

Artículo No. 08: Lagunes, J., *et al.* (2014). Aplicación de modelos de pronósticos cuantitativos para el flujo de pasajeros en el aeropuerto de Monterrey, México utilizando Minitab®. *Semilleros*, 1 (1), 97-104.

Aplicación de modelos de pronósticos cuantitativos para el flujo de pasajeros en el aeropuerto de Monterrey, México utilizando Minitab®

Application of quantitative forecasting model for the flow of passengers at airport of Monterrey, Mexico using Minitab®

Lagunes García Josué Adonis¹, Gurruchaga Rodríguez Ma. Eloísa², Flores Ávila Luis Carlos³, Herrera García Alfonso⁴

Resumen. En el presente artículo, se establece como propuesta, el implementar modelos de pronósticos cuantitativos por medio de MINITAB, como una manera rápida y confiable de predecir el comportamiento que se estima tendrá el flujo de pasajeros en el aeropuerto de Monterrey para los años 2013 y 2014. La Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) de México cuenta con una base de datos mensuales sobre la cantidad de pasajeros contabilizados en todos los aeropuertos en el país, con apoyo de esta información se estableció la cantidad de datos que se utilizarían, sabiendo que a partir de 2008, se estabilizó la situación aérea en el país, se elaboró un gráfico de la cantidad de pasajeros que dicho aeropuerto ha presentado cada mes hasta 2012, posteriormente, se llevaron a cabo pruebas de tendencia y estacionalidad, para determinar que componentes estaban presentes en la serie de tiempo para los pasajeros y, de esta manera definir los modelos cuantitativos a aplicarse, posteriormente fue seleccionado el modelo más confiable y suficiente, por medio de la aplicación de pruebas de normalidad e independencia sobre los residuales y las medidas de desempeño de los modelos de pronósticos; con el modelo elegido, se desarrolló el pronóstico para los años 2013 y 2014, y se evaluó mediante los intervalos de confianza, la proximidad de los valores estimados con respecto a los valores reales de pasajeros en el aeropuerto de Monterrey, en el transcurso de 2013.

Palabras clave: *Pronósticos, Modelos cuantitativos, MINITAB, aeropuertos.*

Abstract. In this article, it's established as a proposal, the implementation of quantitative forecasting models using MINITAB, as a quick and reliable way to predict the behavior that is estimated to have passenger flows in Monterrey airport for the years 2013 and 2014. The General Direction of Civil Aviation (GDCA) has a monthly database of the number of passengers recorded in all airports in México, with the support of this information is established the amount of data that would be used, knowing that from 2008, the air flies situation in the country stabilized again, therefore, was elaborated a graph of the number of passengers that airport presented every month until 2012, subsequently, were conducted test for trend and seasonality, to determine which components were present in the time series for passengers, and thus define the quantitative models that will be tested, then was selected the model more reliable and sufficient, through the application of normality tests and independence on the residuals and the performance measures of forecasting models, with the model chosen, was developed the forecast for the years 2013 and 2014, and was evaluated through confidence intervals, the proximity of the estimated values with respect to the real values of passengers at the airport in Monterrey.

Key Words: *Forecasts, Quantitative Models, MINITAB, airports.*

¹Estudiante Maestría de Ing. Industrial, Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México. Josuelagar5@hotmail.com

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

³Docente de la Maestría en Ing. Industrial, Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México. megurruchaga@gmail.com

⁴Investigador Titular "C", Instituto Mexicano del Transporte, Querétaro, México. aherrera@imt.mx

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el sector aéreo es muy sensible a la actividad económica y a los precios de los combustibles fósiles, en particular al costo de la turbosina, dado que es un componente significativo de sus costos de operación y por otra parte, la actividad económica afecta la demanda de movilidad de personas y a ciertas actividades como el turismo, además incentiva el movimiento de bienes y en México en lo que respecta a este sector no hay excepción.

El último estudio realizado en el transporte aéreo para estimar los flujos de pasajeros y cargas en México data del año 2003 (Rico, 2004), pero en la actualidad existe una incertidumbre muy marcada por los factores económicos, de movilidad, de seguridad, etc., que se suscitan sin previo aviso. Dadas estas circunstancias los encargados de obtener pronósticos confiables en cuanto a flujo de pasajeros y de carga se refiere, se ven obligados a dar respuestas confiables en un periodo de tiempo relativamente corto.

