

# **PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL DESPEJE DE PASAJEROS EN ESTACIONES DE METRO MEDIANTE SIMULACIÓN PEATONAL**

Tamara Pino, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso  
[tamara.pinomilla@gmail.com](mailto:tamara.pinomilla@gmail.com)  
Alejandra Valencia, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso  
[alejandra.valencia@pucv.cl](mailto:alejandra.valencia@pucv.cl)

## **RESUMEN**

El objetivo de este trabajo es plantear un diseño en estaciones de metro, para facilitar el despeje de pasajeros en los andenes en horas punta. Se realiza un caso estudio de simulación con el microsimulador VISSIM en la Estación Central, de la Línea 1 de Metro de Santiago. La simulación arrojó que la disposición del espacio de las plataformas y sus conexiones con el resto de la estación puede disminuir los niveles de servicio hasta en 2 categorías y cerca de un 5% los tiempos de viaje dentro de la estación, además de mostrar posibilidades de reducir las demoras por detención de los trenes.

Palabras claves: estaciones de metro, microsimulación peatonal, infraestructura de transporte.

## **ABSTRACT**

The objective of this work is to propose a design in subway stations, to facilitate the clearance of passengers on the platforms at peak times. A simulation case study is carried out with the VISSIM microsimulator in the Estación Central, of Line 1 of the Santiago Metro. The simulation showed that the layout of the platform space and its connections with the rest of the station can reduce Level of Service by up to 2 categories and travel times within the station by about 5%, in addition to showing possibilities of reduce delays for stopping trains.

Keywords: subway stations, pedestrian microsimulation, transport infrastructure.

## **1. INTRODUCCION**

La gran cantidad de pasajeros que moviliza Metro de Santiago ha significado un impacto en todas las líneas de la red, siendo la línea 1 la más afectada. Este impacto se ve reflejado con mayor énfasis en las horas punta mañana y tarde, donde los carros alcanzan una densidad de 6 pax/m<sup>2</sup> y los andenes de muchas estaciones se encuentran similarmente congestionados, produciendo conflictos en la movilidad de los usuarios dentro de la estación y entre los pasajeros que quieren subir y bajar del ferrocarril, ya que al momento de producirse la transferencia de usuarios entre tren-andén y viceversa, hay un instante en que la cantidad de pasajeros por metro cuadrado en el andén aumenta, debido a la suma de los usuarios que descienden de los trenes (Tirachini et al, 2013). Esta situación ha generado variables tiempos de permanencia del ferrocarril en las terminales en hora punta, inestabilidad en los tiempos de viaje y en algunos casos, largas esperas para poder abordar un tren por parte de los pasajeros. Lo anterior, se traduce en un bajo nivel de servicio y prolongados tiempos para que se produzca el despeje de los andenes, lo que mantiene una saturación que puede considerarse peligrosa en materia de seguridad o evacuación de una estación. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es plantear un diseño en estaciones de metro, para facilitar el despeje de pasajeros en los andenes en horas punta. Se realiza un caso estudio de simulación con el microsimulador VISSIM en la Estación Central, de la Línea 1 de Metro de Santiago

En el siguiente capítulo se especifican algunos antecedentes de la revisión bibliográfica. El capítulo 3 describe la metodología, el capítulo 4 la situación actual de la estación, el capítulo 5 el diseño propuesto de solución y finalmente, se hace las conclusión y comentarios sobre el trabajo realizado.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA**

### **2.1 Comportamiento de peatones**

Se observa una gran cantidad de casos a nivel de estudio microscópico y macroscópicos del comportamiento de peatones como los descritos en los trabajos de Teknomo (2006), Fruin (1971) y Helbing y Molnár (1997), donde cada uno de ellos, puede ser llevado al comportamiento en estaciones de metro que se estudia en este trabajo, destacándose principalmente la formación de carriles en los pasillos de las estaciones de metro (Helbing y Molnár, 1997) y el comportamiento de cuello de botella (Fujiyama et al, 2017), que usualmente se forma frente a las puertas de los trenes cuando existe aglomeración. Todos estos comportamientos pueden verse afectados no solo por factores propios de las personas, sino también por las características del entorno, ya sean físicas o climáticas (Rail Safety and Standards Board, 2008), por lo que es importante identificar las cualidades de la estación que se estudia, para poder comprender algunas conductas, que abarca la densidad y el espacio personal presente en cada usuario (Fruin, 1971).

Por otro lado, Stokols (1972) detalla la diferencia entre densidad y hacinamiento, donde este último concepto es subjetivo ya que depende de la percepción de los pasajeros, concluyendo que debe considerarse aumento de espacios y mayor observación sobre la tensión existente en los usuarios. El trabajo de Cox et al (2006), investiga la relación entre densidad y estrés, concluyendo que este último puede depender de más factores, sin embargo, diseños inadecuados en los lugares concurridos pueden inducir a molestias en los pasajeros. Por lo tanto, es un elemento que urge ser considerado al momento de realizar medidas de mitigación para las estaciones de metro existentes y futuras.

## **2.2 Diseño de estaciones ferroviarias**

Los modelos de capacidad de estaciones de transferencia (TRB, 2000), muestran una dependencia de la cantidad de pasajeros que hacen uso de las plataformas y los tiempos que tardan en realizar la subida y bajada del vehículo, lo que está directamente relacionado con la interacción que se da entre usuarios. Por lo tanto, el diseño de estaciones ferroviarias a nivel nacional e internacional, cuentan con manuales para sus diseños, donde llama la atención que en Chile no existe una constante actualización del manual REDEFE (2003), correspondiente a regular esta disciplina, abarcando criterios de dimensionamiento simples en comparación con el caso de Inglaterra (London Underground, 2012), donde se observa que además de una renovación periódica en los manuales, existe una mayor cantidad de criterios para dimensionar cada uno de los elementos de las estaciones, siendo elaborados de una forma más compleja. Sin embargo, un punto en común entre ambos casos es el uso de los niveles de servicio establecidos por Fruin (1971), para realizar los criterios de dimensionamiento mencionados.

## **2.3 Funcionamiento de estaciones de metro**

El funcionamiento de las estaciones de metro está directamente relacionado al comportamiento de los peatones en ellas y estos tiempos dependen de la variación de las características físicas del entorno, diferencias de altura entre puertas y andenes, estructura interna del vehículo, ancho de las puertas y el tipo de operación en el uso de puertas, ya sea simultáneo o sucesivo (Fernández et al, 2008).

