

Jesús Antonio Soto
Luis Ariel Cano
2 de noviembre de 2013
Modelado y Simulación de Sistemas Dinámicos

Entregable 2 Proyecto Final Fase 1 & 2

Formulación del Problema

Fase 1

Se tiene una necesidad de crear un modelo y simulación en software del funcionamiento del sistema de metro *Metrorrey* en algunas estaciones selectas la línea 2, pues se ha observado el congestionamiento de usuarios en el horario de 7:00 am hasta 9:00 am, causando que muchos usuarios tengan que esperar a un tren que tenga capacidad para ser abordado.

¿Qué medidas se pueden tomar para minimizar el tiempo de espera de los usuarios para poder abordar una unidad del metro?

El número de trenes disponibles a utilizarse en un lapso de tiempo es una característica principal que de manera directa tiene un efecto en los tiempos de espera. Debe considerarse que el número de unidades disponibles en cualquier punto en el tiempo es limitado, pero ya que después de cierto lapso de tiempo vuelven a estar disponibles, se deduce que el parámetro que se puede modificar es **la frecuencia con la que se envían trenes**.

La intención es llegar a cierto compromiso en el que se estén enviando unidades con suficiente frecuencia para que los clientes no esperen mucho tiempo, pero que tampoco se envíen tan pronto que ya no haya más unidades que enviar hasta que vuelvan a estar disponibles (disminuyendo el tiempo de espera mínimo, pero incrementando el tiempo de espera máximo).

El objetivo es estimar los efectos al hacer una modificación de la frecuencia con la que se envían unidades, y cómo esta variación afectaría el tiempo de espera promedio de los usuarios. Se cree que incrementando en un 20% la frecuencia en la que salen los trenes disminuiría el tiempo de espera de los clientes por la mitad, en la mayoría de los casos.

Es importante mencionar las restricciones y abstracciones que se han considerado para planear el modelo de este sistema. En primer lugar, sólo se consideran 3 de las 13 estaciones de la línea 2 del sistema Metrorrey. Esta simplificación se justifica por los recursos humanos disponibles para este proyecto, además de que el problema originalmente se identificó en las estaciones seleccionadas.

A pesar de que el metro va en 2 sentidos, se ha elegido sólo modelar uno de ellos, por la complejidad que trae el considerar ambos. Sin embargo, la operación es dependiente del otro sentido, pues nuevas unidades a enviar se tienen que recuperar provenientes del sentido opuesto. Por este motivo, se considera como un parámetro ficticio la tardanza en la que llega una nueva unidad para ser usada.

Definición de los elementos del sistema

Fase 2

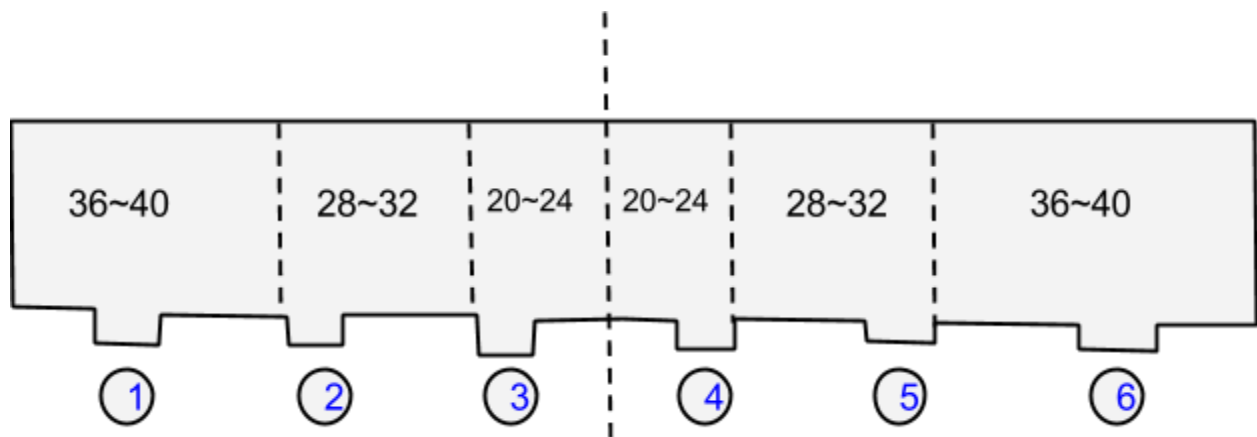
En la abstracción del sistema del metro, hay tres ubicaciones importantes donde ocurren los eventos discretos.

El funcionamiento es de la siguiente manera: de la primera estación parte un tren con doce vagones vacíos al que abordan los usuarios organizados en una estructura FIFO (colas).

Después de cierto tiempo de permanencia en la estación, el tren parte hacia el siguiente punto y, pasado cierto tiempo, llega a la estación próxima y abre sus puertas. Antes de comenzar el abordaje de los usuarios que esperan, primero bajan aquellos usuarios que lo desean.

