 51. Tiempo de espera



Fuente: Elaboración propia (2016).

Las personas que se encuentran más próximas a la entrada del convoy esperarán un ciclo, Ecuación (2); y conforme estén más alejadas esperarán más ciclos, Ecuaciones (3) – (5).

$$\text{Tiempo espera (Ciclo}_1) = \text{Tiempo Ciclo}_1 \quad \text{Ec. (2)}$$

$$\text{Tiempo espera (Ciclo}_2) = \text{Tiempo Ciclo}_1 + \text{Tiempo Ciclo}_2 \quad \text{Ec. (3)}$$

$$\text{Tiempo espera (Ciclo}_n) = \text{Tiempo Ciclo}_1 + \text{Tiempo Ciclo}_2 + \dots + \text{Tiempo Ciclo}_n \quad \text{Ec. (4)}$$

$$\text{Tiempo espera} = n * \text{Tiempo Ciclo} \quad \text{Ec. (5)}$$

donde n es el número de ciclos

Fuente: XU Xin – yue et. al. (2013)

Si la demanda y el tiempo de llegada del tren fueran constantes, y la capacidad del tren pudiera cubrir dicha demanda, no se generaría fila (ver Figura 52) y el tiempo de espera será igual al tiempo que dura un ciclo.

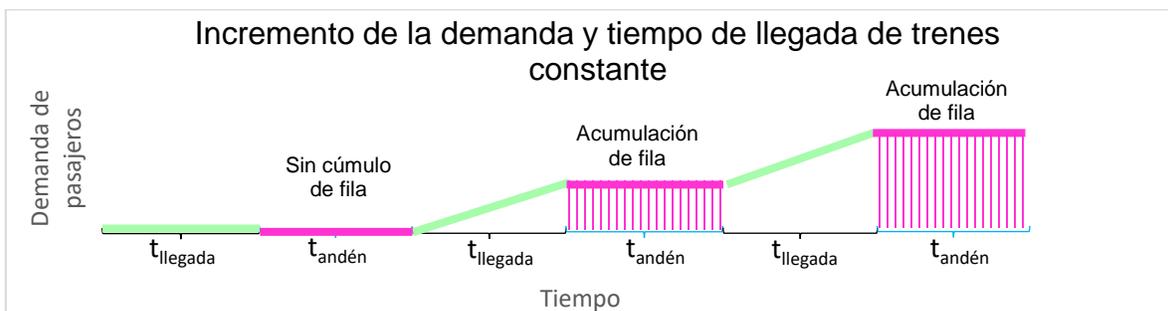
Figura 52. Comportamiento constante de las variables



Fuente: Elaboración propia (2016).

En el caso de que la demanda aumente y el tiempo de llegada sea constante, se comienza a generar fila (ver Figura 53).

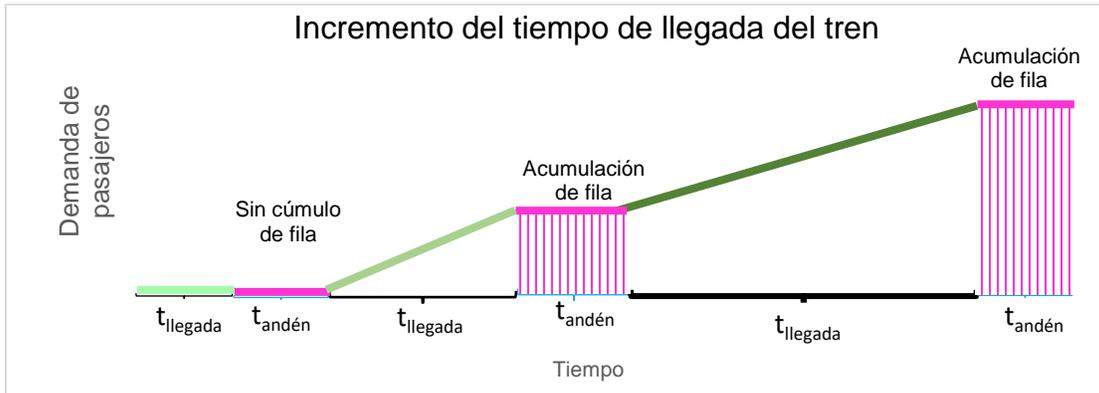
Figura 53. Comportamiento con incremento en la demanda



Fuente: Elaboración propia (2016).

De la misma forma, si la demanda es constante y el tiempo de llegada del tren incrementa, también se generará fila (ver Figura 54).

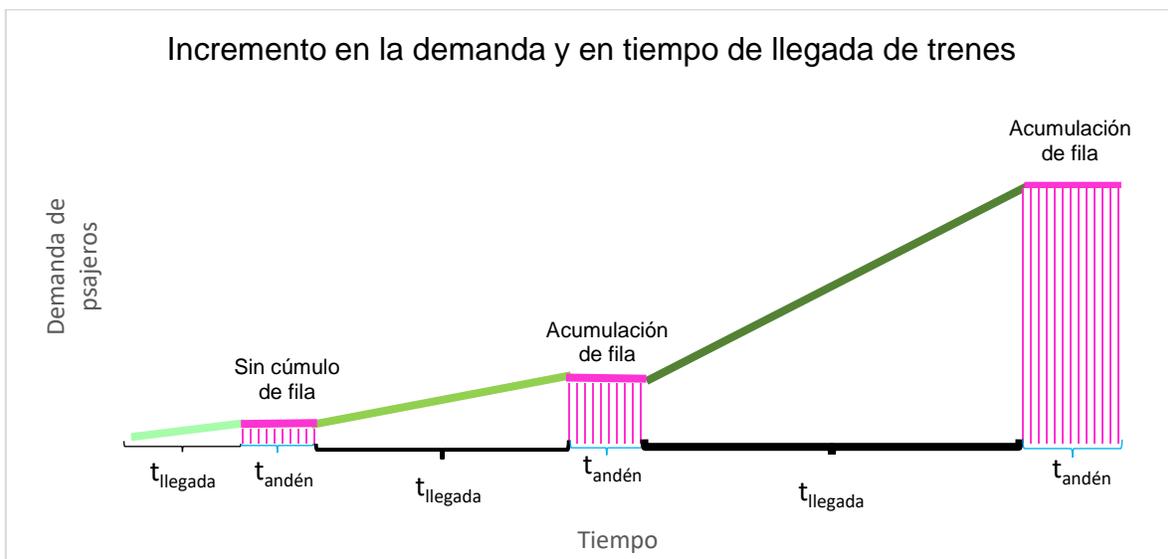
Figura 54. Comportamiento de incremento del tiempo de llegada



Fuente: Elaboración propia (2016).

Sin embargo, tanto del tiempo de llegada de los trenes como la demanda de pasajeros tienen un comportamiento dinámico, lo cual genera la variación en el tiempo de espera para abordar (ver Figura 55).

Figura 55. Comportamiento dinámico (demanda y tiempo de llegada de trenes)

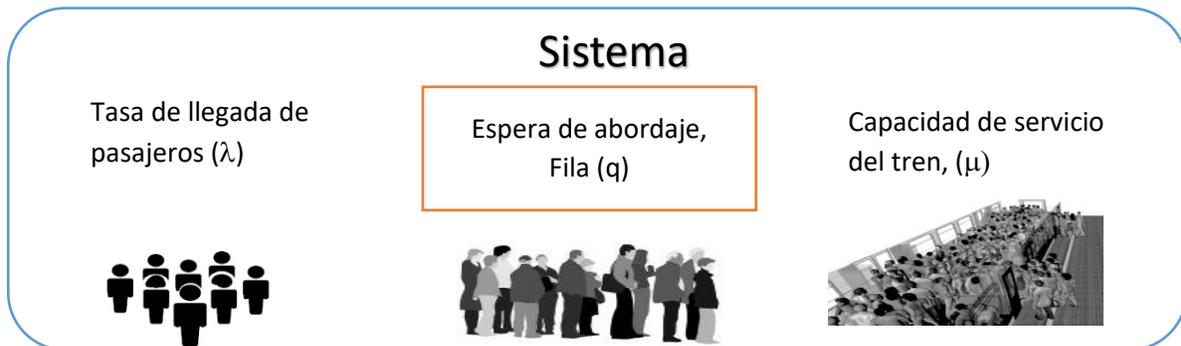


Fuente: Elaboración propia (2016).

3.4 Definición del tiempo de abordaje de los pasajeros

Con base en lo analizado anteriormente y en los estudios realizados por Xin-yen en el Modelo probabilístico para permanecer en las colas de pasajeros en el andén (2013), se determina a la demanda de pasajeros y al tiempo de llegada de los trenes como eventos estocásticos. El tiempo de un ciclo se considera a partir del cierre de puertas del tren que está en el andén, hasta el cierre de puertas del siguiente tren. Y la capacidad de los trenes es variable, dependiendo del acomodo de las personas. Desde el punto de vista de un modelo de espera, se genera cuando un cliente llega y espera (en una cola o fila) hasta ser atendido, posteriormente se sigue la atención (Taha, 1994). El sistema está comprendido por llegadas o entrada de pasajeros al andén, espera de abordaje (fila) y abordaje (capacidad y acomodo de las personas en el tren), ver Figura 56.

Figura 56. Variables del sistema



Fuente: Elaboración propia (2016).

El cálculo del tiempo promedio, por teoría de colas, que pasa un cliente esperando en la fila (W_q) se determina por la tasa de llegada de pasajeros (λ) entre la multiplicación de la capacidad del servicio (μ) por la capacidad del servicio menos la tasa de llegada a siguiente, como se muestra en la Ecuación (6).

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad \text{Ec. (6)}$$

Para determinar el tiempo que los pasajeros esperan para abordar el tren se considera el tiempo del cierre de puertas.

Las llegadas al sistema son independientes, cuya ocurrencia es desconocida, pero siguen un patrón de probabilidad conocido como distribución de Poisson. Por otra parte; las llegadas del tren y el tiempo que el tren permanece con las puertas abiertas, siguen el comportamiento de una distribución Log-normal continua; o bien, una distribución exponencial continua, con datos independientes.

❖ **Distribución Log-normal**

Una variable aleatoria se distribuye de forma log-normal si el logaritmo de la variable aleatoria tiene una distribución normal. Es decir, la variable aleatoria X cuyos logaritmos $Y = \ln(X)$ están distribuidos de manera normal (Villalobos Peñalosa, 2010). Las características de la distribución Log-normal, se muestran en las ecuaciones (7), (8) y (9).

La función de densidad es:

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{X\sqrt{2\pi\sigma_y^2}} \exp\left[-\frac{(\ln X - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right], X > 0 \quad \text{Ec. (7)}$$

$$\text{Media: } \exp\left[\mu_y + \frac{\sigma_y^2}{2}\right] \quad \text{Ec. (8)}$$

$$\text{Varianza: } \exp[2\mu_y + \sigma_y^2] * (\exp\{\sigma_y^2\} - 1) \quad \text{Ec. (9)}$$

En donde μ_y y σ_y son la media y la desviación estándar de Y . En este caso la variable $z = \frac{(\ln X) - \mu_y}{\sigma_y}$ sigue una distribución Gaussiana estándar $N(0,1)$.

❖ **Distribución exponencial**

Una de las utilidades de la distribución exponencial es para calcular problemas de líneas de espera. Esta distribución con frecuencia describe el tiempo requerido para atender a un cliente (Rivera Colmenero, 2016). La función de probabilidad, el valor esperado y la varianza, están dados por las Ecuaciones (10), (11) y (12) respectivamente.

$$f(x) = \mu e^{-\mu x}, x > 0 \quad \text{Ec. (10)}$$

Media: $\frac{1}{\mu}$ Ec. (11)

Desviación típica: $\frac{1}{\mu}$ Ec. (12)

En donde la media y la desviación típica es $\frac{1}{\mu}$, μ es el número promedio de unidades que puede manejar la estación de servicio en un período específico (Rivera Colmenero, 2016).

Si el servicio requerido es, en esencia, idéntico para cada cliente y el servidor realiza siempre la misma secuencia de operaciones, entonces los tiempos de servicio reales tienden a aproximarse al tiempo esperado de servicio. Y si las tareas que tiene que realizar el servidor difieren, entonces es posible que la distribución exponencial pueda constituir un buen ajuste (Pulido Cayuela, 2008).

❖ Distribución de Poisson

Por medio de la distribución de Poisson se puntualiza la llegada independiente de pasajeros durante cierto intervalo de tiempo y cuya longitud de la línea de espera depende del intervalo de tiempo, o frecuencia del servicio, y cuya disciplina es Primeras Entradas Primeras Salidas (PEPS).

La función de distribución de probabilidad de Poisson se da en la Ecuación (13):

$$p(x) = P(X = x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}. \quad \text{para } x \geq 0 \quad \text{Ec. (13)}$$

En donde:

x = número de llegadas u ocurrencias por unidad de tiempo (0, 1, 2, ...)

λ = número promedio de llegadas por unidad de tiempo (tasa media de llegadas)

$e = 2.7183$, base del logaritmo natural

$x! = x(x - 1)(x - 2)(x - 3) \dots (3)(2)(1)$.

Fuente: Rivera Colmenero (2016).

3.5 Descripción del caso de estudio: Estación Pantitlán, Línea 1 del STC

El caso de estudio es la estación terminal Pantitlán, Línea 1 (Pantitlán – Observatorio). A partir del enfoque sistémico, definimos al entorno del sistema como la administración pública y, la demanda y comportamiento de los pasajeros; el suprasistema, como la satisfacción de las expectativas de calidad, accesibilidad, frecuencia y cobertura de los pasajeros para lograr un servicio de transporte de excelencia, y al sistema desde que el pasajero espera en el andén hasta que aborda el tren y éste cierra las puertas (ver Figura 57).

Figura 57. Planteamiento del sistema

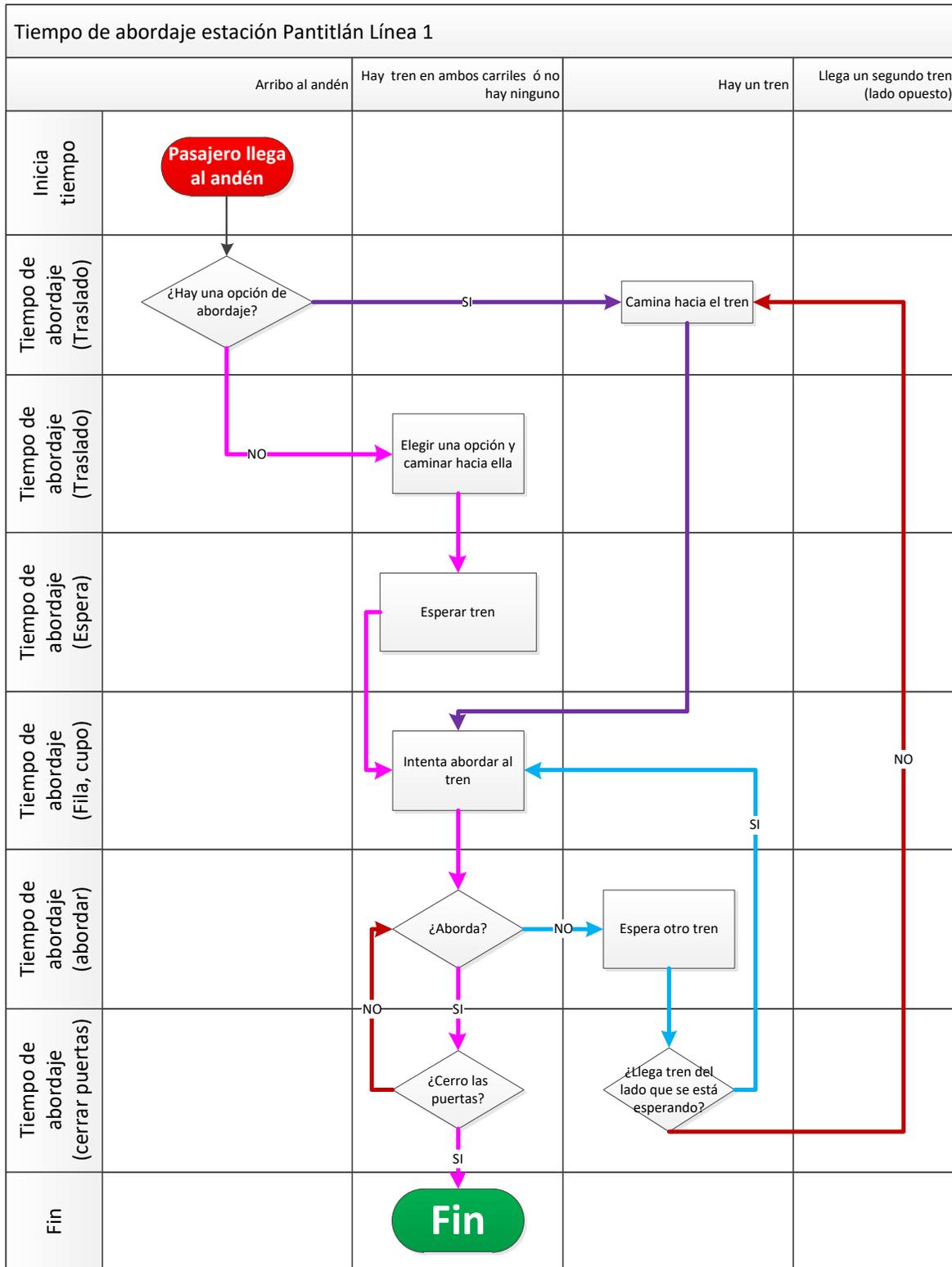


Fuente: Elaboración propia (2016).

En la estación terminal Pantitlán de la Línea 1, hay dos áreas en el andén para abordar el tren (derecha o izquierda). En cuanto llegan los pasajeros al andén:

- ❖ Si hay una opción para abordar los convoyes del tren, se dirigen hacia ella, intentan ingresar y, si fue posible, esperan el cierre de puertas, de lo contrario esperan otro(s) tren(es) hasta abordar y esperar al cierre de puertas (ver Figura 58).
- ❖ Si en ambos lados hay tren o no hay ninguno, eligen una opción, se dirigen hacia ella, esperan el arribo del tren, intentan ingresar y, si fue posible, esperan el cierre de puertas, de lo contrario esperan otro(s) tren(es) hasta abordar finalizando con el cierre de puertas (ver Figura 58).

Tabla 9. Relación de actividades para el abordaje del tren



Fuente: Elaboración propia (2016).

3.6 Definición de las variables

Para determinar el tiempo de abordaje de los pasajeros en la estación Pantitlán, se establecen como características principales del sistema: hora pico matutina, la demanda de pasajeros y, la frecuencia de trenes y capacidad de los trenes. La hora pico, con base en la encuesta Origen-Destino 2007 del INEGI, se determinó que el máximo de la hora pico se da entre las 7:33 y 7:44 horas de la mañana, siendo el periodo de máxima demanda entre las 7:00 y 7:59 horas; sin embargo, se hace un pre-muestreo, en el cual se determina hacer el levantamiento de 07:00 a 09:00 horas. Para obtener la demanda de pasajeros, se hace el levantamiento de datos en la zona más concurrida de caballeros. Por ciclos de trenes, se calcula el número de personas que suben (debido a que es una estación terminal, las personas pueden decidir esperar al siguiente tren con la esperanza de alcanzar lugar; o bien, de ingresar con mayor facilidad). Con base en la información del STC, se hace la indicación que los reportes se realizan de manera trimestral, y que el comportamiento es diferente al inicio de la semana, en el intermedio y al final de la semana laboral. Por lo anterior, se realizan las mediciones los días lunes, miércoles y sábados durante el cuarto trimestre del año 2016. Para el levantamiento de datos, se considera:

Tiempo de llegada, $t_{llegada}$, el tiempo que transcurre desde que el tren que se encuentra en el andén cierra sus puertas hasta el cierre de puertas del siguiente tren.

Tiempo que el tren permanece en el andén, $t_{andén}$, es el tiempo que el tren abre las puertas. Pantitlán es una estación terminal, por lo que el tren llega vacío y abre las puertas para el ascenso de pasajeros; o bien, puede llegar de la estación Zaragoza y terminar la carrera en la estación Pantitlán, por lo que el tiempo de apertura de puertas es para el descenso y ascenso de pasajeros.

Tasa de llegada de pasajeros, λ , es la cantidad de personas que llegan por minuto al área de medición.

Capacidad del servicio, μ , es la cantidad de personas que pueden subir al tren, en este caso se considera el número de personas que abordan.

3.7 Análisis de datos

A continuación, se realiza el análisis de los datos obtenidos para estimar las características estadísticas de cada una de las variables: el tiempo de llegada entre trenes, tanto los que van de la estación Zaragoza a la estación terminal Pantitlán como los que van de la estación terminal Pantitlán a la estación Zaragoza; el tiempo de apertura de puertas, que es el tiempo en el que el tren permanece en el andén; la capacidad del tren, la cual consideramos variable debido a que el tren no es abordado al 100 % de su capacidad; y la tasa de llegada de pasajeros. Primero se verifica el ajuste a una distribución normal, en el software Minitab® 17, en caso de no seguir una distribución normal, en el software de ProModel en la sección de Stat::Fit®, versión 3.0.1.0 Standard, buscamos la distribución de probabilidad que represente la aleatoriedad de los datos obtenidos, posteriormente se realiza la pruebas de bondad de ajuste, en el apartado del mismo nombre goodness of fit de Stat::Fit® y, se obtienen la gráfica de independencia y la estadística descriptiva de los datos.

En las siguientes tablas, del lado derecho se presentan las pruebas realizadas y del lado izquierdo se presentan los resultados obtenidos de análisis del levantamiento de datos realizados durante octubre, noviembre y diciembre, al inicio intermedio y fin de semana de cada mes. Los datos obtenidos fueron:

- ❖ tiempo de llegada de los trenes que terminan e inician carrera, los cuales llegan de la estación Zaragoza, denominados (Zaragoza – Pantitlán);
- ❖ tiempo de llegada de los trenes llamados (Pantitlán – Zaragoza), que son los que salen de la base o estación de trenes y llegan a la estación terminal Pantitlán para continuar su viaje hacia la estación Zaragoza;
- ❖ tiempo que el tren permanece con las puertas abiertas para el abordaje de pasajeros;
- ❖ capacidad del tren, que fue el conteo, en la puerta de mayor afluencia, el número de pasajeros que ingresan en la sección de mayor afluencia de pasajeros, y;
- ❖ tasa de llegada de pasajeros por minuto.

Octubre, inicio de semana

En las tablas de la 10 a la 14 se muestran los análisis de los datos obtenidos del inicio de semana.

