

# ANÁLISIS DE LÍNEAS DE ESPERA EN LOS ACCESOS PEATONALES Y ÁREAS DE CIRCULACIÓN DE LA ESTACIÓN MELÉNDEZ DEL SITM-MIO

J. A. Castaño Rebellón, O. E. Acevedo Peña

Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Pontificia Universidad Javeriana Cali.  
Colombia

**Resumen:** En este artículo se presenta el estudio de congestión que se realizó en la estación del SMTI-MIO de Meléndez en su área de ingreso, que tuvo lugar a partir de la incertidumbre que generaba ver la gran cantidad de gente que se acumulaba frente a los torniquetes alrededor de las horas donde las personas parten para realizar su rutina diaria.

El principal objetivo fue proponer alternativas de diseño para tratar esta problemática, de acuerdo con esto se buscó determinar una hora pico de tráfico peatonal en esta plataforma para así realizar varias visitas de campo y medir indicadores que permitieran realizar un diagnóstico de la situación actual de la estación en cuanto a la eficiencia de los torniquetes de entrada.

Con estos indicadores y el uso de *La Teoría de Colas* se realizó una evaluación del nivel de servicio de los torniquetes, encontrando que en el momento de mayor congestión estos tuvieron un factor de utilización de 76%, además de acuerdo a lo visto en campo se apreció como la congestión en el ingreso era generada por que las personas llegaban a la estación en grupos y que esta característica en la llegada era la principal causa de la congestión.

Posteriormente se generaron escenarios donde se aumentó la demanda para ver con que cantidad de peatones el sistema no sería capaz de dar abasto, además se realizó un estudio poblacional para determinar una aproximación del año en el cual se podrían cumplir estos escenarios que resultó ser 2020. Habiendo estresado al máximo el sistema en los escenarios se procedió a proponer soluciones para la congestión en los torniquetes.

**Introducción:** Debido al constante crecimiento poblacional en el mundo y más específicamente en ciudades grandes como lo pueden ser Bogotá, Medellín o Cali se han desarrollado sistemas de transporte público que permitan movilizar a tantas personas a lo largo de la ciudad. Uno de esos sistemas que trabaja en la ciudad de Cali es el **Sistema de Integrado de Transporte Masivo MIO**, el cual

ayuda a movilizar a los ciudadanos en sus viajes diarios hacia su trabajo y de regreso, pero en ocasiones ciertos módulos del SITM-MIO pueden no ser totalmente eficientes, como por ejemplo en el ingreso a las estaciones que en ocasiones se pueden llegar a congestionar. Para ello se realiza este estudio en el cual se analiza como es el nivel de servicio en la entrada a la estación de Meléndez de SITM-MIO,

empezando por medir los indicadores necesarios para diagnosticar cual es la condición presente en la estación con datos claros, después evaluar la efectividad de las instalaciones y proponer escenarios que estresen la situación actual de la estación hasta el punto de colapso y modelarlos, con el fin de proponer un diseño que corrija la situación en este punto.

**Fundamentación teórica:** Se decidió trabajar con la “teoría de colas” que es una herramienta importante para la solución de esta congestión, demoras y colas, para determinar el nivel de servicio en el ingreso a la estación. Para este fin se debe conocer el patrón de llegada de los clientes o usuarios, que en este caso se refiere a las personas que van a usar los torniquetes de entrada, el patrón de servicio de los servidores (torniquetes), la disciplina de la cola dictara cómo se comporta la línea de espera y el número de canales de servicio.

Para caracterizar el tipo de sistema que se va a estudiar se utiliza la Notación Kendall explicada por el *Dr Mark Spearman*,

A/ B/ m/ b

Donde A es la distribución de los intervalos de tiempos de llegada, B describe la distribución del tiempo de servicio, m es el número de estaciones de servicio y b es el máximo de llegadas al sistema. De igual modo los intervalos de tiempo y la distribución de tiempo de llegada típicamente son descritos por una distribución constante denotado con la letra D, exponencial denotada con la letra M y completamente general, denotado con la letra G.

Luego la fórmula utilizada para trabajar el problema de colas de la estación que es de caso G/G/3 es Formula de Kingman, la cual combina los métodos empleados para los casos M/ M/ m y coeficientes de variación entre llegadas al sistema ( $C_a$ ) y

la variación en el tiempo de servicio ( $C_p$ ), optimizando de esta manera el casi exponencial.