También podríamos preguntarnos si el ancho de puertas influye en el despeje de las estaciones. Harris et al (2014), se centra en analizar el impacto del ancho de puertas en los vehículos ferroviarios, con respecto a la rapidez en la transferencia de pasajeros, donde es de esperar que a mayor ancho mayor sea la eficiencia. Sin embargo, Fernández et al (2015), analizaron la variación del flujo de saturación de pasajeros en puertas de metro según distintas medidas en las variables de altura y ancho de la puerta, siendo esta definida en un ancho óptimo de 1.650 milímetros para trenes. Mientras que la altura que separa la puerta de la plataforma idealmente debiera ser de 150 milímetros, ya que se observó que disminuye el tiempo de bajada de los pasajeros. Ambos estudios, permiten corroborar que los impactos significativos no provienen del ancho de puertas propiamente tal, resultado que se asemeja al visto en el trabajo de Helbing y Molnár (1997). Sin embargo, las medidas de este tipo y como las mencionadas en el estudio de Fernández et al (2015), pueden considerarse de forma complementaria a las medidas que conciernen al comportamiento de los pasajeros en la plataforma.

Estudios han demostrado la importancia del diseño de las plataformas para la capacidad de transferencia de pasajeros, ya que no es necesario aumentar el volumen de la estación para dar soluciones a la movilidad y despeje de los usuarios en los andenes (López, 2016). Adoptar distintos diseños pueden relacionarse con el tiempo de servicio de pasajeros, como en el caso de medidas que permitan un uso simultáneo de ambas puertas al costado del metro. Algunas estrategias para modificar el comportamiento de pasajeros en los andenes, es la retención de puertas de metro descrito en el trabajo de Coxon et al (2010). Este estudio permite considerar además, ideas respecto a un cambio en el comportamiento de pasajeros en la plataforma y tiene cierta similitud

con el estudio de cruce de peatones realizado por Teknomo (2006) en el cual se establece que un flujo unidireccional tiene mayor velocidad que uno bidireccional, por lo que se ultima que para este trabajo debe considerarse ubicar “obstáculos” para los peatones en zonas estratégicas, de forma que se logre disminuir los conflictos entre flujos opuestos.

Por lo tanto, es necesario el estudio de la dinámica de los flujos peatonales donde su principal objetivo debe ser desarrollar medidas de control que guíen a los peatones en los centros de transporte, mejorando la dinámica de los flujos y manteniendo niveles de servicio adecuados en todos los espacios (Molyneaux et al, 2017). En el manejo y gestión de multitudes en estaciones de metro, se destacan los trabajos realizados por Mensink (2017) y Seriani (2018). El estudio y trabajo realizado por Mensink (2017), tiene como objetivo crear y proponer un marco que permita seleccionar y evaluar las distintas medidas que existen para gestionar multitudes, con el fin de aumentar la seguridad y rendimiento. Por otra parte, en la investigación realizada por Seriani (2018), se analizan los efectos que tienen, en el comportamiento e interacción de los peatones, las puertas en el borde de la plataforma (PEDs), donde se instauró la incorporación del concepto “Zona de conflicto de la plataforma”, cuyo objetivo es evaluar comportamientos peatonales y la interacción de estos, según el diseño interno de las estaciones de metro, mediante la determinación de cuál es la parte más congestionada del andén.

Analizando todos los resultados en conjunto, se determinó que las medidas que ayudan a indicar la posición de las puertas del tren modifican el comportamiento de usuarios al motivarlos a desocupar los espacios frente a las puertas del tren, reduciendo la interacción entre pasajeros que suben y bajan, más aún en escenarios de alta demanda o hacinamiento en plataformas. Además, confirman que la presencia de PEDs, no impactan negativamente en el tiempo de subida y bajada, por lo que no debiera estar en duda su uso basándose en este punto. Por lo tanto, la utilidad de estos estudios, sirven como guía de selección de medidas que ayuden a gestionar multitudes en estaciones de metro, dependiendo de los tipos de diseños que se quieran implementar. En el caso de lo aportado por Mensink (2017) y considerando que la implementación de PEDs no posee efectos negativos de alto impacto en cuanto a un aumento en el tiempo de servicio, por lo que puede ser analizado dentro de las medidas de gestión de multitudes, según la demanda existente en la estación con la que se trabajará, según lo aportado por Seriani (2018).

### **3. METODOLOGIA**

Dado que es complejo efectuar mejoras relacionadas con el aumento de la capacidad de los trenes, o pretender disminuir o mantener la demanda, se busca plantear propuestas para una terminal en específico, relacionadas al diseño de los andenes y/o estación, que se adecúe al funcionamiento y limitantes físicas del entorno, y que permita facilitar el proceso de transferencia de pasajeros entre andén y tren, además de la movilidad dentro de la terminal, disminuyendo la congestión en los andenes e implicando un mayor despeje de estos espacios. De esta forma, logrando resultados favorecedores, pueden realizarse o replicarse propuestas o recomendaciones de diseño para otras estaciones a futuro, que puedan hacer frente al constante aumento de la población y, por lo tanto, del aumento de demanda de este medio de transporte.

El análisis abarca la aplicación de diversos diseños existentes de estaciones de metro, implementados nacional e internacionalmente, centrándose en las zonas de espera y su conexión con el resto de la estación, para evaluar cómo varía el comportamiento de los usuarios en cada

situación. Por este motivo, se estudia la teoría existente en diversas temáticas, en el campo nacional e internacional, considerando los elementos o ideas más relevantes de cada uno para la elaboración de la solución. Primeramente, se realiza un análisis de la situación actual, según los datos obtenidos mediante mediciones efectuadas en horario punta mañana de frecuencia de trenes, subida y bajada de pasajeros, llegada de pasajeros al andén cada 15 min y el diseño de las características físicas de la estación, se efectúa la simulación con el software VISSIM 7, a través de la herramienta VISWALK.

