



**Universitat Autònoma  
de Barcelona**

# Sistema de evaluación para toma de decisión en la modificación de una estación de tren via simulación informática

Memòria del projecte

d'Enginyeria Tècnica en

Informàtica de Sistemes

realitzat per

Unai Gascón Luque

i dirigit per

Yolanda Benítez Fernández

## **Escola d'Enginyeria**

Sabadell, Septiembre de 2013

La sotasignat, Yolanda Benitez Fernandez,  
professora de l'Escola d'Enginyeria de la UAB,

### **CERTIFICA:**

Que el treball al que correspon la present  
memòria  
ha estat realitzat sota la seva direcció per

Unai Gascón Luque

I per a que consti firma la present.  
Sabadell, septiembre de 2013

-----  
Signat: Yolanda Benitez Fernández

# Índice

1. Introducción y objetivos (motivación del proyecto).....	5
2. Estudio de la viabilidad del proyecto.....	7
2.1. Estudio económico .....	8
2.2. Planificación del proyecto.....	9
3. Planificación temporal .....	11
4. Distribución actual del layout y componentes del sistema .....	13
4.1. Tipología de usuarios.....	13
4.2. Distribución flujos en la movilidad sobre la instalación actual .....	15
4.3 Distribución futura del layout .....	19
4.4. Definición de flujos.....	21
4.5. Puntos de estudio del sistema.....	23
5. Proyecto de simulación.....	25
5.1. Formulación del problema .....	26
5.2. Modelo conceptual.....	28
5.3. Diseño de elementos del sistema .....	30
5.4. Recogida de datos.....	32
5.5. Construcción del modelo .....	33
5.6. Diseño de experimentos .....	54
5.7. Análisis de resultados.....	60
6. Conclusiones.....	63
6.1. Conclusiones de la validación .....	63
6.2. Conclusiones de la explotación .....	63
6.3. Conclusiones de los indicadores .....	63
6.4. Conclusiones: Configuración más favorable.....	64
7. Bibliografía .....	67
8. Glosario.....	69



## **1. Introducción y objetivos (motivación del proyecto)**

La compañía de ferrocarril, que ocupa este proyecto, opera varias líneas inconexas en Cataluña. En total la compañía opera 140 km de vía estrecha (1.000 mm) y 42 km de vía estándar (1.435 mm) en la Provincia de Barcelona y 89 km de vía ancha (o ancho de vía ibérico, 1.668 mm) en la Provincia de Lérida y los Pirineos, dos trenes cremallera y varios funiculares.

Para la creación y modificaciones tanto de paradas, intercambiadores como las infraestructura que los componen, las tomas de decisión se han basado tanto en la estipulaciones de tránsito, en el caso de nuevas instalaciones, como en la experiencia del responsable en el campo, teniendo que optar en muchos casos por estrategias de prueba y error, con el precio tanto económico como de imagen de la compañía que estas estrategias suponen.

La empresa responsable de la explotación de la estación que ocupa este proyecto ha decidido modificar las instalaciones con el fin de derivar un espacio, que actualmente es de tránsito de usuarios, para que se pueda disponer para la posible instalación de locales de venta, disposiciones de mantenimiento u otros menesteres.

En la estación del estudio de la viabilidad de la actualización que nos ocupa en este proyecto partimos de una estación en la que podemos encontrar el acceso a las líneas de tren, acceso al exterior, y un intercambiador.

Y en este caso con tal de evitar los gastos derivados de las estrategias adoptadas hasta ahora, la empresa ha decidido realizar un estudio, que se desarrolla mediante este proyecto, en el que tras el estudio del funcionamiento actual de la estación analizaremos y dimensionaremos la misma, con el fin de tomar las decisiones correctas a la hora de la modificación de la misma.

Para poder alcanzar el rediseño de la estación se ha tenido en cuenta una serie de restricciones resultantes de:

- Tipo de usuario:

Dependiendo del tipo de usuario, éste tomará diferentes decisiones a la hora de definir su trayectoria por el <sup>2</sup>layout de la estación

- Características de los elementos que componen la estación:

Elementos como pueden ser; escaleras automáticas, escaleras estáticas, <sup>3</sup>canceladoras, influirán y modificaran el comportamiento de los usuarios que transcurran por ellas.

- Dimensiones de las estancias:

El dimensionamiento de los pasos y sus posibles alteraciones influirán en la fluidez de paso y por consiguiente en el comportamiento de los usuarios que transcurran por los mismos.

Mediante la simulación se facilitará el análisis de éstas y otras restricciones que harán reducir los siguientes puntos:

- Riesgo técnico de la solución propuesta: Validación de la solución mediante la simulación y optimización.
- Número de recursos: Optimización de las instalaciones, máquinas, espacio, etc.
- Riesgo económico: Tanto a nivel de instalaciones y funcionamiento como de imagen.

## 2. Estudio de la viabilidad del proyecto

Para la realización de este proyecto se utilizará el simulador Anylogic de Xjtek. Tras sondear las posibilidades de elección de software existentes en el mercado, para la elección del simulador se desecharon todos los simuladores que disponían únicamente de simulación de eventos discretos, como pueden ser Quest, Arena, LeanSim y Plant Simulation, ya que no cumplen las necesidades suficientes para desarrollar un modelo de simulación del comportamiento de personas. De los softwares aptos para desarrollar este tipo de modelo, como pueden ser Legion, Simwalk, etc... Elegimos Anylogic por que partiendo de la base que cumple con los requisitos que necesitamos para la realización del modelo en realización prestaciones-precio es la más interesante, nos permite la importación y exportación de los datos para la generación de las entradas y estudio de las salidas , pudiendo trabajar contra excel y diversos tipos de base de datos, también economizaremos en tiempo ya que esta herramienta está desarrollada en Java, y las lógicas que pueda necesitar las podre programar en Java y no en lenguajes propios de los otros software.

AnyLogic es la única herramienta que soporta todas las metodologías de simulación más comunes en lugar de hoy: [Eventos dinámicos](#) , las [centradas en los procesos](#) (también conocido como [eventos discretos](#) ), y [modelos basados en Agentes](#). La flexibilidad única del lenguaje de modelado permite al usuario capturar la complejidad y heterogeneidad de los negocios, los sistemas económicos y sociales a cualquier nivel de detalle deseado.

La interfaz gráfica de AnyLogic, herramientas y objetos de la biblioteca permiten modelar con rapidez diversas áreas como la manufactura y logística, los procesos de negocio, recursos humanos, del consumidor y el comportamiento del usuario que es de vital importancia en este proyecto. El paradigma del modelo de diseño orientado a objetos con el apoyo de AnyLogic prevé la construcción modular y jerárquica, e incremental de los modelos de gran tamaño.

El entorno de AnyLogic se ha desarrollado en Java, basado en Eclipse y ha sido probado en las siguientes plataformas:

- Microsoft Windows 7, Windows Vista
- Apple Mac OS X 10.6 o posterior, Universal
- SuSE Linux Open 10.2 o posterior
- Ubuntu Linux 8.04 o posterior

## 2.1. Estudio económico

El presupuesto del proyecto se valorará de la siguiente manera:

Coste del personal

Consultor ..... 6.250€

Coste del hardware

Ordenador \* 15% de uso ..... 225€

Coste del software específico

Anylogic \* 15% de uso ..... 2.000€

Coste del material fungible

Luz y material de oficina ..... 250€

TOTAL .....8.725€

## 2.2. Planificación del proyecto

Vamos a ver las diferentes fases que ha tenido el proyecto:

Fases	Descripción
<b>Iniciación</b>	Incluye la definición del proyecto, asignación y matriculación
<b>Planificación</b>	Estudio de Viabilidad i Plan de Proyecto.
<b>Análisis</b>	Análisis del funcionamiento del sistema, los datos proporcionados por el cliente y escenarios a estudiar
<b>Diseño</b>	Diseño de modelos conceptuales y validación de los mismos
<b>Desarrollo</b>	Desarrollo del modelo final y validación del mismo
<b>Explotación</b>	Explotación del modelo en los diferentes escenarios
<b>Análisis del estudio</b>	Análisis de los datos resultados de la explotación
<b>Generar documentos</b>	Documentación a entregar al cliente y la memoria del proyecto.
<b>Cierre del proyecto</b>	El director del proyecto firma la aceptación y cierre del proyecto.
<b>Defensa del proyecto</b>	Defensa del proyecto delante la comisión.

**Figura 2.2.1: Fases del Proyecto**



### 3. Planificación temporal

Como se puede observar en la figura 3.1.1, que vemos a final de esta página, dividimos la planificación temporal del proyecto en cuatro cinco etapas:

1. Etapa de modelado conceptual: En la que analizaremos los datos que nos da el cliente y el modelo conceptual de los diferentes objetos que se pueden encontrar en el modelo, y finalmente realizamos una reunión con el mismo para validar el resultado del estudio y los modelos conceptuales.
2. Etapa de desarrollo del modelo: En esta etapa contemplamos el tiempo que necesitaremos para desarrollar tanto la parte lógica como física del modelo.
3. Etapa de desarrollo del sistema de entrada salida: En esta etapa se diseña y desarrolla tanto las tablas y sistemas de datos que nos servirán tanto para la introducción y programación de datos al sistema, como la recogida y exportación de los mismo, para su posterior estudio
4. Etapa de explotación del sistema, se programan los diferentes escenarios y se explotan, controlando su correcta ejecución.
5. Etapa de análisis y conclusión, en esta etapa analizamos el resultado de la explotación, y creamos la documentación, que tras esta etapa entregaremos al cliente, y realizamos la memoria del proyecto.

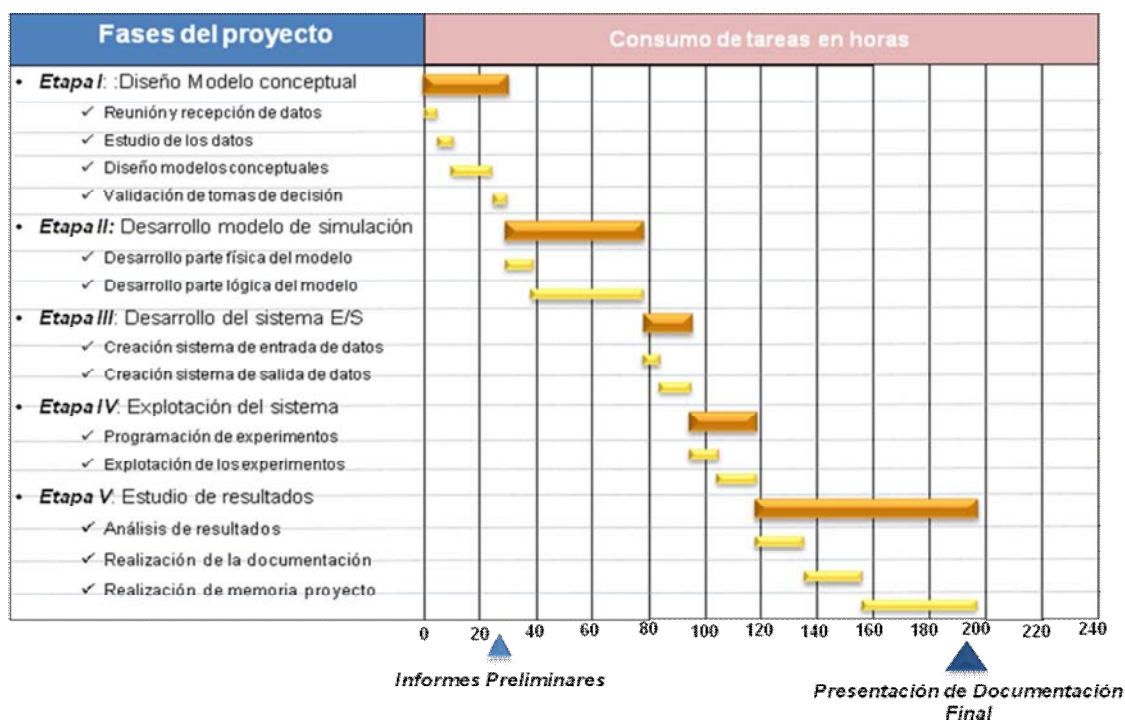


Figura 3.1.1 Planificación temporal



## 4. Distribución actual del layout y componentes del sistema

En este punto se explicará qué tipo elementos podemos encontrar en el <sup>2</sup>layout de esta estación, que influencia tienen en el sistema y como interactuarán con el mismo, como son la diferente tipología de usuarios, distribución de los elementos que componen el <sup>2</sup>layout, tanto la actual, como la futura y los flujos de desplazamiento que sobre ellos tienen los pasajeros, y las zonas que se entienden como críticas o a tener en cuenta para la obtención de unas conclusiones que respalden las tomas de decisiones futuras.

### 4.1. Tipología de usuarios

Para la implementación de las características/cualidades de un pasajero partimos de la definición que Anylogic da al Pedestrian, o viandante, denominado <sup>1</sup>Ped (Pedestrian), están compuestas por una capacidad de aceleración y deceleración de movimiento, una velocidad de movimiento, y un ámbito de influencia.

Modificaremos estas cualidades para definir dos tipos de usuarios que podemos haber observado en la captura de datos, y que la empresa de gestión ferroviaria prevé.

- Estándar: Estos son la inmensa mayoría de usuarios no tienen ninguna característica que modifique el comportamiento definido por Anylogic, que asigna una velocidad de movimiento de ...m/s, y un espacio de actuación de ...metros.
- PMR: Siglas que definen a los Peatones de Movimiento Reducido, estos por diversos motivos necesitan accesos especiales, ya pueden ser <sup>3</sup>canceladoras mas anchas o uso de ascensores obligatorios. A parte de estos dos puntos que afectan a la definición del <sup>2</sup>layout, tanto su velocidad de desplazamiento como su ámbito de influencia,

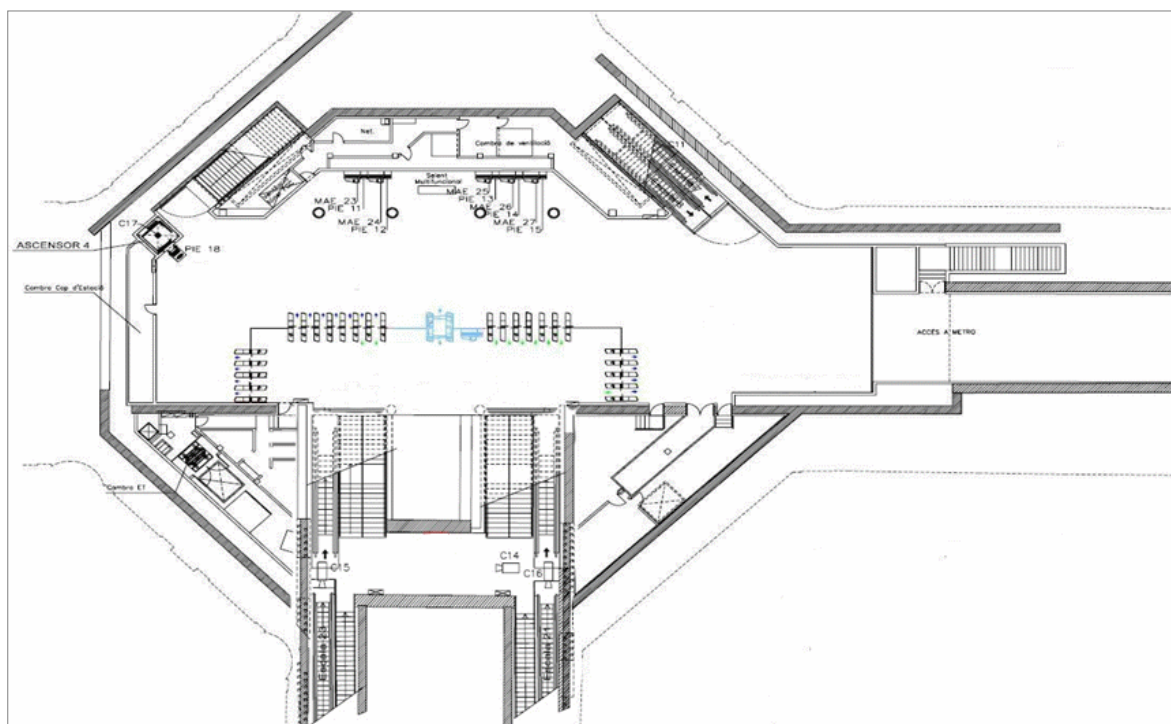
puntos que caracterizan un <sup>1</sup>Ped en Anylogic, son diferentes al usuario estándar.

