

8. ANÁLISIS DE LA DISTANCIA CAMINADA POR LOS PASAJEROS

Establecer una metodología para analizar las características y poder realizar comparaciones entre aeropuertos cualesquiera no es en principio una buena idea, desde el punto de vista de que incluso 2 aeropuertos que se encuentren en una misma ciudad pueden llegar a tener tráfico de pasajeros o de aeronaves bastante diferentes.

Llegados a este punto nos hacemos la pregunta de porque hemos de comparar aeropuertos desde el punto de vista geométrico, es decir, comparando áreas, es evidente que intentar sacar razonamientos, similitudes o formas de comportamiento parecidas es tarea harto difícil por no decir imposible dentro de unos sistemas que generalmente se caracterizan por su gran complejidad. En este sentido la oficina técnica del Plan Barcelona realizó un estudio comparativo entre el futuro aeropuerto de Barcelona, el de Detroit y el de Munich pero los resultados de la comparación no llevaron a definir geometrías claras y repetitivas entre los tres aeropuertos todo y ser aeropuertos con volúmenes de tráfico muy parecidos (Benchmark, 2001)

El propósito de este trabajo es reflejar otras formas de realizar las comparaciones que permitan vislumbrar con mayor claridad las diferencias o similitudes del funcionamiento de estas grandes áreas, llegando a poder clasificar los aeropuertos hubs según unos parámetros de calidad relacionados con los porcentajes de pasajeros en conexión. El modelo asignará una “calificación” al aeropuerto dependiendo de las características en tiempos de conexión, es decir, que nivel de calidad está ofreciendo el aeropuerto respecto el mayor nivel de calidad que es capaz de ofrecer. En este trabajo se relaciona la calidad de servicio con la distancia promedio caminada por los pasajeros para diferentes porcentajes de conexión en los aeropuertos hub.

Esta claro que podríamos realizar operaciones del mismo sentido para cada uno de los procesos que tienen lugar en un aeropuerto, este trabajo y por su definición no va a entrar a hacer un estudio de cada actividad o proceso, pues ello nos llevaría a realizar un trabajo propio de doctorado. Mi propósito es centrar este trabajo en el estudio de la estrategia y planificación que un aeropuerto debe seguir para reducir los tiempos de recorrido y de espera, en definitiva el MCT (Tiempo Mínimo de Conexión) y el MCIT (Tiempo Mínimo de Facturación), así como analizar que interacción existe entre ambos flujos.

8.1 PARÁMETROS ESTÁTICOS Y PARÁMETROS DINÁMICOS:

Los aeropuertos todo y poder tener un gran potencial operando como hub sólo será así en el caso de trabajar cerca de los porcentajes óptimos para esa planificación y para ese aeropuerto, que dependen a su vez de una serie de parámetros. Estos parámetros los dividiré en *parámetros estáticos* y *parámetros dinámicos*.

Los primeros no se pueden modificar al menos a corto plazo, en cambio los segundos si que pueden modificarse y nos sirven para adaptarnos al % de conexiones, o lo que es lo mismo, para ofrecer la calidad que nosotros mismos nos hemos impuesto.

Parámetros estáticos:

- Dimensiones de las aeronaves.
- Geometría de la terminal.
- Tipología de pasajeros según escenarios.(% Schengen, % No UE,..)
- Distribución de las puertas de embarque.

Parámetros dinámicos:

- Planificación de vuelos.
- Planificación del área terminal.
- Disposición y cantidad de información disponible por el pasajero.
- Medios tecnológicos de trabajo.
- Cantidad de personas y profesionalidad del personal trabajando.
- Tipos de contratos de trabajo
- Zonas destinadas a otros servicios.
- Centro de control de operaciones Hub. (Ejemplo Munich)

El aeropuerto de Barcelona tiene previsto a partir de la entrada en servicio de la nueva terminal en el 2006, ir aumentando el porcentaje de conexiones hasta alcanzar la cifra de un 25 % a 30%. Este trabajo intenta observar esta evolución para analizar los posibles problemas que se pueden encontrar con la calidad de servicio ofrecida al ir aumentando el porcentaje en Conexiones.

Se estudiará la posibilidad de optimizar dichos tiempos mediante planificaciones concretas para diferentes escenarios de porcentaje de pasajeros en CONEXIONES o de O&D, aplicándolo al espigón principal de la N.A.T sud del aeropuerto de Barcelona.

8.2 ANÁLISIS DE LA ESPERANZA DE LA DISTANCIA CAMINADA POR LOS PASAJEROS EN EL ESPIGON PRINCIPAL DE LA N.A.T SUD DEL AEROPUERTO DE BARCELONA.

Las hojas de cálculo como Excel nos proporcionan una herramienta útil para estudiar los efectos que la configuración del tráfico en los edificios de pasajeros en los aeropuertos producen sobre la distancia promedio caminada. Utilizando hojas de cálculo, podemos rápidamente analizar las prestaciones de diferentes diseños para muchas distribuciones de tráfico. Usando las tablas de funciones que incorporan las hojas de cálculo, estas pueden servir para realizar análisis paramétricos para un gran rango de condiciones.

El procedimiento para analizar la distancia promedio caminada en edificios de pasajeros (Neufville, R ; Odón, A 2003) usa solamente dos matrices origen-destino:

La **matriz de Impedancia** y La **matriz de Flujo**. Cada una de estas matrices de datos básicos posee información sobre diferentes aspectos del tráfico del edificio de pasajeros en el aeropuerto o zona del mismo analizada.

Una matriz de Impedancia define el nivel de dificultad en transitar entre dos puertas de embarque cualesquiera (o entre un punto de acceso al edificio terminal y cualquier puerta de embarque). Esta matriz refleja la geometría del edificio, es decir, refleja la distancia entre todos estos orígenes y destinos. Podría, sin embargo, representar tiempos de viaje o cualquier otra medida modificada de distancia que tuviera en cuenta los beneficios de los carritos transporta personas, cintas transportadoras o cualquier otra facilidad mecánica, así como también los inconvenientes de los retrasos producidos por escaleras mecánicas, hot spots, controles de seguridad, controles de inmigración y cualquier otra barrera al movimiento.

Una matriz de Flujo define el volumen de pasajeros moviéndose entre cada origen y destino reflejado en la matriz de Impedancia. Esta matriz incorpora la información operacional acerca del edificio de pasajeros del aeropuerto considerado. Esta matriz tiene en cuenta dos aspectos importantes que la matriz de Impedancia ignora completamente. Estos aspectos son

- Las topologías de conexiones que se dan en el edificio de pasajeros.
- Una distribución inteligente en la asignación de puertas de embarque, es decir, que la persona o departamento encargado de realizar la distribución lo haga juntando al máximo posible las aeronaves que tienen pasajeros en conexión mutuos.

La matriz de flujo y la de impedancia convenientemente representan toda la información básica de los movimientos de pasajeros en el edificio de pasajeros del aeropuerto considerado.

A partir de estas matrices si después quisiéramos hacer un análisis en tiempo tendríamos que utilizar otras matrices que nos proporcionasen las velocidades según las diferentes tipologías de pasajeros, diferentes formas de señalización dentro de la terminal, hot spots,...

Es fácil calcular todas las estadísticas interesantes en la distancia caminada usando estas matrices. Multiplicando las dos matrices nos proporciona la matriz de Pasajeros-Impedancia en la que cada celda representa la impedancia entre ese origen-destino, ponderado por el número de pasajeros.

Por ejemplo, si la Impedancia se mide en metros que hay que caminar, cada celda de la matriz pasajero-impedancia representa los pasajeros-metros caminados por el tráfico entre los correspondientes puntos de origen-destino del edificio. Sumando estos resultados y dividiendo por el total del tráfico, da la distancia promedio caminada.

Clasificando las celdas por la distancia, y sumando la correspondiente impedancia expresada en términos del porcentaje del total, permite el análisis para desarrollar el diagrama acumulativo pasajero-impedancia que nos da la proporción de pasajeros que caminan una cierta distancia para un escenario concreto, así que el rendimiento es mejor cuanto más a la izquierda tengamos la curva.

Esta demostrado que la distancia media caminada, cuando los operadores de los aeropuertos distribuyen de forma inteligente y pensada las aeronaves de tal manera que las conexiones y el tráfico de O&D se encuentren cerca de sus respectivas puertas de embarque o zonas de salida, es considerablemente menor que la que podríamos obtener de hacer un análisis geométrico minucioso de la terminal para conseguir el mismo resultado.

Realizando un estudio de las posibles localizaciones de las aeronaves en el conjunto de puertas de embarque y estacionamientos remotos podemos reducir las distancias medias caminadas de forma considerable, por ejemplo situando aeronaves en conexión lo más cerca unas de otras, situando los aviones de fuselaje ancho lo más cerca posible de las salidas, situando los aviones de fuselaje ancho en conexión en zonas intermedias de los espigones y no en los extremos, etc. (ver Figura 8.5 y 8.6).

Con este tipo de metodología se puede llegar a reducir hasta un tercio el valor medio de la distancia caminada por los pasajeros.