Para proceder a realizar un diseño adecuado según las características propias de la estación, se hará uso del Manual REDEFE (2003), se revisaron las bases técnicas de licitación de Metro de Santiago, además del estudio de los manuales extranjeros referidos al tema y los contextos y diseños de estaciones de metro externas, como: EEUU, Inglaterra, entre otros. Por otra parte, en forma simultánea a lo descrito, se realizaron los estudios de densidad y comportamiento peatonal según las teorías e investigaciones existentes. Teniendo en consideración todos estos factores, se creará el diseño que se considere más adecuado para la estación.

Finalmente se usará la información recopilada para ingresar los datos necesarios, relacionados a los pasajeros, en la simulación con VISSIM, pero con el diseño propuesto implementado en la simulación. De esta manera, se analizarán los nuevos resultados sobre el funcionamiento y se evaluarán las posibles mejoras que se presenten.

#### 4. SITUACIÓN ACTUAL DE LA ESTACIÓN

##### 4.1 Descripción de la estación y medición de datos

En el siguiente punto se expondrá el detalle de la modelación de la estación de metro escogida para efectuar el trabajo que corresponde a Estación Central, la cual se encuentra ubicada junto al terminal ferroviario que lleva el mismo nombre. Se destaca por ser una estación muy concurrida durante todo el año, debido a la presencia del terminal ferroviario mencionado, a la cercanía que tiene con el terminal de buses San Borja y a la amplia variedad de comercio que existe en su exterior. La estación es singular, es decir, no representa una combinación con otra línea de la red de metro. Su estructura se basa en 2 andenes laterales, 4 escaleras y 2 escaleras mecánicas. En las Figuras 1 y 2 se puede observar el layout de la estación, donde fueron medidos todos los elementos de la plataforma y escaleras.

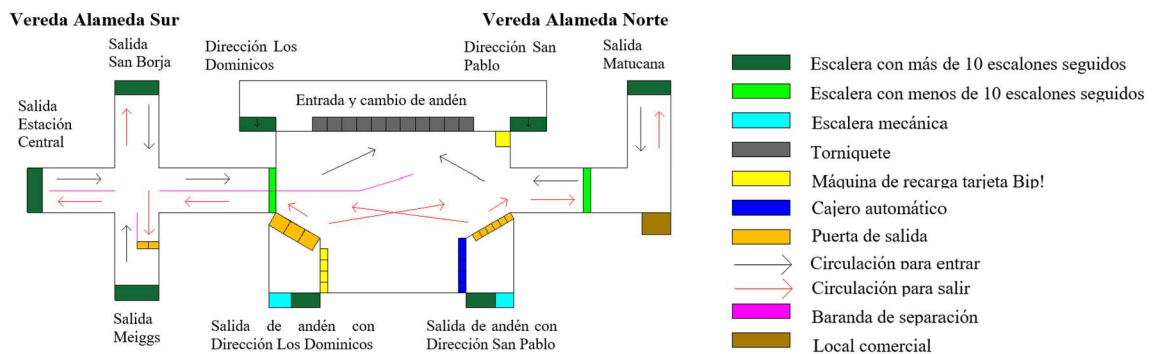


Figura 1. Accesos y mesanina de Estación Central

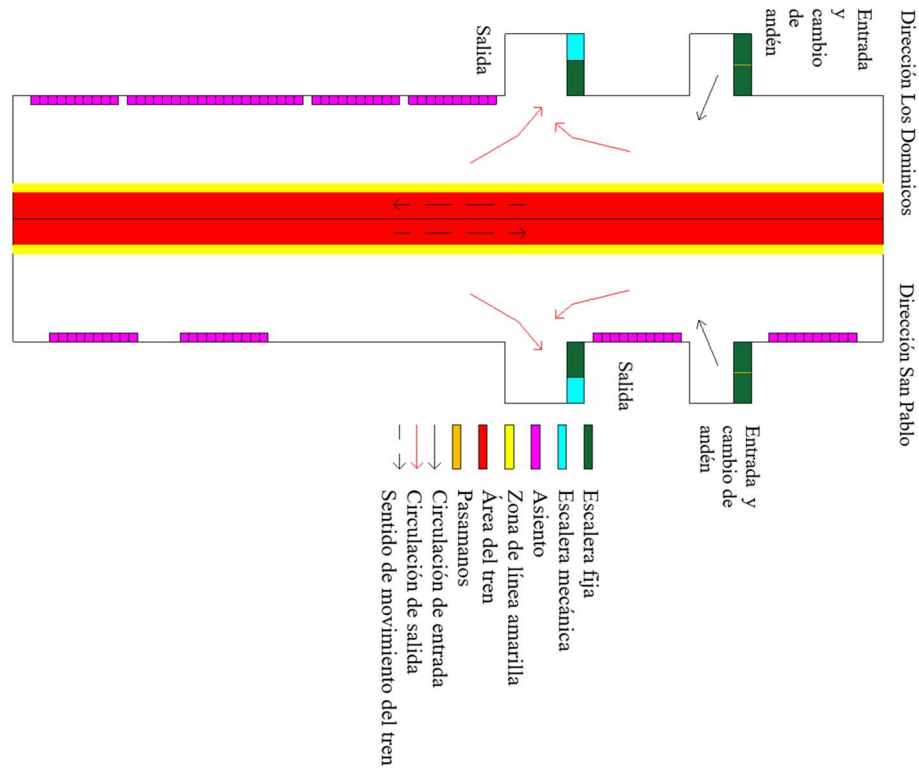


Figura 2. Esquema de andenes de Estación Central

Para la recolección de los datos que permiten simular la situación actual de la estación, se realizaron mediciones de flujo de pasajeros en la hora punta mañana (07:00-08:00) en 2018, además de control de frecuencias y tiempos de permanencia del tren en la estación. Todos ellos realizados para cada andén en los días definidos por REDEVU (2009), correspondientes a los días martes y jueves. Los flujos de entrada de pasajeros fueron medidos de manera presencial, dos veces por andén (dos martes y dos jueves) y de dos formas: contando a los pasajeros que ingresaban por la escalera de entrada y totalizando cada 15 minutos para completar el periodo de una hora y cada 1 minuto para determinar cada cuanto se producen los pelotones más densos de personas entre el período de medición. En la Figura 3 se observa la variación de ingreso a la plataforma en el tiempo, obteniendo que los peaks de pasajeros se dan aproximadamente cada 10 minutos y por consiguiente aumentan las densidades según esta “frecuencia” de pasajeros. Los resultados de las mediciones efectuadas se resumen en promedio en la Tabla 1.

