

ISSN 0188-7297



Certificado en ISO 9001:2000
Laboratorios acreditados por EMA



SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

“IMT, 20 años generando conocimientos y tecnologías para el desarrollo del transporte en México”

ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO DE LA CARGA TRANSPORTADA EN LOS PRINCIPALES AEROPUERTOS MEXICANOS

Óscar Armando Rico Galeana

Publicación Técnica No. 294
Sanfandila, Querétaro. 2006

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

**Análisis de series de tiempo
de la carga transportada en los
principales aeropuertos mexicanos**

Publicación Técnica No. 294
Sanfandila, Querétaro. 2006

Este trabajo fue realizado en el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) por el M. en Ing. Óscar Armando Rico Galeana.

El Mtro. Rico es investigador titular de la División de Estudios Económicos y Sociales del Transporte, adscrita a la Coordinación de Economía de los Transportes y Desarrollo Regional del IMT. Además es profesor titular de tiempo parcial en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro.

El autor agradece al Dr. Guillermo Torres Vargas, Jefe de la División de Estudios Económicos y Sociales del Transporte del IMT, la confianza, el apoyo y la revisión del documento; así como las valiosas observaciones y sugerencias del Dr. Eric Moreno Quintero, investigador titular de la Coordinación de Integración del Transporte del IMT.

Índice

Índice.....	VII
Resumen	IX
Abstract	XI
Resumen ejecutivo	XIII
1 Introducción.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Alcances.....	2
1.4 Metodología e hipótesis	3
2 Marco teórico.....	5
2.1 Técnica empleada en el estudio.....	7
3 Determinación del objeto de estudio	13
3.1 Desagregación de la información	15
4 Series de tiempo del aeropuerto de la Ciudad de México	19
4.1 Análisis de la serie de tiempo de la carga doméstica.....	21
4.2 Análisis de la serie de tiempo de la carga internacional.....	29
5 Series de tiempo del aeropuerto de Guadalajara	39
5.1 Análisis de la serie de tiempo de la carga doméstica.....	41
5.2 Análisis de la serie de tiempo de la carga internacional.....	49
6 Series de tiempo del aeropuerto de Monterrey	59
6.1 Análisis de la serie de tiempo de la carga doméstica.....	61
6.2 Análisis de la serie de tiempo de la carga internacional.....	68

7	Conclusiones	77
8	Referencias bibliográficas	81

Resumen

Se reportan los resultados de una investigación cuyo propósito fundamental ha sido evaluar las técnicas de análisis de series de tiempo, como una posible herramienta en la elaboración de pronósticos de la demanda de transporte de carga en aeropuertos mexicanos.

Los análisis de series de tiempo se usan ampliamente en estudios econométricos; sin embargo, se tiene la impresión de que no han sido suficientemente evaluados en su aplicación a la demanda de transporte de carga.

La información sobre la carga transportada a través de los aeropuertos ha sido desagregada en las categorías doméstica e internacional, debido a que cada uno de estos segmentos representa mercados económicos de transporte distintos.

La técnica utilizada en el estudio se denomina de descomposición factorial. En lo esencial consiste en la separación y tratamiento individual de los tres movimientos característicos en las series de tiempo: *tendencia*, *ciclos*, y *variación aleatoria*. El análisis practicado a los datos empíricos confirma la validez de varios de los supuestos iniciales, dado que en todos los casos se encontraron los tres factores característicos.

En general, se concluye que la técnica de análisis de series de tiempo empleada en el estudio es adecuada para modelar el comportamiento histórico de la demanda de transporte de carga aérea en aeropuertos, por lo que se recomienda su utilización. Sin embargo, al usar técnicas de análisis de series de tiempo se deben considerar las limitaciones características de los modelos de tendencias, así como establecer horizontes de pronóstico no muy largos, a fin de disminuir la posibilidad de cambios significativos en los factores socio – económicos que determinan la movilidad de las mercancías, y en consecuencia la demanda de transporte.

Abstract

This document presents the results of a research which main objective has been the evaluation of time series analyses, as feasible techniques to forecast the transportation demand at the Mexican airports.

Time series analyses are widely used in econometric studies; however, it is our opinion that these techniques have not been evaluated well enough in their application to transportation demand studies.

The data of cargo transported at the airports has been disaggregated on to domestic and international categories. It is necessary because each one of the segments represent a different economic transport market.

The technique used in the study is known as factorial decomposition. It essentially consists in the separation and individual treatment of the three characteristic movements included in time series: tendency, cycle, and random variation. The results confirm several of the initial hypothesis, as the three characteristic factors were found at every studied case.

We found that the time series analysis technique used in the research is adequate for modelling historical data of freight transportation at Mexican airports, and we recommend its possible utilization. However, in the use of time series analysis, it is advisable to consider the well known limitations of the tendency models and to define not very large forecast horizons, in order to diminish the possibilities of significant changes in the socio – economic factors that determine the freight mobility and the transportation demand.

Resumen ejecutivo

Introducción

El transporte aéreo de carga es una de las modalidades con mayor dinámica en México. En estudios recientes del IMT, se ha encontrado que en el periodo comprendido entre 1992 y 2002 dicho modo de transporte registró una tasa global de crecimiento promedio anual de 8,9%. En caso de mantenerse los ritmos de crecimiento en ese orden de magnitud, la carga transportada por varios de los aeropuertos mexicanos, se duplicará en periodos de cinco años, o incluso menos.

Considerando las características económicas de la infraestructura del transporte, se reconoce la importancia de practicar sistemáticamente una cuidadosa planificación de su crecimiento; para ello es relevante contar con pronósticos confiables del comportamiento de la demanda.

La cuantificación de la demanda esperada es una tarea compleja, que puede realizarse a través de diversos métodos o esquemas; sin embargo, la mayoría de ellos se basan en la construcción de modelos matemáticos.

La presente investigación tiene como propósito fundamental estudiar las técnicas de análisis de series de tiempo, como una posible herramienta para generar pronósticos confiables de la demanda de transporte de carga en los aeropuertos mexicanos. Para ello, estas técnicas se aplican a los datos históricos de la carga transportada en los tres principales aeropuertos del país: México, Guadalajara y Monterrey.

Las técnicas de análisis de series de tiempo son ampliamente utilizadas en estudios econométricos; sin embargo, se considera que no han sido suficientemente evaluadas en su aplicación a la demanda de transporte de carga.

El uso de técnicas de análisis de series de datos históricos resulta relevante considerando que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de México, cuenta con cifras confiables y abundantes sobre la carga que ha sido transportada por el subsector en las últimas décadas.

Adicionalmente es conveniente señalar que las técnicas de análisis de series de tiempo no requieren información sobre otras variables económicas, con las que usualmente se establecen relaciones causales o de dependencia en la modelación de la demanda de transporte de carga, lo cual puede resultar de utilidad para planificadores que enfrentan problemas de escasez de información.

Marco teórico

El análisis de series de tiempo se concentra en el comportamiento histórico de los datos, buscando identificar características en la secuencia que resulten consistentes y permitan su proyección al futuro mediante una réplica matemática.

Las características que suelen estar presentes en una serie de tiempo son cuatro: *tendencia*, *ciclos*, *estacionalidad* y *variación aleatoria*. Cada uno de estos factores genera un “movimiento” característico a lo largo del tiempo y la clave de la técnica de descomposición factorial consiste en su tratamiento individual, mediante una separación adecuada.

La *tendencia* es la característica que define la tasa de crecimiento (positivo o negativo) en el largo plazo; en general, corresponde a la pendiente promedio entre los datos. Cuando la tendencia no es una línea recta, entonces la pendiente de las tangentes a la curva también es variable en el tiempo. Es muy común determinar la tendencia mediante la técnica de los mínimos cuadrados, por medio de la cual se calculan el valor de la pendiente y la ordenada al origen que hacen mínima la suma de las diferencias cuadráticas entre los valores observados y los valores calculados.

Los *ciclos* son variaciones de carácter oscilatorio alrededor de la tendencia en periodos mayores a un año. La forma usual de determinar los ciclos es por medio de promedios móviles que consideran subgrupos de datos de un tamaño adecuado a la longitud de los ciclos.

La *estacionalidad* son variaciones cíclicas que se presentan dentro de los periodos anuales, usualmente asociados a temporadas mensuales o semanales. Cuando los datos de la serie de tiempo corresponden a datos anuales, como en el presente estudio, los ciclos estacionales no se encuentran presentes. Su tratamiento es similar al de los ciclos de largo plazo, es decir, por promedios móviles.

La *variación aleatoria* se debe a otros factores no identificados, o que no es posible modelar. Su magnitud depende de la importancia de estos factores, y se reduce en la medida en que la serie de tiempo se apega a la tendencia, a los ciclos anuales, y a los ciclos estacionales.

Las variaciones aleatorias en las series de tiempo, comúnmente se tratan como una variable aleatoria con distribución de probabilidades normal con base en el teorema central del límite, dado que se puede aceptar que consiste en la adición de múltiples variables aleatorias con distribuciones desconocidas.

Para estimar el valor medio de las desviaciones aleatorias es posible usar intervalos de confianza; sin embargo, considerando que en este caso no se conoce la varianza poblacional de la distribución, es necesario utilizar la distribución *t de student* en vez de la normal estándar.

Cuando se desea obtener un pronóstico del comportamiento de una serie de tiempo, el primer paso consiste en realizar un cálculo de los valores esperados por tendencia, aplicando la función calibrada. Posteriormente, tales valores deberán multiplicarse por los factores que corresponden a los ajustes por ciclo y variación aleatoria.

Desagregación de la información

En el estudio, la información sobre la carga transportada a través de los aeropuertos se ha desagregado en dos categorías: doméstica e internacional.

En general, en la categoría “doméstica” se incluyen todos los movimientos de carga que tienen lugar entre dos terminales localizadas dentro del territorio nacional mexicano; por su parte, la categoría “internacional” abarca todos los movimientos que tienen uno de sus extremos (origen o destino) en una terminal ubicada en México, y el otro en algún aeropuerto localizado fuera del país.

La desagregación en dos categorías es trascendente porque todo el análisis matemático se ha efectuado sobre estos dos conjuntos de datos; ello implica que para realizar los pronósticos es necesario proyectar por separado las dos series de tiempo y posteriormente se deben sumar los dos pronósticos, para obtener un dato conjunto en el aeropuerto en cuestión.

La decisión de separar la información se fundamenta en el comportamiento esencialmente distinto de ambos fenómenos.

A primera vista podría parecer que la forma “natural” de abordar el análisis de las series de tiempo es a partir de los datos agregados; sin embargo, la inspección de los datos muestra que el comportamiento de ambas series es muy diferente, y por ello es razonable suponer que su agregación provocaría mayores dificultades de modelación, lo cual se debe evitar.

Afortunadamente, en las bases de datos recopiladas por la DGAC los movimientos domésticos e internacionales se registran individualmente, lo cual permite su tratamiento por separado, mediante el procesamiento adecuado de la información.

Otra razón adicional que sustenta la decisión de separar la información en movimientos domésticos e internacionales tiene que ver con la importancia de ambos mercados en el transporte aéreo de carga.

La participación de la carga internacional en el total de la carga transportada en México por vía aérea es muy relevante. En los últimos años los volúmenes de carga internacional han llegado a ser aproximadamente cuatro veces mayores que los de carga doméstica. En términos absolutos rondan las cuatrocientas mil toneladas anuales, contra cien mil.

Cabe señalar que la disparidad señalada ha venido acrecentándose rápidamente en los últimos años, debido a que las tasas de crecimiento de ambas categorías también son muy distintas: las de la carga internacional rondan el 12% anual, mientras que las de la doméstica se encuentran en el rango del 3%.

La situación descrita permite concluir que el transporte aéreo de carga en México tiene actualmente una vocación claramente definida hacia la categoría internacional y que los movimientos domésticos son notoriamente minoritarios.

La prominencia de los movimientos internacionales tiene importantes implicaciones en la definición de las características del sistema de transporte aéreo de carga. Por ejemplo, es interesante notar que la mayoría de las empresas nacionales e internacionales especializadas en el transporte de carga, se concentran en este segmento del mercado, lo cual favorece la presencia de mejores prácticas logísticas y comerciales, y en consecuencia de mayores niveles de servicio al cliente, lo que provoca un círculo virtuoso de desarrollo.

Resultados

La técnica de descomposición factorial se aplicó a las series de tiempo de la carga transportada a través de los aeropuertos de México, Guadalajara y Monterrey, desagregando la información en las categorías doméstica e internacional.

El análisis practicado confirma la validez de los supuestos iniciales, dado que en todos los casos se encontraron los movimientos característicos de tendencia, ciclo y variación aleatoria.

La tendencia encontrada en todos los casos es de crecimiento, y la mejor ecuación, bajo el criterio del coeficiente de determinación, fue de tipo polinómico con grado dos (cuadráticas). En general, el coeficiente de determinación fue más alto para los casos internacionales (mayor a 0,90) que para los domésticos; pero considerando que el valor más bajo resultó de 0,69 (Monterrey - doméstica), se puede afirmar que ha sido posible obtener curvas de ajuste adecuadas a la tendencia.

Para la terminal de la Ciudad de México, la tendencia encontrada en ambas categorías de análisis es de crecimiento, pero con incrementos decrecientes (parábolas cóncavas); es decir, la curva se mueve hacia el mínimo (crecimiento nulo). Este comportamiento también se encontró en el caso internacional del aeropuerto de Guadalajara. Una interpretación al respecto apunta hacia una aparente saturación de la infraestructura aeroportuaria, resultado de la magnitud del crecimiento registrado en los años previos, que ciertamente es considerable.

La otra mitad de los casos (tres) presentan tendencia positiva con incrementos crecientes (parábolas convexas); estos casos son el de la carga doméstica en

Guadalajara, y ambas categorías para el aeropuerto de Monterrey. Estos tres casos coinciden en un comportamiento histórico de notable expansión en años recientes.

En todos los casos analizados se detectaron ciclos. En general, los ciclos asociados a los movimientos domésticos son más largos y con longitudes similares; los ciclos internacionales son más cortos y menos coincidentes. Los ciclos de la demanda de carga doméstica en México y Guadalajara tienen longitudes de diez años (en México es ligeramente más corto); en Monterrey tiene una longitud de entre seis y ocho años; la carga internacional presenta ciclos sexenales en el aeropuerto de México y de cuatro años en el de Guadalajara. El de Monterrey registra un ciclo asociado a la carga internacional no muy claramente definido; sin embargo, tiene una longitud aproximada de ocho años.

Respecto a las variaciones aleatorias detectadas en los datos, en todos los casos se confirmó la normalidad de su distribución, gracias a su simetría respecto al punto central y su dispersión dentro del rango de aceptación con la prueba *t de student*.

El aeropuerto cuyos datos mostraron variaciones aleatorias más moderadas fue el de la Ciudad de México. La mayor dispersión se encontró en el caso internacional de Monterrey. La menor dispersión de las variaciones aleatorias es deseable dado que puede ser un indicador de la bondad de ajuste de la modelación respecto a los datos empíricos.

En general, se concluye que la técnica de análisis de series de tiempo empleada en el estudio es adecuada para la modelación del comportamiento histórico de la demanda de transporte de carga aérea en aeropuertos, y se recomienda su utilización, siempre y cuando se mantengan presentes los supuestos básicos de los modelos tendenciales, y que los horizontes de pronóstico sean lo suficientemente cortos, con el fin de que se pueda esperar que no existan cambios significativos en los factores sociales, económicos y tecnológicos que condicionan a los sistemas de transporte.

1 Introducción

1.1 Antecedentes

El transporte de carga ha registrado una considerable evolución en las décadas recientes, no sólo en términos cuantitativos, sino también en aspectos cualitativos.

El transporte aéreo es una de las modalidades con mayor dinámica. En estudios recientes del Instituto Mexicano del Transporte (IMT) (Rico, 2005; Herrera, et al, 2005), se ha encontrado que en el periodo comprendido entre 1992 y 2002 dicho modo de transporte tuvo una tasa promedio de crecimiento anual de 8,9%¹. Tal ritmo es mayor que el de los demás modos de transporte² (IMT, 2006) y que el de la economía en general³ (IMT, 2006), e implican que, en caso de sostenerse, la carga transportada se duplicará en periodos de aproximadamente cinco años.

El aumento de la demanda genera oportunidades, pero también problemas ante la necesidad de crecimiento y desarrollo de la oferta, tanto en el plano de los servicios, como de la infraestructura. Esta afirmación se corrobora con el crecimiento y evolución de las empresas especializadas en transporte de carga (Rico, 2005) y por una creciente preocupación de las administraciones aeroportuarias por ofrecer (y explotar comercialmente) mayores y mejores instalaciones para la realización de tales actividades (Herrera, et al; 2005).

Considerando las características económicas de la infraestructura del transporte (Thompson, 1976), se reconoce que es importante realizar una cuidadosa planificación de su crecimiento, siendo para ello imprescindible contar con pronósticos confiables del comportamiento de la demanda.

En este sentido, la modelación de la demanda de transporte de carga constituye un problema de investigación relevante. Sin embargo, hay elementos para afirmar que su atención académica en las últimas décadas ha sido menor que la dedicada a la modelación del transporte de pasajeros (Moreno, 2005; Rico, 2005b).

La presente investigación tiene como propósito fundamental estudiar las técnicas de análisis de series de tiempo para la proyección de los datos históricos de la carga

¹ Incluye movimientos domésticos e internacionales.

² De acuerdo con el Manual Estadístico del Sector Transporte del IMT (IMT, 2006), en el periodo entre 1993 y 2005 el transporte de carga doméstica en México registró las siguientes tasas de crecimiento medio anual por modo de transporte: carretero 1,4%; ferroviario 4,9%; marítimo 2,0%; aéreo 4,3%.

³ De acuerdo con el sistema de cuentas nacionales del INEGI, en el periodo entre 1993 y 2004 los 73 sectores de la economía nacional registraron en promedio un crecimiento medio anual de 2,8% (IMT, 2006).

transportada en los principales aeropuertos del país, los cuales han sido identificados claramente en investigaciones previas (Rico, 2002; Rico, 2005; Herrera, et al, 2005), y están localizados en las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey.

Si bien las técnicas de análisis de series de tiempo se emplean ampliamente en estudios econométricos, se considera que no han sido suficientemente evaluadas en su aplicación a la demanda de transporte de carga, lo cual constituye el principal problema de investigación del presente estudio.

En apoyo a la intención de utilizar técnicas de análisis de series de datos históricos, conviene destacar que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de México, cuenta con datos confiables y abundantes sobre la carga transportada por el subsector en las últimas décadas, y que se encuentran disponibles para su empleo.

También resulta relevante que las técnicas de análisis de series de tiempo no requieren información sobre otras variables económicas, con las que usualmente se establecen relaciones causales o de dependencia en la modelación de la demanda de transporte de carga, lo cual puede resultar de utilidad para planificadores que enfrentan problemas de escasez de información.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Aportar conocimiento sobre la utilidad del análisis de series de tiempo en el estudio de la demanda de transporte aéreo de carga en aeropuertos.

1.2.2 Objetivos particulares

- 1) Identificar las principales técnicas de análisis de series de tiempo que se usan en la econometría y que pueden ser útiles para pronosticar la demanda de servicios de transporte aéreo de carga.
- 2) Analizar los datos de transporte de carga en los tres principales aeropuertos del país, usando técnicas de análisis de series de tiempo.

1.3 Alcances

Se identificará el estado del arte sobre las técnicas más comunes de análisis de series de tiempo que se utilizan en la econometría, para el estudio del comportamiento de variables económicas, especialmente de la demanda de servicios de transporte de carga.

Se llevará al cabo el análisis de las series de tiempo de la carga transportada en el periodo 1992 – 2005 en los tres aeropuertos principales del país. Se pretende encontrar

las principales tendencias de evolución del fenómeno, así como la presencia de ciclos económicos en la información.

1.4 Metodología e hipótesis

El método que se utiliza en la investigación es fundamentalmente inductivo, considerando que se pretende obtener conclusiones de posible alcance general sobre el comportamiento de la demanda de transporte aéreo de carga a partir del análisis de casos particulares, que en este estudio consisten en los tres aeropuertos más importantes del país.

En la investigación se parte de una hipótesis a comprobar con base en el análisis de datos empíricos obtenidos de la observación directa del fenómeno.

La hipótesis de investigación plantea que las técnicas de análisis de series de tiempo son herramientas adecuadas para modelar el comportamiento histórico de la demanda de transporte aéreo de carga.

Los datos empíricos consisten en los valores de la carga transferida a través de los cuatro principales aeropuertos del país, y que han sido observados y registrados sistemáticamente por la Dirección General de Aeronáutica Civil de la SCT desde hace varios años.

Los datos empíricos serán analizados mediante técnicas estadísticas con las que se verificará la presencia o ausencia de relaciones matemáticas.

De acuerdo con lo anterior, en la investigación se sigue la secuencia clásica del método experimental, mismo que parte de una hipótesis, prosigue con la recopilación de información, continúa con el análisis de la misma, y finaliza con el posible establecimiento de relaciones de validez general.

Los elementos teóricos de la investigación, así como las técnicas para el tratamiento de los datos, provienen fundamentalmente de la economía, la econometría, la modelación del transporte y de la estadística matemática.

2 Marco teórico

De acuerdo con Kikut, Muñoz y Quirós (2002), los modelos cuantitativos utilizados en economía se pueden clasificar, con base en la información que emplean, en multivariantes o econométricos, y en univariantes o de series de tiempo.

Los modelos multivariantes o econométricos se fundamentan esencialmente en el análisis de regresión con estimación de parámetros mediante la técnica de mínimos cuadrados.

La idea base de la regresión estadística es que existe una relación entre una variable “explicada” o dependiente, y una o más variables explicativas que se considera son la causa⁴ de la variable dependiente; por esto último, también se conocen como modelos causales. El propósito del análisis de regresión consiste en encontrar la mejor relación funcional entre las variables (estadísticamente); estimar los parámetros de la ecuación (calibrar), y finalmente proceder al cálculo de valores desconocidos de la variable dependiente (eventualmente pronósticos), a partir de valores de las variables explicativas.

En los casos de series de tiempo existen algunas características de la variable que dificultan la aplicación del modelo teórico de regresión; especialmente en relación con la fuerte autocorrelación que suele estar presente en los datos y que afecta a uno de los supuestos teóricos del modelo de regresión (relacionado con la independencia entre los términos del error), lo cual suele tener consecuencias no deseables en la calidad de los modelos y finalmente de los pronósticos.

El diccionario de estadística de la Universidad de Oxford (Upton, Cook; 2002) define una serie de tiempo, como una serie (secuencia) de mediciones (observaciones) a lo largo del tiempo, usualmente en intervalos regulares, de una variable aleatoria.

En los modelos univariantes (o de una sola variable) “no se necesita conocer ninguna relación de causalidad explicativa del comportamiento de la variable endógena (o explicada) ni ninguna información relativa al comportamiento de otras variables explicativas, ya que en este caso no existe este tipo de variables. Es suficiente conocer

⁴ Sobre la relación de causalidad conviene señalar que la existencia de una alta correlación entre dos variables no implica necesariamente que una de ellas sea la “causa” de la otra, sino que varían de manera conjunta; es decir, a valores altos de una variable le corresponden valores altos de la otra y viceversa (cuando la correlación es negativa se tiene el comportamiento inverso). Este buen comportamiento conjunto permite calcular valores de una de las variables a partir de valores de la otra, con base en una buena función que las relacione. Debe quedar claro que la determinación de la causalidad supera los alcances de la modelación matemática y debe provenir del conocimiento del fenómeno en estudio.

una serie temporal de la variable en estudio, para estimar el modelo que se utilizará para predecir” (Kikut, Muñoz, Quiros; 2002, p.2).

Así entonces, el análisis de la serie de tiempo se concentra en el comportamiento histórico de los datos, buscando identificar características en la secuencia que resulten consistentes y permitan su proyección al futuro mediante una réplica matemática.

El valor que toman los datos de la serie de tiempo es impredecible de una a otra observación, en el sentido de asumir un comportamiento estocástico; por tal motivo el conjunto de resultados posibles del “experimento” corresponden al espacio de eventos de una variable aleatoria (Rascón, 1986).

Las características que suelen estar presentes en una serie de tiempo son cuatro: *tendencia*, *ciclos*, *estacionalidad* y *variación aleatoria* (Spiegel, 1970). Cada uno de estos factores genera un “movimiento” característico a lo largo del tiempo, y la clave de la técnica consiste en su separación adecuada, para permitir su tratamiento individual.

La *tendencia* es la característica que define la tasa de crecimiento (positivo o negativo) en el largo plazo; en general corresponde a la pendiente promedio entre los datos. Cuando la tendencia no es una línea recta, entonces la pendiente de las tangentes a la curva también es variable en el tiempo. Es muy común determinar la tendencia mediante la técnica de los mínimos cuadrados, por medio de la cual se calculan el valor de la pendiente y la ordenada al origen, que hacen mínima la suma de las diferencias cuadráticas entre los valores observados y los valores calculados.

Los *ciclos* son variaciones de carácter oscilatorio alrededor de la tendencia, que se presentan en periodos mayores a un año. La forma usual de determinar los ciclos es a través de promedios móviles (Rascón, 1983) que consideran subgrupos de datos de un tamaño adecuado a la longitud de los ciclos.

La *estacionalidad* son variaciones cíclicas que se presentan dentro de los periodos anuales, usualmente asociados a temporadas mensuales o semanales. Cuando los datos de la serie de tiempo corresponden a datos anuales, como en el presente estudio, los ciclos estacionales no están presentes. Su tratamiento es similar al de los ciclos de largo plazo, es decir, mediante promedios móviles.

La *variación aleatoria* se debe a otros factores no identificados, o que no es posible modelar. Su magnitud depende de la importancia de estos factores y se reduce en la medida que la serie de tiempo se apega a la tendencia, a los ciclos anuales y a los ciclos estacionales.

