

Artículo No. 03: Sánchez, O., *et al.* (2014). Discriminación de rutas aéreas para estudios preliminares del uso potencial de trenes de media y alta velocidad en México. *Semilleros*, 1 (1), 33-44.

Discriminación de rutas aéreas para estudios preliminares del uso potencial de trenes de media y alta velocidad en México

Discrimination of air routes for preliminary studies of potential use of medium and high speed train in Mexico

Sánchez López Orlando¹, Gurruchaga Rodríguez Ma. Eloísa²,
Herrera García Alfonso³, Flores Ávila Luis Carlos⁴

Resumen. La actividad aeroportuaria en México especialmente el transporte de pasajeros, ha reflejado la congestión de aeropuertos como lo es el Aeropuerto Internacional de México. Por lo tanto, surge la necesidad de la desviación del tránsito aéreo de corto itinerario (hasta 500 km de distancia) a otros modos de transporte, lo que liberaría en algún grado la congestión en aeropuertos caracterizados por una alta proporción de tal tránsito y el acceso ferroviario sin duda, es un elemento clave de la concentración de estos flujos. La reducción de la demanda aeroportuaria mediante el cambio del tránsito aéreo de corto itinerario, hacia otros modos de transporte, como el tren de media y alta velocidad, puede generar beneficios significativos en la reducción de la congestión aeroportuaria. El análisis de 873 rutas aéreas identificadas en la base de datos de la Dirección General de Aeronáutica Civil del año 2012, y el cálculo de sus distancias ortodrómicas entre pares de aeropuertos, dieron como resultado 150 rutas aéreas en distancias menores o iguales a los 500 km. Al generar alternativas de implementación de trenes de media y alta velocidad, se estimó un flujo de pasajeros ferroviarios anual reflejando 12 rutas aéreas con flujos potenciales de pasajeros. Y mediante el estudio de series de tiempo y modelos de pronósticos, dieron como resultando 10 rutas aéreas nacionales significativas para estudios preliminares para el uso potencial de trenes de media y alta velocidad en México.

Palabras clave: *Material rodante, TAV (tren de alta velocidad), TMV (tren de media velocidad), DGAC (Dirección General de Aeronáutica Civil).*

Abstract. Airport activity in Mexico especially passenger transport, has reflected airport congestion such as Mexico International Airport. Therefore, the need arises for the deviation of short-route air traffic (up to 500 km away) to other modes of transport, would free up some degree of congestion at airports characterized by a high proportion of such traffic and access rail is undoubtedly a key element of the concentration of these flows. The airport demand reduction by changing the short route air traffic, to other modes of transport such as the medium and high speed train, can generate significant benefits in reducing airport congestion. The analysis identified 873 routes in the database of the Directorate General of Civil Aviation of 2012, and the calculation of its great circle distances between pairs of airports, resulted in 150 routes in distances less than or equal to 500 km. By generating implementation alternatives medium and high speed train, we estimated an annual railway passenger flow reflecting 12 potential routes with passenger flows. And by studying time series and forecasting models, led to 10 national routes significant for preliminary studies for potential use medium and high speed train in Mexico.

Key Words: *Rolling stock, TGV (high speed train), TMV (medium-speed train), DGCA (Directorate General of Civil Aviation).*

¹Estudiante Maestría de Ing. Industrial, Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México. orlando_sanchez_lopez@yahoo.com.mx

²Docente de la Maestría en Ing. Industrial, Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México. megurruchaga@gmail.com

³Investigador Titular "C", Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México. aherrera@imt.mx

⁴Docente de la Maestría en Ing. Industrial, Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México. lfloresa@yahoo.com

INTRODUCCIÓN

El transporte ferroviario de pasajeros en México tuvo una tendencia decreciente durante el periodo de 1997 a 2006, dado que durante el primer año de referencia transportó 5 millones de pasajeros, y en el último este volumen se redujo a sólo 260 mil usuarios. Esta situación se presentó debido a “la reestructuración del sistema ferroviario nacional que se orientó a restituir la importancia del ferrocarril como eje central del sistema de transporte terrestre de carga...”. Por lo anterior, se estableció “prestar el servicio de transporte de pasajeros en aquellas regiones donde no existían otros medios de transporte e impulsar los servicios de transporte de pasajeros turísticos y/o suburbanos” (SCT, 2008).

La infraestructura ferroviaria en México no ha tenido un crecimiento sustancial desde hace varias décadas, sin embargo, “existe la necesidad de realizar la construcción de algunos tramos nuevos con el fin de ampliar su cobertura o reducir las distancias de recorrido, así como modernizar algunos tramos ferroviarios a fin de aumentar la capacidad de la vía” (SCT, 2008).