Tabla 10. Análisis del tiempo entre trenes que llegan de la estación Zaragoza

Tren (Zaragoza - Pantitlán)																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>27</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>2.</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>28.67</td></tr> <tr><td>mean</td><td>4.81593</td></tr> <tr><td>median</td><td>3.55</td></tr> <tr><td>mode</td><td>2.565</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>5.04573</td></tr> <tr><td>variance</td><td>25.4594</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>104.772</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>4.34626</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>18.4995</td></tr> </table>	data points	27	minimum	2.	maximum	28.67	mean	4.81593	median	3.55	mode	2.565	standard deviation	5.04573	variance	25.4594	coefficient of variation	104.772	skewness	4.34626	kurtosis	18.4995
data points	27																						
minimum	2.																						
maximum	28.67																						
mean	4.81593																						
median	3.55																						
mode	2.565																						
standard deviation	5.04573																						
variance	25.4594																						
coefficient of variation	104.772																						
skewness	4.34626																						
kurtosis	18.4995																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de juste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal[2., 0.292, 1.29]</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential[2., 2.82]</td> <td>18.6</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform[2., 28.7]</td> <td>0.</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal[2., 0.292, 1.29]	100	do not reject	Exponential[2., 2.82]	18.6	do not reject	Uniform[2., 28.7]	0.	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal[2., 0.292, 1.29]	100	do not reject																					
Exponential[2., 2.82]	18.6	do not reject																					
Uniform[2., 28.7]	0.	reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 11. Análisis del tiempo entre trenes que parten de la estación de trenes

Tren (Pantitlán - Zaragoza)																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>22</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>1.12</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>13.07</td></tr> <tr><td>mean</td><td>4.41682</td></tr> <tr><td>median</td><td>4.155</td></tr> <tr><td>mode</td><td>4.54</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>3.03951</td></tr> <tr><td>variance</td><td>9.23864</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>68.8168</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>1.86288</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>2.95884</td></tr> </table>	data points	22	minimum	1.12	maximum	13.07	mean	4.41682	median	4.155	mode	4.54	standard deviation	3.03951	variance	9.23864	coefficient of variation	68.8168	skewness	1.86288	kurtosis	2.95884
data points	22																						
minimum	1.12																						
maximum	13.07																						
mean	4.41682																						
median	4.155																						
mode	4.54																						
standard deviation	3.03951																						
variance	9.23864																						
coefficient of variation	68.8168																						
skewness	1.86288																						
kurtosis	2.95884																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Exponential[1., 3.42]</td> <td>92.1</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Lognormal[1., 0.817, 1.04]</td> <td>83.8</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform[1., 13.1]</td> <td>0.</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Exponential[1., 3.42]	92.1	do not reject	Lognormal[1., 0.817, 1.04]	83.8	do not reject	Uniform[1., 13.1]	0.	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Exponential[1., 3.42]	92.1	do not reject																					
Lognormal[1., 0.817, 1.04]	83.8	do not reject																					
Uniform[1., 13.1]	0.	reject																					

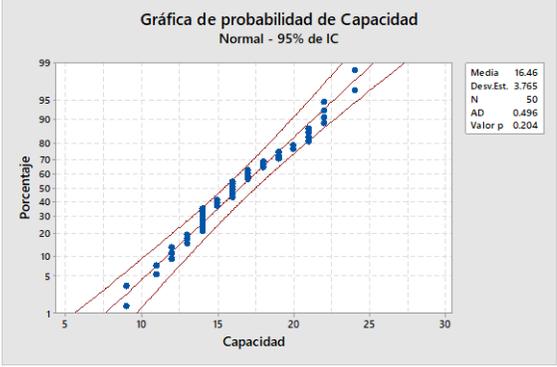
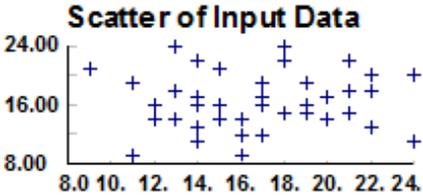
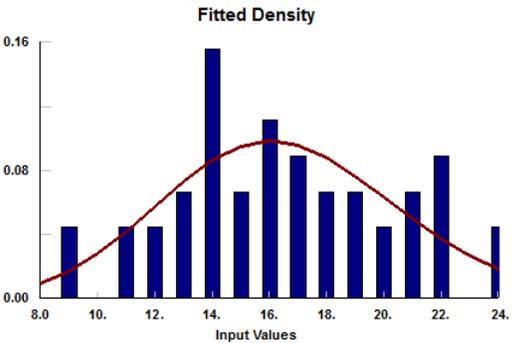
Elaboración propia (2016)

Tabla 12. Análisis del tiempo de apertura de puertas

Apertura de puertas																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>29</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>5.</td></tr> <tr><td>mean</td><td>1.83931</td></tr> <tr><td>median</td><td>0.92</td></tr> <tr><td>mode</td><td>0.605</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>1.55416</td></tr> <tr><td>variance</td><td>2.41543</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>84.4971</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>0.719835</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>-1.15035</td></tr> </table>	data points	29	minimum	0.35	maximum	5.	mean	1.83931	median	0.92	mode	0.605	standard deviation	1.55416	variance	2.41543	coefficient of variation	84.4971	skewness	0.719835	kurtosis	-1.15035
data points	29																						
minimum	0.35																						
maximum	5.																						
mean	1.83931																						
median	0.92																						
mode	0.605																						
standard deviation	1.55416																						
variance	2.41543																						
coefficient of variation	84.4971																						
skewness	0.719835																						
kurtosis	-1.15035																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Exponential[0., 1.84]</td> <td>91.8</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Lognormal[0., 0.218, 0.909]</td> <td>87.1</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform[0., 5.]</td> <td>1.19e-003</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Exponential[0., 1.84]	91.8	do not reject	Lognormal[0., 0.218, 0.909]	87.1	do not reject	Uniform[0., 5.]	1.19e-003	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Exponential[0., 1.84]	91.8	do not reject																					
Lognormal[0., 0.218, 0.909]	87.1	do not reject																					
Uniform[0., 5.]	1.19e-003	reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 13. Análisis de la cantidad de pasajeros que abordan

Capacidad del tren																							
Gráfica de normalidad	 <p>Gráfica de probabilidad de Capacidad Normal - 95% de IC</p> <p>Media: 16.46 Dev.Est.: 3.755 N: 50 AD: 0.496 Valor p: 0.204</p>																						
Gráfica de independencia de datos	 <p>Scatter of Input Data</p>																						
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>45</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>9.</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>24.</td></tr> <tr><td>mean</td><td>16.5333</td></tr> <tr><td>median</td><td>16.</td></tr> <tr><td>mode</td><td>14.</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>3.83524</td></tr> <tr><td>variance</td><td>14.7091</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>23.197</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>0.106943</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>-0.736854</td></tr> </table>	data points	45	minimum	9.	maximum	24.	mean	16.5333	median	16.	mode	14.	standard deviation	3.83524	variance	14.7091	coefficient of variation	23.197	skewness	0.106943	kurtosis	-0.736854
data points	45																						
minimum	9.																						
maximum	24.																						
mean	16.5333																						
median	16.																						
mode	14.																						
standard deviation	3.83524																						
variance	14.7091																						
coefficient of variation	23.197																						
skewness	0.106943																						
kurtosis	-0.736854																						
Gráfica de densidad con ajuste	 <p>Fitted Density</p> <p>Binomial Poisson</p>																						
Prueba de bondad de ajuste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Poisson[16.5]</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Binomial[125, 0.132]</td> <td>88.9</td> <td>do not reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Poisson[16.5]	100	do not reject	Binomial[125, 0.132]	88.9	do not reject													
distribution	rank	acceptance																					
Poisson[16.5]	100	do not reject																					
Binomial[125, 0.132]	88.9	do not reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 14. Análisis de la cantidad de pasajeros que llegan por minuto

Tasa de llegada de pasajeros																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">Prueba de normalidad de Anderson-Darling - Rechazo</p> <table border="1"> <tr> <td>A-cuadrado</td> <td>1.73</td> </tr> <tr> <td>Valor p</td> <td><0.005</td> </tr> </table> <hr/> <table border="1"> <tr> <td>Media</td> <td>4.9250</td> </tr> <tr> <td>Desv. Est.</td> <td>1.9880</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td>3.9523</td> </tr> <tr> <td>Asimetría</td> <td>0.523006</td> </tr> <tr> <td>Curtosis</td> <td>0.167841</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>120</td> </tr> </table> <hr/> <p style="text-align: center;">Intervalo de confianza de 95% para la media</p> <table border="1"> <tr> <td>4.5656</td> <td>5.2844</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Intervalo de confianza de 95% para la mediana</p> <table border="1"> <tr> <td>4.0000</td> <td>5.0000</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar</p> <table border="1"> <tr> <td>1.7644</td> <td>2.2772</td> </tr> </table>	A-cuadrado	1.73	Valor p	<0.005	Media	4.9250	Desv. Est.	1.9880	Varianza	3.9523	Asimetría	0.523006	Curtosis	0.167841	N	120	4.5656	5.2844	4.0000	5.0000	1.7644	2.2772
A-cuadrado	1.73																						
Valor p	<0.005																						
Media	4.9250																						
Desv. Est.	1.9880																						
Varianza	3.9523																						
Asimetría	0.523006																						
Curtosis	0.167841																						
N	120																						
4.5656	5.2844																						
4.0000	5.0000																						
1.7644	2.2772																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Poisson[4.84]</td> <td>99.1</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Binomial[27., 0.179]</td> <td>98.5</td> <td>do not reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Poisson[4.84]	99.1	do not reject	Binomial[27., 0.179]	98.5	do not reject													
distribution	rank	acceptance																					
Poisson[4.84]	99.1	do not reject																					
Binomial[27., 0.179]	98.5	do not reject																					

Elaboración propia (2016)

Octubre, Intermedio de semana

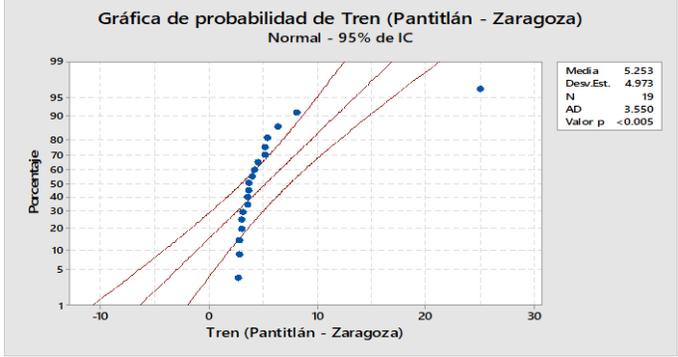
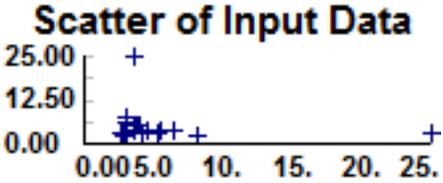
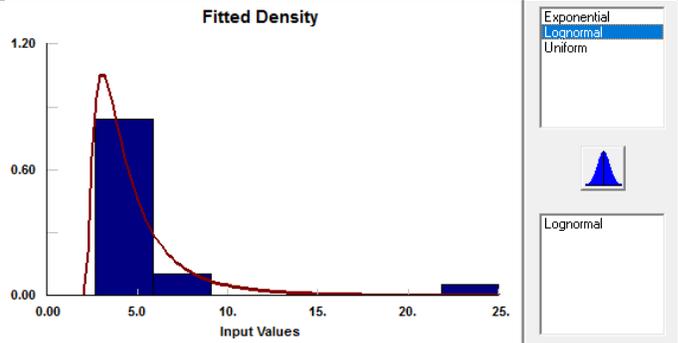
En las tablas de la 15 a la 19 se muestran los análisis de los datos obtenidos del intermedio de semana.

Tabla 15. Análisis del tiempo entre trenes que terminan e inician corrida

Tren (Zaragoza - Pantitlán)																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>24</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>2.23</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>7.87</td></tr> <tr><td>mean</td><td>4.10625</td></tr> <tr><td>median</td><td>3.91</td></tr> <tr><td>mode</td><td>4.8</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>1.43174</td></tr> <tr><td>variance</td><td>2.04987</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>34.8672</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>1.01823</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>0.78671</td></tr> </table>	data points	24	minimum	2.23	maximum	7.87	mean	4.10625	median	3.91	mode	4.8	standard deviation	1.43174	variance	2.04987	coefficient of variation	34.8672	skewness	1.01823	kurtosis	0.78671
data points	24																						
minimum	2.23																						
maximum	7.87																						
mean	4.10625																						
median	3.91																						
mode	4.8																						
standard deviation	1.43174																						
variance	2.04987																						
coefficient of variation	34.8672																						
skewness	1.01823																						
kurtosis	0.78671																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de juste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal[2., 0.478, 0.803]</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential[2., 2.11]</td> <td>31.5</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform[2., 7.87]</td> <td>5.85e-003</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal[2., 0.478, 0.803]	100	do not reject	Exponential[2., 2.11]	31.5	do not reject	Uniform[2., 7.87]	5.85e-003	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal[2., 0.478, 0.803]	100	do not reject																					
Exponential[2., 2.11]	31.5	do not reject																					
Uniform[2., 7.87]	5.85e-003	reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 16. Análisis del tiempo entre trenes que inician corrida

Tren (Pantitlán - Zaragoza)																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>19</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>2.67</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>24.97</td></tr> <tr><td>mean</td><td>5.25211</td></tr> <tr><td>median</td><td>3.67</td></tr> <tr><td>mode</td><td>2.67</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>4.97373</td></tr> <tr><td>variance</td><td>24.738</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>94.6998</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>3.83025</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>13.1124</td></tr> </table>	data points	19	minimum	2.67	maximum	24.97	mean	5.25211	median	3.67	mode	2.67	standard deviation	4.97373	variance	24.738	coefficient of variation	94.6998	skewness	3.83025	kurtosis	13.1124
data points	19																						
minimum	2.67																						
maximum	24.97																						
mean	5.25211																						
median	3.67																						
mode	2.67																						
standard deviation	4.97373																						
variance	24.738																						
coefficient of variation	94.6998																						
skewness	3.83025																						
kurtosis	13.1124																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal[2., 0.714, 0.823]</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential[2., 3.25]</td> <td>14.6</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform[2., 25.]</td> <td>0.</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal[2., 0.714, 0.823]	100	do not reject	Exponential[2., 3.25]	14.6	do not reject	Uniform[2., 25.]	0.	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal[2., 0.714, 0.823]	100	do not reject																					
Exponential[2., 3.25]	14.6	do not reject																					
Uniform[2., 25.]	0.	reject																					

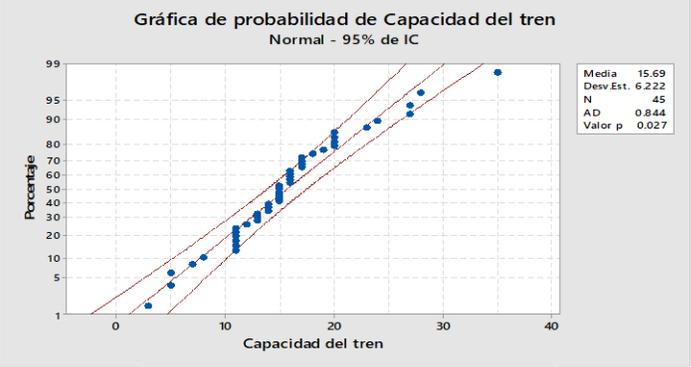
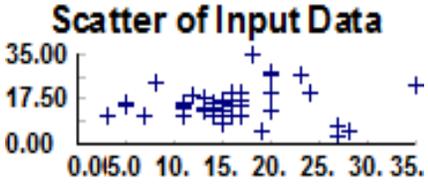
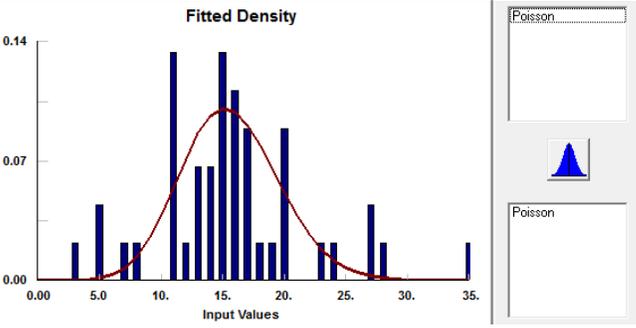
Elaboración propia (2016)

Tabla 17. Análisis del tiempo de apertura de puertas

Apertura de puertas																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>28</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>0.16</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>9.03</td></tr> <tr><td>mean</td><td>2.00821</td></tr> <tr><td>median</td><td>1.065</td></tr> <tr><td>mode</td><td>1.105</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>2.18416</td></tr> <tr><td>variance</td><td>4.77053</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>108.761</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>1.84343</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>2.50573</td></tr> </table>	data points	28	minimum	0.16	maximum	9.03	mean	2.00821	median	1.065	mode	1.105	standard deviation	2.18416	variance	4.77053	coefficient of variation	108.761	skewness	1.84343	kurtosis	2.50573
data points	28																						
minimum	0.16																						
maximum	9.03																						
mean	2.00821																						
median	1.065																						
mode	1.105																						
standard deviation	2.18416																						
variance	4.77053																						
coefficient of variation	108.761																						
skewness	1.84343																						
kurtosis	2.50573																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal(0., 0.127, 0.958)</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential(0., 2.01)</td> <td>27.2</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform(0., 9.03)</td> <td>0.</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal(0., 0.127, 0.958)	100	do not reject	Exponential(0., 2.01)	27.2	do not reject	Uniform(0., 9.03)	0.	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal(0., 0.127, 0.958)	100	do not reject																					
Exponential(0., 2.01)	27.2	do not reject																					
Uniform(0., 9.03)	0.	reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 18. Análisis de la cantidad de pasajeros que abordan

Capacidad del tren																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>45</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>3.</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>35.</td></tr> <tr><td>mean</td><td>15.6889</td></tr> <tr><td>median</td><td>15.</td></tr> <tr><td>mode</td><td>11.</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>6.22247</td></tr> <tr><td>variance</td><td>38.7192</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>39.6617</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>0.687622</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>1.22568</td></tr> </table>	data points	45	minimum	3.	maximum	35.	mean	15.6889	median	15.	mode	11.	standard deviation	6.22247	variance	38.7192	coefficient of variation	39.6617	skewness	0.687622	kurtosis	1.22568
data points	45																						
minimum	3.																						
maximum	35.																						
mean	15.6889																						
median	15.																						
mode	11.																						
standard deviation	6.22247																						
variance	38.7192																						
coefficient of variation	39.6617																						
skewness	0.687622																						
kurtosis	1.22568																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de juste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <tr> <td>distribution</td> <td>rank</td> <td>acceptance</td> </tr> <tr> <td>Poisson(15.7)</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> </table>	distribution	rank	acceptance	Poisson(15.7)	100	do not reject																
distribution	rank	acceptance																					
Poisson(15.7)	100	do not reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 19. Análisis de la cantidad de pasajeros que llegan por minuto

Tasa de llegada de pasajeros																	
Gráfica de normalidad																	
Gráfica de independencia de datos																	
Estadística descriptiva	<p>Prueba de normalidad de Anderson-Darling - Rechazo</p> <table border="1"> <tr> <td>A-cuadrado</td> <td>2.09</td> </tr> <tr> <td>Valor p</td> <td><0.005</td> </tr> </table> <hr/> <table border="1"> <tr> <td>Media</td> <td>4.3417</td> </tr> <tr> <td>Desv.Est.</td> <td>2.0681</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td>4.2772</td> </tr> <tr> <td>Asimetría</td> <td>0.655473</td> </tr> <tr> <td>Curtosis</td> <td>0.658843</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>120</td> </tr> </table> <hr/> <p>Intervalo de confianza de 95% para la media 3.9678 4.7155</p> <p>Intervalo de confianza de 95% para la mediana 4.0000 5.0000</p> <p>Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar 1.8355 2.3689</p>	A-cuadrado	2.09	Valor p	<0.005	Media	4.3417	Desv.Est.	2.0681	Varianza	4.2772	Asimetría	0.655473	Curtosis	0.658843	N	120
A-cuadrado	2.09																
Valor p	<0.005																
Media	4.3417																
Desv.Est.	2.0681																
Varianza	4.2772																
Asimetría	0.655473																
Curtosis	0.658843																
N	120																
Gráfica de densidad con ajuste																	
Prueba de bondad de ajuste	<p>Auto::Fit of Distributions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Poisson(4.42)</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Poisson(4.42)	100	do not reject										
distribution	rank	acceptance															
Poisson(4.42)	100	do not reject															

Elaboración propia (2016)

Octubre, fin de semana

En las tablas de la 20 a la 24 se muestran los análisis de los datos obtenidos del fin de semana.

Tabla 20. Análisis del tiempo entre trenes que terminan e inician corrida

Tren (Zaragoza - Pantitlán)																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p>descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>18</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>12.02</td></tr> <tr><td>mean</td><td>6.37444</td></tr> <tr><td>median</td><td>5.69</td></tr> <tr><td>mode</td><td>5.015</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>2.62347</td></tr> <tr><td>variance</td><td>6.88258</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>41.156</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>0.725022</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>-0.431643</td></tr> </table>	data points	18	minimum	2.5	maximum	12.02	mean	6.37444	median	5.69	mode	5.015	standard deviation	2.62347	variance	6.88258	coefficient of variation	41.156	skewness	0.725022	kurtosis	-0.431643
data points	18																						
minimum	2.5																						
maximum	12.02																						
mean	6.37444																						
median	5.69																						
mode	5.015																						
standard deviation	2.62347																						
variance	6.88258																						
coefficient of variation	41.156																						
skewness	0.725022																						
kurtosis	-0.431643																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de juste	<p>Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal[2., 1.26, 0.722]</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential[2., 4.37]</td> <td>4.57</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform[2., 12.]</td> <td>3.53</td> <td>do not reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal[2., 1.26, 0.722]	100	do not reject	Exponential[2., 4.37]	4.57	do not reject	Uniform[2., 12.]	3.53	do not reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal[2., 1.26, 0.722]	100	do not reject																					
Exponential[2., 4.37]	4.57	do not reject																					
Uniform[2., 12.]	3.53	do not reject																					

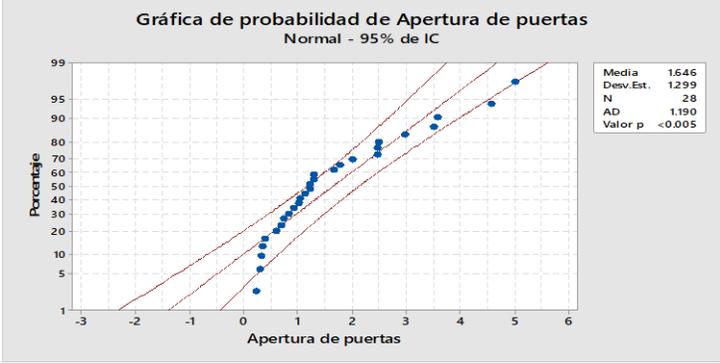
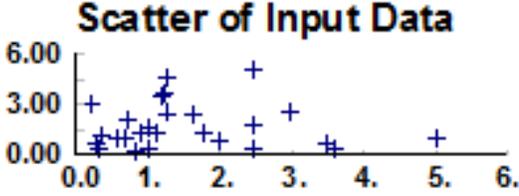
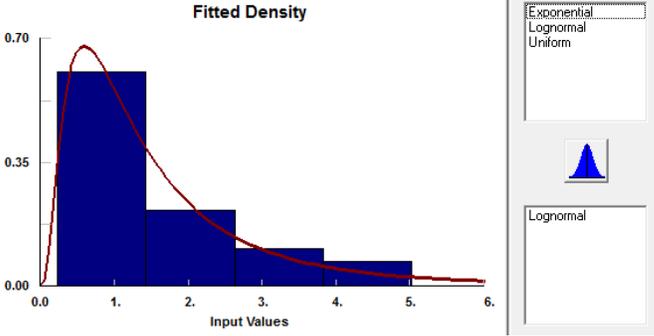
Elaboración propia (2016)

Tabla 21. Análisis del tiempo entre trenes que inician corrida

Tren (Pantitlán - Zaragoza)																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p>descriptive statistics</p> <table> <tr><td>data points</td><td>22</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>2.52</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>12.18</td></tr> <tr><td>mean</td><td>5.25227</td></tr> <tr><td>median</td><td>4.48</td></tr> <tr><td>mode</td><td>3.73</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>2.36357</td></tr> <tr><td>variance</td><td>5.58649</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>45.001</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>1.30828</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>1.50566</td></tr> </table>	data points	22	minimum	2.52	maximum	12.18	mean	5.25227	median	4.48	mode	3.73	standard deviation	2.36357	variance	5.58649	coefficient of variation	45.001	skewness	1.30828	kurtosis	1.50566
data points	22																						
minimum	2.52																						
maximum	12.18																						
mean	5.25227																						
median	4.48																						
mode	3.73																						
standard deviation	2.36357																						
variance	5.58649																						
coefficient of variation	45.001																						
skewness	1.30828																						
kurtosis	1.50566																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de juste	<p>Auto::Fit of Distributions</p> <table> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal[2., 0.92, 0.753]</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential[2., 3.25]</td> <td>11.5</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform[2., 12.2]</td> <td>4.74e-004</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal[2., 0.92, 0.753]	100	do not reject	Exponential[2., 3.25]	11.5	do not reject	Uniform[2., 12.2]	4.74e-004	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal[2., 0.92, 0.753]	100	do not reject																					
Exponential[2., 3.25]	11.5	do not reject																					
Uniform[2., 12.2]	4.74e-004	reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 22. Análisis del tiempo de apertura de puertas

Apertura de puertas																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>28</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>0.23</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>5.02</td></tr> <tr><td>mean</td><td>1.64536</td></tr> <tr><td>median</td><td>1.225</td></tr> <tr><td>mode</td><td>1.11</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>1.29974</td></tr> <tr><td>variance</td><td>1.68933</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>78.9945</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>1.17833</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>0.455593</td></tr> </table>	data points	28	minimum	0.23	maximum	5.02	mean	1.64536	median	1.225	mode	1.11	standard deviation	1.29974	variance	1.68933	coefficient of variation	78.9945	skewness	1.17833	kurtosis	0.455593
data points	28																						
minimum	0.23																						
maximum	5.02																						
mean	1.64536																						
median	1.225																						
mode	1.11																						
standard deviation	1.29974																						
variance	1.68933																						
coefficient of variation	78.9945																						
skewness	1.17833																						
kurtosis	0.455593																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de juste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal(0., 0.18, 0.837)</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential(0., 1.65)</td> <td>36.5</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform(0., 5.02)</td> <td>0.</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal(0., 0.18, 0.837)	100	do not reject	Exponential(0., 1.65)	36.5	do not reject	Uniform(0., 5.02)	0.	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal(0., 0.18, 0.837)	100	do not reject																					
Exponential(0., 1.65)	36.5	do not reject																					
Uniform(0., 5.02)	0.	reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 23. Análisis de la cantidad de pasajeros que abordan

Capacidad del tren																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>26</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>23.</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>49.</td></tr> <tr><td>mean</td><td>32.6154</td></tr> <tr><td>median</td><td>33.</td></tr> <tr><td>mode</td><td>36.</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>6.1389</td></tr> <tr><td>variance</td><td>37.6862</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>18.8221</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>0.395322</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>0.409194</td></tr> </table>	data points	26	minimum	23.	maximum	49.	mean	32.6154	median	33.	mode	36.	standard deviation	6.1389	variance	37.6862	coefficient of variation	18.8221	skewness	0.395322	kurtosis	0.409194
data points	26																						
minimum	23.																						
maximum	49.																						
mean	32.6154																						
median	33.																						
mode	36.																						
standard deviation	6.1389																						
variance	37.6862																						
coefficient of variation	18.8221																						
skewness	0.395322																						
kurtosis	0.409194																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <tr> <td>distribution</td> <td>rank</td> <td>acceptance</td> </tr> <tr> <td>Poisson(32.6)</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> </table>	distribution	rank	acceptance	Poisson(32.6)	100	do not reject																
distribution	rank	acceptance																					
Poisson(32.6)	100	do not reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 24. Análisis de la cantidad de pasajeros que llegan por minuto

Tasa de llegada de pasajeros																	
Gráfica de normalidad																	
Gráfica de independencia de datos																	
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">Prueba de normalidad de Anderson-Darling - Rechazo</p> <table border="1"> <tr> <td>A-cuadrado</td> <td>2.89</td> </tr> <tr> <td>Valor p</td> <td><0.005</td> </tr> </table> <hr/> <table border="1"> <tr> <td>Media</td> <td>3.6083</td> </tr> <tr> <td>Dev.Est.</td> <td>1.7311</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td>2.9966</td> </tr> <tr> <td>Asimetría</td> <td>0.515994</td> </tr> <tr> <td>Curstosis</td> <td>-0.082425</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>120</td> </tr> </table> <hr/> <p style="text-align: center;">Intervalo de confianza de 95% para la media 3.2954 3.9212</p> <p style="text-align: center;">Intervalo de confianza de 95% para la mediana 3.0000 4.0000</p> <p style="text-align: center;">Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar 1.5363 1.9828</p>	A-cuadrado	2.89	Valor p	<0.005	Media	3.6083	Dev.Est.	1.7311	Varianza	2.9966	Asimetría	0.515994	Curstosis	-0.082425	N	120
A-cuadrado	2.89																
Valor p	<0.005																
Media	3.6083																
Dev.Est.	1.7311																
Varianza	2.9966																
Asimetría	0.515994																
Curstosis	-0.082425																
N	120																
Gráfica de densidad con ajuste																	
Prueba de bondad de ajuste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Poisson(3.82)</td> <td>98.5</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Binomial(95., 4.02e-002)</td> <td>97.8</td> <td>do not reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Poisson(3.82)	98.5	do not reject	Binomial(95., 4.02e-002)	97.8	do not reject							
distribution	rank	acceptance															
Poisson(3.82)	98.5	do not reject															
Binomial(95., 4.02e-002)	97.8	do not reject															

Elaboración propia (2016)

Noviembre, Inicio de semana

En las tablas de la 25 a la 29 se muestran los análisis de los datos obtenidos del inicio de semana.