Las variaciones aleatorias en las series de tiempo, comúnmente se tratan como una variable aleatoria con distribución de probabilidades normal, con base en el teorema central del límite, dado que se puede aceptar que consiste en la adición de múltiples variables aleatorias con distribuciones desconocidas (Rascón, 1986; Peña, 2001). En este caso, el tratamiento es similar al de la estimación de la media poblacional a partir

de una distribución muestral, tomando como media el promedio de las variaciones, y como desviación estándar la desviación muestral dividida por la raíz cuadrada del número de datos.

En estos casos, el análisis de la serie de tiempo consiste en la descripción matemática de los factores que la componen, suponiendo que cada observación es un producto de las variables tendencia, ciclo, estacionalidad y variación aleatoria. A esta técnica se le conoce como *descomposición factorial* de la serie de tiempo (Spiegel, 1970).

2.1 Técnica empleada en el estudio

En la investigación que se reporta se usó la técnica conocida como descomposición factorial (Spiegel, 1970; Rascón, 1983), para el análisis de las series de tiempo.

En este enfoque se considera que la serie de tiempo está formada por tres componentes fundamentales: tendencia, ciclo y variación aleatoria⁵.

La cantidad de carga transportada anualmente en cada aeropuerto se expresa mediante el siguiente producto (modelo factorial o multiplicativo):

$$Y_t = \hat{Y}_t \cdot C_t \cdot A \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

Y_t = Carga observada (registrada) en el año t

\hat{Y}_t = Valor esperado de la serie en el año t debido a la tendencia

C_t = Efecto del ciclo en el año t

A = Efecto de la variación aleatoria

Este es el modelo base a partir del cual se realiza el análisis de los datos.

2.1.1 Determinación de los valores esperados por tendencia

En todos los casos analizados, el valor esperado por tendencia se obtuvo mediante la técnica de los mínimos cuadrados, aplicada a una función polinomial (cuadrática).

⁵ Las posibles variaciones estacionales (es decir, debidas a las estaciones a lo largo del año) no se incluyeron en el modelo, debido a que la periodicidad de los datos es anual y por tanto, no registran estas variaciones que son típicamente mensuales o trimestrales.

Conviene señalar que en todos los casos estudiados, la primera opción de curva de tendencia que se probó fue una función lineal⁶, tanto para los movimientos domésticos como internacionales; pero al obtenerse coeficientes de determinación más altos (más cercanos a uno) con las funciones cuadráticas⁷; esta segunda fue la opción elegida.

La parábola de aproximación de mínimos cuadrados a la serie de observaciones: (t_1, Y_1) (t_2, Y_2) , (t_n, Y_n) , tiene la ecuación (Rascón, 1983):

$$\hat{Y}_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

\hat{Y}_t = valor de tendencia de la carga transportada en el año t

t = año

a_0, a_1, a_2 = parámetros del modelo a obtener por mínimos cuadrados

Las constantes a_0, a_1, a_2 se determinan resolviendo el sistema de ecuaciones (Rascón, 1983):

$$\sum Y = a_0 N + a_1 \sum t + a_2 \sum t^2 \dots\dots\dots (I)$$

$$\sum tY = a_0 \sum t + a_1 \sum t^2 + a_2 \sum t^3 \dots\dots\dots (II)$$

$$\sum t^2 Y = a_0 \sum t^2 + a_1 \sum t^3 + a_2 \sum t^4 \dots\dots\dots (III)$$

Donde:

Y_t = valor observado de la carga transportada en el año t

t = año

Estas ecuaciones se conocen en la literatura como *las ecuaciones normales para la parábola de mínimos cuadrados* (Spiegel, 1970).

⁶ En algunos casos, también se exploraron funciones de crecimiento exponencial.

⁷ Los análisis correspondientes no se incluyen en el reporte de investigación, pero se encuentran disponibles en las memorias de cálculo del estudio.

Usando la ecuación (2) ya calibrada, se calculan los valores \hat{Y}_t para obtener los puntos: (t_1, \hat{Y}_1) , (t_2, \hat{Y}_2) , ..., (t_n, \hat{Y}_n) , que corresponden a los valores de carga según la tendencia y que se encuentran alineados sobre la curva de ajuste.

Estos valores son la base para obtener los efectos por ciclo y por variación aleatoria.

Cuando se desea realizar un pronóstico del comportamiento de una serie de tiempo, el primer paso consiste en hacer un cálculo de los valores esperados por tendencia, aplicando la función calibrada que se señala en este apartado. Posteriormente, tales valores deberán multiplicarse por los factores que corresponden a los ajustes por ciclo y variación aleatoria, cuya obtención se describe en los siguientes párrafos.

En muchos estudios de pronósticos, esta primera parte del análisis representa el aspecto medular y a partir de esta ecuación se obtienen las proyecciones a futuro del comportamiento de la variable; sin embargo, en las series de tiempo, las variaciones cíclicas y aleatorias suelen ser de gran importancia y provocar que las estimaciones simples por tendencia resulten con una proporción de errores (desviaciones) muy alta, por lo cual en muchos casos resulta imprescindible su consideración y estimación matemática.

2.1.2 Determinación de los ciclos

El efecto del factor cíclico se obtiene a partir de la ecuación (3), que a su vez se obtiene de la ecuación (1), al despejar los dos efectos adicionales a la tendencia:

$$C_t \cdot A = \frac{Y_t}{\hat{Y}_t} \dots\dots\dots (3)$$

Con la ecuación (3) se calculan los valores de la serie de tiempo en los que se ha eliminado la tendencia, obteniéndose los pares ordenados: (t_1, CA_1) , (t_2, CA_2) , ..., (t_n, CA_n) .

Si el cálculo de la tendencia ha sido correcto, se encuentra que la gráfica de los valores resultantes (residuos) oscila alrededor de una línea aproximadamente horizontal paralela al eje del tiempo; es decir, los residuos se convierten en una serie de tiempo en la que no existe tendencia de crecimiento o decrecimiento y en la que únicamente subsisten las variaciones debidas a los ciclos y el efecto aleatorio.

Estos valores son la base del cálculo de los ciclos en la serie; sin embargo, las variaciones debidas al factor aleatorio alteran y ocultan en cierta medida la tendencia cíclica.

Para lograr la extracción del comportamiento cíclico es común recurrir a un método de "alisado" de la serie de tiempo que "borre" las desviaciones aleatorias. En nuestro caso

se utilizó la técnica de los *promedios móviles de orden N* (Spiegel, 1970), también conocida como técnica de las medias móviles.

Dado un conjunto de números: (X_1, X_2, X_3, \dots) se define un *movimiento medio de orden N* al que viene dado por la sucesión de medias aritméticas (Spiegel, 1970):

$$\frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N}{N}, \frac{X_2 + X_3 + \dots + X_{N+1}}{N}, \frac{X_3 + X_4 + \dots + X_{N+2}}{N}, \dots \quad (4)$$

Tales valores promedio son una medida de tendencia central y “representan” al subgrupo de datos, suavizando su comportamiento al disminuir la dispersión con respecto a la media. La suavización permite encontrar y “extraer” con mayor facilidad los movimientos cíclicos.

Si los datos tienen periodicidad anual, como es nuestro caso, al movimiento medio de orden N se le denomina *movimiento medio de N años* (Spiegel, 1970). En los casos analizados en el estudio, el orden de los movimientos medios que se encontró más adecuado fue de dos o de tres años.

En algunos casos resulta más conveniente calcular promedios móviles “ponderados”, dando un mayor peso a algunos de los datos en el subgrupo.

En el presente estudio, la mayoría de los casos analizados se desarrollaron usando movimientos medios de tres años, otorgando un peso doble al dato central. El efecto que esto produce es el de concentrar el promedio con mayor fuerza hacia el dato central, que se considera el más representativo del subperiodo.

La técnica de los promedios móviles se aplica a los valores obtenidos con la ecuación (3) obteniéndose para cada caso un segundo valor \hat{C}_t que es el promedio de los dos o tres datos próximos inferiores y superiores. Este valor se considera el factor por variación cíclica.

Para realizar pronósticos, el valor obtenido por la función de tendencia se debe multiplicar por un valor promedio que corresponda a cada uno de los momentos del ciclo. Estos valores promedio, también conocidos como índices estacionales, se calculan con los datos que se obtienen de cada uno de los ciclos que se presentaron en la serie de tiempo; evidentemente, entre más abundantes son los datos y más cortos los ciclos, se dispone de mayor cantidad de información para calcular los índices estacionales.

2.1.3 Determinación de las variaciones aleatorias

Las variaciones aleatorias presentes en cada dato se obtienen mediante la ecuación (5):

$$A = \frac{Y_t}{\hat{Y}_t \hat{C}_t} \dots\dots\dots (5)$$

Como ya se señaló, las variaciones aleatorias son una medida de la desviación de cada dato respecto al valor esperado por tendencia y ciclo. La fuente de esta desviación se considera desconocida y puede ser resultado de factores con acción temporal de corto plazo.

Los factores que generan las desviaciones aleatorias pueden considerarse variables aleatorias con distribuciones de probabilidad desconocidas, pero que al tener un comportamiento aditivo, en conjunto es de esperarse presenten una distribución cercana a la normal.

Esta última hipótesis se sustenta en el teorema central del límite, que demuestra que si a_1, a_2, \dots, a_n son variables aleatorias independientes con media μ_i , varianza σ_i^2 y distribución cualquiera, no necesariamente la misma, la variable $U = a_1 + a_2 + \dots + a_n$ tiende a tener distribución de probabilidades normal con media $\Sigma\mu_i$ y varianza $\Sigma\sigma_i^2$ (Peña, 2001).

Para estimar estadísticamente el valor medio de las desviaciones aleatorias es factible usar la técnica de estimación por intervalos de confianza, asumiendo que la distribución observada de las desviaciones aleatorias es una distribución muestral a partir de la cual es posible estimar la media de la distribución poblacional.

Considerando que en este caso no se conoce la varianza poblacional de la distribución, es necesario utilizar la distribución *t de student* en vez de la normal estándar (*z*) (Peña, 2001).

Por lo anterior, la desviación aleatoria media se encuentra en el intervalo (Peña, 2001):

$$\bar{A} = \frac{\sum A_t}{N} \pm t \left[\frac{s_t}{\sqrt{N-1}} \right] \dots\dots\dots (6)$$

Donde A_t son los valores calculados con la ecuación (5), s_t es la desviación estándar de ese conjunto de valores, y la variable t es el estadístico de la distribución *t de student*, que deberá calcularse para un intervalo de confianza definido (usualmente 95%) y el número de grados de libertad que depende de la cantidad de datos en la muestra ($N-1$).

3 Determinación del objeto de estudio

El objetivo principal de la presente investigación consiste en aportar conocimiento sobre la utilidad del análisis de series de tiempo en el pronóstico de la demanda de transporte aéreo de carga en aeropuertos.

Dentro de los objetivos particulares se contempla analizar los datos de transporte de carga en las principales terminales aéreas del país; para ello es necesario definir un criterio y determinar los aeropuertos a incluir en el estudio.

Se ha considerado que el volumen total de carga atendido en el año 2005, que es el último del cual se tiene información, es el criterio cuantitativo fundamental. En el indicador se deben incluir las categorías doméstica e internacional, debido a que por algunos aeropuertos se transporta notoriamente uno u otro tipo.

El criterio cualitativo consiste en incluir aquellos aeropuertos que acumulen al menos el 75% de la carga total transportada por el modo aéreo y que además sean una muestra representativa de los diversos tipos de aeropuertos que existen en el sistema.

Este criterio se ha definido con base en el método de clasificación ABC, que a su vez se fundamenta en la regla de proporciones de Pareto, y que es ampliamente utilizado en investigación de mercados (Christopher, 1994; Ballou, 1992).

En el cuadro 3.1 se presenta el listado completo de los aeropuertos mexicanos por los que se transportó carga en el año de 2005. Se incluye la carga doméstica y la internacional, así como la suma de ambas. También se presentan en el cuadro dos columnas con la participación relativa de cada aeropuerto; la primera, con respecto a la carga total en el sistema; y la segunda, con los valores acumulados.

En el cuadro 3.1 se puede observar que en el año 2005 fueron 61 las terminales en que la DGAC registró movimientos de carga doméstica e/o internacional. Estos aeropuertos representan prácticamente la totalidad del sistema aeroportuario mexicano. Sin embargo, la gran mayoría muestran un aporte marginal al total de la carga manejada por el sistema, de tal manera que el 95% de ella es atendida por sólo 15 aeropuertos, mismos que representan aproximadamente el 25% del total de terminales en el sistema.

La concentración de la carga aérea en los principales aeropuertos es muy alta, pues tan sólo los tres más importantes atienden el 77,32% de la carga en el país. Estos aeropuertos son los que se localizan en las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey, mismos que forman la lista de aeropuertos a estudiar en la presente investigación.

Cuadro 3.1
Carga doméstica e internacional transportada a través
de los aeropuertos mexicanos en el año 2005 (toneladas)

	Aeropuerto	Carga doméstica	Carga internacional	Total	Participación relativa	Participación acumulada
1	México	103 681,7	258 057,1	361 738,8	48,63%	48,63%
2	Guadalajara	56 450,5	99 657,8	156 108,4	20,99%	69,62%
3	Monterrey	15 887,8	41 398,8	57 286,6	7,70%	77,32%
4	Mérida	7 711,7	13 070,4	20 782,1	2,79%	80,11%
5	Toluca	253,7	20 474,4	20 728,0	2,79%	82,90%
6	Tijuana	17 238,1	39,2	17 277,4	2,32%	85,22%
7	Monclova	16 522,2	0,3	16 522,5	2,22%	87,44%
8	San Luis Potosí	12 380,3	143,7	12 524,0	1,68%	89,12%
9	Cancún	5 782,8	5 945,7	11 728,4	1,58%	90,70%
10	Chihuahua	3 519,6	6 064,3	9 584,0	1,29%	91,99%
11	Hermosillo	7 624,5	329,0	7 953,5	1,07%	93,06%
12	Saltillo	155,6	4 774,2	4 929,8	0,66%	93,72%
13	Culiacán	3 706,7	0,2	3 706,9	0,50%	94,22%
14	Cd. Juárez	3 142,6	432,0	3 574,5	0,48%	94,70%
15	Mazatlán	2 995,4	551,7	3 547,1	0,48%	95,18%
16	San José del Cabo	2 321,4	980,7	3 302,0	0,44%	95,62%
17	Mexicali	2 919,0	1,5	2 920,5	0,39%	96,01%
18	Del Bajío	1 600,6	1 019,2	2 619,8	0,35%	96,37%
19	Villahermosa	2 544,5	1,2	2 545,8	0,34%	96,71%
20	Acapulco	1 748,9	503,2	2 252,1	0,30%	97,01%
21	La Paz	2 160,1	0,8	2 160,9	0,29%	97,30%
22	Tapachula	1 628,8	6,5	1 635,4	0,22%	97,52%
23	Puerto Vallarta	378,5	1 201,5	1 579,9	0,21%	97,73%
24	Poza Rica	1 459,7	0,0	1 459,7	0,20%	97,93%
25	Oaxaca	1 330,3	10,8	1 341,0	0,18%	98,11%
26	Veracruz	1 194,8	3,5	1 198,3	0,16%	98,27%
27	Tampico	1 092,5	0,6	1 093,1	0,15%	98,42%
28	Nuevo Laredo	1 067,9	0,0	1 067,9	0,14%	98,56%
29	Torreón	977,9	41,6	1 019,4	0,14%	98,70%
30	Tuxtla Gutiérrez	1 010,1	0,0	1 010,1	0,14%	98,83%
31	Ciudad Obregón	806,5	6,0	812,5	0,11%	98,94%
32	Uruapan	773,3	0,0	773,3	0,10%	99,05%
33	Ciudad del Carmen	638,3	33,4	671,7	0,09%	99,14%
34	Zacatecas	637,8	18,5	656,3	0,09%	99,23%
35	Minatitlán	558,2	0,0	558,2	0,08%	99,30%
36	Aguascalientes	476,8	64,7	541,5	0,07%	99,37%
37	Reynosa	486,9	0,0	486,9	0,07%	99,44%
38	Querétaro	190,9	255,3	446,2	0,06%	99,50%
39	Zihuatanejo	425,9	5,5	431,5	0,06%	99,56%
40	Matamoros	423,9	0,0	423,9	0,06%	99,61%
41	Morelia	367,3	22,2	389,5	0,05%	99,67%

	Aeropuerto	Carga doméstica	Carga internacional	Total	Participación relativa	Participación acumulada
42	Cozumel	281,4	92,1	373,5	0,05%	99,72%
43	Chetumal	366,8	0,0	366,8	0,05%	99,77%
44	Durango	300,1	0,6	300,7	0,04%	99,81%
45	Bahías de Huatulco	246,5	0,1	246,6	0,03%	99,84%
46	Puebla	103,7	140,5	244,2	0,03%	99,87%
47	Ciudad Victoria	159,8	0,0	159,8	0,02%	99,89%
48	Piedras Negras	157,1	0,0	157,1	0,02%	99,92%
49	Lázaro Cárdenas	117,7	0,0	117,7	0,02%	99,93%
50	Manzanillo	102,4	0,7	103,1	0,01%	99,94%
51	Tepic	96,5	0,0	96,5	0,01%	99,96%
52	Salina Cruz	96,0	0,0	96,0	0,01%	99,97%
53	Colima	59,4	0,0	59,4	0,01%	99,98%
54	Jalapa	39,7	0,0	39,7	0,01%	99,98%
55	Los Mochis	24,0	13,5	37,5	0,01%	99,99%
56	Loreto	21,1	9,3	30,4	0,00%	99,99%
57	Guerrero Negro	27,9	0,0	27,9	0,00%	100,00%
58	Campeche	7,9	0,0	7,9	0,00%	100,00%
59	Ensenada	0,0	7,1	7,1	0,00%	100,00%
60	Nogales	0,0	6,1	6,1	0,00%	100,00%
61	Cuernavaca	1,4	0,0	1,4	0,00%	100,00%
	Total	288 483,0	455 385,5	743 868,5	100 %	

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC

Estos aeropuertos satisfacen los dos criterios de determinación del objeto de estudio; puesto que incluyen tanto operaciones internacionales como operaciones domésticas propias de las terminales con vocación regional.

Por su importancia, no es casual que estos aeropuertos sean las terminales principales de tres de los grupos aeroportuarios privatizados (Rico, 2002): Guadalajara, del Grupo Aeroportuario del Pacífico (GAP); Monterrey, del Grupo Aeroportuario Centro – Norte (GACN); y Ciudad de México, que originalmente se tenía contemplado que constituiría un grupo aeroportuario por sí mismo, pero que en la actualidad continua siendo administrado por el organismo público Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA).

3.1 Desagregación de la información

En todo el estudio, la información sobre la carga transportada a través de los aeropuertos ha sido desagregada en dos categorías: doméstica e internacional.

En general, en la categoría “doméstica” se incluyen todos los movimientos de carga que tienen lugar entre dos terminales localizadas dentro del territorio nacional mexicano; en la categoría “internacional” se incluyen todos los movimientos que tienen uno de sus extremos (origen o destino) en una terminal ubicada en México y el otro en algún aeropuerto fuera del país (Rico, 2005).

La desagregación en dos categorías es trascendente porque todo el análisis matemático se ha efectuado sobre estos dos conjuntos de datos y ello implica que para realizar los pronósticos deberán proyectarse por separado cada una de las dos series de tiempo; realizado esto, se deberán sumar los dos pronósticos con objeto de obtener un dato conjunto para el aeropuerto en cuestión.

La decisión de separar la información se fundamenta en el comportamiento esencialmente distinto de cada uno de los dos fenómenos. A primera vista, la forma “natural” de abordar el análisis de las series de tiempo es a partir de los datos totales; sin embargo, una inspección, incluso simple, de los datos, muestra que el comportamiento de ambas series es muy diferente; y es razonable suponer que su agregación provocaría mayores dificultades de modelación, lo cual se debe evitar: “El arte en la construcción de un modelo consiste en incorporar el número adecuado de variables y relaciones para que represente fielmente al fenómeno que se pretende reproducir, sin complicarlo al grado tal que se vuelva tan complejo e incontrolable como la realidad misma” (Rico, 2001; p. 91).

Afortunadamente, en las bases de datos recopiladas por la DGAC los movimientos domésticos e internacionales se registran individualmente, lo cual permite su tratamiento por separado, mediante el procesamiento adecuado de la información⁸.

Otra razón adicional que sustenta la decisión de separar la información en movimientos domésticos e internacionales tiene que ver con la importancia de ambos mercados en el transporte aéreo de carga.

La participación de la carga internacional en el modo de transporte aéreo en México es muy relevante. En los últimos años, los volúmenes de carga internacional han llegado a ser aproximadamente cuatro veces mayores que los de carga doméstica. En términos absolutos rondan las cuatrocientas mil toneladas anuales, contra cien mil.

Cabe señalar que la disparidad aludida ha venido acrecentándose rápidamente en los últimos años⁹, debido a que las tasas de crecimiento de ambas categorías también son muy distintas: las de la carga internacional rondan el 12% anual y las de la carga doméstica se encuentran en el rango del 3% (Rico, 2005).

⁸ Conviene señalar que gracias a la estructura de la base de datos de la DGAC, la desagregación se puede llevar más lejos; por ejemplo, dentro de las categorías doméstica e internacional, es posible separar los movimientos regulares y de fletamento. Ahora bien, dado que la información se encuentra en formato origen – destino, también es posible procesar las bases de datos para obtener los volúmenes de carga que ingresan o egresan de cada aeropuerto.

⁹ Por ejemplo, en 1992 las proporciones relativas fueron aproximadamente (60% - 40%), en 1996: (70% - 30%), y en 2002: (80% - 20%).

La situación descrita permite concluir que el transporte aéreo de carga en México tiene actualmente una vocación claramente definida hacia la categoría internacional y que los movimientos domésticos son notoriamente minoritarios (Rico, 2005).

La prominencia de los movimientos internacionales tiene importantes implicaciones en la definición de las características del sistema de transporte aéreo de carga. Por ejemplo, es interesante notar que la mayoría de las empresas nacionales e internacionales especializadas en el transporte de carga, se concentra en este segmento del mercado, lo cual favorece la presencia de mejores prácticas logísticas y comerciales y en consecuencia de mayores niveles de servicio al cliente, lo cual provoca un círculo virtuoso de desarrollo (Rico, 2005; Herrera, et al, 2005).

4 Series de tiempo del aeropuerto de la Ciudad de México

En el cuadro 4.1 se presentan los datos históricos de la carga transportada a través del aeropuerto de la Ciudad de México (AICM) en el periodo 1992 – 2005. Esta información es la base para el análisis de las series de tiempo de esa terminal aeroportuaria.

Cuadro 4.1
Aeropuerto de la Ciudad de México: carga doméstica e internacional transportada en el periodo 1992 – 2005 (toneladas)

Año	Carga doméstica	Carga internacional	Total
1992	67 547	95 545	163 092
1993	62 622	133 954	196 577
1994	59 528	160 301	219 828
1995	73 430	148 141	221 570
1996	73 444	163 480	236 924
1997	78 891	200 221	279 112
1998	79 912	202 588	282 500
1999	83 650	249 703	333 353
2000	79 536	267 104	346 639
2001	76 134	240 290	316 424
2002	79 290	234 219	313 510
2003	81 134	228 341	309 475
2004	97 818	244 431	342 249
2005	103 682	258 057	361 739

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC

En el cuadro 4.1 se puede observar que, para el periodo analizado, la carga dominante en el AICM es la internacional.

En el año 2005, la carga internacional fue más del doble que la doméstica (2,48 veces); esta diferencia ha ido creciendo en el tiempo (por ejemplo, en 1992 la proporción era de 1,4 veces) y es de esperarse que en el futuro dicha tendencia continúe, ya que la tasa anual de crecimiento de la carga internacional es sensiblemente mayor que la doméstica (Herrera, et al, 2005).

En la figura 4.1 se muestran las series de tiempo de la carga doméstica, internacional, y total, para el aeropuerto de la Ciudad de México. Estas gráficas se construyeron a partir de los datos del cuadro 4.1.

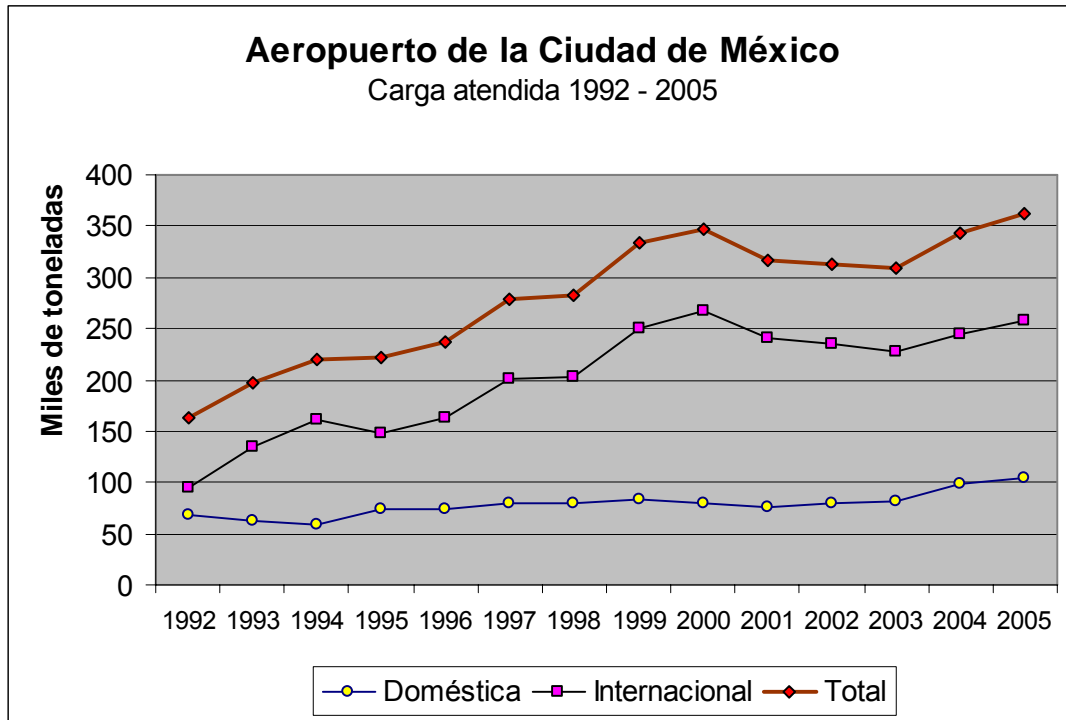


Figura 4.1 Series de tiempo de la carga doméstica, internacional y total en el aeropuerto de la Ciudad de México en el periodo 1992 – 2005.