El objetivo 3.2.5, del Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2007-2012, establece la necesidad de “Promover y apoyar proyectos de transporte ferroviario de pasajeros suburbanos, interurbanos y turísticos para contar con nuevas alternativas de transporte masivo de pasajeros eficiente, seguro y limpio al mismo tiempo que se aprovecha la infraestructura existente y se asegura el servicio de transporte ferroviario de pasajeros a comunidades aisladas” (SCT, 2008). “Los resultados esperados de este objetivo se orientan a el resurgimiento del transporte de pasajeros (suburbano e interurbano); aprovechar la infraestructura ferroviaria existente; y continuar con la

prestación regular del servicio ferroviario de pasajeros” (SCT, 2008).

Cuando el tren de alta velocidad TGV (*Train à Grande Vitesse*) fue abierto en 1981 entre París y Lyon (Francia), con un tiempo de recorrido competitivo con el modo aéreo, virtualmente todo el tránsito de pasajeros aéreos entre ambas ciudades cambió al sistema de tren (Veldhuis, 1990). Si tales enlaces con trenes de alta velocidad se desarrollan para conectar a los principales aeropuertos, éstos pueden servir como un excelente alimentador para los flujos de transporte aéreo internacional.

Los trenes de alta velocidad (TAV) son una opción viable a considerar en los corredores de tránsito de alta densidad. La principal restricción para su implementación es el requerimiento de un capital masivo de inversión. Estudios del impacto de los trenes de alta y media velocidad en los aeropuertos europeos indican su alto potencial para remplazar a los vuelos alimentadores, y la capacidad para reducir el problema de congestión en los aeropuertos. (Widmer & Hidber, 2000).

Algunos estudios previos en México señalan la existencia de flujos potenciales significativos de pasajeros que podrían soportar los servicios de TAV (Herrera, 2006).

Por ejemplo, entre el Distrito Federal y Guadalajara se estimaron flujos potenciales del orden de 1.7 millones de pasajeros para el año 2005. Estos estudios también han concluido que la reducción de la demanda aeroportuaria mediante el cambio del tránsito aéreo de corto itinerario, hasta 500 kilómetros de distancia, hacia otros modos de transporte de altas prestaciones, como por ejemplo, el tren de alta velocidad (TAV) o el tren de media velocidad (TMV), pueden generar beneficios significativos en la reducción de la congestión aeroportuaria.

Sin embargo, esta solución requiere inversiones significativas en infraestructura y materiales rodantes. Por ejemplo, en un proyecto para la construcción de un tren bala que uniría al Distrito Federal con los Estados de México, Querétaro, Guanajuato, y Jalisco, se estimó que el requerimiento de inversión en infraestructura para este proyecto sería de entre 6 y 8 mil millones de dólares (Mendoza & Téllez, 2006).

En México existen 85 aeropuertos, de los cuales 59 son internacionales y 26 son nacionales. En promedio se transportan 74,920,348 pasajeros y 768,526 toneladas de carga por el sistema aeroportuario mexicano, de los cuales el 68.19% de los pasajeros y el 81.44% de la carga fluyen a

través de los cuatro principales aeropuertos (Ciudad de México, Cancún, Guadalajara y Monterrey).

La desviación del tránsito aéreo de corto itinerario (hasta 500 km de distancia) a otros modos de transporte, liberaría en algún grado la congestión en los aeropuertos caracterizados por una alta proporción de tal tránsito.

Por ello, surge la necesidad de determinar las rutas aéreas que servirán para estudios preliminares del uso potencial de trenes de alta y media velocidad en México con base en los flujos de pasajeros aéreos para alternativas de solución de problemas de capacidad aeroportuaria.

METODOLOGÍA

Material rodante

Se investigaron los términos técnicos en el ámbito del transporte por ferrocarril. El 'material rodante' son todos los tipos de vehículos dotados de ruedas capaces de circular sobre una vía férrea, considerándolos como vehículo aislado. El término ferrocarril, además del camino de vía y material rodante, incluye el terreno, edificios, estructuras, concesiones, organización, etc.

El material rodante ferroviario es todo aquel apto para circular sobre líneas ferroviarias y se pueden clasificar en dos grupos (Álvarez M. & Luque R., 2003):

- Material Motor: es aquel provisto de motor para su propulsión y/o para la tracción del material rodante.
- Material Remolcado: es aquel que necesita ser enganchado a un motor para desplazarse.

Las características generales de propulsión pueden ser:

- Los impulsados por un componente motriz (Diésel, eléctrico o duales).