*Ecuación (1). Formula de Kingman.*







$$W_Q \cong \left( \frac{C_a^2 + C_p^2}{2} \right) * \left( \frac{\theta^{\sqrt{2*(c+1)}-1}}{c * (1 - \theta)} \right) * \frac{1}{\mu}$$

*Fuente: Presentación de Francisco Muñoz Prado. Simulación.*

Donde:

- $W_Q$  es el tiempo de espera en la cola.
- $C_a$  es el coeficiente de variación de los tiempos de llegadas del sistema.
- $C_p$  es el coeficiente de variación de los tiempos de salidas del sistema.
- $C$  es el número de servidores en paralelo.
- $\theta$  o  $\rho$  es el factor de utilización
- $\mu$  es el número de servicios por unidad de tiempo.

En complemento de decidió utilizar el *Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y transporte* para determinar el nivel de servicio del vagón de espera, que se determina midiendo el espacio efectivo por peatón y clasificándolo según la figura *Nivel de servicio para zonas de espera*.

<p>LOS A Average Pedestrian Space &gt; 1.2 m<sup>2</sup>/p Standing and free circulation through the queuing area is possible without disturbing others within the queue.</p>	
<p>LOS B Average Pedestrian Space &gt; 0.9-1.2 m<sup>2</sup>/p Standing and partially restricted circulation to avoid disturbing others in the queue is possible.</p>	
<p>LOS C Average Pedestrian Space &gt; 0.6-0.9 m<sup>2</sup>/p Standing and restricted circulation through the queuing area by disturbing others in the queue is possible; this density is within the range of personal comfort.</p>	
<p>LOS D Average Pedestrian Space &gt; 0.3-0.6 m<sup>2</sup>/p Standing without touching is possible; circulation is severely restricted within the queue and forward movement is only possible as a group; long-term waiting at this density is uncomfortable.</p>	
<p>LOS E Average Pedestrian Space &gt; 0.2-0.3 m<sup>2</sup>/p Standing in physical contact with others is unavoidable; circulation in the queue is not possible; queuing can only be sustained for a short period without serious discomfort.</p>	
<p>LOS F Average Pedestrian Space ≤ 0.2 m<sup>2</sup>/p Virtually all persons within the queue are standing in direct physical contact with others; this density is extremely uncomfortable; no movement is possible in the queue; there is potential for panic in large crowds at this density.</p>	

*Nivel de servicio para zonas de espera.*

*Fuente: HCM 2000.*

**Resultados:** Inicialmente se buscó determinar la hora pico en la estación, es decir la hora de mayor tráfico de personas encontrando el rango de 6:30 A.M. a 7:30 A.M, por ello las mediciones en campo se llevaron a cabo entre en un rango de dos horas que tuvieran este rango incluido.

Ya en campo y de acuerdo a la literatura consultada se prosiguió a hacer la medición de los indicadores que darían a conocer en qué condiciones estaba la congestión en la estación. Para el área de ingreso a la estación se necesitaba medir la “tasa de llegada”, que se midió contando las personas que llegaban a la estación en periodos de dos minutos y luego con esos valores determinar el número de ingresos por minuto. Además de la “tasa de servicio” la cual se midió cronometrando el tiempo que le tomaba a los usuarios pasar el torniquete desde que pasaban la tarjeta de MIO por el escáner hasta que este daba la señal luminosa de que podía volver a ser utilizado, con el fin de determinar la cantidad de personas que pasan por el torniquete por minuto.

Luego para medir el nivel de servicio en la plataforma de espera se necesitó medir las dimensiones de la estación en metros

cuadrados, así como la cantidad de personas que se encontraban en la zona de espera en los momentos de mayor congestión.

Ahora habiendo organizado los datos se prosiguió a hacer el análisis del nivel de servicio de la estación empezando por el área de entrada. Se empleó la **Fórmula de Kingman**.

*Análisis de colas, mayo 4 de 2016.*

SITUACION CRITICA PARA MAYO 4 DE 2016	
$\bar{X}$	64
$\mu$	14
$\lambda$	32
# de torniquetes k	3
$\rho$	0,762
Ca	4,7
Cp	0,47
WQ [min]	1,36
WQ [seg]	81
WS [min]	1,43
WS [seg]	86
Ls [usuarios]	46
LQ [usuarios]	43

*Fuente. Elaboración propia.*

Los resultados del análisis de datos recolectado utilizado la **Fórmula de Kingman** fueron los mostrados en la tabla anterior, *Análisis de colas mayo 4 de 2016*, que se obtuvo al utilizar el periodo de diez minutos más crítico encontrado y aplicarlos a la formula, los datos más importantes obtenidos fueron el **factor de utilización ( $\rho$ )** que expresa que en el momento más crítico los torniquetes trabajaron en un 76% y el **tiempo de espera en cola promedio (WQ)** que fue de 1 min 21 segundos. Principalmente el factor de utilización nos muestra que la estación no está trabajando a su total capacidad si ni a un 76% en el momento más crítico medido.