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

En la figura referida se puede observar que las curvas de la carga internacional y la carga total tienen un comportamiento muy similar en el tiempo (son sensiblemente paralelas), lo cual es debido a que la carga doméstica presenta menor participación absoluta y menor variabilidad en el tiempo, como consecuencia de su tasa de crecimiento moderada.

El AICM es la terminal aérea más importante en el país, tanto en el manejo de pasajeros, como de carga. En el cuadro 3.1 se puede verificar que tan sólo en este aeropuerto se atendió aproximadamente la mitad (48,63%) del total de la carga transportada por el sistema en 2005.

Desde la perspectiva espacial, la importancia del AICM también es muy destacada, debido a que constituye el núcleo central de las redes de transporte doméstico e internacional (Rico, 2005). En estudios previos (Rico, 2005) se ha encontrado que el nodo ubicado en la Ciudad de México es prácticamente el único interconectado con todos los demás aeropuertos del país y el extranjero¹⁰, lo cual provoca que la red de

¹⁰ Esto produce que se formen pocas triangulaciones, dando a la red una morfología arbórea, típica de los sistemas poco sofisticados.

transporte tenga una forma arbórea con una concentración radial orientada hacia el nodo dominante. La conclusión es que la red de transporte aéreo de carga refleja las características espaciales de las relaciones económicas de México, especialmente las vinculadas al comercio de productos de alto valor agregado.

4.1 Análisis de la serie de tiempo de la carga doméstica

El procedimiento de descomposición factorial, expuesto en el capítulo segundo del presente documento, fue aplicado a la serie de datos históricos de la carga doméstica en el AICM. La técnica de descomposición en factores parte del supuesto de que la serie de tiempo anual se puede considerar formada por tres características fundamentales: tendencia, ciclo, y variación aleatoria¹¹. Cada uno de estos factores genera un “movimiento” característico a lo largo del tiempo y la clave de la técnica consiste en su tratamiento individual, mediante la separación adecuada de los factores.

Cuadro 4.2
Aeropuerto de la Ciudad de México: resumen del análisis de la serie de tiempo de la carga doméstica transportada en el periodo 1992 – 2005 (toneladas)

Año	t	Carga doméstica (ton)	Tendencia polinómica (ton)	Residuo por ciclo y aleatorio	Factor por ciclo media móvil tres años (ponderada)	Residuos por efecto aleatorio
1992	0	67 547	65 301,0	1,034		
1993	1	62 622	66 428,7	0,943	0,950	0,993
1994	2	59 528	67 775,6	0,878	0,940	0,935
1995	3	73 430	69 341,7	1,059	1,007	1,051
1996	4	73 444	71 127,0	1,033	1,051	0,983
1997	5	78 891	73 131,5	1,079	1,063	1,015
1998	6	79 912	75 355,2	1,060	1,069	0,992
1999	7	83 650	77 798,1	1,075	1,050	1,024
2000	8	79 536	80 460,2	0,989	0,991	0,997
2001	9	76 134	83 341,5	0,914	0,933	0,979
2002	10	79 290	86 442,0	0,917	0,913	1,005
2003	11	81 134	89 761,7	0,904	0,943	0,958
2004	12	97 818	93 300,6	1,048	1,017	1,031
2005	13	103 682	97 058,7	1,068		

Fuente: Elaboración propia con datos de la DGAC

¹¹ Ver capítulo segundo, numeral 2.1.

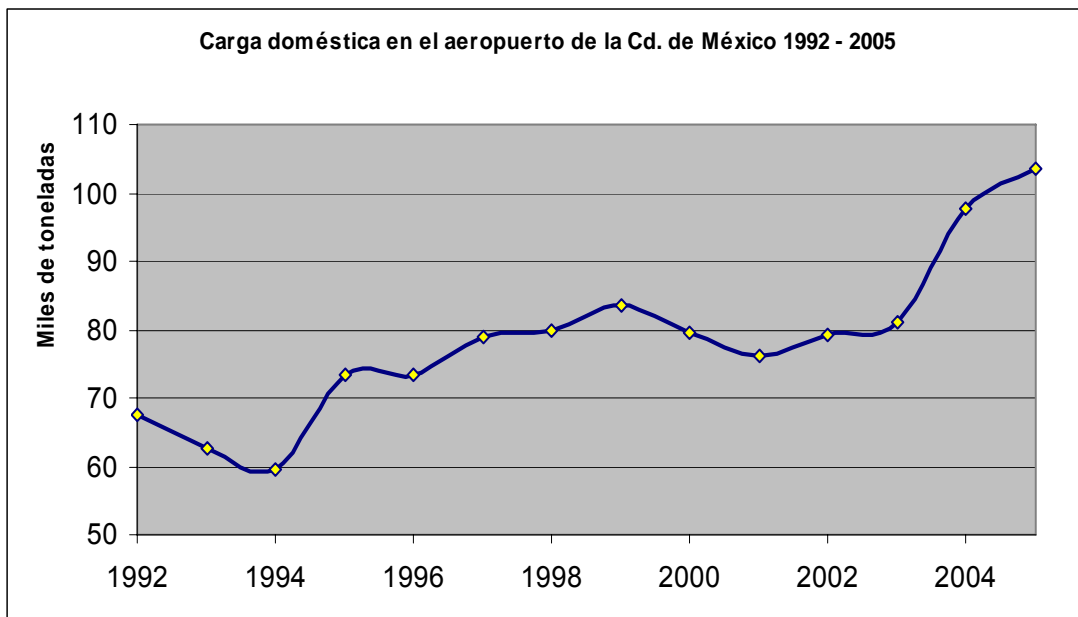


Figura 4.2 Serie de tiempo de la carga doméstica en el aeropuerto de la Ciudad de México en el periodo 1992 – 2005.

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

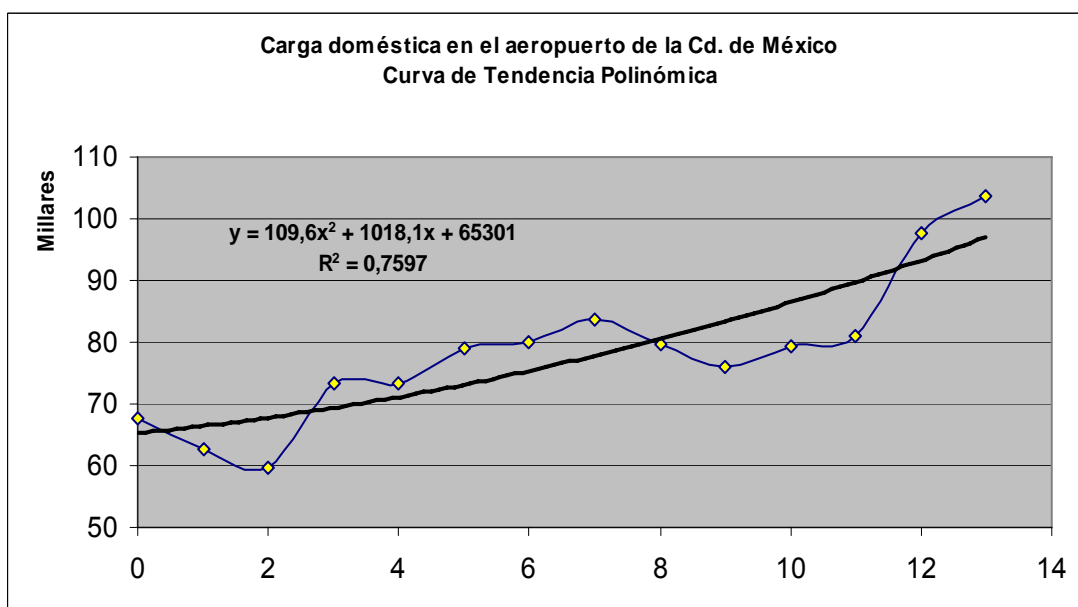


Figura 4.3 Curva de tendencia polinómica de la serie de tiempo de la carga doméstica en el aeropuerto de la Ciudad de México

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

El cuadro 4.2 presenta un resumen del resultado obtenido en cada una de las etapas del método.

Por su parte, la figura 4.2 muestra la gráfica de la curva formada por los puntos que representan los datos de la carga doméstica en cada uno de los años del periodo estudiado. A partir de una primera exploración de esta gráfica se puede inferir que los datos, efectivamente presentan una tendencia de crecimiento positivo, así como un aparente comportamiento cíclico a lo largo de los años. La existencia de tendencia se infiere por el hecho de que el conjunto de datos muestra una cierta inclinación (pendiente) respecto al eje horizontal, que en este caso conlleva a que los valores posteriores tiendan a ser mayores que los valores anteriores en el tiempo (crecimiento).

La tendencia es la característica que define la tasa de crecimiento (positivo o negativo) de los datos en el largo plazo; en general corresponde a la pendiente promedio entre los valores de los datos. Cuando la tendencia no es una línea recta, como en este caso, entonces la pendiente de las tangentes a la curva también es variable en el tiempo.

El valor esperado por tendencia se obtuvo usando la técnica de los mínimos cuadrados aplicados a una función cuadrática. Conviene señalar que la primera opción que se estudió para la curva de tendencia fue una función lineal, pero debido a que con la función cuadrática¹² se obtuvo un coeficiente de determinación más alto, esta segunda opción fue elegida.

La parábola de aproximación de mínimos cuadrados, ajustada a los pares de datos ordenados que se forman con las columnas 2 y 3 del cuadro 4.2, tiene la siguiente ecuación:

$$\hat{Y}_t = 65301 + 1018,1 t + 109,6 t^2 \dots\dots\dots (4.1.1)$$

Donde:

\hat{Y}_t = valor de tendencia de la carga transportada en el año t

t = año 0, 1, ... , 13

La ecuación ajustada tiene un coeficiente de determinación $R^2 = 0,7597$ que indica que el 75,97% de los datos observados se pueden considerar representados estadísticamente por la función de regresión. Tal coeficiente se puede considerar "bueno", y sugiere que la estimación de la tendencia es satisfactoria.

¹² Los análisis correspondientes no se incluyen en el reporte de investigación, pero se encuentran disponibles en las memorias de cálculo del estudio.

Usando la ecuación ajustada (4.1.1) se calcularon los valores \hat{Y}_t que corresponden a los valores mostrados en la columna 4 del cuadro 4.2. Estos valores corresponden a la carga esperada por la tendencia y se encuentran alineados sobre la curva de ajuste que se muestra en la figura 4.3.

En dicha figura se puede observar que hay cinco conjuntos de datos localizados por arriba o por debajo de la curva de tendencia (tres por arriba y dos por debajo); tal comportamiento sugiere la posibilidad de encontrar un comportamiento cíclico (de varios años) en los datos.

Para determinar el factor debido al efecto cíclico se parte de los supuestos expresados por la ecuación (1) del capítulo segundo:

$$Y_t = \hat{Y}_t \cdot C_t \cdot A \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

Y_t = carga observada (registrada) en el año t

\hat{Y}_t = valor esperado de la serie en el año t debido a la tendencia

C_t = efecto del ciclo en el año t

A = efecto de la variación aleatoria

Este modelo, como ya se ha señalado, supone que la serie de tiempo se compone por la acción de tres variables: *tendencia*, *ciclo* y *variación aleatoria*, el procedimiento para su calibración consiste en ir encontrando por etapas los valores de cada uno de los factores. Hasta este punto ya se ha encontrado el primer factor, que corresponde al efecto de la tendencia.

Despejando de la ecuación (1) los factores debidos al ciclo y la variación aleatoria se obtiene la ecuación (3) del capítulo segundo:

$$C_t \cdot A = \frac{Y_t}{\hat{Y}_t} \dots\dots\dots (3)$$

El efecto de dividir los valores observados por los valores estimados por tendencia es el de justamente eliminar la tendencia en los datos, lo que implica obtener una serie que no presenta crecimiento o decrecimiento en el largo plazo, y en la que sólo subsiste la acción de los dos factores restantes. Si el cálculo de la tendencia ha sido correcto, se encuentra que la gráfica de los valores resultantes oscila alrededor de una línea aproximadamente horizontal paralela al eje del tiempo; es decir, los datos restantes se

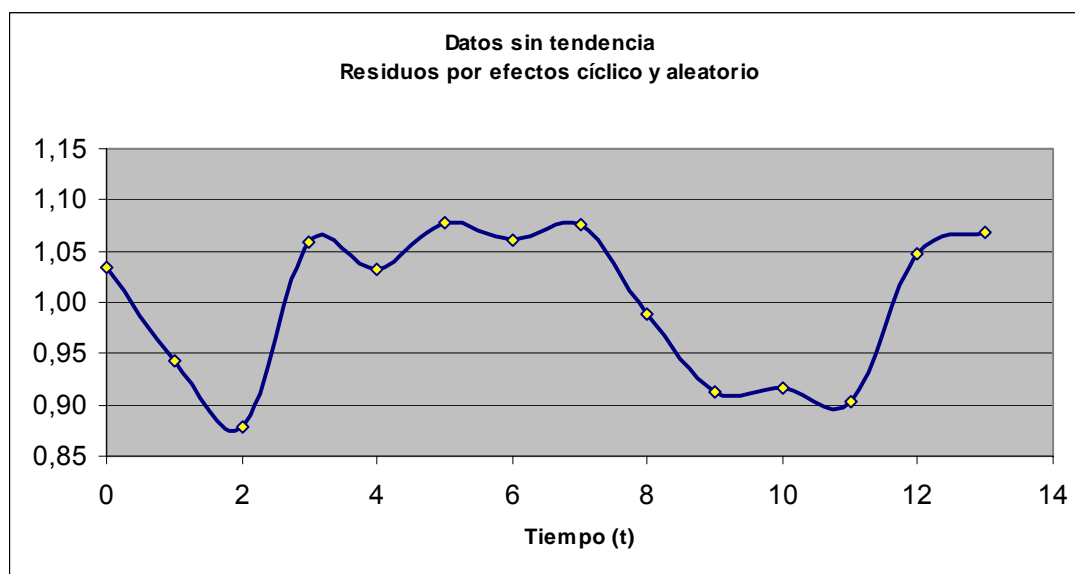


Figura 4.4 Residuos por los efectos cíclico y aleatorio en la serie de tiempo de la carga doméstica del AICM (1992 – 2005).

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

convierten en una serie de tiempo en la que no existe tendencia de crecimiento o decrecimiento.

En nuestro caso, los valores obtenidos por medio de la ecuación (3) son los que corresponden a la columna 5 del cuadro 4.2, denominada: “Residuo por ciclo y aleatorio”. Estos valores oscilan alrededor del valor unitario y su magnitud ofrece un indicador de la dispersión de cada dato observado respecto al valor esperado por tendencia.

En la figura 4.4 se muestra el comportamiento de los residuos debidos a los efectos cíclico y aleatorio.

En la citada figura se observa con mayor claridad los mencionados subconjuntos de datos que forman grupos por encima y por debajo de la línea de tendencia, que en este caso coincide con la línea horizontal ubicada en la ordenada con valor igual a uno. También se aprecia que las mayores desviaciones corresponden a los datos menores a la tendencia, pues en dos ocasiones ($t = 2$, $t = 11$)¹³ superan el 10% de desviación.

Con la gráfica de la figura 4.4 se confirma el buen desempeño de la estimación de tendencia, dado que no se observa en el conjunto de datos alguna tendencia de crecimiento hacia cualquiera de los dos sentidos posibles (positivo o negativo).

¹³ Estos dos datos corresponden respectivamente a los años 1994 y 2003.

El siguiente paso en el análisis consiste en la extracción del factor debido a la tendencia cíclica de los datos. La técnica consiste en encontrar valores promedio de pequeños subconjuntos de los residuos (datos), que representa un valor esperado a partir del cual se pueden detectar desviaciones que serán imputadas a lo que hemos denominado el efecto aleatorio.

La técnica utilizada en el estudio para extraer los factores cíclicos se denomina suavización por promedios móviles ponderados, y fue explicada con mayor detalle en el capítulo segundo¹⁴.

Para ser más específicos conviene señalar que las medias móviles empleadas en este caso fueron de tres años, con una ponderación doble del dato central, lo cual tiene el efecto de aumentar su participación en el promedio y moderar el efecto de alisado.

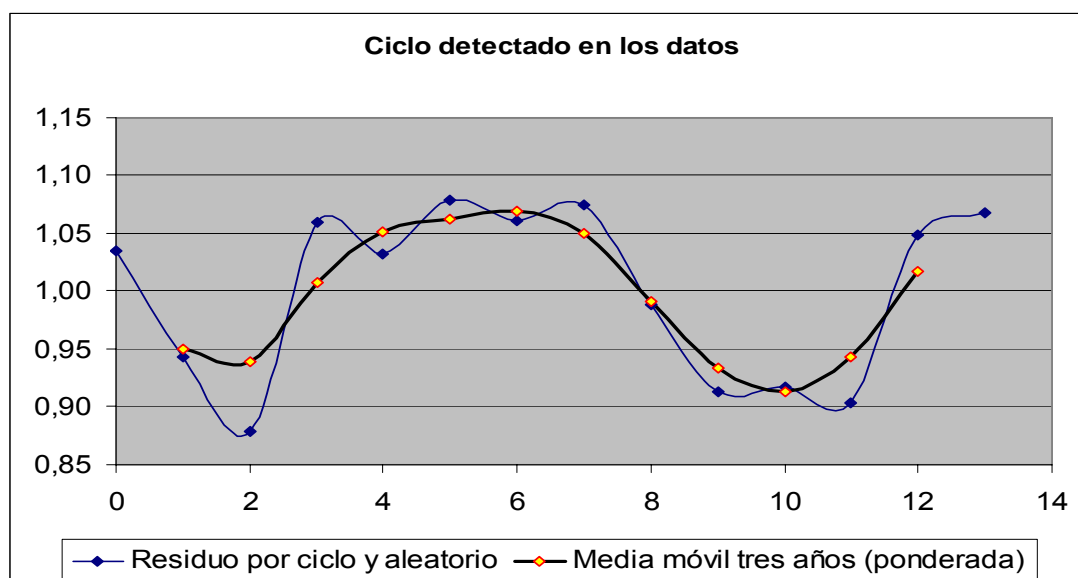


Figura 4.5 Promedios móviles de los residuos por ciclo y aleatorio en la serie de tiempo del AICM (1992 – 2005).

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

La determinación de la amplitud del movimiento medio se realizó por ensayos, revisando las gráficas resultantes hasta encontrar la que incorporaba más datos¹⁵ y reflejaba mejor los ciclos en la serie de tiempo. Como ya se señaló, en este caso se encontró que la amplitud más adecuada es la de tres años, con lo cual se perdieron

¹⁴ Ver capítulo segundo, numeral 2.1.2.

¹⁵ Por la forma de la ecuación de los promedios móviles, a medida que se aumenta la amplitud del movimiento medio se van perdiendo más datos en los extremos de la serie, lo cual resulta especialmente crítico cuando no se cuenta con datos históricos abundantes.

únicamente los dos datos en los extremos superior e inferior de la lista, como se puede verificar en el cuadro 4.2.

La figura 4.5 presenta la gráfica de los promedios móviles de los residuos por efecto cíclico y aleatorio, misma que se considera la curva de variación del efecto (factor) cíclico en la serie de tiempo.

En la gráfica citada se observa que el efecto de alisado logró “borrar” las pequeñas variaciones presentes en los periodos 3 – 7 y 9 – 11, otorgándole una mayor continuidad a la curva de la media móvil. Los valores graficados en la figura 4.5 se presentan en la columna 6 del cuadro 4.2 con la denominación “Factor por ciclo”.

En la figura 4.5 se observa que los datos han sido suficientes para lograr mostrar un ciclo completo en el periodo de 13 años analizado, dado que se observan claramente la cresta (máximo) y el valle (mínimo) característicos de los dos momentos extremos del ciclo.

Tomando como referencia la línea base, donde la ordenada es igual a uno, se observa que el ciclo comienza en el año 3 (1995) regresa al uno en el año 8 (2000), y culmina en el año 13 (2005), cumpliendo dos periodos.

Desafortunadamente, los periodos (medio ciclo) no son iguales, pues la primera mitad dura cinco años y la segunda cuatro; sin embargo, son bastante parecidos. Considerando que la forma de la segunda mitad es más simétrica se puede asumir que el ciclo encontrado tiene una longitud aproximada de entre ocho y diez años; un periodo de cuatro o cinco; y una amplitud (variación máxima) cercana al 10% del valor medio (tendencia).

Bajo la escala de medición con referencia a los años calendáricos se concluye que el ciclo comienza en 1995, tiene su punto de equilibrio entre los años 1999 y 2000 y concluye en 2005¹⁶.

Para concluir con el análisis de la serie de tiempo, la última fase del procedimiento consiste en estimar la amplitud de las variaciones aleatorias.

Las variaciones aleatorias son una medida de la desviación de cada dato respecto al valor esperado por tendencia y ciclo.

¹⁶ Haciendo una proyección del ciclo hacia los periodos de gobierno sexenal, resulta que el ciclo comienza su periodo de auge justo después de la crisis de 1994 y durante el primer año de gobierno de Ernesto Cedillo en 1995, alcanzando su máximo en 1998, y culminando con el fin de sexenio en el año 2000. El periodo de declive coincide con los dos primeros años de gobierno de Vicente Fox, para retomar tendencias de crecimiento en la segunda parte del sexenio, en 2003, 2004 y 2005. De acuerdo con lo anterior, parece haber cierta coincidencia con los periodos sexenales, de tal manera que los periodos de crecimiento coinciden con los finales de sexenio.

En la gráfica de la figura 4.5 las desviaciones aleatorias se muestran como la diferencia entre la curva de los promedios móviles y cada uno de los valores de los residuos. Los valores de las variaciones aleatorias se presentan en la columna 7 del cuadro 4.2, y calculadas según la fórmula (5) del capítulo segundo:

$$A = \frac{Y_t}{\hat{Y}_t \hat{C}_t} \dots\dots\dots (5)$$

Metodológicamente, la fuente de las variaciones aleatorias se considera desconocida y como el resultado de factores con acción temporal de corto plazo.

Los factores que generan las desviaciones aleatorias pueden considerarse variables aleatorias con distribuciones de probabilidad desconocidas, pero que al tener un comportamiento aditivo, es de esperarse que en conjunto presenten una distribución cercana a la normal, como consecuencia del teorema central del límite¹⁷.

Para estimar estadísticamente el valor medio de las desviaciones aleatorias es posible usar la técnica de estimación por intervalos de confianza, asumiendo que la distribución observada de las desviaciones aleatorias es una distribución muestral a partir de la cual es posible estimar la media de la distribución poblacional.

Considerando que en este caso no se conoce la varianza poblacional de la distribución, es necesario utilizar la distribución *t de student* en vez de la normal estándar (z) (Peña, 2001).

Por lo anterior, la desviación aleatoria media se encuentra en el intervalo mostrado en la ecuación (6) del capítulo segundo:

$$\bar{A} = \frac{\sum A_t}{N} \pm t \left[\frac{s_t}{\sqrt{N-1}} \right] \dots\dots\dots (6)$$

Donde A_t son los valores calculados con la ecuación (5), s_t es la desviación estándar de ese conjunto de valores, y la variable t es el estadístico de la distribución *t de student*, que deberá calcularse para un intervalo de confianza definido y el número de grados de libertad que depende de la cantidad de datos en la muestra (N -1).

El cuadro 4.3 consiste en un resumen de resultados de la estimación de las variaciones aleatorias observadas en la serie de tiempo.

La estimación por intervalos de confianza ofrece dos resultados: el límite inferior y el límite superior, que definen los extremos de las desviaciones esperadas en ambos sentidos.

¹⁷ Ver capítulo segundo numeral 2.1.3.

Cuando se desea realizar un pronóstico, la existencia de los dos valores extremos produce que el pronóstico a su vez tenga dos valores extremos, y que el valor esperado se encuentre en el intervalo definido por los extremos. Es posible pensar que el valor menor corresponde a un pronóstico pesimista, y el valor mayor a uno optimista.

También se puede señalar que, considerando que el valor promedio de las desviaciones es muy cercano a la unidad (0,997), el pronóstico directo mediante la tendencia y el índice cíclico también es válido, especialmente cuando se le considera un valor de referencia que opera como un simple indicador del nivel de demanda esperado en el aeropuerto.

Cuadro 4.3
Estimación del valor esperado de las variaciones aleatorias
para la serie de tiempo de la carga doméstica transportada en el AICM

Media	0,997
Límite inferior del intervalo de confianza	0,976
Límite superior del intervalo de confianza	1,018
Desviación estándar muestral	0,032
Grados de libertad (N – 1)	11
Estadístico t para 95% y 11 G.L.	2,201

Fuente: Elaboración propia

4.2 Análisis de la serie de tiempo de la carga internacional

El procedimiento de descomposición factorial, expuesto en el capítulo segundo del presente documento y utilizado para analizar la serie de tiempo de la carga doméstica, también fue aplicado a la serie de datos históricos de la carga internacional en el AICM.