A parte de estas características inherentes que definirán el comportamiento de un usuario, también observamos diferentes comportamientos de los mismos en ciertas situaciones, y tras consensuarlo con el cliente, definimos la simulación de comportamientos en situaciones como:

- Sistema de cancelación: Tras analizar los vídeos del comportamiento de los usuarios y acordarlo con el cliente, se definió un tiempo de validación, definida por una distribución..., por otro lado, partiendo de lo observado en los vídeos un tiempo extra para aquellos que ya sea por ticket caducado, estropeado o no haberse dado cuenta de que no posee el ticket, tras este tiempo extra, sale de la puerta de cancelación y se dirige a las máquinas expendedoras a por un ticket nuevo.
- Usuario con “prisa”: Tras analizar los vídeos facilitados por el cliente hemos podido aislar un comportamiento que tras estudiarlo con el cliente creemos relevante y que puede alterar significativamente el resultado, definimos factor prisa aquel comportamiento demostrado por un usuario en el que en cualquier zona, ya sean pasillos o escaleras, se mueve por la parte en la que la densidad de <sup>1</sup>Peds es menor y eso le permite desplazarse a mayor velocidad.
- Selección de escaleras: A parte del comportamiento de uso de las instalaciones del usuario con prisa también hemos tenido en cuenta el comportamiento de los usuarios en el caso de enfrentarse a unas escaleras si poseen la posibilidad de coger las automáticas o las estáticas, derivando los valores de decisión obtenidos por los vídeos de captura de datos aportados por el cliente.

## 4.2. Distribución flujos en la movilidad sobre la instalación actual

Se puede observar en la siguiente imagen del <sup>2</sup>layout la distribución de la estación.

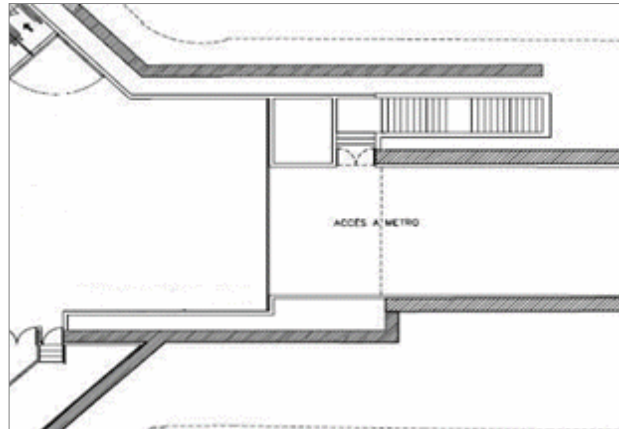


**Figura 4.2.1 Plano actual de la estación**

Las diferentes áreas influyentes en este estudio son:

- Intercambiador

Es un punto de intercambio de pasajeros entre el tren y otros medios de transporte, tras analizar los vídeos aportados por el cliente vemos que el flujo de usuarios es alto, un gran porcentaje de los usuarios de la estación, provienen y se dirigen hacia este punto.



**Figura 4.2.2 Intercambiador**

- Batería de máquinas de <sup>3</sup>canceladoras

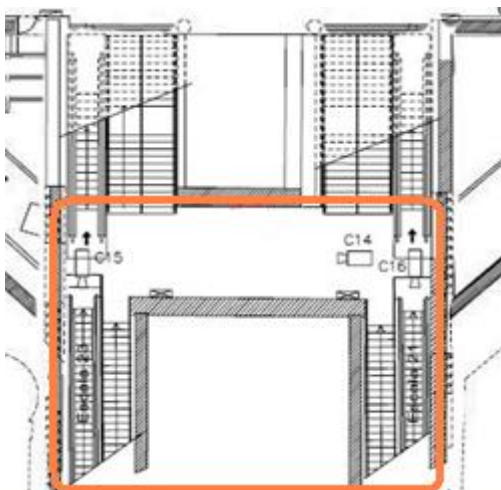
Prácticamente la totalidad de los usuarios de la estación han de superar este puesto, en el que se producen retrasos a la hora de cancelar los billetes, entendemos que es una de las posibles zonas mas críticas y sensibles a los cambios, en las que debemos conseguir un colas aceptables



**Figura 4.2.3 Batería de máquinas canceladoras**

- Acceso a los andenes

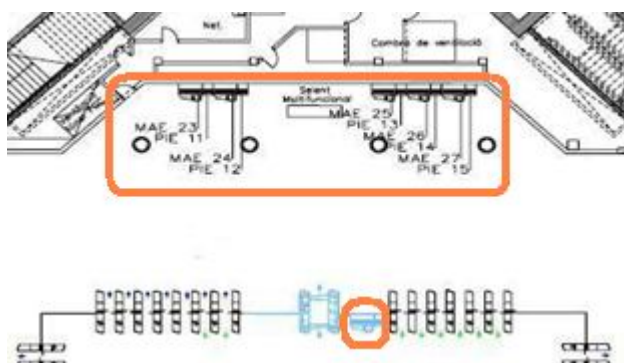
Esta zona en las horas puntas que vamos a estudiar sufren una sobrecarga de usuarios provocando retenciones, tenemos que controlar que agudicemos este problema con las modificaciones que se plantean.



**Figura 4.2.4 Acceso a los andenes**

- Máquinas expendedoras

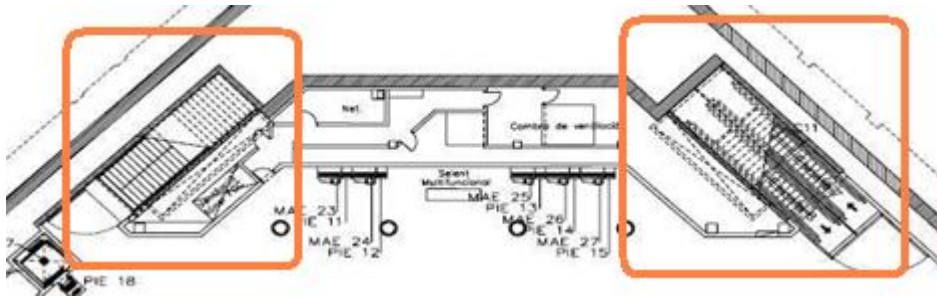
Como se puede ver en la figura 4.2.1 en la parte externa a las <sup>3</sup>canceladoras se sitúan 5 máquinas expendedoras, y en cambio en la parte interior solamente una, ya que teóricamente y también en la práctica, el número de usuarios con billete erróneo es muy inferior en la salida de la línea de tren que en la entrada.



**Figura 4.2.5 Máquinas expendedoras**

- Salida directa al exterior

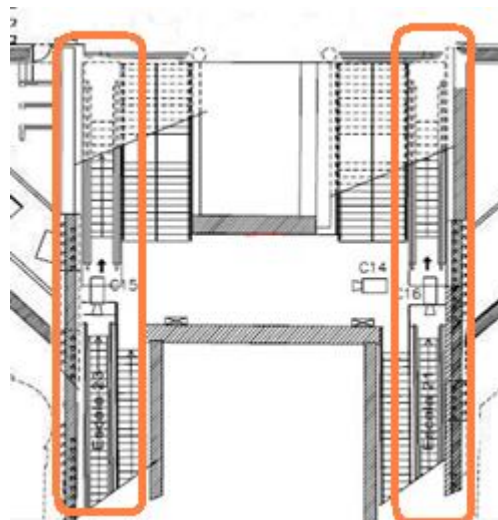
Puestos desde que acceden usuarios a la estación y por donde se alejan, como se puede ver en la figura 4.2.1 a la derecha cuenta con escaleras automáticas, y normales en las de la izquierda.



### Figura 4.2.6 Salida directa al exterior

- Escaleras automáticas

En ambas salidas de los andenes existe la posibilidad de poder ascender vía escaleras automáticas, únicamente en este sentido, no será el 100% de usuarios los que usen este medio, pero si un alto número como pudimos observar en los vídeos que nos cedió el cliente, en estas escaleras se pueden observar dos tipos de usos, los que se dejan llevar por ellas, que se situarán a la derecha de las escaleras, dejando la parte de la izquierda de las mismas para los que denominamos “usuarios con prisa”



### Figura 4.2.7 Escaleras automáticas

- PMR

Paso de movilidad reducida, representado en el <sup>2</sup>layout por la figura 4.2.1, son pasos de dimensiones especiales, necesarios para usuarios con alguna

tipo de necesidades especiales, y que con el cambio de instalaciones se moverá de sitio.



Figura 4.2.8 PMR

### 4.3 Distribución futura del <sup>2</sup>layout

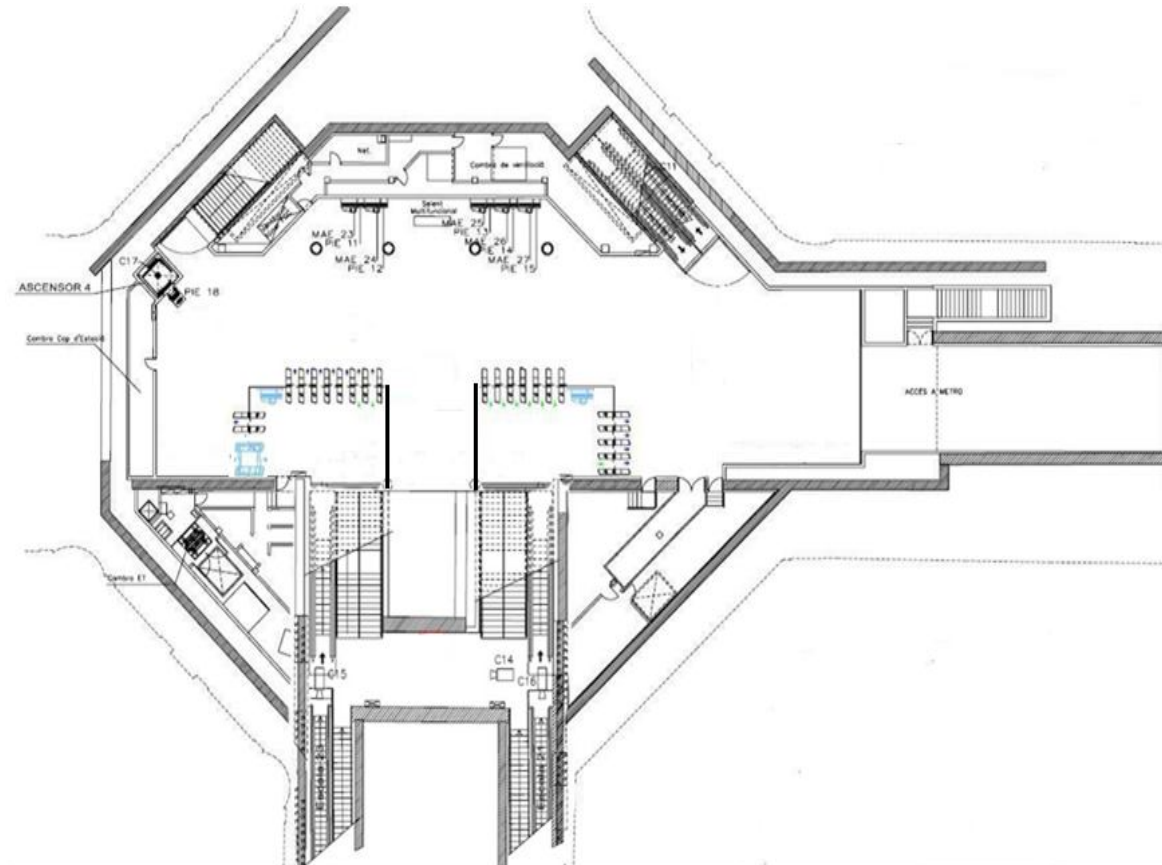


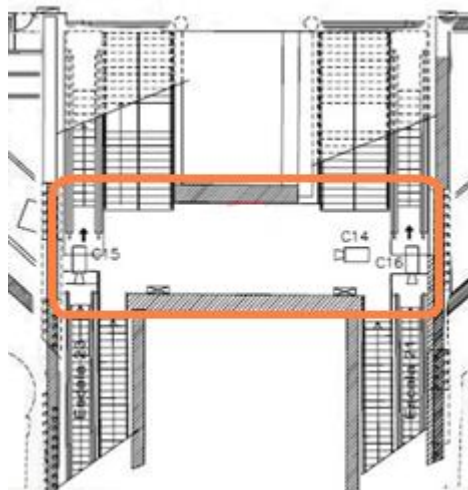
Figura 4.3.1 <sup>2</sup>Layout futuro

En la figura 4.3.1, podemos ver el nuevo <sup>2</sup>layout, con las modificaciones. Como vemos, concretamente en la zona de la batería de <sup>3</sup>canceladoras, es en este punto donde se han realizado los cambios.



**Figura 4.3.2 Zona de las canceladoras con la nueva distribución**

Podemos observar que la zona interna se ha dividido en dos partes. Esto puede provocar que el flujo que transcurre actualmente por esta zona, lo tenga que hacer por otro lado provocando, según el cliente, un sitio de por sí ya crítico actualmente, el pasillo comunicador entre los dos andenes, zona que se puede ver en la figura 4.3.3



**Figura 4.3.3 Pasillo comunicador de los andenes**

Como se puede observar en la figura 4.x.x provocado por esta nueva división se han tenido que colocado dos maquinas expendedoras, una a cada lado, y se ha movido el paso PMR al lado izquierdo, eliminando 2 <sup>3</sup>canceladoras normales. Esto nos hace tener como punto crítico las colas que puedan provocarse la disminución de las <sup>3</sup>canceladoras disponibles.

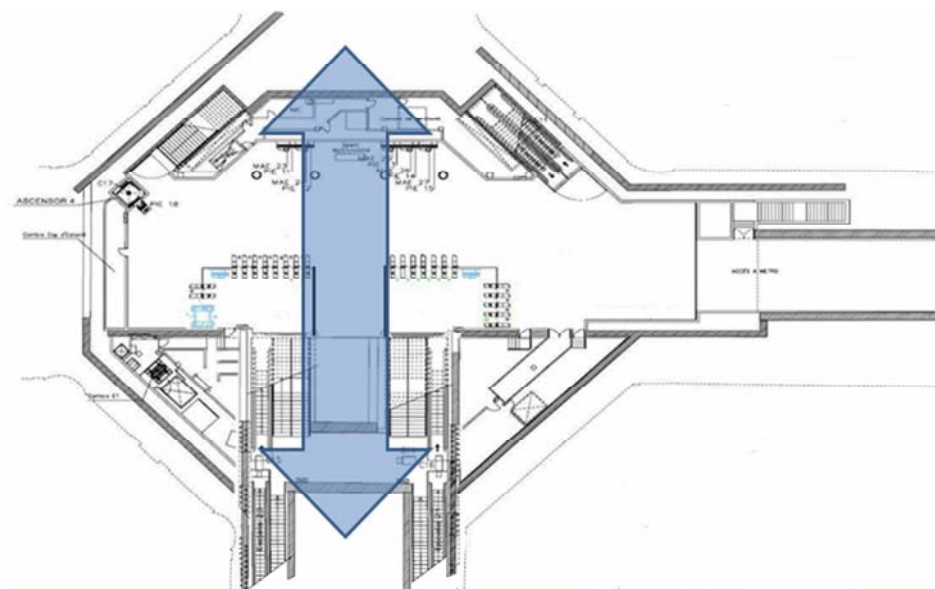


**Figura 4.3.3 Nuevas máquinas expendedoras**

## 4.4. Definición de flujos

En la distribución del <sup>2</sup>layout se pueden observar los siguientes flujos que simularemos en nuestro modelo, flujos observados en los vídeos cedidos por el cliente y posteriormente consensuados con el cliente.