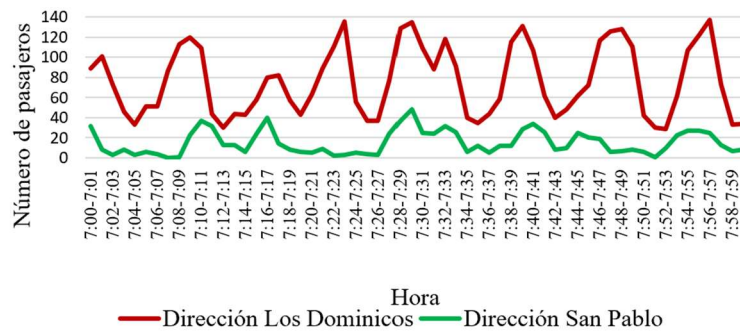


Figura 3: Ingreso de pasajeros a andenes por minuto

Tabla 1: Resultados de las mediciones

Tipo de medición	Dirección Los Dominicos	Dirección San Pablo
Flujo de entrada	4.611 pas/h	913 pas/h
Pasajeros que <b>suben</b> por puerta más cercana a la entrada	10 pas/puerta	6 pas/puerta
Pasajeros que <b>suben</b> por puerta más cercana a la salida	6 pas/puerta	1 pas/puerta
Flujo de salida	854 pas/h	2.459 pas/h
Pasajeros que <b>bajan</b> por puerta más cercana a la entrada	1 pas/puerta	2 pas/puerta
Pasajeros que <b>bajan</b> por puerta más cercana a la salida	3 pas/puerta	8 pas/puerta
Pasajeros con dificultad para moverse de forma normal que ingresan a plataformas	3 pas/min	2 pas/min
Frecuencia de trenes	106 s	134 s
Tiempo que las puertas del tren permanecen abiertas	27 s	21 s
Trenes que circulan	34 tren/h	27 tren/h

## 4.2 Modelación de la estación en VISSIM

La simulación se realiza a través del microsimulador VISSIM 7, con la extensión de la herramienta VISWALK que permite simular de forma microscópica el comportamiento de los peatones y se basa en el modelo de fuerza social de Helbing y Molnár, (1997). La calibración de los parámetros se basó principalmente en la medición de la cantidad de personas, por puerta, que no alcanza a subir al tren y en asignar velocidades peatonales que varían en escaleras y zonas de espera, bajo el supuesto que las personas alcanzan una velocidad de 1,4 m/s aproximadamente, al ir con prisa a sus lugares de trabajo o estudio. El layout de la estación se encuentra representado en la Figura 4.

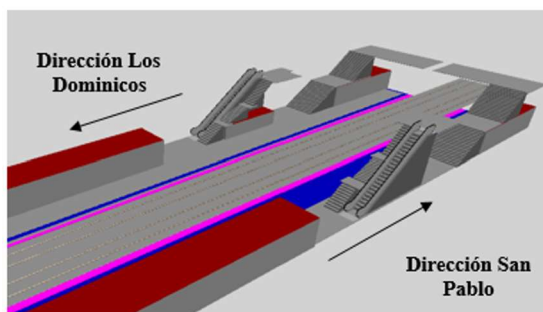


Figura 4: Layout de Estación Central

En cuanto a la capacidad de los trenes, el programa no permite mezclar tipos de ferrocarriles durante las frecuencias, por lo que se realizó un promedio entre las capacidades de los trenes Alstom (1.222 pasajeros en promedio), y luego se calculó la media entre estos y los trenes CAF (1.500 pasajeros), resultando en una capacidad de 1.361 pasajeros por tren para ser utilizada en la simulación, ingresándola como la capacidad total del tren representado en VISSIM.

Para representar la situación actual, se estableció que los pasajeros descienden del tren de manera uniforme a lo largo del vehículo y que la preferencia de caminata según lo observado en terreno fue caminar por el lado derecho de las áreas peatonales y una elección de rutas estáticas, es decir, un valor fijo para la cantidad de personas que utilizan escalera mecánica y fija para salir del andén, lo que explica las dos últimas filas de la Tabla 2, que resume los datos de entrada de la simulación.

Tabla 2: Datos de entrada al programa VISSIM

Parámetro	Dirección Los Dominicos	Dirección San Pablo
Capacidad de tren	1.361 pas	
Frecuencia de trenes	106 s	134 s
Porcentaje de descenso del tren	2,7%	11,8%
Tiempo de subida al tren por pasajero	2,2 s	
Tiempo de bajada del tren por pasajero	1,5 s	
Ingreso de peatones a andén	4.596 pas/h	914 pas/h
Velocidad peatonal	1,37 m/s	
Velocidad peatonal en escalera	1 m/s	
Porcentaje de personas que salen por escalera mecánica	90%	71,4%
Porcentaje de personas que salen por escalera fija	10%	28,6%

Por otra parte, para la calibración, el único dato cuantitativo que estaba al alcance de ser medido, y posteriormente comparar, era el número de personas que no podían abordar el tren debido a su ocupación. Para esto, primero se realizó una medición en terreno, que constó en dividir el tren en 6 partes, como se muestra en la Figura 5 a modo de ejemplo, dada la dificultad que implica observar lo que sucede en las más de 20 puertas que contienen en promedio estos vehículos.

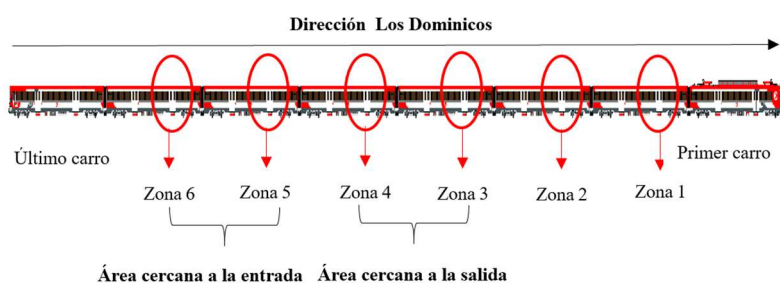


Figura 5: División del tren para conteo de pasajeros sin abordar

Para calibrar la simulación fue necesario modificar la ocupación del tren, hasta que las cantidades de pasajeros sin abordar resultaran similares a las observadas en la realidad. Luego de efectuar varias simulaciones, se puede observar en la Tabla 3 los pasajeros que no alcanzan a abordar de los datos medidos en terreno y los calibrados.