El cuadro 4.4 presenta un resumen del resultado obtenido en cada una de las etapas del procedimiento.

Por su parte, la figura 4.6 muestra la gráfica de la curva formada por los puntos que representan los datos de la carga internacional en cada uno de los años del periodo estudiado.

A partir de una primera exploración de esta gráfica se puede inferir que los datos, efectivamente presentan una tendencia de crecimiento positivo, así como un aparente comportamiento cíclico a lo largo de los años. La existencia de tendencia se infiere por el hecho de que el conjunto de datos muestra cierta inclinación (pendiente) respecto al eje horizontal, que en este caso genera que los valores posteriores tiendan a ser mayores que los valores anteriores en el tiempo (crecimiento).

Cuadro 4.4

Aeropuerto de la Ciudad de México: resumen del análisis de la serie de tiempo de la carga internacional transportada en el periodo 1992 – 2005 (toneladas)

Año	t	Carga internacional (ton)	Tendencia polinómica (ton)	Residuo por ciclo y aleatorio	Factor por ciclo media móvil tres años (ponderada)	Residuos por efecto aleatorio
1992	0	95 544,5	98 490,0	0,970		
1993	1	133 954,4	123 464,5	1,085	1,028	1,059
1994	2	160 300,6	146 172,0	1,097	1,091	1,042
1995	3	148 140,7	166 612,5	0,889	0,993	0,940
1996	4	163 480,4	184 786,0	0,885	0,887	0,914
1997	5	200 221,1	200 692,5	0,998	0,941	0,956
1998	6	202 588,4	214 332,0	0,945	0,971	0,999
1999	7	249 703,3	225 704,5	1,106	1,026	1,074
2000	8	267 103,5	234 810,0	1,138	1,122	1,094
2001	9	240 290,1	241 648,5	0,994	1,066	1,019
2002	10	234 219,3	246 220,0	0,951	0,973	0,954
2003	11	228 341,2	248 524,5	0,919	0,935	0,943
2004	12	244 430,9	248 562,0	0,983	0,951	0,983
2005	13	258 057,1	246 332,5	1,048	1,015	

Fuente: Elaboración propia con datos de la DGAC

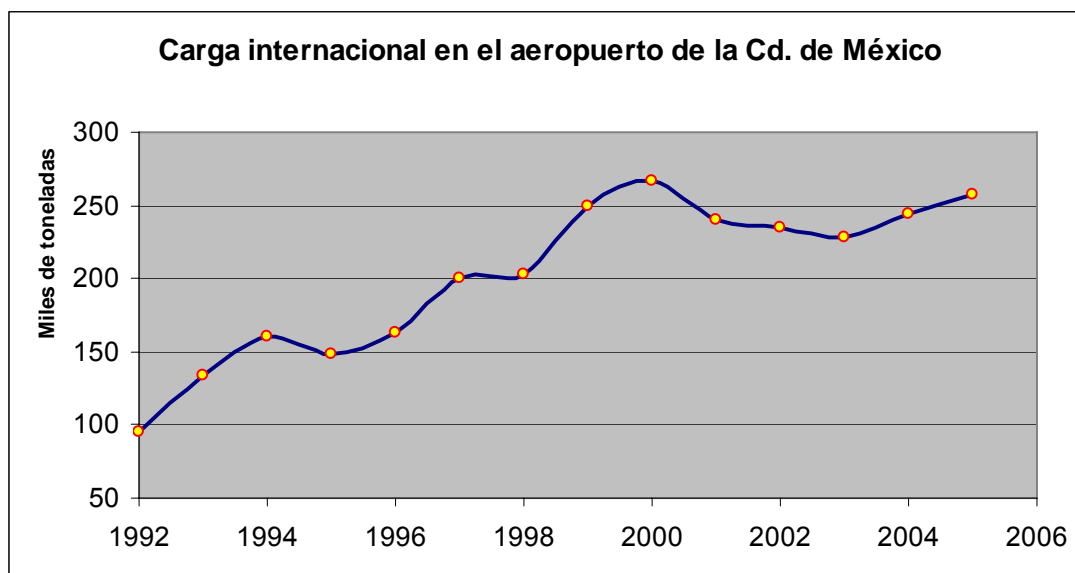


Figura 4.6 Serie de tiempo de la carga internacional en el aeropuerto de la Ciudad de México en el periodo 1992 – 2005.

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

El valor esperado por tendencia se obtuvo usando la técnica de los mínimos cuadrados aplicados a una función cuadrática. Conviene señalar que la primera opción que se estudió para la curva de tendencia fue una función lineal, pero debido a que con la función cuadrática¹⁸ se obtuvo un coeficiente de determinación más alto; esta segunda opción fue elegida.

La parábola de aproximación de mínimos cuadrados, ajustada a los pares de datos ordenados que se forman con las columnas 2 y 3 del cuadro 4.4, tiene la siguiente ecuación:

$$\hat{Y}_t = 98490 + 26108 t + 1135,5 t^2 \dots\dots\dots (4.2.1)$$

Donde:

\hat{Y}_t = valor de tendencia de la carga transportada en el año t

t = año 0, 1, ... , 13

La ecuación ajustada tiene un coeficiente de determinación $R^2 = 0,9026$ que indica que el 90,26% de los datos observados se pueden considerar representados estadísticamente por la función de regresión. Tal coeficiente de determinación se puede considerar bastante bueno, y sugiere que la estimación de la tendencia es satisfactoria.

Usando la ecuación ajustada (4.2.1) se calcularon los valores \hat{Y}_t que corresponden a los mostrados en la columna 4 del cuadro 4.4, mismos que corresponden a la carga esperada por la tendencia, y que se encuentran alineados sobre la curva de ajuste de la figura 4.7.

La curva de ajuste es una parábola que tiene su ordenada al origen muy cerca de las cien mil toneladas, y que interesantemente alcanza su valor máximo¹⁹ en el punto $t = 11,496$, que equivale al año 2003. La curva es cóncava y por ello sus tangentes son más pronunciadas y positivas para los primeros años de la serie; paulatinamente van decreciendo hasta alcanzar el valor nulo en 2003, y a partir de ese momento comienzan a ser negativas, primero con valores moderados y después con mayor intensidad.

Lo anterior significa que en los años cercanos al 2003 el modelo percibe un crecimiento muy pequeño que eventualmente tiende a ser negativo (decrecimiento), lo cual sugiere la posibilidad de haber alcanzado un punto de "saturación".

¹⁸ Los análisis correspondientes no se incluyen en el reporte de investigación, pero se encuentran disponibles en las memorias de cálculo del estudio.

¹⁹ Se calcula la primera derivada de la función cuadrática, se iguala con cero y se despeja el valor de t.

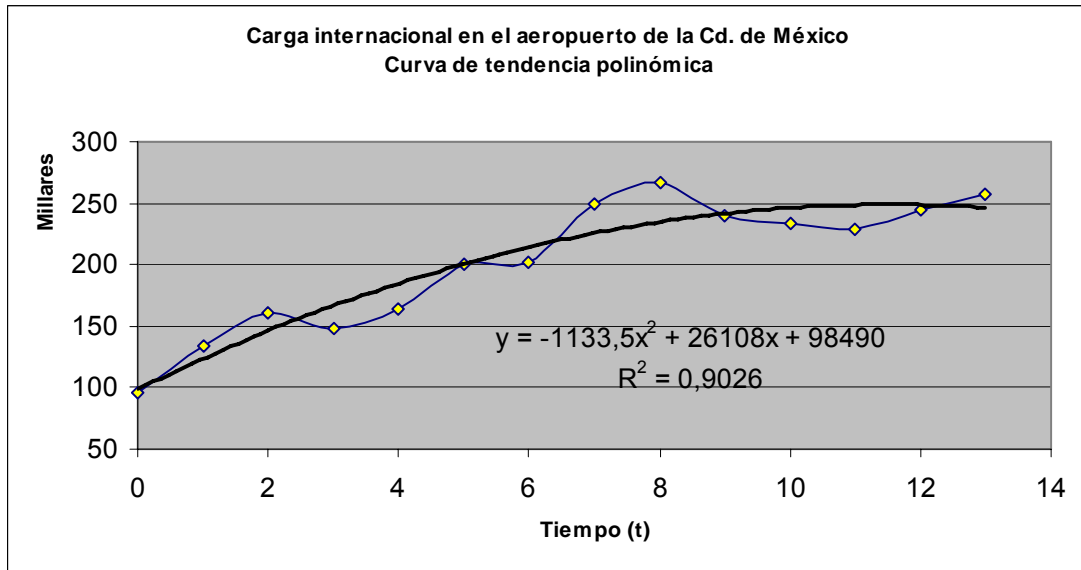


Figura 4.7 Curva de tendencia polinómica de la serie de tiempo de la carga internacional en el AICM (1992 – 2005).

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

Este hallazgo es aparentemente contradictorio con el hecho de que la tasa de crecimiento de la carga internacional es muy alta en el periodo analizado (1992 – 2005) y porque la tendencia del ciclo es creciente en ese momento, como se podrá verificar en los siguientes párrafos.

Sin embargo, esta curva es la que mejor ajusta a la serie de datos y evidentemente es la que permite reflejar mejor el comportamiento de la variable en el corto plazo. Además, no se debe pasar por alto que esta tendencia debe afectarse (actuar en conjunto) con los factores por ciclo y variación aleatoria, que evidentemente serán mayores que la unidad y provocarán que el dato crezca. Adicionalmente, se sugiere incorporar a la serie los datos de los años próximos y ajustar de nuevo la curva de regresión, lo cual podría modificar su forma.

En la misma figura 4.7 se observa que hay varios conjuntos de datos localizados por arriba o por debajo de la curva de tendencia; tal comportamiento sugiere la posibilidad de encontrar un comportamiento cíclico en los datos.

Para determinar el factor debido al efecto cíclico, de manera similar al análisis realizado para la carga doméstica, se recurre a la ecuación (3) del capítulo segundo:

$$C_t \cdot A = \frac{Y_t}{\hat{Y}_t} \dots\dots\dots (3)$$

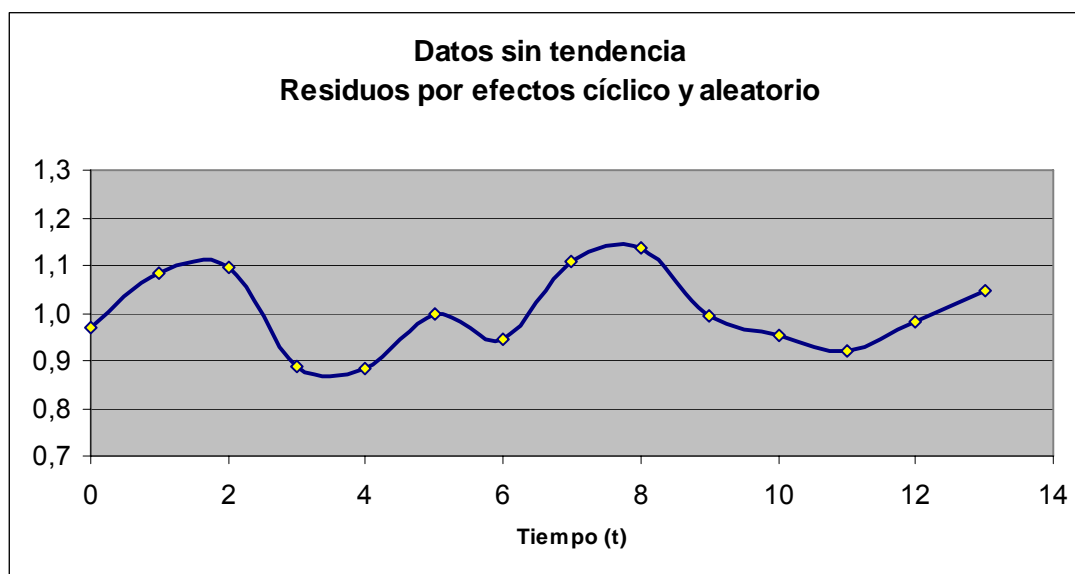


Figura 4.8 Residuos por ciclos y variación aleatoria en la serie de tiempo de la carga internacional en el AICM para el periodo 1992 – 2005.

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

Los valores obtenidos al aplicar la ecuación (3) son los que corresponden a la columna 5 del cuadro 4.4, denominada: “Residuo por ciclo y aleatorio”. Estos valores oscilan alrededor del valor unitario, y su magnitud nos ofrece un indicador de la dispersión de cada dato observado respecto al valor esperado por tendencia.

En la figura 4.8 se muestra el comportamiento de los residuos debidos a los efectos cíclico y aleatorio.

En la citada figura se observa con mayor claridad la existencia de los mencionados subconjuntos de datos que forman grupos por encima y por debajo de la línea de tendencia, que en este caso coincide con la línea horizontal ubicada en la ordenada con valor igual a uno.

Con la gráfica de la figura 4.8 se confirma el buen desempeño de la estimación de tendencia, dado que no se observa en los datos alguna tendencia de crecimiento hacia cualquiera de los dos sentidos posibles (positivo o negativo), sino que varían de manera relativamente simétrica respecto al eje horizontal determinado por la ordenada unitaria.

Como ya se ha señalado, la técnica utilizada en el estudio para extraer los factores cíclicos se denomina suavización por promedios móviles ponderados y fue explicada con mayor detalle en el capítulo segundo²⁰.

²⁰ Ver capítulo segundo, numeral 2.1.2.

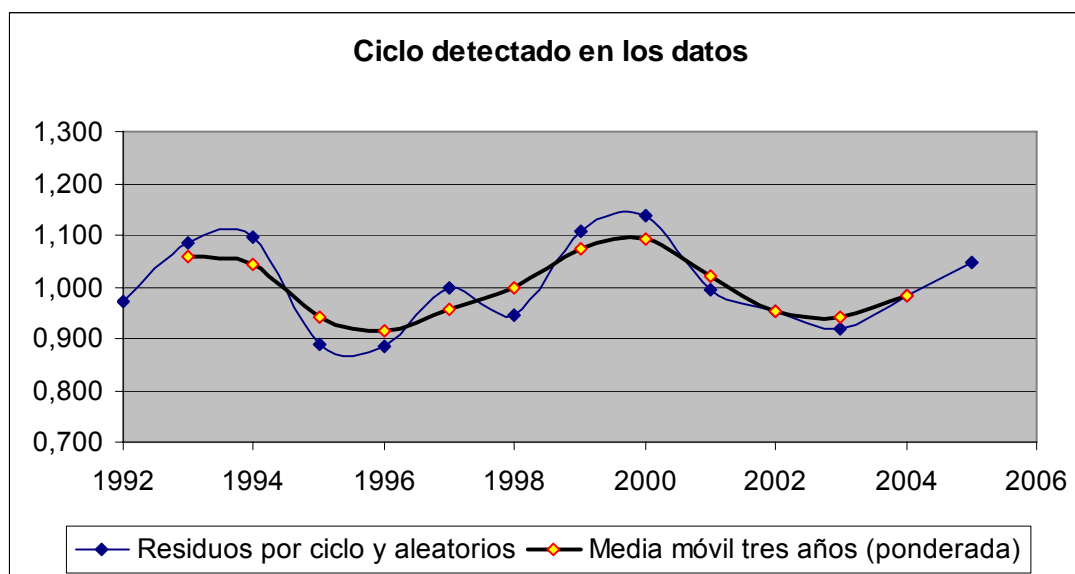


Figura 4.9 Promedios móviles de los residuos por efecto cíclico y aleatorio en la serie de tiempo de la carga internacional en el AICM (1992 – 2005).

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

Al igual que para la carga doméstica, la amplitud del movimiento medio que se encontró más adecuado fue de tres años, con una ponderación doble del dato central, lo cual, como ya se mencionó en el caso anterior, tiene el efecto de aumentar su participación en el promedio y moderar el efecto de alisado.

La determinación de la amplitud del movimiento medio se realizó por ensayos, revisando las gráficas resultantes hasta encontrar la que incorporaba más datos²¹ y reflejaba mejor los ciclos en la serie de tiempo.

La figura 4.9 presenta la gráfica de los promedios móviles de los residuos por efecto cíclico y aleatorio, misma que se considera la curva de variación del efecto (factor) cíclico en la serie de tiempo.

En la gráfica citada se observa que el efecto de alisado logra “borrar” las pequeñas variaciones presentes en los periodos 4 – 7, otorgándole una mayor continuidad a la curva de la media móvil. Los valores graficados en la figura 4.9, corresponden a los de la columna 6 del cuadro 4.4, con la denominación “Factor por ciclo”.

²¹ Por la forma de la ecuación de los promedios móviles, a medida que se aumenta la amplitud del movimiento medio se van perdiendo más datos en los extremos de la serie, lo cual resulta especialmente crítico cuando no se cuenta con datos históricos abundantes.

En la figura 4.9 se observa que los datos han sido suficientes para mostrar más de un ciclo completo en el periodo de 13 años analizado, dado que se observan dos crestas (máximos) y dos valles (mínimos), característicos de los momentos extremos del ciclo.

Tomando como referencia la línea base, donde la ordenada es igual a uno, se observa que el ciclo central comienza entre 1994 y 1995; regresa al punto neutro (uno) en 1998; y culmina en 2001; el segundo ciclo sólo muestra su primer periodo, pero de manera muy simétrica.

En este caso, se tiene la impresión de que los periodos son de tres años, y por lo tanto, el ciclo es sexenal.

Casualmente o no, el ciclo casi coincide con los periodos gubernamentales federales, de tal manera que se presenta un ciclo completo durante la administración de Ernesto Zedillo (ligeramente desfasado), y cumple un periodo completo con el gobierno de Vicente Fox, hasta 2005. En ambos casos los dos máximos, que anteceden la parte decreciente del ciclo, coinciden con el inicio de las administraciones en 1994 y 2000.

Es conveniente señalar que los dos periodos decrecientes del ciclo también coinciden con dos eventos importantes: el primero es la crisis económica mexicana de diciembre de 1994; y el segundo, el ataque terrorista a Nueva York, en septiembre de 2001. Ambos eventos, sin duda, tuvieron relación con la disminución de la demanda de transporte aéreo de carga internacional.

Para concluir con el análisis de la serie de tiempo, la última fase del procedimiento consiste en estimar la amplitud de las variaciones aleatorias.

Las variaciones aleatorias son una medida de la desviación de cada dato respecto al valor esperado por tendencia y ciclo. Tales desviaciones se muestran en la figura 4.9 como la diferencia entre la curva de los promedios móviles y cada uno de los valores de los residuos.

Los valores de las variaciones aleatorias se presentan en la columna 7 del cuadro 4.4 y fueron calculadas según la fórmula (5) del capítulo segundo:

$$A = \frac{Y_t}{\hat{Y}_t \hat{C}_t} \dots\dots\dots (5)$$

Metodológicamente, la fuente de las variaciones aleatorias se considera desconocida y resultado de factores con acción temporal de corto plazo.

Los factores que generan las desviaciones aleatorias pueden considerarse variables aleatorias con distribuciones de probabilidad desconocidas, pero que, al tener un

comportamiento aditivo, es de esperarse que en conjunto presenten una distribución cercana a la normal, como consecuencia del teorema central del límite²².

Para estimar estadísticamente el valor medio de las desviaciones aleatorias se usó la técnica de estimación por intervalos de confianza, asumiendo que la distribución observada de las desviaciones aleatorias es una distribución muestral a partir de la cual es posible estimar la media de la distribución poblacional.

Considerando que en este caso no se conoce la varianza poblacional de la distribución, es necesario utilizar la distribución *t de student* en vez de la normal estándar (z) (Peña, 2001).

Por lo anterior, la desviación aleatoria media se encuentra en el intervalo mostrado en la ecuación (6) del capítulo segundo:

$$\bar{A} = \frac{\sum A_t}{N} \pm t \left[\frac{s_t}{\sqrt{N-1}} \right] \dots\dots\dots (6)$$

Donde A_t son los valores calculados con la ecuación (5), s_t es la desviación estándar de ese conjunto de valores; y la variable t es el estadístico de la distribución *t de student*, que deberá calcularse para un intervalo de confianza definido y el número de grados de libertad que depende de la cantidad de datos en la muestra (N -1).

El cuadro 4.5 muestra el resumen de resultados de la estimación de las variaciones aleatorias observadas en la serie de tiempo.

Cuadro 4.5
Estimación del valor esperado de las variaciones aleatorias
para la serie de tiempo de la carga internacional transportada en el AICM

Media	0,999
Límite inferior del intervalo de confianza	0,975
Límite superior del intervalo de confianza	1,025
Desviación estándar muestral	0,038
Grados de libertad (N – 1)	11
Estadístico t para 95% y 11 G.L.	2,201

Fuente: Elaboración propia

²² Ver capítulo segundo, numeral 2.1.3.

La estimación por intervalos de confianza ofrece dos resultados: el límite inferior y el límite superior, que definen los extremos de las desviaciones esperadas en ambos sentidos.

Cuando se desea realizar un pronóstico, la existencia de los dos valores extremos produce que el pronóstico a su vez tenga dos valores extremos, y que el valor esperado se encuentre dentro del intervalo definido por los extremos. Es posible pensar que el valor menor corresponde a un pronóstico pesimista, y el valor mayor a uno optimista.

También se puede señalar que considerando que el valor promedio de las desviaciones es muy cercano a la unidad (0,999), el pronóstico directo mediante la tendencia y el índice cíclico también es válido, especialmente cuando se le considera un valor de referencia que opera como un simple indicador del nivel de demanda esperado en el aeropuerto.

5 Series de tiempo del aeropuerto de Guadalajara

En el cuadro 5.1 se presentan los datos históricos de la carga que ha sido transportada a través del aeropuerto de Guadalajara (GDL) en el periodo 1992 – 2005. Esta información es la base para el análisis de las series de tiempo de esta terminal aeroportuaria.

Cuadro 5.1
Aeropuerto de Guadalajara: carga doméstica e internacional transportada en el periodo 1992 – 2005 (toneladas)

Año	Carga doméstica	Carga internacional	Total
1992	13 980	10 099	24 079
1993	13 805	5 449	19 255
1994	14 104	14 874	28 979
1995	16 219	15 577	31 795
1996	18 351	26 927	45 278
1997	19 156	43 965	63 120
1998	20 347	28 621	48 968
1999	20 980	53 120	74 101
2000	16 742	68 715	85 457
2001	14 431	68 869	83 301
2002	14 173	82 586	96 759
2003	25 960	88 173	114 132
2004	42 662	107 460	150 122
2005	56 451	99 658	156 108

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC

En el cuadro 5.1 se puede observar que a partir de 1996 la carga dominante en el aeropuerto de Guadalajara es la internacional. Hasta ese año la doméstica representaba una proporción similar, e incluso en algunos años es mayor.

Llama la atención el enorme crecimiento de la carga internacional a partir de 1996, dos años después de la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte y coincidiendo con los años de mayor impulso a la apertura comercial internacional.

Para el último año de la serie (2005), la carga internacional resulta aproximadamente el doble que la doméstica (1,76 veces), y se tiene la impresión de que esta tendencia será la dominante para los próximos años.

En la figura 5.1 se muestran las series de tiempo de la carga doméstica, internacional, y total, para el aeropuerto de Guadalajara. Estas gráficas se construyeron a partir de los datos del cuadro 5.1.

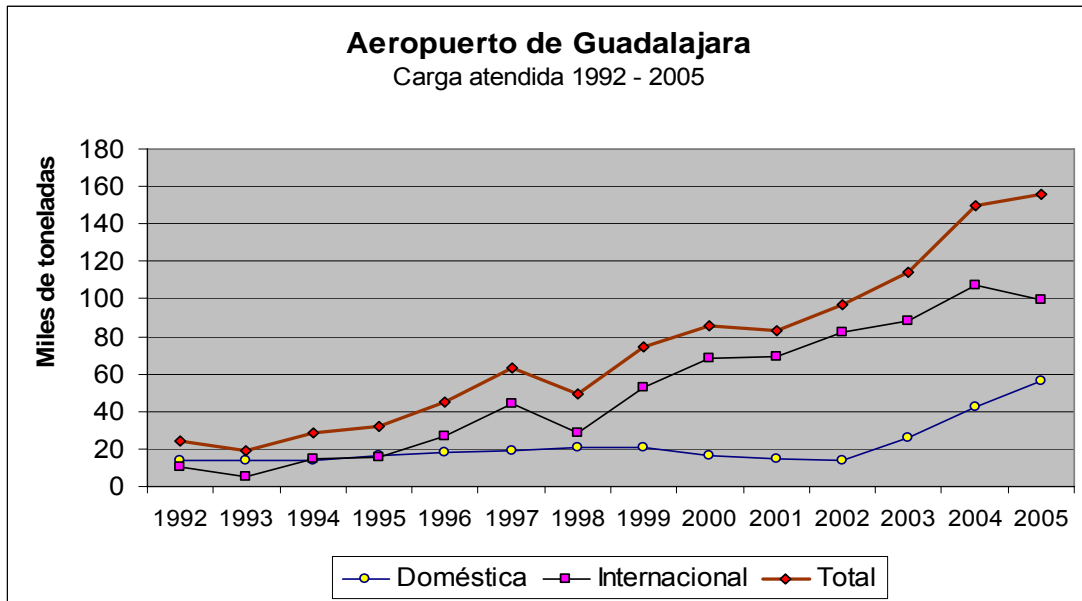


Figura 5.1 Series de tiempo de la carga doméstica, internacional y total en el aeropuerto de Guadalajara en el periodo 1992 – 2005.
Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

En la figura 5.1 se puede observar que las curvas de la carga internacional y la carga total tienen un comportamiento muy similar en el tiempo²³ (son sensiblemente paralelas), y se confirma que su tendencia de crecimiento es notable. Por su parte la carga doméstica también muestra una clara tendencia de crecimiento, aunque es más grande a partir de 2002.