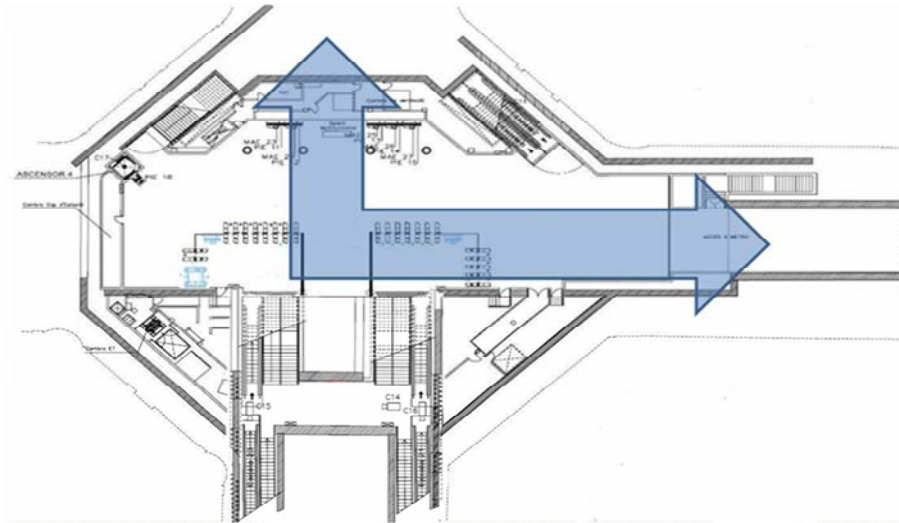
- De los andenes hacia afuera y en sentido contrario: Este flujo lo representa la figura 4.4.1, los pasajeros pueden salir o proceder tanto de la salida/entrada derecha como izquierda, tanto en el caso de las escaleras que dan al exterior como a las que dan a los andenes.



**Figura 4.4.1 Representación de flujo entre fuera y los andenes**

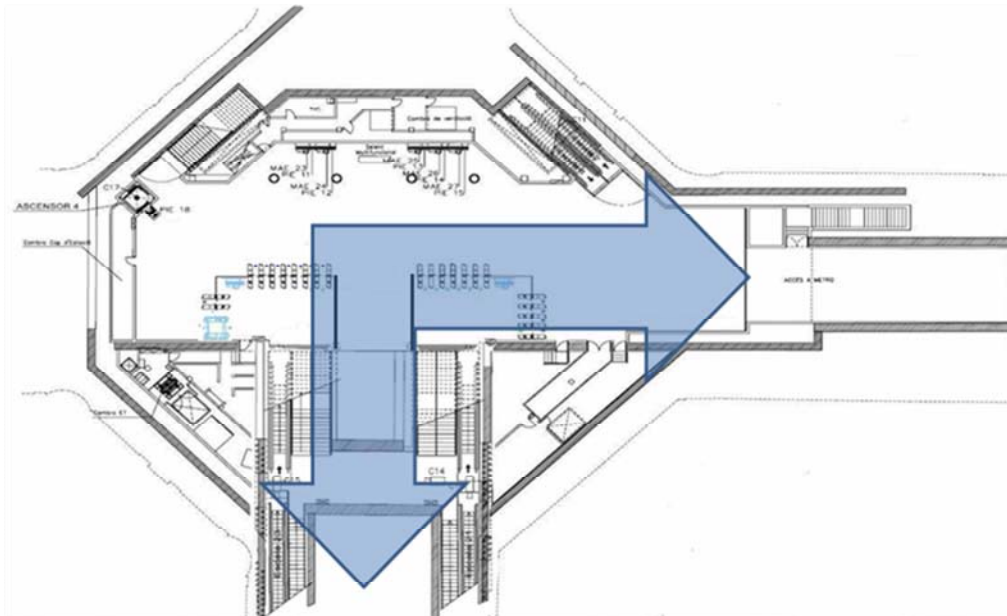
- Del exterior hacia el intercambiador y en sentido contrario: Este flujo se podría omitir, ya que en ningún momento pasa por la zona crítica a estudio fin de este proyecto, pero guiándonos por el criterio de simulación más fiel

a la realidad lo simularemos igual que el resto de flujos.



**Figura 4.4.2 Representación de flujo entre fuera y el intercambiador**

- Del intercambiador hacia los andenes y en sentido contrario: Este es el flujo más crítico, al ser el más denso.



**Figura 4.4.1 Representación de flujo entre el intercambiador y los andenes**

Existen otros flujos derivados del comportamiento de los pasajeros, como puede ser el de acceso a las máquinas expendedoras, ya sea directo, o desde cualquier máquina <sup>3</sup>canceladora.

## **4.5. Puntos de estudio del sistema**

En este punto describiremos los puntos que hemos tenido en cuenta tanto para validar el sistema como para poder cualificar la bondad de las modificaciones de cada uno de los escenarios que vamos a estudiar en este proyecto.

### **4.5.1 Colas en las <sup>3</sup>canceladoras**

Este punto, por indicaciones del cliente es uno de los que más debemos cuidar, en el peor de los casos la longitud media de las colas se ha de mantener como en el estado actual, para el estudio de las mismas cada x segundo iremos capturando el estado de las mismas, lo haremos así con todos los escenarios que simulemos, así tendremos el historial de estados de todos y podremos compararlo con el estado actual, y decidir, que es escenario es aceptable y cual tenemos que desestimar.

### **4.5.2 Densidad en el pasillo comunicador de los andenes**

Este punto ya fue descrito como crítico en la actualidad por los clientes, y el temor de que la congestión se acuciase con las modificaciones planteadas hacen que sea otro punto crítico a estudiar y tener en cuenta para definir la factibilidad de las modificaciones.

Para su estudio, se analizará a lo largo de las diferentes simulaciones de los diferentes escenarios, capturando con una frecuencia de x segundos la densidad de pasajeros de esta área, para posteriormente analizarla con el resto de escenarios, y sobre todo con el escenario que representa la situación actual, para decidir la viabilidad o no de ese escenario.



## 5. Proyecto de simulación

La simulación consiste en reproducir en un ordenador el comportamiento de un sistema bajo ciertas condiciones. Para conseguirlo es necesario formalizar el conocimiento que se tiene del sistema que se desea simular, mediante relaciones lógicas, matemáticas y simbólicas.

Las etapas de un proyecto de simulación se dividen en las siguientes partes:

*f* Formulación del problema: Define el problema a estudiar, incluyendo los objetivos escritos del problema.

*f* Diseño del modelo conceptual: Especificación del modelo a partir de las características de los elementos del sistema a estudiar y sus interacciones teniendo en cuenta los objetivos del problema.

*f* Recogida de datos: Identificar, recoger y analizar los datos necesarios para el estudio.

*f* Construcción del modelo: Construcción del modelo de simulación partiendo del modelo conceptual y de los datos.

*f* Verificación y validación: Comprobar que el modelo se comporta como es de esperar y que existe la correspondencia adecuada entre el sistema real y el modelo de simulación.

*f* Diseño de experimentos: En función de los objetivos del estudio, desarrollar las estrategias de definición de los escenarios a simular.

*f* Análisis de resultados: Analizar los resultados de la simulación con la finalidad de detectar problemas y recomendar mejoras o soluciones.

*f* Documentación: Proporcionar documentación, presentación y

memoria sobre el trabajo efectuado.

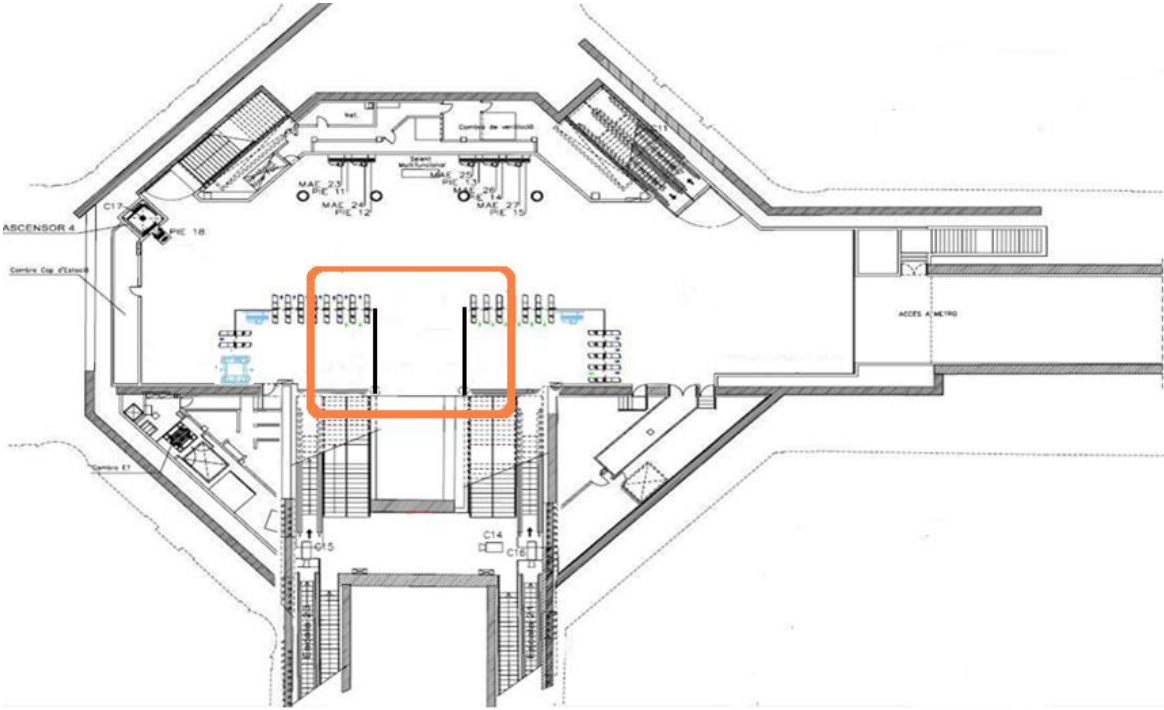
*f* Implementación: Poner en práctica las decisiones efectuadas con el apoyo del estudio de simulación, ésta parte normalmente cae por el lado del cliente, como es en este caso.

## 5.1. Formulación del problema

La especificación de objetivos es una de las tareas más importantes de cualquier proyecto y lógicamente también de un proyecto de simulación. Si los objetivos no son lo suficientemente claros o son poco concretos, se corre el peligro de no abordar el problema para el cual se ha solicitado el proyecto de simulación.

Para la realización de este proyecto, se nos presentan dos configuraciones de la estación, la actual, en la que analizando los videos hemos detectado que dada la configuración de <sup>2</sup>layout y del funcionamiento de la estación ha hecho que naturalmente los usuarios generen/definan flujos de movimiento por la estación que produce colas y atascos en determinados puntos de la misma, lo deseable es mejorar, o en peor de los casos mantener las prestaciones del servicio actual de la estación.

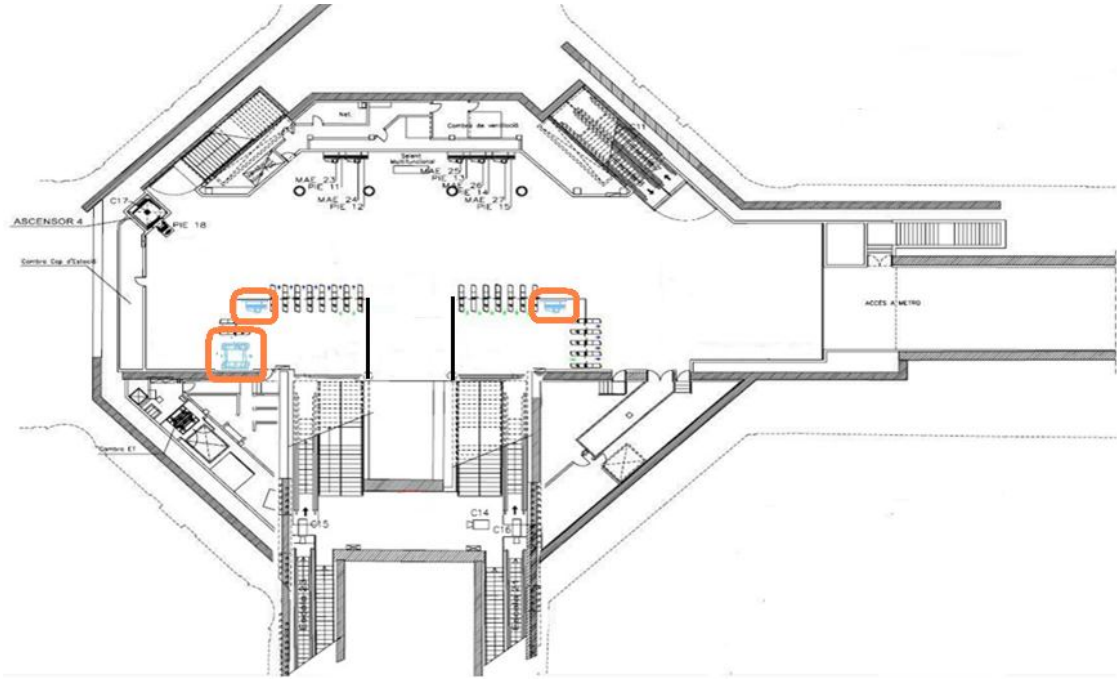
En la segunda, de la que tenemos que estudiar la viabilidad, el cambio principal que se producirá respecto al <sup>2</sup>layout actual es que se cerrará la zona que se indica en la figura 5.1.1, espacio que la empresa tiene pensado disponer para diversos usos.



**Figura 5.1.1 Zona modificada**

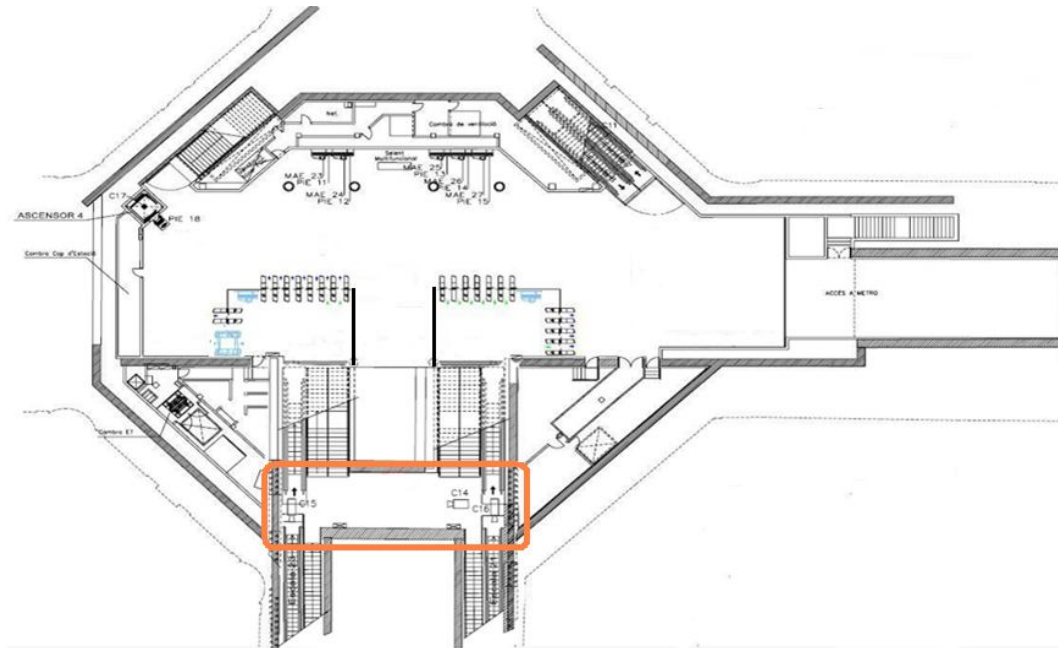
Ello tiene las siguientes consecuencias:

- ✎ que se hayan de instalar dos máquinas expendedoras, una a cada lado de la nueva división,
- ✎ que haya que desplazar el PMR y como consecuencia, la pérdida de dos<sup>3</sup> canceladoras.



### Figura 5.1.2 Nueva situación

esta modificación hará que los cruces que actualmente se dan en la futura zona cerrada ocurrirán en otra zona, Figura 5.1.3, zona ya actualmente delicada por las congestiones que se provocan en horas punta, que con las modificaciones planeadas se tiene por zona muy conflictiva y que debemos tener muy presente para la viabilidad de las modificaciones



**Figura 5.1.3 Zona conflictiva**

## 5.2. Modelo conceptual

El diseño de sistema conceptualmente se puede visualizar desde dos puntos, por un lado de los pasajeros que entran ya sea desde el intercambiador o la calle y quieren acceder, por otro los que proceden de los andenes y se dirigen hacia el intercambiador, o al exterior, y menos relevante, que despreciaremos en los modelos conceptuales a los pasajeros, que provienen del intercambiador y se dirigen al exterior, o al revés. Descartamos su modelo conceptual, ya que estos flujos no tienen influencia de ningún tipo en las partes críticas de la estación, como son el pasillo comunicante entre los andenes, y las <sup>3</sup>canceladoras.