Tabla 25. Análisis del tiempo entre trenes que terminan e inician corrida

Tren (Zaragoza - Pantitlán)																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p>descriptive statistics</p> <table> <tr><td>data points</td><td>28</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>2.92</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>4.93</td></tr> <tr><td>mean</td><td>3.73179</td></tr> <tr><td>median</td><td>3.59</td></tr> <tr><td>mode</td><td>3.605</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>0.503918</td></tr> <tr><td>variance</td><td>0.253934</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>13.5034</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>0.837707</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>-0.23597</td></tr> </table>	data points	28	minimum	2.92	maximum	4.93	mean	3.73179	median	3.59	mode	3.605	standard deviation	0.503918	variance	0.253934	coefficient of variation	13.5034	skewness	0.837707	kurtosis	-0.23597
data points	28																						
minimum	2.92																						
maximum	4.93																						
mean	3.73179																						
median	3.59																						
mode	3.605																						
standard deviation	0.503918																						
variance	0.253934																						
coefficient of variation	13.5034																						
skewness	0.837707																						
kurtosis	-0.23597																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p>Auto::Fit of Distributions</p> <table> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal(2., 0.511, 0.274)</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform(2., 4.93)</td> <td>9.95e-004</td> <td>reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential(2., 1.73)</td> <td>0.</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal(2., 0.511, 0.274)	100	do not reject	Uniform(2., 4.93)	9.95e-004	reject	Exponential(2., 1.73)	0.	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal(2., 0.511, 0.274)	100	do not reject																					
Uniform(2., 4.93)	9.95e-004	reject																					
Exponential(2., 1.73)	0.	reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 26. Análisis del tiempo entre trenes que inician corrida

Tren (Pantitlán - Zaragoza)																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p>descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>20</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>3.</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>6.74</td></tr> <tr><td>mean</td><td>4.255</td></tr> <tr><td>median</td><td>3.715</td></tr> <tr><td>mode</td><td>3.76</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>1.26722</td></tr> <tr><td>variance</td><td>1.60586</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>29.782</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>0.983297</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>-0.674031</td></tr> </table>	data points	20	minimum	3.	maximum	6.74	mean	4.255	median	3.715	mode	3.76	standard deviation	1.26722	variance	1.60586	coefficient of variation	29.782	skewness	0.983297	kurtosis	-0.674031
data points	20																						
minimum	3.																						
maximum	6.74																						
mean	4.255																						
median	3.715																						
mode	3.76																						
standard deviation	1.26722																						
variance	1.60586																						
coefficient of variation	29.782																						
skewness	0.983297																						
kurtosis	-0.674031																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p>Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal[3., -0.341, 1.3]</td> <td>88.</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential[3., 1.25]</td> <td>77.2</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform[3., 6.74]</td> <td>5.38e-004</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal[3., -0.341, 1.3]	88.	do not reject	Exponential[3., 1.25]	77.2	do not reject	Uniform[3., 6.74]	5.38e-004	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal[3., -0.341, 1.3]	88.	do not reject																					
Exponential[3., 1.25]	77.2	do not reject																					
Uniform[3., 6.74]	5.38e-004	reject																					

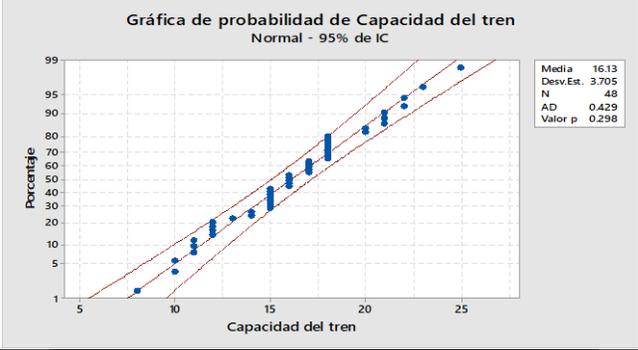
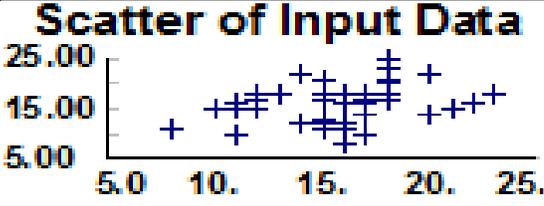
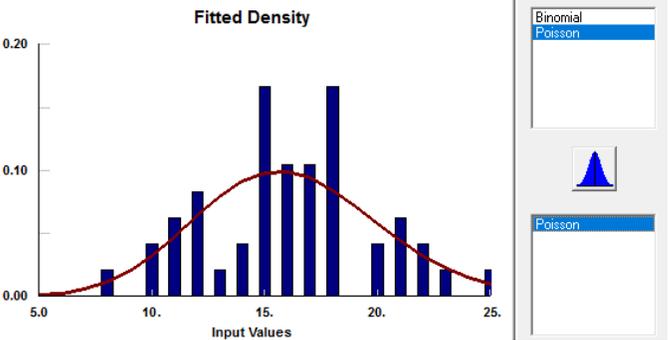
Elaboración propia (2016)

Tabla 27. Análisis del tiempo de apertura de puertas

Apertura de puertas																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p>descriptive statistics</p> <table> <tr><td>data points</td><td>48</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>0.24</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>6.81</td></tr> <tr><td>mean</td><td>1.87027</td></tr> <tr><td>median</td><td>1.38</td></tr> <tr><td>mode</td><td>1.23</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>1.40867</td></tr> <tr><td>variance</td><td>1.98434</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>75.3189</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>1.58939</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>2.17891</td></tr> </table>	data points	48	minimum	0.24	maximum	6.81	mean	1.87027	median	1.38	mode	1.23	standard deviation	1.40867	variance	1.98434	coefficient of variation	75.3189	skewness	1.58939	kurtosis	2.17891
data points	48																						
minimum	0.24																						
maximum	6.81																						
mean	1.87027																						
median	1.38																						
mode	1.23																						
standard deviation	1.40867																						
variance	1.98434																						
coefficient of variation	75.3189																						
skewness	1.58939																						
kurtosis	2.17891																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p>Auto::Fit of Distributions</p> <table> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal(0., 0.331, 0.704)</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential(0., 1.87)</td> <td>4.59e-002</td> <td>reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform(0., 6.81)</td> <td>0.</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal(0., 0.331, 0.704)	100	do not reject	Exponential(0., 1.87)	4.59e-002	reject	Uniform(0., 6.81)	0.	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal(0., 0.331, 0.704)	100	do not reject																					
Exponential(0., 1.87)	4.59e-002	reject																					
Uniform(0., 6.81)	0.	reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 28. Análisis de la cantidad de pasajeros que abordan

Capacidad del tren																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>48</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>8.</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>25.</td></tr> <tr><td>mean</td><td>16.125</td></tr> <tr><td>median</td><td>16.</td></tr> <tr><td>mode</td><td>15.</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>3.70523</td></tr> <tr><td>variance</td><td>13.7287</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>22.9782</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>9.07555e-002</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>-0.284272</td></tr> </table>	data points	48	minimum	8.	maximum	25.	mean	16.125	median	16.	mode	15.	standard deviation	3.70523	variance	13.7287	coefficient of variation	22.9782	skewness	9.07555e-002	kurtosis	-0.284272
data points	48																						
minimum	8.																						
maximum	25.																						
mean	16.125																						
median	16.																						
mode	15.																						
standard deviation	3.70523																						
variance	13.7287																						
coefficient of variation	22.9782																						
skewness	9.07555e-002																						
kurtosis	-0.284272																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Poisson(16.1)</td> <td>87.1</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Binomial(95., 0.17)</td> <td>60.6</td> <td>do not reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Poisson(16.1)	87.1	do not reject	Binomial(95., 0.17)	60.6	do not reject													
distribution	rank	acceptance																					
Poisson(16.1)	87.1	do not reject																					
Binomial(95., 0.17)	60.6	do not reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 29. Análisis de la cantidad de pasajeros que llegan por minuto

Tasa de llegada de pasajeros																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">Prueba de normalidad de Anderson-Darling - Rechazo</p> <table border="1"> <tr> <td>A-cuadrado</td> <td>1.74</td> </tr> <tr> <td>Valor p</td> <td><-0.005</td> </tr> </table> <hr/> <table border="1"> <tr> <td>Media</td> <td>4.2333</td> </tr> <tr> <td>Desv. Est.</td> <td>2.1914</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td>4.8022</td> </tr> <tr> <td>Asimetría</td> <td>0.568804</td> </tr> <tr> <td>Curtosis</td> <td>0.285052</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>120</td> </tr> </table> <hr/> <p style="text-align: center;">Intervalo de confianza de 95% para la media</p> <table border="1"> <tr> <td>3.8372</td> <td>4.6294</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Intervalo de confianza de 95% para la mediana</p> <table border="1"> <tr> <td>3.0000</td> <td>4.2024</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar</p> <table border="1"> <tr> <td>1.9448</td> <td>2.5101</td> </tr> </table>	A-cuadrado	1.74	Valor p	<-0.005	Media	4.2333	Desv. Est.	2.1914	Varianza	4.8022	Asimetría	0.568804	Curtosis	0.285052	N	120	3.8372	4.6294	3.0000	4.2024	1.9448	2.5101
A-cuadrado	1.74																						
Valor p	<-0.005																						
Media	4.2333																						
Desv. Est.	2.1914																						
Varianza	4.8022																						
Asimetría	0.568804																						
Curtosis	0.285052																						
N	120																						
3.8372	4.6294																						
3.0000	4.2024																						
1.9448	2.5101																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Poisson(4.26)</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Poisson(4.26)	100	do not reject																
distribution	rank	acceptance																					
Poisson(4.26)	100	do not reject																					

Elaboración propia (2016)

Noviembre, Intermedio de semana

En las tablas de la 30 a la 34 se muestran los análisis de los datos obtenidos del inicio de semana.

Tabla 30. Análisis del tiempo entre trenes que terminan e inician corrida

Tren (Zaragoza - Pantitlán)																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>26</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>2.43</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>15.4</td></tr> <tr><td>mean</td><td>4.75154</td></tr> <tr><td>median</td><td>3.495</td></tr> <tr><td>mode</td><td>3.465</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>3.10705</td></tr> <tr><td>variance</td><td>9.65377</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>65.3904</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>2.53787</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>5.53115</td></tr> </table>	data points	26	minimum	2.43	maximum	15.4	mean	4.75154	median	3.495	mode	3.465	standard deviation	3.10705	variance	9.65377	coefficient of variation	65.3904	skewness	2.53787	kurtosis	5.53115
data points	26																						
minimum	2.43																						
maximum	15.4																						
mean	4.75154																						
median	3.495																						
mode	3.465																						
standard deviation	3.10705																						
variance	9.65377																						
coefficient of variation	65.3904																						
skewness	2.53787																						
kurtosis	5.53115																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal[2., 0.625, 0.814]</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential[2., 2.75]</td> <td>13.5</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform[2., 15.4]</td> <td>0.</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal[2., 0.625, 0.814]	100	do not reject	Exponential[2., 2.75]	13.5	do not reject	Uniform[2., 15.4]	0.	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal[2., 0.625, 0.814]	100	do not reject																					
Exponential[2., 2.75]	13.5	do not reject																					
Uniform[2., 15.4]	0.	reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 31. Análisis del tiempo entre trenes que inician corrida

Tren (Pantitlán - Zaragoza)																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p>descriptive statistics</p> <table> <tr><td>data points</td><td>24</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>1.29</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>14.44</td></tr> <tr><td>mean</td><td>5.23417</td></tr> <tr><td>median</td><td>3.83</td></tr> <tr><td>mode</td><td>3.395</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>3.34274</td></tr> <tr><td>variance</td><td>11.1739</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>63.8639</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>1.11544</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>0.471861</td></tr> </table>	data points	24	minimum	1.29	maximum	14.44	mean	5.23417	median	3.83	mode	3.395	standard deviation	3.34274	variance	11.1739	coefficient of variation	63.8639	skewness	1.11544	kurtosis	0.471861
data points	24																						
minimum	1.29																						
maximum	14.44																						
mean	5.23417																						
median	3.83																						
mode	3.395																						
standard deviation	3.34274																						
variance	11.1739																						
coefficient of variation	63.8639																						
skewness	1.11544																						
kurtosis	0.471861																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p>Auto::Fit of Distributions</p> <table> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal[1., 1.11, 0.894]</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential[1., 4.23]</td> <td>51.</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform[1., 14.4]</td> <td>0.</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal[1., 1.11, 0.894]	100	do not reject	Exponential[1., 4.23]	51.	do not reject	Uniform[1., 14.4]	0.	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal[1., 1.11, 0.894]	100	do not reject																					
Exponential[1., 4.23]	51.	do not reject																					
Uniform[1., 14.4]	0.	reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 32. Análisis del tiempo de apertura de puertas

Apertura de puertas																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table> <tr><td>data points</td><td>50</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>0.26</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>6.2</td></tr> <tr><td>mean</td><td>1.78006</td></tr> <tr><td>median</td><td>1.37</td></tr> <tr><td>mode</td><td>1.195</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>1.25633</td></tr> <tr><td>variance</td><td>1.57836</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>70.5779</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>1.581</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>2.17324</td></tr> </table>	data points	50	minimum	0.26	maximum	6.2	mean	1.78006	median	1.37	mode	1.195	standard deviation	1.25633	variance	1.57836	coefficient of variation	70.5779	skewness	1.581	kurtosis	2.17324
data points	50																						
minimum	0.26																						
maximum	6.2																						
mean	1.78006																						
median	1.37																						
mode	1.195																						
standard deviation	1.25633																						
variance	1.57836																						
coefficient of variation	70.5779																						
skewness	1.581																						
kurtosis	2.17324																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de juste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal(0., 0.364, 0.653)</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential(0., 1.78)</td> <td>4.55e-003</td> <td>reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform(0., 6.2)</td> <td>0.</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal(0., 0.364, 0.653)	100	do not reject	Exponential(0., 1.78)	4.55e-003	reject	Uniform(0., 6.2)	0.	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal(0., 0.364, 0.653)	100	do not reject																					
Exponential(0., 1.78)	4.55e-003	reject																					
Uniform(0., 6.2)	0.	reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 33. Análisis de la cantidad de pasajeros que abordan

Capacidad del tren																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>50</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>8.</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>24.</td></tr> <tr><td>mean</td><td>15.26</td></tr> <tr><td>median</td><td>15.</td></tr> <tr><td>mode</td><td>14.</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>3.55028</td></tr> <tr><td>variance</td><td>12.6045</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>23.2653</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>0.150297</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>-0.314744</td></tr> </table>	data points	50	minimum	8.	maximum	24.	mean	15.26	median	15.	mode	14.	standard deviation	3.55028	variance	12.6045	coefficient of variation	23.2653	skewness	0.150297	kurtosis	-0.314744
data points	50																						
minimum	8.																						
maximum	24.																						
mean	15.26																						
median	15.																						
mode	14.																						
standard deviation	3.55028																						
variance	12.6045																						
coefficient of variation	23.2653																						
skewness	0.150297																						
kurtosis	-0.314744																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Poisson(15.3)</td> <td>90.</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Binomial(80., 0.191)</td> <td>44.1</td> <td>do not reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Poisson(15.3)	90.	do not reject	Binomial(80., 0.191)	44.1	do not reject													
distribution	rank	acceptance																					
Poisson(15.3)	90.	do not reject																					
Binomial(80., 0.191)	44.1	do not reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 34. Análisis de la cantidad de pasajeros que llegan por minuto

Tasa de llegada de pasajeros																	
Gráfica de normalidad																	
Gráfica de independencia de datos																	
Estadística descriptiva	<p>Prueba de normalidad de Anderson-Darling - Rechazo</p> <table border="1"> <tr> <td>A-cuadrado</td> <td>1.54</td> </tr> <tr> <td>Valor p</td> <td><0.005</td> </tr> </table> <hr/> <table border="1"> <tr> <td>Media</td> <td>4.1167</td> </tr> <tr> <td>Desv. Est.</td> <td>2.0628</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td>4.2552</td> </tr> <tr> <td>Asimetría</td> <td>0.308219</td> </tr> <tr> <td>Curtosis</td> <td>-0.203707</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>120</td> </tr> </table> <hr/> <p>Intervalo de confianza de 95% para la media 3.7438 4.4895</p> <p>Intervalo de confianza de 95% para la mediana 3.0000 4.0000</p> <p>Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar 1.8307 2.3628</p>	A-cuadrado	1.54	Valor p	<0.005	Media	4.1167	Desv. Est.	2.0628	Varianza	4.2552	Asimetría	0.308219	Curtosis	-0.203707	N	120
A-cuadrado	1.54																
Valor p	<0.005																
Media	4.1167																
Desv. Est.	2.0628																
Varianza	4.2552																
Asimetría	0.308219																
Curtosis	-0.203707																
N	120																
Gráfica de densidad con ajuste																	
Prueba de bondad de juste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Poisson[4.]</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Poisson[4.]	100	do not reject										
distribution	rank	acceptance															
Poisson[4.]	100	do not reject															

Elaboración propia (2016)

Noviembre, fin de semana

En las tablas de la 35 a la 39 se muestran los análisis de los datos obtenidos del inicio de semana.

Tabla 35. Análisis del tiempo entre trenes que terminan e inician corrida

Tren (Zaragoza - Pantitlán)																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>25</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>3.45</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>5.22</td></tr> <tr><td>mean</td><td>4.1104</td></tr> <tr><td>median</td><td>3.95</td></tr> <tr><td>mode</td><td>3.965</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>0.469818</td></tr> <tr><td>variance</td><td>0.220729</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>11.43</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>0.904623</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>-0.33897</td></tr> </table>	data points	25	minimum	3.45	maximum	5.22	mean	4.1104	median	3.95	mode	3.965	standard deviation	0.469818	variance	0.220729	coefficient of variation	11.43	skewness	0.904623	kurtosis	-0.33897
data points	25																						
minimum	3.45																						
maximum	5.22																						
mean	4.1104																						
median	3.95																						
mode	3.965																						
standard deviation	0.469818																						
variance	0.220729																						
coefficient of variation	11.43																						
skewness	0.904623																						
kurtosis	-0.33897																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de juste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal[3., 2.42e-002, 0.398]</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform[3., 5.22]</td> <td>1.02</td> <td>reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential[3., 1.11]</td> <td>4.57e-004</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal[3., 2.42e-002, 0.398]	100	do not reject	Uniform[3., 5.22]	1.02	reject	Exponential[3., 1.11]	4.57e-004	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal[3., 2.42e-002, 0.398]	100	do not reject																					
Uniform[3., 5.22]	1.02	reject																					
Exponential[3., 1.11]	4.57e-004	reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 36. Análisis del tiempo entre trenes que inician corrida

Tren (Pantitlán - Zaragoza)																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p>descriptive statistics</p> <table> <tr><td>data points</td><td>19</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>2.28</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>13.12</td></tr> <tr><td>mean</td><td>4.78368</td></tr> <tr><td>median</td><td>3.01</td></tr> <tr><td>mode</td><td>3.085</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>3.69251</td></tr> <tr><td>variance</td><td>13.6346</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>77.1896</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>1.55936</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>0.488686</td></tr> </table>	data points	19	minimum	2.28	maximum	13.12	mean	4.78368	median	3.01	mode	3.085	standard deviation	3.69251	variance	13.6346	coefficient of variation	77.1896	skewness	1.55936	kurtosis	0.488686
data points	19																						
minimum	2.28																						
maximum	13.12																						
mean	4.78368																						
median	3.01																						
mode	3.085																						
standard deviation	3.69251																						
variance	13.6346																						
coefficient of variation	77.1896																						
skewness	1.55936																						
kurtosis	0.488686																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de juste	<p>Auto::Fit of Distributions</p> <table> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal[2., 0.265, 1.2]</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential[2., 2.78]</td> <td>1.19</td> <td>reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform[2., 13.1]</td> <td>0.</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal[2., 0.265, 1.2]	100	do not reject	Exponential[2., 2.78]	1.19	reject	Uniform[2., 13.1]	0.	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal[2., 0.265, 1.2]	100	do not reject																					
Exponential[2., 2.78]	1.19	reject																					
Uniform[2., 13.1]	0.	reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 37. Análisis del tiempo de apertura de puertas

Apertura de puertas																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p>descriptive statistics</p> <table> <tr><td>data points</td><td>44</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>8.e-002</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>7.54</td></tr> <tr><td>mean</td><td>1.90523</td></tr> <tr><td>median</td><td>1.41</td></tr> <tr><td>mode</td><td>0.885</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>1.69733</td></tr> <tr><td>variance</td><td>2.88094</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>89.0883</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>1.37804</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>1.38685</td></tr> </table>	data points	44	minimum	8.e-002	maximum	7.54	mean	1.90523	median	1.41	mode	0.885	standard deviation	1.69733	variance	2.88094	coefficient of variation	89.0883	skewness	1.37804	kurtosis	1.38685
data points	44																						
minimum	8.e-002																						
maximum	7.54																						
mean	1.90523																						
median	1.41																						
mode	0.885																						
standard deviation	1.69733																						
variance	2.88094																						
coefficient of variation	89.0883																						
skewness	1.37804																						
kurtosis	1.38685																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p>Auto::Fit of Distributions</p> <table> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal[0., 0.206, 1.04]</td> <td>91.9</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential[0., 1.91]</td> <td>74.2</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform[0., 7.54]</td> <td>0.</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal[0., 0.206, 1.04]	91.9	do not reject	Exponential[0., 1.91]	74.2	do not reject	Uniform[0., 7.54]	0.	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal[0., 0.206, 1.04]	91.9	do not reject																					
Exponential[0., 1.91]	74.2	do not reject																					
Uniform[0., 7.54]	0.	reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 38. Análisis de la cantidad de pasajeros que abordan

Capacidad del tren																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>46</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>21.</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>39.</td></tr> <tr><td>mean</td><td>30.087</td></tr> <tr><td>median</td><td>30.5</td></tr> <tr><td>mode</td><td>34.</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>5.21462</td></tr> <tr><td>variance</td><td>27.1923</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>17.3318</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>-0.107684</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>-1.19017</td></tr> </table>	data points	46	minimum	21.	maximum	39.	mean	30.087	median	30.5	mode	34.	standard deviation	5.21462	variance	27.1923	coefficient of variation	17.3318	skewness	-0.107684	kurtosis	-1.19017
data points	46																						
minimum	21.																						
maximum	39.																						
mean	30.087																						
median	30.5																						
mode	34.																						
standard deviation	5.21462																						
variance	27.1923																						
coefficient of variation	17.3318																						
skewness	-0.107684																						
kurtosis	-1.19017																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Poisson(30.1)</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Binomial(252, 0.119)</td> <td>77.6</td> <td>do not reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Poisson(30.1)	100	do not reject	Binomial(252, 0.119)	77.6	do not reject													
distribution	rank	acceptance																					
Poisson(30.1)	100	do not reject																					
Binomial(252, 0.119)	77.6	do not reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 39. Análisis de la cantidad de pasajeros que llegan por minuto

Tasa de llegada de pasajeros																	
Gráfica de normalidad																	
Gráfica de independencia de datos																	
Estadística descriptiva	<p>Prueba de normalidad de Anderson-Darling - Rechazo</p> <table border="1"> <tr> <td>A-cuadrado</td> <td>2.11</td> </tr> <tr> <td>Valor p</td> <td><0.005</td> </tr> <tr> <td>Media</td> <td>3.3417</td> </tr> <tr> <td>Desv. Est.</td> <td>1.7846</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td>3.1848</td> </tr> <tr> <td>Asimetría</td> <td>0.435660</td> </tr> <tr> <td>Curtosis</td> <td>-0.186108</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>120</td> </tr> </table> <p>Intervalo de confianza de 95% para la media 3.0191 3.6642</p> <p>Intervalo de confianza de 95% para la mediana 3.0000 4.0000</p> <p>Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar 1.5838 2.0441</p>	A-cuadrado	2.11	Valor p	<0.005	Media	3.3417	Desv. Est.	1.7846	Varianza	3.1848	Asimetría	0.435660	Curtosis	-0.186108	N	120
A-cuadrado	2.11																
Valor p	<0.005																
Media	3.3417																
Desv. Est.	1.7846																
Varianza	3.1848																
Asimetría	0.435660																
Curtosis	-0.186108																
N	120																
Gráfica de densidad con ajuste																	
Prueba de bondad de juste	<p>Auto::Fit of Distributions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Poisson(3.4)</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Poisson(3.4)	100	do not reject										
distribution	rank	acceptance															
Poisson(3.4)	100	do not reject															

Elaboración propia (2016)

Diciembre, inicio de semana

En las tablas de la 40 a la 44 se muestran los análisis de los datos obtenidos del inicio de semana.