El aeropuerto de Guadalajara es la segunda terminal aérea más importante de México, tanto en el manejo de pasajeros, como de carga. En el cuadro 3.1 se verifica que en este aeropuerto se atendió el 21% del total de la carga transportada por el sistema en 2005. La participación de esta terminal, dentro del sistema nacional de transporte aéreo, ha venido creciendo en los últimos años, reflejando el crecimiento económico de esta región del país (Rico, 2005; Herrera, et. al., 2005)

Desde la perspectiva espacial, Guadalajara es uno de los pocos nodos de la red que cuenta con mayor número de conexiones hacia otras terminales aéreas, destacando sus enlaces con México, Monterrey y Tijuana, en el ámbito doméstico; y hacia Memphis, Los Ángeles, y Luxemburgo en el internacional (Rico, 2005).

En estudios anteriores se ha encontrado que el aeropuerto de Guadalajara funciona como nodo central en dos subsistemas espaciales; formados, el primero por Memphis y

²³ Con excepción del último año en que la carga internacional presenta una disminución.

Toluca; y el segundo, por Toledo y Saltillo. El primer subsistema esta ligado a las actividades comerciales de la empresa de paquetería y mensajería Federal Express, y el segundo, a la industria norteamericana de autopartes (Rico, 2005).

5.1 Análisis de la serie de tiempo de la carga doméstica

El procedimiento de descomposición factorial, expuesto en el capítulo segundo del presente documento, se aplicó a la serie de datos históricos de la carga doméstica en el aeropuerto de Guadalajara. La técnica de descomposición en factores parte del supuesto de que la serie de tiempo anual se puede considerar formada por tres características fundamentales: *tendencia*, *ciclo*, y *variación aleatoria*²⁴. Cada uno de estos factores genera un “movimiento” característico a lo largo del tiempo y la clave de la técnica consiste en su tratamiento individual, mediante la separación adecuada de los factores.

Cuadro 5.2

Aeropuerto de Guadalajara: resumen del análisis de la serie de tiempo de la carga doméstica transportada en el periodo 1992 – 2005 (toneladas)

Año	t	Carga doméstica (ton)	Tendencia polinómica (ton)	Residuo por ciclo y aleatorio	Factor por ciclo media móvil tres años (ponderada)	Residuos por efecto aleatorio
1992	0	13 980	19 023,0	0,735		
1993	1	13 805	16 263,1	0,849	0,855	0,993
1994	2	14 104	14 305,9	0,986	1,013	0,973
1995	3	16 219	13 151,4	1,233	1,222	1,010
1996	4	18 351	12 799,7	1,434	1,387	1,034
1997	5	19 156	13 250,8	1,446	1,432	1,010
1998	6	20 347	14 504,5	1,403	1,380	1,017
1999	7	20 980	16 561,0	1,267	1,200	1,056
2000	8	16 742	19 420,3	0,862	0,904	0,954
2001	9	14 431	23 082,3	0,625	0,657	0,952
2002	10	14 173	27 547,0	0,515	0,611	0,842
2003	11	25 960	32 814,5	0,791	0,798	0,991
2004	12	42 662	38 884,7	1,097	1,055	1,040
2005	13	56 451	45 757,6	1,234		

Fuente: Elaboración propia con datos de la DGAC

²⁴ Ver capítulo segundo, numeral 2.1.

El cuadro 5.2 presenta un resumen del resultado obtenido en cada una de las etapas del procedimiento.

Por su parte, la figura 5.2 muestra la gráfica de la curva formada por los puntos que representan los datos de la carga doméstica en cada uno de los años del periodo estudiado.

A partir de una primera exploración de esta gráfica se infiere que los datos, efectivamente presentan una tendencia de crecimiento positivo, así como un aparente comportamiento cíclico a lo largo de los años. La existencia de tendencia se deduce del hecho de que el conjunto de datos muestra una clara inclinación (pendiente) respecto al

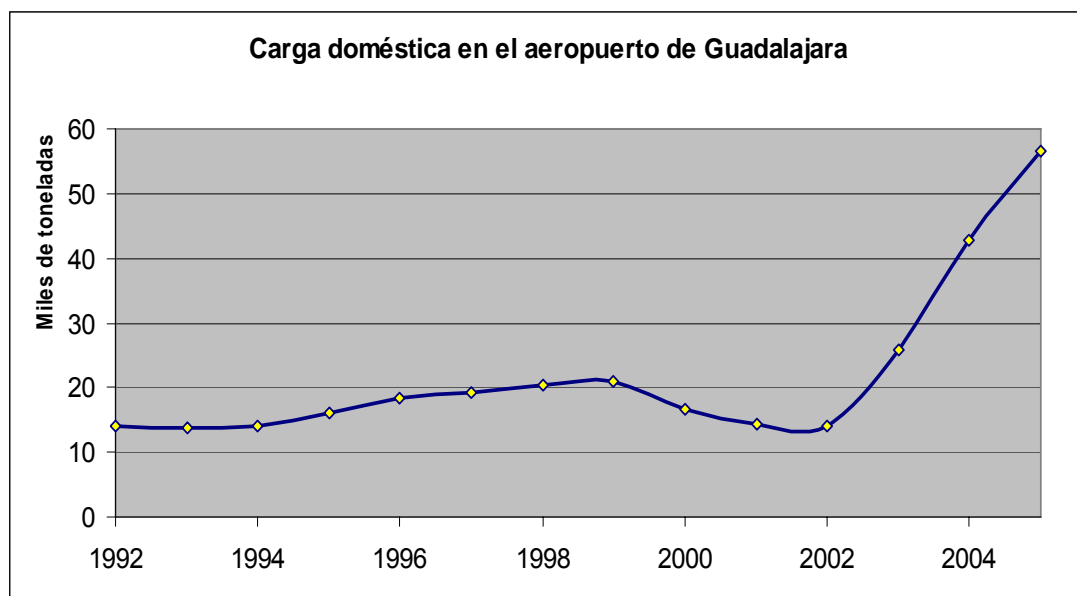


Figura 5.2 Serie de tiempo de la carga doméstica en el aeropuerto de Guadalajara en el periodo 1992 – 2005.

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

eje horizontal, que en este caso genera que en general los valores posteriores sean mayores que los anteriores en el tiempo (crecimiento).

La tendencia es la característica que define la tasa de crecimiento (positivo o negativo) de los datos en el largo plazo; en general, corresponde a la pendiente promedio entre los valores de los datos. Cuando la tendencia no es una línea recta, como en este caso, entonces la pendiente de las tangentes a la curva también es variable en el tiempo.

El valor esperado por tendencia se obtuvo usando la técnica de los mínimos cuadrados aplicados a una función cuadrática. Conviene señalar que la primera opción que se estudió para la curva de tendencia fue una función lineal, pero debido a que con la

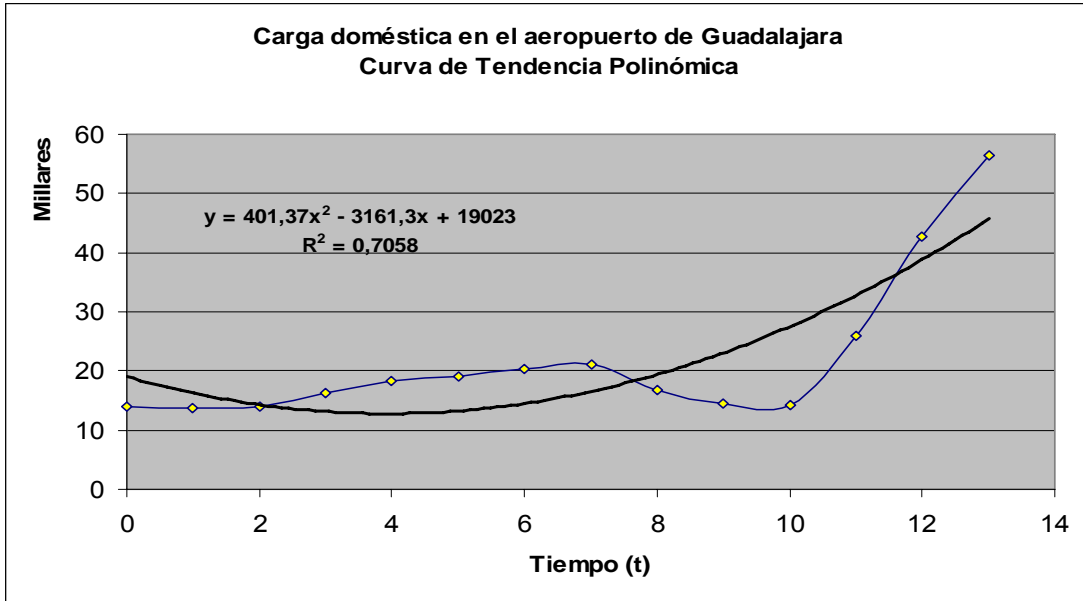


Figura 5.3 Curva de tendencia polinómica para la serie de tiempo de la carga doméstica en el aeropuerto de Guadalajara en el periodo 1992 - 2005
Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

función cuadrática²⁵ se obtuvo un coeficiente de determinación más alto; esta segunda opción fue elegida.

La parábola de aproximación de mínimos cuadrados, ajustada a los pares de datos ordenados que se forman con las columnas 2 y 3 del cuadro 5.2, tiene la siguiente ecuación:

$$\hat{Y}_t = 19023 - 3161,3 t + 401,37 t^2 \dots\dots\dots (5.1.1)$$

Donde:

\hat{Y}_t = valor de tendencia de la carga transportada en el año t

t = año 0, 1, ... , 13

La ecuación ajustada tiene un coeficiente de determinación $R^2 = 0,7058$ que indica que el 70,58% de los datos observados se pueden considerar representados estadísticamente por la función de regresión. Tal coeficiente de determinación se puede considerar “bueno”, y sugiere que la estimación de la tendencia es satisfactoria.

²⁵ Los análisis correspondientes no se incluyen en el reporte de investigación, pero se encuentran disponibles en las memorias de cálculo del estudio.

Usando la ecuación ajustada (5.1.1) se calcularon los valores \hat{Y}_t que corresponden a los mostrados en la columna 4 del cuadro 5.2. Estos valores representan la carga esperada por tendencia, y se encuentran alineados sobre la curva de ajuste que se muestra en la figura 5.3.

En la citada figura se observa que la parábola de tendencia es convexa y tiene su valor mínimo en el año 1996 ($t = 4$), por lo que las tasas de crecimiento anual (pendiente de las tangentes) es creciente a partir de ese año.

En la propia figura 5.3 se puede apreciar que hay cuatro grupos de datos localizados por arriba o por debajo de la curva de tendencia (dos por arriba y dos por debajo); tal comportamiento sugiere la posibilidad de encontrar un comportamiento cíclico (de varios años) en los datos.

Para determinar el factor debido al efecto cíclico, se parte de los supuestos expresados por la ecuación (1) del capítulo segundo:

$$Y_t = \hat{Y}_t \cdot C_t \cdot A \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

Y_t = carga observada (registrada) en el año t

\hat{Y}_t = valor esperado de la serie en el año t debido a la tendencia

C_t = efecto del ciclo en el año t

A = efecto de la variación aleatoria

Despejando de la ecuación (1) los factores debidos al ciclo y la variación aleatoria se obtiene la ecuación (3) del capítulo segundo:

$$C_t \cdot A = \frac{Y_t}{\hat{Y}_t} \dots\dots\dots (3)$$

El efecto de dividir los valores observados por los valores estimados por tendencia, es el de eliminar el efecto de este factor en los datos, y obtener una serie que no presenta crecimiento o decrecimiento en el largo plazo y en la que sólo subsiste la acción de los dos factores restantes. Si el cálculo de la tendencia ha sido correcto, se encuentra que la gráfica de los valores resultantes oscila alrededor de una línea aproximadamente horizontal paralela al eje del tiempo; es decir, los datos restantes se convierten en una serie de tiempo en la que no existe tendencia de crecimiento o decrecimiento.

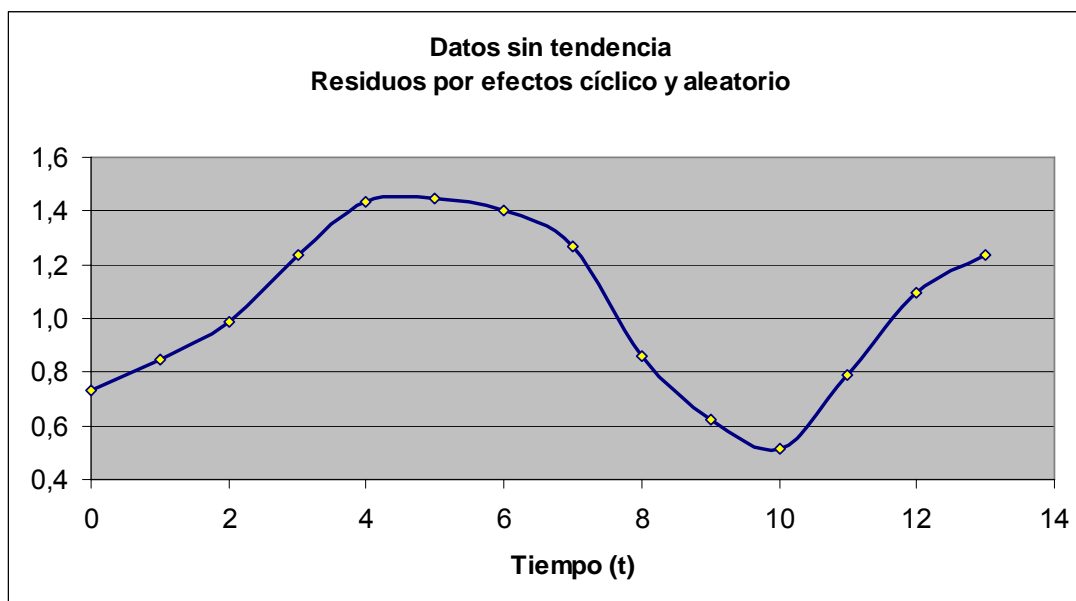


Figura 5.4 Residuos por los efectos cíclico y aleatorio en la serie de tiempo de la carga doméstica del aeropuerto de Guadalajara (1992 – 2005).

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

En nuestro caso, los valores obtenidos por medio de la ecuación (3) son los que corresponden a la columna 5 del cuadro 5.2, denominada: “Residuo por ciclo y aleatorio”. Estos valores oscilan alrededor del valor unitario, y su magnitud ofrece un indicador de la dispersión de cada dato observado respecto al valor esperado por tendencia.

En la figura 5.4 se muestra el comportamiento de los residuos debidos a los efectos cíclico y aleatorio.

En dicha figura se observa con mayor claridad la presencia de los mencionados subconjuntos de datos que forman grupos por encima y por debajo de la línea de tendencia, que en este caso coincide con la línea horizontal ubicada en la ordenada con valor igual a uno.

Con la gráfica de la figura 5.4 se confirma el buen desempeño de la estimación de tendencia, dado que no se observa en el conjunto de datos alguna tendencia de crecimiento hacia cualquiera de los dos sentidos posibles (positivo o negativo).

El siguiente paso en el análisis es la extracción del factor debido a la tendencia cíclica de los datos. La técnica consiste en encontrar valores promedio de pequeños subconjuntos de los residuos (datos), que representa un valor esperado a partir del cual se pueden detectar desviaciones que serán imputadas a lo que hemos denominado el efecto aleatorio.

La técnica aplicada en el estudio para extraer los factores cíclicos se denomina suavización por promedios móviles ponderados, y ya se explicó con mayor detalle en el capítulo segundo²⁶.

Para ser más específicos, conviene señalar que las medias móviles utilizadas en este caso fueron de tres años, con una ponderación doble del dato central, lo cual tiene el efecto de aumentar su participación en el promedio y moderar el efecto de alisado.

La determinación de la amplitud del movimiento medio se realizó por ensayos, revisando las gráficas resultantes, hasta encontrar la que incorporaba más datos²⁷ y reflejaba mejor los ciclos en la serie de tiempo. Como ya se señaló, en este caso se encontró que la amplitud más adecuada es la de tres años, con lo cual se perdieron únicamente los dos datos en los extremos superior e inferior de la lista, lo cual se puede verificar en el cuadro 5.2.

La figura 5.5 presenta la gráfica de los promedios móviles de los residuos por efecto cíclico y aleatorio, misma que se considera la curva de variación del efecto (factor) cíclico en la serie de tiempo.

En la citada figura se observa que los datos han sido suficientes para obtener un ciclo completo en el periodo de 13 años analizado, dado que se observa claramente la cresta (máximo) y el valle (mínimo) característicos de los dos momentos extremos del ciclo, que en este caso corresponden a los años 1997 y 2002.

Tomando como referencia la línea base, donde la ordenada es igual a uno, se observa que el ciclo comienza en 1994 regresa al punto neutro (uno) poco antes del 2000 y culmina en el 2004, cumpliendo dos periodos.

En este caso, los periodos (medio ciclo) son bastante simétricos, aunque la primera mitad es un poco más extensa, y tienen una duración de cinco años, por lo que el ciclo es de diez años.

Es interesante notar que en este caso, la amplitud del ciclo es considerablemente mayor que la de los dos casos anteriores estudiados; ya que en sus valores máximo y mínimo, la amplitud es cercana al 40% del valor esperado por tendencia.

Para concluir con el análisis de la serie de tiempo, la última fase del procedimiento consiste en estimar la amplitud de las variaciones aleatorias.

²⁶ Ver capítulo segundo, numeral 2.1.2.

²⁷ Por la forma de la ecuación de los promedios móviles, a medida que se aumenta la amplitud del movimiento medio se van perdiendo más datos en los extremos de la serie, lo cual resulta especialmente crítico cuando no se cuenta con datos históricos abundantes.

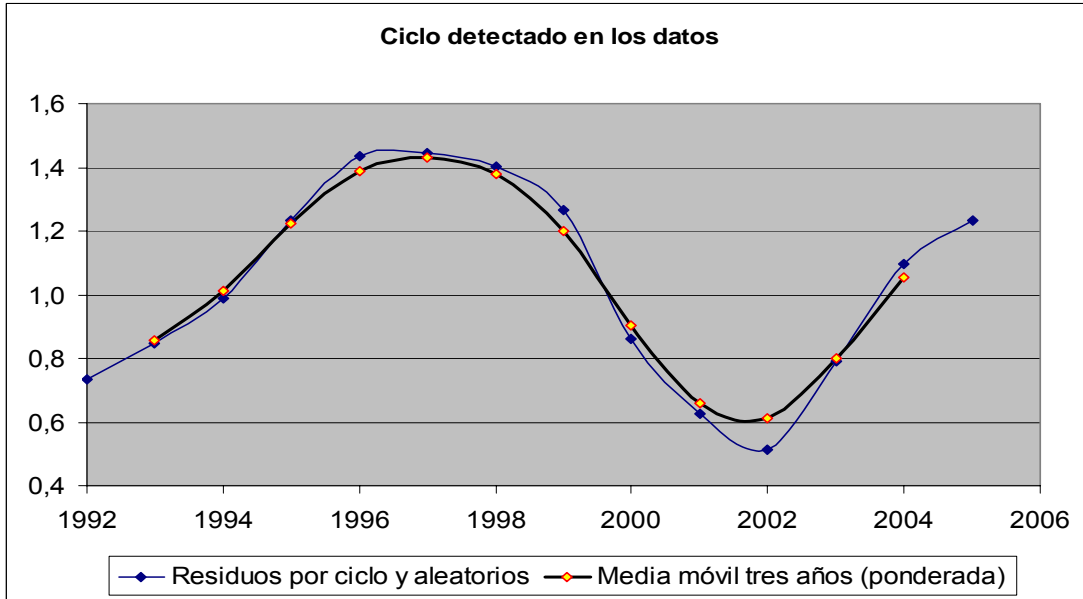


Figura 5.5 Promedios móviles de los residuos por ciclo y aleatorio en la carga doméstica en el aeropuerto de Guadalajara (1992 – 2005).
 Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

Las variaciones aleatorias son una medida de la desviación de cada dato respecto al valor esperado por tendencia y ciclo.

En la figura 5.5, las desviaciones aleatorias se muestran como la diferencia entre la curva de los promedios móviles y cada uno de los valores de los residuos. Los valores de las variaciones aleatorias se presentan en la columna 7 del cuadro 5.2, y fueron calculadas según la fórmula (5) del capítulo segundo:

$$A = \frac{Y_t}{\hat{Y}_t \hat{C}_t} \dots\dots\dots (5)$$

Metodológicamente, la fuente de las variaciones aleatorias se considera desconocida y como el resultado de factores con acción temporal de corto plazo.

Los factores que generan las desviaciones aleatorias se consideran variables aleatorias con distribuciones de probabilidad desconocidas, pero que al tener un comportamiento aditivo presentan una distribución de probabilidades cercana a la normal, como una consecuencia del teorema central del límite²⁸.

²⁸ Ver capítulo segundo numeral 2.1.3.

Para estimar estadísticamente el valor medio de las desviaciones aleatorias es factible usar la técnica de estimación por intervalos de confianza, asumiendo que la distribución observada de las desviaciones aleatorias es una distribución muestral a partir de la cual es posible estimar la media de la distribución poblacional.

Considerando que en este caso no se conoce la varianza poblacional de la distribución, es necesario utilizar la distribución *t de student* en vez de la normal estándar (z) (Peña, 2001).

Por lo anterior, la desviación aleatoria media se encuentra en el intervalo mostrado en la ecuación (6) del capítulo segundo:

$$\bar{A} = \frac{\sum A_t}{N} \pm t \left[\frac{s_t}{\sqrt{N-1}} \right] \dots\dots\dots (6)$$

Donde A_t son los valores calculados con la ecuación (5), s_t es la desviación estándar de ese conjunto de valores; y la variable t es el estadístico de la distribución *t de student*, que deberá calcularse para un intervalo de confianza definido y el número de grados de libertad que depende de la cantidad de datos en la muestra (N -1).

El cuadro 5.3 contiene el resumen de resultados de la estimación de las variaciones aleatorias observadas en la serie de tiempo.

Cuadro 5.3
Estimación del valor esperado de las variaciones aleatorias para la serie de tiempo de la carga doméstica transportada en el aeropuerto de Guadalajara

Media	0,989
Límite inferior del intervalo de confianza	0,951
Límite superior del intervalo de confianza	1,027
Desviación estándar muestral	0,057
Grados de libertad (N – 1)	11
Estadístico t para 95% y 11 G.L.	2,201

Fuente: Elaboración propia

La estimación por intervalos de confianza ofrece dos resultados: el límite inferior y el límite superior, mismos que definen los extremos de las desviaciones esperadas en ambos sentidos.

Cuando se desea realizar un pronóstico, la existencia de los dos valores extremos produce que el pronóstico a su vez tenga dos valores extremos y que el valor esperado se encuentre dentro del intervalo definido por ellos. Es posible pensar que el valor menor corresponde a un pronóstico pesimista, y el mayor a uno optimista.

También se puede señalar que en este caso, el pronóstico directo mediante la tendencia y el índice cíclico no parece recomendable, debido a que la corrección por variación aleatoria llega a ser cercana al 5%, con un valor medio cercano al 1%, ambos con efecto de reducción.

5.2 Análisis de la serie de tiempo de la carga internacional

El procedimiento de descomposición factorial, expuesto en el capítulo segundo del presente documento, y utilizado para analizar la serie de tiempo de la carga doméstica, también se aplicó a la serie de datos históricos de la carga internacional en el aeropuerto de Guadalajara. Sin embargo, en este caso surgió un problema derivado del comportamiento de la variable, que impidió la aplicación del modelo con la misma amplitud que en los tres casos anteriores, es decir, para el periodo 1992 – 2005.

El cuadro 5.4 presenta la serie de tiempo de la carga internacional en el aeropuerto de Guadalajara en el periodo de 1992 a 2005; al respecto, se observa que la tasa de crecimiento de la variable es muy grande: considerando todo el periodo, la tasa de crecimiento exponencial media anual²⁹ (TCMA) es de 19,25%; pero para 1993 - 2004, que son los años con los valores extremos en la serie, la TCMA alcanza el valor de 31,13%.

Cuadro 5.4
Aeropuerto de Guadalajara: serie de tiempo de la carga
internacional transportada en el periodo 1992 – 2005 (toneladas)

Año	Carga internacional (ton)	Año	Carga internacional (ton)
1992	10 099	1999	53 120
1993	5 449	2000	68 715
1994	14 874	2001	68 869
1995	15 577	2002	82 586
1996	26 927	2003	88 173
1997	43 965	2004	107 460
1998	28 621	2005	99 658

Fuente: Elaboración propia con datos de la DGAC

Estas tasas de crecimiento medio anual son muy exageradas, y resultan de la enorme diferencia absoluta entre los valores al inicio y al final de la serie. Como se puede

$$^{29} TCMA = \left[\sqrt[n]{\frac{V_F}{V_I}} - 1 \right] \cdot 100$$

verificar en el cuadro 5.4, para los primeros años de la década de los 90 la demanda era de tan sólo algunos miles de toneladas; en cambio, para los últimos años, la demanda es cercana a las cien mil toneladas.

Resulta razonable suponer que la serie de tiempo incluye dos etapas distintas para el mismo aeropuerto. La primera refleja una terminal aérea con actividad esencialmente doméstica, asociada a una economía enfocada al mercado interno, típicamente centralizada en la Ciudad de México. La segunda etapa, que en nuestra opinión comienza en 1997, pero que se consolida a partir de 1999, corresponde a un aeropuerto que opera dentro de un mercado con mayor enfoque al comercio exterior e incluso a un proceso de descentralización económica hacia las regiones del país.

La primera modelación realizada incluye todos los años en la serie; sin embargo, se encontraron disparidades tales que impiden la viabilidad del modelo como un intento de reproducción o réplica de la realidad. Nuestra hipótesis de explicación afirma que se deben modelar por separado los dos fenómenos observados, mismos que se asocian a cada una de las etapas señaladas.