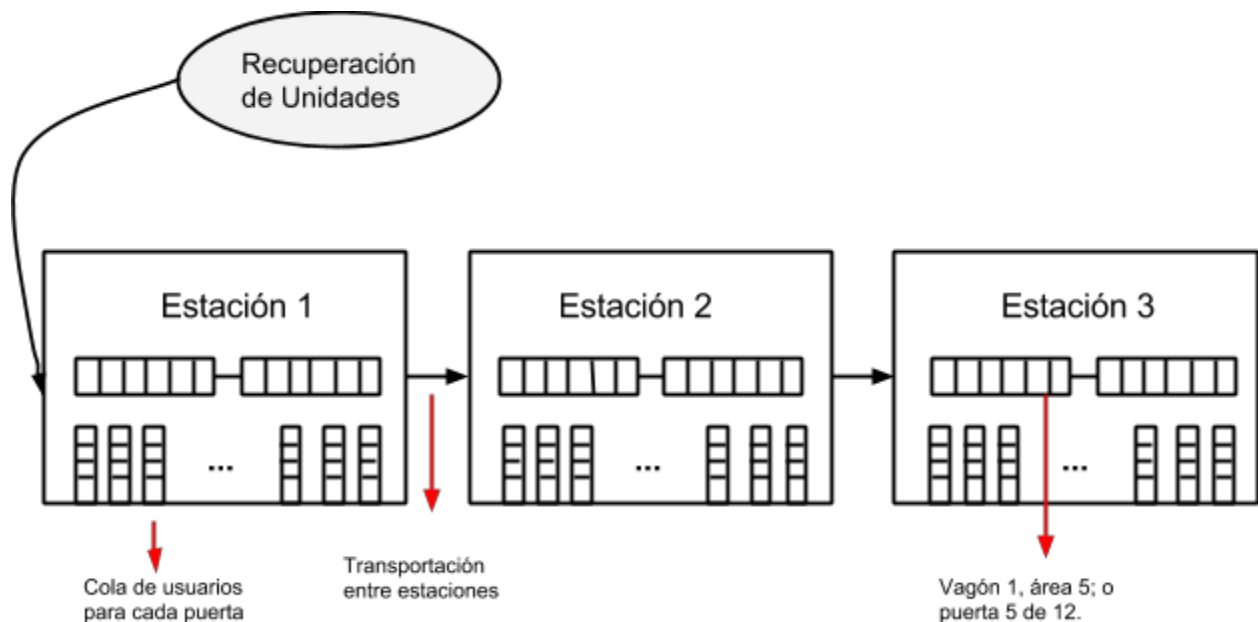
Posteriormente sigue el abordaje a los vagones ocurre como en la estación anterior: los usuarios van ingresando según su posición en la cola, hasta que ya no haya espacio para abordar. El mismo procedimiento se repite en la tercera y última estación. Durante este lapso, es posible que ya haya salido otra unidad de tren en la primera estación, permitiendo el abordaje de los usuarios que no han subido aún y aquellos que llegaron en ese intervalo de tiempo. Es importante resaltar que el descenso de los usuarios sólo ocurre en la estación 2 y 3.

Cada tren cuenta con dos vagones, y cada uno de ellos a su vez, con 6 puertas de abordaje. La estructura y capacidad de cada vagón se muestra en el siguiente gráfico:



A pesar de que hay lugares designados para sentarse, no ocurre lo mismo para los usuarios que están parados durante el trayecto, permitiendo, en ocasiones, que haya más o menos pasajeros en ciertas zonas del vagón. Se observa una estructura de capacidad simétrica dentro del vagón, y el otro vagón tiene la misma capacidad.

En cuestión de comportamiento de los componentes del sistema, se creó la siguiente representación:



Componentes del Sistema:

- Trenes
- Vagones (parte del tren)
- Usuarios

Variables Exógenas:

- TLL = Tiempo entre llegadas de los usuarios
- TA = Tiempo de permanencia en una estación (abordaje)
- TT = Tiempo de transportación entre estaciones
- CD = Cantidad de usuarios que bajan en las estaciones 2 y 3.
- EE = Usuarios extras para cada vagón

Características de Operación:

- $f(TLL)$ = Función de tiempo de llegada de usuarios
- $f(TA)$ = Función de tiempo de permanencia en una estación
- $f(TT)$ = Función de tiempo de transportación entre estaciones
- $f(CD)$ = Función de cantidad de usuarios que bajan del metro.
- $f(EE)$ = Función de cantidad de usuarios extras para cada vagón = Distribución uniforme (min = 0, max = 4)

Variables de Estado:

- Número de usuarios a bordo del vagón_i para $i = 1 \dots 12$
- Capacidad restante del vagón_i para $i = 1 \dots 12$
- Tiempo restante para llegar a la estación próxima del tren_j

- Número de clientes en espera de cada cola
- Ubicación actual del tren_j
- Tiempo restante para enviar tren_{j+1}
- Reloj del sistema

Variables Endógenas:

- Tiempo de espera promedio de pasajeros
- Máximo número de trenes esperados antes de poder abordar
- Número de pasajeros sin abordar promedio

Parámetros

- n = Número de trenes disponibles al inicio
- Tiempo de envío de trenes
- Tiempo requerido para recuperar unidades
- Límite de observación = 120 minutos