- Impulso electromagnético (*Maglev*, sistema de transporte que utiliza la levitación magnética de suspender, guiar y propulsar vehículos con imanes, principalmente trenes alcanzando velocidades por arriba de los 350 km/h).

Los servicios ferroviarios pueden dividirse en dos categorías:

- Servicio de transporte ferroviario de pasajeros.
- Servicio de transporte ferroviario de carga.

La infraestructura es equivalente para ambos segmentos, pero el tipo de transporte, el equipamiento y los detalles de estas infraestructuras son a menudo diferentes.

Ahondando la investigación hacia las características y materiales rodantes para el servicio de transporte ferroviario de pasajeros se presentan las siguientes características descritas en la *Tabla 1*.

Tabla 1. Categorización de Trenes de Servicio de Pasajeros
Fuente: Elaboración propia con base en la información de PPIAF (2011)

Tipo de Tren	Velocidad km/h	Rango de Velocidad	Propulsión	Modalidad	Longitud de Recorrido
Metro Ligero	70-80 km/h	Inferior	Eléctrico	Semirectos	Cercanías (50 km)
Tranvía	80 km/h	Inferior	Eléctrico	Semirectos	Cercanías (50 km)
Metro	80-100 km/h	Inferior	Eléctrico	Semirectos	Cercanías (50 km)
Cercanías	100-150 km/h	Inferior	Eléctrico Diésel	Interurbano	Cercanías (50 km) Media (200-500 km)
Tren de media velocidad	200 km/h	Media	Eléctrico Diésel Duales	Interurbano Expreso	Media (200- 500 km)
Tren de alta velocidad	250-350 km/h	Alta Velocidad	Eléctrico Duales	Rápidos	Larga (500-1,000 km)

Nota: Las definiciones de este apartado tienen un carácter genérico y universal, siendo aplicables en la mayor parte de los países.

La investigación se enfocó a la exploración de materiales rodantes que puedan transportar pasajeros a medias y largas distancias, a una velocidad entre 200 y 250 km/h, los cuales son:

- Tren de media velocidad (TMV)
- Tren de alta velocidad (TAV)

Tren de media velocidad (TMV)

De acuerdo con las características según su velocidad máxima o media de circulación un TMV es aquel que alcanza una velocidad entre los 160 y los 200 km/h (Fernandez, 2006).

Dentro de este rango de velocidades, los ferrocarriles interurbanos (*Inter-city*) entran en esta clasificación. De acuerdo con El Servicio de Asesoramiento para Infraestructura Pública y Privada del Banco Mundial (PPIAF), los trenes interurbanos de pasajeros (*Inter-City*), son usualmente halados por locomotoras eléctricas, diésel, unidades múltiples eléctricas o diésel a lo largo del tren. Las velocidades máximas de estos materiales rodantes son de aproximadamente 200 km/h sobre vías férreas específicamente actualizadas para tales efectos (PPIAF, 2011).

No hay una definición precisa de trenes interurbanos ya que su significado puede variar de país a país. Característicamente,

un tren interurbano es un tren expreso con paradas limitadas y vagones cómodos para viajes de media y larga distancia. En muchos países europeos, la palabra "*Intercity*" o "*Inter-City*" es una marca oficial para una red de ferrocarriles de intervalo regular, relativamente servicios de trenes de media y larga distancia que cumplan con ciertos criterios de rapidez y comodidad. Los trenes interurbanos no son tan rápidos como los trenes de alta velocidad, pero tienen menos paradas que los trenes locales y de cercanías.

En conclusión, los trenes de media velocidad es la clasificación que se aplica a ciertos ferrocarriles de servicios de pasajeros de media y larga distancia, existiendo versiones diurnas y nocturnas que circulan a una velocidad entre 160 hasta 200 km/h.

Tren de alta velocidad (TAV)

Un tren de alta velocidad (TAV), según la UIC (Unión Internacional de Ferrocarriles), es aquel que alcanza velocidades superiores de 250 km/h sobre líneas específicamente diseñadas para tal efecto.

La alta velocidad es una combinación de todos los elementos que constituyen el 'sistema': la infraestructura (nuevas líneas diseñadas para velocidades superiores a 250

km/h), el material rodante y las condiciones de operación. En vista del hecho de que muchos trenes de alta velocidad también son compatibles con la red convencional, el término "tráfico de alta velocidad" se entiende también con frecuencia para significar los movimientos de este tipo de tren en las líneas convencionales, pero a velocidades más bajas que las permitidas en una nueva infraestructura de alta velocidad (UIC, 2013).

