



03043
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

1
24

U.A.C.P. Y P. DEL C.C.H.

I.I.M.A.S.

Aplicación de las Series de Tiempo al
Análisis de Precios de Combustibles"

TRABAJO FINAL

QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE:

ESPECIALIZACION EN ESTADISTICA APLICADA

P R E S E N T A:

JOSEFA ESMERALDA IBARS HERNANDEZ

MEXICO, D. F.

NOVIEMBRE 1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

RESUMEN

En esta tesina se presenta una aplicación del análisis estadístico de series de tiempo univariadas. Este tipo de análisis es útil para la descripción de las series en estudio y para obtener pronósticos.

Como los precios de los combustibles estudiados representan hasta el 65% del costo total de generación de la energía eléctrica, el conocer el comportamiento estadístico de estas series y el pronosticar el precio externo de referencia de los tres combustibles utilizados en el sector eléctrico, tiene gran importancia para nuestro país.

Las tres series de tiempo se formaron con datos de los precios de los tres combustibles más importantes utilizados para la producción de energía eléctrica: el carbón, el combustóleo y el gas natural. Los precios de estos combustibles son observaciones que no son independientes entre sí y que dependen del tiempo, por lo que la utilización de las series de tiempo resulta apropiada.

Los modelos estadísticos que se utilizaron pertenecen a la familia de los modelos ARIMA (autorregresivos, integrados y de promedios móviles). La compilación de los precios mensuales de los combustibles entregados en las centrales eléctricas, desde 1973 hasta agosto de 1995, formaron las tres series de tiempo de trabajo, con 272 datos cada una.

Se utilizaron distintas técnicas de la teoría de las series de tiempo que resultaron apropiadas según las particularidades de los datos estudiados. El trabajo incluye el uso de los paquetes de análisis estadístico SAS, RATS y S-Plus.

Además de la formulación de los modelos y la estimación de los parámetros, se verificaron los modelos resultantes a través del análisis de los residuales mediante el uso de pruebas paramétricas y no paramétricas.

En la elaboración de esta tesina se ha tenido en mente hacer una presentación didáctica. Se pretende que el lector aprecie las bondades y limitaciones de las técnicas empleadas y la gran utilidad de las mismas al ser aplicadas a series de tiempo reales, actuales y relevantes para el país.

DEDICATORIAS

A ustedes que me dieron la vida y su amor,
y que siempre me han alentado a seguir
adelante.

JOSÉ y SILVIA

A ustedes que compartieron mi infancia, mis
tristezas y alegrías, y ahora mis anhelos.

SILVIA, SUSANA, PILAR Y EDUARDO.

A ti, *PEPE*, que aunque hoy ya no estás
conmigo, sé que me acompañas en todos
los momentos importantes de mi vida.

A mi esposo, *SEBASTIAN*, por compartir
hoy conmigo esto y mañana muchas cosas
más, gracias.

RECONOCIMIENTOS

A mi asesor, por ayudarme a convertir mis ideas e inquietudes en este trabajo. Gracias por tu paciencia y amistad.

DR. VÍCTOR FENTON NAVARRO

A la comisión revisora del trabajo de tesina, por sus valiosos comentarios y observaciones.

DR. RAÚL RUEDA DÍAZ DEL CAMPO

DR. VÍCTOR RODRÍGUEZ PADILLA

M. EN C. MARTÍN ROMERO MARTÍNEZ

MAT. SAÚL SALAZAR BARBOSA

INDICE	página
Resumen	i
Dedicatorias	ii
Reconocimientos	iii
Índice	iv
Índice de cuadros	vi
Índice de figuras	vii
I. Introducción	1
II. Antecedentes	3
II.1 Los combustibles para la generación eléctrica en México	3
II.2 Sucesos históricos mundiales que provocaron cambios bruscos en los precios de los combustibles	8
II.3 Importancia relativa del precio del combustible en el costo total de generación eléctrica por tipo de tecnología	8
II.4 Relación entre los precios de los combustibles	9
III. Metodología	11
III.1 Información utilizada	11
III.2 Utilización de la teoría de las Series de Tiempo para obtener un modelo adecuado para los precios de combustibles	13
IV. Análisis de la Serie de Tiempo de precios del carbón	14
IV. 1 Estimación de los parámetros del modelo	14

	página
IV.2 Gráficas del modelo ajustado contra los datos originales y pronósticos del mismo	21
V. Análisis de la Serie de Tiempo de precios del combustóleo	26
V. 1 Estimación de los parámetros del modelo	26
V.2 Gráficas del modelo ajustado contra los datos originales y pronósticos del mismo	34
VI. Análisis de la Serie de Tiempo de precios del gas natural	38
VI.1 Estimación de los parámetros del modelo	38
VI.2 Gráficas del modelo ajustado contra los datos originales y pronósticos del mismo	45
VII. Conclusiones	50
VII.1 Alcances de las proyecciones del estudio (pronóstico a corto plazo)	51
VII.2 Importancia de los pronósticos de precios de los combustibles para la industria eléctrica	53
VIII. Anexos	54
VIII.1 Precios de los combustibles fósiles entregados a las plantas eléctricas públicas (centavos de dólar por millón de BTU)	55
VIII.2 Tabla de Dickey-Fuller	59
VIII.3 Códigos empleados	60
IX. Referencias	63