Tabla 3: Pasajeros por puerta que no alcanzan a abordar tren con dirección a Los Dominicos (Observación en terreno y simulación)

Zona del tren	Z 1	Z 2	Z 3	Z 4	Z 5	Z 6	Promedio de pasajeros por puerta
Promedio de pasajeros por puerta en cada zona del tren [pax]	1 (1)	1 (1)	1 (1)	1 (1)	3 (3)	6 (5)	2 (2)

Nota: Los valores entre paréntesis corresponden a la calibración

### 4.3 Resultados simulación actual

Los resultados de la simulación para densidades y operación se observan en la Tabla 4. A modo de explicar sus valores, la primera columna representa el máximo valor de densidad alcanzado en un



período de 5 minutos dentro de las 7:00 y las 8:00 de la mañana en las 3 áreas de mayor ocupación, donde las 2 primeras corresponden a zonas cercanas a la entrada, y la tercera al promedio total del andén con dirección a Los Dominicos (LD), alcanzando un nivel de servicio (NS) D, D y C respectivamente, según la clasificación de Fruin (1971). El resultado para las escaleras corresponde a la de salida del andén con dirección a San Pablo (SP), la escalera de entrada con dirección a Los Dominicos y la escalera mecánica de salida con dirección a Los Dominicos, en las cuales se alcanza un nivel de servicio D, C y B respectivamente, según la clasificación para escaleras. Por otra parte, el valor máximo de los tiempos promedio de viaje dentro del área analizada de la estación supera el minuto (siendo el tiempo que transcurre desde que aparece el peatón en la simulación hasta que se detiene para esperar el tren), el máximo de demora total de los trenes en la estación se encuentra cercano a los 60 segundos, y la “capacidad” de la estación se encuentra bordeando los 6 trenes durante 5 minutos, sumando los vehículos que alcanzan a circular en dirección Los Dominicos y dirección San Pablo.

Analizando toda la información en conjunto, puede establecerse que una de las razones que logra explicar los niveles de servicio alcanzados en las escaleras, es la falta de opciones de ruta entre la mesanina y los andenes, concentrando a la mayoría del flujo en estos elementos. Mientras que, en el andén con dirección a Los Dominicos, deben generarse medidas que sean capaces de gestionar la aglomeración que comienza a notarse. Además, las soluciones deben incluir alternativas que faciliten la conexión entre mesanina y andén para personas con movilidad reducida

Tabla 4. Resultados de la situación actual en VISSIM

Peatones						Vehículos		
Máximo valor alcanzado en período de 5 minutos								
Densidad (Área) [peat/m <sup>2</sup> ]		NS	Densidad (Escalera) [peat/m <sup>2</sup> ]		NS	Tiempo promedio de viaje [s]	Demora total [s]	Llegada de vehículos [tren]
1° área cercana a entrada LD	0,97	D	Escalera mecánica salida SP	1,47	D	66,07 (LD y SP)	57,37 (LD y SP)	6 (LD y SP)
2° área cercana a entrada LD	0,86	D	Escalera entrada LD	0,84	C			
Andén LD	0,61	C	Escalera mecánica salida LD	0,61	B			
Promedio de <b>todos</b> los elementos durante toda la hora (LD y SP en conjunto)								
Áreas	0,124 [peat/m <sup>2</sup> ]		Escaleras	0,264 [peat/m <sup>2</sup> ]		61,26 [s]	49,98 [s]	61 [tren/hr]

## 5. DISEÑOS PROPUESTOS DE SOLUCION

En este capítulo se detallan las dos propuestas de diseño realizadas para Estación Central con sus respectivos resultados según los indicadores establecidos en el capítulo anterior, donde finalmente se evalúa cuál de ellos es el más conveniente desde un punto de vista de disminución de densidades y tiempos.

### 5.1 Diseño 1: más rutas peatonales mediante nivel intermedio entre mesanina y andén

El primer diseño (ver Figura 6 y 7), se caracteriza por la implementación de un nivel intermedio entre la mesanina y los andenes, que contiene una altura de 3,7 metros respecto del nivel de las plataformas, manteniendo una distancia de 1,5 metros, aproximadamente, con el techo del tren y de 2,2 metros respecto de la mesanina. Esto permite agregar más escaleras mecánicas (18) y fijas (4) para ofrecer una mayor cantidad de rutas de ingreso y salida a los pasajeros, dejando a elección del peatón la ruta a considerar. Por otra parte, se debe destacar que debiesen existir ascensores para facilitar la circulación de personas con movilidad reducida. Sin embargo, la versión utilizada de VISSIM no incluye estos elementos, por lo que fueron reemplazados con una mayor cantidad de escaleras mecánicas.

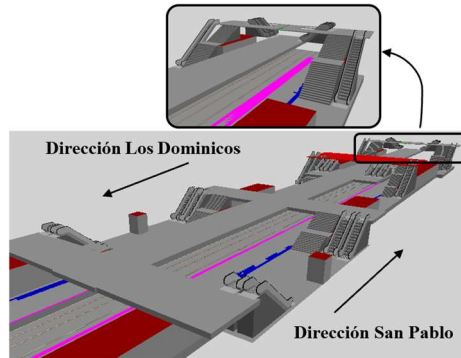


Figura 6: Primer diseño propuesto para Estación Central

La densidad en los andenes y el nivel intermedio de este nuevo diseño, se muestra la Figura 10, donde se puede apreciar, que este diseño produce que la densidad se encuentre más distribuida a lo largo de las plataformas, descomgestionando las zonas de mayor uso que se observaban en el layout de la situación actual.