En todos los casos se trata de vehículos y vías férreas desarrolladas en forma especializada, dado que las velocidades alcanzadas requieren de técnicas específicas, su elevada velocidad les permite competir con el transporte aéreo para distancias medias y largas, del orden de los cientos de kilómetros.

Equilibrio del sistema de transporte ferroviario de pasajeros

De acuerdo con el Instituto para la Planificación de Transporte de Zúrich, el flujo de pasajeros aéreos se concentra en los grandes aeropuertos internacionales. Las congestiones aeroportuarias se presentan cuando existen grandes distancias para llegar a la terminal aeroportuaria, cuando se presentan grandes flujos de pasajeros aéreos y cuando las demoras de abordaje son prolongadas. Por lo tanto, se necesita una reasignación del flujo de pasajeros aéreos, y el acceso ferroviario sin duda, es un elemento clave de la concentración de estos flujos.

Algunos estudios señalan que la reducción de la demanda aeroportuaria mediante el cambio del tránsito aéreo de corto itinerario, hacia otros modos de transporte de altas prestaciones, como por ejemplo, el TAV o TMV, puede generar beneficios significativos en la reducción de la congestión aeroportuaria. Sin embargo, esta solución requiere inversiones significativas en infraestructura y materiales rodantes.

El transporte ferroviario tiene efectos significativos en ahorro de tiempo de transporte, gastos de funcionamiento, el consumo de energéticos, la contaminación atmosférica y acústica, en un rango de 500 a 800 kilómetros de distancia (European Commission, 1998).

Los beneficios dependen principalmente de dos factores: la distancia entre las zonas origen y destino, y la orografía de la ruta ferroviaria respecto a las terminales en ambos extremos del viaje.

Las condiciones actuales de alta velocidad ferroviaria exhiben una mejor ventaja relativa en comparación con el servicio de transporte aéreo de corto itinerario. La distancia de viaje para trenes de media velocidad están recomendados para distancias menores a los 400 km de distancia, y para los trenes de alta velocidad están recomendados para distancias de viaje de los 500 a los 700 km (Widmer & Axhausen, 2001).

El efecto de implementar ferrocarriles de altas velocidades para el transporte masivo de pasajeros generará un transporte más sostenible en comparación de viajes de media y larga distancia del transporte aéreo. En la *Figura 1*, se presenta el método de selección de velocidad comercial del ferrocarril.

Justificado el sistema de transporte ferroviario de pasajeros se analizaron rutas aéreas entre pares de aeropuertos iguales o menores a 500 kilómetros de distancia.

Selección de material rodante de media velocidad

En la *Figura 1* del Método de Selección de Velocidad Comercial del Ferrocarril, entre 160 a 250 km/h, se tienen los siguientes TMV recomendados: el tren italiano ETR 401, los trenes con Sistema Pendolini (tren pendular) como el tren sueco X-2000 y trenes españoles Talgo, y el tren británico IC (Intercity) 225.