En la actualidad en México existen 54 aeropuertos que pertenecen a algún grupo aeroportuario y 14 más que son operados de manera independiente sin tener que ver con los grupos aeroportuarios existentes, dando un total de 68 aeropuertos que tuvieron operaciones en 2012, dentro de estos aeropuertos el de Monterrey se localiza en la posición 4 con más de 6 millones de pasajeros, solo por debajo del Aeropuerto Internacional de la ciudad de México, Cancún y Guadalajara, Monterrey es una de las 3 ciudades más importantes dentro de la república mexicana y dada la creciente ola de violencia que afecta la zona norte del país aunado a la incertidumbre económica actual, es de vital importancia para el aeropuerto de esta ciudad el saber qué cantidad de pasajeros se prevén para los años de 2013 y 2014 en base a la cantidad

de pasajeros que se han atendido en años pasados, para con esto poder establecer planes de acción que permitan aumentar la demanda de pasajeros si esta no fuera favorable o si lo fuera el establecer medidas para continuar operando de una manera eficiente.

Los datos que se tienen sobre los flujos de pasajeros están dados en meses (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2013) y los años elegidos fueron desde 2008 hasta 2012 debido a que a partir de 2008 se estabilizó un poco la situación aérea y debido a que dichos datos están graficados con respecto al tiempo, conviene para dar un resultado confiable y rápido el utilizar modelos de pronósticos cuantitativos que dan la posibilidad de trabajar con series de tiempo que no son más que datos graficados a través de periodos que en este caso son meses.

Las series de tiempo presentan distintos comportamientos como la tendencia que puede ser creciente o decreciente, otro factor es la estacionalidad el cual se nota marcadamente año con año y es casi un hecho que exista en series cuyos periodos tienen variaciones con comportamientos similares de un mes a otro en diferentes años, el siguiente comportamiento es la ciclicidad esta es más difícil de observar ya que se presenta en periodos de tiempo más grandes a un año y el comportamiento irregular que se da por eventos no previstos dentro del curso de la serie de tiempo (Diebold, 2001).

Los modelos cuantitativos que existen se muestran en la tabla 1.

Por otro lado MINITAB es un software estadístico que tiene la opción para trabajar con series de tiempo con los distintos modelos cuantitativos previamente descritos.

Tabla 1. Modelos de series de tiempo

MODELOS DE SERIES DE TIEMPO	CARACTERÍSTICAS
Método de análisis de tendencias	Recomendable si no hay estacionalidad.
Método de descomposición	Recomendable cuando existe estacionalidad.
Promedios Móviles	Cuando no se presenta ni tendencia ni estacionalidad.
Suavización exponencial simple	No hay tendencia ni estacionalidad.
Suavización exponencial doble	Presencia de tendencia pero no estacionalidad.
Holt Winters	Cuando existe estacionalidad.
ARIMA	Cuando haya tendencia o estacionalidad o ambas.

Para la validación de un modelo cuantitativo confiable es necesario que se cumplan ciertos supuestos y ya que dichos modelos están basados en modelos de regresión estos supuestos serán los de normalidad e independencia sobre los residuales y para medir el desempeño de cada modelo existen indicadores como lo son:

Desviación media absoluta (MAD)^[2]

Mide la precisión por el promedio de las magnitudes de los errores del pronóstico, son valores absolutos para evitar hacer eliminación entre valores positivos y negativos.

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |e_t|}{n} \quad (1)$$

Siendo,

e_t = El error que es la diferencia entre el valor real y el valor pronosticado en el periodo t.

$\sum_{i=1}^n |e_t|$ = La sumatoria desde i = 1 hasta n del valor absoluto del error en el periodo t.

METODOLOGÍA

Inicialmente se hizo una gráfica para poder visualizar la situación de los flujos de pasajeros en el aeropuerto de Monterrey de

n = El número de periodos sobre el cual se hicieron estimaciones.

Error medio cuadrado (MSE)^[2]

Es similar a MAD pero aquí se elevan los errores al cuadrado

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n e_t^2}{n} \quad (2)$$

Siendo,

$\sum_{i=1}^n e_t^2$ = La sumatoria desde i = 1 hasta n del error al cuadrado en el tiempo t.

n = El número de periodos sobre el cual se hicieron estimaciones.

Raíz del error medio cuadrado (RMSE)^[2]

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (3)$$

Siendo,

MSE = El error medio cuadrado.