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	página
1.	Características principales de los combustibles	6
2.	Eventos mundiales que provocaron cambios bruscos en los precios de los combustibles	8
3.	Relación entre el costo del combustible y el costo total de generación por tipo de tecnología	9
4.	Relación entre los precios de los combustibles	10
5.	Promedios anuales de los precios de los combustibles (1973-1995)	12
6.	Estimadores obtenidos para el modelo de carbón	16
7.	Modelo resultante para los precios del carbón	18
8.	Matriz de varianza-covarianza de los parámetros del modelo para carbón	18
9.	Valores de la Q de Ljung y Box para el modelo para carbón	19
10.	Estimadores obtenidos para el modelo de combustóleo	30
11.	Modelo resultante para los precios del combustóleo	30
12.	Matriz de varianza-covarianza de los parámetros del modelo para combustóleo	31
13.	Valores de la Q de Ljung y Box para el modelo para combustóleo	33
14.	Estimadores obtenidos para el modelo de gas natural	40
15.	Modelo resultante para los precios del gas natural	42
16.	Matriz de varianza-covarianza de los parámetros del modelo para gas natural	42
17.	Valores de la Q de Ljung y Box para el modelo para gas natural	43
18.	Precios de los combustibles fósiles entregados a las plantas eléctricas públicas (centavos de dólar por millón de BTU)	55
19.	Tabla de Dickey-Fuller	59

INDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	página
1.	Situación del Sistema Eléctrico Nacional en 1995	5
2.	Crecimiento y estructura del consumo de combustibles fósiles para la generación bruta de energía eléctrica	7
3.	Gráfica de los datos de la serie original de precios del carbón	14
4.	Gráfica de los datos de la serie estacionaria de precios del carbón	15
5.	Correlación simple, parcial e inversa de la serie diferenciada del carbón	17
6.	Correlación simple, parcial e inversa de los residuales del modelo para carbón	20
7.	Gráfica de la serie transformada del carbón y los datos estimados por el modelo	23
8.	Gráfica de los residuales del modelo para carbón con bandas de confianza	24
9.	Gráfica de los pronósticos con las bandas al 95%, con datos reales del carbón.	25
10.	Gráfica de los datos de la serie original de precios del combustóleo	26
11.	Gráfica de los datos de la serie estacionaria de precios del combustóleo	27
12.	Correlación simple, parcial e inversa de la serie transformada del combustóleo	29
13.	Correlación simple, parcial e inversa de los residuales del modelo para combustóleo	32
14.	Gráfica de la serie transformada del combustóleo y los datos estimados por el modelo	35
15.	Gráfica de los residuales del modelo para combustóleo con bandas de confianza	36
16.	Gráfica de los pronósticos con las bandas al 95%, con datos reales del combustóleo.	37

Figura	Descripción	página
17.	Gráfica de los datos de la serie original de precios del gas natural	38
18.	Gráfica de los datos de la serie estacionaria de precios del gas natural	39
19.	Correlación simple, parcial e inversa de la serie transformada del gas natural	41
20.	Correlación simple, parcial e inversa de los residuales del modelo para gas natural	44
21.	Gráfica de la serie transformada del gas natural y los datos estimados por el modelo	47
22.	Gráfica de los residuales del modelo para gas natural con bandas de confianza	48
23.	Gráfica de los pronósticos con las bandas al 95%, con datos reales del gas natural.	49

I. INTRODUCCIÓN

El empleo de la teoría de las Series de Tiempo tiene como objetivo estudiar los precios de los tres combustibles utilizados para la generación de energía eléctrica: carbón, combustóleo y gas natural. La utilidad práctica es el conocer los factores, tanto determinísticos como aleatorios, que hacen variar los precios de los citados combustibles, el formular modelos estadísticos para las series de tiempo y adicionalmente predecir su comportamiento futuro.

Los combustibles analizados son los entregados en centrales termoeléctricas estadounidenses y su precio se expresa en moneda corriente por unidad térmica (centavos de dólar/10⁶ BTU). Si se desea utilizar estos combustibles en las centrales mexicanas se deben añadir los costos por fletes, permisos y seguros aplicables, desde la frontera estadounidense hasta la central específica que se pretenda abastecer.