Por lo anterior, se tomo la decisión de reducir el periodo de modelación a los años entre 1999 y 2005, con ello se lograron ajustes mucho mejores, especialmente en las fases de identificación de los ciclos y las variaciones aleatorias.

El cuadro 5.5 presenta un resumen del procedimiento de análisis de la serie de tiempo asociada a la carga internacional atendida por el aeropuerto de Guadalajara en el periodo 1999 – 2005.

Cuadro 5.5
Aeropuerto de Guadalajara: resumen del análisis de la serie de tiempo de la carga internacional transportada en el periodo 1999 – 2005 (toneladas)

Año	t	Carga doméstica (ton)	Tendencia polinómica (ton)	Residuo por ciclo y aleatorio	Factor por ciclo: media móvil dos años	Residuos por efecto aleatorio
1999	0	53 120	53 660,00	0,990		
2000	1	68 715	64 339,64	1,068	1,029	1,038
2001	2	68 869	74 124,56	0,929	0,999	0,930
2002	3	82 586	83 014,76	0,995	0,962	1,034
2003	4	88 173	91 010,24	0,969	0,982	0,987
2004	5	107 460	98 111,00	1,095	1,032	1,061
2005	6	99 658	104 317,04	0,955	1,025	0,932

Fuente: Elaboración propia con datos de la DGAC

La figura 5.6 muestra la gráfica de la curva formada por los puntos que representan los datos de la carga internacional en cada uno de los años del periodo estudiado.

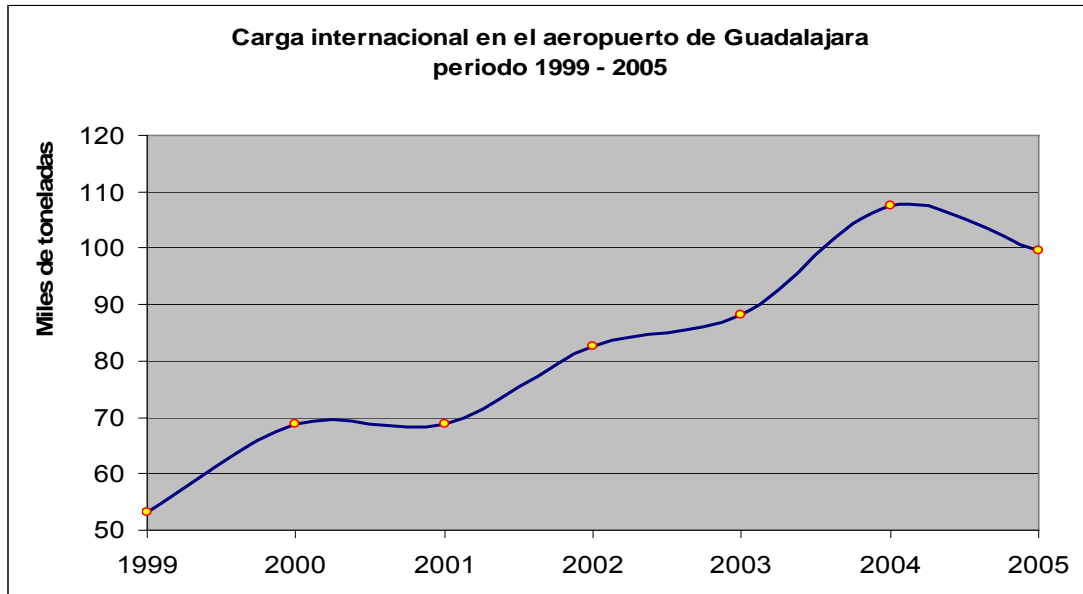


Figura 5.6 Serie de tiempo de la carga internacional en el aeropuerto de Guadalajara en el periodo 1999 – 2005.

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

A partir de una primera exploración de esta gráfica se puede inferir que los datos, efectivamente presentan una tendencia de crecimiento positivo, así como un aparente comportamiento cíclico a lo largo de los años.

La existencia de tendencia se infiere por el hecho de que el conjunto de datos muestra una fuerte inclinación (pendiente) respecto al eje horizontal, que en este caso conduce a que los valores posteriores en el tiempo, sean mayores que los anteriores (crecimiento).

Con base en estos datos se calculó el valor esperado por tendencia mediante la técnica de los mínimos cuadrados aplicados a una función cuadrática.

Conviene señalar que la primera opción que se estudió para la curva de tendencia fue una función lineal, pero debido a que con la función cuadrática³⁰ se obtuvo un coeficiente de determinación más alto, esta segunda opción fue elegida.

La parábola de aproximación de mínimos cuadrados, ajustada a los pares de datos ordenados que se forman con las columnas 2 y 3 del cuadro 5.5, tiene la siguiente ecuación:

³⁰ Los análisis correspondientes no se incluyen en el reporte de investigación, pero se encuentran disponibles en las memorias de cálculo del estudio.

$$\hat{Y}_t = 53660 + 11127 t - 447,36 t^2 \dots\dots\dots (5.2.1)$$

Donde:

\hat{Y}_t = valor de tendencia de la carga transportada en el año t

t = año 0, 1, ... , 13

La ecuación ajustada tiene un coeficiente de determinación $R^2 = 0,9245$ que indica que el 92,45% de los datos observados se pueden considerar representados estadísticamente por la función de regresión. Tal coeficiente de determinación se considera como “muy bueno”, y sugiere que la estimación de la tendencia es bastante satisfactoria.

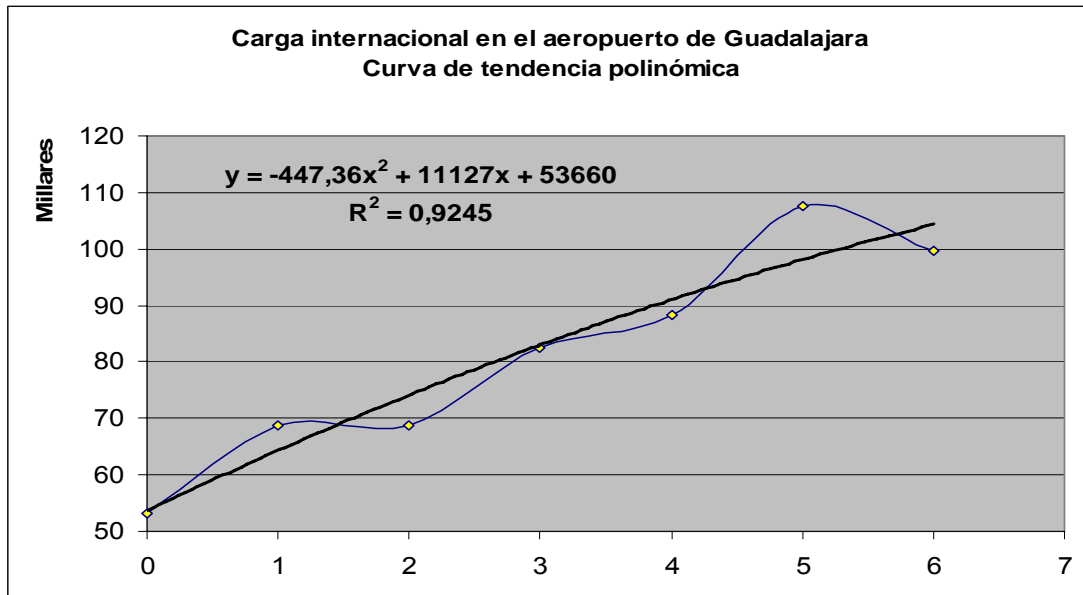


Figura 5.7 Curva de tendencia polinómica de la serie de tiempo de la carga internacional en el aeropuerto de Guadalajara (1999 – 2005).
 Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

Usando la ecuación ajustada (5.2.1) se calcularon los valores \hat{Y}_t , mismos que se presentan en la columna 4 del cuadro 5.5, y que corresponden a la carga esperada por la tendencia; estos puntos se encuentran alineados sobre la curva de ajuste mostrada en la figura 5.7.

La curva de ajuste es una parábola cóncava muy extendida, de tal manera que luce bastante recta; por su concavidad se deduce que tiene su máximo en un punto alejado

hacia la derecha del eje de las abscisas, y una tendencia de crecimiento que disminuye paulatinamente al crecer el tiempo.

En la misma figura 5.7 se observa conjuntos de datos localizados por arriba y por debajo de la curva de tendencia; tal comportamiento sugiere la posibilidad de encontrar un comportamiento cíclico en los datos.

Para determinar el factor debido al efecto cíclico, de manera similar al análisis realizado para la carga doméstica, se recurre a la ecuación (3) del capítulo segundo:

$$C_t \cdot A = \frac{Y_t}{\hat{Y}_t} \dots\dots\dots (3)$$

Los valores obtenidos al aplicar la ecuación (3) son los que corresponden a la columna 5 del cuadro 5.5, denominada: "Residuo por ciclo y aleatorio". Estos valores oscilan alrededor del valor unitario, y su magnitud ofrece un indicador de la dispersión de cada dato observado, respecto al valor esperado por tendencia.

En la figura 5.8 se muestra el comportamiento de los residuos debidos a los efectos cíclico y aleatorio.

En la citada figura se aprecia con mayor claridad la existencia de los mencionados datos ubicados por encima y por debajo de la línea de tendencia, que en este caso coincide con la línea horizontal que pasa por la ordenada con valor unitario.

Con la gráfica de la figura 5.8 se confirma el buen desempeño de la estimación de tendencia, ya que no se observa en el conjunto de datos tendencia alguna de crecimiento hacia cualquiera de los dos sentidos posibles (positivo o negativo), sino que varían de manera relativamente simétrica respecto al eje horizontal que pasa por la ordenada unitaria.

Como ya se ha señalado, la técnica utilizada en el estudio para extraer los factores cíclicos se denomina suavización por promedios móviles, y fue explicada con mayor detalle en el capítulo segundo³¹.

En este caso, la amplitud del movimiento medio que se encontró más adecuado fue de dos años, sin ponderación. Este es otro aspecto en que el caso de la carga internacional en la terminal de Guadalajara difiere de los análisis anteriores, pues en los otros, la mejor amplitud encontrada fue de tres años, con ponderación doble del dato central. Es posible que la explicación se establezca a partir de que en este caso los ciclos parecen ser más cortos.

³¹ Ver capítulo segundo, numeral 2.1.2.

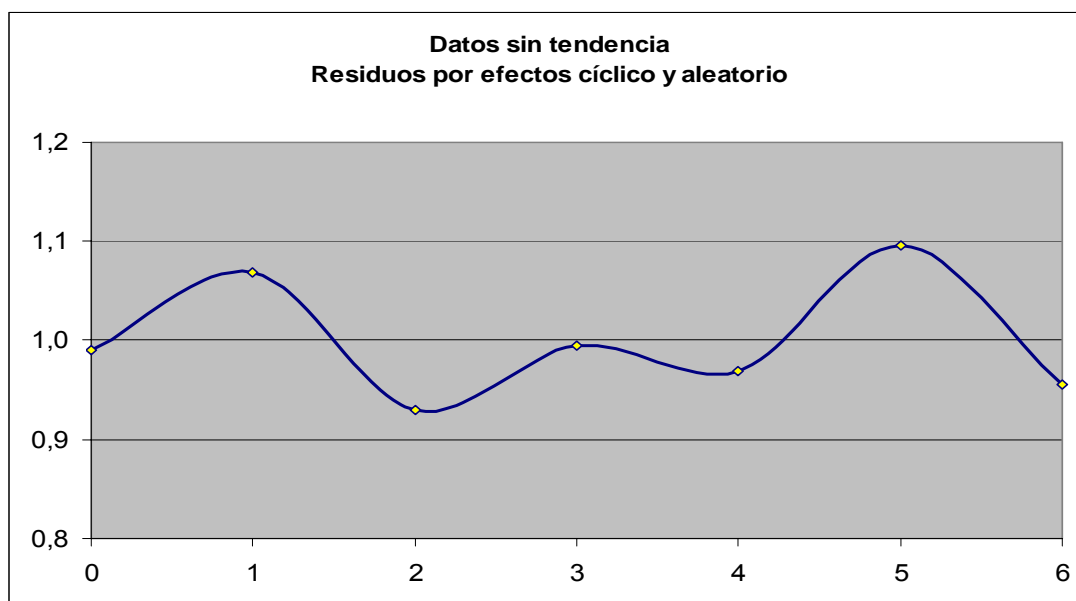


Figura 5.8 Residuos por los efectos cíclico y aleatorio en la serie de tiempo de la carga doméstica del aeropuerto de Guadalajara (1999 – 2005).

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

La figura 5.9 presenta la gráfica de los promedios móviles de los residuos por efecto cíclico y aleatorio, misma que se considera la curva de variación del efecto (factor) cíclico en la serie de tiempo. Los valores de ésta gráfica se presentan en la columna 6 del cuadro 5.5 con la denominación “Factor por ciclo”.

En la citada gráfica se observa que, no obstante ser pocos, los datos han sido suficientes para cumplir cerca de un ciclo completo en los seis años analizados; de hecho, se aprecian dos crestas (máximos) y un valle (mínimo), característicos de los momentos extremos del ciclo.

Tomando como referencia la línea base, donde la ordenada es igual a uno, se infiere que el ciclo comienza en 1999; regresa al punto neutro (uno) en 2001; tiene el mínimo en 2002, y regresa entre 2003 y 2004. En este caso, la longitud del ciclo es relativamente corta (cuatro años); de tal manera que los periodos son de dos años.

Es conveniente expresar la conclusión de que resulta necesario ampliar la base de datos de la demanda de transporte de carga internacional para este aeropuerto, pues el modelo no alcanza a identificar tendencias cíclicas con nitidez; aunque parecen estar presentes. Considerando que el rol de esta terminal dentro del comercio internacional de la región, parece haber cambiado desde hace pocos años, se recomienda coleccionar mayor cantidad de información, y repetir las corridas de análisis para verificar o rectificar los resultados obtenidos en nuestra investigación, misma que, por falta de información, en este caso resulta meramente exploratoria.

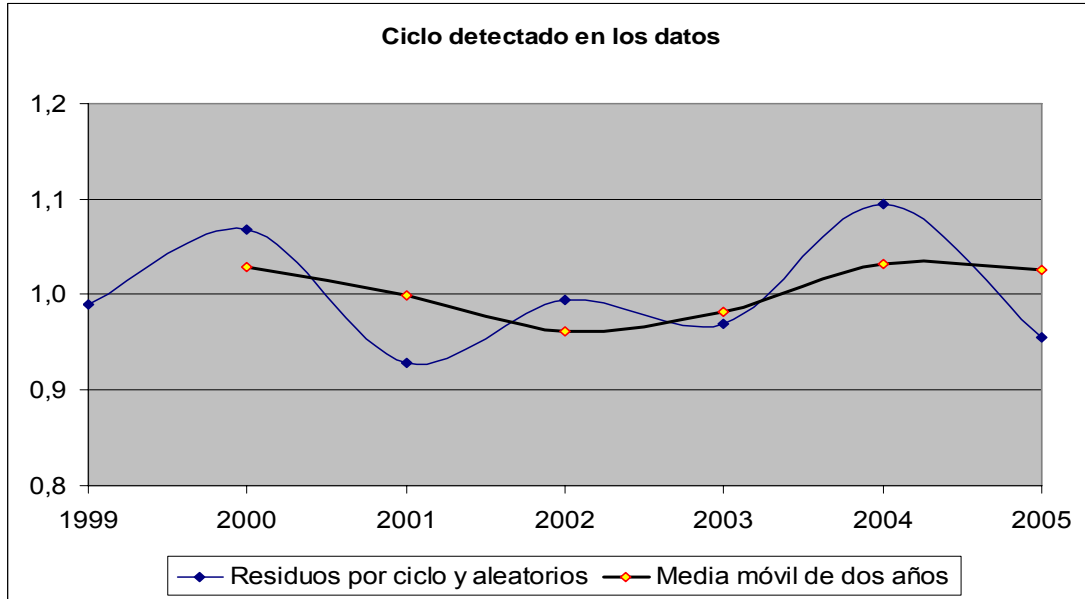


Figura 5.9 Promedios móviles de los residuos por ciclo y aleatorio en la carga doméstica en el aeropuerto de Guadalajara (1992 – 2005).
 Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

Para concluir con el análisis de la serie de tiempo, la última fase del procedimiento consiste en estimar la amplitud de las variaciones aleatorias.

Las variaciones aleatorias son una medida de la desviación de cada dato respecto al valor esperado por tendencia y ciclo. Tales desviaciones se muestran en la figura 5.9, como la diferencia entre la curva de los promedios móviles y cada uno de los valores de los residuos.

Los valores de las variaciones aleatorias se presentan en la columna 7 del cuadro 5.5, mismos que se calcularon conforme la fórmula (5) del capítulo segundo:

$$A = \frac{Y_t}{\hat{Y}_t \hat{C}_t} \dots\dots\dots (5)$$

Metodológicamente, la fuente de las variaciones aleatorias se considera desconocida y a la vez como resultado de factores con acción temporal de corto plazo.

Los factores que generan las desviaciones aleatorias se consideran variables aleatorias con distribuciones de probabilidad desconocidas, pero que al tener un comportamiento

aditivo, en conjunto presentan una distribución cercana a la normal en consecuencia del teorema central del límite³².

Para estimar estadísticamente el valor medio de las desviaciones aleatorias, se usó la técnica de los intervalos de confianza; considerando que la media de la distribución poblacional se puede estimar con base en la distribución observada de las desviaciones aleatorias.

Dado que en este caso no se conoce la varianza poblacional de la distribución, es necesario utilizar la distribución *t de student* en vez de la normal estándar (z) (Peña, 2001).

Por lo anterior, la desviación aleatoria media se encuentra en el intervalo mostrado en la ecuación (6) del capítulo segundo:

$$\bar{A} = \frac{\sum A_t}{N} \pm t \left[\frac{s_t}{\sqrt{N-1}} \right] \dots\dots\dots (6)$$

Donde A_t son los valores calculados con la ecuación (5), s_t es la desviación estándar de ese conjunto de valores; y la variable t es el estadístico de la distribución *t de student* que deberá calcularse para un intervalo de confianza definido y el número de grados de libertad que depende de la cantidad de datos en la muestra (N - 1).

El cuadro 5.6 muestra el resumen de resultados de la estimación de las variaciones aleatorias observadas en la serie de tiempo.

Cuadro 5.6
Estimación del valor esperado de las variaciones aleatorias para la serie de tiempo de la carga internacional en el aeropuerto de Guadalajara

Media	0,997
Límite inferior del intervalo de confianza	0,932
Límite superior del intervalo de confianza	1,062
Desviación estándar muestral	0,056
Grados de libertad (N – 1)	5
Estadístico t para 95 %	2,570

Fuente: Elaboración propia

³² Ver capítulo segundo numeral 2.1.3.

La estimación por intervalos de confianza ofrece dos resultados: el límite inferior y el límite superior, que definen los extremos de las desviaciones esperadas en ambos sentidos, con el nivel de confianza especificado.

Cuando se desea realizar un pronóstico, la existencia de los dos valores extremos conduce a que el pronóstico tenga a su vez dos valores extremos, y que el valor esperado se encuentre dentro del intervalo definido por ellos. Es posible pensar que el valor menor corresponde a un pronóstico pesimista, y el mayor a uno optimista.

En el cuadro 5.6 se observa que el valor medio de las desviaciones se encuentra muy cercano al valor unitario; esto confirma que las desviaciones son simétricas arriba y abajo de la línea de tendencia. Sin embargo, también se aprecia que el intervalo de confianza tiene una amplitud de $\pm 6,5\%$, que no es despreciable; ello es resultado de que el estadístico t toma un valor relativamente grande (de 2,57), por el hecho de que la muestra es pequeña.

6 Series de tiempo del aeropuerto de Monterrey

El cuadro 6.1 contiene los datos históricos de la carga transportada a través del aeropuerto de Monterrey (MTY) en el periodo 1992 – 2005. Dicha información es la base para el análisis de las series de tiempo de esta terminal aeroportuaria.

Cuadro 6.1
Aeropuerto de Monterrey: carga doméstica e internacional transportada en el periodo 1992 – 2005 (toneladas)

Año	Carga doméstica	Carga internacional	Total
1992	8 598	1 894	10 492
1993	8 307	1 822	10 129
1994	8 924	2 840	11 763
1995	5 770	3 701	9 472
1996	9 896	4 654	14 550
1997	12 875	8 644	21 519
1998	14 627	9 398	24 025
1999	15 340	12 429	27 768
2000	14 150	22 384	36 533
2001	13 801	14 982	28 783
2002	15 577	18 874	34 451
2003	19 613	24 534	44 147
2004	27 562	27 406	54 968
2005	15 888	41 399	57 287

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC

En el cuadro 6.1 se puede apreciar que en el periodo analizado, la terminal de Monterrey no se ha caracterizado por atender carga internacional; pues sólo en el último año se observa una notable diferencia, a favor de esta última.

La figura 6.1 muestra las series de tiempo de la carga doméstica, internacional, y total, para el aeropuerto de Monterrey. Estas gráficas se construyeron a partir de los datos del cuadro 6.1. En la figura se puede verificar gráficamente lo antes señalado; antes de 1999 la carga doméstica fue la más importante, pero en ese año ambas categorías tuvieron un comportamiento diferente: mientras la carga internacional prácticamente se duplicó, la carga doméstica enfrentó un par de años de disminución.

A partir de 1999 la carga internacional no volvió a ser menor que la doméstica, con la excepción de 2004, en que resultaron casi iguales. Sin embargo, para 2005, de nuevo hay un comportamiento totalmente diferente, pues mientras la carga doméstica cae a casi la mitad de su valor, la internacional crece notablemente.

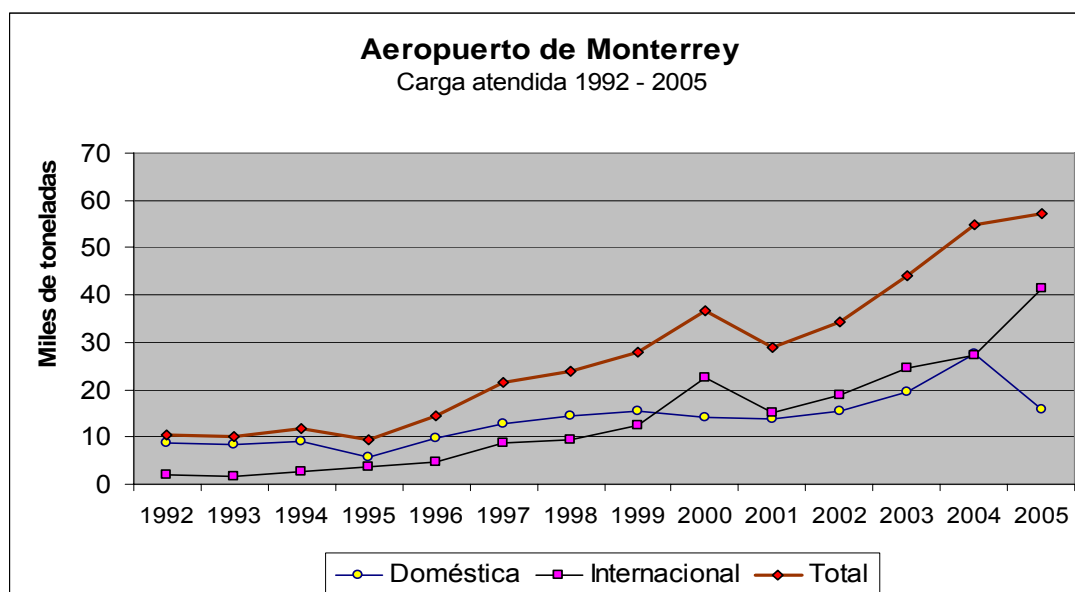


Figura 6.1 Series de tiempo de la carga doméstica, internacional y total en el aeropuerto de Monterrey en el periodo 1992 – 2005.

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

El aeropuerto de Monterrey es desde hace varios años una terminal importante dentro de la red doméstica de transporte aéreo de carga; sin duda, reflejando la trascendencia de la zona metropolitana de Monterrey, como polo de desarrollo económico, industrial y de servicios, dentro de la economía nacional. Sin embargo, el crecimiento de la carga internacional, presente en todo el periodo analizado, sugiere una posible reorientación de su ámbito de interacción comercial, o al menos de la importancia de los intercambios internacionales, lo cual sería un resultado esperado ante las políticas generales de apertura comercial.

El aeropuerto de Monterrey es la tercera terminal aérea más importante de México, tanto en el manejo de pasajeros, como de carga. En el cuadro 3.1 se puede verificar que en sus instalaciones se atendió el 7,7% del total de la carga transportada por el sistema en 2005.

Desde la perspectiva espacial, Monterrey es uno de los pocos nodos de la red que cuenta con mayor número de conexiones hacia otras terminales aéreas. Destacan sus enlaces con México, Guadalajara, San Luis Potosí y Tijuana, en el ámbito doméstico; y con Dayton, Memphis y Austin (los tres en los EEUU) en el internacional (Rico, 2005).

En estudios anteriores se ha encontrado que de acuerdo con la clasificación de Nyusten y Davis (Rico, 2005) el aeropuerto de Monterrey funciona como nodo “dominante” o central, de los nodos “periféricos” Dayton y Austin. El enlace hacia Dayton, en el estado de Ohio, se relaciona con las actividades de la industria automotriz estadounidense y el

enlace con la ciudad de Austin, capital del estado de Texas, muestra las estrechas relaciones comerciales de Nuevo León con su vecino norteamericano.

6.1 Análisis de la serie de tiempo de la carga doméstica

El procedimiento de descomposición factorial, expuesto en el capítulo segundo del presente documento, se aplicó a la serie de datos históricos de la carga doméstica en el aeropuerto de Monterrey. La técnica de descomposición en factores, parte del supuesto de que la serie de tiempo anual se puede considerar formada por tres características fundamentales: *tendencia*, *ciclo*, y *variación aleatoria*³³. Cada uno de estos factores genera un “movimiento” característico a lo largo del tiempo y la clave de la técnica consiste en su tratamiento individual, mediante la separación adecuada de los factores.