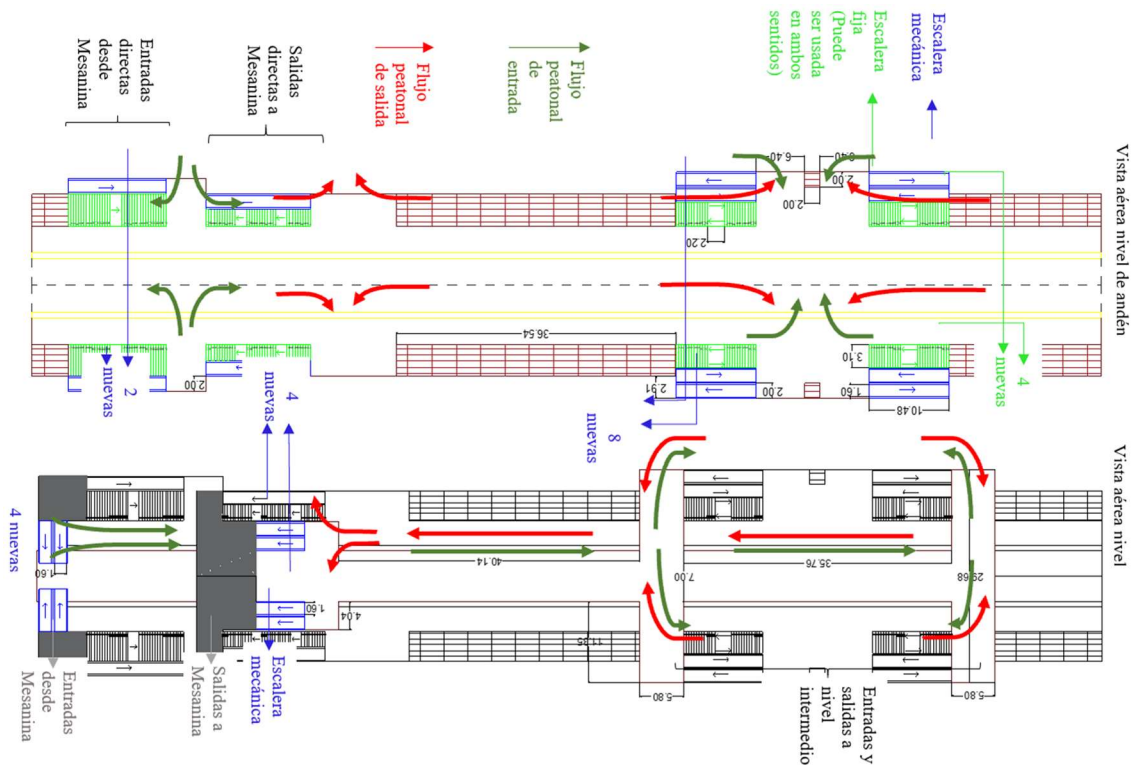


Figura 7: Planos de primer diseño propuesto

## 5.2 Diseño 2: andén mixto y más rutas peatonales

El segundo diseño que se realizó y que se muestra en las Figuras 8 y 9, propone un cambio al funcionamiento conocido de las estaciones de metro en la capital, ya que consta de la implementación adicional de un andén central destinado solo para el descenso de pasajeros de ambas direcciones, dejando la forma de las plataformas laterales ya existentes y ampliadas para la subida de pasajeros al tren. Se suman 6 escaleras para ingresar y 7 para salir, esto último, mediante un nivel intermedio entre mesanina y andenes con altura de 3,7 metros. En esta modelación se incorporan rutas parciales, es decir, los peatones escogen la ruta según diversos criterios, para este caso, según el menor tiempo de viaje, ya que fue lo observado en terreno. Para garantizar el correcto funcionamiento del diseño, se recomienda que las rutas de entrada y salida deban considerar medidas en el nivel de la mesanina, implementando torniquetes en la zona de las nuevas entradas y puertas de salida frente a las escaleras que permiten egresar del andén central, para que de esta forma los pasajeros respeten el sentido de circulación impuesto.

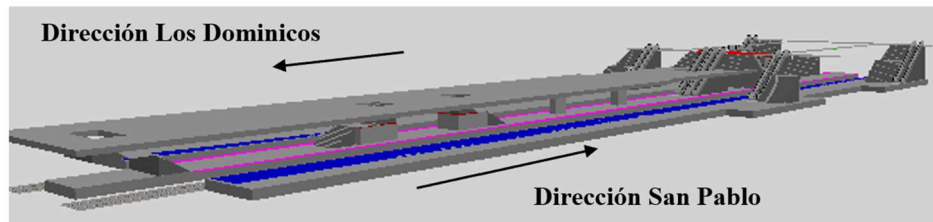


Figura 8: Segundo diseño propuesto para Estación Central

Adicionalmente, la densidad en los andenes se muestra la Figura 9 descongestionando también las zonas de mayor uso que se observaban en el layout de la situación actual.