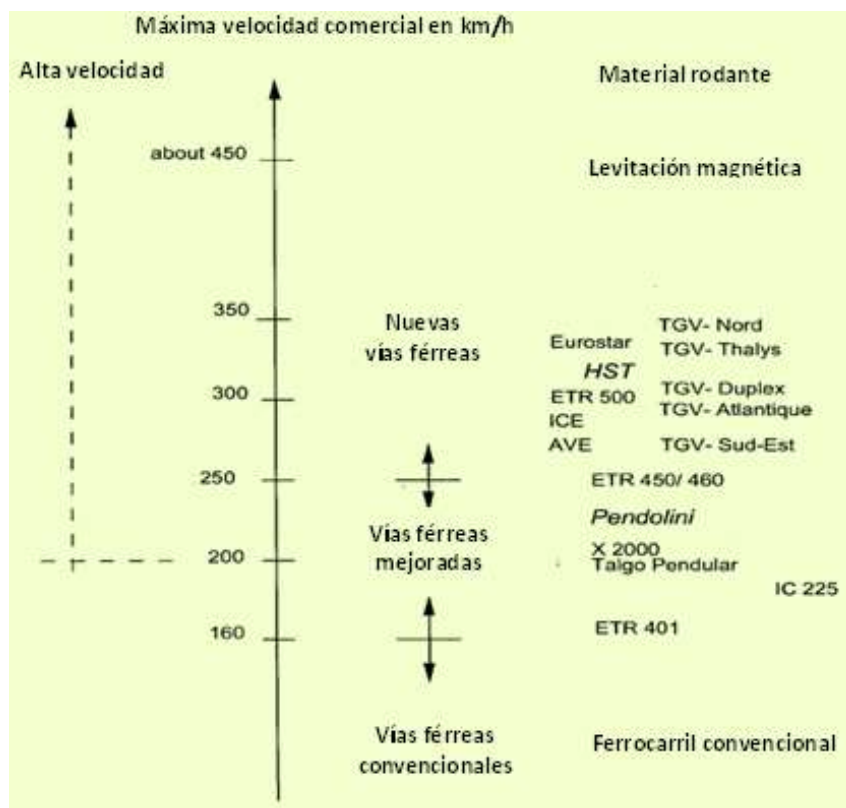


Figura1. Método de selección de velocidad comercial del ferrocarril

Fuente: Interactions between High-Speed Rail and Air Passenger Transport
European Commission 1998

Con base en la Categorización de Trenes de Servicio de Pasajeros de la *Tabla 1*, se utilizó la base de datos de trenes para el servicio de transporte de pasajeros de la UIC, identificando 88 tipologías de TMV que se encuentran en operación en diferentes países del mundo. Con la identificación de los diferentes materiales rodantes de TMV, se seleccionó el tren español Pendolini de la compañía Renfe Serie 594 (*Figura 2*), ya que posee la capacidad de pasajeros mínima en comparación con otros tipos de TMV (UIC, 2011). Con ello, se podrá estimar un flujo anual de pasajeros para delimitar las rutas aéreas a analizar para este material rodante.

Selección de material rodante de alta velocidad

En la *Figura 1* del Método de Selección de Velocidad Comercial del Ferrocarril, entre 250 a 350 km/h, se tienen los

siguientes TAV recomendados: la flota de trenes españoles TGV-Sud-Est-AVE (Alta Velocidad en España), la flota de trenes alemanes ICE (*Inter-City Express*), el tren italiano ETR 500, el tren francés TGV-Duplex, la flota de trenes TGV-Atlantique, la flota de trenes británicos HST, la flota de trenes franceses TGV-Nord y TGV-Thalys, y la flota de trenes del Eurostar Group.

Con base en la Categorización de Trenes de Servicio de Pasajeros de la *Tabla 1*, se utilizó la base de datos de trenes para el servicio de transporte de pasajeros de la UIC, identificando 114 tipologías de TAV que se encuentran en operación en diferentes países del mundo.

Con la identificación de los diferentes materiales rodantes de TAV, se seleccionó el tren basculante español Pendolini de la compañía Renfe Serie 490 (*Figura 3*), ya que posee la capacidad de

pasajeros mínima en comparación con otros tipos de TAV (UIC, 2011). Con ello, se podrá estimar un flujo anual de pasajeros para delimitar las rutas aéreas a analizar para este material rodante.



Figura 2. Ten Renfe S. 594

Fuente: jorges.arrakis.es/materialrenfe/serieut594.html



Figura 3. Tren Renfe S. 490

Fuente: jorges.arrakis.es/materialrenfe/serieut490.html

Al generar alternativas de material rodante para uso potencial en México, se estima un flujo de pasajeros ferroviarios anual mínimo para trenes de media y alta velocidad. La estimación de este flujo de pasajeros ferroviarios permitirá analizar las rutas aéreas que representen mayor viabilidad para la utilización de estos materiales rodantes.

El TMV Renfe S. 594 con capacidad de 126 pasajeros en clase única, se obtiene un flujo estimado de pasajeros en un viaje redondo de 252 pasajeros por día.

El TAV Renfe S. 490 con capacidad de 160 pasajeros en clase única, se obtiene

un flujo estimado de pasajeros en un viaje redondo de 320 pasajeros por día.

Tomando en cuenta que el ferrocarril efectuó un viaje redondo como mínimo al día y, con la capacidad del material rodante, se obtiene un flujo de pasajeros anual descritos en la *Tabla 2*:

Tabla 2. Flujo de pasajeros anual

Fuente: Elaboración propia

Tren	Días	Capacidad de pasajeros	Viaje mínimo	Flujo de pasajeros anual
TMV S. 594	365	126	Redondo	91,980
TAV S. 490	365	160	Redondo	116,800

Análisis de rutas aéreas

La identificación de rutas aéreas para estudios preliminares del uso potencial de trenes de media y alta velocidad con base en los flujos de pasajeros aéreos en México, se realizó mediante el análisis de la base de datos de estadística operacional de la DGAC (Dirección General de Aeronáutica Civil) del año 2012 (Base de Datos de Estadística Operacional Origen-Destino de la DGAC, 2005-2012).