El costo del combustible representa hasta 65% del costo total de generación en las centrales termoeléctricas mexicanas, de ahí la importancia de su estudio. Además, al predecir los costos de los combustibles externos de referencia se tienen los elementos más importantes para decidir si se consume algún combustible importado desde los Estados Unidos o uno nacional.

Las series cronológicas de precios de combustibles utilizadas son producto de la recopilación de precios mensuales de 22 años y 8 meses (enero 1973 - agosto 1995) de los precios del carbón, combustóleo y gas natural, entregados en centrales eléctricas estadounidenses publicados por la "Energy Information Administration", que pertenece al Departamento de Energía (DOE) del gobierno de los Estados Unidos, lo que produce las tres series de tiempo, cada una de ellas con 272 observaciones mensuales.

II. ANTECEDENTES

II.1 LOS COMBUSTIBLES PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA EN MÉXICO

La Comisión Federal de Electricidad es el organismo gubernamental que se encarga de la producción y distribución de energía eléctrica en México, y es el principal consumidor de los combustibles que comercializa Petróleos Mexicanos. Las etapas que han experimentado, en nuestro país, el uso y los precios de los combustibles fósiles son:

- a).- En la década de los sesentas, aumentó la capacidad termoeléctrica, la explotación del gas natural se desarrolló en el sur del país y, con una inflación del 2%, había estabilidad en los precios de los energéticos.
- b).- En los setentas, se inicia la diversificación de energéticos, comienza un proceso inflacionario en México, se incrementaron los precios de los combustibles y se otorgan subsidios en los combustibles: el gas natural se vendía al 20% de su precio de frontera y el combustóleo al 12%.
- c).- En los ochentas, la industria eléctrica duplicó su consumo de combustóleo, aumentó muy poco en gas natural, se empieza a utilizar el carbón y la energía nucleoelectrica; al final de la década, los subsidios a los energéticos habían sido reducidos significativamente.

A partir de 1991, con la creación de los comités intersecretariales de precios de los energéticos, se adoptó el criterio básico de igualar los precios de los combustibles con su precio alternativo, tomando como referencia el precio en la frontera de cada producto, un mecanismo para ajustes mensuales y quincenales, además de los costos regionales de transporte. Sin embargo en

1995, como resultado de la devaluación de finales de 1994, los precios de varios energéticos vuelven a quedar subsidiados. En 1992, se estableció Pemex Gas como responsable del desarrollo de la industria del gas natural en México. En diciembre de 1992, se posibilita la generación eléctrica por los particulares y en mayo de 1995, se abren a su participación el transporte y la distribución del gas natural; además se libera la importación del gas natural.

Actualmente, aproximadamente 400 mil barriles diarios de combustóleo son ofrecidos por Pemex Refinación, de los cuales el 80% se utilizan para generar electricidad. El comercio exterior lo realiza Pemex con participación irregular en los mercados externos.

Aunque la industria del carbón se ve limitada por el desarrollo de infraestructura ferroviaria y portuaria, por la demanda en la Central dual Petacalco, aumentará la demanda nacional de carbón térmico de 4 a 10 millones de toneladas anuales. Se vislumbra un mayor uso del carbón utilizando tecnologías más avanzadas como la gasificación y los lechos fluidizados.

En los próximos años, aumentará el uso del gas natural en nuestro país, principalmente en la generación de energía eléctrica, debido a:

- límites más estrictos en normas ecológicas,
- avances tecnológicos en generación eléctrica por medio de ciclos combinados,
- cambios en el marco jurídico, que permiten la participación de capital y distribución de gas natural y en la generación eléctrica. Esta participación será elemento clave para que importantes regiones del país dispongan de gas natural.

Durante los próximos 20 años, los combustibles fósiles seguirán siendo la base de la generación de electricidad. A un plazo mayor, se usará la energía nuclear y modalidades diversas de la energía solar.

Desde julio de 1995, la CFE produce más de 32 000 MW con la siguiente política de diversificación: termoeléctricas a base de combustóleo y gas natural, carboeléctricas, hidroeléctricas, nucleoeeléctricas, geotermoeléctricas, eólicas (aproximadamente 0.005%) y duales.

La situación del sistema eléctrico nacional en 1995, se muestra en la Figura 1, resalta la considerable participación del uso de combustibles fósiles (65.52%).