8.3 FLEXIBILIDAD

Todo lo que se construye hoy en día puede ser que en un futuro más o menos cercano deje de ser funcional por falta de capacidad, no porque se haya construido pequeño, sino porque los procesos que intervienen en un aeropuerto son tantos y tan variados que pequeñas variaciones de estos, pueden dar lugar a nuevos escenarios que no se hayan tenido en cuenta en el análisis o diseño inicial. Por ejemplo el tráfico puede crecer o más importante todavía la mezcla de tráfico (Internacional, O&D, conexiones, etc) puede ser diferente. Algunos ejemplos son:

- La mezcla de tráfico de pasajeros puede variar considerablemente aumentando el % de conexiones o disminuyéndolo, como paso en Salt Lake City 1990.
- La proporción de pasajeros internacionales que requieran “international clearances” probablemente cambie, así como nuevos países pueden entrar en mercados comunes como Europa, Mercosur, Nafta o Asia.
- Las necesidades de las aerolíneas pueden cambiar por la rotura o formación de nuevas alianzas, como paso en JFK (New York) cuando muchas grandes compañías se unieron para operar con compañías aéreas americanas.

En este sentido la configuración inicial de los aeropuertos necesitará evolucionar y tendrá que poder evolucionar de forma flexible, para poder servir a diferentes tipos de pasajeros y diferentes escenarios. El diseño inicial nunca podrá anticipar exactamente lo que en un futuro será necesario para el buen funcionamiento. Muchos de los diseños se realizan a partir de encuestas y prognosis de futuro que en ningún caso son una ciencia exacta y muchas veces las prognosis son equivocadas. Esto significa que la configuración de hoy debe adaptarse a otras circunstancias diferentes a las que parecían buenas en un principio.

En general las configuraciones centralizadas de edificios de pasajeros pueden acomodar los cambios más fácilmente que las descentralizadas. Un ejemplo lo vemos en el caso de Baltimore/Washington donde Southwest que necesitaba puertas de embarque internacional extra no podía utilizar las de US Airways a la cual le sobraban porque las terminales de una compañía y la otra eran edificios separados.

Estas consideraciones nos llevan al concepto de diseño modular y flexible. La modulación permite la adición de secciones al terminal conforme se incrementa el tráfico o su reducción durante los períodos no punta. La flexibilidad del diseño permite un fácil cambio del uso de la superficie construida existente conforme cambien las necesidades del tráfico de pasajeros. Tanto los diseños modulares como los flexibles, encarecen, a menudo, los costos iniciales de construcción, pero a largo plazo pueden resultar extremadamente efectivos, en una industria en la que la modificación del terminal puede ser necesaria cada 5 años, llegándose comúnmente a la completa obsolescencia de la infraestructura del terminal al cabo de un período de 20 años.

Sin embargo hoy en día se construyen aeropuertos gigantes, lujosos y con toda clase de actividades no relacionadas con el transporte aéreo

8.4 TEORÍA CONTÍNUA Y DISCRETA

Vamos a estudiar la esperanza de la distancia caminada por los pasajeros en el espigón principal de la N.A.T sud del aeropuerto de Barcelona, para ello primero vamos a analizarla mediante una teoría continua (Francesc Robusté – Carlos F. Daganzo, 1991) y ha hacer ciertas comparaciones con la misma teoría pero utilizando funciones discretas para intentar suavizar algunas hipótesis de partida con el fin de observar cuales son las diferencias más significativas.

Una vez analizadas estas dos teorías he realizado un estudio a partir de las matrices de impedancia y de flujo, aplicadas al espigón principal de la N.A.T sud del aeropuerto de Barcelona, con el fin de sacar algunos resultados interesantes respecto la esperanza de la distancia caminada por los pasajeros. Este último estudio es el corazón de este trabajo y el que más tiempo de trabajo de campo y de análisis ha llevado. Los resultados y gráficas explicativas se explicitan más adelante.

Funciones continuas:

Supongamos que la terminal contiene n puertas de embarque, todas idénticas (capaces de acomodar a cualquier tipo de avión) e igualmente espaciadas a una distancia g . Supongamos que cualquiera de los pasajeros tiene igual oportunidad de viajar a cualquiera de las puertas de embarque. Esto elimina los beneficios adicionales que se obtendrían asignando adecuadamente los vuelos de conexión a las puertas de embarque más cercanas. Estas estimaciones, por tanto, representan un límite superior para la esperanza de la distancia caminada por los pasajeros que realizan trasbordo. El diseño incluye un bloque de terminal rectangular (edificio central) con una única puerta de entrada / salida a la terminal en el centro. L representa la longitud del pasillo o espigón considerado donde se encuentran las puertas de embarque.

En estas condiciones para los pasajeros en conexión la esperanza de la distancia caminada se aproxima a $L/3$. En cambio para los pasajeros O&D la esperanza de la distancia caminada se aproxima a $L/2$. Estos dos valores corresponden al límite en el supuesto de que el número de puertas sea importante.

$$\mathbf{0\% \text{ de Conexión}} \quad \rightarrow \quad \frac{1}{L} \cdot \int_0^L x \cdot dx \approx \frac{L}{2}$$

Fórmula 8.1

$$\mathbf{100 \% Conexión} \quad \rightarrow \quad \frac{1}{L} \cdot \int_0^L \left(\frac{x}{L} \cdot \frac{x}{2} - \frac{L-x}{L} \cdot \frac{L-x}{2} \right) \cdot dx \approx \frac{L}{3}$$

Fórmula 8.2

Los resultados de esta teoría que utiliza técnicas de optimización y consideraciones topológicas han permitido encontrar una solución óptima. Estas soluciones son tanto más correctas cuanto más se asemeja la realidad a las hipótesis de partida, algunas de ellas son totalmente irreales por lo que estas soluciones nos están ofreciendo en principio un valor no real de la esperanza caminada por los pasajeros. No obstante, como veremos más adelante al comparar estos valores con el estudio de la N.A.T sud del aeropuerto de Barcelona a partir de matrices de impedancia y flujo, la distancia promedio para los pasajeros en un 100% de conexión coincide.

Las principales hipótesis de la teoría son:

1. Número de puertas de embarque del orden del centenar.
2. Equidistancia entre las puertas de embarque.
3. Uniformidad de pasajeros en todas las puertas de embarque.

4. Todas las puertas de embarque pueden ubicar cualquier tipo de avión.
5. Una distribución óptima e inteligente de las puertas de embarque.
6. Desprecio de la anchura del pasillo respecto la longitud del mismo.
7. Sistema de información eficiente para que los pasajeros conozcan en todo momento donde están y hacia donde van.

Funciones discretas:

Como prueba del grado de fiabilidad de los resultados de las funciones continuas, he realizado la discretización de las funciones anteriores para poder eliminar algunas de las hipótesis de partida.

Discretizando las funciones continuas anteriores obtenemos el siguiente resultado, que nos va a servir para poder calibrar si el número de puertas de embarque del espigón principal de la nueva Terminal Sud del aeropuerto de Barcelona es suficiente para poder asumir la 1ª hipótesis como cierta. Esto se debe a que el espigón de la terminal sud sólo contará con 22 puertas de embarque intercaladas a lado y lado.

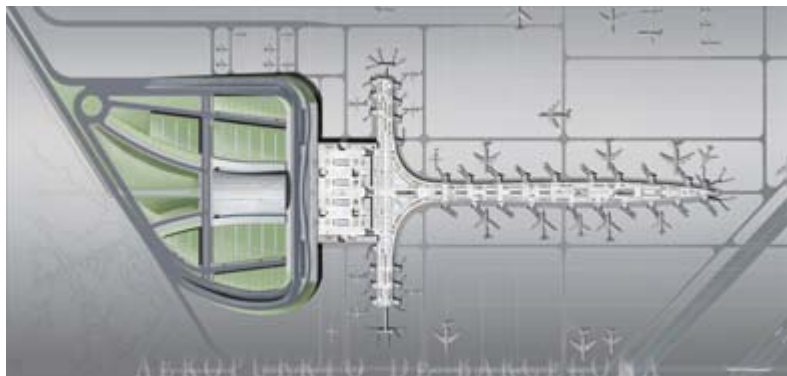


Figura 8.1: N:A:T Sud del Aeropuerto de Barcelona

$$\mathbf{0\% \text{ de Conexión}} \quad \rightarrow \quad L \cdot \frac{\sum_{i=1}^n i}{n^2} = \frac{(n+1) \cdot L}{2 \cdot n} \approx \frac{L}{2} (n \rightarrow \infty)$$

Fórmula 8.3

$$\mathbf{100 \% Conexión} \quad \rightarrow \quad L \cdot \frac{\sum_{i=1}^n i^2}{n^3} = \frac{(n+1) \cdot (2 \cdot n + 1)}{6 \cdot n^2} \cdot L \approx \frac{L}{3} (n \rightarrow \infty)$$

Fórmula 8.4

El espigón principal hace más o menos unos 538 m con lo que por la teoría por funciones continuas llegamos al siguiente resultado.

$$\frac{L}{2} = \frac{538}{2} = 269m$$

$$\frac{L}{3} = \frac{538}{3} = 179m$$

Si comparamos estos resultados con los resultados obtenidos en la figura 8.2 podemos observar la diferencia entre el resultado real (Discreto) y el teórico para el espigón de la N.A.T Sud del aeropuerto de Barcelona con 22 puertas de embarque enfrentadas a tresbolillo. La teoría discreta también asume que las puertas de embarque se encuentran equidistantes que no es cierto en la N.A.T Sud del aeropuerto de Barcelona.

