

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Modelado y Simulación de Sistemas Dinámicos
Reporte de Proyecto Final:
Modelo y Simulación del Sistema Metrorrey

Integrantes:

Jesús Antonio Soto Velázquez - 1570031

Luis Ariel Cano Castillo - 1445956

Profra.: M.C. Aida Lucina González

29 de noviembre de 2013

Modelo y Simulación del Sistema Metrorrey

Reporte Final

Resumen

Se diseñó e implementó un modelo de simulación que se comporte de acuerdo al sistema de transportación Metrorrey con el fin de encontrar una solución al problema de largas esperas de los clientes en el horario de 7:00 am a 9:00 am. Tales esperas son causadas por llenarse la capacidad de los vagones para más pasajeros. El estudio se da en las primeras 3 estaciones del metro, pues son aquellas donde más se nota esta congestión. El parámetro controlable, es decir, la variable que se piensa evaluar para cambiar es **el tiempo en el que se envían trenes** desde la primera estación. Después de implementar y probar distintas instancias del funcionamiento del metro, se ha observado que una reducción de la espera de envío del tren de 30 segundos resultaría beneficiosa para reducir los tiempos de espera y el número de trenes que los pasajeros esperan, mientras que sólo se utilizan 3 o 4 más trenes extra.

Introducción

El modelado y simulación de sistemas dinámicos es una técnica muy útil para resolver problemas que no pudiesen ser resueltos de manera analítica. Esto se puede deber a la complejidad del sistema, así como la característica de que el tiempo transcurre.

Con dicha técnica se pretende resolver un problema que se presenta en el sistema de transportación *Metrorrey*. Variando ciertos parámetros de decisión en el sistema, es posible simular distintos escenarios para observar el comportamiento del sistema, y así llegar a una decisión con el mayor costo-beneficio posible.

Descripción

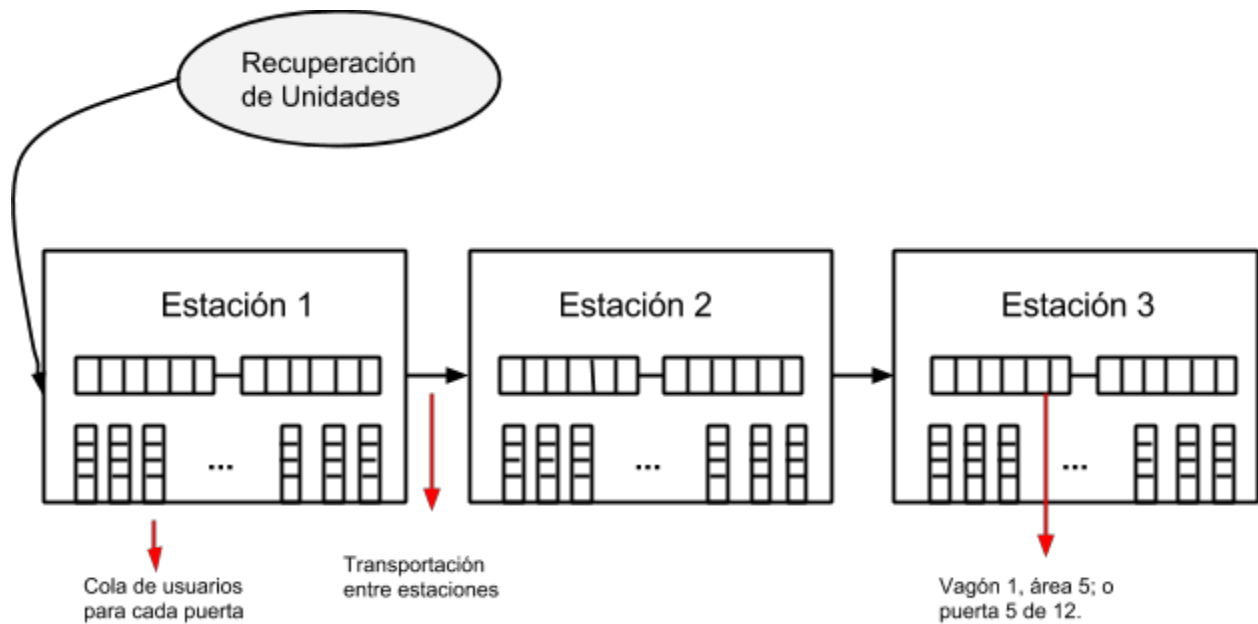
Metrorrey es un sistema de transporte colectivo de la ciudad de Monterrey que opera desde las 5 am hasta las 12 de la media noche, todos los días de la semana. Cuenta con 2 líneas, las cuales se extienden a diversos puntos de la zona metropolitana y los municipios San Nicolás y Guadalupe. En ciertas estaciones, hay conexión a otros servicios ofrecidos por Metrorrey, tal y como es el Metrobus y Transmetro.