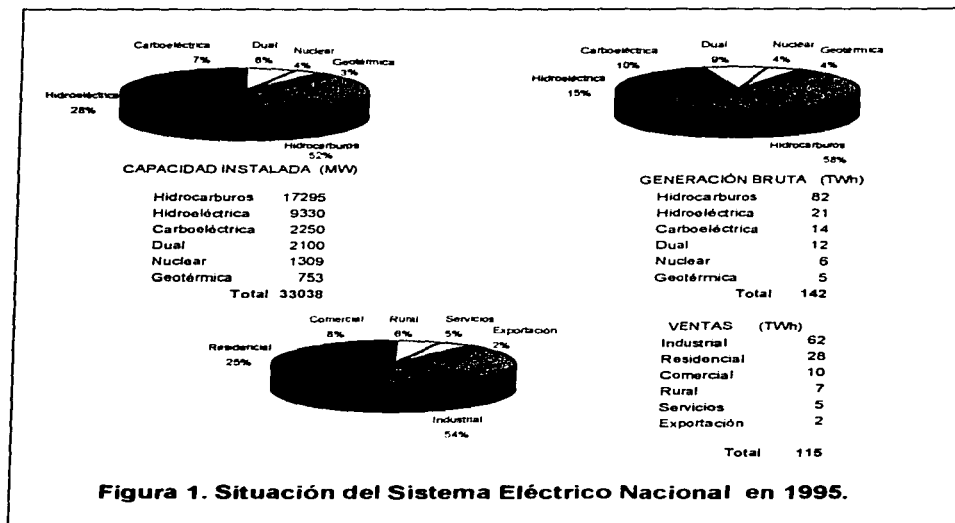


Figura 1. Situación del Sistema Eléctrico Nacional en 1995.

Las características principales de los combustibles empleados se presentan en el cuadro 1.

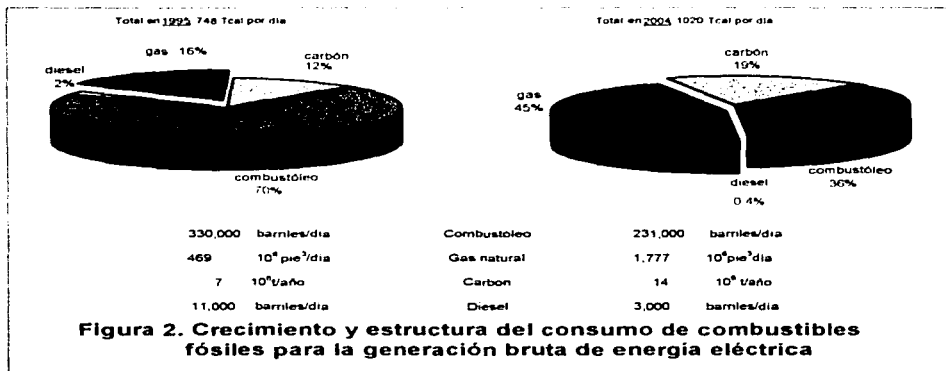
Combustible	Poder calorífico	Porcentaje de azufre
Carbón	20.639 10^6 BTU/tc	1.15%
Combustóleo	6.287 10^6 BTU/barril	1.00%
Gas natural	1.022 10^6 BTU/ 10^3 pie ³	0.00%

Cuadro 1. Características principales de los combustibles.

El poder calorífico, es importante porque expresa la cantidad de energía que se puede producir al realizarse la combustión del combustible específico, y en consecuencia se relaciona con el consumo del combustible para generar una determinada cantidad de energía eléctrica (expresada en unidades de capacidad, megawatts).

El contenido de azufre en un combustible, tiene importancia ecológica porque se relaciona directamente con la emisión de bióxido de azufre que se descarga a la atmósfera. Dicho contaminante se encuentra limitado por la norma ambiental mexicana NOM-085-ECOL-1994, que permite el uso de combustibles de alto contenido de azufre (4% S) sólo en zonas clasificadas como no críticas y de combustibles con bajo contenido de azufre (1 ó 2 % S) en zonas críticas definidas por la mencionada norma oficial. Las alternativas disponibles para cumplir la normatividad ambiental en zonas críticas son la utilización de combustibles limpios (con menos del 2% S) o la instalación de equipo anticontaminante.

La Figura 2 muestra la participación de cada combustible en 1995 y cómo se espera que sea en el año 2004.



Se observa que el combustible representa 70% del total de los combustibles empleados en México, y que la participación del gas natural aumentará del 16% en 1995 al 45% en el año 2004. Lo anterior, es resultado de los acuerdos del Grupo de Política de Combustibles que coordinan acciones conjuntas entre Pemex y la CFE para promover el uso racional de los combustibles. Así cumplen con la normatividad ambiental y garantizan la calidad y cantidad del servicio de energéticos.