Tabla 40. Análisis del tiempo entre trenes que terminan e inician corrida

Tren (Zaragoza - Pantitlán)																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p>descriptive statistics</p> <table> <tr><td>data points</td><td>26</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>2.08</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>9.46</td></tr> <tr><td>mean</td><td>4.21538</td></tr> <tr><td>median</td><td>3.835</td></tr> <tr><td>mode</td><td>2.89</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>1.91231</td></tr> <tr><td>variance</td><td>3.65692</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>45.365</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>1.3802</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>1.00511</td></tr> </table>	data points	26	minimum	2.08	maximum	9.46	mean	4.21538	median	3.835	mode	2.89	standard deviation	1.91231	variance	3.65692	coefficient of variation	45.365	skewness	1.3802	kurtosis	1.00511
data points	26																						
minimum	2.08																						
maximum	9.46																						
mean	4.21538																						
median	3.835																						
mode	2.89																						
standard deviation	1.91231																						
variance	3.65692																						
coefficient of variation	45.365																						
skewness	1.3802																						
kurtosis	1.00511																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p>Auto::Fit of Distributions</p> <table> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal[2., 0.389, 1.02]</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential[2., 2.22]</td> <td>55.5</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform[2., 9.46]</td> <td>0.</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal[2., 0.389, 1.02]	100	do not reject	Exponential[2., 2.22]	55.5	do not reject	Uniform[2., 9.46]	0.	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal[2., 0.389, 1.02]	100	do not reject																					
Exponential[2., 2.22]	55.5	do not reject																					
Uniform[2., 9.46]	0.	reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 41. Análisis del tiempo entre trenes que inician corrida

Tren (Pantitlán - Zaragoza)																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p>descriptive statistics</p> <table> <tr><td>data points</td><td>28</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>2.07</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>14.75</td></tr> <tr><td>mean</td><td>4.68929</td></tr> <tr><td>median</td><td>3.08</td></tr> <tr><td>mode</td><td>3.14</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>3.65596</td></tr> <tr><td>variance</td><td>13.3661</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>77.9642</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>1.91034</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>2.10294</td></tr> </table>	data points	28	minimum	2.07	maximum	14.75	mean	4.68929	median	3.08	mode	3.14	standard deviation	3.65596	variance	13.3661	coefficient of variation	77.9642	skewness	1.91034	kurtosis	2.10294
data points	28																						
minimum	2.07																						
maximum	14.75																						
mean	4.68929																						
median	3.08																						
mode	3.14																						
standard deviation	3.65596																						
variance	13.3661																						
coefficient of variation	77.9642																						
skewness	1.91034																						
kurtosis	2.10294																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p>Auto::Fit of Distributions</p> <table> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal[2., 0.225, 1.26]</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential[2., 2.69]</td> <td>0.673</td> <td>reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform[2., 14.8]</td> <td>0.</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal[2., 0.225, 1.26]	100	do not reject	Exponential[2., 2.69]	0.673	reject	Uniform[2., 14.8]	0.	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal[2., 0.225, 1.26]	100	do not reject																					
Exponential[2., 2.69]	0.673	reject																					
Uniform[2., 14.8]	0.	reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 42. Análisis del tiempo de apertura de puertas

Apertura de puertas																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td style="text-align: right;">36</td></tr> <tr><td>minimum</td><td style="text-align: right;">0.16</td></tr> <tr><td>maximum</td><td style="text-align: right;">5.59</td></tr> <tr><td>mean</td><td style="text-align: right;">1.67083</td></tr> <tr><td>median</td><td style="text-align: right;">1.1</td></tr> <tr><td>mode</td><td style="text-align: right;">1.09</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td style="text-align: right;">1.34961</td></tr> <tr><td>variance</td><td style="text-align: right;">1.82145</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td style="text-align: right;">80.7748</td></tr> <tr><td>skewness</td><td style="text-align: right;">1.32856</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td style="text-align: right;">0.861042</td></tr> </table>	data points	36	minimum	0.16	maximum	5.59	mean	1.67083	median	1.1	mode	1.09	standard deviation	1.34961	variance	1.82145	coefficient of variation	80.7748	skewness	1.32856	kurtosis	0.861042
data points	36																						
minimum	0.16																						
maximum	5.59																						
mean	1.67083																						
median	1.1																						
mode	1.09																						
standard deviation	1.34961																						
variance	1.82145																						
coefficient of variation	80.7748																						
skewness	1.32856																						
kurtosis	0.861042																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal(0., 0.207, 0.804)</td> <td style="text-align: center;">100</td> <td style="color: green;">do not reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential(0., 1.67)</td> <td style="text-align: center;">3.27</td> <td style="color: red;">reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform(0., 5.59)</td> <td style="text-align: center;">0.</td> <td style="color: red;">reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal(0., 0.207, 0.804)	100	do not reject	Exponential(0., 1.67)	3.27	reject	Uniform(0., 5.59)	0.	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal(0., 0.207, 0.804)	100	do not reject																					
Exponential(0., 1.67)	3.27	reject																					
Uniform(0., 5.59)	0.	reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 43. Análisis de la cantidad de pasajeros que abordan

Capacidad del tren																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>50</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>6.</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>28.</td></tr> <tr><td>mean</td><td>17.28</td></tr> <tr><td>median</td><td>17.</td></tr> <tr><td>mode</td><td>21.</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>4.37544</td></tr> <tr><td>variance</td><td>19.1445</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>25.3208</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>-0.123615</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>2.30897e-002</td></tr> </table>	data points	50	minimum	6.	maximum	28.	mean	17.28	median	17.	mode	21.	standard deviation	4.37544	variance	19.1445	coefficient of variation	25.3208	skewness	-0.123615	kurtosis	2.30897e-002
data points	50																						
minimum	6.																						
maximum	28.																						
mean	17.28																						
median	17.																						
mode	21.																						
standard deviation	4.37544																						
variance	19.1445																						
coefficient of variation	25.3208																						
skewness	-0.123615																						
kurtosis	2.30897e-002																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de juste	<table border="0"> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">distribution</td> <td style="text-align: center;">rank</td> <td style="text-align: center;">acceptance</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Poisson(17.3)</td> <td style="text-align: center;">100</td> <td style="text-align: center;">do not reject</td> </tr> </table>	Auto::Fit of Distributions			distribution	rank	acceptance	Poisson(17.3)	100	do not reject													
Auto::Fit of Distributions																							
distribution	rank	acceptance																					
Poisson(17.3)	100	do not reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 44. Análisis de la cantidad de pasajeros que llegan por minuto

Tasa de llegada de pasajeros																	
Gráfica de normalidad																	
Gráfica de independencia de datos																	
Estadística descriptiva	<p>Prueba de normalidad de Anderson-Darling - Rechazo</p> <table border="1"> <tr> <td>A-cuadrado</td> <td>1.72</td> </tr> <tr> <td>Valor p</td> <td><0.005</td> </tr> <tr> <td>Media</td> <td>4.5583</td> </tr> <tr> <td>Desv.Est.</td> <td>2.3001</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td>5.2907</td> </tr> <tr> <td>Asimetría</td> <td>0.635910</td> </tr> <tr> <td>Curtosis</td> <td>0.472820</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>120</td> </tr> </table> <p>Intervalo de confianza de 95% para la media 4.1426 4.9741</p> <p>Intervalo de confianza de 95% para la mediana 4.0000 5.0000</p> <p>Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar 2.0414 2.6347</p>	A-cuadrado	1.72	Valor p	<0.005	Media	4.5583	Desv.Est.	2.3001	Varianza	5.2907	Asimetría	0.635910	Curtosis	0.472820	N	120
A-cuadrado	1.72																
Valor p	<0.005																
Media	4.5583																
Desv.Est.	2.3001																
Varianza	5.2907																
Asimetría	0.635910																
Curtosis	0.472820																
N	120																
Gráfica de densidad con ajuste																	
Prueba de bondad de ajuste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Poisson(4.12)</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Poisson(4.12)	100	do not reject										
distribution	rank	acceptance															
Poisson(4.12)	100	do not reject															

Elaboración propia (2016)

Diciembre, intermedio de semana

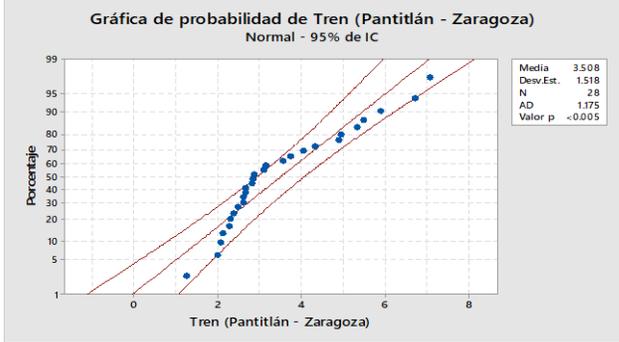
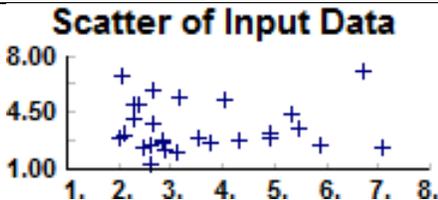
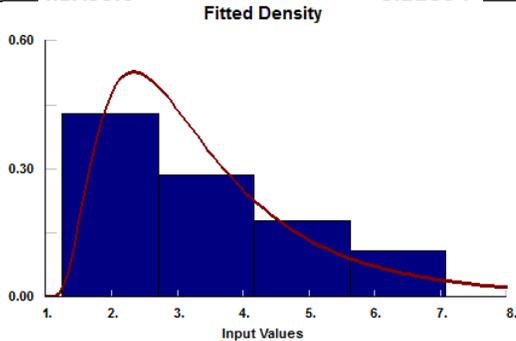
En las tablas de la 45 a la 49 se muestran los análisis de los datos obtenidos del inicio de semana.

Tabla 45. Análisis del tiempo entre trenes que terminan e inician corrida

Tren (Zaragoza - Pantitlán)																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<table border="0"> <tr><td>data points</td><td>22</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>1.12</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>13.07</td></tr> <tr><td>mean</td><td>4.41682</td></tr> <tr><td>median</td><td>4.155</td></tr> <tr><td>mode</td><td>4.54</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>3.03951</td></tr> <tr><td>variance</td><td>9.23864</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>68.8168</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>1.86288</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>2.95884</td></tr> </table>	data points	22	minimum	1.12	maximum	13.07	mean	4.41682	median	4.155	mode	4.54	standard deviation	3.03951	variance	9.23864	coefficient of variation	68.8168	skewness	1.86288	kurtosis	2.95884
data points	22																						
minimum	1.12																						
maximum	13.07																						
mean	4.41682																						
median	4.155																						
mode	4.54																						
standard deviation	3.03951																						
variance	9.23864																						
coefficient of variation	68.8168																						
skewness	1.86288																						
kurtosis	2.95884																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de juste	<table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Exponential[1., 3.42]</td> <td>92.1</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Lognormal[1., 0.817, 1.04]</td> <td>83.8</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform[1., 13.1]</td> <td>0.</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Exponential[1., 3.42]	92.1	do not reject	Lognormal[1., 0.817, 1.04]	83.8	do not reject	Uniform[1., 13.1]	0.	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Exponential[1., 3.42]	92.1	do not reject																					
Lognormal[1., 0.817, 1.04]	83.8	do not reject																					
Uniform[1., 13.1]	0.	reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 46. Análisis del tiempo entre trenes que inician corrida

Tren (Pantitlán - Zaragoza)																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>28</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>1.25</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>7.07</td></tr> <tr><td>mean</td><td>3.50857</td></tr> <tr><td>median</td><td>2.865</td></tr> <tr><td>mode</td><td>2.475</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>1.51754</td></tr> <tr><td>variance</td><td>2.30292</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>43.2523</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>0.929869</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>-0.22384</td></tr> </table>	data points	28	minimum	1.25	maximum	7.07	mean	3.50857	median	2.865	mode	2.475	standard deviation	1.51754	variance	2.30292	coefficient of variation	43.2523	skewness	0.929869	kurtosis	-0.22384
data points	28																						
minimum	1.25																						
maximum	7.07																						
mean	3.50857																						
median	2.865																						
mode	2.475																						
standard deviation	1.51754																						
variance	2.30292																						
coefficient of variation	43.2523																						
skewness	0.929869																						
kurtosis	-0.22384																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal[1., 0.73, 0.66]</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform[1., 7.07]</td> <td>0.155</td> <td>reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential[1., 2.51]</td> <td>9.03e-002</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal[1., 0.73, 0.66]	100	do not reject	Uniform[1., 7.07]	0.155	reject	Exponential[1., 2.51]	9.03e-002	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal[1., 0.73, 0.66]	100	do not reject																					
Uniform[1., 7.07]	0.155	reject																					
Exponential[1., 2.51]	9.03e-002	reject																					

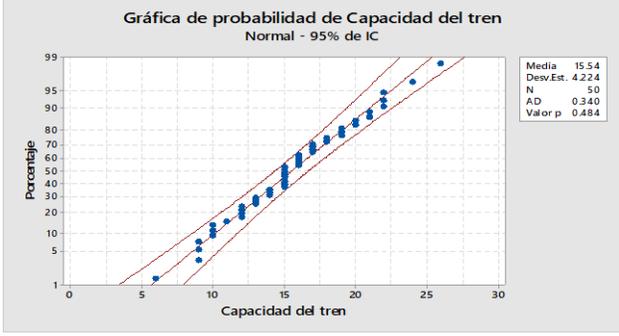
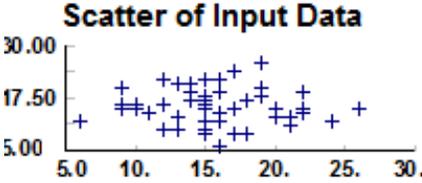
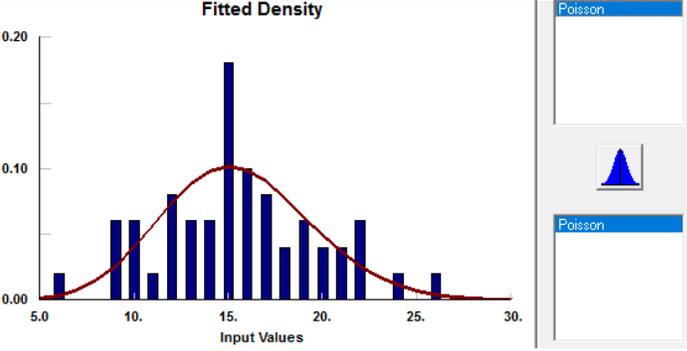
Elaboración propia (2016)

Tabla 47. Análisis del tiempo de apertura de puertas

Apertura de puertas																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>50</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>0.96</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>1.53</td></tr> <tr><td>mean</td><td>1.238</td></tr> <tr><td>median</td><td>1.22</td></tr> <tr><td>mode</td><td>1.195</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>0.125063</td></tr> <tr><td>variance</td><td>1.56408e-002</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>10.102</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>0.368929</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>-0.248501</td></tr> </table>	data points	50	minimum	0.96	maximum	1.53	mean	1.238	median	1.22	mode	1.195	standard deviation	0.125063	variance	1.56408e-002	coefficient of variation	10.102	skewness	0.368929	kurtosis	-0.248501
data points	50																						
minimum	0.96																						
maximum	1.53																						
mean	1.238																						
median	1.22																						
mode	1.195																						
standard deviation	0.125063																						
variance	1.56408e-002																						
coefficient of variation	10.102																						
skewness	0.368929																						
kurtosis	-0.248501																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de juste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal[0., 0.209, 9.93e-002]</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential[0., 1.24]</td> <td>0.</td> <td>reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform[0., 1.53]</td> <td>0.</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal[0., 0.209, 9.93e-002]	100	do not reject	Exponential[0., 1.24]	0.	reject	Uniform[0., 1.53]	0.	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal[0., 0.209, 9.93e-002]	100	do not reject																					
Exponential[0., 1.24]	0.	reject																					
Uniform[0., 1.53]	0.	reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 48. Análisis de la cantidad de pasajeros que abordan

Capacidad del tren																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>50</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>6.</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>26.</td></tr> <tr><td>mean</td><td>15.54</td></tr> <tr><td>median</td><td>15.</td></tr> <tr><td>mode</td><td>15.</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>4.22437</td></tr> <tr><td>variance</td><td>17.8453</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>27.1839</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>0.191355</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>-0.177469</td></tr> </table>	data points	50	minimum	6.	maximum	26.	mean	15.54	median	15.	mode	15.	standard deviation	4.22437	variance	17.8453	coefficient of variation	27.1839	skewness	0.191355	kurtosis	-0.177469
data points	50																						
minimum	6.																						
maximum	26.																						
mean	15.54																						
median	15.																						
mode	15.																						
standard deviation	4.22437																						
variance	17.8453																						
coefficient of variation	27.1839																						
skewness	0.191355																						
kurtosis	-0.177469																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de juste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <tr> <td>distribution</td> <td>rank</td> <td>acceptance</td> </tr> <tr> <td>Poisson(15.5)</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> </table>	distribution	rank	acceptance	Poisson(15.5)	100	do not reject																
distribution	rank	acceptance																					
Poisson(15.5)	100	do not reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 49. Análisis de la cantidad de pasajeros que llegan por minuto

Tasa de llegada de pasajeros																	
Gráfica de normalidad																	
Gráfica de independencia de datos																	
Estadística descriptiva	<p>Prueba de normalidad de Anderson-Darling - Rechazo</p> <table border="1"> <tr> <td>A-cuadrado</td> <td>1.49</td> </tr> <tr> <td>Valor p</td> <td><0.005</td> </tr> </table> <hr/> <table border="1"> <tr> <td>Media</td> <td>5.1583</td> </tr> <tr> <td>Desv.Est.</td> <td>2.3622</td> </tr> <tr> <td>Varianza</td> <td>5.5798</td> </tr> <tr> <td>Asimetría</td> <td>0.429958</td> </tr> <tr> <td>Curtosis</td> <td>-0.078596</td> </tr> <tr> <td>N</td> <td>120</td> </tr> </table> <hr/> <p>Intervalo de confianza de 95% para la media 4.7314 5.5853</p> <p>Intervalo de confianza de 95% para la mediana 5.0000 5.0000</p> <p>Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar 2.0964 2.7057</p>	A-cuadrado	1.49	Valor p	<0.005	Media	5.1583	Desv.Est.	2.3622	Varianza	5.5798	Asimetría	0.429958	Curtosis	-0.078596	N	120
A-cuadrado	1.49																
Valor p	<0.005																
Media	5.1583																
Desv.Est.	2.3622																
Varianza	5.5798																
Asimetría	0.429958																
Curtosis	-0.078596																
N	120																
Gráfica de densidad con ajuste																	
Prueba de bondad de ajuste	<p>Auto::Fit of Distributions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Poisson(5.28)</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Poisson(5.28)	100	do not reject										
distribution	rank	acceptance															
Poisson(5.28)	100	do not reject															

Elaboración propia (2016)

Diciembre, fin de semana

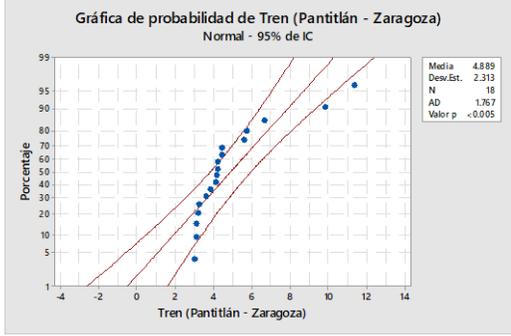
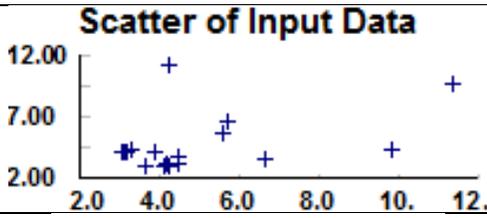
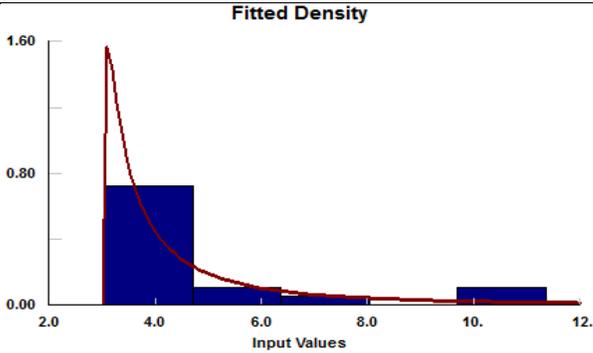
En las tablas de la 50 a la 54 se muestran los análisis de los datos obtenidos del inicio de semana.

Tabla 50. Análisis del tiempo entre trenes que terminan e inician corrida

Tren (Zaragoza - Pantitlán)																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>24</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>2.69</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>14.44</td></tr> <tr><td>mean</td><td>6.75625</td></tr> <tr><td>median</td><td>5.125</td></tr> <tr><td>mode</td><td>5.215</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>3.56933</td></tr> <tr><td>variance</td><td>12.7401</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>52.8301</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>1.06337</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>-0.316345</td></tr> </table>	data points	24	minimum	2.69	maximum	14.44	mean	6.75625	median	5.125	mode	5.215	standard deviation	3.56933	variance	12.7401	coefficient of variation	52.8301	skewness	1.06337	kurtosis	-0.316345
data points	24																						
minimum	2.69																						
maximum	14.44																						
mean	6.75625																						
median	5.125																						
mode	5.215																						
standard deviation	3.56933																						
variance	12.7401																						
coefficient of variation	52.8301																						
skewness	1.06337																						
kurtosis	-0.316345																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal[2., 1.29, 0.744]</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential[2., 4.76]</td> <td>7.29</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform[2., 14.4]</td> <td>1.08e-002</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal[2., 1.29, 0.744]	100	do not reject	Exponential[2., 4.76]	7.29	do not reject	Uniform[2., 14.4]	1.08e-002	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal[2., 1.29, 0.744]	100	do not reject																					
Exponential[2., 4.76]	7.29	do not reject																					
Uniform[2., 14.4]	1.08e-002	reject																					

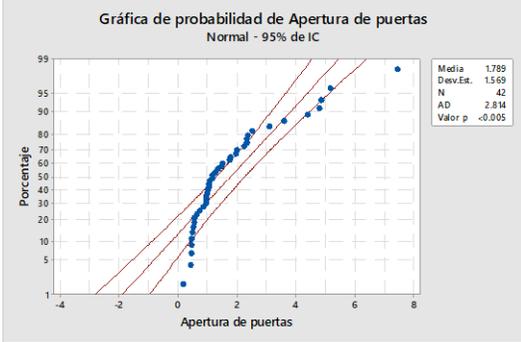
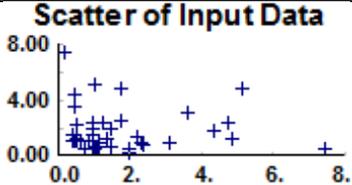
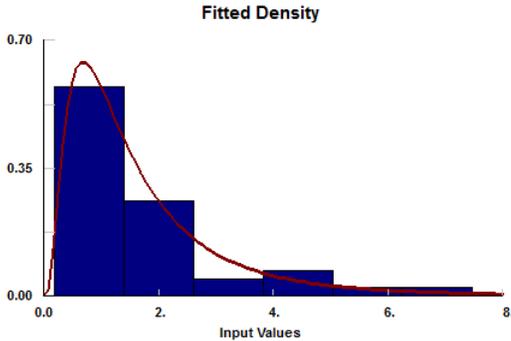
Elaboración propia (2016)

Tabla 51. Análisis del tiempo entre trenes que inician corrida

Tren (Pantitlán - Zaragoza)																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>18</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>3.03</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>11.35</td></tr> <tr><td>mean</td><td>4.88889</td></tr> <tr><td>median</td><td>4.185</td></tr> <tr><td>mode</td><td>4.295</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>2.31254</td></tr> <tr><td>variance</td><td>5.34782</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>47.3019</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>1.95495</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>2.60013</td></tr> </table>	data points	18	minimum	3.03	maximum	11.35	mean	4.88889	median	4.185	mode	4.295	standard deviation	2.31254	variance	5.34782	coefficient of variation	47.3019	skewness	1.95495	kurtosis	2.60013
data points	18																						
minimum	3.03																						
maximum	11.35																						
mean	4.88889																						
median	4.185																						
mode	4.295																						
standard deviation	2.31254																						
variance	5.34782																						
coefficient of variation	47.3019																						
skewness	1.95495																						
kurtosis	2.60013																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal[3., -0.16, 1.47]</td> <td>95.5</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential[3., 1.89]</td> <td>75.7</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform[3., 11.4]</td> <td>0.</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal[3., -0.16, 1.47]	95.5	do not reject	Exponential[3., 1.89]	75.7	do not reject	Uniform[3., 11.4]	0.	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal[3., -0.16, 1.47]	95.5	do not reject																					
Exponential[3., 1.89]	75.7	do not reject																					
Uniform[3., 11.4]	0.	reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 52. Tabla 37. Análisis del tiempo de apertura de puertas