En el año 2012 se identificaron 67 aeropuertos mexicanos con operaciones áreas tanto nacionales como internacionales. Se examinó el flujo de vuelos, pasajeros y toneladas de carga; en servicio regular nacional e internacional y servicio de fletamento nacional e internacional.

El número de rutas obtenidas fue de 873:

- 432 rutas aéreas nacionales.
- 441 rutas aéreas internacionales

De las 873 rutas aéreas, se calcularon sus distancias ortodrómicas para descartar rutas entre pares de aeropuertos en distancias mayores a los 500 km de distancia.

Para el cálculo de la distancia ortodrómica se utilizó la *Fórmula Vincenty (Ec. 1)* (Thaddeus, 1985):

$$d = r\Delta\hat{\sigma} \quad (1)$$

En donde d es la distancia entre cada par de aeropuertos origen y destino; r es el radio de la tierra, igual a 6,372.8 kilómetros; y $\Delta\hat{\sigma}$ es el ángulo central (*Ec. 2*), en radianes, formado por cada par de aeropuertos:

$$\Delta\hat{\sigma} = \arctan\left(\frac{\sqrt{(\cos\phi_s \sin\Delta\lambda)^2 + (\cos\phi_s \sin\phi_f - \sin\phi_s \cos\phi_f \cos\Delta\lambda)^2}}{\sin\phi_s \sin\phi_f + \cos\phi_s \cos\phi_f \cos\Delta\lambda}\right) \quad (2)$$

En donde ϕ_s , λ_s ; ϕ_f , λ_f ; son la latitud y longitud geográfica de cada aeropuerto origen y destino respectivamente; y $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$, son las diferencias de dichos valores. Las coordenadas están establecidas mediante la latitud y la longitud en la que se encuentra el ARP (Punto de referencia del aeropuerto) de cada aeropuerto, obtenidas mediante la Publicación de Información Aeronáutica (DGAC, 2010). Con este procedimiento se calcularon las distancias ortodrómicas de las 873 rutas aéreas de la base de datos de la DGAC del año 2012.

Se identificaron 150 rutas tanto nacionales como internacionales entre pares de aeropuertos con distancias menores o iguales a los 500 kilómetros.

Para delimitar las rutas aéreas que van a ser analizadas en estudio preliminares sobre el uso potencial de trenes de media y alta velocidad en México, se analizó el total de flujo de pasajeros aéreos del año 2012 mediante la estimación de flujos de pasajeros ferroviarios descritos en la *Tabla 2*.

El flujo anual estimado para TMV es de 91,980 pasajeros y el flujo anual estimado para TAV tiene un total de 116,800 pasajeros. Por tal motivo se

seleccionaron las rutas aéreas con un flujo mayor a los 91,000 pasajeros en el año 2012.

Los resultados del análisis demostraron solo rutas aéreas nacionales con flujos de pasajeros potenciales descritas en la *Tabla 3*, con lo que se obtiene las siguientes rutas aéreas.

Origen	Destino	Flujo de pasajeros aéreos 2012	Distancia entre aeropuertos (km)
Guadalajara	México	2,024,787	459.3
México	Veracruz	453,993	304.5
México	Tampico	422,334	341.3
México	Oaxaca	343,586	367.3
Acapulco	México	304,395	306.6
Del Bajío	México	242,221	304.8
México	Zihuatanejo	217,476	324.2
AGS	México	176,816	421.8
México	SLP	148,260	368.2
México	Minatitlán	129,463	496.2
Guadalajara	Toluca	98,776	413.2
Acapulco	Toluca	96,078	287.6

Tabla 3. Rutas aéreas potenciales

Fuente: Elaboración propia con datos de la DGAC 2012

Pronóstico de flujo de pasajeros de rutas aéreas potenciales

Se analizaron los flujos de pasajeros anuales de las rutas aéreas potenciales de la *Tabla 3* mediante la base de datos de estadística operacional origen-destino del año 2005 al año 2012 de la DGAC, con el objetivo de pronosticar su comportamiento y elegir las rutas aéreas más significativas para estudios preliminares sobre el uso potencial de trenes de alta y media velocidad en México.

Para el pronóstico del flujo de pasajeros, se realizó el análisis de series de tiempo

en períodos anuales de las rutas aéreas establecidas en la *Tabla 3*.