La teoría con funciones continuas da un valor para la esperanza de la distancia caminada por los pasajeros O&D del orden del 7,5 % más pequeña que en la realidad. Para la esperanza de la distancia caminada por los pasajeros en CONEXIÓN da un valor 11,75 % más pequeña que en la realidad. En ambos casos considerando como único parámetro diferenciador el número de puertas de embarque.

A la vista de estos datos observamos que las diferencias son significativas y por tanto asumir la teoría con funciones continuas nos da unos valores para la esperanza de la distancia caminada optimistas, ya que esta diferencia sólo se debe a la primera hipótesis.

En la figura 8.2 podemos apreciar que el número de puertas de embarque influye en la esperanza de la distancia caminada por los pasajeros en un edificio aeroportuario de pasajeros.

En este caso he supuesto que las puertas de embarque se encuentran equidistantes entre sí, más adelante podremos observar que si las puertas de embarque no se encuentran equidistantes entonces la esperanza de la distancia caminada también aumenta.

Con estos resultados llegamos a la siguiente conclusión:

En la figura 8.3 observamos los errores cometidos para diferentes números de puertas de embarque que quedan resumidos en la tabla 8.1.

Nº de gates	% error Conexión	% error O&D	Rango error en %
15-20	10,43%	5,00%	5,43%
20-25	7,83%	4,00%	3,83%
25-30	6,28%	3,33%	2,95%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8.1: Error en la distancia media caminada según el número de puertas.

Los valores de la tabla 8.1 nos muestran que desde un punto de vista teórico para un espigón lineal con unas 20 a 25 puertas de embarque, a medida que aumentamos el número de pasajeros en conexión en relación a un mismo número total de pasajeros, estamos aumentando el error cometido al calcular la esperanza de la distancia caminada por los pasajeros, desde un 4,00 % mínimo a un 7,83% máximo.

En este sentido podemos observar que si podemos aumentar el número de puertas de embarque en un mismo espigón se consigue disminuir la esperanza de la distancia caminada, tanto para pasajeros O&D como pasajeros en Conexión.

Esta medida es bastante teórica se consideramos fingers clásicos los cuales no pueden estar tan juntos ya que las envergaduras de las aeronaves no lo permiten. En este sentido es importante realizar nuevas investigaciones para construir pasarelas telescópicas más largas y que plegadas ocupen el mínimo espacio aunque eso no evita los espacios necesarios de las aeronaves para maniobrar.

Otra forma de afrontar este problema es elegir correctamente las dimensiones mínimas de las aeronaves que optimizan la equidistancia y el proceso de conexión. Esta última solución depende más del tipo de Hub aeroportuario, es decir, un Superhub internacional tendrá un gran tráfico de aeronaves de fuselaje ancho “wide body” mientras que en un hub más regional sí tiene sentido el utilizar aeronaves más pequeñas las cuales proporcionan mayor flexibilidad, economías de escala, mayor frecuencia, mayor número de oleadas y unos tiempos de conexión menores.

La N.A.T Sud del aeropuerto de Barcelona presenta para el espigón principal las siguientes características en cuanto a la equidistancia de las puertas de embarque.

Ter - A	A - B	B - C	C - D	D - E	E - F	F - G	G - H	H - I	I - J
58,56	48,30	50,70	48,30	45	45	59,70	45	45	39,32
J - K	K - L	L - M	M - N	N - O	O - P	P - Q	Q - R	R - S	S - T
53,35	20,40	37,92	21,73	51,82	45	63	45	45	45
T - U	U - V	V - Ter							
57,30	45	81,53							

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8.2: Distancias entre puertas de embarque espigón principal N.A.T Sud Barcelona.

La esperanza matemática de la distancia entre puertas de embarque para la N.A.T Sud del aeropuerto de Barcelona es :

$$\text{Esperanza} \rightarrow \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$$

Fórmula 8.5

$$\bar{x} = 47,69m$$

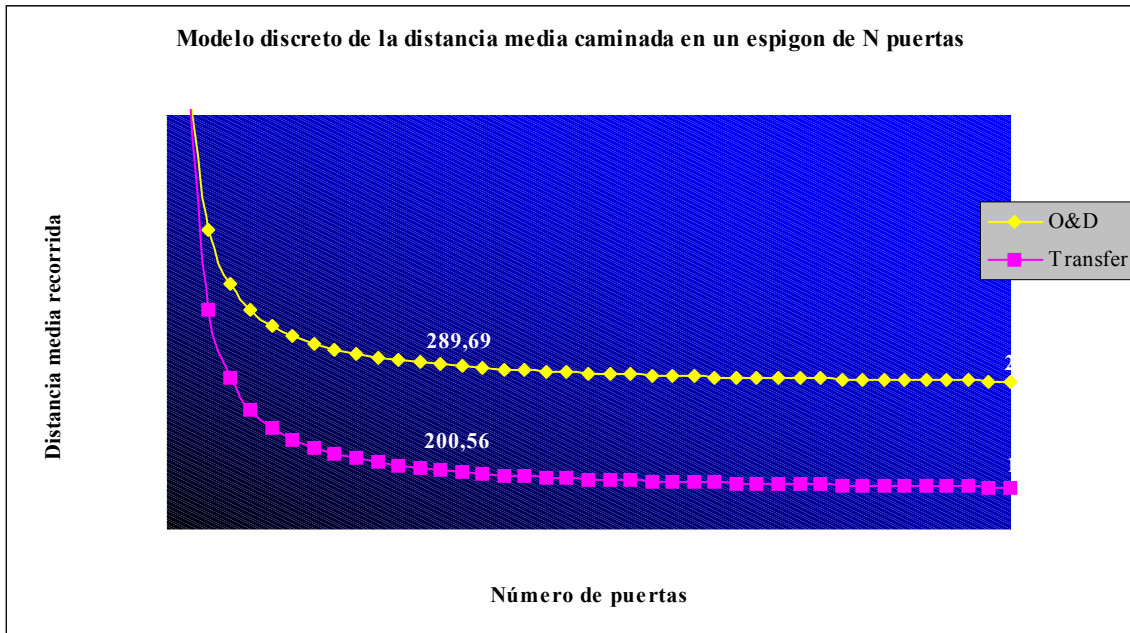
La desviación standard para la muestra de las distancias entre puertas de embarque para la N.A.T Sud del aeropuerto de Barcelona es:

$$\text{Varianza} \rightarrow \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - d_i)^2}{n}$$

Fórmula 8.6

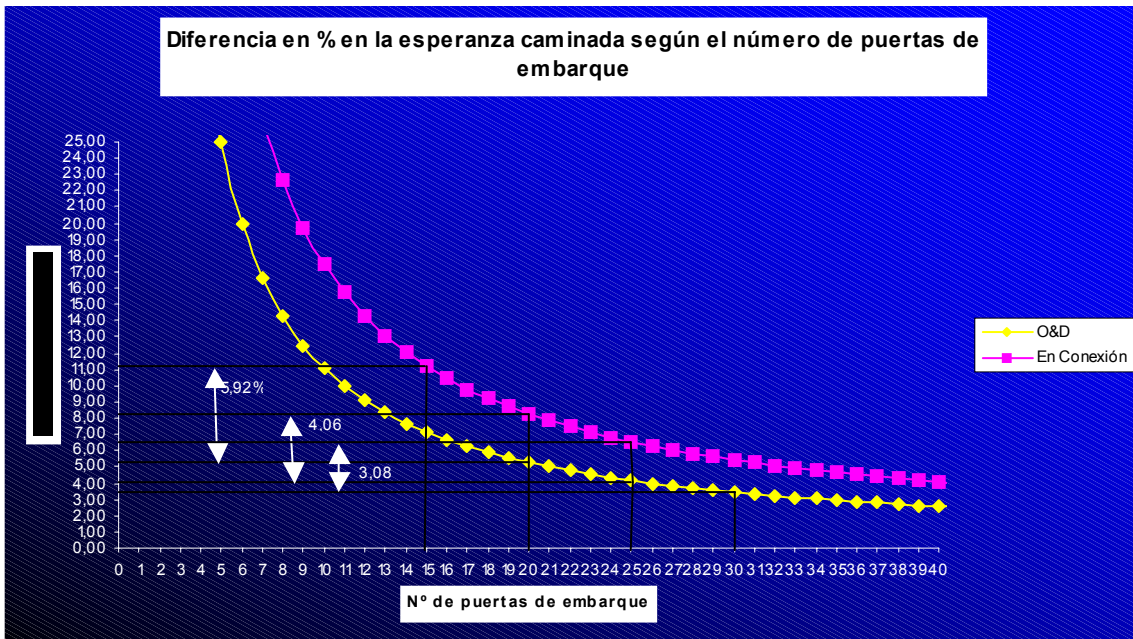
$$\text{Desviación estándar } \sigma = 12,23$$

Podemos apreciar que la dispersión de la muestra es importante por lo que suponer que la distancia entre puertas de embarque en el espigón principal de la N.A.T del aeropuerto de Barcelona es 47,69 m es una hipótesis totalmente inaceptable.