Los factores principales que afectan los precios de los combustibles entre otros, son: aspectos relacionados con la tecnología de explotación, aspectos

tecnológicos de la generación de energía, aspectos normativos y políticos y las diferencias entre los mercados internacionales.

II.2 SUCESOS HISTÓRICOS MUNDIALES QUE PROVOCARON CAMBIOS BRUSCOS EN LOS PRECIOS DE LOS COMBUSTIBLES

En el presente siglo, los principales eventos mundiales que han afectado los precios de los combustibles en el mundo son:

PERÍODO	SUCESO
1920-1929	<ul style="list-style-type: none"> • Los temores de escasez de combustibles en los Estados Unidos. • Crecimiento de la producción de Venezuela.
1930-1939	<ul style="list-style-type: none"> • Descubrimiento de campos al Este de Texas.
1940-1949	<ul style="list-style-type: none"> • Reconstrucción en la post guerra.
1950-1959	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de suministros iraníes. • Crisis en Suez.
1970-1979	<ul style="list-style-type: none"> • Guerra en Yom Kippur. • Revolución iraní. • Suspensión de la producción del crudo en Irán.
1980-1989	<ul style="list-style-type: none"> • Comienza la guerra entre Irán e Irak. • Fin de la huelga de los mineros de carbón en el Reino Unido. • OPEC introdujo la cotización "netback".
1990-1994	<ul style="list-style-type: none"> • Irak invade Irán.

Cuadro 2. Eventos mundiales que provocaron cambios bruscos en los precios de los combustibles

II.3 IMPORTANCIA RELATIVA DEL PRECIO DEL COMBUSTIBLE EN EL COSTO TOTAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA POR TIPO DE TECNOLOGÍA

El costo total de generación es la suma de los costos de inversión, de combustible y de operación y mantenimiento, y se expresa en unidad monetaria por generación producida (\$/MWh). Los datos respecto a México se presentan en el cuadro 3.

Tipo de central	Potencia MW	Inversión \$/MWh	Combustible \$/MWh	Operación y mantenimiento \$/MWh	Total \$/MWh	Relación de costos combustible/total
Térmica convencional	2 x 350	81.02	172.38	12.74	266.12	64.77%
	2 x 180	93.15	183.39	19.00	295.54	62.05%
	2 x 84	104.48	206.11	26.45	337.02	61.16%
	2 x 37.5	122.03	223.59	40.28	385.90	57.94%
Turbogás aeroderivada gas	1 x 45	478.66	159.56	62.18	700.40	22.78%
Turbogás industrial gas	1 x 50	423.46	189.86	58.00	669.32	28.37%
Turbogás industrial gas	1 x100	290.48	186.64	37.48	514.60	36.27%
Ciclo combinado gas	1 x 225	60.41	109.10	16.18	185.69	58.75%
Carboeléctrica	2 x 350	113.14	80.78	25.04	218.96	36.89%
C.dual sin desulf.	2 x 350	113.75	79.17	25.66	218.58	36.22%
C. dual con desulf.	2 x 350	140.03	76.88	35.07	251.98	30.51%

Fuente: COPAR 1995

Cuadro 3. Relación entre el costo del combustible y el costo total de generación por tipo de tecnología

Resalta que el costo del combustible varía desde 22.78% para la tecnología turbogás aeroderivada gas (1x45 MW) hasta representar 64.77% para una central térmica convencional (2x350 MW).

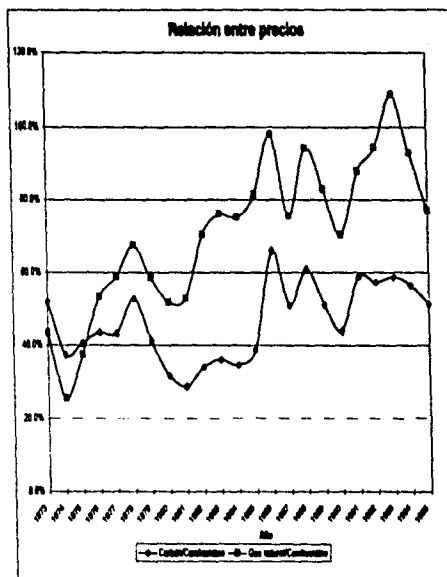
II.4 RELACIÓN ENTRE LOS PRECIOS DE LOS COMBUSTIBLES

Los precios del carbón y del gas natural guardan una relación con los del combustibleo (crudo de referencia), cuyo precio es determinado por cada país. El cuadro 4, muestra las relaciones de los precios históricos del carbón y del gas natural con el combustibleo.