A intervalos constantes para cierta hora del día, se envían los trenes, donde hacen paradas en cada punto para el abordaje de los usuarios. La afluencia de los usuarios que abordan el tren varía de la estación, el día, y la hora. Hay estaciones que se ven más congestionadas que otras, tal como lo es la estación San Nicolás y Cuauhtémoc. Esto se puede deber por la cantidad de habitantes en la zona, o por los servicios de transporte de extensión ubicados en esa estación.

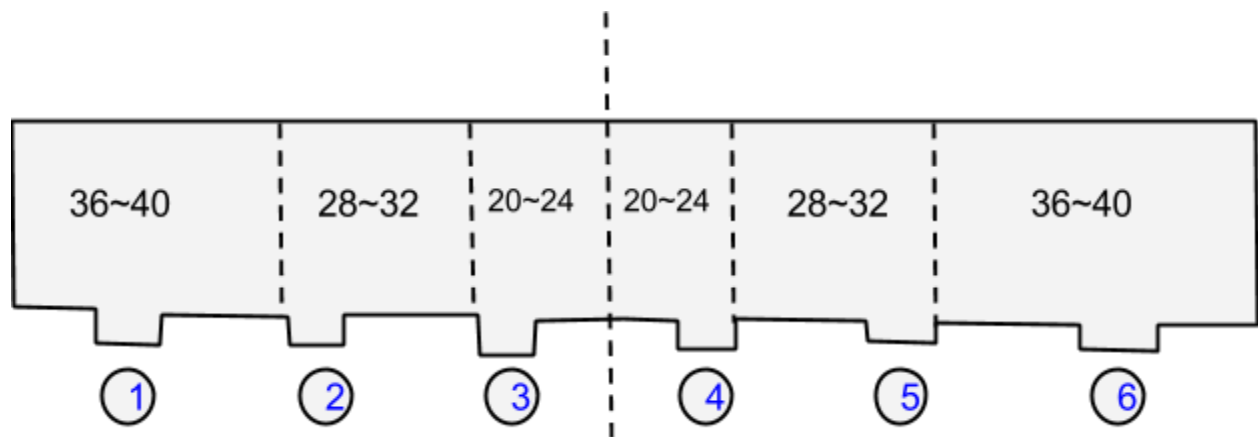
Se ha observado una congestión de usuarios en ciertas estaciones de la línea 2 de Metrorrey durante el periodo de la mañana (entre 7:00 am y 9:00 am) entre semana. Se da el caso que los usuarios tienen que esperar 2 ó 3 trenes más para poder abordar. Aún en estaciones sin tanta afluencia de usuarios se dificulta el abordaje, pues los vagones ya vienen llenos. Se piensa que una posible causa es la insuficiencia de trenes que se envían a esas horas, pero también se

sospecha que el problema podría venir del mal posicionamiento de los usuarios dentro de los vagones, lo cual imposibilita a otros usuarios el abordaje.

Las estaciones del metro que se estudiarán para este proyecto son *Sendero*, *Tapia*, y *San Nicolás*, pues son puntos en donde más se aprecia el problema de abordaje por estar llenos los vagones.