Fuente: elaboración propia.

Figura 8.2:



Fuente: elaboración propia.

Figura 8.3:

Más adelante en esta tesina volveremos sobre este tema para comprobar como afecta la no equidistancia entre puertas de embarque. De momento en este apartado hemos podido observar 2 cosas:

1ª La no equidistancia afecta más a los pasajeros en conexión que a los pasajeros O&D.

2ª Siempre que sea posible es más conveniente realizar las puertas de embarque equidistantes o como mínimo que la desviación estándar de la muestra sea pequeña.

3ª En aeropuertos con niveles de conexión altos pueden existir diferentes tipos de aeronaves operando y por tanto obligar a tener que trabajar con puertas de embarque no equidistantes.

4ª Teóricamente en un aeropuerto que fuese un Hub central de una región más o menos uniforme donde todos los tráficos fuesen más o menos iguales (número, distancias, frecuencias,...) sería posible realizar un edificio de pasajeros en conexión con las puertas de embarque todas equidistantes entre sí. Esto sería posible ya que todas las aeronaves podrían ser iguales.



Figura 8.4: Aeropuerto de Memphis

Como se puede apreciar en la figura 8.4 en el Superhub de Fedex (Memphis) el 95% de las aeronaves son iguales y como se puede observar las aeronaves se encuentran todas equidistantes entre sí. Claramente este es un caso que no es de pasajeros pero, a fin de cuentas, es aplicable lo que he comentado anteriormente.

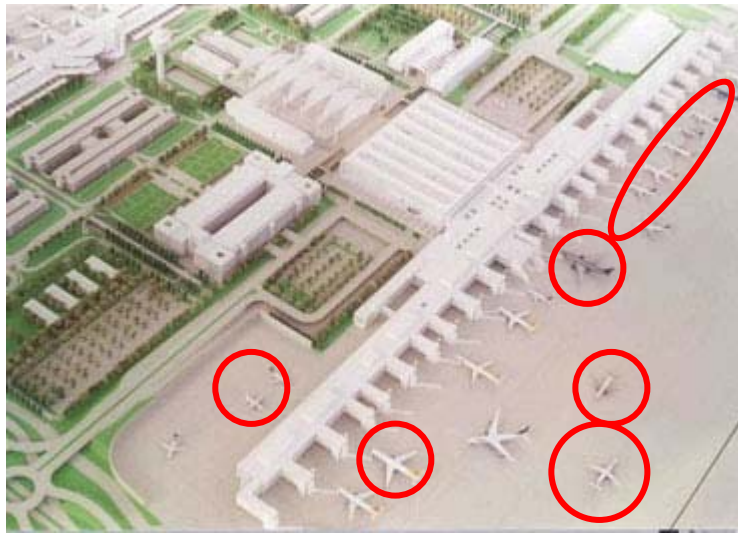


Figura 8.5: Aeropuerto de Munich

En la figura 8.5 y 8.6 podemos observar la N.A.T del aeropuerto de Munich y Madrid respectivamente, observamos claramente que las puertas de embarque no están equidistantes entre sí, y en la maqueta se observan diferentes tipos de aeronaves operando en la misma terminal. El aeropuerto de Munich pretende llegar a tener un % de conexiones del orden del 30% como Barcelona, en cambio Madrid pretende llegar al 60%. En este sentido si que cabría decir que en Madrid existe un mayor número de vuelos operados con aeronaves semejantes y por tanto existe un mayor grado de equidistancia entre puertas de embarque.

Un mal diseño que se aprecia en la N.A.T del aeropuerto de Madrid y Munich es que los aviones de mayor capacidad están situados en los extremos del espigón lineal lo que provocará un aumento de la esperanza de la distancia caminada por los pasajeros del aeropuerto independientemente de la configuración geométrica interior.



Figura 8.6: Aeropuerto de Madrid

8.5 ANÁLISIS DEL ESPIGÓN PRINCIPAL DE LA N.A.T SUD DEL AEROPUERTO DE BARCELONA

En este apartado he aplicado el modelo de matrices de flujo y de impedancia, comentado anteriormente, al caso particular del aeropuerto de Barcelona. Para el desarrollo de este trabajo se han realizado numerosas salidas de campo a la oficina técnica del Plan Barcelona. En estas jornadas de trabajo se me ha permitido ver los planos de proyecto de la nueva área terminal sud y trabajar con ellos para obtener todos los datos necesarios en cuanto a distribución interior y distancias entre puertas de embarque.

Aunque en un primer momento la recogida de datos fue general de todo el edificio (Apéndice II), el análisis final lo he realizado exclusivamente sobre el espigón principal de la nueva área terminal. Este trabajo quiere encontrar conclusiones sobre los procesos típicos en un hub, en particular, la optimización en la distancia caminada según el porcentaje de conexión en el espigón principal. No es el objetivo de este trabajo hacer un análisis de todo el aeropuerto.

Los datos conseguidos son totalmente extrapolables a otros aeropuertos hub cambiando los datos de origen por los concretos de cada aeropuerto. En este sentido, este trabajo presenta una metodología para poder estudiar el nivel de la calidad de servicio ofrecida por un espigón de un aeropuerto hub, en relación a la distancia promedio caminada por los pasajeros, que dicho aeropuerto está dando en cada momento según el porcentaje en conexiones.

En mi opinión creo que no sólo es importante saber que nivel de calidad percibe el pasajero sino que nivel está ofreciendo el aeropuerto respecto al nivel de calidad potencial máximo que es capaz de ofrecer ese mismo aeropuerto, en este trabajo se hace referencia a un nivel de calidad relacionado con la distancia promedio caminada por los pasajeros.

8.5.1 METODOLOGÍA APLICADA:

MATRIZ DE IMPEDANCIA:

En primer lugar he construido la matriz de impedancia **I** la cual consta de 23 filas (*i*) x 23 columnas (*j*) donde el número 23 hace referencia a 22 puertas de embarque más la salida del espigón hacia el edificio central como si de otra puerta de embarque se tratara.

En cada una de las casillas he puesto la distancia real sobre planos siendo **I_{ij}** la distancia entre la puerta de embarque **i** y la puerta de embarque **j**. Los valores de la distancia correspondiente a las celdas **I_{ii}** es cero.

He construido 3 matrices de Impedancia (ver apéndice I) según el nivel de ocupación del espigón central. La ocupación hace referencia al hecho de que en el espigón central se colocan comercios, bares, restaurantes, lavabos, propaganda,...

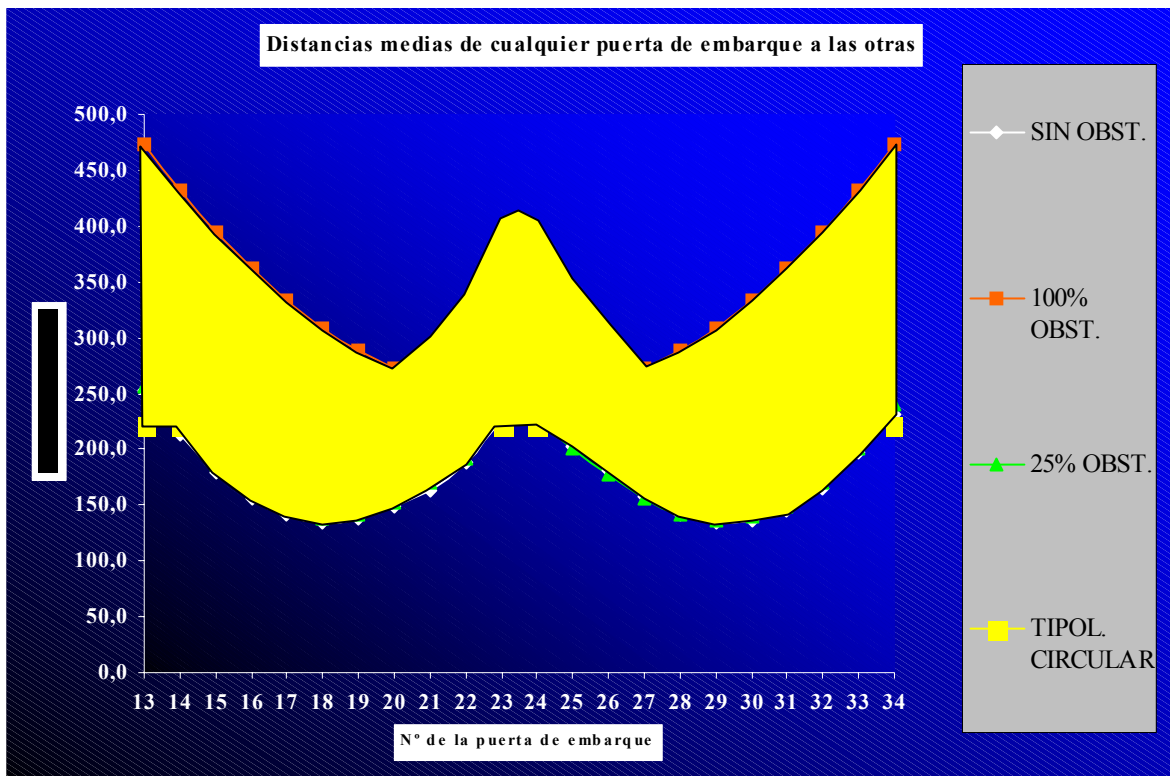
I_0 = Matriz de impedancia con un 0% de ocupación del espigón.