Cuadro 6.2

Aeropuerto de Monterrey: resumen del análisis de la serie de tiempo de la carga doméstica transportada en el periodo 1992 – 2005 (toneladas)

Año	t	Carga doméstica (ton)	Tendencia polinómica (ton)	Residuo por ciclo y aleatorio	Factor por ciclo media móvil tres años (ponderada)	Residuos por efecto aleatorio
1992	0	8 598	7 209,4	1,193		
1993	1	8 307	7 998,4	1,039	1,070	0,971
1994	2	8 924	8 837,4	1,010	0,913	1,106
1995	3	5 770	9 726,4	0,593	0,781	0,760
1996	4	9 896	10 665,3	0,928	0,888	1,044
1997	5	12 875	11 654,3	1,105	1,072	1,030
1998	6	14 627	12 693,3	1,152	1,131	1,019
1999	7	15 340	13 782,2	1,113	1,082	1,029
2000	8	14 150	14 921,1	0,948	0,967	0,981
2001	9	13 801	16 110,1	0,857	0,890	0,963
2002	10	15 577	17 349,0	0,898	0,926	0,969
2003	11	19 613	18 637,9	1,052	1,096	0,961
2004	12	27 562	19 976,8	1,380	1,139	1,212
2005	13	15 888	21 365,7	0,744		

Fuente: Elaboración propia con datos de la DGAC

El cuadro 6.2 presenta un resumen del resultado de cada una de las etapas del procedimiento.

³³ Ver capítulo segundo, numeral 2.1.

Por su parte, la figura 6.2 muestra la gráfica de la curva formada por los puntos que representan los datos de la carga doméstica en cada uno de los años del periodo estudiado.

A partir de una primera exploración de esta gráfica se puede inferir que los datos, efectivamente presentan una tendencia de crecimiento positivo, así como un aparente comportamiento cíclico a lo largo de los años.

La existencia de tendencia se infiere por el hecho de que el conjunto de datos muestra una clara inclinación (pendiente) respecto al eje horizontal, que en este caso lleva a que en general los valores posteriores sean mayores que los anteriores en el tiempo.

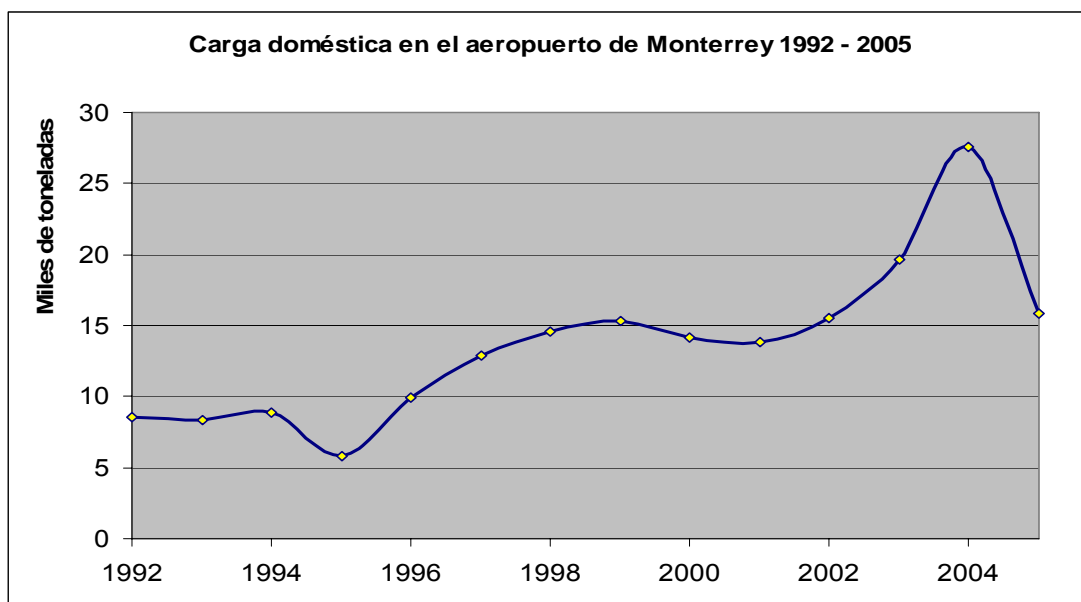


Figura 6.2 Serie de tiempo de la carga doméstica en el aeropuerto de Monterrey en el periodo 1992 – 2005.

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

El valor esperado por tendencia se obtuvo con la técnica de los mínimos cuadrados, aplicados a una función cuadrática. Conviene señalar que la primera opción que se estudió para la curva de tendencia fue una función lineal; pero debido a que con la función cuadrática³⁴ se obtuvo un coeficiente de determinación ligeramente más alto, y que en los casos anteriores se utilizaron funciones polinomiales, esta segunda opción fue la elegida.

³⁴ Los análisis correspondientes no se incluyen en el reporte de investigación, pero se encuentran disponibles en las memorias de cálculo del estudio.

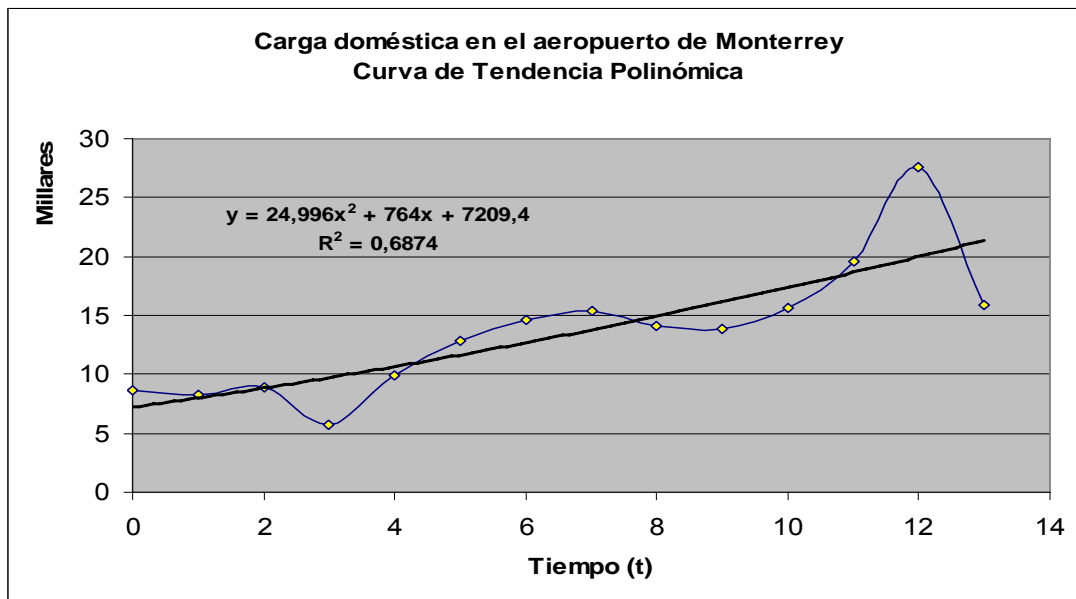


Figura 6.3 Curva de tendencia polinómica para la serie de tiempo de la carga doméstica en el aeropuerto de Monterrey en el periodo 1992 - 2005

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

La parábola de aproximación de mínimos cuadrados, ajustada a los pares de datos ordenados que se forman con las columnas 2 y 3 del cuadro 6.2, tiene la siguiente ecuación:

$$\hat{Y}_t = 7209,4 + 764t + 24996t^2 \dots\dots\dots (6.1.1)$$

Donde:

\hat{Y}_t = valor de tendencia de la carga transportada en el año t

t = año 0, 1, ... , 13

La ecuación ajustada tiene un coeficiente de determinación $R^2 = 0,6874$ que indica que el 68,74% de los datos observados se pueden considerar representados estadísticamente por la función de regresión. Tal coeficiente de determinación se puede considerar “bueno”, y sugiere que la estimación de la tendencia es satisfactoria.

Mediante la ecuación ajustada (6.1.1) se calcularon los valores \hat{Y}_t , mismos que se muestran en la columna 4 del cuadro 6.2 y que representan la carga esperada por efecto de la tendencia; estos datos forman la línea de ajuste mostrada en la figura 6.3.

En la citada figura se observa varios grupos de datos localizados por arriba o por debajo de la curva de tendencia (tres por arriba y tres por debajo); tal comportamiento

sugiere la posibilidad de encontrar un comportamiento cíclico (de varios años) en los datos.

Para determinar el factor debido al efecto cíclico, se parte de los supuestos expresados por la ecuación (1) del capítulo segundo:

$$Y_t = \hat{Y}_t \cdot C_t \cdot A \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

Y_t = carga observada (registrada) en el año t

\hat{Y}_t = valor esperado de la serie en el año t debido a la tendencia

C_t = efecto del ciclo en el año t

A = efecto de la variación aleatoria

Despejando de la ecuación (1) los factores debidos al ciclo y la variación aleatoria, se obtiene la ecuación (3) del capítulo segundo:

$$C_t \cdot A = \frac{Y_t}{\hat{Y}_t} \dots\dots\dots (3)$$

Al dividir los valores observados, por los valores estimados por tendencia, se obtiene una serie que no presenta crecimiento o decrecimiento en el largo plazo, y en la que sólo subsiste la acción de los dos factores restantes. Si el cálculo de la tendencia ha sido correcto, se encuentra que la gráfica de los valores resultantes oscila alrededor de una línea aproximadamente horizontal y paralela al eje del tiempo; es decir, los datos restantes se convierten en una serie de tiempo en la que no existe tendencia de crecimiento o decrecimiento.

En nuestro caso, los valores obtenidos por medio de la ecuación (3) son los que corresponden a la columna 5 del cuadro 6.2, denominada: "Residuo por ciclo y aleatorio". Estos valores oscilan alrededor del valor unitario, y su magnitud ofrece un indicador de la dispersión de cada dato observado, respecto al valor esperado por tendencia.

En la figura 6.4 se presenta la gráfica con el comportamiento de los residuos debidos a los efectos cíclico y aleatorio.

En la citada figura se observa con mayor claridad la existencia de los mencionados subconjuntos de datos que forman grupos por encima y por debajo de la línea de

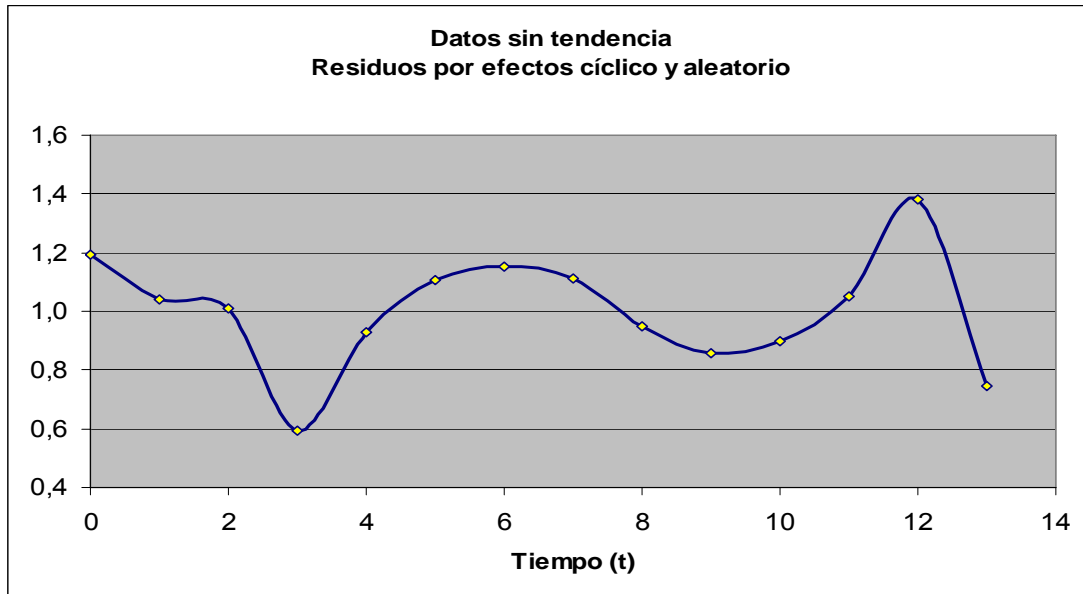


Figura 6.4 Residuos por los efectos cíclico y aleatorio en la serie de tiempo de la carga doméstica del aeropuerto de Monterrey (1992 – 2005).

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

tendencia, que en este caso coincide con la línea horizontal ubicada en la ordenada con valor igual a uno.

Con la gráfica de la figura 6.4 se confirma el buen desempeño de la estimación de tendencia, dado que no se observa en el conjunto de datos alguna tendencia de crecimiento hacia cualquiera de los dos sentidos posibles (positivo o negativo).

El siguiente paso en el procedimiento de análisis consiste en extraer el factor debido a la tendencia cíclica de los datos. La técnica consiste en encontrar valores promedio de pequeños subconjuntos de los residuos (datos), que representa un valor esperado a partir del cual se pueden detectar desviaciones que serán imputadas a lo que hemos denominado el efecto aleatorio.

La técnica utilizada en el estudio para extraer los factores cíclicos se denomina suavización por promedios móviles ponderados, y fue explicada con mayor detalle en el capítulo segundo³⁵.

Para ser más específicos conviene señalar que las medias móviles aplicadas en este caso fueron de tres años, con una ponderación doble del dato central, lo cual tiene el efecto de aumentar su participación en el promedio y moderar el efecto de alisado.

³⁵ Ver capítulo segundo, numeral 2.1.2.

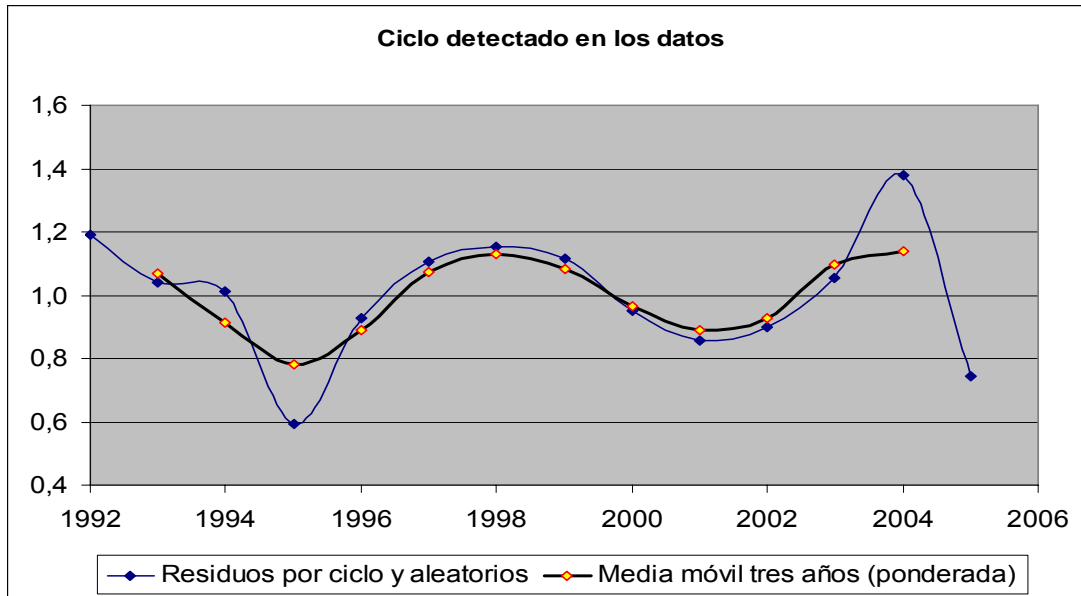


Figura 6.5 Promedios móviles de los residuos por ciclo y aleatorio en la carga doméstica en el aeropuerto de Monterrey (1992 – 2005).

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

La determinación de la amplitud del movimiento medio se realizó por ensayos, revisando las gráficas resultantes hasta encontrar la que incorporaba más datos³⁶ y reflejaba mejor los ciclos en la serie de tiempo. Como ya se señaló, en este caso se encontró que la amplitud más adecuada es la de tres años, con lo cual se perdieron únicamente los dos datos en los extremos superior e inferior de la lista, como se puede verificar en el cuadro 6.2.

La figura 6.5 presenta la gráfica de los promedios móviles de los residuos por efecto cíclico y aleatorio, misma que se considera la curva de variación del efecto (factor) cíclico en la serie de tiempo.

En la citada figura se observa que los datos han sido suficientes para captar más de un ciclo completo en el periodo de 13 años analizado, dado que se observan claramente las crestas (máximos) y los valles (mínimos) característicos de los dos momentos extremos del ciclo. En este caso se aprecian dos máximos, en los años 1998 y 2004, y dos mínimos, en 1995 y 2001.

Tomando como referencia la línea base, donde la ordenada es igual a uno, se observa que un ciclo comenzó en 1993 y concluyó en 1999. En este caso, los periodos (medio

³⁶ Por la forma de la ecuación de los promedios móviles, a medida que se aumenta la amplitud del movimiento medio se van perdiendo más datos en los extremos de la serie, lo cual resulta especialmente crítico cuando no se cuenta con datos históricos abundantes.

ciclo) son bastante simétricos, y tienen una duración de entre tres y cuatro años; con lo cual el ciclo tiene una longitud de entre seis y ocho años.

Es interesante observar que en los años 1995, 2001 y 2005 se registraron importantes disminuciones en la demanda atendida. Estas caídas podrían relacionarse con la crisis económica de diciembre de 1994, y con el inicio y final del periodo gubernamental de Vicente Fox.

Para concluir con el análisis de la serie de tiempo, la última fase del procedimiento consiste en estimar la amplitud de las variaciones aleatorias.

Dichas variaciones son una medida de la desviación de cada dato respecto al valor esperado por tendencia y ciclo.

En la figura 6.5, las desviaciones aleatorias se muestran como la diferencia entre la curva de los promedios móviles y cada uno de los valores de los residuos. Los valores de las variaciones aleatorias se presentan en la columna 7 del cuadro 6.2, y fueron calculadas según la fórmula (5) del capítulo segundo:

$$A = \frac{Y_t}{\hat{Y}_t \hat{C}_t} \dots\dots\dots (5)$$

Metodológicamente, la fuente de las variaciones aleatorias se considera desconocida, y como resultado de factores con acción temporal de corto plazo.

Los factores que generan las desviaciones aleatorias se consideran variables aleatorias con distribuciones de probabilidad desconocidas, pero que al tener un comportamiento aditivo, es de esperarse que en conjunto presenten una distribución cercana a la normal, como una consecuencia del teorema central del límite³⁷.

Para estimar estadísticamente el valor medio de las desviaciones aleatorias, es posible usar la técnica de estimación por intervalos de confianza, asumiendo que la distribución observada de las desviaciones aleatorias es una distribución muestral, a partir de la cual resulta factible estimar la media de la distribución poblacional.

Considerando que en este caso no se conoce la varianza poblacional de la distribución, es necesario utilizar la distribución *t de student* en vez de la normal estándar (z) (Peña, 2001).

Por lo anterior, la desviación aleatoria media se encuentra en el intervalo mostrado en la ecuación (6) del capítulo segundo:

³⁷ Ver capítulo segundo numeral 2.1.3.

$$\bar{A} = \frac{\sum A_t}{N} \pm t \left[\frac{s_t}{\sqrt{N-1}} \right] \dots\dots\dots (6)$$

Donde A_t son los valores calculados con la ecuación (5), s_t es la desviación estándar de ese conjunto de valores; y la variable t es el estadístico de la distribución *t de student*, que deberá calcularse para un intervalo de confianza definido y el número de grados de libertad que depende de la cantidad de datos en la muestra ($N - 1$).

El cuadro 6.3 contiene un resumen de los resultados de la estimación de las variaciones aleatorias observadas en la serie de tiempo.

Cuadro 6.3
Estimación del valor esperado de las variaciones aleatorias para la serie de tiempo de la carga doméstica transportada en el aeropuerto de Monterrey

Media	1,004
Límite inferior del intervalo de confianza	0,934
Límite superior del intervalo de confianza	1,074
Desviación estándar muestral	0,106
Grados de libertad ($N - 1$)	11
Estadístico t para 95% y 11 G.L.	2,201

Fuente: Elaboración propia

La estimación por intervalos de confianza ofrece dos resultados que definen los extremos de las desviaciones esperadas en ambos sentidos: el límite inferior y el límite superior.

Cuando se desea realizar un pronóstico, la existencia de los dos valores extremos genera que a su vez el pronóstico tenga dos valores extremos, y que el valor esperado se encuentre dentro del intervalo definido por ellos. Es posible pensar que el valor menor corresponde a un pronóstico pesimista y el mayor a uno optimista.

Debe decirse que en este caso, el pronóstico utilizando los límites inferior y superior parece recomendable, debido a que la corrección por variación aleatoria en ambos casos es mayor al 5%.

6.2 Análisis de la serie de tiempo de la carga internacional

El procedimiento de descomposición factorial, expuesto en el capítulo segundo del presente documento y utilizado para analizar la serie de tiempo de la carga doméstica, también fue aplicado a la serie de datos históricos de la carga internacional en el aeropuerto de Monterrey.

El cuadro 6.4 presenta un resumen del resultado obtenido en cada una de las etapas del procedimiento.

Cuadro 6.4
Aeropuerto de Monterrey: resumen del análisis de la serie de tiempo de la carga internacional transportada en el periodo 1992 – 2005 (toneladas)

Año	t	Carga internacional (ton)	Tendencia polinómica (ton)	Residuo por ciclo y aleatorio	Factor por ciclo media móvil tres años (ponderada)	Residuos por efecto aleatorio
1992	0	1 893,6	2 017,2	0,939		
1993	1	1 821,6	2 272,3	0,802	0,903	0,888
1994	2	2 839,6	2 921,7	0,972	0,912	1,065
1995	3	3 701,5	3 965,3	0,933	0,959	0,973
1996	4	4 653,6	5 403,1	0,861	1,006	0,856
1997	5	8 643,6	7 235,2	1,195	1,044	1,144
1998	6	9 397,9	9 461,5	0,993	1,120	0,887
1999	7	12 428,6	12 082,1	1,029	1,138	0,904
2000	8	22 384,0	15 096,9	1,483	1,077	1,377
2001	9	14 982,1	18 505,9	0,810	0,953	0,849
2002	10	18 874,3	22 309,2	0,846	0,872	0,970
2003	11	24 533,7	26 506,7	0,926	0,934	0,990
2004	12	27 406,1	31 098,5	0,881	0,985	0,895
2005	13	41 398,8	36 084,5	1,147		

Fuente: Elaboración propia con datos de la DGAC

La figura 6.6 muestra la gráfica de la curva formada por los puntos que representan los datos de la carga internacional en cada uno de los años del periodo estudiado.

A partir de una primera exploración de esta gráfica se puede inferir que los datos, efectivamente presentan una clara tendencia de crecimiento positivo, así como un aparente comportamiento cíclico a lo largo de los años.

La existencia de tendencia se infiere por el hecho de que el conjunto de datos muestra una clara inclinación (pendiente) respecto al eje horizontal, que en este caso conlleva a que los valores posteriores tiendan a ser mayores que los valores anteriores en el tiempo (crecimiento). En la gráfica se observa que los incrementos absolutos en la demanda anual son crecientes, es decir, no son constantes, y por tanto no es de esperarse que la curva de ajuste sea lineal. Los incrementos anuales crecientes son típicos de las ecuaciones polinómicas o exponenciales; en estos últimos se registra un crecimiento anual relativo constante, que equivale a la tasa de crecimiento exponencial.

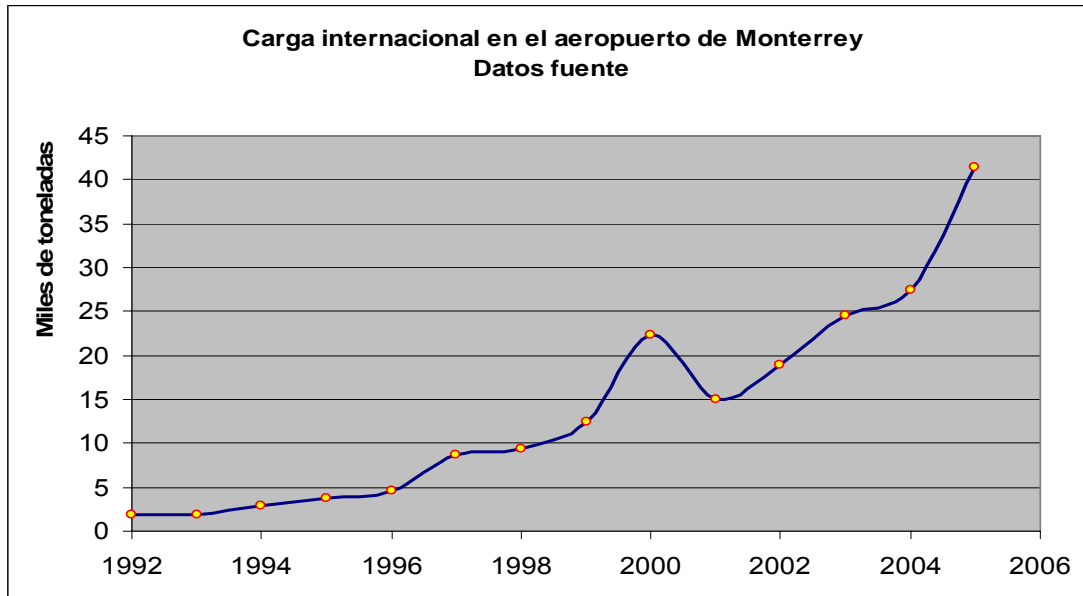


Figura 6.6 Serie de tiempo de la carga internacional en el aeropuerto de Monterrey en el periodo 1992 – 2005.
 Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

En este caso, el valor esperado por tendencia se obtuvo mediante la técnica de los mínimos cuadrados, aplicada en una función cuadrática.