RELACION ENTRE COMBUSTIBLES

Año	Carbón/Combustibles	Gas natural/Combustibles
1973	51.6%	43.1%
1974	37.5%	25.5%
1975	40.6%	37.5%
1976	43.4%	53.0%
1977	43.1%	58.7%
1978	52.5%	66.9%
1979	41.0%	58.5%
1980	31.7%	51.5%
1981	28.7%	52.6%
1982	34.1%	69.9%
1983	36.2%	75.9%
1984	34.6%	74.9%
1985	38.8%	81.1%
1986	65.8%	97.9%
1987	50.6%	75.3%
1988	61.0%	94.1%
1989	50.8%	82.7%
1990	43.8%	69.9%
1991	58.7%	87.3%
1992	57.1%	94.1%
1993	58.6%	108.4%
1994	56.2%	92.6%
1995	51.0%	76.7%

Energy Information Administration/Monthly Energy Review June 1996



Cuadro 4. Relación entre los precios de los combustibles.

III. METODOLOGÍA

III.1 INFORMACIÓN UTILIZADA

La información usada es la lista de precios de cada combustible: carbón, combustóleo y gas natural; lo que produce tres series de tiempo, cada una con 272 observaciones mensuales (lo registrado durante 22 años y 8 meses).

Los datos publicados hasta diciembre de 1995 son mensuales, desde enero 1973 al mes de agosto de 1995 y son los precios de los combustibles entregados en centrales eléctricas estadounidenses; son publicados por la "Energy Information Administration" que pertenece al Departamento de Energía (DOE) del gobierno de los Estados Unidos.

Las series estudiadas fueron modeladas con la información del período comprendido entre enero de 1973 a agosto de 1995 obtenida de la publicación antes mencionada. Posteriormente, se obtuvo vía Internet información para el período septiembre 1995 a agosto de 1996. Estos datos solamente fueron utilizados para comparar las predicciones de los modelos ajustados contra información real.

A nivel informativo se presentan, en el cuadro 5, los promedios anuales de los precios de los combustibles desde 1973 a 1995.

PRECIOS

Centavos de dólar por millón BTU

Año	CARBÓN	COMBUSTIBLE	GAS
1973	40.5	78.5	33.8
1974	70.9	189.0	48.2
1975	81.4	200.5	75.2
1976	84.8	195.2	103.4
1977	94.7	219.8	129.1
1978	111.6	212.5	142.2
1979	122.4	298.8	174.0
1980	135.1	426.7	219.0
1981	153.2	533.4	280.5
1982	164.7	483.2	337.6
1983	165.6	457.8	347.4
1984	166.4	481.2	360.3
1985	164.8	424.4	344.4
1986	157.9	240.1	235.1
1987	150.6	297.6	224.0
1988	146.6	240.5	226.3
1989	144.5	284.6	235.5
1990	145.5	331.9	232.1
1991	144.7	246.5	215.3
1992	141.2	247.5	232.8
1993	138.5	238.2	258.0
1994	135.5	240.9	223.0
1995	131.8	258.6	188.4

Energy Information Administration Monthly Energy Review June 1996

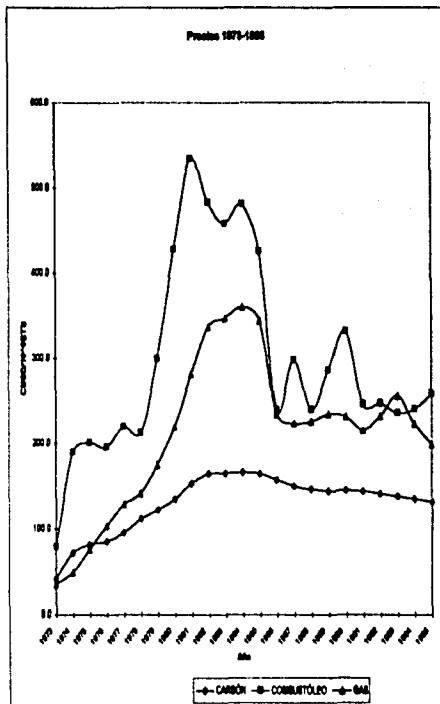
Notas

a Costos de los combustibles fósiles entregados en las plantas eléctricas públicas

b Índice base al 4.5 y 8.5 crudo

* Los datos de 1973-1982 están en las columnas mayores de 25 MW desde 1983 se reportan los costos mayores a 50 MW

* Poderes caloríficos: carbón= 25,038 10⁶ BTU/ton corto, combustible= 1,287 10⁶ BTU/cent, gas natural= 1,022 10⁶ BTU/10³ gal



Cuadro 5. Promedios anuales de los precios de los combustibles (1973- 1995)

Todos los datos originales de los precios de los tres combustibles se presentan en el anexo 1.