En cuanto al interior de la estación se encontró que el área de espera era de aproximadamente 52,5 m2 y que en su momento más congestionados habían

alrededor de 115 peatones. Por lo tanto, según el “Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y transporte”, el área efectiva por peatón es de 0,58 M2 por peatón lo cual lo pone a un nivel de servicio **tipo D** que quiere decir que la movilidad es reducida y la comodidad del usuario es baja.

Posteriormente tomando los datos de los 10 minutos se realizaron escenarios más críticos aumentando la llegada de usuarios de manera que se estresara el sistema y se realizó un estudio poblacional de la zona para, de acuerdo a información de tasas de crecimiento de la comuna 18 aledaña a la estación de Meléndez, determinar el año aproximado en el cual haya esta demanda.

El escenario numero dos tuvo la demanda crítica medida aumentada en un 10%, el **factor de utilización ( $\rho$ )** fue de 84% y el **tiempo de espera en cola promedio (WQ)** de 2 min 23 segundos para este escenario, que es tiempo suficiente para perder la ruta principal T31 por estar esperando en cola y se determinó que se podría llegar a cumplir en el año 2020.

Escenario 2, mayo 4 de 2016.

SITUACION CRITICA PARA MAYO 4 DE 2016	
CRECIMIENTO	10%
$\bar{X}$	70
$\mu$	14
$\lambda$	35
# de torniquetes k	3
$\rho$	0,838
Ca	4,7
Cp	0,47
WQ [min]	2,38
WQ [seg]	143
WS [min]	2,45
WS [seg]	147
Ls [usuarios]	86
LQ [usuarios]	84

Fuente. Elaboración propia.

Como solución final para el problema de servicio en el escenario 2 propuso el abrir la parte final de la estación y habilitar otros 3 torniquetes para el ingreso de usuarios y al momento de simular estos fueron los resultados.

Modelación situación crítica mayo 4 de 2016. k=6

MODELACIÓN SITUACIÓN CRÍTICA MAYO 4 DE 2016	
CRECIMIENTO	10%
$\bar{X}$	70
$\mu$	14
$\lambda$	35
# de torniquetes k	6
$\rho$	0,419
Ca	4,7
Cp	0,47
WQ [min]	0,04
WQ [seg]	3
WS [min]	0,11
WS [seg]	7
Ls [usuarios]	4
LQ [usuarios]	1

Fuente. Elaboración propia.

**Discusión y Conclusiones:** De acuerdo a los resultados de las mediciones y cálculos referentes a la actualidad, la estación no está presentando ningún tipo de problema para procesar la demanda que hay en estos momentos, la principal razón del congestionamiento es la llegada en grupos de usuarios. Por otro lado, estresando el sistema con la ayuda de escenarios pudimos llegar a la conclusión que aproximadamente en el año 2018 es posible que aumente demasiado el tiempo de espera en cola tomando en cuenta el intervalo de tiempo que hay entre llegada de la ruta T31, para esto la solución final propuesta mejora la situación enormemente reduciendo el tiempo de espera drásticamente y dándole aproximadamente 20 años más de utilidad a la estación.

## Referencias:

- Burgos, F. A. (2010). Flujos peatonales en infraestructuras continuas: marco conceptual y modelos representativos. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, 29, 179-203. Obtenido de <http://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/view/77/159>
- Ryus, P. (2003). *Transit Capacity and Quality of Service Manual*.
- Rodriga Barbosa, A. R. (1995). Teoría de colas de espera: modelo integral de aplicación para la toma de decisiones. *Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte.*, 73-78.
- Ontiveros, A. A. (2000). Simulaciones multiagentes de ambientes urbanos. *Vetas*, 205-223.
- Santana, I. (2009). Modelacion y simulacion de la dinamica de peatones usando autómatas celulares con condiciones de frontera abiertas y periodicas (Tesis de maestria). Instituto politecnico nacional, México D.F.
- Aguilera, R. F. (2014). *Temas de ingenieria y gestion de trancito*. Santiago de Chile: RiL editores.
- Qi, Z., Baoming, H., & Dewei, L. (2008). Modeling and simulation of passenger alighting and boarding movement in Beijing metro stations. *Transportation research part c: emerging technologies*, 635–649.
- Usher, J. &. (2010). Simulating operational behaviors of pedestrian navigation. *Computers & industrial engineering*, 736-747.
- Usher, J., McCool, R., & Strawderman, L. (2012). Simulation of indoor pedestrian traffic.
- Williams, M., Van Houten, R., & Blasch, B. (2006). Recognition distance of pedestrian traffic signals by individuals. *Journal of rehabilitation research & development*, 771-776.