### 5.2.1. Modelo conceptual de la entrada de pasajeros

Los pasajeros que llegan caminando a la estación validan el sus billetes en las <sup>3</sup>canceladoras de entrada (recuadros verdes de la figura 5.2.1).

Un % de los pasajeros necesitan acceder por la <sup>3</sup>canceladora de movilidad reducida (recuadro cian de la figura 5.2.1) que es bidireccional.

Un % de los pasajeros no tienen billete valido y lo compran en las máquinas expendedoras ubicadas antes de las <sup>3</sup>canceladoras (recuadros lilas de la figura 5.2.1).

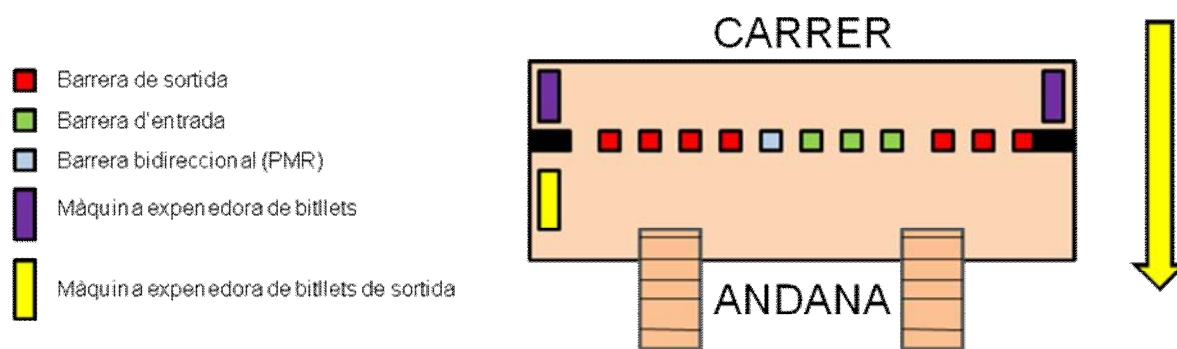


Figura 5.2.1 Entrada de pasajeros

### 5.2.2. Modelo conceptual de la salida de pasajeros

Los pasajeros que llegan en tren se dirigen a las <sup>3</sup>canceladoras de salida (recuadros rojos de la figura 5.2.2) o bidireccional (recuadro cian de la figura 5.2.2) para validar sus billetes.

Un % de los pasajeros pierden los billetes y se han de dirigir a la máquina expendedora de billetes de salida (recuadro amarillo de la figura 5.2.2) antes de acceder a las canceladoras.

También se conoce que un % de los pasajeros intentan validar el billete pero al no activarse la barrera, han de acceder a la máquina expendedora de billetes de salida para comprar un billete válido.

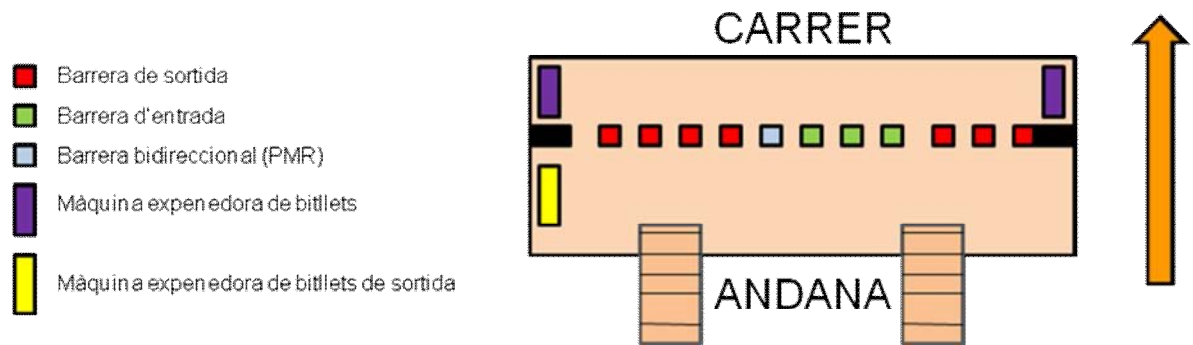


Figura 5.2.2 Salida de pasajeros

### 5.3. Diseño de elementos del sistema

Una vez se conoce los objetivos del proyecto, se construye un modelo conceptual donde se especifica las relaciones estructurales del sistema a simular.

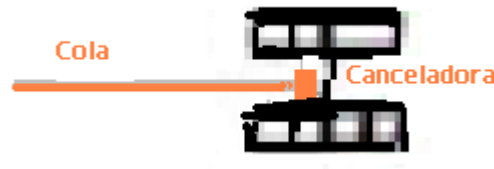
Los modelos conceptuales pueden ser considerados modelos analíticos si pueden ser resueltos analítica o numéricamente. Si ello es posible, siempre es preferible obtener la solución empleando técnicas analíticas, dado que en general su coste de cálculo será menor. No obstante, en la mayoría de los procesos reales la solución analítica es inviable si se pretende construir el modelo con todo el nivel de detalle deseado.

Para el diseño de esta aplicación se tenía que validar el funcionamiento de diversos puntos sensible del sistema, para ello se realizaron diversos modelos conceptuales, como son:

- Paso por las <sup>3</sup>canceladoras

Para la simulación de este punto elegimos realizarlo a través una cola y un punto de cancelación, tal como se ve en la figura 5.2.1, cuando un usuario ha decidido usar esta <sup>3</sup>canceladora se coloca en la cola y en el momento que

encabeza la cola y es el más próximo a la <sup>3</sup>canceladora, hace el uso del mismo, y esto puede desencadenar que el usuario pueda proseguir con su trayecto tras cancelar el billete con éxito, o sale de cola hacia las máquinas expendedoras por billete inválido, tras consensuarlo con el cliente el tiempo de cancelación de un usuario sigue la siguientes distribución en el tiempo .....



**Figura 5.3.1 Modelo conceptual canceladoras**

- Uso de las máquinas expendedoras

Este punto posee una configuración igual a la de las canceladores, solo que el tiempo que consume es diferente y siempre finaliza con éxito esta operación, tras ella el usuario volverá a dirigir hacia las <sup>3</sup>canceladoras. El tiempo que hemos estimado a este servicio sigue la uniform (4,5) segundos



**Figura 5.3.2 Modelo conceptual expendedoras**

- Paso por las escaleras: Automáticas o Normales

En estos puntos existen dos variantes, las de doble sentido, las normales, y las de sentido único, las automáticas, en cuanto a la velocidad de movimiento por los mismo, se ha consensuado con el cliente que para definir la velocidad por el paso de las escaleras es el 70% de la velocidad de movimiento fuera de ellas, y el tratamiento que hay que darle al flujo de los usuarios que se desplazan, y los tipos de usuarios anteriormente mencionados, como se puede ver la representación de las escaleras en la figura 5.x.x, se ha dividido el ancho de las escaleras en dos, por el lado derecho, tal y como indican las normas circulan los usuarios normales, y por la izquierda, los que denominamos, pasajeros con prisa.

La velocidad de las escaleras automáticas varía de 27 a 55 metros por minuto.

## 5.4. Recogida de datos

El análisis de los datos de los que se dispone sobre el sistema a modelar es una tarea imprescindible que, correctamente desarrollada, facilita y simplifica considerablemente el desarrollo de los modelos y de los proyectos de simulación.

La primera etapa a seguir en el proceso de recogida de datos es determinar la información necesaria basándose en los objetivos planteados en el proyecto y en función del nivel de detalle deseado.

Los datos no provienen en general de una única fuente, son el resultado del análisis de la información existente, de extrapolaciones, de entrevistas, de medidas efectuadas para el estudio, por lo que para el proyecto se han obtenido los siguientes datos:

- Datos derivados de la revisión de los videos de seguridad cedidos por el cliente:
  - Porcentaje de PMR: 0,2%
  - Porcentaje de usuarios que catalogamos como “usuarios con prisa”:36%
  - Porcentaje de usuarios con billete erróneo: 2,5%
  - Distribución de selección entre escaleras normales y automáticas: 40% y 60% respectivamente
- Velocidades obtenidas de bibliografía:
  - Velocidad del usuario normal: se asigna la velocidad a los pasajeros mediante una función de *uniform* (0.5,1)m/s
  - Velocidad de paso por las escaleras: 70% de la velocidad en movimiento normal del pasajero

- Velocidad de paso por las escaleras automáticas: 1 m/s
  - Tiempo de cancelación de billetes: se asigna la velocidad a los pasajeros mediante una función de *uniform (4,5)*, y *uniform (3,4)* en caso que proceda de la máquina expendedora.
- Información cedida por el cliente
    - Configuración actual de las <sup>3</sup>canceladoras
    - Diferentes configuraciones futuras de las <sup>3</sup>canceladoras
    - Situación de las <sup>3</sup>canceladoras para PMR para las futuras configuraciones
    - Situación de la expendedora de la zona de los andenes

Tras la obtención de todos estos valores se han presentado y consensuado con el cliente

## 5.5. Construcción del modelo

En este punto trataremos todos los aspectos y módulos que se han tenido que controlar para modelar un sistema coherente y robusto, en cualquier caso, todas las mediciones y tomas de decisión sobre el modelo han sido previamente consensuadas con el cliente.

### 5.5.1. Elementos de configuración del ámbito físico de la simulación

- **PedGround:** Elemento de obligada definición para que el modelo funcione, se configura la parte física, el <sup>2</sup>layout, del modelo, y sus características

Name:	pedGround	<input checked="" type="checkbox"/> Show name	<input type="checkbox"/> Ignore	<input type="checkbox"/> Public	<input checked="" type="checkbox"/> Show at runtime	Create presentation
Type:	PedGround					
Package:	com.xjanylogic.libraries.pedestrian					
Walls (group, optional)	null					
Walls touch tolerance, pixels	3					
Additional ties (group of lines, optional)	null					
Show advanced parameters	<input type="checkbox"/>					
Replication:	<input type="text"/>					

5.5.3.1 Cuadro de diálogo para el pedGroung

Como parámetros de las fuentes se tiene:

- **Name:** Identificador de éste módulo, ya que puedes ser necesarios varios.
- **Walls(*group, options*):** En este campo se pasará un grupo formado por *lines* o *polylines*, que una vez introducidos en éste *PedGround* serán interpretadas como paredes que el <sup>1</sup>*Ped* no podrá traspasar y tendrá que respetar.
- **Walls touch tolerance pixels:** Se indica la tolerancia, es decir, lo cerca que pueden llegar a estar los <sup>1</sup>*Peds* de los muros definidos
- **Additional ties:** Se pueden definir *ties*, que son grupos de *lines* que se usan para dirigir el flujo de los <sup>1</sup>*peds*

#### 5.5.2. Elementos de caracterización, creación y destrucción de pedestrians:

- **PedConfiguration:** Este módulo lo requiere el sistema para configurar las propiedades de los <sup>1</sup>*Peds*, sin el no se permite el uso de los <sup>1</sup>*Peds*, aunque de las posibilidades que nos dé, en nuestro sistema, únicamente ajustaremos el tamaño y la forma de la representación de los <sup>1</sup>*Peds* en el <sup>2</sup>*layout*, porque la velocidad la modificaremos en el *PedSource*, donde también añadiremos los atributos que caracterizarán a nuestros <sup>1</sup>*Peds*.

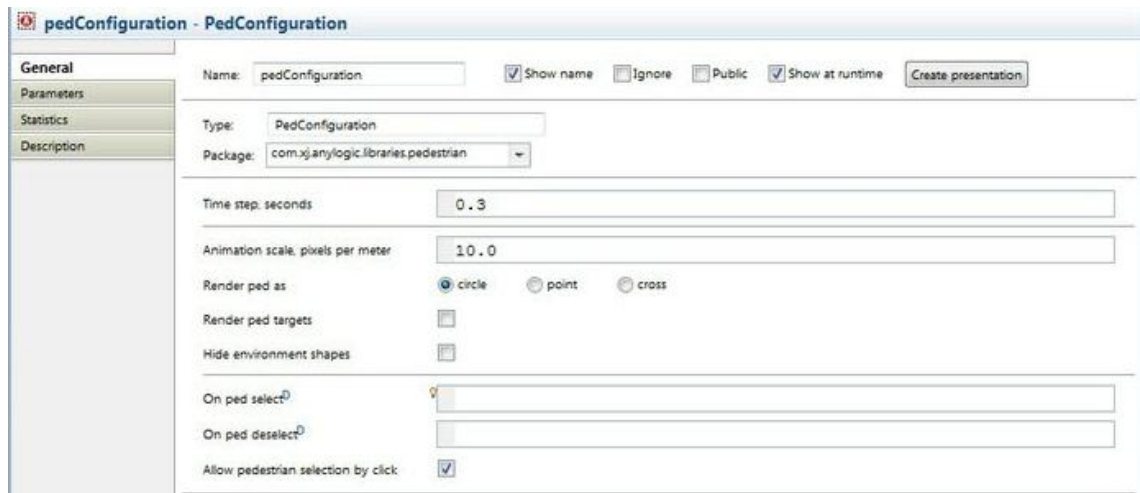


Figura 5.5.2.1 PedConfiguration

Los campos que dispone para su configuración son:

- Name: Identificador de éste módulo, ya que puedes ser necesarios varios.
- Time step, seconds: La velocidad de los <sup>1</sup>peds, aunque como hemos dicho, éste atributo se asignará en los PedSource.
- Animation scale(pixels per meter): La escala de la representación del tamaño de los <sup>1</sup>Peds, hay que tenerla en cuenta junto con la escala del <sup>2</sup>layout.
- Render ped as: En este campo seleccionaremos la geometría de representación de los <sup>1</sup>peds cuando discurran a través del <sup>2</sup>layout, puede ser: un círculo, un punto o una cruz, nosotros elegiremos el círculo.
- Render ped targets.
- Hide environment shapes.
- On ped select: Lugar para introducir la lógica que ha de lanzarse cuando un <sup>1</sup>ped es seleccionado con el ratón.
- On ped deselect: Lugar para introducir la lógica que ha de lanzarse cuando un <sup>1</sup>ped es deseleccionado.
- Allow pedestrian selection by click: Permite que los pedestrians puedan ser seleccionados.

- **PedSources** o generador: Elementos que crean <sup>1</sup>Peds (pedestrian) y las libera en la simulación. Se pueden configurar mediante el menú que se muestra en la Figura 5.5.2.2 o mediante programación.

**Figura 5.5.2.2 Cuadro de diálogo para los PedSources**

Como parámetros de las fuentes se tiene:

- *Name*: Parámetro informativo, su funcionalidad es la de dar nombre/identificador a cada objeto de este tipo, aunque interesante y necesario para distinguirlo en caso de realizar un modelo con varios PedSources.
- *Ped Class*: En este parámetro indicamos el tipo, la clase, de <sup>1</sup>Peds que vamos a crear, ya pueda ser la propia de Anylogic o una personalizada, como es en nuestro caso.
- *Creation mode*: En este punto se indica como llegaran los *peds*, depende de la forma que seleccionemos debemos pasar un tipo

diferente en el campo de *Peds arrivals defined by*, el *PedSource* admite las siguientes.

- *Rate*: Si seleccionamos esta opción debemos pasarle la velocidad(*Peds/unidad de tiempo*) en la que los <sup>1</sup>*peds* entran en el sistema.
- *Interval time*: En esta opción se requiere como parámetro la distribución, en forma de función, que sigue la entrada de <sup>1</sup>*Peds* en el sistema.
- *Rate table*: En este caso el parámetro a pasar sería una tabla que contiene las velocidades de entrada al sistema y en el instante que se producen.
- *Arrival table*: Esta es la opción que elegiremos y como parámetro se le pasa una tabla en la que tendremos el número de <sup>1</sup>*peds* que entran en cada instante en que lo hagan.
- *Manual(inject())*: Esta opción está disponible si queremos o necesitamos introducirlos manualmente usando el método *inject* del propio módulo.
- *New ped*: Aquí le indicamos el tipo de <sup>1</sup>*Ped*, en el caso que estamos tratando no será el propio <sup>1</sup>*Ped de Anylogic*, sino uno extendido que hemos creado ya por necesidades del sistema nuestro <sup>1</sup>*ped* ha de tener atributos que el estándar no tiene.
- *Diameter, meter*: Se define el ámbito de alcance de cada <sup>1</sup>*ped*.
- *Comfortable speed, meters per second*: Define en metros por segundo la velocidad de desplazamiento, esta, en el caso que tratamos, vendrá

definida por una función de distribución consensuada con el cliente.