Se utilizó la Prueba de Pearson para fundamentar la posible tendencia en el flujo de pasajeros y describir las tendencias ascendentes o descendentes de las rutas aéreas analizadas. Los resultados de las pruebas acotaron la implementación de modelos que contemplan el elemento de tendencia, los llamados modelos de pronósticos no estacionarios;

- Modelo lineal de mínimos cuadrados
- Modelo cuadrático mínimos cuadrados
- Modelo exponencial
- Modelo de ajuste logístico Gompertz
- Suavización Exponencial Doble

Y modelos que no contemplan el elemento de tendencia, los denominados modelos de pronósticos estacionarios;

- Promedios Móviles de longitud K
-

- Promedios Móviles Ponderados
- Suavización Exponencial

Posteriormente los residuales obtenidos de los modelos de pronósticos fueron analizados a través de pruebas de normalidad e independencia, de esta manera si los residuales se comportan de manera normal e independiente, los modelos serán buenos candidatos para pronosticar la serie temporal.

Se aplicó la prueba Anderson Darling para la normalidad con un alfa del 5% y la prueba de rachas para independencia con un alfa del 5%. Las conclusiones estadísticas de las pruebas de normalidad e independencia aplicadas a los modelos de pronóstico resultantes a cada ruta aérea potencial, se evaluaron mediante medidas de desempeño para pronosticar la serie temporal y obtener los resultados finales:

- Desviación absoluta media (MAD)
- Porcentaje medio de error absoluto (MAPE)

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El estudio demostró que 4 de las 12 rutas aéreas analizadas de la *Tabla 3* tienen un comportamiento *anual* tendencial; la ruta Guadalajara-México y la ruta México-Tampico tienen una tendencia positiva y las rutas Acapulco-México con la ruta México-Zihuatanejo tienen una tendencia negativa. Las rutas aéreas restantes tienen un comportamiento *anual* estacionario en el flujo de pasajeros, en la *Tabla 4* se presentan los resultados obtenidos.

Las rutas aéreas que resultaron no significativas debido a su tendencia negativa en el flujo de pasajeros anual fueron descartadas del análisis de pronósticos y por lo tanto suprimidas del uso potencial de trenes de media y alta

velocidad en México, las rutas aéreas son las siguientes:

- Ruta aérea Acapulco-México
- Ruta aérea México-Zihuatanejo

Las rutas aéreas resultantes para estudios preliminares del uso potencial de trenes de media y alta velocidad en México, fueron seleccionadas en base a el pronóstico del flujo de pasajeros del año 2013 y mediante la estimación del flujo de pasajeros ferroviarios establecidos para TMV (91,980 pasajeros ferroviarios) y TAV (116,800 pasajeros ferroviarios) son presentadas en la *Tabla 5*.

Tabla 4. Resultados de prueba de Pearson

Fuente: Elaboración propia

Ruta aérea		Prueba Pearson	Comportamiento
Origen	Destino	R ²	
México	Tampico	88%	Tendencia positiva
GDL	México	79%	Tendencia positiva
México	Zihuatanejo	77%	Tendencia negativa
Acapulco	México	70%	Tendencia negativa
México	Minatitlán	49%	Estacionario
México	Veracruz	9%	Estacionario
México	Oaxaca	9%	Estacionario
México	SLP	8.40%	Estacionario
Acapulco	Toluca	3.20%	Estacionario
AGC	México	2.20%	Estacionario
Del bajío	México	1%	Estacionario
GDL	Toluca	0.80%	Estacionario

Tabla 5. Rutas aéreas significativas

Fuente: Elaboración propia

Ruta aérea		Pronostico pasajeros aéreos 2013	TMV	TAV
Origen	Destino			
GDL	México	2,051,136	Aplica	Aplica
México	Veracruz	475,485	Aplica	Aplica
México	Tampico	449,085	Aplica	Aplica
México	Oaxaca	344,989	Aplica	Aplica
Del bajío	México	234,476	Aplica	Aplica
AGC	México	170,473	Aplica	Aplica
GDL	Toluca	137,816	Aplica	Aplica
México	SLP	137,670	Aplica	Aplica
Acapulco	Toluca	115,504	Aplica	No Aplica
México	Minatitlán	96,271	Aplica	No Aplica

CONCLUSIONES

Con esta investigación se diseñó un método de cálculo de alternativas a fin de determinar rutas aéreas con potencial ferroviario para el uso de trenes de media y alta velocidad en México.

Se identificaron 873 rutas aéreas en la base de datos de estadística operacional de la DGAC del año 2012, se calcularon sus distancias ortodrómicas para descartar rutas entre pares de aeropuertos en distancias mayores a los 500 km de distancia.

El resultado fue de 150 rutas tanto nacionales como internacionales entre pares de aeropuertos con distancias menores o iguales a los 500 kilómetros.

