**Optimización de la cantidad de formaciones y de vagones para minimizar la aglomeración**

**en los andenes de la estación Constitución, Subte C**

**Azario, Martín Gabriel**

**Quispealaya Aliaga, Jose Antonio**

**Schmidt, Matias Alejandro**

***Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires***

**Abstract**

*En este estudio, se llevó a cabo una simulación para determinar la cantidad de formaciones óptima y la cantidad de vagones en una formación de subte con el objetivo de minimizar la aglomeración de personas en los andenes. La aglomeración de personas en los andenes es un problema común en las estaciones del subterráneo de Buenos Aires, lo que puede resultar en retrasos, congestión y riesgos para la seguridad de los pasajeros. Para abordar este problema, se utilizó un enfoque basado en simulación para analizar diferentes escenarios y evaluar el impacto de la cantidad de formaciones, y la cantidad de vagones en la formación en la aglomeración de personas en los andenes.*

**Palabras Clave:**

Simulación; Cantidad de Vagones; Estación del Subte; Flujo de Pasajeros; Congestión en líneas de subte

**Introducción**

En las estaciones del subterráneo de Buenos Aires, el aglomeramiento de personas en los andenes es un desafío común que puede resultar en retrasos, congestión y riesgos para la seguridad de los pasajeros. La capacidad de una estación para gestionar eficientemente el flujo de pasajeros depende en gran medida de la cantidad de formaciones que llegan al andén y la cantidad de vagones en la formación de los trenes. Por lo tanto, es crucial determinar la cantidad de formaciones óptima y la cantidad adecuada de vagones para minimizar el aglomeramiento en los andenes.

La simulación nos permite modelar y evaluar diferentes escenarios, teniendo en cuenta diversos factores, como el flujo de pasajeros, los tiempos de embarque y desembarque, y las características de la estación.

Para llevar a cabo este estudio, se recopilaron datos sobre el flujo de pasajeros de la página de la ciudad de Buenos Aires [1]. Estos datos se formatearon para construir un modelo de simulación que representa fielmente a la línea C, la estación de Constitución y el comportamiento de los pasajeros. También se sabe que en cada vagón entran 115 pasajeros[2].

A través de la simulación, se realizaron varias iteraciones, variando la cantidad de formaciones y la cantidad de vagones en la formación. Se registraron las métricas relevantes la congestión en los andenes y la eficiencia general del sistema.

Los resultados obtenidos de estas simulaciones proporcionarán información valiosa para los operadores de transporte público y las autoridades encargadas de la planificación de la infraestructura de transporte.

**Elementos del Trabajo y metodología**

En este estudio, se desarrolló un modelo utilizando datos proporcionados por la página oficial de la ciudad de Buenos Aires. Estos datos consisten en el registro de personas que pasan por los molinetes cada 15 minutos a lo largo de un año en todas las líneas y estaciones del subterráneo de Buenos Aires. Primeramente, se utilizó Google Colab para descomprimir y clasificar los datos, enfocándonos específicamente en los datos de la estación Constitución de la línea C.

Dado que los datos se registraron cada 15 minutos, se optó por utilizar la metodología Delta T, con un intervalo de tiempo de 15 minutos. Luego, utilizando el software Kairós, se generaron tres funciones de densidad de probabilidad correspondientes a diferentes rangos horarios: horarios poco concurridos, horarios normales y horarios pico.

Posteriormente, se procedió a desarrollar el modelo de simulación y se implementó su codificación en Python. Se llevaron a cabo varias ejecuciones del modelo, simulando diferentes escenarios al variar la variable de control.

**Variables :**

**Datos :**

1. Cantidad de personas que pasan por los molinetes cada 15 minutos. Debido a que hay una gran diferencia en las llegadas según la hora, decidimos dividirla en tres f.d.p., una para los horarios poco concurridos (de 5:30 a 6:30, y de 18 a 23), donde hay una cantidad muy chica de llegadas, otra para los horarios normalmente concurridos (de 10 a 18), donde llegan una cantidad más grande de personas, y otra para los horarios pico (de 6:30 a 10), que es cuando hay tanta gente que es posible que las formaciones no logren satisfacer la demanda de espacios en los vagones.