Representación de operación de las primeras tres estaciones



Estructura interna de uno de los vagones, incluyendo la capacidad.

Análisis de los Datos de Entrada

Para obtener una aproximación real de los datos pertinentes en el sistema, se tomaron muestras de los tiempos de llegadas de los pasajeros a la estación, así como el tiempo de servicio (abrir y cerrar de puertas) del tren.

Utilizando el software Stat::Fit se analizaron las muestras de datos y se encontró lo siguiente:

- Las llegadas de los pasajeros siguen una distribución muy similar tanto a la exponencial como a la Poisson. Para ambos casos, el parámetro tiene el mismo valor, λ (o β) = 2.94
- Los tiempos de servicio del tren siguen una distribución normal, donde μ = 18.2
 σ = 2.71

A pesar de que hay otros datos de entrada al sistema, los anteriores mencionados son los únicos que presentan un comportamiento aleatorio, pues los demás son determinísticos. Estos datos son:

- El tiempo de transportación entre la primera y segunda estación es de 84 segundos.
- El tiempo de transportación entre la segunda y tercera estación es de 66 segundos.
- Inicialmente, hay 11 unidades disponibles para ser enviadas.
- El tiempo de recuperación de tren es aproximadamente de 90 segundos mayor que el tiempo de envío de tren.

Descripción del Modelo de Simulación

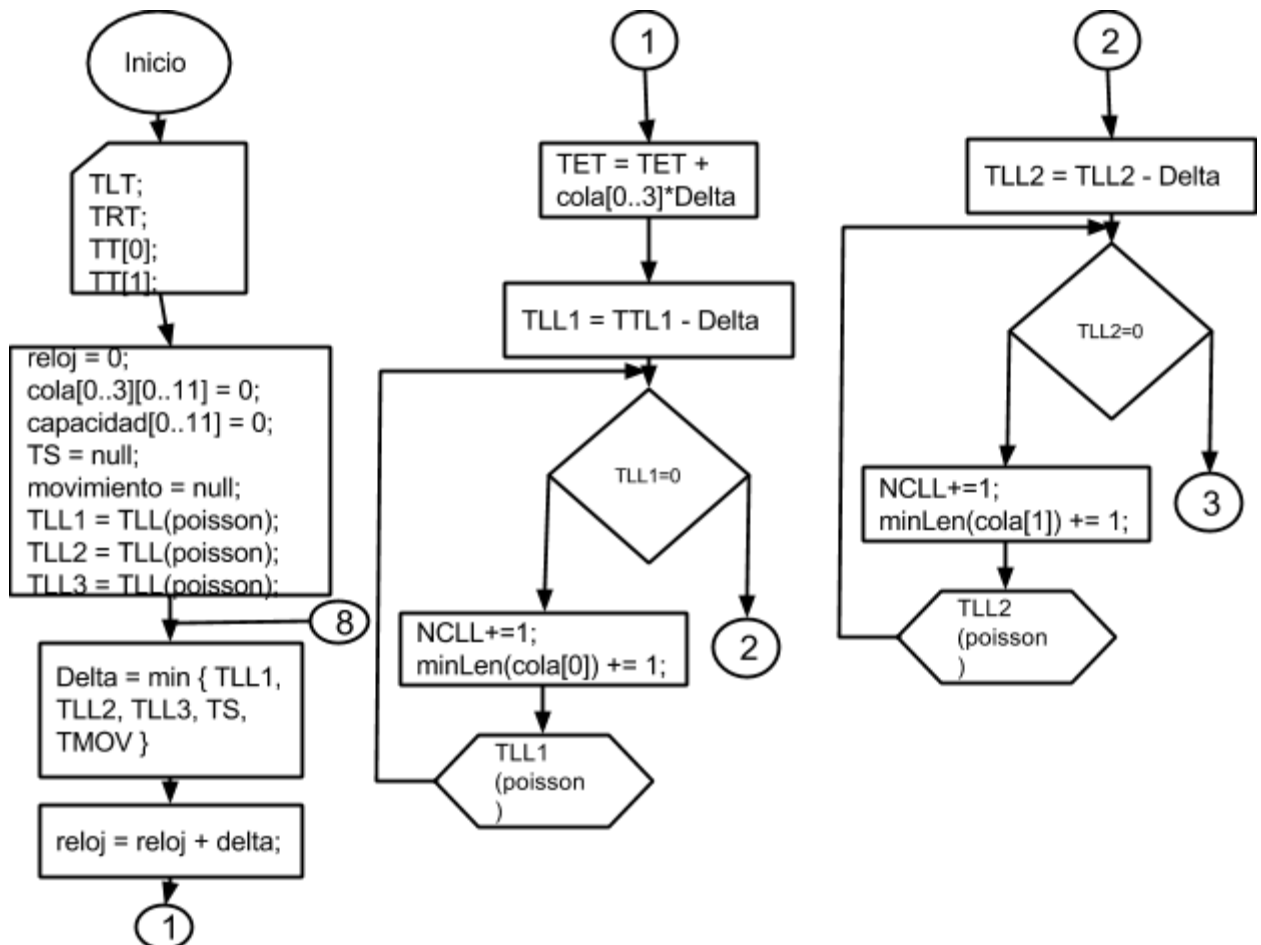
El modelo de simulación utiliza principalmente la estructura de listas para almacenar el estado de las distintas variables en el sistema (por ejemplo, pasajeros a bordo, clientes esperando en colas, etc.), así como un enfoque orientado a objetos para simplificar la implementación del concepto de un tren. Se utilizó una estrategia de eventos discretos, permitiendo así que el reloj del sistema avance en ciertos puntos en el tiempo donde ocurre algún evento. El intervalo de estudio del sistema es de 7200 segundos, pues es equivalente a las 2 horas donde ocurre la congestión de pasajeros.