III.2 UTILIZACIÓN DE LA TEORÍA DE LAS SERIES DE TIEMPO PARA OBTENER UN MODELO ADECUADO PARA LOS PRECIOS DE COMBUSTIBLES

Se ajustaron modelos **ARIMA** para los datos originales de la serie de carbón y para los datos transformados por logaritmos naturales de las series de combustóleo y gas.

La diferenciación ayuda a eliminar la tendencia y el trabajar con los logaritmos de las series en vez de los datos originales es una transformación válida para eliminar la heteroscedasticidad, o sea **varianza no constante**.

Con los estimadores de autocorrelación (ACF), autocorrelación parcial (PACF) y autocorrelación inversa (IAF), se identificaron los posibles modelos.

Para la comparación entre modelos se consideraron los criterios de Akaike y de Schwartz, siendo el mejor modelo aquel que tenga un valor menor en ambos criterios. Véase Kendall (1990) y Chatfield (1991).

Al final, se determina si los residuales del modelo propuesto son ruido blanco (con la prueba Q, media igual a cero, varianza constante, etc.).

IV. ANÁLISIS DE LA SERIE DE TIEMPO DE PRECIOS DEL CARBÓN

IV. 1 ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO

Los datos originales de precios del carbón se muestran en la figura 3.

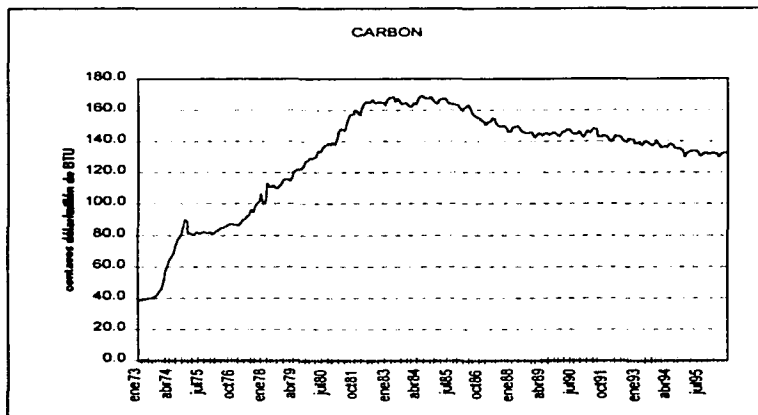


Figura 3. Gráfica de los datos de la serie original de precios del carbón.

Para poder analizar una serie aplicando un modelo ARIMA es indispensable que la serie sea estacionaria.

Para los datos del carbón, las primeras diferencias de los datos originales cumplen este prerrequisito, como se observa en la figura 4.

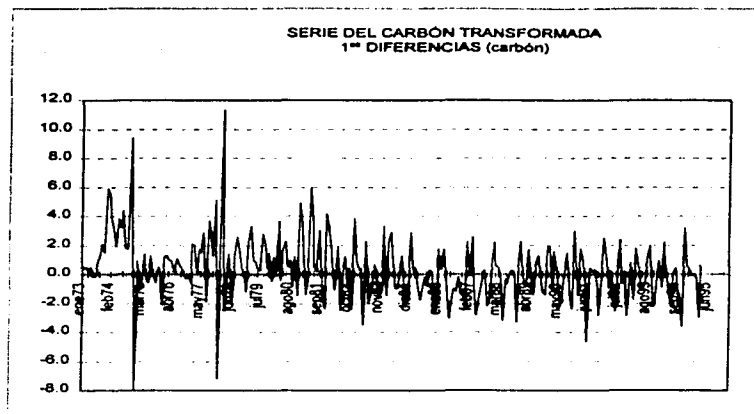


Figura 4. Gráfica de los datos de la serie estacionaria de precios del carbón.

Se intentó una segunda diferenciación de los datos originales, pero al observar que la línea de sus autocorrelaciones inversas decrece lentamente, indicio de sobrediferenciación, decidimos utilizar sólo las primeras diferencias.

Se realizaron las siguientes pruebas de estacionaridad para la serie transformada:

- a). Las autocorrelaciones de los datos diferenciados no decrecen suficientemente rápido.
- b). Prueba de Dickey-Fuller para detectar raíces unitarias. Se rechaza que las raíces del proceso autorregresivo, de la serie de precios del carbón, sean unitarias, ya que se compara $\hat{\tau} = -256.09602$ con la tabla de cuantiles para la prueba de Dickey Fuller del anexo 2, a un nivel de significancia del 1%.

En la figura 5, se presentan las gráficas de las autocorrelaciones simples, inversas y parciales, de las primeras diferencias de carbón.