Apertura de puertas																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>42</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>0.18</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>7.45</td></tr> <tr><td>mean</td><td>1.78879</td></tr> <tr><td>median</td><td>1.165</td></tr> <tr><td>mode</td><td>1.065</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>1.56897</td></tr> <tr><td>variance</td><td>2.46168</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>87.7117</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>1.80765</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>3.01858</td></tr> </table>	data points	42	minimum	0.18	maximum	7.45	mean	1.78879	median	1.165	mode	1.065	standard deviation	1.56897	variance	2.46168	coefficient of variation	87.7117	skewness	1.80765	kurtosis	3.01858
data points	42																						
minimum	0.18																						
maximum	7.45																						
mean	1.78879																						
median	1.165																						
mode	1.065																						
standard deviation	1.56897																						
variance	2.46168																						
coefficient of variation	87.7117																						
skewness	1.80765																						
kurtosis	3.01858																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de ajuste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lognormal[0., 0.261, 0.803]</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> <tr> <td>Exponential[0., 1.79]</td> <td>1.56</td> <td>reject</td> </tr> <tr> <td>Uniform[0., 7.45]</td> <td>0.</td> <td>reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Lognormal[0., 0.261, 0.803]	100	do not reject	Exponential[0., 1.79]	1.56	reject	Uniform[0., 7.45]	0.	reject										
distribution	rank	acceptance																					
Lognormal[0., 0.261, 0.803]	100	do not reject																					
Exponential[0., 1.79]	1.56	reject																					
Uniform[0., 7.45]	0.	reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 53. Análisis de la cantidad de pasajeros que abordan

Capacidad del tren																							
Gráfica de normalidad																							
Gráfica de independencia de datos																							
Estadística descriptiva	<p style="text-align: center;">descriptive statistics</p> <table border="0"> <tr><td>data points</td><td>50</td></tr> <tr><td>minimum</td><td>20.</td></tr> <tr><td>maximum</td><td>43.</td></tr> <tr><td>mean</td><td>31.18</td></tr> <tr><td>median</td><td>31.</td></tr> <tr><td>mode</td><td>30.</td></tr> <tr><td>standard deviation</td><td>5.10977</td></tr> <tr><td>variance</td><td>26.1098</td></tr> <tr><td>coefficient of variation</td><td>16.388</td></tr> <tr><td>skewness</td><td>0.101635</td></tr> <tr><td>kurtosis</td><td>-0.324799</td></tr> </table>	data points	50	minimum	20.	maximum	43.	mean	31.18	median	31.	mode	30.	standard deviation	5.10977	variance	26.1098	coefficient of variation	16.388	skewness	0.101635	kurtosis	-0.324799
data points	50																						
minimum	20.																						
maximum	43.																						
mean	31.18																						
median	31.																						
mode	30.																						
standard deviation	5.10977																						
variance	26.1098																						
coefficient of variation	16.388																						
skewness	0.101635																						
kurtosis	-0.324799																						
Gráfica de densidad con ajuste																							
Prueba de bondad de juste	<p style="text-align: center;">Auto::Fit of Distributions</p> <table border="0"> <tr> <td>distribution</td> <td>rank</td> <td>acceptance</td> </tr> <tr> <td>Poisson[31.2]</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> </table>	distribution	rank	acceptance	Poisson[31.2]	100	do not reject																
distribution	rank	acceptance																					
Poisson[31.2]	100	do not reject																					

Elaboración propia (2016)

Tabla 54. Análisis de la cantidad de pasajeros que llegan por minuto

Tasa de llegada de pasajeros																	
Gráfica de normalidad																	
Gráfica de independencia de datos																	
Estadística descriptiva	<p>Prueba de normalidad de Anderson-Darling - Rechazo</p> <table border="1"> <tr><td>A-cuadrado</td><td>1.79</td></tr> <tr><td>Valor p</td><td><0.0005</td></tr> <tr><td>Media</td><td>4.0667</td></tr> <tr><td>Desv. Est.</td><td>2.0732</td></tr> <tr><td>Varianza</td><td>4.2980</td></tr> <tr><td>Asimetría</td><td>0.387146</td></tr> <tr><td>Curtosis</td><td>-0.243585</td></tr> <tr><td>N</td><td>120</td></tr> </table> <p>Intervalo de confianza de 95% para la media 3.6919 4.4414</p> <p>Intervalo de confianza de 95% para la mediana 3.0000 4.0000</p> <p>Intervalo de confianza de 95% para la desviación estándar 1.8399 2.3747</p>	A-cuadrado	1.79	Valor p	<0.0005	Media	4.0667	Desv. Est.	2.0732	Varianza	4.2980	Asimetría	0.387146	Curtosis	-0.243585	N	120
A-cuadrado	1.79																
Valor p	<0.0005																
Media	4.0667																
Desv. Est.	2.0732																
Varianza	4.2980																
Asimetría	0.387146																
Curtosis	-0.243585																
N	120																
Gráfica de densidad con ajuste																	
Prueba de bondad de ajuste	<p>Auto::Fit of Distributions</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>distribution</th> <th>rank</th> <th>acceptance</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Poisson(3.88)</td> <td>100</td> <td>do not reject</td> </tr> </tbody> </table>	distribution	rank	acceptance	Poisson(3.88)	100	do not reject										
distribution	rank	acceptance															
Poisson(3.88)	100	do not reject															

Elaboración propia (2016)

En el presente capítulo, se revisó la relevancia de la medición del tiempo de abordaje del STC desde la misión y visión del organismo, se describió el proceso de abordaje, en particular el de la estación terminal Pantitlán de la línea 1, desde el punto de vista sistémico y a través de Teoría de Colas y de los estudios revisados en el capítulo II, se definieron las variables. Por otra parte, se describió el proceso recolección de datos y se mostraron las pruebas estadísticas que se realizaron para poder ser utilizados en el modelo de simulación, los cuales se presentan de forma resumida en la Tabla 55.

Tabla 55. Ajuste del levantamiento de datos a una distribución de probabilidad

Resultados						
Mes	Intevalo de tiempo	Tren (Zaragoza - Pantitlán)	Tren (Pantitlán-Zaragoza)	Tiempo de apertura de puertas	Capacidad de pasajeros por ciclo	Tasa de llegada de psajeros por minuto
Octubre	Inicio de semana	Lognormal	Exponencial	Exponencial	Poisson	Poisson
		(2.,0.292, 1.29)	(1.,3.42)	(0.,1.84)	(16.5)	(4.84)
	Intermedio de semana	Lognormal	Lognormal	Lognormal	Poisson	Poisson
		(2.,0.478, 0.803)	(2.,0.714, 0.823)	(0.,0.127,0.958)	(15.7)	(4.42)
	Fin de semana	Lognormal	Lognormal	Lognormal	Poisson	Poisson
		(2.,1.26, 0.722)	(2.,0.092, 0.753)	(0.,0.18, 0.837)	(32.6)	(3.82)
Noviembre	Inicio de semana	Lognormal	Lognormal	Lognormal	Poisson	Poisson
		(2.,0.511, 0.274)	(3.,-0.341,1.3)	(0.,0.331,0.704)	(16.1)	(4.26)
	Intermedio de semana	Lognormal	Lognormal	Lognormal	Poisson	Poisson
		(2.,0.625, 0.814)	(1.,1.11,0.894)	(0.,0.364,0.653)	(15.3)	(4)
	Fin de semana	Lognormal	Lognormal	Lognormal	Poisson	Poisson
		(3.,0242,0.398)	(2.,0.265, 1.2)	(0.,0.206,1.04)	(30.1)	(3.4)
Diciembre	Inicio de semana	Lognormal	Lognormal	Lognormal	Poisson	Poisson
		(2.,0.389, 1.02)	(2.,0.225,1.26)	(0.,0.207,0.804)	(17.3)	(4.12)
	Intermedio de semana	Exponencial	Lognormal	Lognormal	Poisson	Poisson
		(1.,3.42)	(1.,0.73,0.66)	(0.,0.209,0.0993)	(15.5)	(5.28)
	Fin de semana	Lognormal	Lognormal	Lognormal	Poisson	Poisson
		(2.,1.29, 0.744)	(3.,-0.16, 1.47)	(0.,0.261,0.803)	(31.2)	(3.88)

Fuente: Elaboración propia (2016).

CAPÍTULO IV – UN MODELO DE SIMULACIÓN DE LA ESTACIÓN TERMINAL PANTITLÁN, LÍNEA 1

En el presente capítulo, se describe el proceso del desarrollo del modelo de simulación de la estación terminal Pantitlán, Línea 1, el cual se realizó por medio de la Metodología basada en Modelos de Simulación para el Análisis de Sistemas Complejos, MoSASCoM, para desarrollar el modelo por síntesis y por descomposición usando el software AnyLogic™.

4.1 Complejidad de la estación terminal Pantitlán

En Huerta Barrientos (2016) se mencionan diversas definiciones de complejidad, una de las cuales es propuesta por Morin (1994) en la cual se indica que “la complejidad era el tejido de eventos, acciones, interacciones, retroacciones, determinaciones y azares que constituían nuestro mundo fenoménico”, pero también se señala que Cilliers (1998) subrayó que “la complejidad no se localizaba en un sitio específico de un sistema, sino que era el resultado de la interacción entre los componentes del propio sistema y se manifestaba al nivel del mismo”. Aunque como se señala en Huerta Barrientos (2016), no hay una definición formal de la definición de un sistema complejo, si podemos observar que la estación terminal Pantitlán es un sistema abierto porque interactúa con su ambiente y con otros sistemas, los elementos que contiene, generan información y sus operaciones se basan reglas simples, Huerta Barrientos (2016), por lo tanto, la estación terminal Pantitlán se considera como un sistema complejo.

4.2 Desarrollo del modelo aplicando la metodología MoSASCoM

Los pasajeros y los trenes son entidades dinámicas que se mueven a través del sistema, por lo que serán los agentes del sistema. La simulación se realiza en la puerta de mayor concurrencia de pasajeros, que se encuentra en la zona donde viaja la mayoría de hombres; sin embargo, también viajan mujeres, por lo anterior los atributos utilizados son hombres y mujeres, siendo predominante el de hombres. El recurso en nuestro sistema es la capacidad de pasajeros que ingresan en la sección del vagón analizada por la puerta de mayor afluencia. Las variables de decisión son: la frecuencia entre trenes, la tasa de llegada de los pasajeros, el tiempo de apertura de puertas y la capacidad del tren.

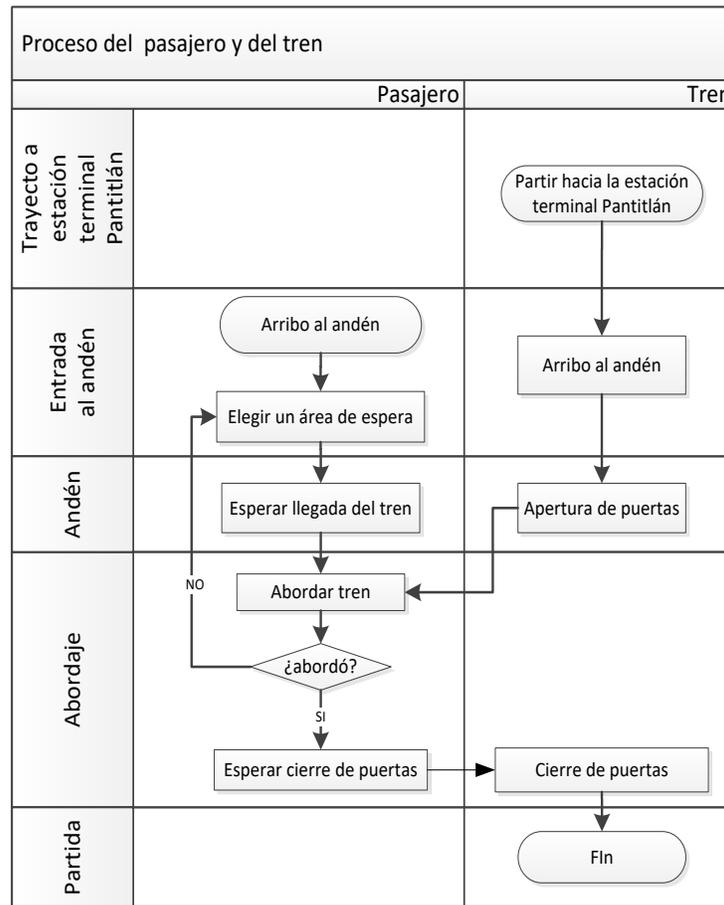
Por las características descritas anteriormente, se concluyó en la construcción de un modelo híbrido apoyado en la Metodología basada en Modelos de Simulación para el Análisis de Sistemas Complejos, MoSASCoM, para guiar el proceso de modelación y simulación con la finalidad de analizar las propiedades emergentes debido a ciertas condiciones iniciales (Huerta Barrientos, 2016). En este caso, el problema es la complejidad de la medición del tiempo de abordaje de los pasajeros del STC, la cual no puede ser determinada por métodos analíticos, debido a su proceso de auto-organización entre sus elementos; característica importante del estudio de los sistemas complejos, Huerta Barrientos (2016).

El presente trabajo de investigación se realizó en la estación terminal Pantitlán de la Línea 1, para lo cual los datos analizados en el capítulo anterior respecto al indicador del tiempo de abordaje, fueron datos tomados en campo y se realizaron pruebas estadísticas para determinar que su utilización sea confiable con un 95% de probabilidad. Lo anterior se realizó para representar la operación real de la estación, y así poder realizar el modelo, el cual se define como “capturar la esencia del sistema real bajo estudio, generando conocimiento acerca de él”, Huerta Barrientos (2016). El objeto es abstraer la operación de dicha estación, enfocándose en las relaciones funcionales de los pasajeros y los trenes, además de generar una herramienta que coadyuve a la toma de decisiones.

La metodología MoSASCoM se inicia con el desarrollo de un modelo conceptual a un macro nivel para ir descomponiéndolo hasta llegar a modelar los elementos constituyentes y sus interrelaciones y, modelar así, los aspectos del sistema mediante síntesis a través de la repetición del ciclo MoSASCoM reduciendo la incertidumbre asociada (Huerta Barrientos, 2016). La metodología está constituida por cinco etapas definidas: 1. Pregunta base; 2. El desarrollo del modelo (DEMO); 3. La simulación del modelo (SIMO); 4. El análisis del modelo de simulación (AMSI); y 5. La documentación del modelo de simulación (DOMSI), Huerta Barrientos, 2016.

En la Tabla 56, se muestra el modelo conceptual de la estación terminal Pantitlán de la Línea 1, en el que se analizan las actividades de los pasajeros y de los trenes.

Tabla 56. Modelo conceptual de la estación terminal Pantitlán Línea 1



Fuente Elaboración propia (2016).

La entrada a la estación por parte de los pasajeros se realiza por cuatro escaleras fijas que se encuentran a lo largo de la estación. La escalera que da hacia los primeros carros del tren se asigna para uso exclusivo de mujeres, niños menores de 12 años y personas con capacidades diferentes, y el resto del tren para uso de todo el público, el procedimiento para abordar el tren sucede de la misma manera en ambas secciones. El tren por su parte inicia cuando se dirige a la estación terminal Pantitlán y arriba en la misma, permanece en al andén de dicha estación con las puertas abiertas para que los pasajeros puedan realizar el descenso y ascenso de pasajeros, si llega de la estación Zaragoza a la Estación terminal Pantitlán; o bien, sólo durante el ascenso de pasajeros cuando el tren llega de la estación de trenes a la estación terminal Pantitlán.

En esta estación se puede iniciar la carrera de dos maneras, una es por medio de los trenes que salen de la estación de trenes a la estación terminal Pantitlán, y la segunda es por medio de los trenes llegan de la estación Zaragoza a la estación terminal Pantitlán para finalizar e iniciar inmediatamente una nueva carrera, por lo anterior los pasajeros pueden abordar por los dos costados del andén. La interacción entre los trenes y los pasajeros se da en el andén, después que el pasajero llega a la estación se dirige a un área de espera y espera hasta que el tren llegue y abra las puertas. Debido a la capacidad y la demanda del sistema, los usuarios que esperan en el andén pueden o no abordar el tren, en caso de no conseguir subir, repiten el proceso de elegir un área de espera, esperar la llegada del tren e intentar abordar nuevamente hasta lograrlo. También se debe tener en cuenta que, al ser la primera estación, los pasajeros optan por esperar el siguiente tren con la esperanza de alcanzar un asiento. El abordaje termina cuando el usuario parte junto con el tren a la siguiente estación.

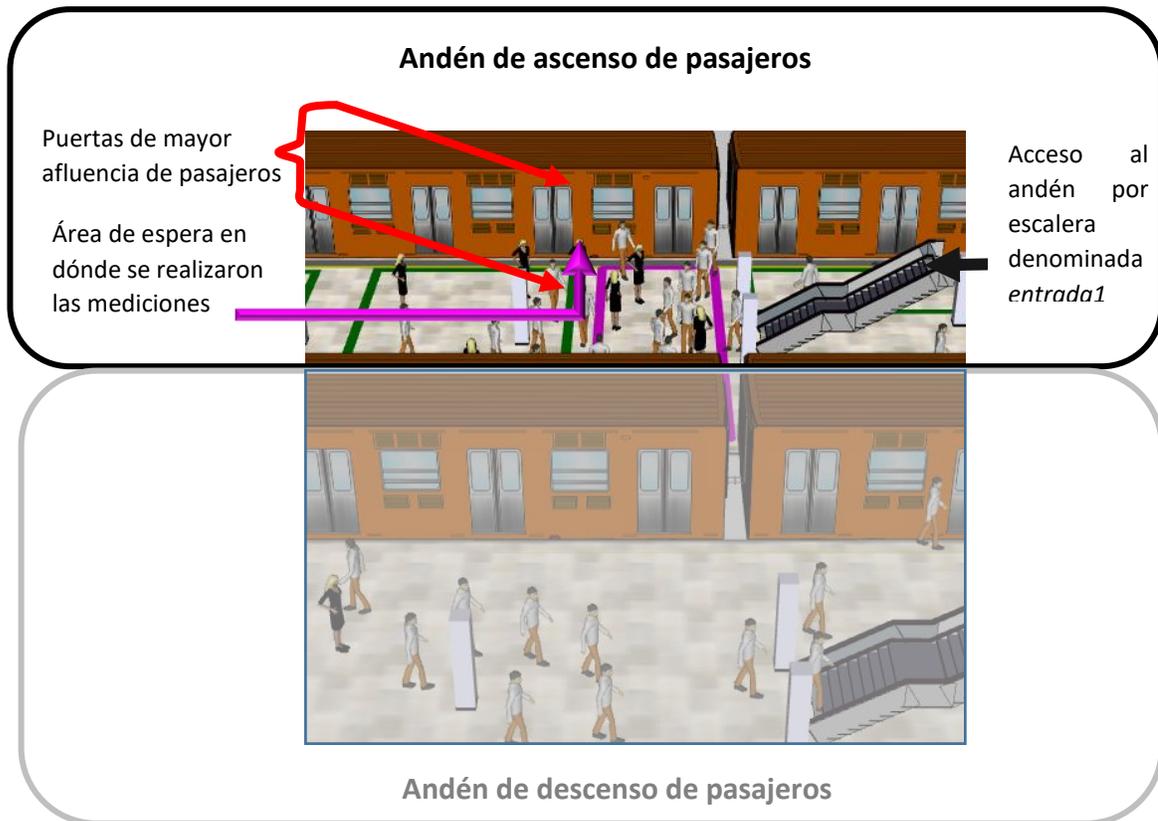
Posteriormente, la primera de cinco etapas es la pregunta base, que para este estudio es ¿Cuál es el tiempo de abordaje de los pasajeros?

La segunda etapa es el desarrollo del modelo, DEMO, cuyo objetivo es el diseño y desarrollo del modelo del sistema real a través del ciclo recursivo de cinco fases: 1. Nivel de abstracción. 2. Perspectiva, 3. Operaciones del sistema, 4. Enfoques potenciales de modelación y 5. Comunicación del modelo (Huerta Barrientos, 2016).

En la fase uno DEMO, nivel de abstracción, se desarrolló el plano de la estación se definen los rieles y el andén de pasajeros, cuya longitud es de 150 metros (STC), a lo largo de los cuales se distribuyen los nueve vagones del tren y cuatro puertas por cada vagón. Para la animación y ubicación de las puertas se utilizó el software de animación SketchUp 2016 versión de prueba. Para la obtención de información se realizó una lógica de manera independiente el área de interés separada del resto de la animación, para lo cual se realizó primero la descomposición y luego la síntesis, como lo señala el enfoque MoSASCoM.

En la fase dos DEMO, perspectiva, se consideró: la información de la frecuencia entre trenes, la tasa de llegada de pasajeros y el tiempo de apertura de puertas levantada en campo, ver punto 3.7 Análisis de datos, en la presente tesis. El análisis se hace en la puerta de mayor afluencia de ambos lados del andén, que se ubican al finalizar la primera escalera de acceso al andén, considera como entrada1 en el modelo de simulación, ver Figura 59.

Figura 58. Zona de levantamiento de datos

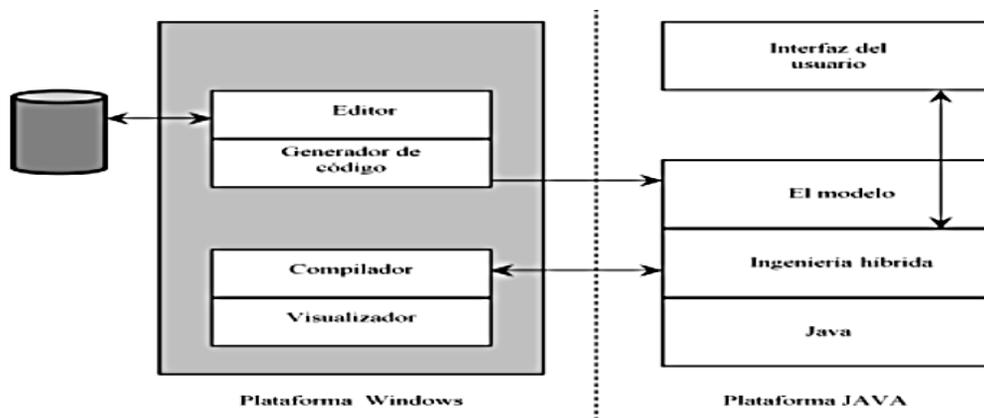


Fuente: Elaboración propia (2017).

En la fase tres DEMO, operaciones del sistema, se modelaron los flujos de operaciones del arribo de trenes al andén y arribo de llegada de pasajeros. En la fase cuatro DEMO, enfoques potenciales de modelación, se desarrolló el modelo comenzando por el nivel macro de la estación terminal Pantitlán. En la fase cinco, se realizó la comunicación del modelo.

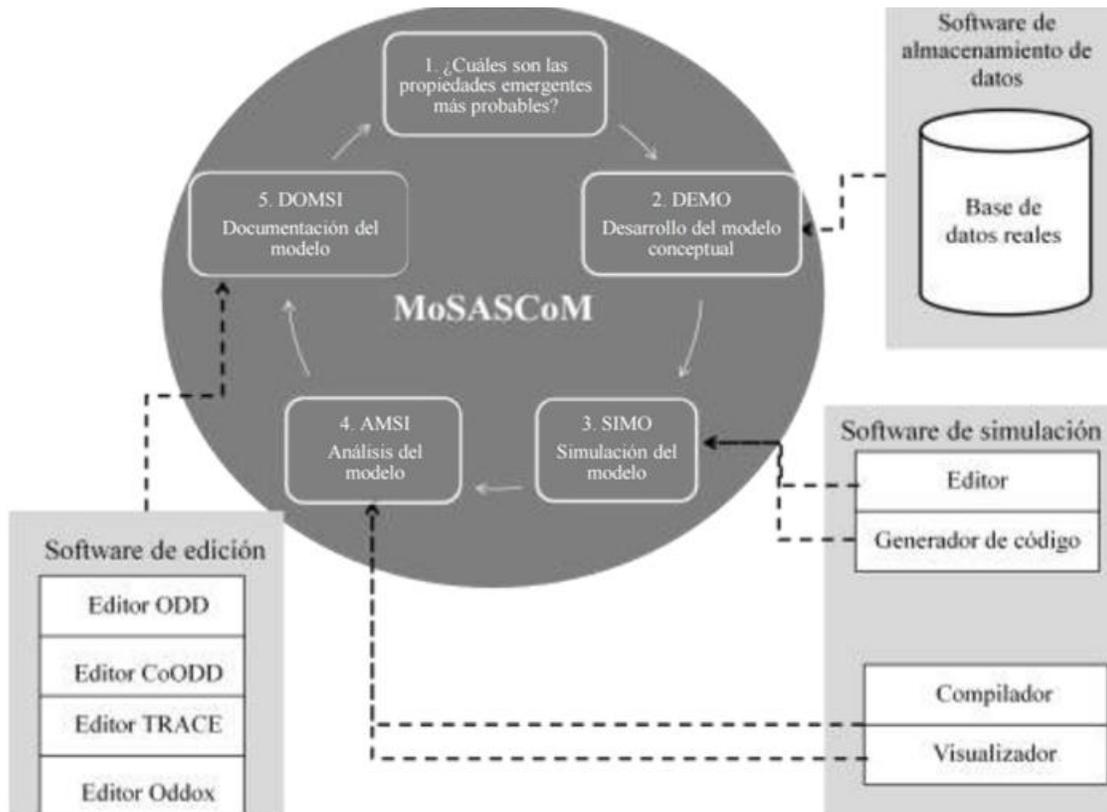
La tercera etapa es la simulación del modelo, SIMO, que es la implementación del modelo conceptual en una computadora. Para la elección del software, se revisó el estudio crítico y comparación de softwares de simulación publicado con el nombre “Simulators Comparison V.1” del año 2014 en Critical Manufacturing S.A. Las herramientas que compara esta publicación son: Arena, FlexSim, AnyLogic, Simul8 y Simulación interna. Las aplicaciones del programa Arena se centra en el análisis de procesos de gestión administrativa. FexSim permite la simulación y modelación de prácticamente cualquier proceso con el propósito de analizar, comprender y optimizar el proceso. AnyLogic permite todo tipo de simulaciones a macro y micro nivel. Simul8 se enfoca en la creación de simulación dinámica de eventos discretos por medio de plantilla de modelos adaptables. La solución interna en está ocasión no se puede tener acceso debido a que el trabajo de investigación que se realiza es de forma externa al STC. El software seleccionado fue AnyLogic, debido a que en él se puede integrar la simulación basada en agentes y procesos, logrando la simulación híbrida a través de sus librerías y flujo lógico de procesos. Huerta Barrientos (2016), menciona que *“la plataforma basada en Windows incluye un editor gráfico y un generador de código, cuya función es el mapeo del modelo en código Java, endonde también se lleva a cabo su compilació y visualización (Borshchev, Karpov & Kharitonov, 2012).”* Ver figura 60; y en la Figura 61 se muestra un diagrama de interacción.