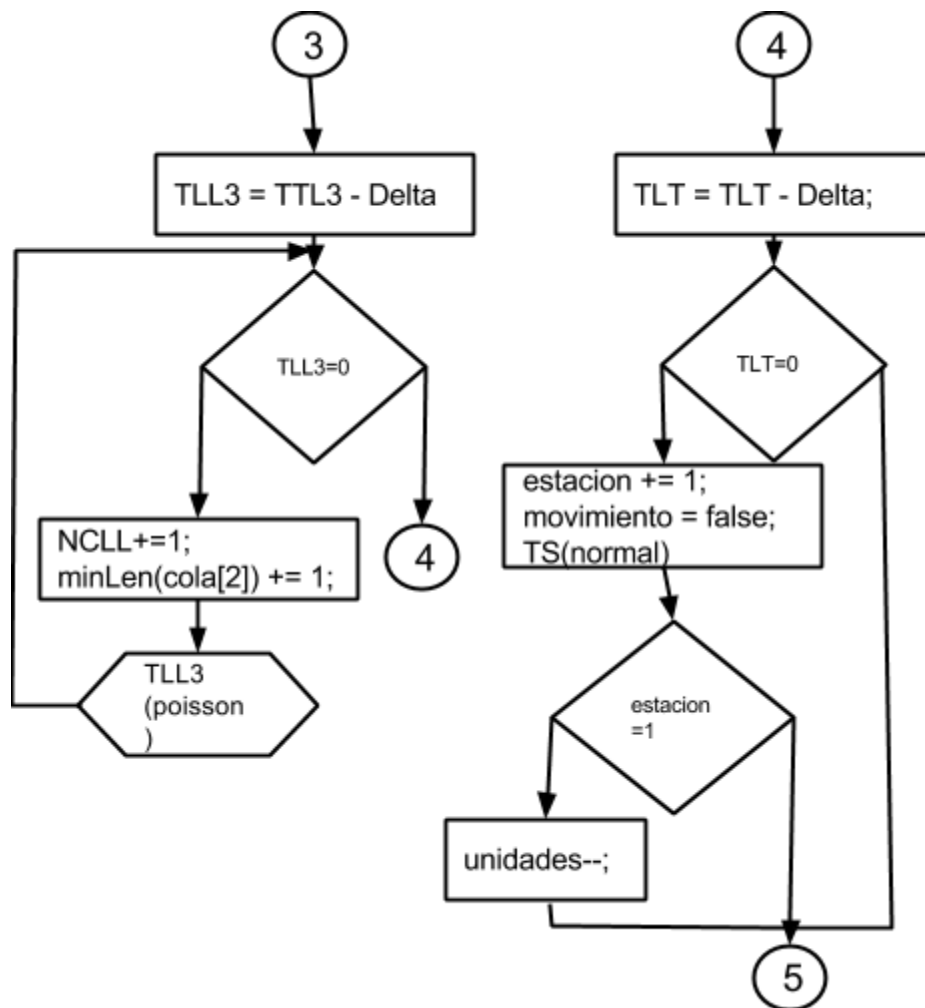
Entre los eventos posibles, están:

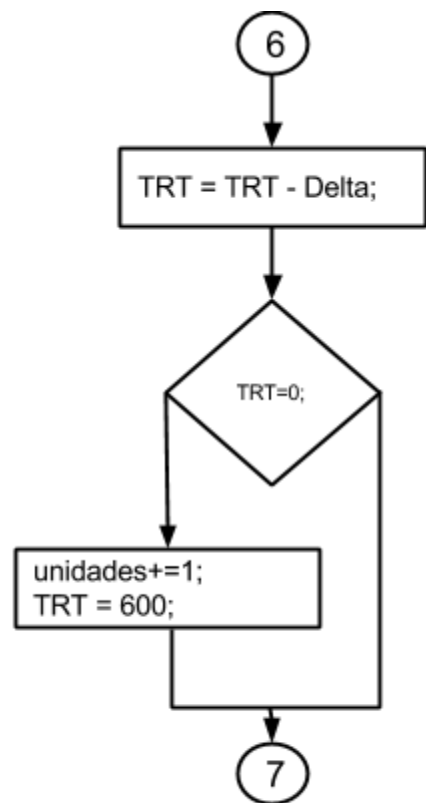
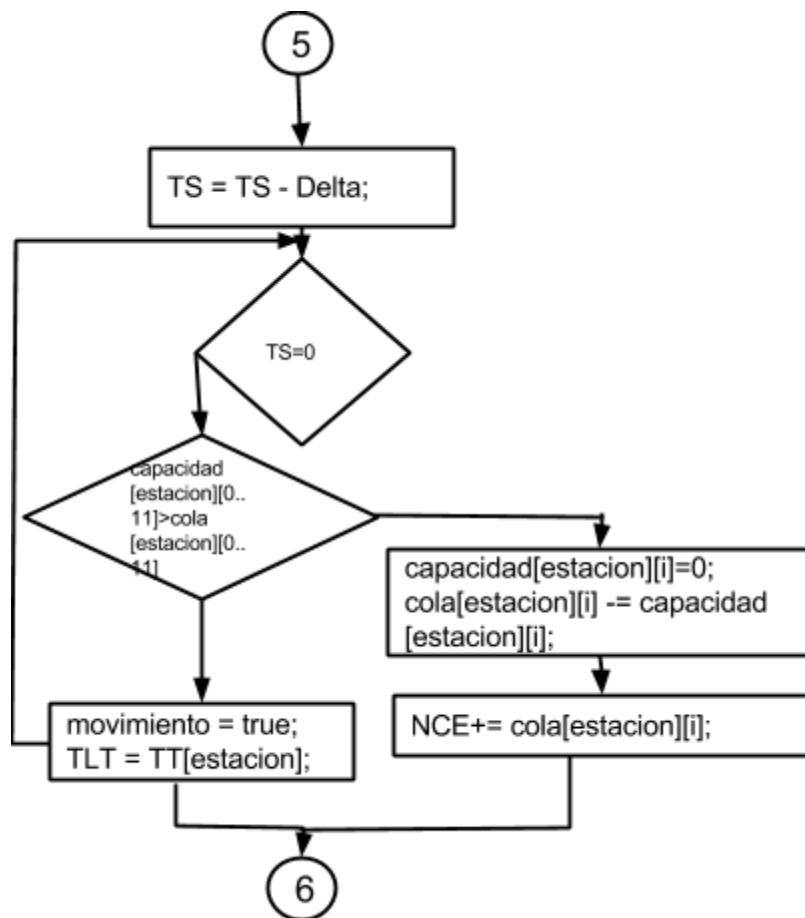
- Envío de un tren
- Llegada de un tren a una estación
- Cerrar de puertas de servicio
- Llegadas de pasajeros
- Recuperación de un tren del sentido opuesto