I_{25} = Matriz de impedancia con un 25% de ocupación del espigón.

I_{100} = Matriz de impedancia con un 100% de ocupación del espigón.

En los planos del proyecto se han ubicado instalaciones en el espigón central que llegan al 25% del área total, por lo que la matriz I_{25} es la más real.

Los pasajeros también ocupan espacio lo que pasa es que esta ocupación es más difícil de obtener ya que es muy variable, no obstante una forma de obtenerla es simulando que la anchura del espigón aumenta. Al incrementar la anchura el efecto que se obtiene es que los pasajeros deben caminar más, y por tanto, el efecto conseguido es el mismo al de incrementar la ocupación del espigón por aumento de pasajeros, lo que produce una interacción de flujos que aumentan los tiempos de conexión.



Fuente: elaboración propia.

Figura 8.7:

MATRIZ DE FLUJO:

A partir de los planos de ubicación de aeronaves de la N.A.T sud del aeropuerto de Barcelona (Apéndice II), la información que caracteriza cada tipo de aeronave y para una ocupación del 0,85 de las aeronaves se ha realizado una asignación de aeronaves a cada puerta de embarque según los planes del día tipo para el escenario 2015. En principio por restricciones de espacio y seguridad no se puede estacionar cualquier tipo de aeronave en cualquier puerta de embarque. Las aeronaves más grandes se ubican al final del espigón.

La Matriz de flujo **F** se construye a partir de los datos comentados anteriormente que también han sido facilitados por la oficina técnica del Plan Barcelona. Esta matriz está compuesta por 23 filas y 23 columnas siendo 23 las 22 puertas de embarque más 1 que corresponde a la salida del espigón hacia el edificio central.

En cada una de las casillas F_{ij} se coloca el número de pasajeros que realiza la conexión saliendo de la puerta de embarque **i** y llegando a la puerta de embarque **j**. Las celdas F_{ii} no son cero ya que pueden existir pasajeros que no salen del avión. Los valores de las celdas de la matriz de impedancia han de cumplir los siguientes requisitos:

$$\sum_{i=1}^{23} F_{ij} = 0,85 * \text{Capacidad de la aeronave en la puerta de embarque } j.$$

$$\sum_{j=1}^{23} F_{ij} = 0,85 * \text{Capacidad de la aeronave en la puerta de embarque } i.$$

Estas dos restricciones son debido a la conservación del flujo de pasajeros, es decir, suponemos que ante una oleada de vuelos todo pasajero vuelve a subir a un avión (conexión) o sale del aeropuerto (O&D).

Se observa que matrices de flujo existen tantas como quieras ya que con variar el tipo de aeronave en una puerta de embarque, el % de conexión, la función de reparto respecto las demás puertas de embarque o las características de un avión en particular la matriz de flujo cambia.

En este trabajo hemos realizado 3 matrices de flujo que corresponden a los siguientes criterios (ver apéndice I):

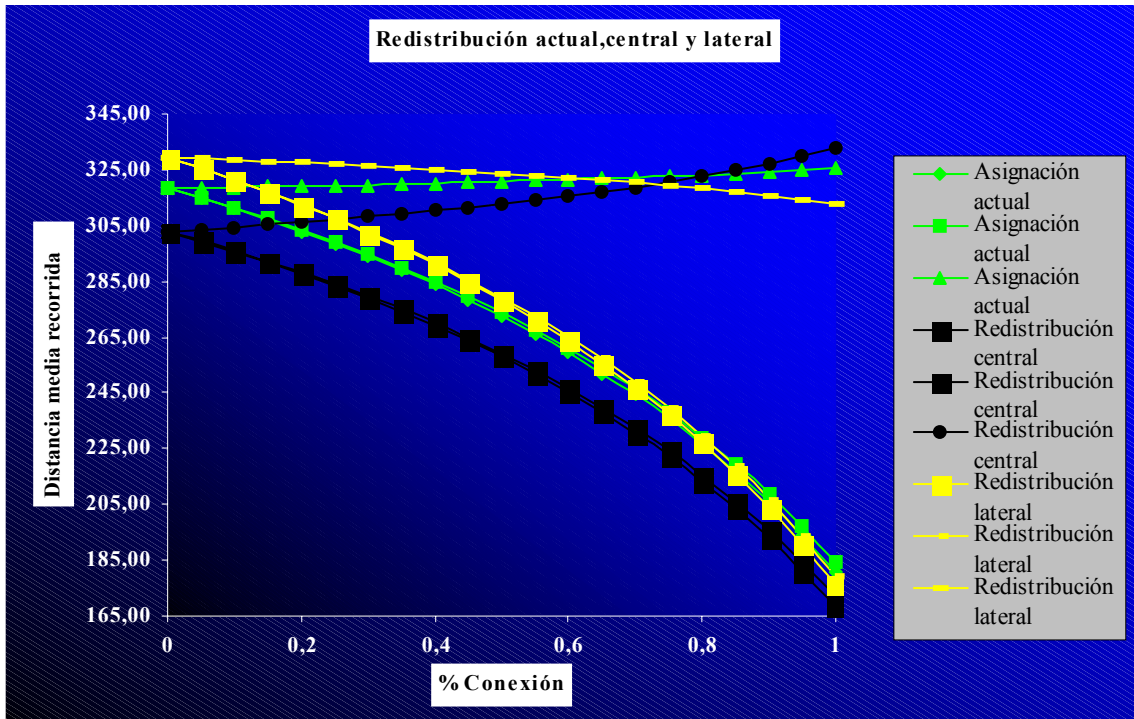
F_{1,R} Matriz de flujo con un reparto de pasajeros proporcional a la capacidad de la aeronave ubicada en cada puerta de embarque. Con la ordenación de aeronaves según el plan de vuelos del escenario 2015.

F_{2,R} Matriz de flujo con un reparto de pasajeros proporcional a la capacidad de la aeronave ubicada en cada puerta de embarque. Ubicando las aeronaves más grandes en el centro del espigón y en los extremos alternativamente. En la figura 8.8 aparecen dos conceptos como son la

redistribución central y lateral que tienen en cuenta la ubicación de las aeronaves más grandes.

$F_{3,R}$ Matriz de flujo con un reparto de pasajeros proporcional a la capacidad de la aeronave ubicada en cada puerta de embarque. Con el mismo tipo de aeronave en cada puerta de embarque. (ver figura 8.9, uniform gates)

Donde R significa el porcentaje en conexión supuesto en cada caso.



Fuente: elaboración propia.

Figura 8.8:

Como se puede apreciar en la figura 8.8 si ubicamos las aeronaves más grandes cerca de la salida del espigón de la N.A.T sud del aeropuerto de Barcelona disminuye la distancia promedio caminada por los pasajeros O&D, y si las ubicamos en la parte central del espigón entonces reducimos la distancia promedio caminada por los pasajeros en Conexión.

MATRIZ DE PASAJEROS - IMPEDANCIA:

A partir de estas dos matrices podemos obtener la matriz de pasajeros - impedancia M que es la matriz resultante del producto de la matriz de impedancia I por la de flujo F .

$$M_{ij} = I_{ij} \times F_{ij} \quad i=1,\dots,23 ; j=1,\dots,23$$

Fórmula 8.7

Cada celda M_{ij} de la matriz pasajeros-impedancia nos da el valor de tráfico pasajeros.metro que existe entre la puerta de embarque i y la puerta de embarque j .