- *Animation shape*: Se indica la geometría de representación que tendrán los <sup>1</sup>*peds* en la parte física.
- *Color*: Indicaremos el color que tendrán los *peds* en la parte física, aprovecharemos este atributo para distinguirlos en función del origen y destino.
- *Arrival ground(PedGround)*: Necesita saber el sistema en que *PedGround* aparecerán los <sup>1</sup>*Peds* y así saber que reglas físicas afectaran a los <sup>1</sup>*peds* que entran por este *PedSource*.
- *Appears at(line, polyline)*: En este parámetro se indica el punto o la línea del <sup>2</sup>*layout* donde aparecerán los <sup>1</sup>*Peds*.
- *With offset, meters*: Se le asigna el ámbito de influencia de los *Peds* que generen.
- *Initial direction, radian*: Se indica en radianes el ángulo de desplazamiento con que saldrá el <sup>1</sup>*Peds* en la parte física.
- *On exit*: Colocaremos la lógica que necesitemos se ejecute en este módulo, como puedes ser la caracterización del comportamiento del <sup>1</sup>*Ped* a través de sus atributos

Para la realización de este proyecto, las fuentes utilizadas serán las que generen las <sup>1</sup>*peds* desde: el intercambiador, exterior y los andenes, por lo que todas contendrán sus lógicas respectivas.

- **PedSinks:** Elementos que destruyen *peds*

5.5.2.3 Cuadro de diálogo de los PedSinks

Como parámetros que necesitamos en este modelo tenemos el Name, Ped class y el On enter:

- *Name:* Parámetro informativo, su funcionalidad es la de dar nombre/identificador a cada objeto de este tipo, aunque interesante y necesario para distinguirlo en caso de realizar un modelo con varios PedSources.
- *Ped Class:* En este parámetro indicamos el tipo, la clase, de <sup>1</sup>Peds que vamos a crear, ya pueda ser la propia de Anylogic o una personalizada, como es en nuestro caso
- *On enter:* Colocaremos la lógica que necesitamos se ejecute en este módulo, como puede ser el cálculo del tiempo que el <sup>1</sup>ped en cuestión haya podido tardar en pasar por el sistema.

### 5.5.3 Elementos que construyen el desplazamiento o paso de los pedestrians por la parte física y los flujos por el mismo:

- **PedGoTo:** Elementos que provocan el movimiento de los <sup>1</sup>peds por el <sup>2</sup>layout.

5.5.3.1 Cuadro de diálogo de los PedGoTo

- *Name*: Parámetro informativo, su funcionalidad es la de dar nombre/identificador a cada objeto de este tipo, aunque interesante y necesario para distinguirlo en caso de realizar un modelo con varios.
- *Ped Class*: En este parámetro indicamos el tipo, la clase, de <sup>1</sup>Peds que vamos a crear, ya pueda ser la propia de Anylogic o una personalizada, como es en nuestro caso.
- *Target(Point-Line)*: Este campo está destinado a introducir el destino de <sup>1</sup>Ped que pasa por éste módulo, este únicamente puede ser un point o un line, geometrías que se marcan sobre el <sup>2</sup>layout.
- *Path choice mode*: En este campo podemos elegir que el Ped se elija de forma automática, que anylogic decida por donde va a desplazarse el <sup>1</sup>Ped para alcanzar el destino, con Auto, o con la opción Manual(polyline) guiaremos nosotros por donde se desplazará el <sup>1</sup>Ped, este camino estará definido por un poyline que dibujaremos en el <sup>2</sup>layout y será la guía que seguirán los Peds.
- *Target reach tolerance*: Aquí se indica cuanto de próximo al destino ha de pasar el target y que el sistema lo de por bueno.
- *On enter*: En este punto podemos introducir, de verlo necesario una lógica, o acciones para el funcionamiento del sistema a la entrada del <sup>1</sup>Ped a este SelectOutPut.
- *On exit*: Colocaremos la lógica que necesitemos se ejecute en este módulo, como puedes ser la caracterización del comportamiento del <sup>1</sup>Ped a través de sus atributos.
- *On cancel*: En este punto podemos introducir una en cado de verlo

necesario.

- **PedSelectOutPut:** Este módulo nos ayudará tanto en las tomas de decisión frente a la interacción de los <sup>1</sup>peds con el sistema diseñado, teniendo en cuenta estados del sistema y caracterización del <sup>1</sup>ped que esté transitando por el mismo.

Figura 5.5.3.2 PedSelectOutPut

- *Name:* Parámetro informativo, su funcionalidad es la de dar nombre/identificador a cada objeto de este tipo, aunque interesante y necesario para distinguirlo en caso de realizar un modelo con varios.
- *Ped Class:* En este parámetro indicamos el tipo, la clase, de <sup>1</sup>Peds que vamos a crear, ya pueda ser la propia de Anylogic o una personalizada, como es en nuestro caso.
- *Selection mode:* Tenemos dos opciones, por un lado *chance*, esto lo que hará es que de Chance1 a Chance2 se definirán como porcentajes, esto decide que de los <sup>1</sup>Peds que entren en este PedSelectOutPut, por cada salida saldrá el porcentaje que hayamos marcado, por otro lado tenemos

*Conditions*, esto hará que el método de selección sea una condición, que puede ir desde un true o false, hasta cualquier condición del sistema o del <sup>1</sup>Ped en el instante de pasar por este pedSelectOutPut, y es por ello que dado un <sup>1</sup>Ped entre sus atributos viene caracterizado cual es su destino, podemos usarlo para definir el camino que ha de seguir para alcanzar su destino, y que a la hora de enfrentar cualquier tipo de selección, ya sea porque <sup>3</sup>canceladora pasar, o que comportamiento ha de tener en cualquier situación usaremos este objeto.

- On Enter: En este punto podemos introducir, de verlo necesario una lógica, o acciones para el funcionamiento del sistema a la entrada del <sup>1</sup>Ped a este SelectOutPut.
- On Exit: Desde On Exit1 a On Exit5, en estos puntos podemos introducir, de verlo necesario una lógica, o acciones para el funcionamiento del sistema en el momento de que un <sup>1</sup>Ped salga por esta salida.

Puertas bidireccionales, <sup>3</sup>canceladoras y expendedoras:

Las puertas bidireccionales es un objeto que he creado, no propio de Anylogic, está compuesta por dos <sup>3</sup>canceladoras, una en cada sentido que a través la parametrización del mismo podemos programar, para que funcione tanto en el sentido de entrada, como en el de salida, como en ambas al mismo tiempo, estas con las configuraciones que se pueden dar según las indicaciones del cliente.

Tanto la configuración de las <sup>3</sup>canceladoras como las máquinas expendedoras están compuesta por la misma lógicamente, esto deriva en el que los módulos para su representación son las mismas, están compuesto por:

○ PedCmdQueue:

Name:  ☒ Show name ☐ Ignore ☐ Public ☒ Show at runtime

Type:  Ped class:

Package:

Type ☒ Line, polyline ☐ Waiting area ☐ Exact positions

Capacity

Shape (line, polyline)

Space for one ped, meters<sup>D</sup>

Ped priority<sup>D</sup>

On enter<sup>D</sup>

On exit<sup>D</sup>

On at exit<sup>D</sup>

**Figura 5.5.3.3 PedCmdQueue**

- *Name*: Parámetro informativo, su funcionalidad es la de dar nombre/identificador a cada objeto de este tipo, aunque interesante y necesario para distinguirlo en caso de realizar un modelo con varios
- *Ped Class*: En este parámetro indicamos el tipo, la clase, de <sup>1</sup>Peds que vamos a crear, ya pueda ser la propia de Anylogic o una personalizada, como es en nuestro caso.
- *Type*: Seleccionamos de que tipo que representa al zona donde se generará la cola, puede ser: una línea o poli-línea, una área o un punto, n nuestro sistema, será, una línea.
- *Capacity*: Aquí indicamos la capacidad máxima de la cola.
- *Shape(line,polyline)*: Pasaremos el identificador de la forma que representa este módulo.
- *Space for one ped, meters*: Indicamos la separación mínima entre <sup>1</sup>peds cuando estén en la cola.

- *Ped Priority*: Aquí podemos asignar una prioridad, en nuestro caso siempre será cero, porque todos los pasajeros tienen la misma prioridad.
- *On Enter*: Lógica que se ejecutará en el momento que un <sup>1</sup>Ped entre en este módulo
- *On exit*: Lógica que se ejecutará en el momento que un <sup>1</sup>Ped sale en este módulo.

Un sistema para cancelar o sacar un nuevo ticket, lo que para este modelo representa un consumo de tiempo, que usaremos el módulo **PedCmdService**, éste módulo lo usaremos para simular, lo que finalmente se representa como un consumo de tiempo y del recurso que se necesita, tanto el hecho de sacar billetes, como cancelar los mismos en las <sup>3</sup>canceladoras.

The screenshot shows the 'pedCmdService - PedCmdService' configuration window. The 'General' tab is active, showing the following settings:

- Name:** pedCmdService
- Show name:** ☒
- Ignore:** ☐
- Public:** ☐
- Show at runtime:** ☒
- Create presentation:**
- Type:** PedCmdService<T extends Ped>
- Ped class:** Ped
- Package:** com.anylogic.libraries.pedestrian
- Type:** ☒ Just delay ☐ Delay and pass through
- Shape (line):**
- Delay time<sup>0</sup>:** uniform(2.0\*second(), 3.0\*second())
- Recovery time<sup>0</sup>:** 0.0
- On enter<sup>0</sup>:**
- On begin service<sup>0</sup>:**
- On end service<sup>0</sup>:**
- On exit<sup>0</sup>:**
- On cancel<sup>0</sup>:**
- On become idle<sup>0</sup>:**

**Figura 5.5.3.4 PedCmdService**

- *Name*: Parámetro informativo, su funcionalidad es la de dar nombre/identificador a cada objeto de este tipo, aunque interesante y necesario para distinguirlo en caso de realizar un modelo con varios
- *PedClass*: En este parámetro indicamos el tipo, la clase, de <sup>1</sup>Peds que vamos a crear, ya pueda ser la propia de Anylogic o una personalizada,

como es en nuestro caso

- *Type*: En nuestro caso usaremos la opción de Just delay, es decir que implica únicamente un consumo de tiempo.
- *Shape(line)*: Línea que en la zona física representa la línea que representa el punto donde se realizará la lógica de éste módulo.
- *Delay time*: Aquí indicamos el tiempo de espera.
- *Recovery time*: Este campo para éste modelo no le daremos uso, ya que marcaremos un tiempo único para todo el servicio, que será el que se marque en el delay time, pero en otros módulos se usa para indicar un tiempo de recuperación del recurso, es decir, el tiempo que tras ser ocupado, un recurso necesita para estar operativo.
- *On enter, On begin service, On end service, On exit, On Cancel, On become idle*: En estos puntos se pone la lógica que se lanzará en el momento que indica cada punto.

**Escaleras automáticas:** Dado de que no hay ningún elemento de Anylogic que represente el funcionamiento, crearemos nosotros un pequeño sistema que lo representará, Anylogic dispone en al parte del entorno para el desarrollo de modelos discretos usando la librería enterprise, un objeto, denominado <sup>4</sup>conveyor, que no representa otra cosa que una cinta mecánica, lo que no deja de ser en esencia una escaleras automáticas, se usan dos <sup>4</sup>conveyor, ya físicamente, y tras consensuarlo con el cliente, es el ancho permitido en unas escaleras automáticas, la diferencia principal entre ambas es que la situada a la izquierda según el movimiento de los <sup>1</sup>peds posee una velocidad mayor que la de la derecha y es por la que se moverán los <sup>1</sup>peds definidos como <sup>1</sup>peds con prisas, Anylogics da la posibilidad de usar ambas librerías, la <sup>1</sup>pedestrian y la enterprise, para pasar de un a otro sistema únicamente necesitamos en los módulos pedExit y pedEnter, para salir y entrar respectivamente.

Entonces para representar unas escaleras mecánicas usaremos la

concatenación de los objetos:

### PedExit—Conveyor--PedEnter

Dónde:

- *PedExit*: Es el módulo en el que un <sup>1</sup>ped pasa del entorno Pedestrians al Enterprise, y pasa de tener las características de un <sup>1</sup>Ped a la de una Entidad, tanto en la parte lógica como física.

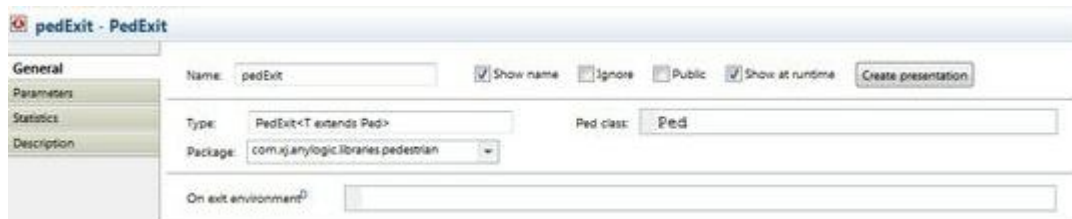


Figura 5.5.3.5 PedExit

- *On exit enviroment*: En este punto introduciremos, de verlo necesario, las acciones que han de lanzarse cuando el <sup>1</sup>ped salga de este módulo.
- <sup>4</sup>*Conveyor*: Este modelo pertenece a los usados para simulación de eventos discretos, pero anylogic permite la interactuación con ellos, y nos aporta la manera ideal de simular las escaleras automáticas.

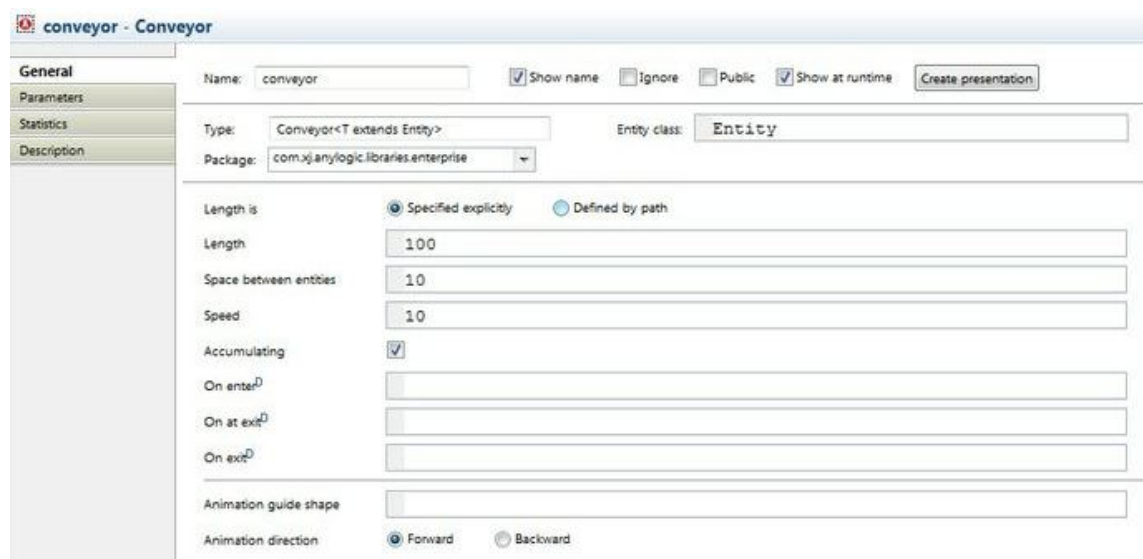


Figura 5.5.3.6 Conveyor

- *Name*: Parámetro informativo, su funcionalidad es la de dar nombre/identificador a cada objeto de este tipo, aunque interesante y necesario para distinguirlo en caso de realizar un modelo con varios PedSources.
- *Entity Class*: En este parámetro indicamos el tipo, la clase, como hemos indicado este objeto, aunque puede interactuar con el sistema de <sup>1</sup>Peds, pertenece a la simulación de eventos discretos, es por ellos, que nos pide el tipo de entidad Entity, con la que se está trabajando, y nosotros definiremos la nuestra para conservar los atributos y el <sup>1</sup>Ped que represente.
- *Length is*: Aquí decidiremos si la longitud del <sup>4</sup>conveyor viene definida por el tamaño de la representación gráfica en el <sup>2</sup>layout del mismo, o queremos darle una medida.
- *Length*: La medida del <sup>2</sup>layout, en caso de que hayamos elegido darle la medida y no que la coja del tamaño de la representación en el <sup>2</sup>layout.
- *Space between entities*: Como su nombre indica, pondremos, la separación mínima que tiene que hacer entre los <sup>1</sup>peds que se desplazan por el, coincidirá con el espacio de actualización de los <sup>1</sup>peds.
- *Speed*: la velocidad con la que se mueve, el <sup>4</sup>conveyor que en este caso será la velocidad con que se mueve las escaleras automáticas.
- *Accumulating*: Si seleccionamos esta opción, el <sup>4</sup>conveyor permitirá que los <sup>1</sup>peds se acumulen al final del mismo, en caso de que no puedan salir del <sup>4</sup>conveyor, como en este caso la lógica dice que esto no es posible, esta opción se desactivará.
- *On Enter, On Exit, On Cancel*: En estos puntos se pone la lógica que se

lanzará en el momento que indica cada punto.