Figura 59. Arquitectura ANYLOGIC™



Huerta Barrientos (2014).

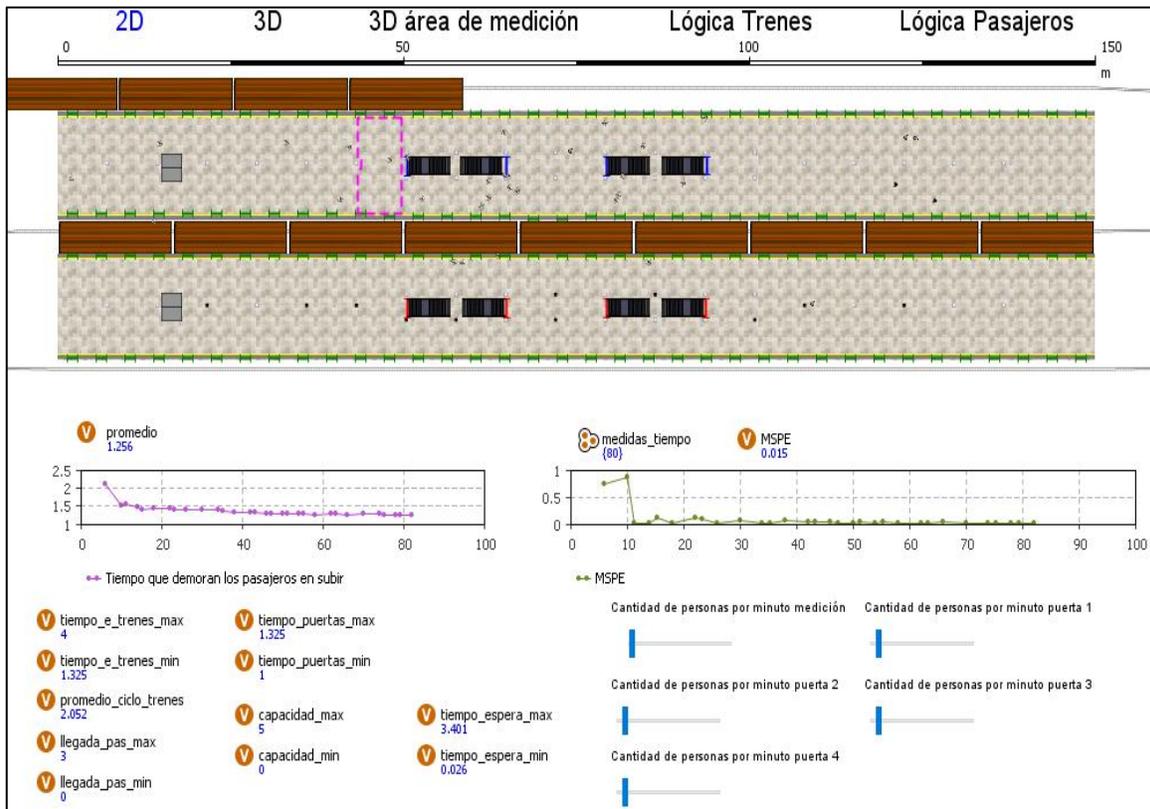
Figura 60. Integración de la metodología MoSASCoM con la arquitectura ANYLOGICTM, base de datos y software de edición



Fuente: Huerta Barrientos (2014).

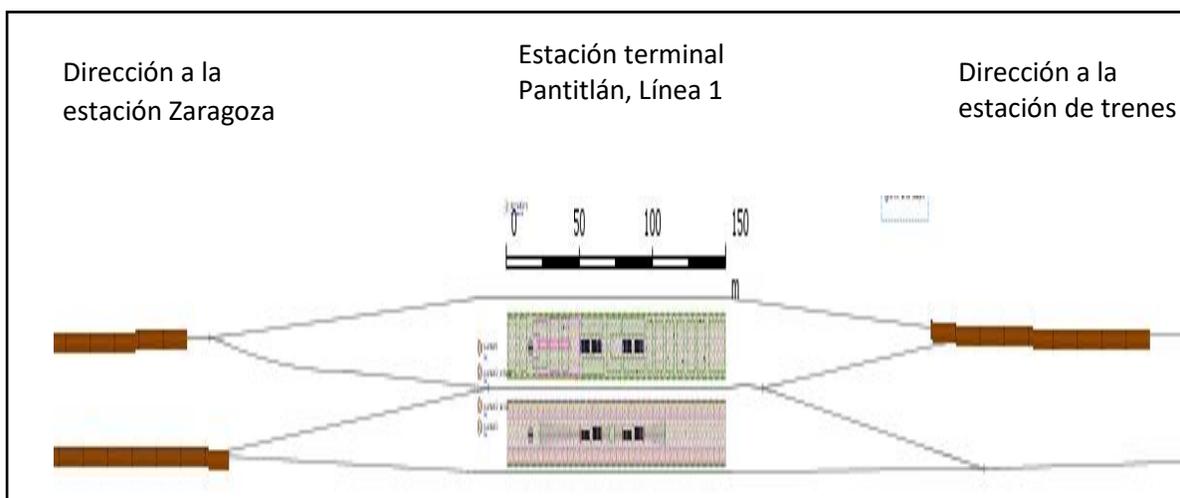
La implementación del modelo conceptual, de la estación terminal Pantitlán de la Línea 1 del STC, se realizó en el software AnyLogic™ por síntesis y por descomposición, usando las librerías *rail*, *processmodeling analysis* y *pedestrian*. Por medio de la interfaz de animación se construyeron los andenes a escala; mediante el proceso lógico, se implementaron los objetos, a través de los cuales se programó el modelo de simulación; y, con las gráficas se muestra el resultado de la medición de interés con su respectivo error cuadrado medio puro (MSpE, Mean Square Pure Error), ver Figura 62. En la figura 63 se muestra la interfaz en 2D, en el centro se encuentran los andenes, el andén superior es para el abordaje de pasajeros y el andén inferior es para el descenso de pasajeros. Los trenes que llegan del lado izquierdo son los provenientes de la estación Zaragoza mientras que los provenientes del lado derecho son los provenientes de la estación de trenes.

Figura 61. Interfaz de animación



Fuente: Elaboración propia (2016).

Figura 62. Interfaz en 2D

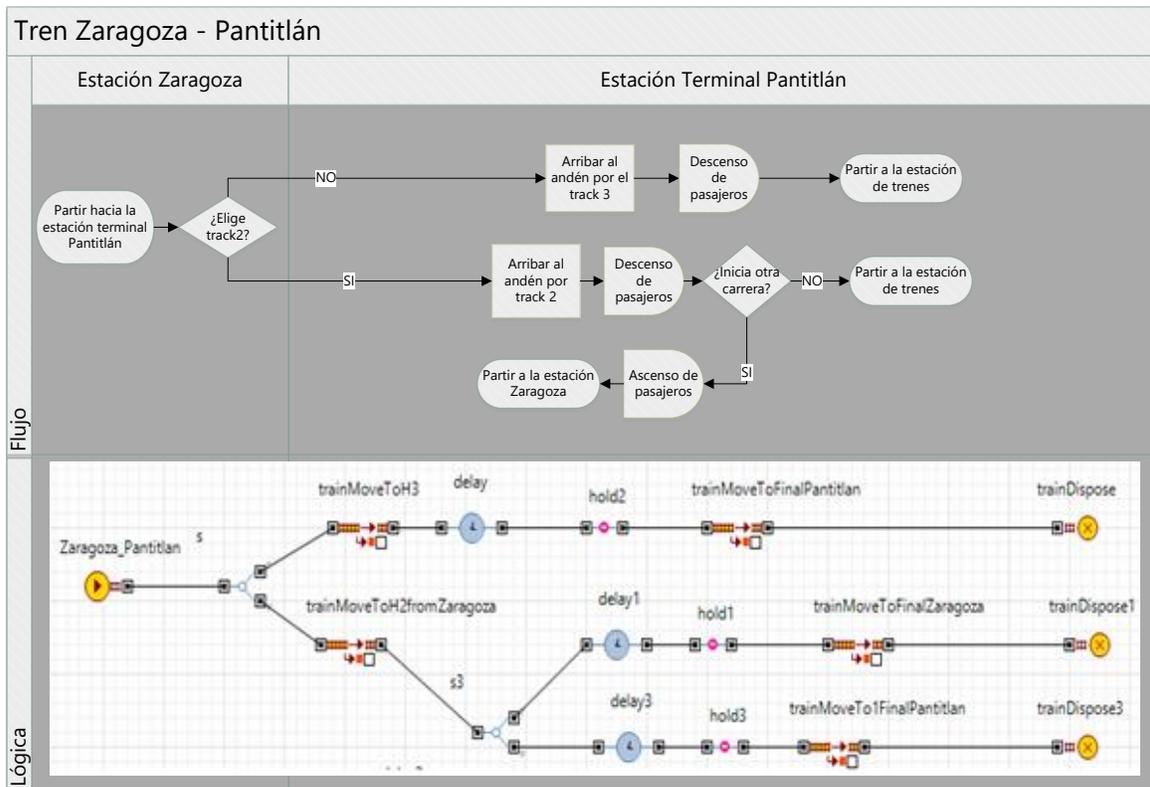


Fuente: Elaboración propia (2016).

Tren Zaragoza – Pantitlán

En la tabla 58 se describe el flujo del comportamiento de los trenes que provienen de la estación Zaragoza y tienen como destino la estación terminal Pantitlán y se muestra la lógica utilizada para los mismos.

Tabla 57. Proceso y lógica de los trenes que llegan de la estación Zaragoza



Fuente: Elaboración propia (2017).

Para generar los trenes se utilizó el bloque *Train Source*, de la librería *Rail*, el cual tiene como funcionalidad generar los agentes que representan los trenes, en él mismo se configuró la cantidad de carros que componen el tren, el tiempo de salida de los trenes y la apariencia de los trenes. Posterior a su creación se debe seleccionar por cual de dos vías va a entrar a la estación terminal Pantitlán, en caso de haber una disponible elige esa; o bien, si están las dos desocupadas elige mediante una equiprobabilidad, para lo cual se utilizó el bloque *SelectOutput* de la librería *Process Modeling Analysis*.

En el caso de que el tren se dirija a la estación de trenes por la vía inferior debe seguir los siguientes tres pasos:

1. Moverse hacia la estación terminal Pantitlán, para lo cual se utilizó el bloque *TrainMoveTo*, llamado *TrainMoveToH3*, perteneciente a la librería *rail*. En éste se configuró la ruta que seguirá el tren y las acciones que se deben realizar para los diferentes eventos que ocurren durante el proceso.
2. Esperar el descenso de pasajeros, para este caso se utilizó el bloque *Delay* de la librería *Process Modeling Analysis*, para representar la demora en el andén. En este bloque se configuró para que pueda ser configurada dependiendo de la distribución que se requiera ingresar.
3. Moverse hacia la estación de trenes, para ello se utilizó el bloque *TrainMoveTo*, llamado *TrainMoveToFinalPantitlan*, el cual hace que el tren se retire por la vía en la que llegó y desaparezca mediante el bloque *TrainDispose*.

Los trenes que llegan de Zaragoza a la estación terminal Pantitlán por la vía de en medio, deben:

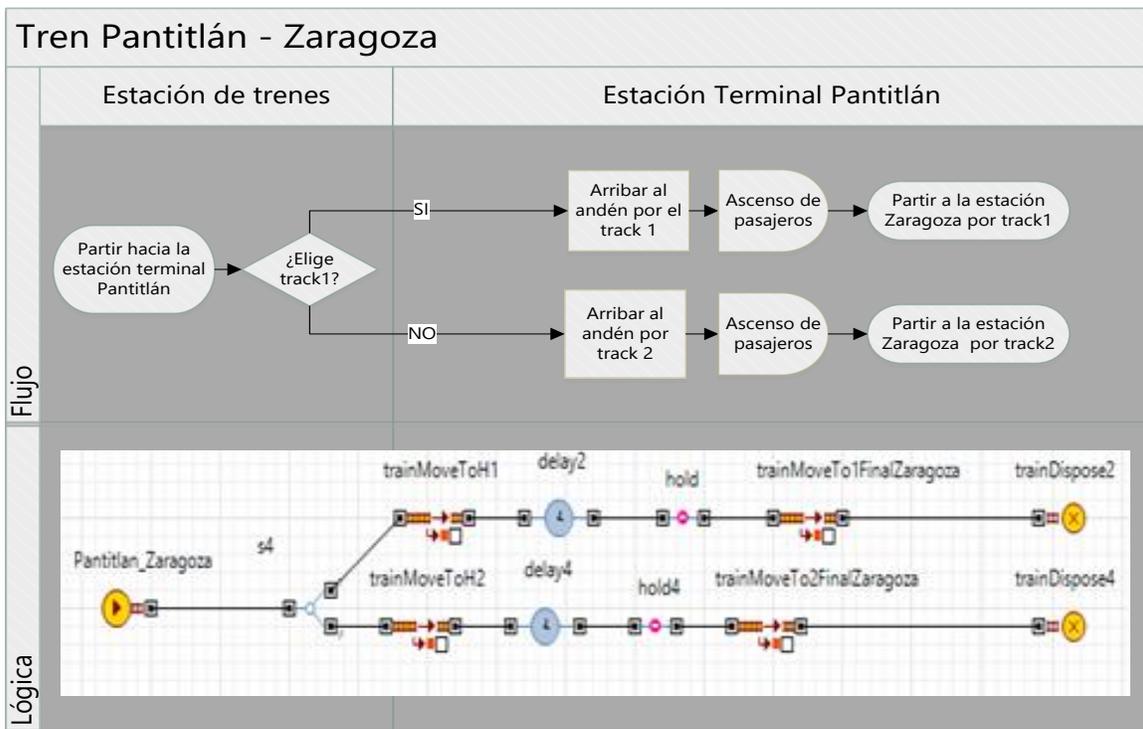
1. Moverse de la estación Zaragoza a la estación terminal Pantitlán, mediante el bloque *TrainMoveToH2fromZaragoza*, el cual simula el movimiento del tren y, la entrada del tren de la estación Zaragoza a la estación terminal Pantitlán, se realiza mediante equiprobabilidad entre la vía de en medio y la vía inferior.
2. Después de arribar a la estación terminal Pantitlán, por la vía de en medio, el tren puede continuar a la estación de trenes o iniciar otra carrera, este proceso se representó con un segundo bloque *SelectOutput*, al cual se le asigna una probabilidad de selección para cada una de las opciones antes mencionadas.
 - 3.1 Si la elección es finalizar la carrera, entonces el tren continúa a la estación de trenes, para lo cual, el tren debe:
 - a. Esperar en el andén el descenso de pasajeros, para lo cual se utilizó el bloque *delay3*.

- b. Moverse hacia la estación de trenes, lo cual hace mediante el bloque *trainMoveTo1FinalPantitlán*, el conduce el tren al bloque *TrainDispose* y finaliza el proceso.
- 3. Si se va a iniciar otra carrera, el tren debe:
 - a. Esperar el descenso y ascenso de pasajeros, para lo cual se utilizó el bloque *delay1*.
 - b. Moverse de la estación terminal Pantitlán a la estación Zaragoza para iniciar la carrera, para este proceso se utilizó el bloque *trainMoveTo1FinalZaragoza*, el cual entrega el tren al bloque *TrainDispose* y finaliza el proceso.

Tren Pantitlán Zaragoza

En la Tabla 59 se describe el comportamiento de los trenes que parten de la estación de trenes a la estación terminal Pantitlán, así como la lógica de los mismos.

Tabla 58, Proceso y lógica de los trenes que salen de la estación de trenes para ir de la estación Pantitlán a la estación Zaragoza



Fuente: Elaboración propia (2017).

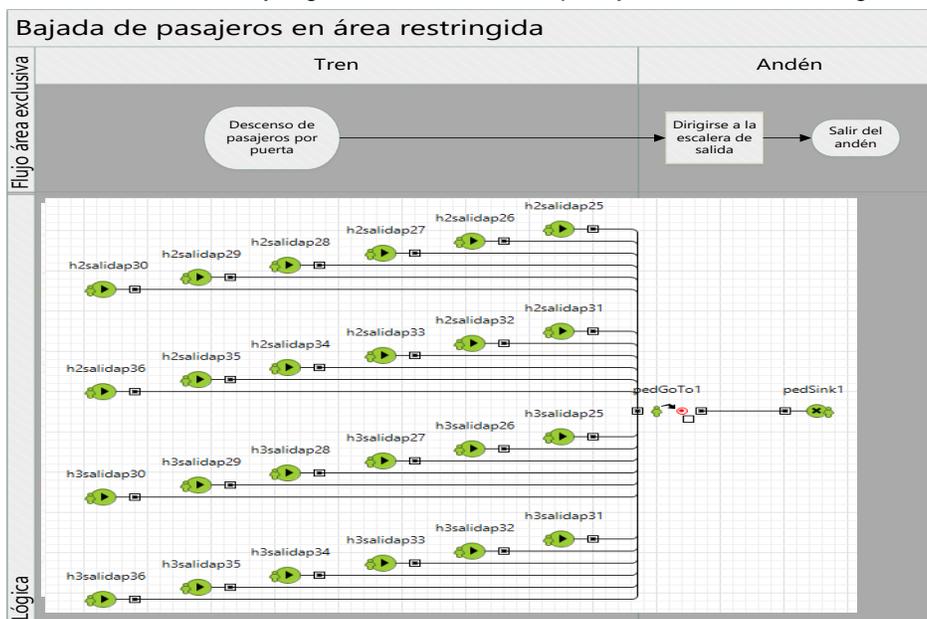
Los trenes son generados mediante el bloque llamado *Pantitlán_Zaragoza*, el cual es del tipo *TrainSource* y puede moverse a través de la vía superior y la de en medio de manera equiprobable por medio del bloque *s4*, el cual es del tipo *SelectOutput*. Después de seleccionar la ruta, el proceso de tres pasos para ambas es el siguiente:

1. Moverse de la estación de trenes a la estación terminal Pantitlán, lo cual se realiza con los bloques llamados *trainMoveToH1* y *trainMoveToH2* para la vía superior y la vía de en medio respectivamente.
2. Esperar el abordaje de pasajeros en el andén de la estación terminal Pantitlán, representado con los bloques *delay2* y *delay4*, para la vía superior y la vía de en medio respectivamente.
3. Moverse hacia la estación Zaragoza, lo cual se representó con los bloques *trainMoveTo1FinalZaragoza* y *trainMoveTo2FinalZaragoza*, los cuales dirigen al tren hacia el bloque *TrainDispose* para finalizar el proceso.

Descenso de pasajeros

En la tabla 60 se describe el proceso de descenso de pasajeros del área exclusiva para mujeres, niños, personas mayores y con capacidades diferentes.

Tabla 59. Proceso y lógica del descenso de pasajeros en área restringida

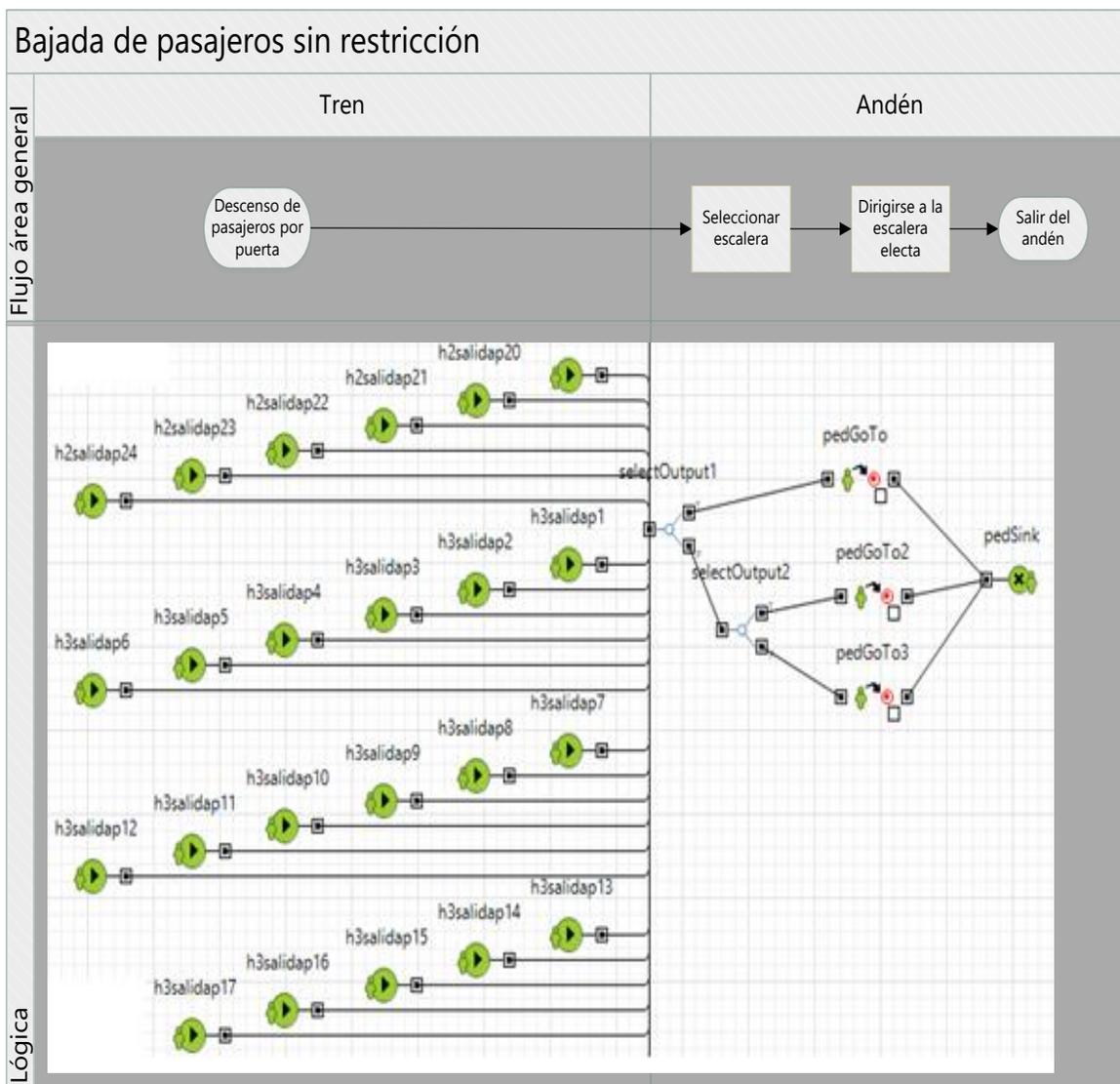


Fuente: Elaboración propia (2017).

Una vez que el tren abre sus puertas es la estación terminal Pantitlán, los pasajeros descienden, por lo cual se generaron 24 bloques *PedSources*, pertenecientes a la librería *Pedestrian*, los cuales se controla de forma manual. Los pasajeros de ésta área sólo pueden dirigirse a una escalera de salida, lo cual se realizó por medio del bloque *pedGoTo1* y mediante el *pedSink* se finalizó el proceso.

En la tabla 61 se describe el proceso de descenso de pasajeros del área sin restricción y la lógica que se usó para la simulación.

Tabla 60. Proceso y lógica del descenso de pasajeros en área sin restricción



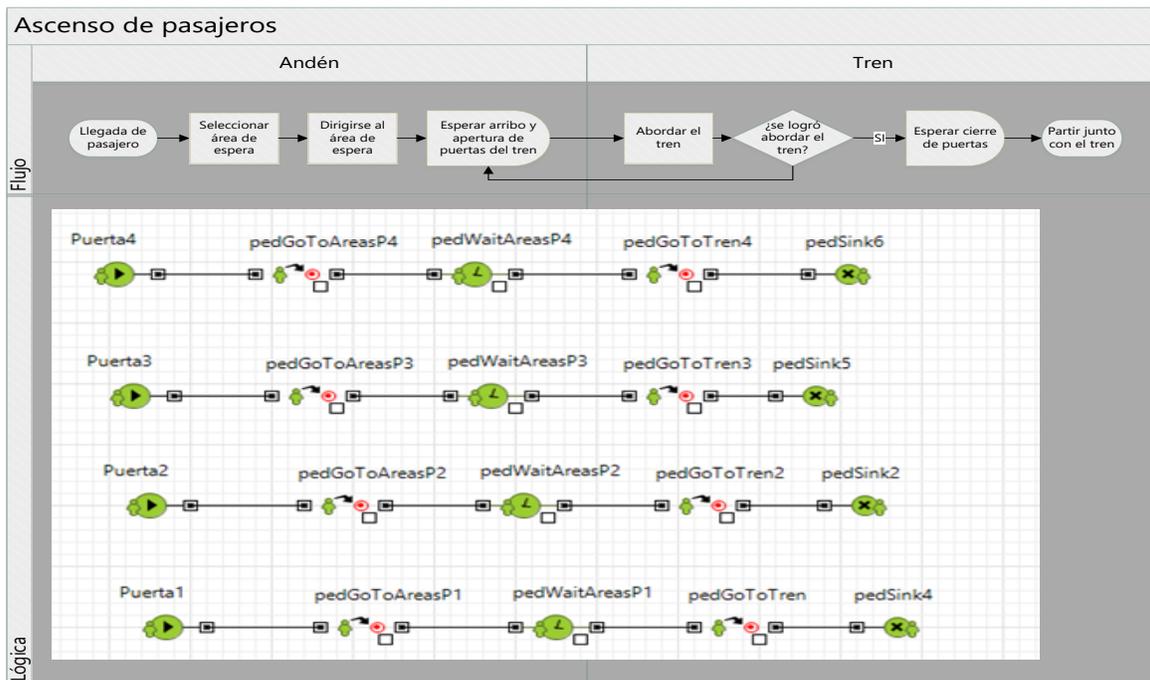
Fuente: Elaboración propia (2017).