La cantidad de personas que pasan por los molinetes cada 15 minutos en horarios poco concurridos está dada por una uniforme entre 9 y 110.

1. La cantidad de personas que pasan por los molinetes cada 15 minutos en horarios normales está dada por la fdp de una normal.
2. La cantidad de personas que pasan por los molinetes cada 15 minutos en horarios pico está dada por la fdp de una normal.

**Variables de Control:**

En este estudio, se emplearon dos variables de control para la simulación:

1. Variable N: Esta variable se utilizó para determinar la cantidad de vagones que conforman la formación del subte. Se realizaron diferentes simulaciones variando el valor de N, lo que permitió evaluar el impacto de la cantidad de vagones en el aglomeramiento en los andenes y en la eficiencia del sistema.
2. Variable M: Esta variable se empleó para determinar la cantidad de formaciones que salen de la estación cada 15 minutos. Al variar el valor de M en las simulaciones, fue posible estudiar cómo el número de formaciones afecta el flujo de pasajeros y el nivel de congestión en los andenes.

Ambas variables de control fueron consideradas en el modelo de simulación, lo que permitió explorar diferentes escenarios y obtener resultados que ayudan a comprender la relación entre la cantidad de formaciones que llegan al andén, la cantidad de vagones y el aglomeramiento en los andenes.

**Variables de Estado:**

Como variable de estado, se consideró la cantidad actual de personas en el andén. Esta variable se actualiza dinámicamente a medida que llegan personas al andén y se decrementa cuando las personas suben al tren.

En cada iteración de la simulación, se registró la cantidad de personas presentes en el andén, lo que permitió monitorear y analizar cómo esta variable evoluciona en función de la llegada y salida de pasajeros. El seguimiento de la cantidad de personas en el andén resultó fundamental para evaluar el nivel de congestionamiento en la estación en diferentes escenarios simulados.

**Resultados:**

Como objetivo principal de la simulación, se buscó determinar la menor cantidad promedio de personas que quedaron esperando en el andén. Esto implicó evaluar diferentes escenarios y configuraciones de cantidades de formaciones y de vagones, con el fin de encontrar la combinación óptima que minimice la cantidad de personas que deben esperar en el andén antes de abordar.

Además, como una medida adicional de evaluación, se calculó el porcentaje de personas que esperaron en el andén en relación al total de personas que pasaron por el andén. Este cálculo permitió tener una visión más completa de la eficiencia del sistema y la capacidad de manejo de la estación en términos de aglomeramiento y congestión.

Estas variables de resultados, la menor cantidad promedio de personas esperando en el andén y el porcentaje de personas esperando en relación al total, proporcionaron una medida cuantitativa de la eficacia de las diferentes configuraciones de cantidad de formaciones, y cantidad de vagones, y permitieron identificar la mejor estrategia para optimizar el flujo de pasajeros en la estación de manera eficiente y segura.

**Eventos:**

*Tabla de eventos independientes:*

| **Evento**  **Propio** | **Evento Comprometido**  **en ∆T Anteriores** | **Evento Comprometido**  **en ∆T Futuros** |
| --- | --- | --- |
| *Aumento de cantidad de personas en el andén por llegadas* | *---------* | *---------* |
| *Disminución de la cantidad de personas en el andén por la llegada del subte* | *---------* | *---------* |

TEF: No hay Eventos definidos

**Resultados**

Después de realizar diferentes simulaciones, se seleccionaron tres escenarios para su evaluación:

1. Escenario **No Favorable**:

* Variables de Control:
  + N: 5 Vagones
  + M: 2 Formaciones cada 15 minutos

**Resultados:**

* Cantidad promedio de personas esperando en el andén: **1115**
* Porcentaje de personas esperando en relación al total: **51%**