○ PedEnter

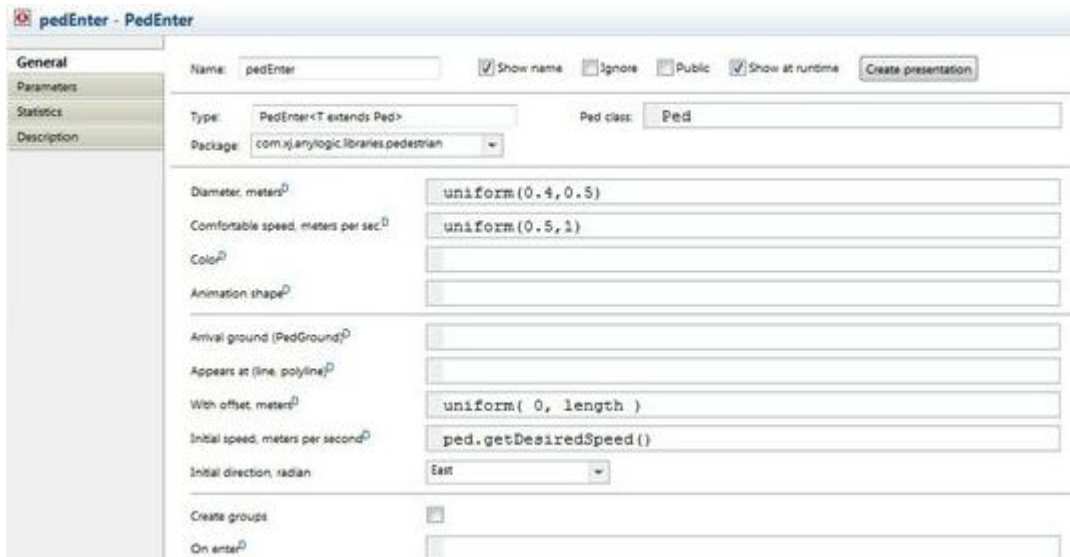


Figura 5.5.3.7 PedEnter

Como parámetros de las fuentes se tiene:

- *Name*: Parámetro informativo, su funcionalidad es la de dar nombre/identificador a cada objeto de este tipo, aunque interesante y necesario para distinguirlo en caso de realizar un modelo con varios PedSources.
- *Ped Class*: En este parámetro indicamos el tipo, la clase, de <sup>1</sup>Peds que vamos a crear, ya pueda ser la propia de Anylogic o una personalizada, como es en nuestro caso.
- *New ped*: Aquí le indicamos el tipo de <sup>1</sup>Ped, en el caso que estamos tratando no será el propio <sup>1</sup>Ped de Anylogic, sino uno extendido que hemos creado ya por necesidades del sistema nuestro <sup>1</sup>ped ha de tener atributos que el estándar no tiene.

- *Diameter, meter*: Se define el ambito de alcance de cada ped *Comfortable speed, meters per second*: Define en metros por segundo la velocidad de desplazamiento, esta, en el caso que tratamos, vendrá definida por una función de distribución consensuada con el cliente.
- *Animation shape*: Se indica la geometría de representación que tendrán los <sup>1</sup>peds en la parte física.
- *Color*: Indicaremos el color que tendrán los <sup>1</sup>peds en la parte física, aprovecharemos este atributo para distinguirlos en función del origen y destino.
- *Arrival ground(PedGround)*: Necesita saber el sistema en que *PedGround* aparecerán los <sup>1</sup>Peds y así saber que reglas físicas afectaran a los <sup>1</sup>peds que entran por este *PedSource*.
- *Appears at(line, polyline)*: En este parámetro se indica el punto o la linea del <sup>2</sup>layout donde aparecerán los <sup>1</sup>Peds.
- *With offset, meters*: Se le asigna el ámbito de influencia de los <sup>1</sup>Peds que generen.
- *Initial speed meters per seconds*: Indica la velocidad con la que el <sup>1</sup>Ped se introduce en el sistema.
- *Initial direction, radian*: Se indica en radianes el ángulo de desplazamiento con que saldrá el <sup>1</sup>Peds en la parte física.
- *Create groups*: Indicaremos si deseamos crear los <sup>1</sup>Peds en grupos, con la lógica que ellos tiene en su comportamiento, en este ejemplo no, ya

que se trata a cada entidad por separado.

- *On enter*: Colocaremos la lógica que necesitamos se ejecute en este módulo, como puedes ser la caracterización del comportamiento del <sup>1</sup>Ped a través de sus atributos.

**Escaleras normales:** Para la simulación de este elemento usaremos el **PedArea**, un elemento que aún y dando la posibilidad de permitir libre albedrío de los <sup>1</sup>peds, nos permite influenciar en propiedades de los mismos.

Figura 5.5.3.8 PedArea

- **Name:** Parámetro informativo, su funcionalidad es la de dar nombre/identificador a cada objeto de este tipo, aunque interesante y necesario para distinguirlo en caso de realizar un modelo con varios
- **PedClass:** En este parámetro indicamos el tipo, la clase, de <sup>1</sup>Peds que vamos a crear, ya pueda ser la propia de Anylogic o una personalizada,

como es en nuestro caso

- Shape(oval, rectangle,close polyline): identificador de la forma que delimita el área que queremos caracterizar con este módulo, como se indica puede ser: un ovalo, un rectángulo,o un area cuyos lados se dibujan mediante un polyline, y que ha de ser un área cerrada.
- Ground(PedGround): Identificador del pedGround donde queremos que se aloje este área
- On enter: Lógica que se lanzará en el momento que un <sup>1</sup>Ped entre en el área a la que apunta este módulo
- On exit; Lógica que se lanzará en el momento que un <sup>1</sup>Ped salga en el área a la que apunta este módulo
- Speed is limited: Si seleccionamos este campo estamos diciendo que el campo tendrá una velocidad máxima permitida, y esta se marcará en el campo *Maximum speed m/s*
- Speed is multiplied; Si seleccionamos este campo lo que indicaremos es que cuando un<sup>1</sup> ped pase por este área, su velocidad será variada por un factor, que se definirá en el campo *By factor of*, este campo nos será muy útil para en el caso de representar unas escaleras, en la que la velocidad del <sup>1</sup>ped se reducirá una tanto por ciento.
- Ground is moving: Si seleccionamos este campo lo que estamos diciendo es que el “suelo” de este campo tiene un movimiento con una velocidad que se indica en el campo *At speed of* y en una dirección marcada en radianes en el campo *in direction(radian)*
- Enable acces control: Permitimos que en el campo se permita un control de acceso
- Keep direction: Si seleccionamos esta opción, definiremos la dirección hacia la que se desplazarán los <sup>1</sup>ped en el momento de abandono del area, esta dirección se marcará en el campo *By angle radian*

### 5.5.4 Elementos de control del sistema

Como explicamos anteriormente los puntos que debemos controlar son, por un lado, las colas, usando variables auxiliares en las que cada vez que un pasajero entra o abandona la cola, actualizamos el valor de las mismas, que es de donde almacenaremos los valores para más tarde exportarlas y estudiar su evolución.

Y por otro lado el pasillo, que controlamos con otra variable auxiliar en la que guardamos la ocupación de la misma cada vez que entran o salen pasajeros del mismo.

### 5.5.5 Sistema de entrada de información al sistema

Elementos de entrada/salida de la información del sistema

- **Inputs:** es un objeto que no pertenece a ninguna librería, que creamos para conectar nuestro sistema con las tablas excel que tenemos, y que definen el volumen de los flujos de entrada.

**Figura 5.5.5.1. Cuadro de diálogo Inputs**

Para su funcionamiento los parámetros que hay que pasar son:

*TableName:* Nombre de la table en excel de los datos que queremos leer.

*ColumnDimension* y *RowDimension*: Objetos de tipo *dimension* que representarán las dimensiones de la tabla a leer

*DBName*: *Path* del archivo que queremos importar

Tras introducir todos estos datos, el objeto *Input* tiene una función *get(X,Y)* que nos devolverá el contenido de la posición X,Y del Excel, y con esos datos y programando la lógica necesaria, irá introduciendo los <sup>1</sup>Peds por su entrada correspondiente al sistema.

### 5.5.6 Sistema de obtención de información

Para la obtención de la información que requerimos del sistema se trabaja de dos formas:

- Funciones puntuales de almacenamiento: Estas funciones están implementadas en los PedSinks, en ellas almacenamos en las tablas correspondientes, que al final de la ejecución se exportarán a una tabla externa para su posterior análisis, la información que necesitamos del <sup>1</sup>Ped que deja el sistema, como:
  - Información de atributos de nuestro <sup>1</sup>ped:
    - Identificador
    - Instante de entrada al sistema
- Otra información:
  - Instante de salida del sistema del <sup>1</sup>ped que lanza esta función

Funciones iterantes: Estas funciones están desarrolladas para capturar con una frecuencia de 1 segundo el estado de:

- Ocupación de las colas de las <sup>3</sup>canceladoras
- Densidad en el pasillo de comunicación entre los accesos a los andenes.

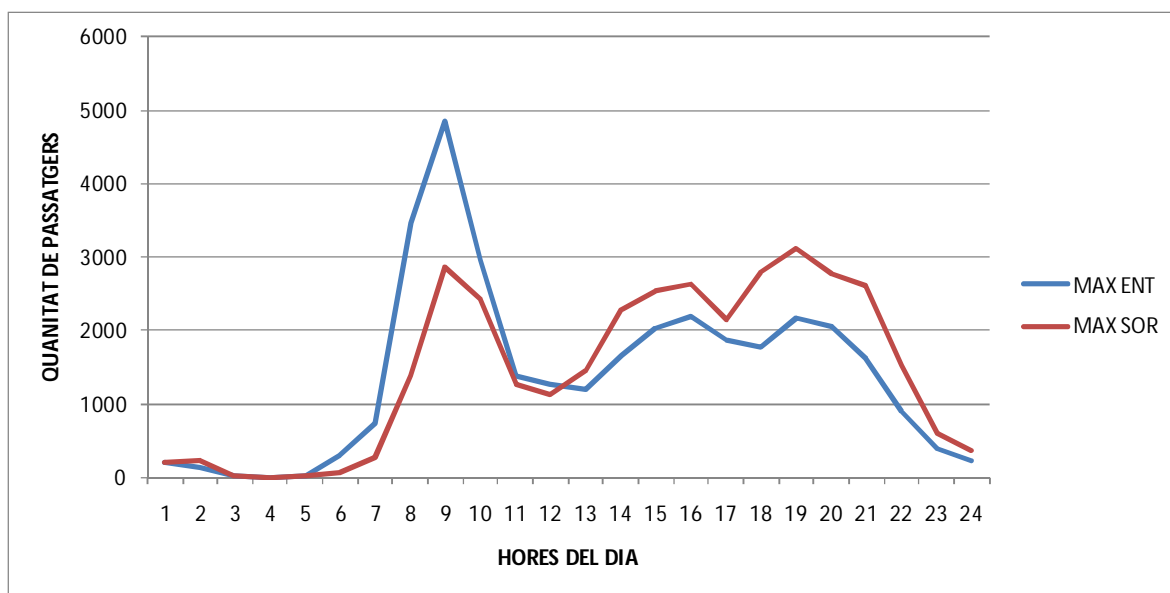
### 5.5.7 Exportación de datos

Para el trabajo de análisis posterior a la explotación del modelo, es necesario tener los datos exportado con un formato que nos permita trabajar con herramientas que comprendan el mismo, es por ello, que usando el módulo database, comunicamos nuestro modelo con una tabla Excel, en el que al final de cada simulación el modelo automáticamente volcará toda la información que necesitábamos para realizar el estudio y hemos captado mediante el sistema de obtención de información desarrollado.

## 5.6. Diseño de experimentos

### 5.6.1 Volumen de pasajeros

En la siguiente figura se pueden ver la distribución del paso de los pasajeros por las <sup>3</sup>canceladoras, esta grafica se ha derivado de los datos proporcionados por el cliente.



**Figura 5.6.1 Distribución del paso de pasajeros por las <sup>3</sup>canceladoras**

De 8:00 a 9:00 de la mañana es cuando existe una mayor afluencia de

pasajeros en la estación. Coincide con el valor máximo de entrada y el 90% del valor máximo de salida(18h)

### 5.6.2 Flujos de entrada

Mediante las visualizaciones de los vídeos suministrados por la empresa cliente, se han analizado el comportamiento de entrada de pasajeros. Por un lado hay un goteo continuo de pasajeros que llegan del exterior. Y por otro, cada 2:40 minutos llega un metro desde el intercambiador.

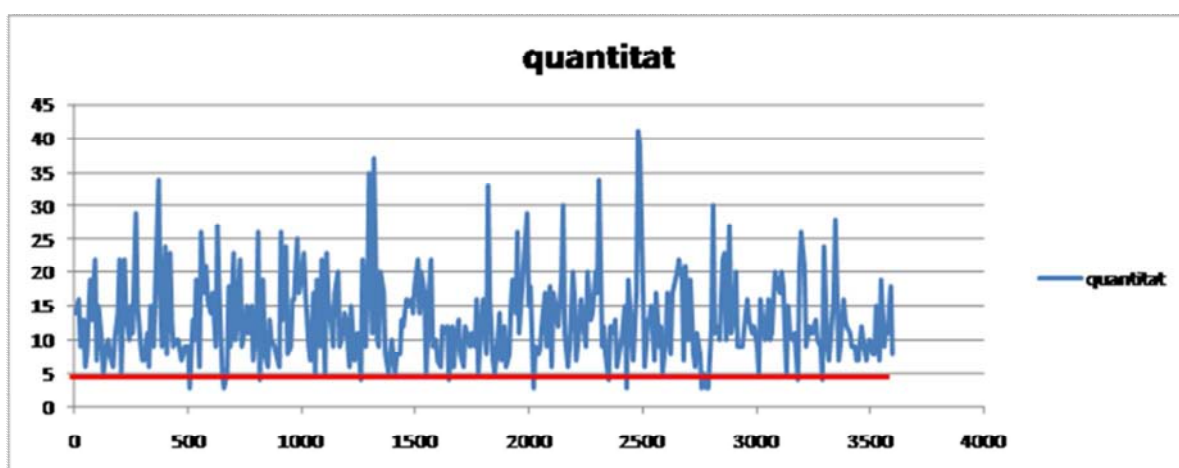


Figura 5.6.2.1 Cantidad de pasajeros por minuto de entrada

Según datos suministrados por el cliente, 4800 pasajeros entran a la estación entre las 8:00 y las 9:00h de la mañana. Y tras analizar los videos suministrados por el cliente, para definir obtenemos los porcentajes de procedencia que se muestran en la siguiente imagen.