Conviene señalar que la primera opción que se estudió para la curva de tendencia fue una función lineal; pero debido a que con la función cuadrática³⁸ se obtuvo un coeficiente de determinación más alto, esta segunda opción fue la elegida.

La parábola de aproximación de mínimos cuadrados, ajustada a los pares de datos ordenados que se forman con las columnas 2 y 3 del cuadro 6.4, tiene la siguiente ecuación:

$$\hat{Y}_t = 2017,2 + 58,0 t + 197,12 t^2 \dots\dots\dots (6.2.1)$$

Donde:

\hat{Y}_t = valor de tendencia de la carga transportada en el año t

t = año 0, 1, ... , 13

³⁸ Los análisis correspondientes no se incluyen en el reporte de investigación, pero se encuentran disponibles en las memorias de cálculo del estudio.

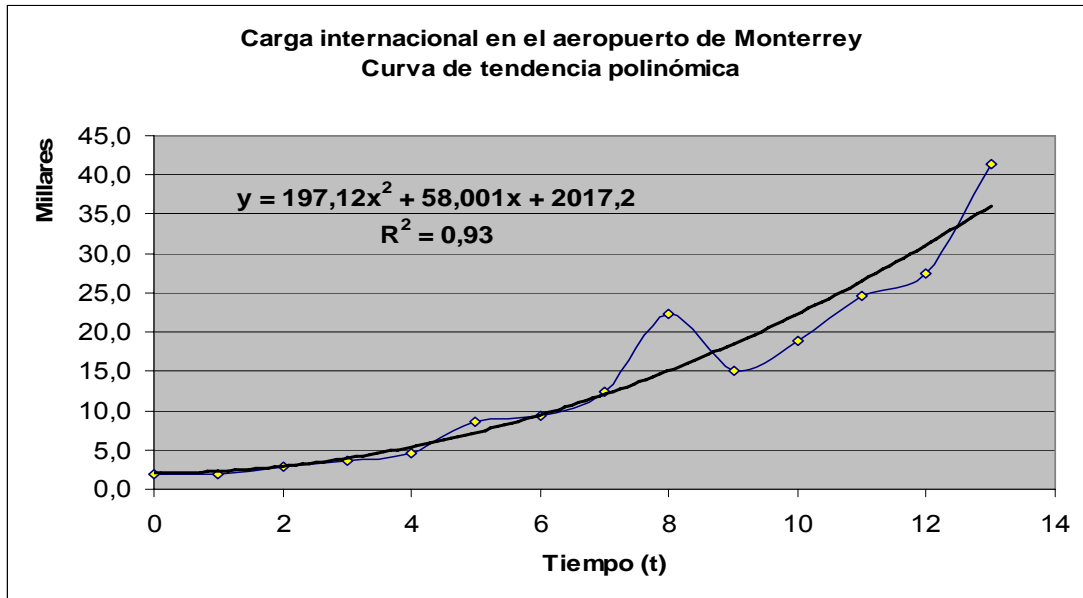


Figura 6.7 Curva de tendencia polinómica de la serie de tiempo de la carga internacional en el aeropuerto de Monterrey (1992 – 2005).

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

La ecuación ajustada tiene un coeficiente de determinación $R^2 = 0,93$ que indica que el 93% de los datos observados se pueden considerar representados estadísticamente por la función de regresión. Tal coeficiente de determinación se puede considerar como “muy bueno”, y sugiere que la estimación de la tendencia es satisfactoria.

Con la ecuación ajustada (6.2.1) se calcularon los valores \hat{Y}_t , mismos que corresponden a los valores mostrados en la columna 4 del cuadro 6.4, que representan la carga esperada por tendencia, y que se encuentran alineados sobre la curva de ajuste dibujada en la figura 6.7.

La curva de ajuste es una parábola convexa que tiene su valor mínimo muy cerca del origen y que, en consecuencia, presenta un comportamiento creciente para la pendiente de sus tangentes. Este comportamiento implica tasas de crecimiento grandes en el tiempo.

En la misma figura 6.7 se puede observar que hay varios conjuntos de datos que se localizan por arriba o por debajo de la curva de tendencia; tal comportamiento sugiere la posibilidad de encontrar ciclos en los datos.

Para determinar el factor debido al efecto cíclico, de manera similar al análisis realizado para la carga doméstica, se recurre a la ecuación (3) del capítulo segundo:

$$C_i \cdot A = \frac{Y_t}{\hat{Y}_t} \dots\dots\dots (3)$$

Los valores obtenidos al aplicar la ecuación (3) son los que corresponden a la columna 5 del cuadro 6.4, denominada: "Residuo por ciclo y aleatorio". Estos valores oscilan alrededor del valor unitario y su magnitud ofrece un indicador de la dispersión de cada dato observado respecto al valor esperado por tendencia.

Por su parte, en la figura 6.8 se muestra el comportamiento de los residuos debidos a los efectos cíclico y aleatorio.

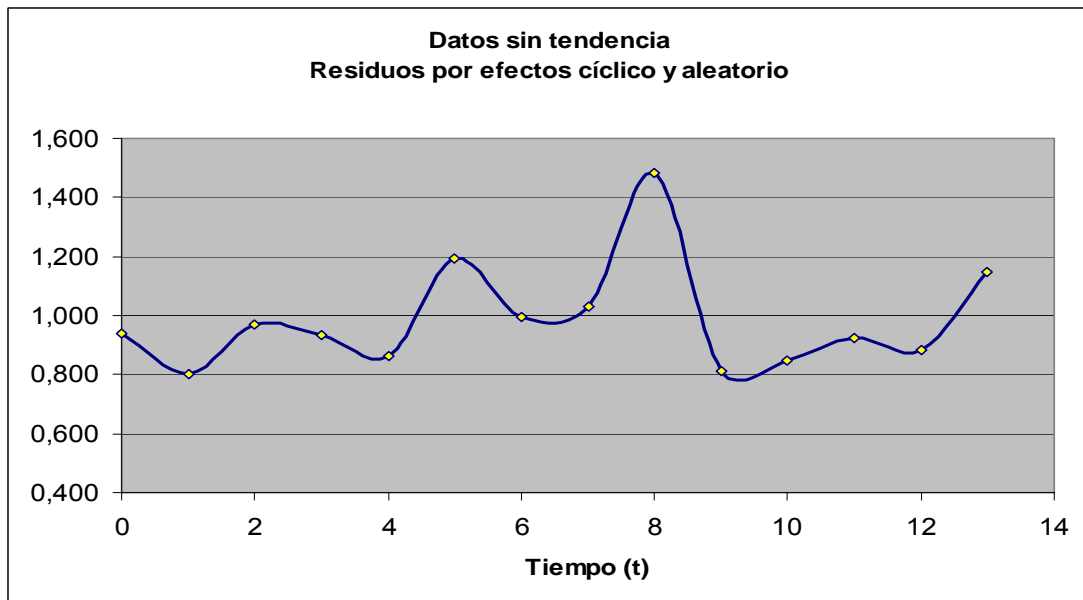


Figura 6.8 Residuos por ciclos y variación aleatoria en la serie de tiempo de la carga internacional en el aeropuerto de Monterrey 1992 – 2005.
Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

En la citada figura se observa con mayor claridad la existencia de los mencionados subconjuntos de datos que forman grupos por encima y por debajo de la línea de tendencia; que en este caso coincide con la línea horizontal, ubicada en la ordenada con valor igual a uno.

Como ya se ha señalado, la técnica utilizada en el estudio para extraer los factores cíclicos se denomina suavización por promedios móviles ponderados, y fue explicada con mayor detalle en el capítulo segundo³⁹.

Igual que para la carga doméstica, la amplitud del movimiento medio que se encontró más adecuado fue el de tres años, con una ponderación doble del dato central, lo cual, como ya se mencionó en el caso anterior, tiene el efecto de aumentar su participación en el promedio y moderar el efecto de alisado.

La determinación de la amplitud del movimiento medio se realizó por ensayos, revisando las gráficas resultantes hasta encontrar la que incorporaba más datos⁴⁰ y

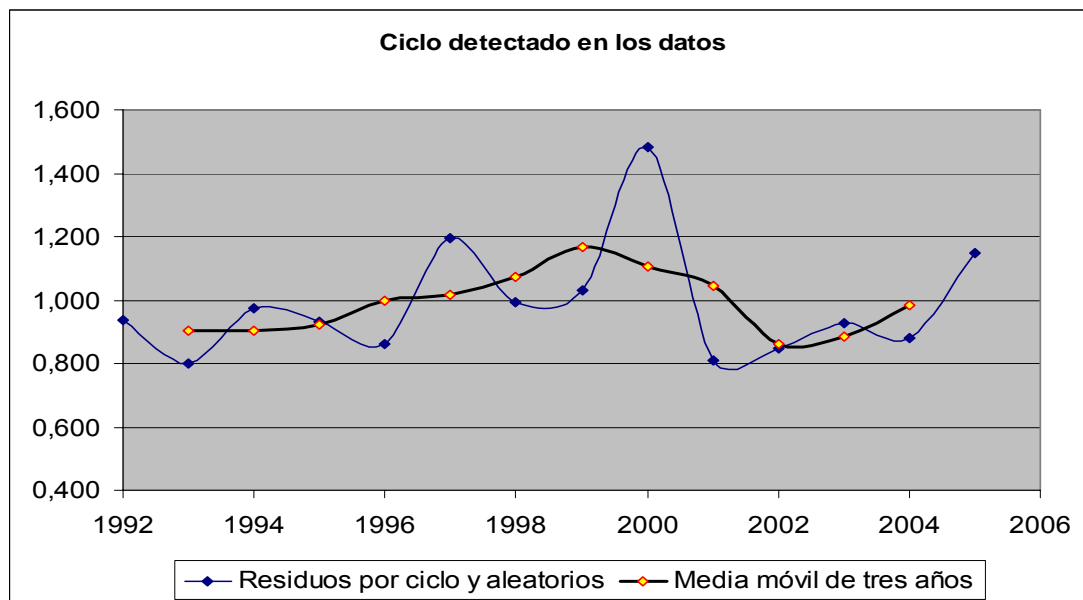


Figura 6.9 Media móvil de los residuos por ciclo y aleatorio en la serie de tiempo de la carga internacional en el aeropuerto de Monterrey (1992 – 2005).

Fuente: Elaboración propia a partir de las bases de datos de la DGAC.

reflejaba mejor los ciclos en la serie de tiempo.

La figura 6.9 corresponde a la gráfica de los promedios móviles de los residuos por efecto cíclico y aleatorio, misma que se considera la curva de variación del efecto (factor) cíclico en la serie de tiempo.

³⁹ Ver capítulo segundo, numeral 2.1.2.

⁴⁰ Por la forma de la ecuación de los promedios móviles, a medida que se aumenta la amplitud del movimiento medio se van perdiendo más datos en los extremos de la serie, lo cual resulta especialmente crítico cuando no se cuenta con datos históricos abundantes.

En la gráfica citada se observa que el efecto de alisado logra “suavizar” las fuertes variaciones presentes en toda la serie, dándonos la posibilidad de vislumbrar un posible ciclo, aunque no muy claramente definido. Es conveniente señalar que este caso ha resultado el que muestra menor tendencia cíclica, lo cual es debido, en nuestra opinión, a las fuertes variaciones presentes en cada año, y que el método considera dentro de la categoría “variaciones aleatorias”.

Los valores graficados en la figura 6.9 se presentan en la columna 6 del cuadro 6.4, bajo la denominación “Factor por ciclo”.

En la figura 6.9 se aprecia que los datos muestran un esbozo de ciclo con un periodo de entre tres y cinco años, lo cual genera un ciclo con longitud aproximadamente sexenal.

Para concluir con el análisis de la serie de tiempo, la última fase del procedimiento consiste en estimar la amplitud de las variaciones aleatorias.

Las variaciones aleatorias son una medida de la desviación de cada dato respecto al valor esperado por tendencia y ciclo. Tales desviaciones se muestran en la figura 6.9 como la diferencia entre la curva de los promedios móviles y cada uno de los valores de los residuos.

Los valores de las variaciones aleatorias se presentan en la columna 7 del cuadro 6.4, y fueron calculadas según la fórmula (5) del capítulo segundo:

$$A = \frac{Y_t}{\hat{Y}_t \hat{C}_t} \dots\dots\dots (5)$$

Metodológicamente, la fuente de las variaciones aleatorias se considera desconocida y como el resultado de factores con acción temporal de corto plazo.

Los factores que generan las desviaciones aleatorias se consideran variables aleatorias con distribuciones de probabilidad desconocidas, pero que al tener un comportamiento aditivo, es de esperarse que en conjunto presenten una distribución cercana a la normal, como una consecuencia del teorema central del límite⁴¹.

Para estimar estadísticamente el valor medio de las desviaciones aleatorias se usó la técnica de estimación por intervalos de confianza, asumiendo que la distribución observada de las desviaciones aleatorias es una distribución muestral, a partir de la cual es factible estimar la media de la distribución poblacional.

⁴¹ Ver capítulo segundo numeral 2.1.3.

Tomando en cuenta que en este caso no se conoce la varianza poblacional de la distribución, es necesario utilizar la distribución *t de student* en vez de la normal estándar (*z*) (Peña, 2001).

Por lo anterior, la desviación aleatoria media se encuentra en el intervalo mostrado en la ecuación (6) del capítulo segundo:

$$\bar{A} = \frac{\sum A_t}{N} \pm t \left[\frac{s_t}{\sqrt{N-1}} \right] \dots\dots\dots (6)$$

Donde A_t son los valores calculados con la ecuación (5), s_t es la desviación estándar de ese conjunto de valores; y la variable t es el estadístico de la distribución *t de student*, que deberá calcularse para un intervalo de confianza definido y el número de grados de libertad que depende de la cantidad de datos en la muestra ($N - 1$).

El cuadro 6.5 muestra el resumen de resultados de la estimación de las variaciones aleatorias observadas en la serie de tiempo.

Cuadro 6.5
Estimación del valor esperado de las variaciones
aleatorias para la serie de tiempo de la carga internacional
transportada en el aeropuerto de Monterrey

Media	0,983
Límite inferior del intervalo de confianza	0,882
Límite superior del intervalo de confianza	1,084
Desviación estándar muestral	0,152
Grados de libertad ($N - 1$)	11
Estadístico t para 95% y 11 G.L.	2,201

Fuente: Elaboración propia

La estimación por intervalos de confianza ofrece dos resultados que definen los extremos de las desviaciones esperadas en ambos sentidos: el límite inferior y el límite superior.

Cuando se desea realizar un pronóstico, la existencia de los dos valores extremos produce que el a su vez pronóstico tenga dos valores extremos, y que el valor esperado se encuentre dentro del intervalo definido por ellos. Es posible pensar que el valor menor corresponde a un pronóstico pesimista y el mayor a uno optimista.

Debe decirse que en este caso, no es recomendable el pronóstico directo mediante la tendencia y el índice cíclico, debido a que la magnitud de las variaciones aleatorias no es despreciable.

7 Conclusiones

Las actividades de planeación son imprescindibles en la gestión de los sistemas de transporte. En el proceso de planeación del transporte se pueden distinguir varias etapas; una muy relevante es la estimación de la demanda esperada, dado que expresa las necesidades de movilidad, cuya satisfacción son la razón de ser del sistema de transporte.

La cuantificación de la demanda esperada es una tarea compleja, que puede ser realizada mediante diversos métodos o esquemas; sin embargo, la mayoría de ellos se fundamentan en la construcción de modelos matemáticos.

En años recientes los modelos preferidos para estimar la demanda de transporte han sido aquellos que la consideran una variable dependiente de dos grupos de factores: factores socio/económicos (que provienen del sistema de actividades), y factores que provienen de las condiciones propias del sistema de transporte. Estos modelos se basan en el paradigma económico de considerar a la demanda de transporte como una demanda derivada de los procesos de satisfacción de otras necesidades, como alimentación, salud, educación, entretenimiento, etcétera. No obstante, conviene señalar que este enfoque es esencialmente microeconómico y ha sido desarrollado fundamentalmente para la modelación del transporte de personas, en particular en zonas metropolitanas.

Desde este enfoque, los modelos de series de tiempo han sido cuestionados por su "insensibilidad" ante los posibles cambios de situación de las variables explicativas o causales. Sin embargo, en nuestra opinión los modelos de análisis de series de tiempo no deben descartarse *a priori* de la batería de herramientas disponibles para el analista de sistemas de transporte; especialmente cuando se trate de casos en que los datos disponibles sean esencialmente agregados. Creemos que esta actitud de rechazo implica cierto nivel de prejuicio dogmático, y que en el analista debe prevalecer un mayor conocimiento de los casos y condiciones en que es válido el uso de los modelos tendenciales.

El análisis de series de tiempo ha probado su utilidad en múltiples aplicaciones econométricas, destacando los problemas bursátiles, financieros y macroeconómicos, como es el caso de las cuentas nacionales, donde la presencia de ciclos económicos es importante.

La existencia de ciclos en los datos es un problema difícil de modelar con funciones algebraicas, por lo que en ocasiones se recurre a funciones periódicas (lo cual implica una gran regularidad en el tiempo), y preferentemente a las técnicas de descomposición, típicas del análisis de series de tiempo.

Otro problema común que se presenta en el modelado por regresión de las series de tiempo, es la fuerte autocorrelación presente en los datos, ya que los datos posteriores pueden ser explicados como una función de los datos anteriores. Esta situación afecta el cumplimiento de uno de los supuestos fundamentales de los modelos de regresión para dos o más variables aleatorias.

En el presente trabajo se ha utilizado una variante de las técnicas de análisis de series de tiempo llamada de descomposición factorial, en la que se asume la posible existencia de tres componentes básicos: *tendencia*, *ciclo* y *variación aleatoria*.

La descomposición factorial se aplicó a las series de tiempo de la carga transportada a través de los aeropuertos de México, Guadalajara y Monterrey, desagregándola en dos categorías: carga doméstica e internacional.

La desagregación en las dos categorías señaladas se fundamenta en el hecho de que cada uno de estos mercados económicos posee características cuantitativas diferentes, que exigen una modelación independiente. La agregación posterior de las series es simple (por adición), y permite la obtención de datos conjuntos.

El análisis practicado a las series de tiempo confirma la validez de los supuestos iniciales, dado que en todos los casos se encontraron los movimientos característicos ya señalados: *tendencia*, *ciclo* y *variación aleatoria*.

En todos los casos analizados, la tendencia encontrada es de crecimiento; y la mejor ecuación, bajo el criterio del coeficiente de determinación, fue de tipo polinómico con grado dos (cuadráticas). En general, el coeficiente de determinación fue más alto para los casos internacionales (mayor a 0,90) que para los domésticos; pero, considerando que el valor más bajo encontrado fue de 0,69 (Monterrey - doméstica), se puede afirmar que fue posible obtener curvas de ajuste adecuadas a la tendencia.

Para el aeropuerto de la Ciudad de México, la tendencia encontrada en ambas categorías de análisis es de crecimiento, pero con incrementos decrecientes (parábolas cóncavas); es decir, la curva se mueve hacia el mínimo (crecimiento nulo). Este mismo comportamiento se encontró en el caso internacional de la terminal de Guadalajara. Una interpretación de este hallazgo apunta hacia una posible saturación de la infraestructura aeroportuaria, resultado de la magnitud del crecimiento registrado en los años previos, que ciertamente es considerable.

La otra mitad de los casos (tres) presentan tendencia positiva con incrementos crecientes (parábolas convexas); estos son el de la carga doméstica en Guadalajara y ambas categorías en Monterrey. Los tres casos coinciden en un comportamiento histórico de notable expansión en años recientes.

En los seis casos analizados se detectaron ciclos. En general, los ciclos asociados con movimientos domésticos son más largos y con longitudes similares; los ciclos internacionales son más cortos, y menos coincidentes en su longitud. Los ciclos de la

demanda de carga domestica en México y Guadalajara tienen longitudes de diez años (en México es ligeramente más corto); en Monterrey, tiene una longitud de entre seis y ocho años; la carga internacional tiene ciclos sexenales en el aeropuerto de México y de cuatro años en el de Guadalajara. El de Monterrey tiene un ciclo asociado a la carga internacional no muy claramente definido; sin embargo, su longitud aproximada es de ocho años.

Respecto a las variaciones aleatorias detectadas en los datos, en todos los casos se confirmó la normalidad de su distribución, gracias a su simetría respecto al punto central y su dispersión dentro del rango de aceptación con la prueba t de student.

El aeropuerto cuyos datos mostraron variaciones aleatorias más moderadas fue el de la Ciudad de México. La mayor dispersión se encontró en el caso internacional del aeropuerto de Monterrey. La menor dispersión de las variaciones aleatorias es deseable, dado que puede ser un indicador de la bondad de ajuste de la modelación respecto a los datos empíricos.

En general se concluye que la técnica de análisis de series de tiempo empleada en el estudio es adecuada para la modelación del comportamiento histórico de la demanda de transporte de carga aérea en aeropuertos y se recomienda su utilización, siempre y cuando se mantengan presentes los supuestos básicos de los modelos tendenciales, y que los horizontes de pronóstico sean lo suficientemente cortos para que sea razonable esperar que no existan cambios significativos en los factores sociales, económicos y tecnológicos que condicionan a los sistemas de transporte.

8 Referencias bibliográficas

BALLOU, Ronald H. *Business Logistics Management*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1992.

CHRISTOPHER, Martin. *Logística y aprovisionamiento*. Biblioteca de empresa, Barcelona: Ediciones Folio, S.A., 1994.

GRADILLA HERNÁNDEZ, Luz Angélica; RICO GALEANA, Óscar Armando. *Análisis espacial de la distribución de la carga transportada por aire en México*. Publicación Técnica No. 269. Sanfandila, Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte, 2005. pp. 139. ISSN 0188-7297.

HERRERA GARCÍA, Alfonso; BUSTOS ROSALES, Agustín; et. al. *Diagnóstico del Transporte de carga aérea en México*. Publicación Técnica No. 273. Sanfandila, Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte, 2005. pp. 194. ISSN 0188-7297.

HYNDMAN, Rob J. ARIMA Processes. En DAELLENBACH, Hans; FLOOD, Robert; ed. *The Informed Student Guide to Management Science*. London: Thompson, 2002. ISBN-1861525427.

HYNDMAN, Rob J. Box – Jenkins Modelling. En DAELLENBACH, Hans; FLOOD, Robert; ed. *The Informed Student Guide to Management Science*. London: Thompson, 2002. ISBN- 1861525427.

KIKUT VALVERDE, Ana Cecilia; MUÑOZ SALAS, Evelyn; QUIRÓS SOLANO, Juan Carlos. *Aspectos conceptuales sobre series de tiempo. Nociones básicas*. DIE/02-202-NT, Nota Técnica. Departamento de Investigaciones Económicas, División Económica, Banco Central de Costa Rica, junio de 2002.

Manual Estadístico del Sector Transporte 2006. Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandila, Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte, 2006. ISSN 0188-7246.

MORENO QUINTERO, Eric. Acerca de la modelación del autotransporte de carga. NOTAS. No. 91, artículo 2. Instituto Mexicano del Transporte, enero 2005.

NELSON, David. *Dictionary of Statistics*. England, UK: Penguin Books, 2004.

PEÑA SÁNCHEZ DE RIVERA, Daniel. *Fundamentos de estadística*. Madrid: Alianza Editorial, S.A., 2001.

PEÑA SÁNCHEZ DE RIVERA, Daniel. *Análisis de series temporales*. Madrid: Alianza Editorial, S.A., 2005.

RASCÓN CHÁVEZ, Octavio A. *Estadística descriptiva*. 4ª Edición, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1983.

RASCÓN CHÁVEZ, Octavio A. *Fundamentos de la teoría de probabilidades*. 7ª Reimpresión, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1986.

RICO GALEANA, Óscar Armando. *El transporte aéreo de carga doméstica en México*. Publicación Técnica No. 168. Sanfandila, Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte, 2001. pp. 157. ISSN 0188-7297.

RICO GALEANA, Óscar Armando. *Estrategias de actuación comercial para las terminales con baja utilización en la nueva estructura aeroportuaria mexicana*. Publicación Técnica No. 212. Sanfandila, Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte, 2002. pp. 90. ISSN 0188-7297.

RICO GALEANA, Óscar Armando. *Análisis espacial del transporte aéreo de carga en México*. Publicación Técnica No. 264. Sanfandila, Querétaro: Instituto Mexicano del Transporte, 2005. pp. 106. ISSN 0188-7297.

RICO GALEANA, Óscar Armando (2005b). Problemas en la modelación del Transporte de carga: Un caso gravitacional. *NOTAS* No. 92, artículo 1, Instituto Mexicano del Transporte, febrero de 2005.

SPIEGEL, Murray R. *Estadística*. Serie Schaum. México: Mc Graw – Hill, 1970.

THOMPSON, J. M. *Teoría económica del transporte*. Madrid: Alianza Editorial, S.A., 1976.

UPTON, Graham; COOK, Ian. *A Dictionary of Statistics*. Oxford, UK: Oxford University Press, 2002.



‡ **Certificación ISO 9001:2000 según documento No 0109-2007-AQ-MEX-EMA,
vigente hasta el 24 de octubre de 2009 (www.imt.mx)**

CIUDAD DE MÉXICO
Av Nuevo León 210, piso 2
Col Hipódromo Condesa
06100, México, D F
tel (55) 5265 3190
fax (55) 5265 3190 ext 4711

SANFANDILA
km 12+000, Carretera
Querétaro-Galindo
76700, Sanfandila, Qro
tel (442) 216-9777
fax (442) 216-9671

www.imt.mx
publicaciones@imt.mx