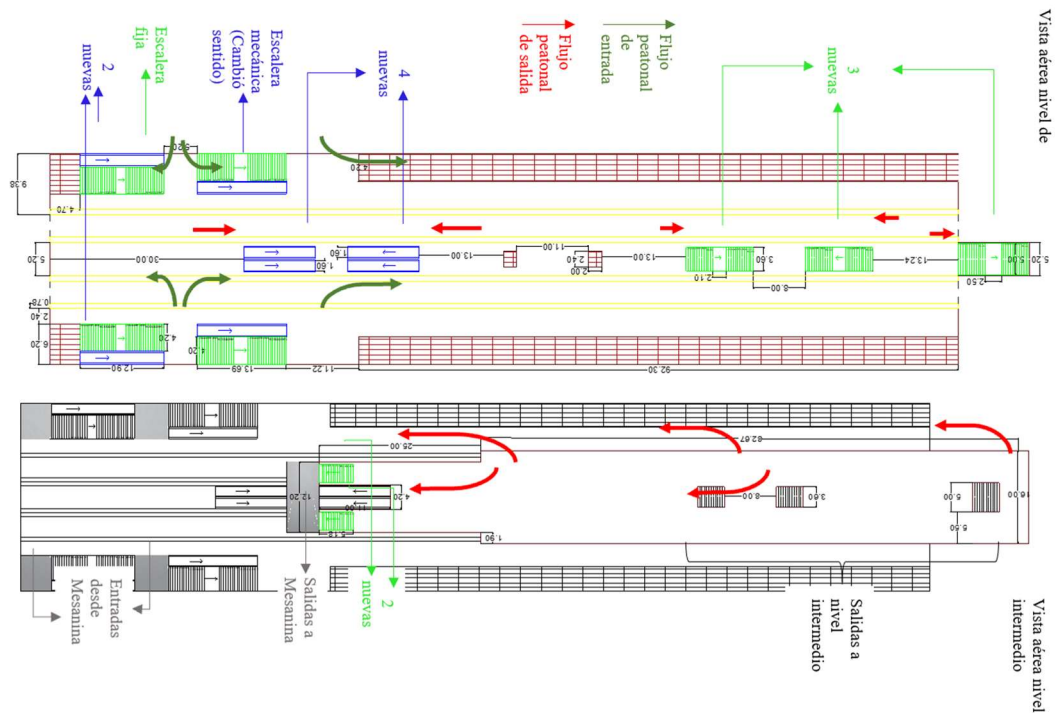


Figura 9: Planos de segundo diseño propuesto

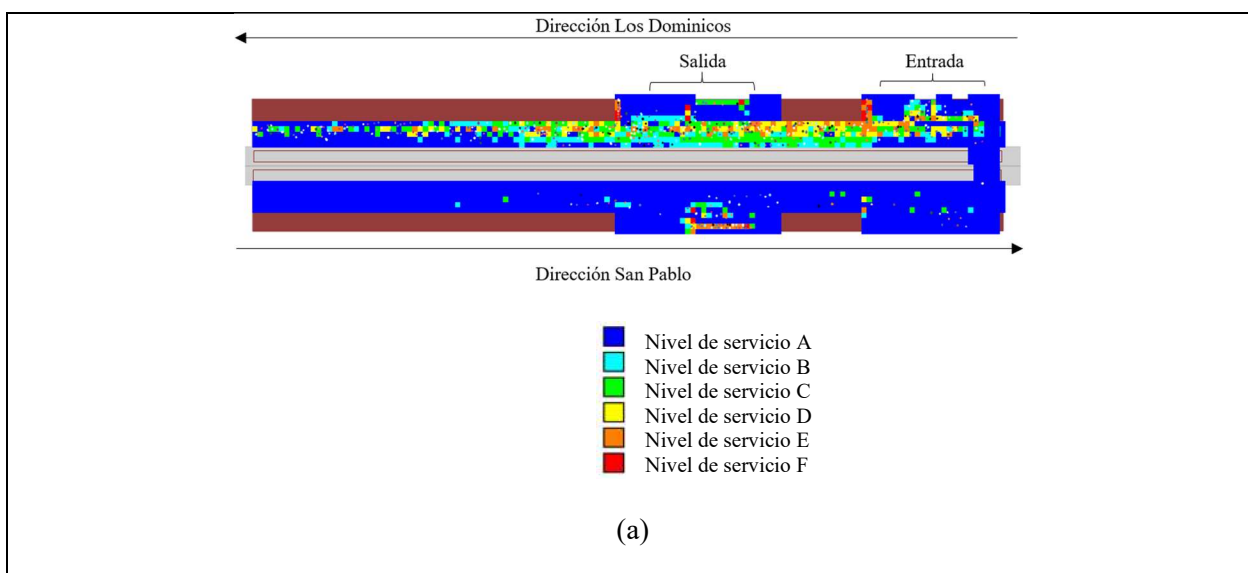
### 5.3 Evaluación de los resultados de los diseños propuestos

Los resultados de la simulación de los diseños propuestos arrojaron que las densidades máximas alcanzadas en períodos de 5 minutos, para la mayoría de los elementos disminuyeron, la comparación final se realizará con los promedios totales de todos los elementos contenidos en los diseños de la estación, considerando en conjunto las direcciones a Los Dominicos y San Pablo, por el período completo de 1 hora, según los resultados arrojados para cada uno por el programa VISSIM se observan en la Tabla 5. Del mismo modo, las densidades de la actual estación y los diseños propuestos se pueden observar en los mapas de calor de la Figura 10.

En base a lo observado, se puede determinar que ambos diseños son factibles desde el punto de vista operativo, ya que ninguno aumenta los valores que se obtienen actualmente en Estación Central, sin embargo, el segundo diseño es el que presenta disminución en la mayor cantidad de indicadores, reduciendo el valor en 4 de ellos, mientras que el primer diseño lo hace en solo 3, que son los asociados a peatones. Por lo tanto, se recomienda el segundo diseño para ser propuesto como posible solución al problema analizado en la estación de metro Estación Central.

Tabla 5: Comparación de resultados del diseño actual versus diseños propuestos

Indicador		Diseño actual	Propuesta de diseño 1	Propuesta de diseño 2
Peatones	Densidad en áreas [peat/m <sup>2</sup> ]	0,124	0,118	0,095
	<b>Variación</b>		<b>Disminuye 4,8%</b>	<b>Disminuye 23,4%</b>
	Densidad en escaleras [peat/m <sup>2</sup> ]	0,264	0,097	0,125
	<b>Variación</b>		<b>Disminuye 63,3%</b>	<b>Disminuye 52,7%</b>
	Tiempo promedio de viaje [s]	61,26	58,34	58,77
	<b>Variación</b>		<b>Disminuye 4,7%</b>	<b>Disminuye 4,1%</b>
Vehículos	Demora total [s]	49,98	49,98	49,97
	<b>Variación</b>		<b>No varía</b>	<b>Disminuye 0,02%</b>
	Cantidad [tren/h]	61	61	61
	<b>Variación</b>		<b>No varía</b>	<b>No varía</b>



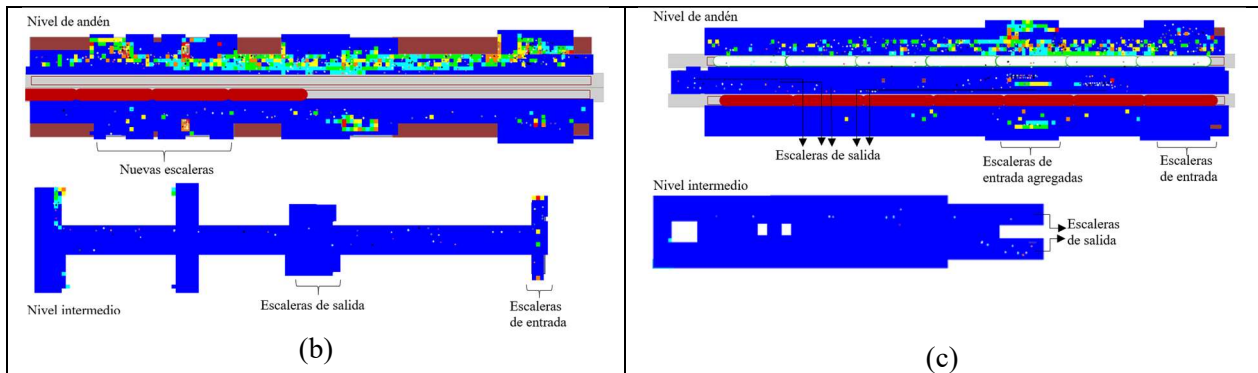


Figura 10: Densidad en niveles de la situación actual (a); primer diseño (b) y del segundo diseño propuesto para Estación Central (c)