Porcentaje medio de error absoluto (MAPE)^[2]

Se expresa como un porcentaje del error relativo para introducir una única escala de evaluación.

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{e_t}{y_t} \right|}{n} * 100\% \quad (4)$$

Siendo,

$\sum_{i=1}^n \left| \frac{e_t}{y_t} \right|$ = La sumatoria desde i = 1 hasta n del valor absoluto del cociente del error entre el valor real en el periodo t.

n = El número de periodos sobre el cual se hicieron estimaciones.

Con la conjunción de los distintos modelos cuantitativos y el apoyo del software MINITAB se desarrollaran los modelos propuestos y con la comprobación de supuestos y determinación de medidas de desempeño se establecerá el modelo que será utilizado para pronosticar.

2008 a 2012, la cual se muestra en la Figura 1.

Lo que se puede observar de la Figura 1 es que la serie no parece presentar una

tendencia marcada por lo cual al parecer estamos ante una serie estacionaria, por otro lado sí se observan comportamientos similares entre un año y otro, por lo que se puede decir preliminarmente que la serie si presenta estacionalidad.

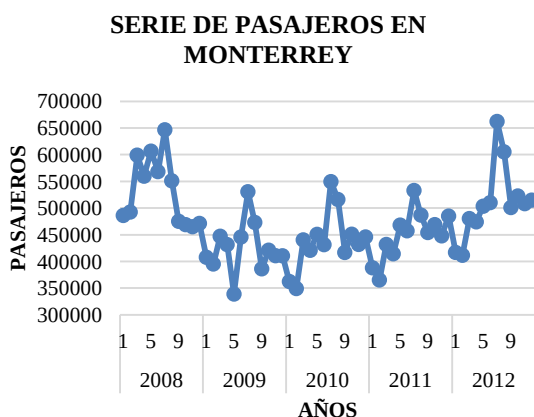


Figura 1. Serie de tiempo de pasajeros mensuales en el aeropuerto de Monterrey de 2008 a 2012

La siguiente etapa consistió en definir los componentes de la serie de tiempo mediante pruebas de tendencia y estacionalidad ya que los modelos cuantitativos pueden presentar alguno de estos componentes. Se utilizó la prueba que se basa en los mínimos cuadrados, la prueba en resumen en su primera parte establece un modelo de regresión lineal junto con L-1 variables artificiales tomándolas como predictores junto con el tiempo, del resultado de este modelo, se obtienen el estadístico para el predictor “t” el cual su valor absoluto se compara con un valor “t” estimado[3], siendo la prueba de hipótesis a probar la siguiente:

$$H_0: \rho=0, \text{ la serie no presenta tendencia}$$

$$H_a: \rho \neq 0, \text{ la serie presenta tendencia}$$

Siendo la zona de rechazo de H_0 la siguiente: $|t_r| > t$, si esto llega a suceder se concluiría que la serie presenta tendencia. El valor de α fue de 0.05, es decir un 95% de confianza para los resultados, al aplicar la primera etapa de la prueba el resultado fue que la serie de pasajeros en Monterrey

no presenta tendencia, la segunda etapa consiste en probar si existe o no estacionalidad en la prueba y dado que no hay tendencia se vuelve a ajustar un modelo de regresión lineal pero esta vez sin tener en cuenta de predictor al tiempo, para la segunda parte que es la detección de la estacionalidad la prueba de hipótesis es:

$$H_0: \rho=0, \text{ la serie no presenta estacionalidad}$$

$$H_a: \rho \neq 0, \text{ la serie presenta estacionalidad}$$

La zona de rechazo de H_0 es $F_{calc} > F_{tab}$, esto quiere decir que se rechazaría la hipótesis nula y la conclusión que se tendría es que la serie presenta estacionalidad, de lo contrario no se presentaría. El valor de α utilizado es de 0.05 o dicho de otra manera la prueba se realizará con un 95% de confianza y el resultado fue que la serie presentaba estacionalidad[3].

Al carecer de tendencia pero tener estacionalidad dicha serie, los modelos propuestos con base en las características de cada uno son: Modelo de descomposición, modelo de Holt Winters y modelos autorregresivos integrados de media móvil (ARIMA).