2. Escenario **Actual**:

* Variables de Control:
  + N: 4 Vagones
  + M: 3 Formaciones cada 15 minutos

**Resultados:**

* Cantidad promedio de personas esperando en el andén: **333**
* Porcentaje de personas esperando en relación al total: **cercano a 7%**

3. Escenario **Óptimo**:

* Variables de Control:
  + N: 5 Vagones
  + M: 3 Formaciones cada 15 minutos

**Resultados:**

* Cantidad promedio de personas esperando en el andén: **131**
* Porcentaje de personas esperando en relación al total: **cercano a 0,4%**

**Discusión**

El primer escenario tiene un porcentaje de personas esperando del 51%, lo cual significa que, teniendo en cuenta la masiva cantidad de personas que pasan por el molinete, aún así hay una cantidad significativa de personas esperando con respecto al mismo, lo cual nos permite rápidamente identificar que esta combinación de de variables de control no es buena. El escenario 2 es el actual, donde el porcentaje es del 7%, que representa el buen funcionamiento actual de la línea en esta estación, pero en el escenario 3 que proponemos se logró mejorar aún más el funcionamiento del subte, con un vagón más se pasa de en promedio 333 a 131 personas esperando en el andén y de 7% a casi 0%.

**Conclusión**

En conclusión, este estudio utilizó datos recopilados de la página oficial de la ciudad de Buenos Aires para desarrollar un modelo de simulación que evaluó diferentes escenarios con diferentes cantidades de formaciones y de vagones en el sistema de transporte subterráneo. El objetivo principal fue determinar la configuración óptima que minimizará la cantidad de personas esperando en el andén y optimizará el flujo de pasajeros.

Los resultados de la simulación demostraron que aumentar la cantidad de vagones y de las formaciones resultó en una reducción significativa tanto en la cantidad promedio de personas esperando en el andén como en el porcentaje de personas que debían esperar en relación al total de pasajeros. Esto indica que el sistema puede mejorar su eficiencia y reducir el aglomeramiento implementando estrategias que aumenten la capacidad de transporte.

En base a los escenarios evaluados, se identificó una combinación óptima que logró reducir a más de la mitad la cantidad promedio de personas esperando en el andén actualmente, y un porcentaje mucho más bajo de personas esperando con respecto a las que llegaron al andén.

Estos resultados respaldan la importancia de optimizar la cantidad de formaciones y de vagones para garantizar un flujo de pasajeros eficiente y seguro en el sistema de transporte subterráneo.

En resumen, este estudio proporciona una base sólida para la toma de decisiones en la gestión del transporte subterráneo, destacando la importancia de considerar la configuración adecuada de formaciones a llegar al andén, y la cantidad de vagones para mejorar la experiencia de los pasajeros y optimizar la capacidad del sistema. Estos hallazgos pueden servir como guía para futuras decisiones y mejoras en la planificación y operación del transporte público subterráneo en Buenos Aires y otras ciudades con sistemas similares.

**Agradecimientos**

Se agradece al profesor auxiliar Edgardo Ruben Flecha, por en reiteradas ocasiones dar sugerencias sobre aplicaciones y herramientas para llevar a cabo la simulación de este TP.

**Referencias**

[1] <https://data.buenosaires.gob.ar/dataset/subte-viajes-molinetes>

[2]

<https://www.clarin.com/ciudades/ciudad-buenos-aires-linea-subtes-coches-nuevos_0_HJwA_mqwmx.html>

**Datos de Contacto:**

*Martín Gabriel Azario,* [*mazario@frba.utn.edu.ar*](mailto:mazario@frba.utn.edu.ar)

*Matias Schmidt,* [*matisch2010@hotmail.com*](mailto:matisch2010@hotmail.com)

*Jose Antonio Quispealaya Aliaga,*

[*jquispealayaaliaga@frba.utn.edu.ar*](mailto:jquispealayaaliaga@frba.utn.edu.ar)