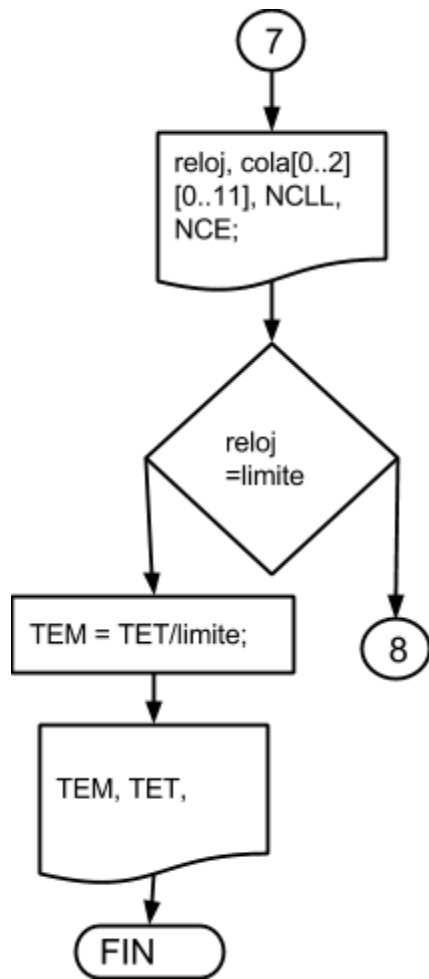
La lógica de ejecución que sigue el modelo de simulación está basado en el siguiente diagrama de flujo:

TLT. Tiempo de Llegada del Tren
 TRT. Tiempo de Recuperación del Tren
 TT. Tiempo de transportación.
 TS. Tiempo de servicio.
 TLL. Tiempo de Llegada
 NCLL. Número de clientes que han llegado
 NCE. Número de clientes hechos esperar.









Verificación y Validación del Modelo

La verificación del modelo fue realizada con el uso de impresiones parciales de la ejecución de la simulación. Cuando se detectaba que había un evento próximo, se observaban las variables dependientes para comprobar que ocurrieran los cambios previstos.

Además, se revisó en varias ocasiones que el flujo del programa fuera idéntico al diagrama que sirve como modelo conceptual. Igualmente, utilizando impresiones se detectaron y corrigieron anomalías en el funcionamiento del programa.

Para la cuestión de la verificación del modelo, se realizaron varias iteraciones con los parámetros que utiliza el sistema real. Después, se compararon el número de pasajeros que se quedan en la estación esperando al siguiente tren, con los obtenidos en la simulación. Se nota una fuerte similitud:

NCE (real)	NCE (simulación)
------------	------------------

21	27
16	23
26	27
25	32
27	27
15	29
16	24

Análisis de Resultados

Se simularon distintas instancias del sistema, variando el parámetro de intervalo de envío de trenes, y para cada instancia, se hicieron 10 iteraciones.