Para el descenso de pasajeros se representó la salida por las puertas del tren por medio de 32 bloques *PedSources*, a diferencia de los pasajeros que descienden por el área restringida, los pasajeros que descienden por el área sin restricción pueden seleccionar una de tres escaleras de forma aleatoria. La selección de las salidas se realizó mediante *SelectOutputs*. La selección de las primeras escaleras se realizó por medio del bloque *SelectOutput1*, el cual tiene una probabilidad de 0.33 de ser seleccionado. El 66,66% de los usuarios se direccionan hacia las escaleras de salida dos y tres, para lo cual se conecta la salida inferior del bloque *SelectOutput1* otro bloque *SelectOutput2*, el cual se configuró la selección de sus salidas de manera equiprobable, con lo anterior los usuarios se dirijan a las puertas de salida con la misma probabilidad. Para simular el movimiento de los pasajeros hacia las salidas se usaron los bloques *pedGoTo*, *pedGoTo2* y *pedGoTo3*, configurados de modo que los pasajeros se dirijan a las salidas y por medio del bloque *PedSink* se finalizó el proceso.

Llegada de pasajeros

En la tabla 62 se describe el proceso y la lógica del ascenso de pasajeros.

Tabla 61. Proceso y lógica del ascenso de pasajeros



Fuente: Elaboración propia (2017).

Debido a que los pasajeros pueden ingresar al andén por una de las cuatro escaleras de acceso, se utilizaron los bloques *Puerta1*, *Puerta2*, *Puerta3* y *Puerta4*, los cuáles son objetos *PedSource*. Después de ingresar los pasajeros entran a la estación y se dirigen hacia un área de espera, la cual se selecciona de forma aleatoria, para simular este comportamiento utilizamos bloques *pedGoToAreasP1*, *pedGoToAreasP2*, *pedGoToAreasP3* y *pedGoToAreasP4*, del tipo *PedGoTo*. En cuanto los pasajeros están en el área de espera elegida, permanecen ahí hasta la llegada de un tren. Para realizar lo anterior se utilizaron los bloques *pedWaitAreasP1*, *pedWaitAreasP2*, *pedWaitAreasP3* y *pedWaitAreasP4*, del tipo *PedWait*, los cuales permiten representar el proceso de espera. Cuando llega el tren, los pasajeros abordan el mismo, para lo cual deben moverse desde el área de espera en la que se encuentran hacia la puerta por la cual abordarán. Para representar lo anterior se usaron los bloques *pedGoToTren*, *pedGoToTren1*, *pedGoToTren2* y *pedGoToTren3*, los cuáles son del tipo *PedGoTo*. Para seleccionar la puerta por la cual abordarán el tren, se configuró para que cada pasajero se dirija a la puerta más cercana y finaliza el proceso mediante el bloque *PedSink*, simulando así la subida al tren.

Descripción de la herramienta

Se desarrolló una herramienta usando el software Anylogic, que permite simular el proceso de abordaje de pasajeros en la estación terminal Pantitlán de la Línea 1, el área de medición es en la puerta de mayor afluencia. En la parte derecha de la ventana se encuentra un área de configuración que permite establecer las condiciones iniciales de la simulación (ver Figura 64). Los elementos que se pueden configurar son ocho:

1. Pasajeros por minuto puerta de medición, que es la cantidad de pasajeros que llegan en un minuto a la puerta de medición. Se puede seleccionar una tasa fija o una distribución de Poisson que generar valores aleatorios con lambda igual al valor colocado.

2. Duración de apertura de puertas, en el cual es posible configurar el tiempo que el tren mantiene las puertas abiertas esperando el abordaje de los pasajeros. Los valores pueden seguir la distribución lognormal, exponencial, uniforme; o bien, una tasa fija, dependiendo de la opción que se elija.
3. Tiempo de llegada de trenes Zaragoza Pantitlán: Permite seleccionar entre cuatro distribuciones: Lognormal; Exponencial; Poisson y Uniforme. Dependiendo de la distribución seleccionada, se desplegarán los cuadros editables que permitan capturar los parámetros de la misma. La distribución seleccionada determinará los valores de llegada de los trenes al andén.
4. Tiempo de llegada de trenes Zaragoza Pantitlán, es el tiempo entre los trenes que llegan por la vía de en medio, $h2$, y puede ser habilitado o inhabilitado. Las opciones a elegir son distribución lognormal, exponencial, poisson, uniforme; o bien, tasa fija, Dependiendo de opción seleccionada, se desplegarán los cuadros editables que permitan capturar los parámetros de las misma.
5. Tiempo de llegada de trenes Pantitlán Zaragoza, es el tiempo entre los trenes que llegan por la vía superior, $h1$, y puede ser habilitado o inhabilitado. Las opciones a elegir son distribución lognormal, exponencial, poisson, uniforme; o bien, tasa fija, Dependiendo de opción seleccionada, se desplegarán los cuadros editables que permitan capturar los parámetros de las misma.
6. Cantidad de pasajeros que suben, es el número de personas que deciden subir al tren en la puerta de medición. En este caso se puede elegir la distribución de Poisson, uniforme; o bien, una tasa fija.
7. Cantidad de pasajeros por minuto, permite la simulación de la llegada de pasajeros a lo largo del andén. En este caso los pasajeros llegan por cuatro escaleras de acceso al andén de abordaje, y en cada una de ellas se puede configurar la cantidad de personas que llegan por minuto. El valor seleccionado se usará para generar valores aleatorios que sigan una distribución de Poisson con media igual a este valor.

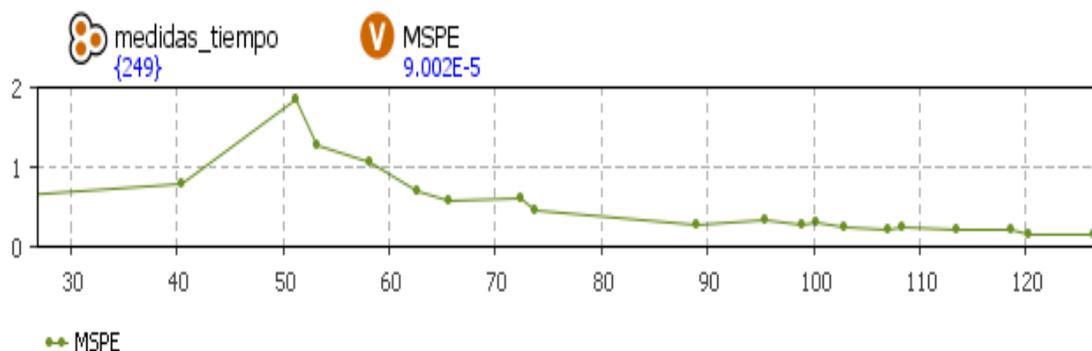
Figura 63. Interfaz de inicio



Fuente: Elaboración propia (2017).

La cuarta etapa de la metodología MoSASCoM es el análisis del modelo de simulación, AMSI. Para la verificación, se determina que el modelo de simulación refleja correctamente el modelo conceptual, y el contexto de la pregunta base formulada, además de la verificación mediante el compilador incluido en AnyLogic. El tiempo de ejecución en la simulación es de dos horas, dentro de las cuales se puede observar en la gráfica del MSpE (acrónimo en inglés), cuadrado medio de error puro en la interfaz, la estabilización de la respuesta del sistema, ver Figura 65.

Figura 64. Curva MSpE



Fuente: Elaboración propia.

A través del diseño de experimentos se determinó la utilización del diseño de factores 2^k , para analizar el impacto de las variables a dos niveles, alto y bajo (ver Tabla 62). Los factores del modelo de simulación son cuatro: 1. Tasa de llegada de pasajeros, 2. Tiempo de apertura de puertas, 3. Tiempo de llegada entre trenes y 4. Cantidad de pasajeros que suben. Por lo anterior se requiere de dieciséis escenarios.

Tabla 62. Factores del diseño de experimentos 2^4

Factor	Variable	Nivel [-1]	Nivel [+1]
Tasa de llegada de pasajeros por minuto	X_2	1	12
Tiempo de apertura de puertas	X_3	0.16	5.22
Tiempo entre trenes	X_1	2.12	7.22
Cantidad de pasajeros que abordan	X_4	8	42

Fuente: Elaboración propia (2017).

Mediante las combinaciones del niveles alto y bajo de los factores se ejecutaron las dieciséis corridas con una duración de simulación de dos horas (120 minutos). Los resultados obtenidos fueron: el tiempo de abordaje, el tiempo promedio entre trenes y el cuadrado medio de error puro. Éste último se incrementó considerablemente en los escenarios donde se consideraba el nivel alto de la tasa de llegada de pasajeros. Los resultados se muestran en la Tabla 63.

Tabla 63. Resultado de los escenarios

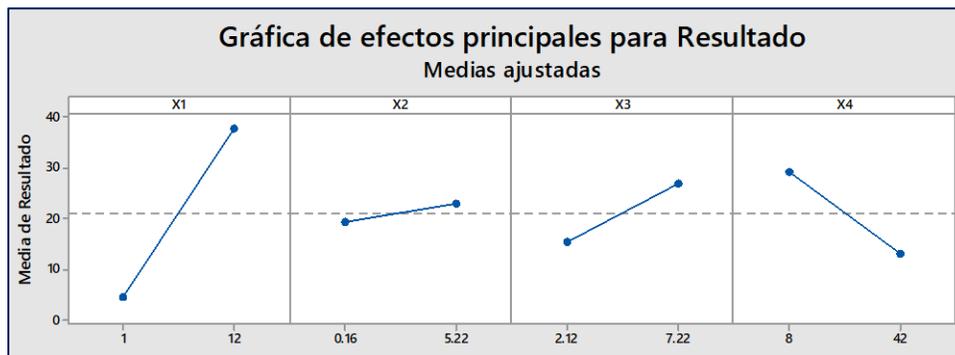
Corrida	Variable				Resultados		
	Tasa de llegada de pasajeros (X ₁)	Tiempo de apertura de puertas (X ₂)	Tiempo entre trenes (X ₃)	Cantidad de pasajeros que suben (X ₄)	Tiempo de abordaje	Tiempo promedio ciclo entre trenes	MSpE
1	1	0.16	2.12	8	1.44	2.142	0.0003
2	1	0.16	2.12	42	1.238	2.142	0.0060
3	1	5.22	2.12	8	2.944	4.313	0.0090
4	1	5.22	2.12	42	3.075	4.313	0.0130
5	12	0.16	2.12	8	42.696	2.142	4.0630
6	12	0.16	2.12	42	1.375	2.142	0.0009
7	12	5.22	2.12	8	55.653	4.313	9.9260
8	12	5.22	2.12	42	15.605	4.395	0.1610
9	1	0.16	7.22	8	5.51	7.292	0.0190
10	1	0.16	7.22	42	9.986	7.292	0.0650
11	1	5.22	7.22	8	7.794	7.613	0.6960
12	1	5.22	7.22	42	4.196	7.613	0.0450
13	12	0.16	7.22	8	58.975	7.297	20.028
14	12	0.16	7.22	42	33.111	7.297	1.0840
15	12	5.22	7.22	8	59.143	7.639	17.219
16	12	5.22	7.22	42	36.146	7.64	1.1320

Fuente: Elaboración propia (2017).

Por medio del software Minitab® 17 se analizaron los resultados de los dieciséis experimentos realizados.

En la gráfica de efectos principales para resultado, es posible apreciar la que el modelo presenta mayor sensibilidad a la variable X1, tasa de llegada de pasajeros, debido a que dependiendo del valor de ésta el tiempo de abordaje puede ser menor a cinco minutos hasta mayor a 30 minutos. La variable X4, cantidad de pasajeros que suben, también tiene un impacto considerable en la respuesta del modelo, debido a que mientras aborden menos pasajeros el tiempo de abordaje puede alcanzar el tiempo se reduce 20 minutos aproximadamente. La afectación al tiempo de bordaje por X3, tiempo de frecuencia entre trenes, es de aproximadamente 10 minutos; y de aproximadamente de cinco minutos, por parte de la variable X2, tiempo de apertura de puertas (ver Figura 66).

Figura 65. Gráfica de efectos principales para el tiempo de abordaje



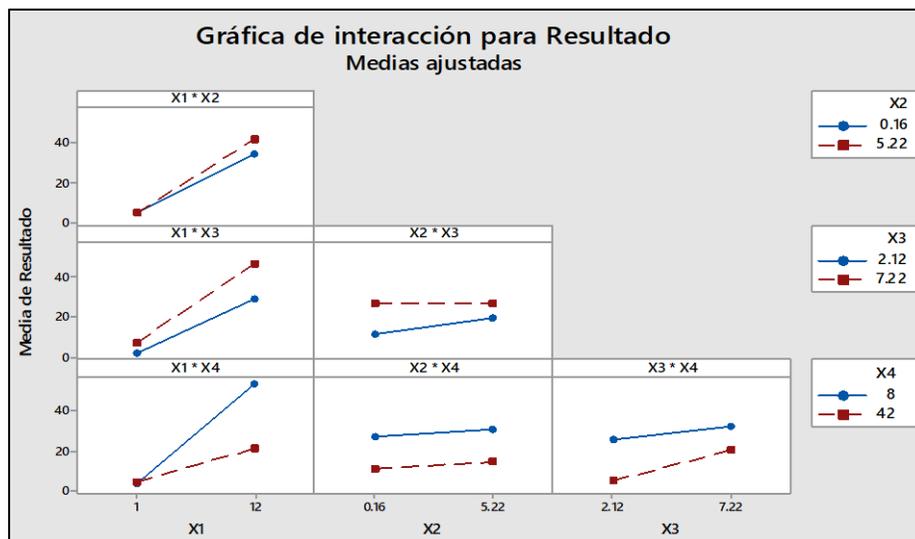
Fuente: Elaboración propia (2017).

En las Figuras 67 y 68 se observan las respuestas de la interacción de los factores que influyen en el tiempo de abordaje:

- ❖ El tiempo de llegada de pasajeros, X_1 , es la que mayor interacción tiene con la cantidad de pasajeros que suben, X_4 . Si ambas se presentan en su nivel bajo, el tiempo de abordaje disminuye a menos de cinco minutos; mientras que, si se presentan en los niveles altos el tiempo de abordaje va de más de 10 minutos hasta los 50 minutos.
- ❖ La interacción entre el tiempo de llegada de pasajeros, X_1 , y el tiempo entre trenes, X_3 , es menor que la relación con la cantidad de personas que se suben. Al presentarse en los niveles altos se encuentra una variación de aproximadamente 20 minutos.

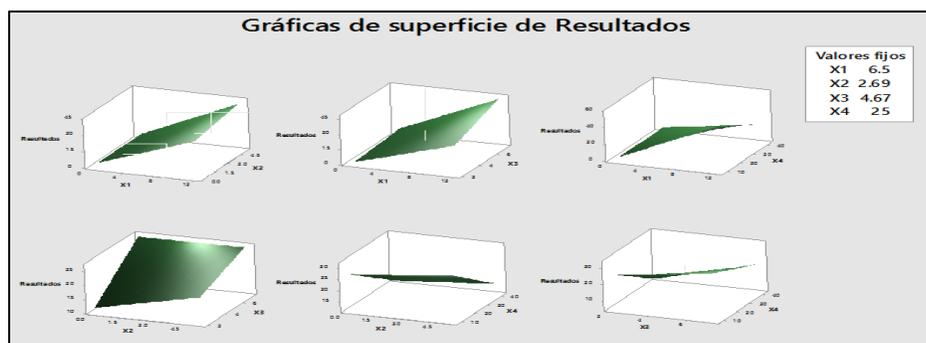
- ❖ La interacción entre el tiempo de llegada de pasajeros, X_1 , y el tiempo de apertura de puertas, X_2 , es menor que los dos casos anteriores, en los niveles más altos de estos factores se presenta una afectación al tiempo de menos de 10 minutos.
- ❖ El tiempo de apertura de puertas, X_2 , no presenta relación importante con la cantidad de pasajeros que suben, X_4 , o con el tiempo entre trenes, X_3 .
- ❖ La relación entre el tiempo entre trenes, X_3 , y la cantidad de personas que suben, X_4 , es considerable debido a que en condiciones de nivel bajo reducen el tiempo en casi 20 minutos.

Figura 66. Gráfica de interacción de los factores



Fuente: Elaboración propia (2017).

Figura 67. Gráficas de superficie de los resultados de la interacción de las variables



Fuente: Elaboración propia (2017).

En la quinta etapa de la metodología MoSASCoM, documentación del modelo de simulación, *DOMSI*, en la cual se describen los protocolos ODD (Overview, Design concepts and Details), CoDD (CoODD-Collaborative), TRACE (Transparent and comprehensive ecological modeling) y ODdox (combina ODD en una versión modificada con código de documentación mediante el software doxygen), se eligió el protocolo TRACE, el cual coincide con la secuencia de las tareas del modelo interactivo, ver Figura 69.

Figura 68. Protocolo de documentación TRACE

Ítem	Elemento
<i>Desarrollo del modelo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Formulación del problema • Diseño y formulación • Descripción del modelo • Parametrización • Calibración
<i>Pruebas y análisis del modelo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación • Análisis de sensibilidad • Validación
<i>Aplicación del modelo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Resultados • Análisis de incertidumbre • Recomendaciones

Fuente: Huerta Barrientos (2014)

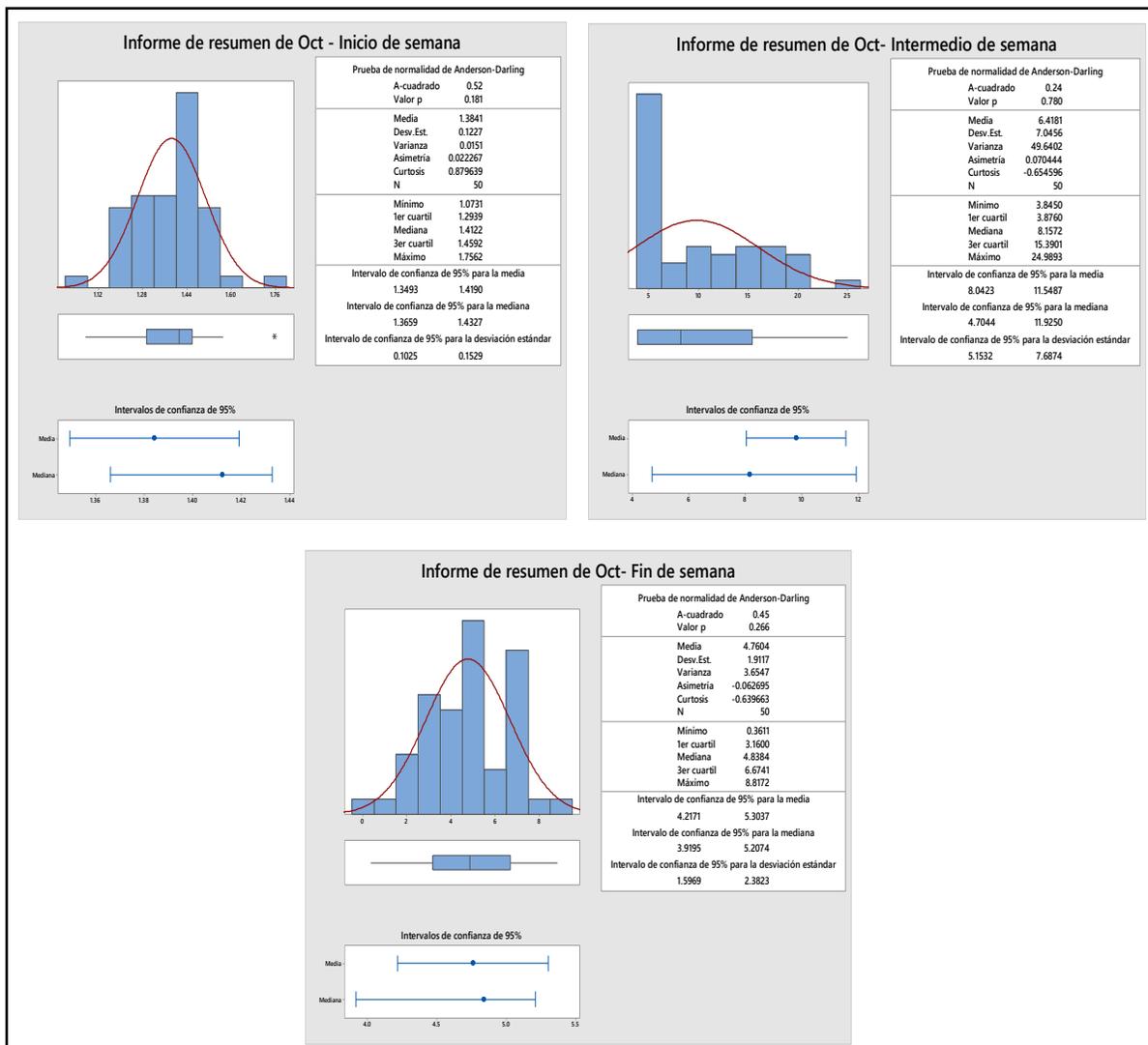
En el capítulo en curso, se determinó la complejidad de la medición del tiempo de abordaje del STC y se concluyó en la construcción de un modelo híbrido en el software AnyLogicaTM por medio de la Metodología basada en Modelos de Simulación para el Análisis de Sistemas Complejos, MoSASCoM.

CAPÍTULO V – ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo, se concluye la cuarta etapa de la metodología MoSASCoM, *Análisis del modelo de simulación*, para ello se introdujeron los datos obtenidos en la investigación en campo y se analizaron los resultados obtenidos.

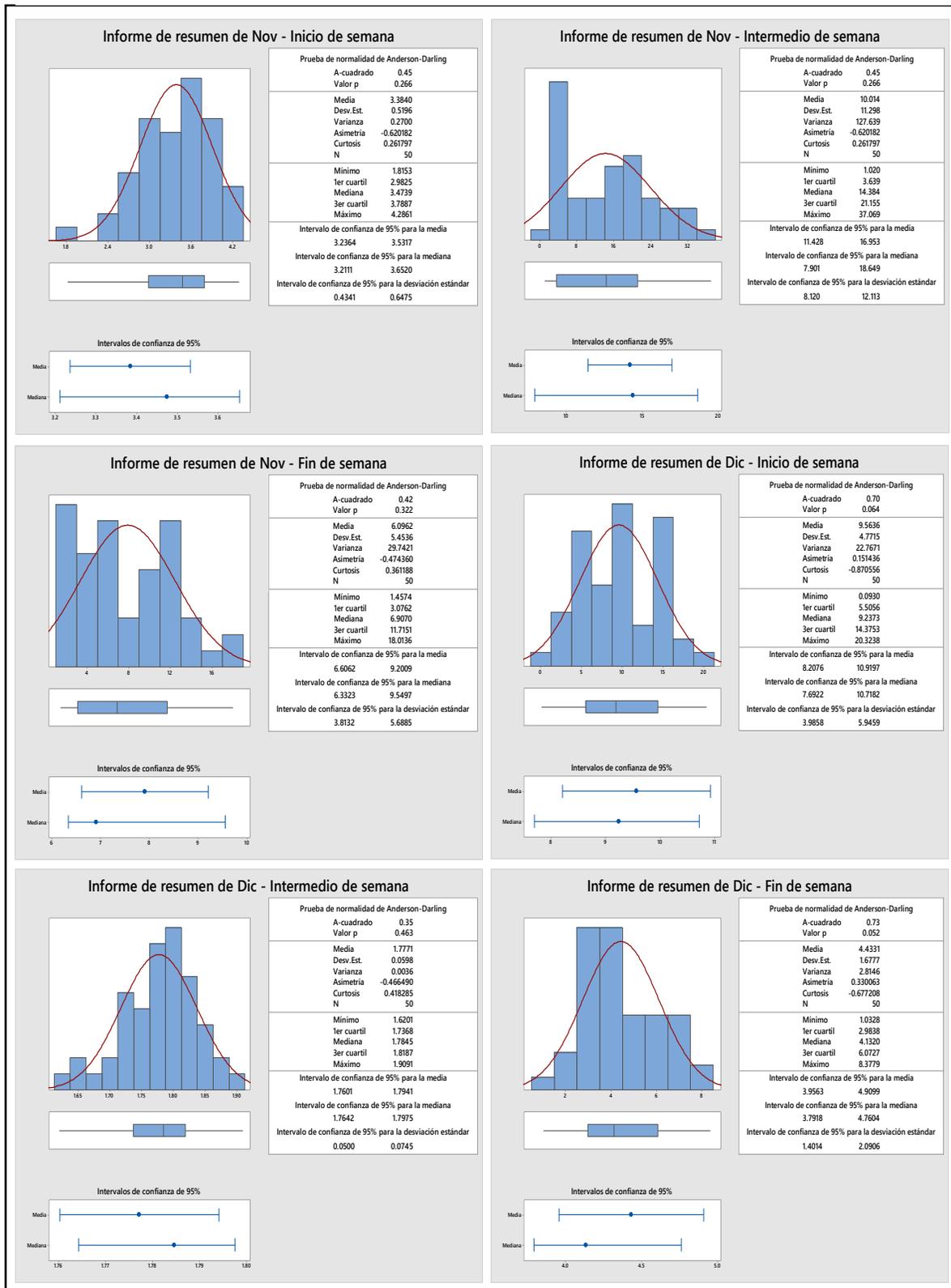
Para obtener los resultados del tiempo de abordaje de la estación Pantitlán, Línea 1 del STC, por principios del Teorema de Límite Central, se sabe que mientras se tenga un número considerable de datos, éstos se aproximarán a una distribución normal. Para este caso, se realizaron 50 ejecuciones en el modelo de simulación, los resultados se introdujeron en el software Minitab® 17 y mediante la prueba de Anderson-Darling (Ver Figuras 70 y 71) se identificó que los datos siguen una distribución normal. Además del tiempo de abordaje se analizó el tiempo de ciclo entre trenes, con la finalidad de calcular en cuántos ciclos los pasajeros logran abordar.