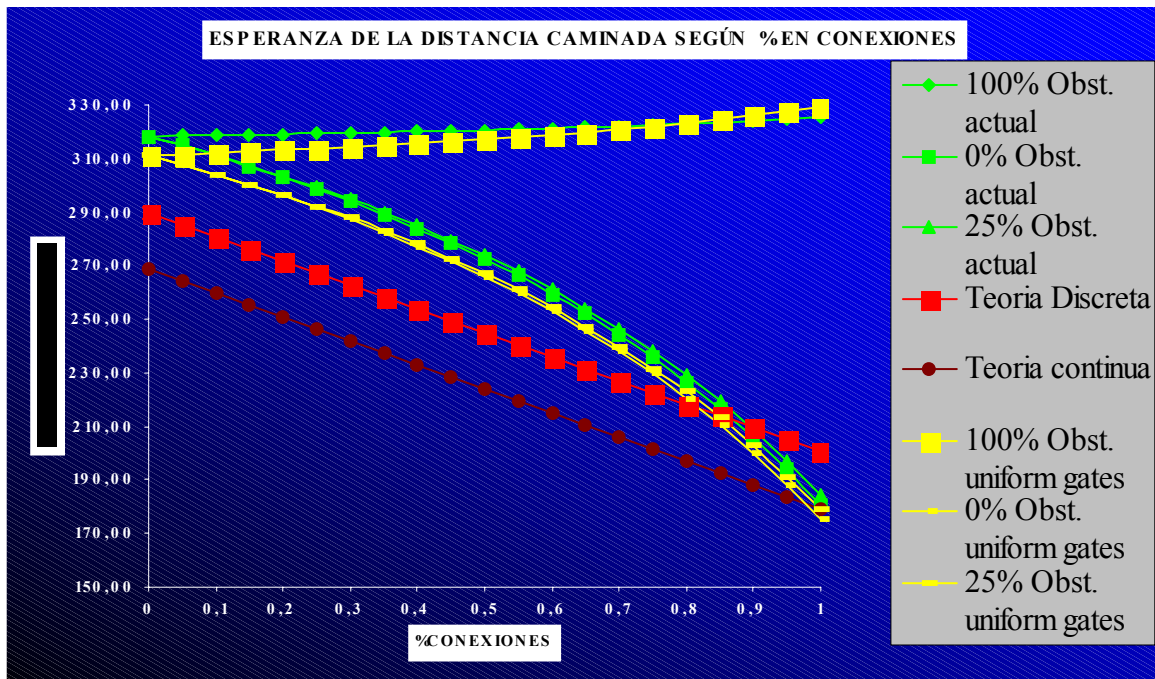
ESPERANZA DE LA DISTANCIA CAMINADA POR LOS PASAJEROS:

Considerando una matriz de pasajeros-impedancia M y la matriz de flujo F podemos obtener la distancia promedio caminada por los pasajeros realizando la siguiente operación:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^{23} \sum_{j=1}^{23} M_{ij}}{\sum_{i=1}^{23} \sum_{j=1}^{23} F_{ij}}$$

Fórmula 8.8

Esta distancia promedio depende del porcentaje de conexiones propuesto para cada escenario, es decir, para cada par de matrices I y F he generado 21 distancias promedio referentes a porcentajes en conexión entre [0 – 100%] con incrementos del 5%.

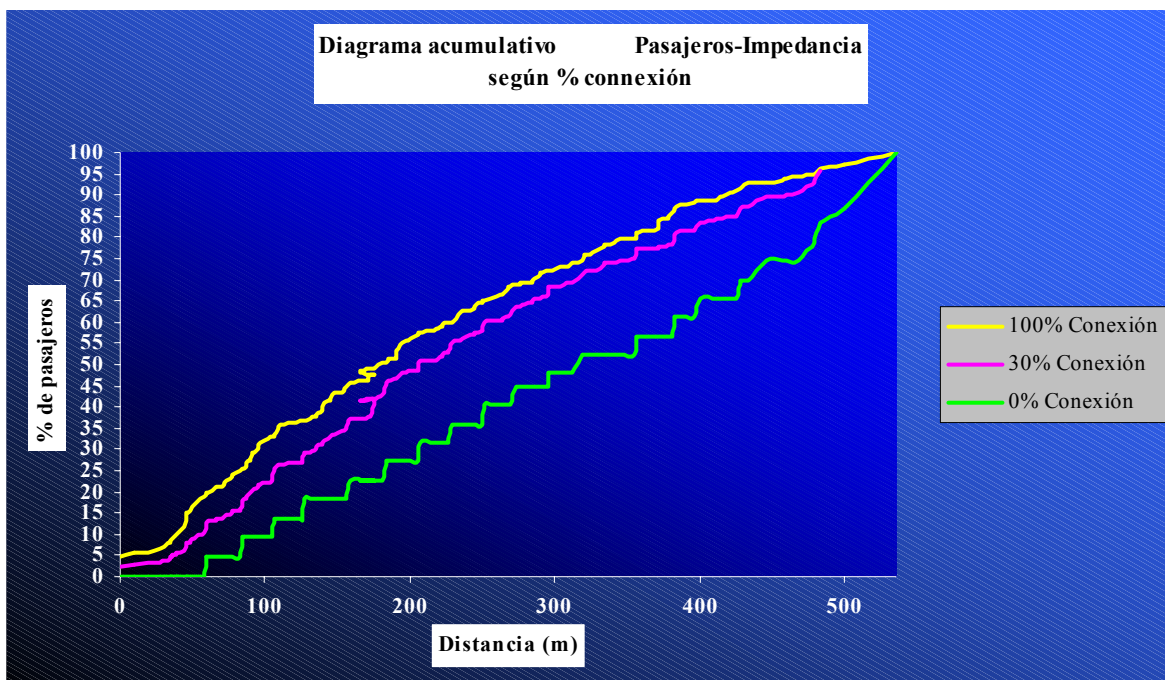


Fuente: elaboración propia.

Figura 8.9

En esta gráfica podemos observar en las curvas amarillas que si todos las aeronaves del espigón de la N.A.T sud del aeropuerto de Barcelona fueran iguales la distancia promedio disminuiría respecto la distancia promedio para la configuración diseñada.

Clasificando las celdas por la distancia, y sumando la correspondiente impedancia expresada en términos del porcentaje del total, permite el análisis para desarrollar el diagrama acumulativo pasajero-impedancia (figura 8.10) que nos da la proporción de pasajeros que caminan una cierta distancia para un escenario concreto, así que el rendimiento es mejor cuanto más a la izquierda tengamos la curva.



Fuente: elaboración propia.

Figura 8.10

CALIDAD DE SERVICIO OFRECIDA POR EL AEROPUERTO:

No es un resultado de este capítulo la definición de unos niveles de servicio, lo que pretendo con este capítulo es definir una posible metodología a aplicar en aeropuertos hub para obtener el nivel de calidad de servicio que esta ofreciendo el aeropuerto de acuerdo a sus posibilidades, es decir, observar si un aeropuerto hub esta al 10%, 50% o al 100 % de sus posibilidades de ofrecer su máxima calidad de servicio, para poder actuar consecuentemente.

No se pretende encontrar que nivel de servicio es el percibido por los pasajeros sino observar que las cosas se están haciendo bien y por consiguiente que los pasajeros perciben una calidad aceptable. Con este método no sabemos el nivel de la calidad de servicio ofrecida hasta que la hemos ofrecido pero no obstante es una herramienta que nos sirve para verificar que los procesos, los espacios, los flujos están bien organizados.

Primero quiero diferenciar los conceptos de calidad de servicio percibido y nivel de calidad de servicio ofrecido. Como he dicho antes me interesa el segundo pero previo a estudiar éste es necesario verificar mediante cualquier método existente que las condiciones y los escenarios de trabajo pueden permitir niveles aceptables de calidad percibida por los pasajeros.

La industria ha definido algunos estándares de servicio para diferentes componentes individuales de una terminal, en particular y en este trabajo he realizado la comprobación de la calidad de servicio percibida por los pasajeros en el espigón principal de la N.A.T sud del aeropuerto de Barcelona, según los estándares de espacio para peatones en pasillos que clasificó Fruin según la tabla 8.3:

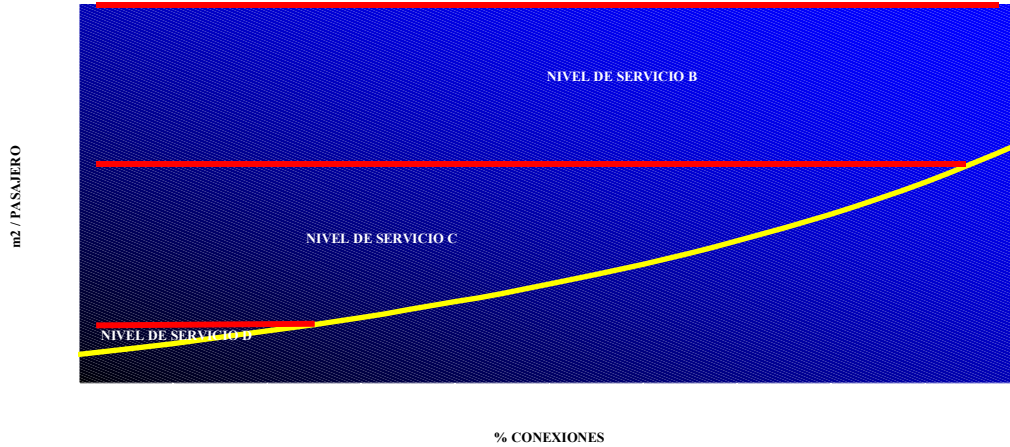
	Nivel de servicio					
	A	B	C	D	E	F
Pasillos	Mas de 4 m2	3,85-2,75	2,75-1,65	1,65-1,10	1,10-0,5	0,5 o menos

Fuente: Fruin, 1971

Tabla 8.3: Resumen de estándares de servicio para peatones

Se ha realizado la comprobación de que al menos la calidad percibida por los pasajeros en la N.A.T sud del aeropuerto de Barcelona según el criterio de Fruin es aceptable, utilizando las hipótesis de la tabla 8.3, el número de pasajeros totales y la combinación entre pasajeros O&D y en Conexión.