Con la investigación e identificación de materiales rodantes con la capacidad de pasajeros mínima (en base al modelo de producción) para trenes de media y alta velocidad, se estimó un flujo potencial de

pasajeros anual, para delimitar las 150 rutas aéreas identificadas.

El flujo anual estimado para TMV es de 91,980 pasajeros y el flujo anual estimado para TAV tiene un total de 116,800 pasajeros. Por tal motivo se seleccionaron las rutas aéreas con un flujo mayor a los 91,000 pasajeros en el año 2012.

La estimación de este flujo de pasajeros ferroviarios permitió analizar las rutas aéreas que representen mayor viabilidad para estudios preliminares del uso potencial de trenes de media y alta velocidad en México.

Los resultados del análisis demostraron solo rutas aéreas nacionales con flujos de pasajeros potenciales, con lo que se obtiene las siguientes rutas aéreas:

- Guadalajara-México
- México-Veracruz
- México-Tampico

- México-Oaxaca
- Acapulco-México
- Del Bajío-México
- México-Zihuatanejo
- Aguascalientes-México
- México-San Luis Potosí
- México-Minatitlán
- Guadalajara-Toluca
- Acapulco-Toluca

Mediante el análisis de los flujos de pasajeros anuales de las rutas aéreas potenciales y con base en la base de datos de estadística operacional del año 2005 al año 2012 de la DGAC, se pronosticó su comportamiento para elegir las rutas aéreas más significativas para estudios preliminares sobre el uso potencial de trenes de alta y media velocidad en México.

El estudio demostró que 4 de las 12 rutas aéreas tiene un comportamiento *anual* tendencial; la ruta Guadalajara-México y la ruta México-Tampico tienen una tendencia positiva y las rutas Acapulco-

México con la ruta México-Zihuatanejo tienen una tendencia negativa. Las rutas aéreas restantes tienen un comportamiento *anual* estacionario en el flujo de pasajeros.

Las rutas aéreas resultantes para estudios preliminares del uso potencial de trenes de media y alta velocidad en México, fueron seleccionadas mediante el pronóstico del flujo de pasajeros del año 2013 con la estimación del flujo de pasajeros ferroviarios establecidos para TMV y TAV, son las siguientes:

- Guadalajara-México
- México-Veracruz
- México-Tampico
- México-Oaxaca
- Del bajío-México
- Aguascalientes-México
- Guadalajara-Toluca
- México-San Luis Potosí
- Acapulco-Toluca
- México-Minatitlán

Referencias Bibliográficas

Álvarez M., D. y Luque R., P. (2003). *Ferrocarriles. Ingeniería e infraestructura de los transportes*. Oviedo: Servicio de publicaciones de la Universidad de Oviedo. Dirección General de Aeronáutica Civil. (2005-2012). *Base de Datos de Estadística Operacional Origen-Destino*. México: DGAC.

European Commission. (1998). *Interactions between High-Speed Rail and Air Passenger Transport*. (COST 318).

Fernández Díaz, X. (2006). *El ferrocarril en Galicia*. Galicia: IR INDO.

Herrera García, Alfonso. (2006). *Alternativas de solución para problemas de capacidad aeroportuaria*. Publicación Técnica No. 84. México: SCT

Mendoza S., J. y Téllez G., R. (2006). *Trenes de alta velocidad en el mundo y su posible utilización en México*. XVI Reunión Nacional de Ingeniería de Vías Terrestres. México: Asociación Mexicana de Ingeniería.

PPIAF. (2011). *La Reforma de los Ferrocarriles: Manual para Mejorar el Rendimiento del Sector Ferroviario*. Washington DC.: Transport Research Support.

SCT. (2008). *Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2007-2012*. México: SCT.

Thaddeus, Vincenty. (1985). *Las soluciones directas e inversas de Geodesia del elipsoide con aplicación de las ecuaciones anidadas*. Surrey Inglaterra: Springer

UIC. (2011). *Material Rodante de alta y media velocidad Mundial*. Recuperado el 13 de Febrero de 2013: http://www.uic.org/IMG/pdf/20130701_data_of_hs_trains.pdf

Veldhuis, J. (1990). *Impact of liberalization on European airports*. Washington, DC.: Transportation Research Board meeting.

Widmer J., P. & Hidber, C. (2000). *Effects of rail stations at airports in Europe*. Journal of the Transportation Research Board (No. 1703) (Págs. 22).

Widmer J., P. & Axhausen K., W. (2001). *Do Rail Stations At Airports Allow A Better Distribution Of Passenger Demand Among Airports? 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington, D.C.: Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen-und Eisenbahnbau.