Las densidades máximas alcanzan un nivel de servicio C para la 2° área cercana a entrada a Los Dominicos (LD), el andén y escalera mecánica a salida San Pablo para el diseño uno. Nivel B para 1° área cercana a entrada LD y Nivel A para escalera de entrada y escalera mecánica de salida a LD. Con respecto al diseño 2, se alcanzan densidades de nivel C para la 2° área cercana a entrada LD y Escalera mecánica salida SP, Nivel B para 1° área cercana a entrada LD y Andén LD y Nivel A para Escalera entrada LD y Escalera mecánica salida LD.

## 6. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

En este trabajo se planteó un nuevo diseño para la estación de metro Estación Central, que fue capaz de disminuir los conflictos que muchas veces retrasan el despeje de pasajeros en los andenes o atentan contra la seguridad y/o comodidad de los usuarios durante el horario punta dentro de las estaciones. Los resultados para la situación actual calibrada establecen niveles de servicio D en las áreas de mayor uso y tiempos de viaje peatonal superiores al minuto. Basándose en esto se elaboran dos propuestas de diseño, comparando los resultados de densidad, tiempo de viaje peatonal y demora del tren.

Ambos diseños mostraron mejoras mediante la disminución de la mayoría de los indicadores que fueron escogidos para la evaluación, destacando entre ellos la segunda propuesta al influir positivamente en 4 de los 5 indicadores. Lo que sirvió para corroborar algunas de las teorías utilizadas, entre las más importantes, la eficiencia para disminuir tiempos de viaje mediante la separación de flujos peatonales bidireccionales y que utilizar ambas puertas del tren, mediante la implementación de un esquema de andén mixto, puede influir en la capacidad de la estación al inducir posibles disminuciones en la demora por detención del tren, por lo que podría ser material para estudios más específicos, ya que, estas medidas no se aplicaron por sí solas, sino que estuvieron acompañadas de una mayor oferta de rutas dentro de la estación, lo que en conjunto permitió distribuir densidades que se encontraban concentradas, sin trasladar los altos valores a otras zonas.

Como conclusión general la simulación arrojó que la forma en que se dispone del espacio de las plataformas y sus conexiones con el resto de la estación puede disminuir los niveles de servicio hasta en 2 categorías en algunos casos y cerca de un 5% los tiempos de viaje dentro de la estación, además de mostrar posibilidades de reducir las demoras por detención de los trenes.

## REFERENCIAS

Cox T., Houdmont J. & Griffiths A. (2006). **Rail passenger crowding, stress, health and safety in Britain**. *Transportation Research: Part A*, 40, 244-258.

Coxon S., Burns K. & de Bono A. (2010). **Design strategies for mitigating passenger door holding behavior on suburban trains in Paris**. *Australasian Transport Research Forum 2010 Proceedings*. Canberra, Australia.

Fernández R., De Los Ángeles del Campo M. & Swett C. (2008). **Recolección de datos y calibración de modelos de tiempo de servicio de pasajeros en buses y metro de Transantiago**. XV Congreso Panamericano de Ingeniería de Transporte y Tránsito. Cartagena de Indias, Colombia.

Fernández R., Valencia A. & Seriani S. (2015). **On Passenger saturation flow in public transport doors**. *Transportation Research Part A* 78 (2015) 102-112.

Fruin, J. (1971). **Designing for Pedestrians: A Level of Service Concept**. New York.  
Fujiyama T., Fernández R. & Seriani S. (2017). **Passenger Management on Platforms & Vehicles**. Santiago, Chile.

Harris N., Risan O. & Schrader S. (2014). **The impact of differing doors widths on passenger movement rates**. The Railway Consultancy Ltd., UK. Norwegian State Railways, Norway. *Computers in Railways XIV Special Contributions*.

Helbing & Molnár (1997). **Self-organization phenomena in pedestrian crowds**. Stuttgart: Institute of Theoretical Physics, University of Stuttgart.

London Underground (2012). **Station planning standards and guidelines**. Londres, Inglaterra: Transport for London.

López A. (2016). **Optimización del diseño de estaciones de metro**. XIX Congreso Latinoamericano de Transporte Público y Urbano. Montevideo, Uruguay.

Mensink V. (2017). **Crowd management in train and metro stations, proposing a framework to select and assess effective crowd management measures**. Delft, Holanda: Delft University of Technology.

Molyneaux N., Scarinci R., & Bierlaire M. (2017). **Pedestrian management strategies for improving flow dynamics in transportation hubs**. 17th Swiss Transport Research Conference. Monte Verità / Ascona, 17-19 de Mayo, 2017.

Rail Safety and Standards Board. (2008). **Management of on-train crowding**, Final report. Londres: Davis associates.

SECTRA. (2003). **Recomendaciones de diseño para proyectos de infraestructura ferroviaria**. Sección 2 y 11. Santiago: MIDEPLAN-SECTRA.

Seriani S. (2018). **Crowd management on metro station platforms**. Londres, Inglaterra: Centre for Transport Studies, University College London.

Stokols D. (1972). **On the distinction between density and crowding: Some implications for future researchs**. Psychological Review 1972, Vol. 79, No. 3, 275-277.

Teknomo K. (2006). **Application of microscopic pedestrian simulation model**. Transportation Research Part F Traffic Psychology and Behaviour.

Tirachini A., Hensher D. & Rose J. (2013). **Seis pasajeros por metro cuadrado: efectos del hacinamiento en la oferta del transporte público, el bienestar de los usuarios y la estimación de demanda**. XVI Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte. Santiago, Chile.

TRB. (2000). **Highway Capacity Manual**. National Research Council. Urban Rail. (2018). Obtenido de Santiago: <http://www.urbanrail.net>. Visitado el 4 de septiembre, 2018.