POTENCIAL DE NIVEL DE SERVICIO SEGÚN FRUIN 1971
PARA EL ESPIGÓN PRINCIPAL N.A.T SUD BARCELONA



Fuente: elaboración propia.

Figura 8.11

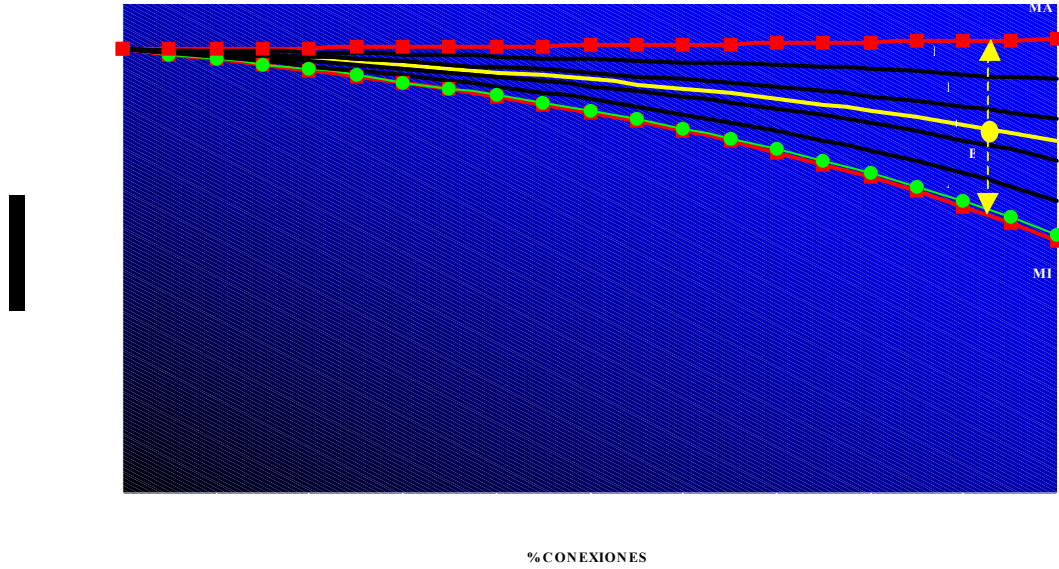
Una vez he comprobado que la calidad de servicio percibida por los pasajeros es aceptable tirando a buena ya podemos aplicar la otra parte del método para verificar que el aeropuerto esta ofreciendo un nivel de calidad alto respecto sus posibilidades.

Simplemente se trata de coger las gráficas que relacionan el porcentaje en conexiones con la esperanza de la distancia promedio caminada. Podemos observar que para diferentes niveles de ocupación del espigón debido a los pasajeros la distancia promedio aumenta debido a la interacción entre los flujos de pasajeros.

Para controlar la calidad de servicio ofrecida por el aeropuerto hay que asegurarse día a día de que las distancias promedio caminadas por los pasajeros se mantengan dentro de unos límites, los cuales a su vez dependen del nivel de conexión, es decir, la misma distancia promedio puede ser una buena calidad de servicio ofrecida o una muy mala calidad dependiendo de si me encuentro en un 30 % de conexión o un 60 %.

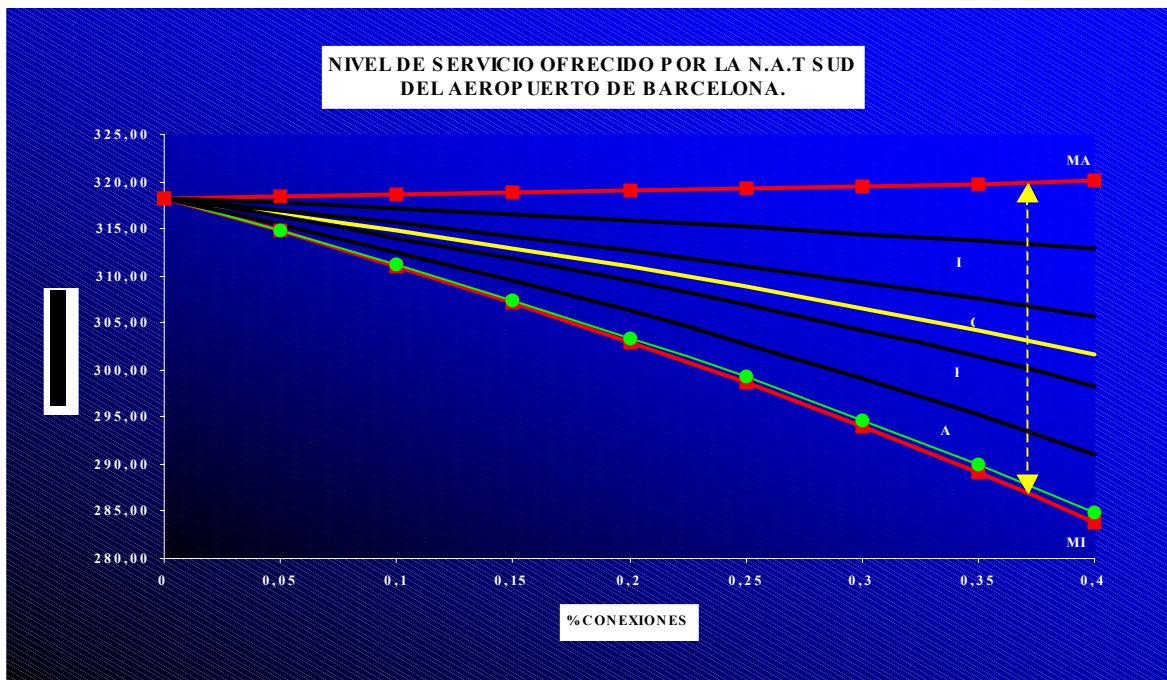
La aplicación práctica de esta metodología la he aplicado a la N.A.T sud del aeropuerto de Barcelona.

NIVEL DE SERVICIO OFRECIDO POR LA N.A.T SUD DEL AEROPUERTO DE BARCELONA.



Fuente: elaboración propia.

Figura 8.12:



Fuente: elaboración propia.

Figura 8.13:

En la figura 8.12 y 8.13 las líneas rojas representan las curvas virtuales de trabajo según la matriz de impedancia I_0 y I_{100} respectivamente y la matriz de flujo $F_{1,i}$ detalladas anteriormente. La curva verde representa la curva real de trabajo para la matriz de impedancia I_{25} y la matriz de flujo $F_{1,i}$ pero sin tener en cuenta la ocupación debida a los propios pasajeros ni la interacción de los flujos, cosa que es imposible de predecir, sólo se puede saber mediante estudios de campo in situ realizados con bastante periodicidad. La curva amarilla sería la curva verde a la que le hemos añadido el incremento de distancias debido a interacciones de flujos y ocupación del espigón por pasajeros que en este caso ha sido inventada. Este incremento sólo puede ser observado mediante trabajos de campo.

Una vez conseguida la curva amarilla y conocido el porcentaje de conexiones estamos en disposición de conocer cual es el servicio ofrecido por el aeropuerto bajo las condiciones de contorno presentes.

En el caso de obtener niveles de servicio muy malos será necesario replantearse el tipo de distribución de aeronaves, distribución interior del espigón, medidas auxiliares,...

Las líneas curvas negras representan la división en estándares de servicio, en principio la división se ha hecho de forma proporcional pero cabría la posibilidad de estudiar algún tipo de clasificación diferente.

Un punto importante a tener en cuenta es que por muchos estudios y análisis que se desarrollen con el objetivo de optimizar los tiempos de conexión para pasajeros de un aeropuerto, puede ser que no sirvan para nada sino se tiene en cuenta que ciertas distribuciones interiores inducen a colapsos. Estos puntos negros que podemos encontrar en los aeropuertos son los llamados hot spots los cuales se comentan más adelante.

8.6 CONCEPTO DE TERMINAL ELÁSTICA:

Según los resultados obtenidos en este trabajo no es conveniente mantener la misma planificación para una misma geometría aeroportuaria siendo los porcentajes en conexión variables entre un 25% a un 5% sino que es recomendable variar la planificación según ese porcentaje.

Ahora bien, debemos saber que es lo que queremos optimizar cuando hablamos de realizar planificaciones diferentes a flujos diversos de pasajeros. Porque si es necesario realizar diferentes planificaciones debemos entender que queremos conseguir con ello y si realmente lo conseguimos. El siguiente ejemplo nos ofrece una muestra de que optimizar el tiempo al máximo en una determinada planificación puede no ser la mejor alternativa.