En las figuras 1, 2 y 3 se muestran los pasos a seguir para desarrollar el modelo de descomposición en MINITAB:

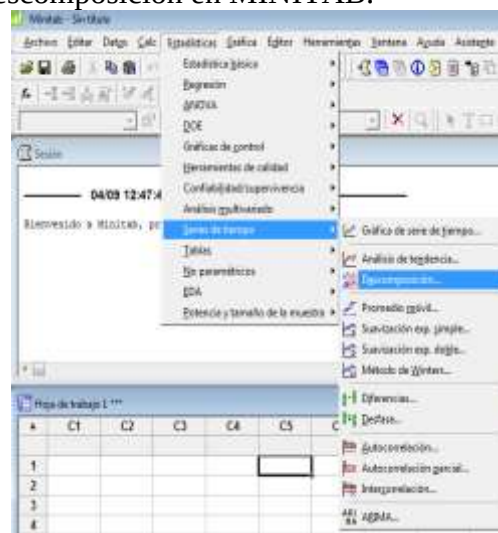


Figura 2. Selección del modelo de descomposición.

Del menú estadísticas se selecciona la viñeta de series de tiempo y del submenú desplegado se hace click en la viñeta del modelo de descomposición.



Figura 3. Selección de opciones para desarrollar el modelo de descomposición.

Como se muestra en la figura anterior se selecciona la variable de pasajeros y en longitud estacional se coloca el número de periodos que tiene la serie de tiempo en este caso al ser meses un año contiene 12 meses por tanto en dicho renglón se escribió el número 12, en el tipo de modelo el multiplicativo es el que da resultados más exactos y dado que solo hay presencia de estacionalidad se elige la opción de estacional solamente.

Posteriormente en la opción de almacenamiento se selecciona que se almacenen los residuales como se muestra en la siguiente figura, esto para después poder probar los supuestos del modelo:

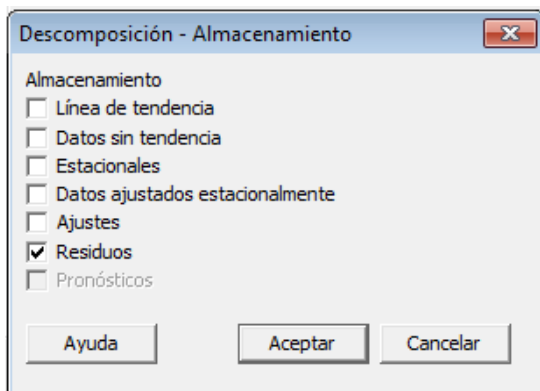


Figura 4. Selección de almacenamiento de residuales.

Posteriormente se da click en aceptar para el almacenamiento y al igual para el modelo de descomposición.

Para el caso del modelo Holt Winters se selecciona del menú estadísticas la opción series de tiempo y del submenú que se despliegue la opción método de Winters.

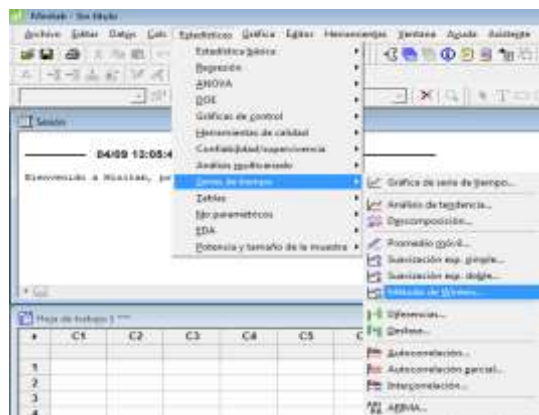


Figura 5. Selección del modelo de Winters.

Posteriormente de la ventana desplegada del modelo de Winters se selecciona como variable nuevamente pasajeros, se selecciona también el modelo multiplicativo, y en longitud estacional se escribe el número 12, para las ponderaciones se dejan los valores por default.



Figura 6. Selección de opciones para desarrollar el modelo de Winters.

Nuevamente en la opción almacenamiento se selecciona la casilla de residuos y se da click en aceptar y al salir a la ventana principal del método Winters dar click nuevamente en aceptar.

Para el caso del modelo ARIMA, del menú estadísticas en la viñeta de series de tiempo se seleccionó la opción ARIMA.