Envio Trenes:250	Regreso Trenes:340
TEM TET	NCLL NCE Trenes
155.79 1121702.14	8073 14 27
156.46 1126512.46	7942 17 27
161.99 1166309.12	7991 19 27
156.05 1123560.54	7826 18 27
170.34 1226429.40	8106 25 27
169.81 1222652.70	8272 25 27
167.03 1202625.55	8251 20 27
172.49 1241933.69	8265 26 27
156.78 1128791.75	8033 15 27
164.53 1184597.65	8116 21 28

Instancia con 250 segundos en llegadas del tren

Envio Trenes:280	Regreso Trenes:370
TEM TET	NCLL NCE Trenes
185.67 1336826.52	8111 25 24
188.14 1354607.60	8122 26 24
189.43 1363924.61	8160 29 24
190.77 1373519.82	8137 28 24
186.46 1342499.40	8075 28 24
187.38 1349159.92	8050 27 24
188.27 1355535.31	8258 26 24
186.56 1343209.48	8169 25 24
185.96 1338908.14	8143 26 24

185.78 1337588.46 8170 26 25

Instancia con 250 segundos en llegadas del tren

Envio Trenes:330	Regreso Trenes:420			
TEM	TET	NCLL	NCE	Trenes
248.36	1788221.56	8070	63	21
262.67	1891255.59	8052	75	21
247.16	1779546.32	8308	55	21
266.79	1920860.74	8142	78	21
273.41	1968523.68	8162	82	21
246.47	1774589.41	7991	61	21
246.32	1773538.75	7978	62	21
245.10	1764717.33	8052	57	21
256.67	1848007.00	8145	64	21
241.37	1737844.98	8050	55	21

Instancia con 330 segundos en llegadas del tren

Observando los datos obtenidos de la simulación, naturalmente es indirectamente proporcional el tiempo de espera y los clientes en espera con el número de trenes que se envían.

Es decir, entre más trenes se están enviando en el mismo lapso de tiempo, menos tiempo de espera habrá.

Evaluando las iteraciones de las instancias anteriores, el caso de 280 segundos es el que actualmente se maneja en el sistema real; sin embargo, reduciendo ese tiempo a 250 segundos, hay un beneficio significativo con el costo de 3 o 4 más envíos extras de trenes.

Posibles mejoras al sistema

- Muestreo de tiempos de llegadas para cada estación. Por restricciones de recursos, se generalizó la muestra de llegadas para todas las estaciones; sin embargo, lo más preciso sería hacer un muestreo de datos para cada estación estudiada.
- Ampliar el alcance del estudio del sistema para poder evaluar la operación en las subsecuentes estaciones.
- Permitir tener más de 1 en operación. Al estudiarse sólo tres estaciones del metro, no fue relevante el caso de uso donde hay más de 1 tren en operación simultáneamente.
- Incluir el caso en el que los pasajeros bajan del tren. Para el caso estudiado, la cantidad de pasajeros que bajaba era insignificante, por lo que no se incluyó en la simulación. Sin embargo, puede ser relevante para un estudio aún más preciso, y que incluye más de 3 estaciones.
- Movimiento de pasajeros entre colas durante el abordaje. Si llega el caso en que el vagón al que se desea abordar está lleno, sería más aproximado a la realidad si el pasajero busca un vagón vecino que aún tenga cupo para su abordaje.

Conclusiones

Tomando como evidencia el conjunto de datos mostrados anteriormente, se puede comparar entre el caso de operación real del metro, y los casos en los que se incrementa o decrementa el tiempo de retraso de llegadas de trenes.

Evidentemente, la solución no es incrementar el tiempo de llegadas, pues causaría un embotellamiento. Por otro lado, el disminuir este retraso en aproximadamente 30 segundos (TLT = 250), resulta en menos clientes esperando al siguiente tren, asimismo como un incremento pequeño de trenes enviados (3 o 4 trenes extra). Sumado a la optimización que se haría para distribuir mejor a los pasajeros en otros vagones, se alcanzaría un estado favorable del sistema.

Bibliografía

Python Software Foundation. random - Generate Pseudo-random Numbers. Fecha de consulta: 27 de noviembre de 2013.

<http://docs.python.org/2/library/random.html>