Hagamos una comparación de varios aeropuertos con diferentes niveles de transferencia y utilicemos el tiempo como un parámetro de puntuación para conseguir un nivel de servicio y de calidad percibida por los pasajeros, entendiendo que a mayor puntuación más calidad

han percibido los pasajeros. En principio uno puede pensar que el tiempo es el principal factor de optimización y si éste está optimizado los pasajeros están recibiendo la mejor calidad, nada más lejos de la realidad. Supongamos la siguiente situación:

Una persona llega al aeropuerto en un medio de transporte, tomemos como hipótesis que son horas alejadas de las puntas por lo tanto es capaz de llegar al parking de la terminal del aeropuerto con facilidad, facturar sin colas, pasar los controles de forma rápida y llegar a la sala de espera. En principio uno puede pensar que esta persona ha percibido que el aeropuerto le ha ofrecido una muy buena calidad porque el tiempo invertido en realizar todas las operaciones necesarias ha sido mínimo puesto que se encontraba sólo en todos los procesos.

Esto sería un punto de vista, pero también podemos ver otro punto de vista totalmente contrario, podemos pensar que el pasajero realmente ha perdido el tiempo ya que podía haber llegado más tarde al aeropuerto y así no tener que esperar 30 minutos o más en la sala de espera, en unos asientos realmente incómodos incluso perjudiciales para la salud.

Por otro lado una persona que haya sufrido en cada proceso aeroportuario un tiempo en cola de unos 2 o 3 minutos teniendo en cuenta que en media se deban pasar por 3 o 4 procesos obligatoriamente esto nos daría un tiempo de espera final mucho menor, es decir, tiempos de cola pequeños y separados en el tiempo y en el espacio pueden dar una sensación de mayor calidad de servicio que la que pudo recibir el primer pasajero.

Ligado con esta segunda forma de pensar existe un estudio realizado en el aeropuerto de Vancouver (Canadá) que demuestra que los pasajeros en contadas ocasiones eligen la ruta más corta. Es normal que se recorran distancias que son 1,3 a 2,1 veces más largas que el mínimo recorrido ideal. El motivo muchas veces puede ser simplemente por motivos de falta de información, por motivos simplemente de disfrutar de un café y tener que recorrer una distancia extra hasta la cafetería...

Hemos abierto la vía a un nuevo concepto como es el hecho de estudiar que cadena de tipologías de diagrama de cola son más convenientes para que los pasajeros aprecien una calidad superior todo y hacer al final el mismo tiempo de espera en cola, podemos nombrar a este concepto con el nombre de **CONCEPTO DE TERMINAL ELÁSTICA**.

Lo importante no es que perdamos tiempo haciendo cola o en la sala de espera, sino como ese tiempo se reparte durante el periodo de tiempo que nosotros vamos a estar en el aeropuerto. En el ámbito de transportes ya se ha estudiado algo parecido cuando lo que se buscaba, era optimizar el tiempo invertido en un sistema formado por distintos procesos consecutivos en los cuales existía la posibilidad de generarse colas por el simple hecho de tener frecuencias de servicio distintas unos de otros, produciendo un aumento en el tiempo medio de servicio.

Esta idea tiene bastante sentido pero físicamente requiere de una organización muy compleja. En principio si no hay colas no me voy a molestar a crearlas, no sería lógico ni funcional, pero mediante una planificación podemos hacer que una persona tenga que recorrer más terminal abriendo los mostradores más alejados, incluso situando en determinados momentos las puertas de embarque lo más alejadas posible o hacer pasar los flujos por zonas comerciales o de restauración, dar cheques de invitación tomar un café, cheques para canjear por una revista, incluso hacer descuentos por facturar 10 minutos más tarde.

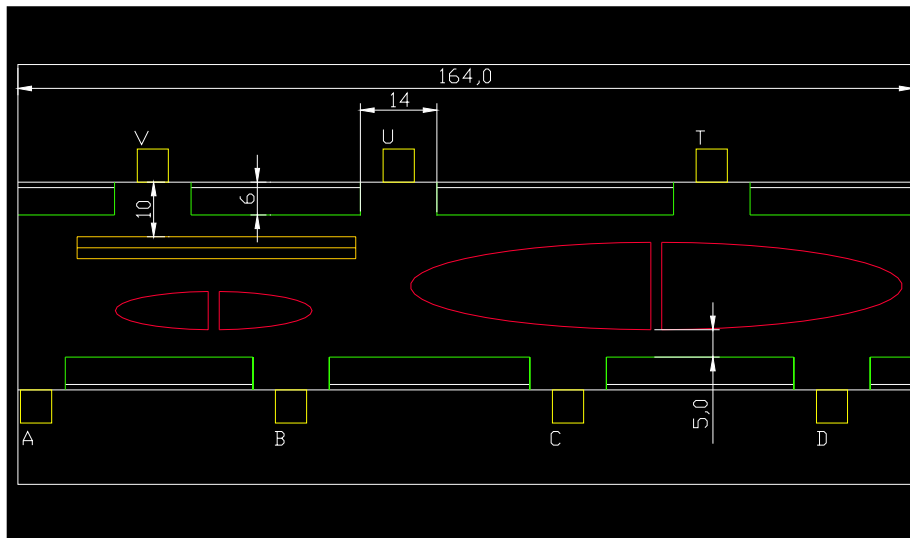
Otra alternativa sería disponer de zonas de ocupación dentro de la terminal para otros servicios como: Tiendas, Restauración, Lavabos, Teléfonos, etc. Ubicados de tal forma que fuesen un obstáculo para el flujo directo de pasajeros entre puertas de embarque . En este sentido se tiene que tener especial atención sobre la distancia media recorrida por los pasajeros a la hora de realizar las conexiones, agravar mucho la ocupación provocaría un colapso del sistema en las puntas horarias y la posible aparición de hot spots.

8.7 HOT SPOTS

Para que los procesos que tienen lugar en los edificios de pasajeros de los aeropuertos sean eficaces y funcionales es necesario que los pasajeros puedan circular por las diferentes áreas del aeropuerto sin preocuparse del tiempo y de forma fluida de acuerdo al nivel de servicio que se requiere. No obstante, debido a los errores en la configuración de los edificios de pasajeros y organizaciones deficientes, se producen cuellos de botella que llevan al traste con las previsiones del diseño original. Pasillos importantes pueden quedar obstruidos y como consecuencia restringir el flujo de pasajeros así como la capacidad total.

Generalmente, estas pequeñas obstrucciones “ hot spots” causan la mayoría de los problemas para el correcto funcionamiento de las operaciones en los edificios de pasajeros.

Irónicamente, los cuellos de botella son más evidentes en aeropuertos donde los diseñadores han habilitado suficiente espacio para la realización de alguno de los procesos aeroportuarios relacionados con los pasajeros. Así los “hot spots” no aparecen por error al dimensionar las diferentes áreas de una terminal sino al diseñar los detalles arquitectónicos de esas áreas, sin conocimiento de los procesos operacionales que se van a dar en esos lugares.



Fuente: elaboración propia.

Figura 8.14: Tramo de la N.A.T sud del aeropuerto de Barcelona

Uno de los impulsos más intuitivos es la ubicación de ciertos servicios como carteles de información, teléfonos, estantes de publicidad lo más visible posible para los viajeros y además allí donde se produzcan los flujos de pasajeros más grandes. Desgraciadamente, el efecto que se consigue es crear obstáculos debido a los “hot spots” allí donde se dan mayores flujos.

Muchas veces es debido a que los gabinetes de arquitectos que diseñan aeropuertos no tienen en plantilla a gente muy experimentada en las operaciones aeroportuarias y en los procesos que se suelen dar según los diferentes escenarios.

No realizar estudios a priori de estos procesos puede llevar a producir grandes inversiones futuras para tratar de paliar las consecuencias de los cuellos de botella, o incluso poder llegar a pensar que nos encontramos cerca de la capacidad nada más lejos de la realidad.

En la Fig 8.14 podemos observar un tramo de la N.A.T sud del Aeropuerto de Barcelona, en ella podemos observar que algunas puertas de embarque presentan poco espacio para la formación de colas preembarque. Esto puede conducir a la formación en horas punta de fenómenos de cuello de botella y por tanto aumentar de forma considerable las distancias medias caminadas por los pasajeros así como una percepción de falta de espacio y por tanto de falta de calidad de servicio.

Para estudiar este proceso debemos estudiar el diagrama de llegadas acumuladas a cada una de las puertas de embarque según el tipo de aeronave, tipo de pasajeros, hora del día y analizar las posibles interferencias entre flujos O&D y Conexión.

Los diseñadores deben usar este tipo de análisis para estimar si este potencial “hot spot” puede llegar a causar alguna dificultad. También se pueden utilizar para identificar posibles soluciones explorando las posibles formas alternativas de operación que nos conduciría a diagramas acumulativos de llegadas o salidas diferentes.