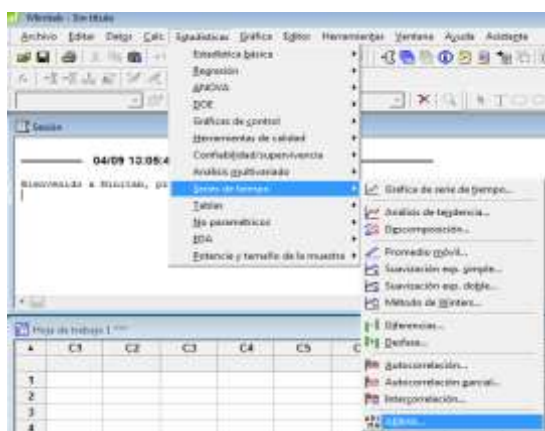


Figura 7. Selección de modelo ARIMA.

El caso del modelo ARIMA es un caso especial ya que aquí se hace uso de los diagramas de autocorrelación y autocorrelación parcial y en este caso se necesitan establecer varios niveles autoregresivos y móviles así como diferencias[1], en este caso se observa en los diagramas en la parte no estacional un comportamiento MA1 mientras que en la parte estacional se observa un comportamiento AR1 y MA1, al introducir estos valores se observó que no era un modelo suficiente por tal motivo al ser un proceso iterativo se agregó una diferencia en la parte no estacional y otra en la parte estacional con ello se obtuvo el siguiente modelo $(0,1,1)(1,1,1)$ con constante, y el cual se coloca de la siguiente manera en el apartado de modelo ARIMA:

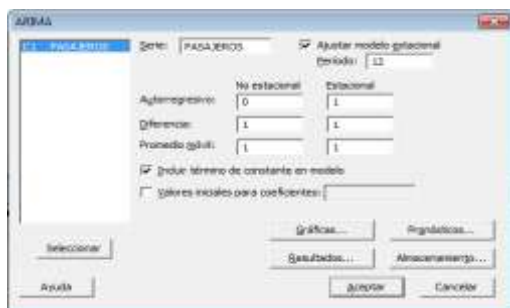


Figura 8. Selección de opciones para el modelo ARIMA.

Como se aprecia en la figura anterior se selecciona como variable los pasajeros; ya que en los diagramas de autocorrelación se visualizó que existía estacionalidad se ajusta a un modelo estacional con periodo 12 que representan los 12 meses que hay en un año el comportamiento MA1 se coloca en la casilla de promedio móvil de la parte no estacional dándole el valor 1, así mismo en la parte estacional se agrega un 1 al componente de promedio móvil, el componente AR1 hace referencia a la casilla autorregresiva en este caso se coloca un 1 en la parte estacional dado lo observado en las funciones de autocorrelación y las diferencias en la casilla con el mismo nombre, se agrega o quita una constante del modelo al seleccionar o deseleccionar dicha casilla en este caso se deja seleccionada. Nuevamente en la parte de almacenamiento se selecciona la casilla de residuos.

Al haber aplicado cada modelo lo siguiente fue evaluarlos en base a los supuestos de normalidad e independencia, aplicando las pruebas de Anderson Darling, Ryan y Kolmogorov para la normalidad y decidiendo si presenta o no si más de una no es significativa considerando el α de 0.05 y la prueba de rachas para probar independencia considerando no significativos a aquellos modelos por arriba de un valor estadístico de 0.05, dando como resultado lo siguiente:

Tabla 2. Pruebas de normalidad e independencia para los modelos probados sobre la serie de pasajeros del aeropuerto de Monterrey

AEROPUERTO	SERIE	MODELO	PRUEBA				NORM	IND
			ANDERSON	RYAN	KOLMOGOROV	RACHAS		
MONTERREY	PASAJEROS	DESCOMPOSICIÓN	0.005	0.015	0.028	0	NO	NO
	PASAJEROS	HOLT WINTERS	0.019	0.018	0.15	0	SI	NO
	PASAJEROS	ARIMA	0.249	0.019	0.15	0.085	SI	SI

Dado que solamente el modelo ARIMA establecido cumple con los supuestos de

normalidad e independencia este será el seleccionado para pronosticar sobre la serie de pasajeros del aeropuerto de Monterrey. Después de que se seleccionó el modelo a utilizar, en MINITAB se da click en la opción estadísticas, luego la viñeta series de tiempo, y en el submenú que aparece se selecciona el modelo que se usará que en este caso fue el ARIMA, se vuelve a llenar con los datos del modelo y una vez hecho esto se hace click en la opción pronósticos, en el recuadro que dice guía se coloca el número de periodos que se quieren pronosticar en este caso como es hasta 2014 y se tiene la información en meses se coloca el número 24, en la opción origen se escribe desde donde se empezará a pronosticar, para este caso será al final de 2012 y como es en meses el total de meses entre 2008 y 2012 son 60 y ese número es el que se colocará en ese recuadro, las últimas opciones que mencionan pronósticos, límite inferior y límite superior se escriben dependiendo del nombre que se le quiera poner a la columna donde serán almacenados dichos datos, quedando el llenado de la siguiente manera.