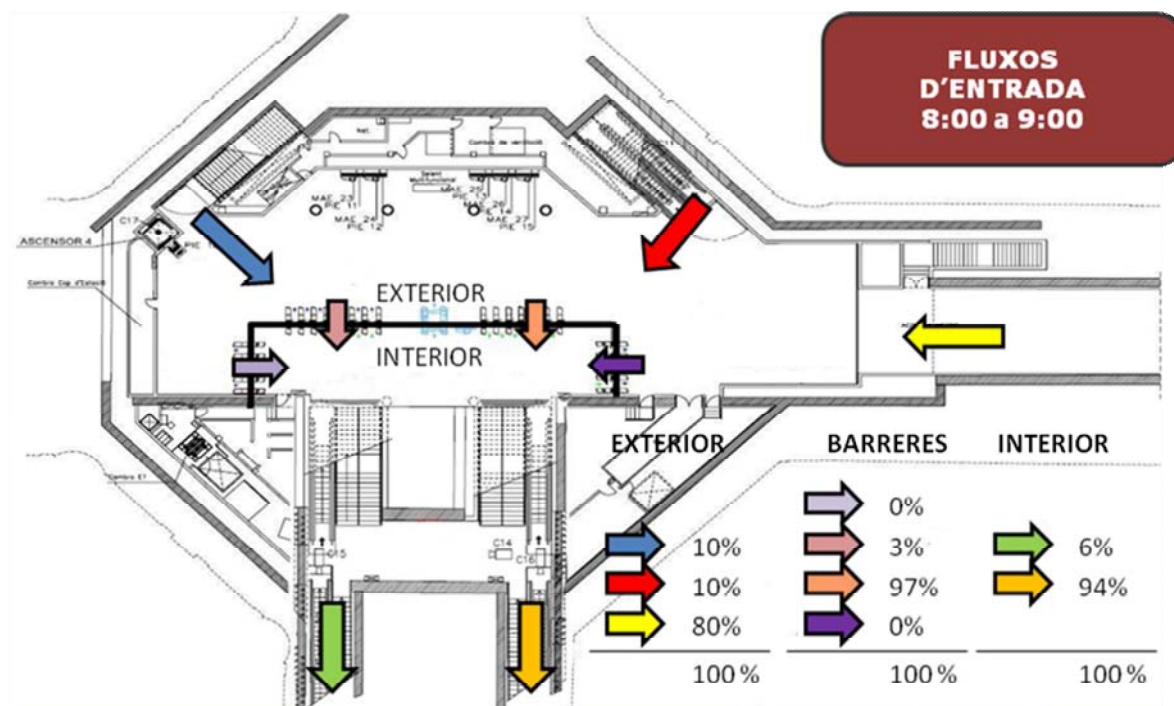


Figura 5.6.2.2 Flujos de entrada

### 5.6.3 Flujos de salida

Mediante la visualización de los vídeos suministrados por el cliente, se han analizado el comportamiento de la salida de pasajeros de la estación a través de la llegada de trenes.

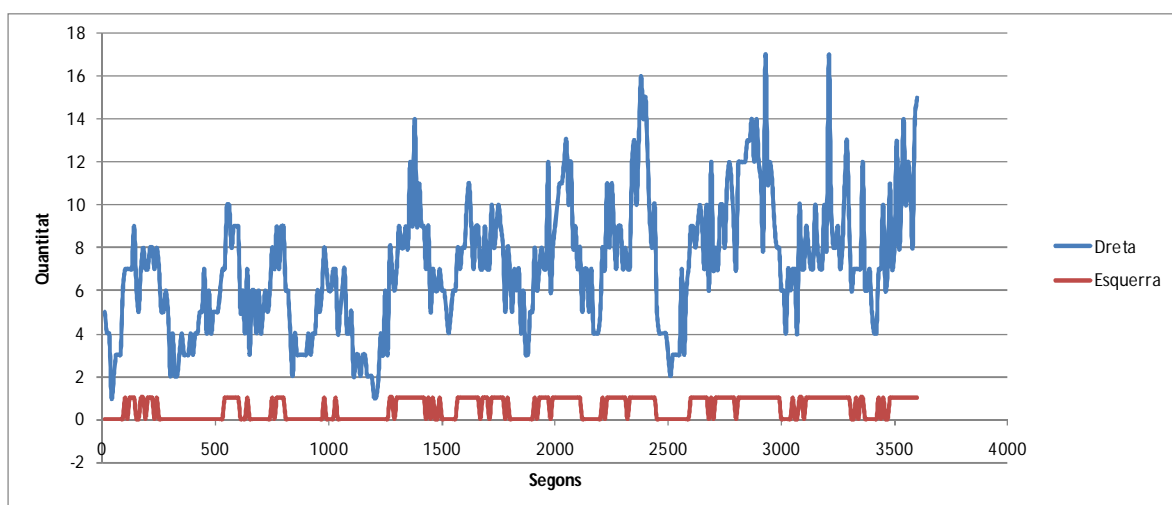


Figura 5.6.3.1 Cantidad de pasajeros por minuto de salida

Según los datos suministrados por el cliente, 2700 pasajeros salieron de la estación entre las 8:00 y las 9:00h de la mañana. Y tras analizar los videos suministrados por el cliente, para definir obtenemos los porcentajes de procedencia que se muestran en la siguiente imagen.

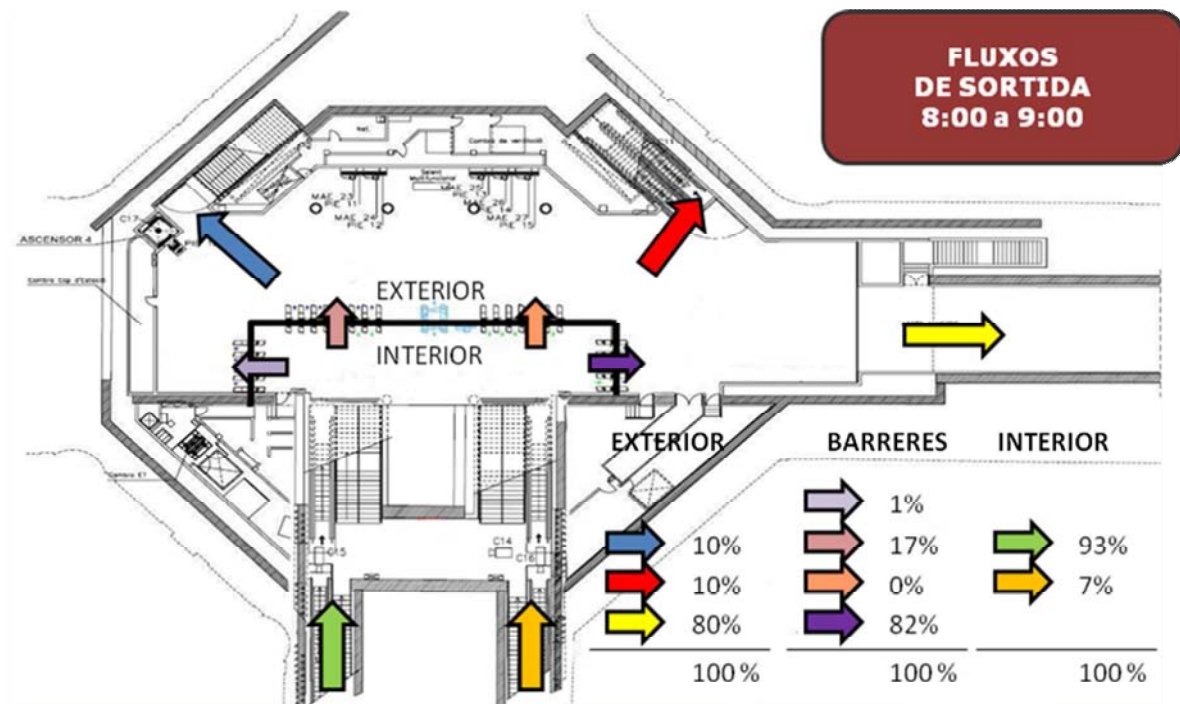


Figura 5.6.3.2 Flujos de salida

De la visualización y estudio de los videos suministrados por el cliente también se ha descubierto que:

- El **1.4%** de los pasajeros accederán a la primera a la máquina expendedora de billetes de salida.
- El **2.4%** de los pasajeros intentaran validar los billetes en las barreras de salida. Pero al no activarse la barrera, accederán a la máquina expendedora de billetes de salida.

#### 5.6.4 Parametrización

- Selección de cancelador: El comportamiento de los usuarios al acercarse a una serie de <sup>3</sup>canceladoras es elegir las más próximas, por naturaleza intrínseca del pasajero, y la más vacías, este segundo punto no tiene porqué cumplirse un porcentaje alto de las veces, este punto se deja parametrizable, nos ayudará a afinar el modelo, ya que al aumentar este valor, es decir, que la toma de decisión de acceso a la <sup>3</sup>canceladora, por la óptima, hará que el modelo mejore en rendimientos, pero tras diferentes pruebas, experimentos, y consensuarlo con el cliente, el valor que definiremos será ....

- Tiempo de paso por las barreras: Cada pasajero tarda entre **3 y 4 segundos** en validar el billete y atravesar la barrera. Se ha supuesto que los pasajeros tardaran el mismo tiempo tanto si entran a la estación como si salen. Cuando el pasajero no puede validar el billete tarda entre **15 y 20 segundos** antes de acceder a la máquina expendedora.
- Tiempo de compra de billete: Los pasajeros que han de comprar billetes, ya sea a la entrada o a la salida de la estación tardan entre **10 y 30 segundos** en realizar el proceso de compra

### 5.6.5 Escenarios y experimentos evaluados

Para el estudio de la estación con el <sup>2</sup>layout modificado, se han realizado 5 experimentos variando la configuración de las barreras.

- Escenario actual:



Figura 5.6.5.1 Configuración del estado actual

- Escenario 1: Las barreras de entrada son las mismas que en la situación actual. En las de salida, se ha quitado una debido a la nueva situación del PMR .

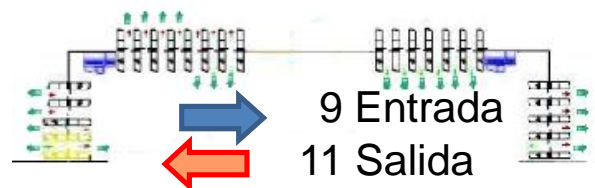


Figura 5.6.5.2 Configuración del escenario 1

- Escenario 2: Se ha cambiado una barrera de entrada por una de salida respecto al estado actual. Ahora, hay 8 barreras de entrada y 12 de salida. Con la configuración que se puede observar en la figura 5.6.5.3

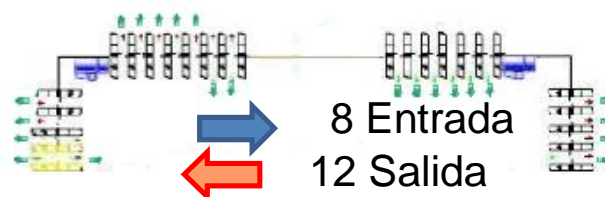


Figura 5.6.5.3 Configuración del escenario 2

- Escenario 3: Se ha cambiado dos barreras de entrada por dos de salida respecto al experimento 1. Ahora, tendremos 7 barreras de entrada y 13 de salida. Con la configuración que se puede observar en la figura 5.6.5.4

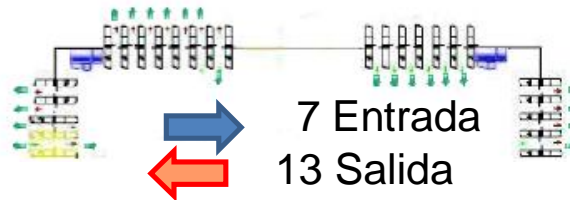


Figura 5.6.5.4 Configuración del escenario  
3

- Escenario 4: Separación de flujos. Entrada por la derecha, configurando las 9 de la derecha de entrada y las 9 de la izquierda como salida. Se ha dejado una barrera inhabilitada a la derecha para prever salidas esporádicas por esta zona. Con la configuración que se puede observar en la figura 5.6.5.5

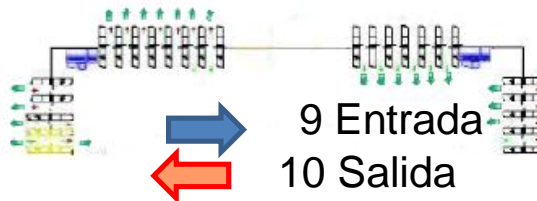


Figura 5.6.5.5 Configuración del escenario  
4

- Escenario 5: Separación de flujos. Entrada por la izquierda, configurando 10 canceladoras de entrada por la izquierda, y las 10 de la derecha para la salida. Con la configuración que se puede observar en la figura 5.6.5.6

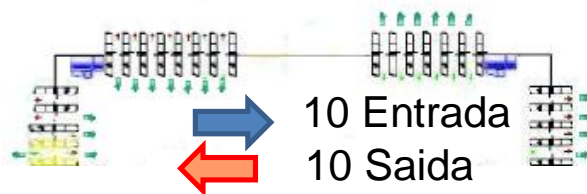
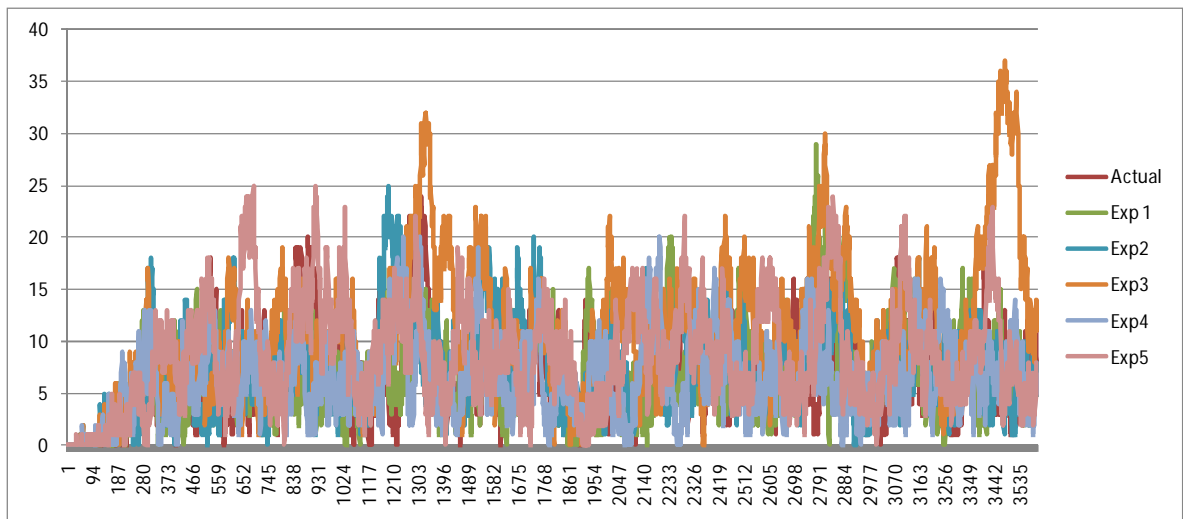


Figura 5.6.5.6 Configuración del escenario

## 5.7. Análisis de resultados

Como anteriormente se ha explicado, el horario del escenario seleccionado son de 9:00 a.m. a 10:00 a.m., ya que en ese horario se alcanza el mayor punto de saturación del sistema, ya que es el momento en el que se alcanza el mayor número de acceso entrantes hacia los andenes, y el 90% del máximo número salidas desde los andenes.

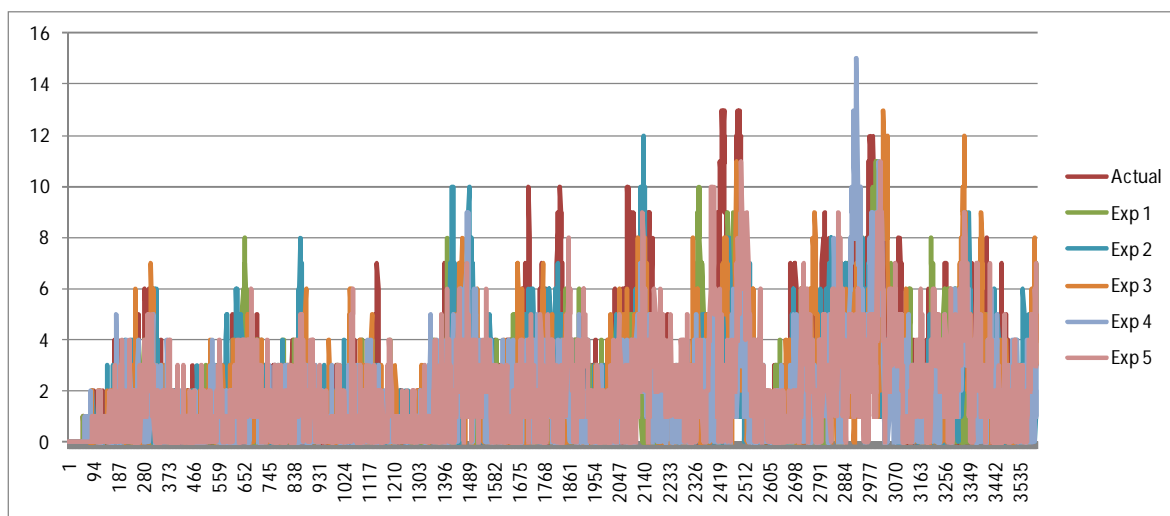
Como se describió anteriormente, existen dos puntos críticos para estudiar la viabilidad, como son las colas en las <sup>3</sup>canceladoras, se ha de mantener como máximo la carga actual de las colas en las canceladores, es decir, el número de personas que estén esperando en cada instante en las colas, tanto en las de salida como en las de entrada como en las de salida no ha de incrementarse respecto al estado actual. Tras la realización de la explotación del sistema, tenemos en la figura 5.7.1, la gráfica que representa la evolución de las colas en el sentido de entrada de las <sup>3</sup>canceladoras a lo largo de los escenarios estudiados.