Figura 69. Resultados del tiempo de abordaje de octubre 2016



Fuente: Elaboración propia (2017).

Figura 70. Resultados del tiempo de abordaje de noviembre y diciembre 2016



Fuente: Elaboración propia (2017).

En la tabla 64, se muestran los resultados del mes de octubre de 2016. Para el inicio de semana, se obtuvo un tiempo promedio de abordaje de 1.3841 minutos, con un intervalo de confianza del 95% de que el valor se encontrará entre 1.35 minutos y 1.42 minutos, El tiempo promedio del ciclo de los trenes fue de 1.9965 minutos, es decir, los pasajeros abordaron en el primer ciclo de llegada de trenes. En el intermedio de la semana se obtuvo un valor promedio de tiempo de abordaje de 8.4181 minutos, con un intervalo de confianza del 95% de que el valor se encontrará entre 8.04 y 11.5 minutos. El tiempo promedio entre ciclos entre ciclos fue de 4.11 minutos, por lo que los pasajeros esperaron un ciclo después de haber arribado e incluso hasta cinco ciclos posteriores. El fin de semana del mes de octubre se obtuvo un tiempo promedio de 4.7604 minutos con un intervalo de confianza del 95% de que el valor se encuentre entre 4.21y 4.8876 minutos para el tiempo de abordaje; y el tiempo promedio entre ciclos 4.8876 minutos, por lo que los pasajeros esperaron de uno a dos ciclos como máximo para poder abordar.

Tabla 64. Tiempo de abordaje de pasajeros y ciclos de espera del mes de octubre 2016

Mes	Intervalo de tiempo	Estadístico	Tiempo de abordaje	Tiempo entre ciclos	Ciclos de espera
Octubre	Inicio de semana	Mínimo	1.0731	1.9450	0.5517
		Máximo	1.7562	2.0480	0.8575
		Promedio	1.3841	1.9965	0.6933
		Desviación estándar	0.1227	0.0728	-
	Intermedio de semana	Mínimo	3.845	3.7400	1.0281
		Máximo	24.9893	4.6050	5.4266
		Promedio	8.4181	4.1100	2.0482
		Desviación estándar	7.0456	0.4493	-
	Fin de semana	Mínimo	0.3611	4.1400	0.0872
		Máximo	8.8172	5.6440	1.5622
		Promedio	4.7604	4.8876	0.9740
		Desviación estándar	1.9117	0.6763	-

Fuente: Elaboración propia (2017).

En la tabla 65, se muestran los resultados del mes de noviembre de 2016. Para el inicio de semana, se obtuvo un tiempo promedio de abordaje de 3.3840 minutos, con un intervalo de confianza del 95% de que el valor se encontrará entre 3.2364 minutos y 3.5317 minutos, El tiempo promedio del ciclo de los trenes fue de 3.7287 minutos, es decir, los pasajeros abordaron en el primer o máximo en el tercer ciclo de llegada de trenes. En el intermedio de la semana se obtuvo un valor promedio de tiempo de abordaje de 12.014 minutos, con un intervalo de confianza del 95% de que el valor se encontrará entre 11.428 y 16.953 minutos. El tiempo promedio entre ciclos entre ciclos fue de 4.2819 minutos, por lo que los pasajeros esperaron en promedio tres. En el fin de semana, se obtuvo un tiempo de abordaje promedio de 6.0962 minutos con un intervalo de confianza del 95% de que el valor se encuentre entre 6.6062 y 9.2009 minutos; y el tiempo promedio entre ciclos 4.5257 minutos, por lo que los pasajeros esperaron dos ciclos de arribo del tren en promedio.

Tabla 65. Tiempo de abordaje de pasajeros y ciclos de espera del mes de noviembre de 2016

Mes	Intervalo de tiempo	Estadístico	Tiempo de abordaje	Tiempo entre ciclos	Ciclos de espera
Noviembre	Inicio de semana	Mínimo	1.8153	3.4180	0.5311
		Máximo	4.2861	3.9560	1.0834
		Promedio	3.3840	3.7287	0.9076
		Desviación estándar	0.5196	0.2111	-
	Intermedio de semana	Mínimo	1.0200	3.7690	0.2706
		Máximo	37.069	4.9960	7.4197
		Promedio	12.014	4.2819	2.8058
		Desviación estándar	11.298	0.4381	-
	Fin de semana	Mínimo	1.4574	3.8960	0.3741
		Máximo	18.0136	4.8790	3.6921
		Promedio	6.6962	4.5257	1.4796
		Desviación estándar	5.4536	0.4917	-

Fuente: Elaboración propia (2017).

En la tabla 65, se muestran los resultados del mes de diciembre de 2016. Para el inicio de semana, se obtuvo un tiempo promedio de abordaje de 9.5636 minutos, con un intervalo de confianza del 95% de que el valor se encontrará entre 8.2076 minutos y 10.9197 minutos, El tiempo promedio del ciclo de los trenes fue de 3.9701 minutos, es decir, los pasajeros abordaron en el tercer ciclo de llegada de trenes. En el intermedio de la semana se obtuvo un valor promedio de tiempo de abordaje de 1.7771 minutos, con un intervalo de confianza del 95% de que el valor se encontrará entre 1.7601 y 1.7941 minutos. El tiempo promedio entre ciclos entre ciclos fue de 2.827 minutos, por lo que los pasajeros esperaron un ciclo después de haber arribado. Para el fin de semana del mes de diciembre se obtuvo un tiempo promedio de 4.4331 minutos con un intervalo de confianza del 95% de que el valor se encuentre entre 3.9563 y 4.9099 minutos para el tiempo de abordaje; y el tiempo promedio entre ciclos fue de 4.4550 minutos, por lo que los pasajeros esperaron de uno a dos ciclos como máximo para poder abordar.

Tabla 66. Tiempo de abordaje de pasajeros y ciclos de espera del mes de diciembre de 2016

Mes	Intervalo de tiempo	Estadístico	Tiempo de abordaje	Tiempo entre ciclos	Ciclos de espera
Diciembre	Inicio de semana	Mínimo	0.093	3.3960	0.0274
		Máximo	20.3238	4.7090	4.3159
		Promedio	9.5636	3.9701	2.4089
		Desviación estándar	4.7715	0.3953	-
	Intermedio de semana	Mínimo	1.6201	2.7480	0.5896
		Máximo	1.9091	2.8630	0.6668
		Promedio	1.7771	2.8027	0.6341
		Desviación estándar	0.0598	0.0577	-
	Fin de semana	Mínimo	1.0328	3.7870	0.2727
		Máximo	8.3779	5.7060	1.4683
		Promedio	4.4331	4.4550	0.9951
		Desviación estándar	1.6777	0.7327	-

Fuente: Elaboración propia (2017).

CONCLUSIONES

Para enfrentar los retos del Sistema de Transporte Colectivo al transportar más de 1,600 millones de personas al año es importante entender el comportamiento de las funciones e interrelaciones de sus elementos, más allá del punto de vista de la estructura, el diseño del andén; o bien, la calendarización de la llegada de los trenes a las estaciones, como se han realizado modelos matemáticos y de simulación bajo los supuestos de parámetros con comportamiento uniforme.

En la presente tesis se logró estimar el tiempo de abordaje de los pasajeros del STC, en la estación Pantitlán de la Línea 1, durante el cuarto trimestre del 2016, el cual fue de un mínimo 0.093 hasta un máximo de 24.9893 minutos, lo que indica que los pasajeros subieron en cuanto llegó el primer tren hasta la espera de seis trenes posteriores a su llegada. En particular, al inicio de cada semana, los pasajeros alcanzan a subir en el primer tren; para el intermedio de la semana, suben después en el segundo o después del segundo tren hasta el octavo tren; y para el fin de semana, suben desde el primer tren que llega hasta el tercero. Por otra parte, fue posible realizar un modelo de simulación de la estación Pantitlán de la Línea 1 del STC por medio Metodología basada en Modelos de Simulación para el Análisis de Sistemas Complejos, MoSASCoM, debido al requerimiento del análisis de la propiedad emergente, en este caso, el tiempo de abordaje de los pasajeros, el cual, bajo condiciones iniciales, soportó el desarrollo del modelo con características semejantes al sistema en estudio. Así mismo, se generó una herramienta que coadyuve la toma de decisiones a la gerencia operativa del STC.

Se considera que los objetivos de esta tesis fueron alcanzados, debido a que fue posible representar el funcionamiento de la estación terminal Pantitlán de la Línea 1 del STC, del modelo se obtuvieron datos que al ser analizados indicaron el tiempo de abordaje de los pasajeros, el cual depende principalmente de la cantidad de pasajeros que llegan por minuto y la cantidad de pasajeros que abordan en cada ciclo.

Líneas de investigación futuras

A partir del análisis del trabajo de investigación desarrollado en la presente tesis, se consideran las siguientes líneas de investigación:

- ❖ El análisis del tiempo de abordaje se consideró para el cuarto trimestre del 2016, en la zona de mayor concurrencia, y en una estación terminal, por lo que el tren llega a la estación sin ningún pasajero. Para efectos de las siguientes estaciones, que no son terminales, las variables cambian, por lo que es importante hacer el estudio a lo largo de la Línea 1.
- ❖ En el presente se analizó la afectación de las variables al tiempo de abordaje; sin embargo, se considera que la percepción del tiempo por parte de los pasajeros, así como el orden de abordaje, deberán de ser analizados desde la parte social para determinar la percepción de los pasajeros con respecto al servicio que se les brinda.
- ❖ En el presente trabajo no se consideran costos por confidencialidad de los datos; sin embargo, cabe la posibilidad de desarrollar el impacto económico que se tendría durante la operación.

BIBLIOGRAFÍA

- Actividad del Sistema de Transporte Colectivo. (2016). *Actividad, Misión y Visión*. Ciudad de México, México: Gobierno de la Ciudad de México. Recuperado el 31 de agosto de 2016, de <http://www.metro.cdmx.gob.mx/organismo/misionyvision.html>
- Agencia de Gestión Urbana de la Ciudad de México. (2013). *Metro*. Ciudad de México: Gobierno de la Ciudad de México. Recuperado el 2016 de septiembre de 20, de <http://www.agu.cdmx.gob.mx/metro/>
- Asamblea Legislativa del Distrito Federal, VI Legislatura. (2014). *LEY DE MOVILIDAD DEL DISTRITO FEDERAL* (Última reforma publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 28 de noviembre de 2014 ed.). Distrito Federal, México: Gaceta Oficial del Distrito Federal. Instituto de Investigaciones Parlamentarias. Recuperado el 20 de septiembre de 2016, de <http://www.aldf.gob.mx/archivo-ba20960fb6570ec7d4ee34c30ee2d733.pdf>
- Banks, J. (1998). *Handbook of simulation Principles, Methodology, Advances, Applications and Practice*. (J. Banks, Ed.) New York, Chichester, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto: John Wiley & Sons, Inc. Engineering & Management Press.
- Boom a). (06 de julio de 2015). *Por qué el metro de México es el mejor del mundo*. Recuperado el 2016 de septiembre de 20, de <http://7boom.mx/entretenimiento/arte-y-cultura/por-que-el-metro-de-mexico-es-el-mejor-del-mundo>
- Boom b). (11 de febrero de 2015). *Puestos extraños que encuentras afuera del metro*. Recuperado el 20 de septiembre de 2016, de <http://7boom.mx/lifestyle/cotidianidades/puestos-extranos-que-encuentras-afuera-del-metro>
- Cavendish, R. (January de 2013). *The Capital went underground on January 10th, 1863.*, Electrónica. (H. T. 1, Editor, & ©. C. 1556332., Productor) Recuperado el 26 de agosto de 2016, de <http://www.historytoday.com/richard-cavendish/first-day-london-tube>
- CoMET Benchmarking Results. (2013). *MTR Sustainability Report 2014*. Performance Metrics. © 2015 MTR Corporation Limited 香港鐵路有限公司. Recuperado el 27 de agosto de 2016, de <http://www.mtr.com.hk/en/corporate/sustainability/2014rpt/metrics-benchmark.php>
- Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal. (2011-2012). *Informe especial sobre el derecho a la movilidad en el Distrito Federal*. Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal, Centro de Investigación Aplicada en Derechos Humanos. Ciudad de México: Institute for Transportation & Development Policy. Recuperado el 26 de agosto de 2016, de <http://cdhdfbeta.cdhdf.org.mx/wp-content/uploads/2014/06/informe-movilidad.pdf>
- Community of Metros CoMET - Nova Group of metros. (2016). *CoMET and Nova Members*. (© 2016 CoMET and Nova - Metro Benchmarking Groups, RTC, CTS, Imperial College London) Recuperado el 27 de agosto de 2016, de <http://cometandnova.org/>
- El centro S.A. (2014). Recuperado el 15 de febrero de 2016, de [ciudadanosenred.com.mx:](http://ciudadanosenred.com.mx/) <http://ciudadanosenred.com.mx/category/movilidad/elcentro/>

- El Financiero. (4 de marzo de 2015). Las 12 irregularidades de la Línea 12. *El Financiero*. Recuperado el 27 de agosto de 2016, de <http://www.elfinanciero.com.mx/nacional/las-12-irregularidades-de-la-linea-12.html>
- Galiza, R. J., Inhi, K., Ferreira, L., & Laufer, J. (2009). Modelling Pedestrian Circulation in Rail Transit Stations Using Micro-Simulation. *Convention Management New Zealand*. Recuperado el 23 de agosto de 2016, de <http://www.cmnzl.co.nz/assets/sm/4527/61/MicrosoftWord-RevisedPaper-ModellingPedestrianCirculationinRailTransitNodesUsingMicrosimulation.pdf>
- Galiza, R. J., Inhi, K., Ferreira, L., & Laufer, J. (2009). Modelling Pedestrian Circulation in Rail Transit Stations Using Micro-Simulation. *Convention Management New Zealand*. Recuperado el 23 de agosto de 2016, de <http://www.cmnzl.co.nz/assets/sm/4527/61/MicrosoftWord-RevisedPaper-ModellingPedestrianCirculationinRailTransitNodesUsingMicrosimulation.pdf>
- Gaviño, J. (5 de Febrero de 2016). *Agencia de Gestión Urbana de la Ciudad de México*. (Gobierno de la Ciudad de México) Recuperado el 27 de agosto de 2016, de <http://www.cdmx.gob.mx/anuncia-cdmx-ampliacion-de-linea-12-metro/>
- Gómez Estrada, R. (2010). *Centro Politécnico Superior, Universidad de Zaragoza*. (©. CPS, Editor, E. Larrodé Pellicer, Productor, & Área de Ingeniería e Infraestructura de los Transportes) Recuperado el 28 de agosto de 2016, de INTRODUCCION HISTÓRICA - ORIGENES DEL FERROCARRIL:
[http://www.cps.unizar.es/~transp/Ferrocarriles/INTRODUCCION_HISTORICA\(Origenes_del_ferrocarril\).html](http://www.cps.unizar.es/~transp/Ferrocarriles/INTRODUCCION_HISTORICA(Origenes_del_ferrocarril).html)
- Grupo Imagen Multimedia. (12 de mayo de 2015). *No vas a creer lo que pasa en el Metro del DF*. (Desarrollado por Rombhus Red de Noticias TLN) Recuperado el 22 de febrero de 2016, de La Tlayuda News: <http://latlayuda.mx/no-vas-a-creer-lo-que-pasa-en-el-metro-del-df/>
- Hope, J., & Fraser, R. (2003). *Betond Budgeting: How Managers Can Break Free from the Annual Performance Trap*. Boston, Massachusetts: Copyright 2003 Harvard Business Svchool Publishing Corporation. Recuperado el 27 de agosto de 2016, de https://books.google.com.mx/books?id=RVaEUSiDpbsC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Huerta Barrientos, A. (Octubre de 2014). Tesis. *Metodología basada en Modelo de Simulación para el análisis de sistemas complejos (MoSASCoM)*. Ciudad Universitaria, México. Recuperado el abril de 2017, de http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6919/Metodolog%C3%ADa_basada_en_modelos_de_simulaci%C3%B3n_para_el_analisis_de_sistemas_complejos_.pdf?sequence=1
- Huerta Barrientos, A. (2016). Apuntes de simulación, Maestría en Ingeniería de Sistemas. *Universidad Nacional Autónoma de México*. México.
- Huerta Barrientos, A. (2016). Introducción a la Modelación y Simulación de Sistemas Complejos. *Primera*. (A. Huerta Barrientos , Ed.) Recuperado el 01 de abril de 2017

- INEGI. (2007). *Encuesta Origen-Desino*. Gobierno del Estado de México, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Ciudad de México. Recuperado el 27 de agosto de 2016, de http://bicitekas.org/wp/wp-content/uploads/2013/07/2007_Encuesta_Origen_Destino_INEGI.pdf
- Londresweb Est. (1996). *Historia del Metro de Londres*. (C. ©. Londresweb.com, Ed.) Londres, Inglaterra. Recuperado el 26 de agosto de 2015, de http://www.londresweb.com/historia_metro_de_londres.htm
- Malgioglio, J. M., Carazay, C., Suardi, D., Bertolino, G., Díaz, T., Fernández, A., . . . Vázquez, C. (2002). DISTINTOS ENFOQUES DEL CAPITAL INTELECTUAL. *Séptimas Jornadas "Investigaciones en la Facultad" de Ciencias Económicas y Estadística*. Universidad Nacional de Rosario. Recuperado el 27 de agosto de 2016, de http://www.fcecon.unr.edu.ar/web/sites/default/files/u16/Decimocuartas/Malgioglio,%20Carazay,%20Suardi_los%20distintos%20enfoques%20del%20capital%20intelectual.pdf
- Marin SRTS Resource Center. (2012). *Historia Política del Transporte en los Estados Unidos*, Electrónica. (C. ©. School, Editor) Recuperado el 27 de agosto de 2016, de http://www.saferoutestoschools.org/GUIDES/Transportation_History_sp.pdf
- Matix González, C. (2010). *Movilidad Urbana Sostenible: Un reto energético y ambiental*. (O. S. Madrid, Editor) Recuperado el 24 de agosto de 2016, de UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA: <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0536159.pdf>
- Maximo, M. A. (26 de 11 de 2014). Caos Metro pantitlan. Ciudad de México. Recuperado el 2016 de 09 de 21, de <https://www.youtube.com/watch?v=KPIgcOW52Gs>
- Metro, M. (s.f.). *The Complete System on Google Earth (KML)*, 2016. (G. Earth, Productor) Recuperado el 27 de diciembre de 2016, de <http://www.mexicometro.org/Mexico-Metro.kmz>
- Microsoft Corporation. (2006). El ferrocarril. *El ferrocarril*. España. Recuperado el 26 de agosto de 16, de <http://enciclopedia-joskat.webnode.es/products/el-ferrocarril/>
- Parmenter, D. (2007). *Key Performance Indicators Developing, Implementing, and Using Winning KPIs*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. Recuperado el 27 de agosto de 2016, de http://pro-u4ot.info/files/books/finance/Key_Performance_Indicators.pdf
- Pérez Salvador, B. R., & Saavedra Barrera, P. (2013). *Modelación matemática del comportamiento dinámico del metro de la Ciudad de México*. Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad iztapalapa, Departamento de Matemáticas. Revista Contactos. Recuperado el 28 de agosto de 2016, de <http://www.izt.uam.mx/newpage/contactos/revista/90/pdfs/metro.pdf>
- Pulido Cayuela, M. A. (27 de agosto de 2008). *Universidad de Murcia, Facultad de Matemáticas*. Recuperado el 17 de noviembre de 2016, de Departamento de Estadística e Investigación de Operaciones: [file:///C:/Users/Yaz/Downloads/colast6%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Yaz/Downloads/colast6%20(1).pdf)

- Reforma. (13 de octubre de 2015). Extorsiona policía a vendedores ambulantes de Metro del DF. *El Diario mx*. Recuperado el 2016 de septiembre de 20, de http://diario.mx/Nacional/2015-10-13_60939a5c/extorsiona-policia-a-vendedores-ambulantes-de-metro-del-df/
- Rivera Colmenero, J. A. (05 de octubre de 2016). Teoría de Líneas de Espera. *Notas de la clase Dirección de Operaciones*. Ciudad Universitaria, México. Recuperado el 16 de noviembre de 2016
- Social Enterprise Knowledge Network. (2005). *Gestión efectiva de emprendimientos sociales*. Estados Unidos de América: Banco Interamericano de Desarrollo - Planeta. Recuperado el 27 de agosto de 2016, de https://books.google.com.mx/books?id=SU75nsEP9MMC&pg=PA257&dq=evaluacion+del+desempe%C3%B1o+Mark+Moore+2003&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjdmLj_wOHOAhWHZCYKHVspDssQ6AEIJAA#v=onepage&q=evaluacion%20del%20desempe%C3%B1o%20Mark%20Moore%202003&f=false
- STC a). (2016). *COMPARACIÓN DE AFLUENCIA TOTAL 2013 - 2015*. Ciudad de México, México: Coordinación de Desarrollo Tecnológico - Gobierno de la Ciudad de México. Recuperado el 20 de septiembre de 2016, de <http://www.metro.cdmx.gob.mx/operacion/compaflu.html>
- STC b). (2014). *El metro es de todos*. Gobierno de la Ciudad de México. Ciudad de México, México: Amílcar Salazar & Editorial Aquaclara, SA de CV. Recuperado el 27 de agosto de 2016, de <http://www.metro.cdmx.gob.mx/imagenes/organismo/varios/elmetroesdetodos.pdf>
- STC c). (2007). *Actividad del Sistema de Transporte Colectivo, Misión y Visión*. Gobierno de la Ciudad de México. Con base al decreto de creación publicado en abril de 1967 y vigente en julio de 2007. Recuperado el 31 de agosto de 2016, de <http://www.metro.cdmx.gob.mx/organismo/misionyvision.html>
- STC d). (2013). *Normas para la aplicación de los indicadores para evaluar la calidad del servicio*. Gerencia de Ingeniería y Nuevos Proyectos, Ciudad de México. Recuperado el 13 de septiembre de 2016
- STC e). (2016). *Antecedentes del Transporte en la Ciudad de México*. (Gobierno de la Ciudad de México) Recuperado el 27 de agosto de 2016, de <http://www.metro.cdmx.gob.mx/organismo/index.html>
- STC f). (2013). *INDICADORES DE OPERACIÓN*. Recuperado el 2016 de agosto de 18, de http://www.metro.cdmx.gob.mx/transparencia/fr3_07a11.html
- STC f). (2016). *Etapas de construcción*. (Gobierno de la Ciudad de México) Recuperado el 2016 de agosto de 27, de <http://www.metro.cdmx.gob.mx/organismo/construccion.html>
- STC g). (2016). *Parque vehicular*. (G. d. México, Productor) Recuperado el 27 de agosto de 2016, de <http://www.metro.cdmx.gob.mx/operacion/index.html>
- STC h). (2016). *Afluencia de estaciones*. (Gobierno de la Ciudad de México) Recuperado el 27 de agosto de 2016, de <http://www.metro.cdmx.gob.mx/operacion/afluencia.html>

- STC i). (2012). *CXL. Informe Final de Auditoría, derivada de la revisión de la cuenta pública del Gobierno de Distrito Federal correspondiente al ejercicio*. Auditoría Superior de la Ciudad de México, Ciudad de México. Recuperado el 27 de agosto de 2016, de <http://www.ascm.gob.mx/IR/Informes/2410.pdf>
- Taha, H. A. (1994). *Investigación de Operaciones*. México: Alfaomega. Recuperado el 16 de noviembre de 2016
- Taringa! (2013). *Metro de la Ciudad de México*. Recuperado el 20 de septiembre de 2016, de <http://www.taringa.net/post/imagenes/15625870/Metro-de-la-Ciudad-de-Mexico1-Megapost.html>
- Ulrich, D. (1997). *Human Resource Champions - The next agenda for adding value and delivering results*. Harvard Business School Press. Recuperado el 27 de agosto de 2016, de <http://docaz.net/read/dave-ulrich-human-resource-champions.pdf>
- Villalobos Peñalosa, P. (2010). *Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*. Recuperado el 17 de noviembre de 2016, de http://www.atmosfera.unam.mx/jzavala/AnalisisDatos/Curso_AnalisisDatos_Clase_08a.pdf
- Xu, X.-y., Liu, J., Li, H.-y., & Zhou, Y.-f. (March de 2013). Probabilistic model for remain passenger queues at subway station platform. *Journal of Central South University*, 20. doi:10.1007/s11771-013-1555-2
- Yepes Piqueras, V. (2016). *Procedimientos de construcción de cimentaciones y estructuras de contención*. Universitat Politècnica de València. Recuperado el 15 de 08 de 2016, de Colección Manual de Referencia: <http://victoryepes.blogs.upv.es/tag/muro-pantalla/>
- Zhou, Y., Yao, L., Gong, Y., & Chen, Y. (19 de January de 2016). Time prediction model of subway transfer. *SpringerOpen*. doi:10.1186/s40064-016-1686-7