Figura 10. Pronóstico para la cantidad de pasajeros en el aeropuerto de Monterrey para el periodo 2013 – 2014

Figura 9. Calculo de pronósticos para un modelo ARIMA a través del software MINITAB.

Luego se da click en aceptar y se generaran los pronósticos.

El pronóstico que se obtuvo para los flujos de pasajeros en el aeropuerto de Monterrey para los años 2013 y 2014 se muestra en la figura 10.

Análisis y discusión de los resultados

En la Figura 10 se puede apreciar que el modelo ARIMA utilizado para pronosticar sobre el flujo de pasajeros en el aeropuerto de Monterrey tiene un buen ajuste en cuanto a los valores reales contra los estimados, es posible poder pronosticar posiblemente de una manera más exacta con algún modelo matemático que tome en cuenta más variables que solamente el tiempo, pero el modelo establecido y desarrollado con ayuda del software MINITAB da valores muy cercanos a los reales y los intervalos de confianza establecidos están muy cercanos a los valores pronosticados por lo cual se puede decir con un 95% de confianza que los valores reales para los años 2013 y 2014 estarán muy cercanos a los estimados por el modelo.

Por otro lado se puede apreciar en la Figura 10 que la demanda de pasajeros para los siguientes 2 años en el aeropuerto de Monterrey irá en aumento a comparación de años anteriores.

CONCLUSIONES

El pronosticar la actividad aérea en general suele ser una labor complicada debido a la gran cantidad de datos que se manejan y a la inestabilidad que existe actualmente en el sector aéreo propiciada por distintas variables las cuales en mayor o menor medida afectan el crecimiento o decrecimiento de la cantidad de pasajeros atendidos en un aeropuerto, sin embargo es sabido que no es el mejor modelo de pronóstico aquel que tenga mayor cantidad de datos o mayor cantidad de variables explicativas o el más complejo, eso dependerá de los datos con los que se cuente para trabajar, las posibilidades económicas para llevarlo a cabo, la rapidez, confiabilidad y complejidad con la que se quiera realizar, en el presente artículo se planteó por tanto el trabajar con modelos de pronósticos más sencillos y fáciles de entender y aplicar como lo son los cuantitativos y, debido a que el sector aéreo es muy variable y sensible, se requiere tener en el menor tiempo posible una visión clara de lo que se estima pueda suceder en el futuro cercano en cuanto a la cantidad de pasajeros, por tanto el uso del software estadístico MINITAB es una buena opción si se tienen los conocimientos necesarios para poder desarrollar pronósticos con él.

En conclusión, se puede recurrir a utilizar modelos cuantitativos y desarrollarlos en el software MINITAB para pronosticar la cantidad de pasajeros para cualquier aeropuerto en el futuro inmediato, teniendo como base las series de tiempo, proporcionando con esto resultados rápidos, entendibles y confiables, permitiendo así a los encargados de la toma de decisiones planear una estrategia a seguir para aumentar la demanda o bien mantenerla.

Referencias Bibliográficas

- [1] Bowerman, Bruce L., Anne B. Koehler y Richard T. O'connell. 2007. Pronósticos, series de tiempo y regresión. Un enfoque aplicado. México D.F: Cenage Learning.
- [2] Diebold, F. (2001). Elementos de pronósticos. México D.F: Thomson Learning.
- [3] Farnum, Nicholas R. 1989. Quantitative forecasting methods. Boston: PWS-Kent.
- [4] Rico, O. (2004). Análisis espacial del transporte aéreo de carga en México. Querétaro: IMT. Publicación técnica No. 264.
- [5] Secretaria de Comunicaciones y Transportes [En línea] // SCT Web Site.05 de Septiembre de 2013. <http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/aeronautica-civil/estadisticas/>