**Figura 5.7.1 Resultado de los experimentos, sentido de entrada**

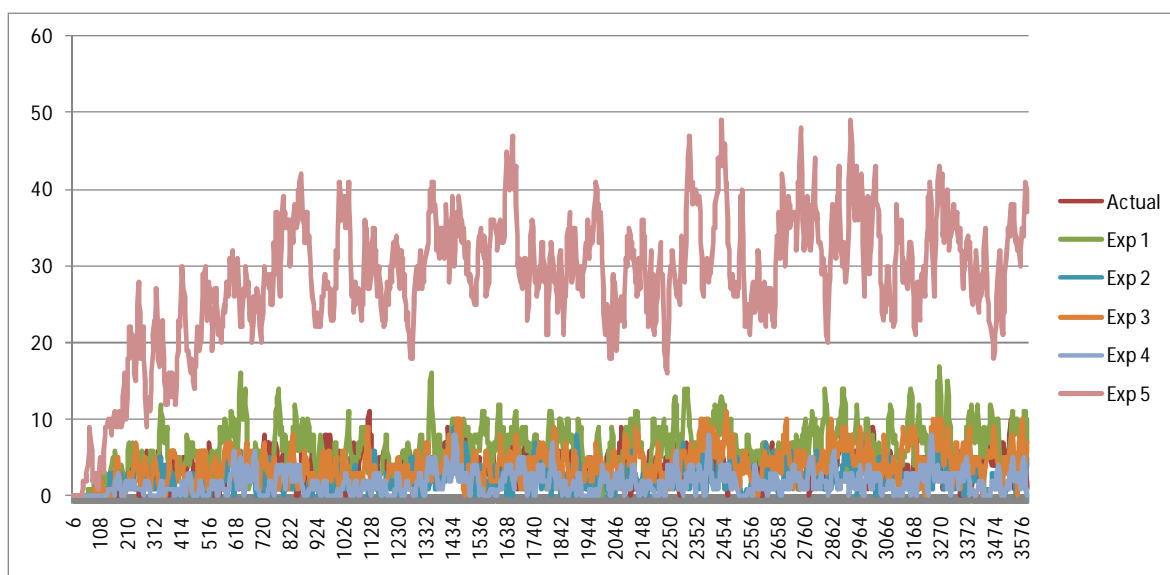
Y en la figura 5.7.2. tenemos la representación de la evolución de las colas en

sentido de salida de las <sup>3</sup>canceladoras a los largo de los escenarios estudiados.



**Figura 5.7.2 Resultado de los experimentos, sentido de salida**

Como deducimos en puntos anteriores, otro lugar conflictivo es el pasillo que comunica las escaleras de acceso a los dos andenes, figura 5.7.3, y en la siguiente figura podemos observar la evolución de la saturación de la zona en los escenarios explotados.



**Figura 5.7.3 Resultado de los experimentos, ocupación del pasillo**

A parte de estos valores, para reforzar que las conclusiones de este estudio, hemos tenido en cuenta para resolución final el tiempo medio de la permanencia en la estación del pasajero para salir, el medio de la permanencia del pasajero en la estación para acceder al andén, el número de

pasajeros en el andén en intervalos de dos minutos, y la varianza de los mismo cada dos minutos.

Para el estudio de esta estación se han realizado 5 experimentos variando la configuración de las barreras. Y para cada experimento se han realizado 5 réplicas para obtener datos estadísticos más fiables, y como resultado en valor absoluto hemos obtenido los valores de la tabla de la figura 5.7.4

Criterio	EXPERIMENTO					
	Actual	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp 5
Barreras Salida	12	11	12	13	10	10
Barreras Entrada	9	9	8	7	9	10
Media de pas. en espera para salir(pas.)	2.13	2.13	1.88	1.68	1.60	1.88
Maxima pas. en espera para salir(pas.)	14.20	15.20	15	10.60	10.00	11.20
Media de pas. en espera para entrar(pas.)	6.56	6.60	8.05	10.42	6.61	9.43
Maxima pas. en espera para entrar(pas.)	20.20	20.60	22.80	32.20	18.80	32.80
Densida zona de cruce(pas./area)	2.87	6.12	4.49	2.59	2.23	27.19
Tiempo medio permanencia para salir(s)	224.80	220.71	227.08	227.71	226.47	199.03
Tiempo medio permanencia para entrar(s)	270.82	276.52	279.13	272.56	258.56	325.82
Número pas. en el anden cada 2 min(pas.)	135.93	136.40	133.03	136.30	136.70	136.03

Figura 5.7.4 Resultado en valor absoluto

Para poder comparar los valores con el estado actual se ha trabajado la tabla de resumen de la figura 5.7.4 y la hemos transformado de tal manera que la información que contiene es la variación porcentual respecto a la configuración actual del <sup>2</sup>layout, y tenemos como resultado la tabla de la figura 5.7.5

Criterio	EXPERIMENTO					
	Actual	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp 5
Barreras Salida	12	11	12	13	10	10
Barreras Entrada	9	9	8	7	9	10
Media de pas. en espera para salir(pas.)	0,0%	0,0%	-11,9%	-21,2%	-25,1%	-11,9%
Maxima pas. en espera para salir(pas.)	0,0%	7,0%	5,6%	-25,4%	-29,6%	-21,1%
Media de pas. en espera para entrar(pas.)	0,0%	0,6%	22,7%	58,8%	0,8%	43,8%
Maxima pas. en espera para entrar(pas.)	0,0%	2,0%	12,9%	59,4%	-6,9%	62,4%
Densida zona de cruce(pas./area)	0,0%	116,4%	56,4%	-9,8%	-22,3%	847,4%
Tiempo medio permanencia para salir(s)	0,0%	-1,8%	1,0%	1,3%	0,7%	-11,5%
Tiempo medio permanencia para entrar(s)	0,0%	2,1%	3,1%	0,6%	-4,5%	20,3%
Número pas. en el anden cada 2 min(pas.)	0,0%	0,3%	-2,1%	0,3%	0,6%	0,1%

Figura 5.7.5 Resultados relativos

## 6. Conclusiones

En este apartado realizaremos el estudio de los resultados de la simulación que nos ocupa en este proyecto, evaluando diferentes puntos del proyecto, y a la conclusión que nos ha llevado cada uno de ellos.

### 6.1. Conclusiones de la validación

Para realizar el estudio se ha partido de la situación actual, y una vez validada, se han realizado experimentos de los nuevos escenarios, donde se han modificado la ubicación de la <sup>3</sup>canceladora para PMR, y debido a este cambio se elimina una de las <sup>3</sup>canceladoras operativas en la actualidad.

Ahora bien, no se ha podido simular las aglomeraciones del andén y su impacto en los accesos debido a las limitaciones del software de simulación. No obstante, para comparar los diferentes experimentos, se ha extraído un indicador que calcula el número medio de pasajeros que entran en el andén cada 2 minutos suponiendo que no se produce ningún cuello de botella en el andén.

La validación del modelo se ha realizado comparando los resultados de la simulación con el sistema real extraído mediante los videos y datos suministrados por la empresa cliente del proyecto.

### 6.2. Conclusiones de la explotación

De los experimentos estudiados, existen dos configuraciones principales:

- Situación similar a la actual, y en función del experimento reduciendo el número de barreras habilitadas para la entrada (no interesa facilitar la entrada ya que se producen aglomeraciones en el andén)
- Separando los flujos de entrada y salida de los pasajeros a cada uno de los lados del vestíbulo para evitar cruces innecesarios

Los resultados del modelo de simulación se han representado en valores absolutos y en variaciones porcentuales respecto a la situación actual. Las variaciones inferiores al 10% no son significativas a la hora de valorar si un experimento obteniendo unas prestaciones mejores o peores a la situación actual. En cambio, variaciones superiores al 30% sí que se pueden considerar como una diferenciación respecto a la situación actual.

### 6.3. Conclusiones de los indicadores

De los indicadores utilizados para valorar la idoneidad de cada configuración destacan las colas de espera en las <sup>3</sup>canceladoras, ya sea para salir de la estación como para entrar, y la densidad media de pasajeros en la zona de cruce en el nivel intermedio de las escaleras:

- En las colas de espera para salir de la estación se produce una paradoja, ya que disminuyen todo y que el número de barreras de salida se hayan reducido. Eso es debido a que la mayoría de configuraciones se han agrupado las barreras, facilitando así el proceso de salida
- Las colas de espera para acceder al andén varían en función del experimento evaluado. A medida que reducimos el número de barreras, aumenta el tiempo de espera
- La densidad en la zona de cruce se reduce a medida que se habilitan las barreras según el flujo de entrada y la salida. La situación más favorable se produce cuando las barreras próximas al metro se configuran de entrada y las más alejadas de salida.

#### **6.4. Conclusiones: Configuración más favorable**

De todos los experimentos evaluados, el Exp. 4 es el que aporta mayor prestaciones respecto al nivel de servicios:

- Se concentran todas las barreras de entrada en la zona más próxima al intercambiador consiguiendo así que haya menos cruces de flujos de pasajeros
- Se mantienen las 9 barreras de entrada que hay habitadas en la actualidad. De esta manera, no aumentarán las aglomeraciones para acceder al andén
- Todo y que en los experimentos evaluados se ha colocado la <sup>3</sup>canceladora para PMR en el lado izquierdo, por cuestiones de espacio, también se habría podido ubicar en la parte derecha, evitando así que los pasajeros de movilidad reducida que provengan del intercambiador tengan que dar toda la vuelta
- En la parte derecha del vestíbulo (zona donde se concentran todas las barreras de entrada) se habilitará una barrera de salida, para facilitar la evacuación de aquellos pasajeros que no hayan, por el motivo que sea, seguido las indicaciones pertinentes.

#### **6.5. Desviación temporal**

En este punto analizamos la fidelidad del desarrollo del proyecto, respecto a lo planeado inicialmente, en este aspecto, podemos resaltar, como ha surgido una desviación en la etapa de inicio de modelado conceptual, como se puede observar en la figura 6.5.1, esta desviación porque tras el análisis inicial realizado en este proyecto y hablarlo con el cliente entendemos, para la realización de un modelo fiel a la realidad, necesitamos datos que el cliente no tiene digitalizados,

como porcentajes de error de clientes, tiempos de cancelación, y porcentajes en comportamientos, como el porcentaje de pasajero que denominamos con prisa, la relación entre usuarios de pasajeros que usan las escaleras normales y las automáticas, y otros puntos. Para ello acordamos con el cliente alargar esta fase.

Usando videos de cámaras de seguridad que poseen en diferentes puntos de la estación pudimos capturar los datos que necesitábamos, tras ello volvimos a reunirnos y validamos con el cliente los nuevos datos.

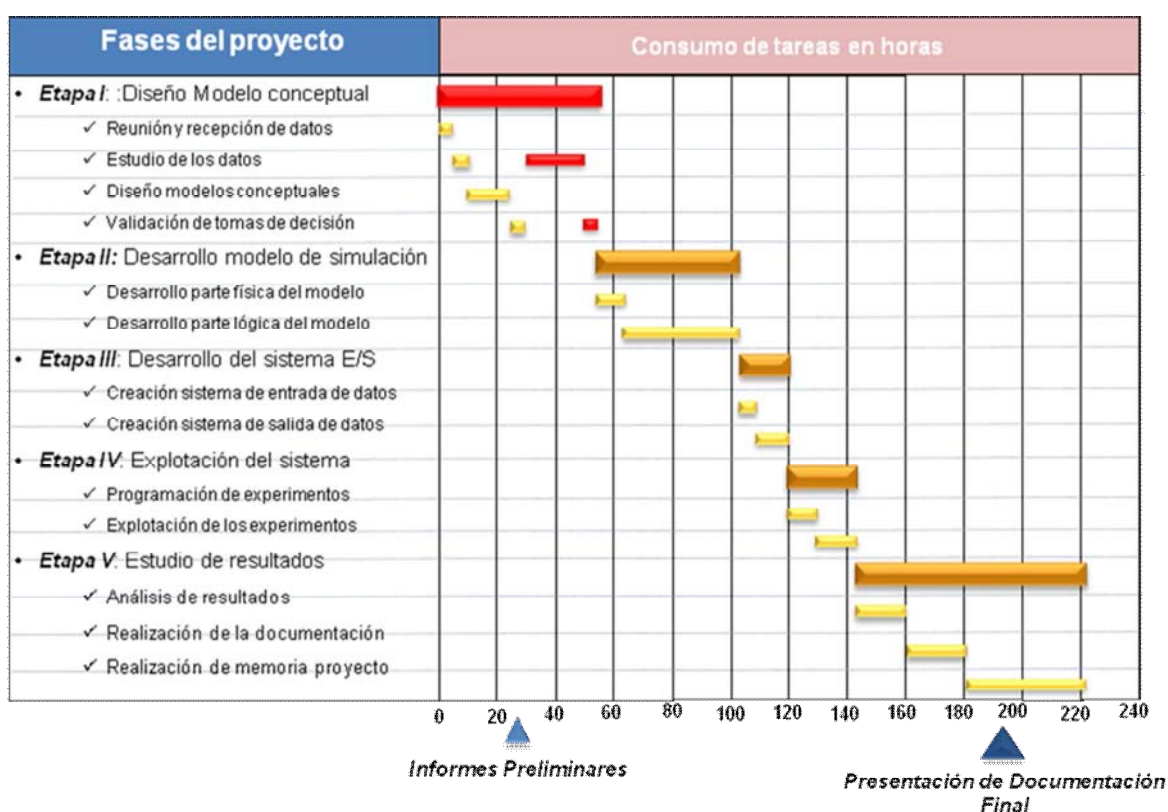


Figura 6.5.1 Planificación temporal final

## 6.6. Valoración personal

Personalmente, considero que este proyecto me ha ayudado a entrar en el mundo el de la simulación de eventos y procesos.

Un campo que encuentro interesante, para el desarrollo y mejoras a una amplia tipología de problemáticas, que pueden ayudar a mejorar y/o optimizar tanto sistemas de producción, como problemas de movilidad, y al que los conocimientos adquiridos durante la carrera pueden aportar valor añadido.

Gracias a la asignatura Planificación de la producción conocí este campo y pasé a trabajar en una empresa perteneciente a él, un campo que se debería impulsar, mejorar los sistemas de toma de decisiones, y mejorar así la productividad, eficiencia y finalmente la competitividad.

## 7. Bibliografía

A continuación se muestran los distintos enlaces que hemos utilizado para buscar información que nos ayude con el proyecto

- Información sobre Anylogic:
  - <http://www.anylogic.com/anylogic/help/>.
  - [http://www.anylogic.com/forum?PAGE\\_NAME=list&FID=1](http://www.anylogic.com/forum?PAGE_NAME=list&FID=1)
- Información sobre el comportamiento dinámico del viandante
  - <http://www.anylogic.com/consulting/pedestrian-traffic-flows>



## 8. Glosario

<sup>1</sup>Ped: Es la abreviatura que usa el software Anylogic, para referirse a los peatones, o pedestrians en inglés.

<sup>2</sup>Layout: Con este término, nos referimos a la disposición física de los elementos que componen el sistema

<sup>3</sup>Canceladora: Máquina usada para controlar el paso de un peatón, puede ser de entrada o salida de un lugar, en el caso que nos ocupa, el paso hacia/desde los andenes al exterior.

<sup>4</sup>Conveyor: Transportador, o cinta de desplazamiento, que nosotros usamos en nuestro sistema para simular el funcionamiento de las escaleras automáticas.