Con la observación de los rezagos que sobrepasan las bandas de confianza al 95% en la gráfica de autocorrelación simple de los datos transformados se proponen los iniciales promedios móviles (q); de la gráfica de autocorrelación parcial de los datos transformados se proponen los correspondientes para la parte autorregresiva (p). De aquí se parte para la modelación utilizando los paquetes estadísticos SAS, SPLUS y RATS, cuyos códigos aparecen en el anexo 3.

Se realizan varias pruebas, en un proceso iterativo, agregando y desechando términos p y q, hasta que se obtiene un modelo donde todos los términos contenidos son significativos, los estimadores están poco correlacionados y la cantidad de varianza explicada, considerando los criterios de Akaike y Schwartz, parece optimizar el criterio de parsimonia. Los valores de t de los estimadores del modelo resultante se presentan en el cuadro 6.

Parámetro	Estimador	Relación T	Rezago
PM1.1	-0.16940	-3.00	3
PM1.2	-0.13931	-2.39	6
PM1.3	-0.13422	-2.34	8
PM1.4	0.15896	2.73	14
PM1.5	-0.20767	-3.49	40
PM1.6	0.22170	3.76	41
PM1.7	0.18410	3.03	52
AR1.1	0.17581	2.98	5
AR1.2	0.15016	2.52	7
AR1.3	0.22100	3.54	12
AR1.4	0.19852	3.22	36
AR1.5	-0.11621	-1.92	38

Cuadro 6. Estimadores obtenidos para el modelo de carbón.

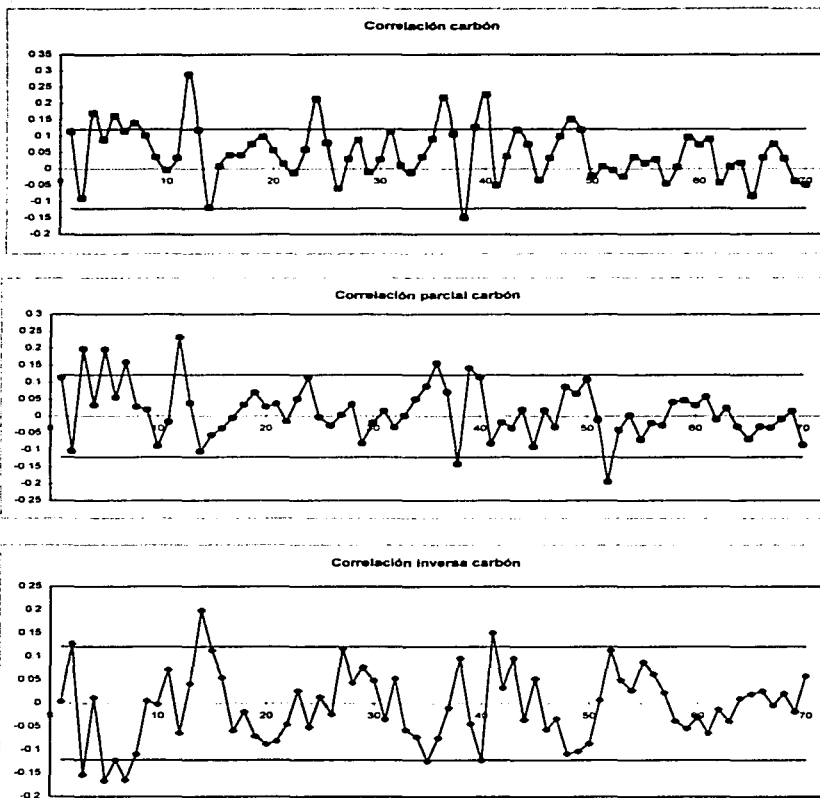


Figura 5. Correlación simple, parcial e inversa de la serie diferenciada del carbón.

El modelo resultante para la serie de carbón, se presenta en el cuadro 7. Observar que los $\{Y_t\}$ son los precios del carbón y los $\{e_t\}$ es un proceso puramente aleatorio, a t rezagos.

$$Y_t = 0.17581Y_{t-5} + 0.15016Y_{t-7} + 0.22100Y_{t-12} + 0.19852Y_{t-36} - 0.11621Y_{t-36} - 0.1694e_{t-3} \\ - 0.13931e_{t-8} - 0.13422e_{t-8} + 0.15896e_{t-14} - 0.20767e_{t-40} + 0.22170 e_{t-41} + 0.18410e_{t-52}$$

Cuadro 7. Modelo resultante para los precios del carbón.

Los valores de los criterios Akaike y Schwartz fueron los menores, en el modelo elegido: AIC= 1103.56 y SBC= 1146.79

En el cuadro 8, se muestra la matriz de varianza-covarianza de los parámetros del modelo, se observa que los parámetros elegidos no presentan problemas de dependencia al ser estimados conjuntamente.

Parámetro	PM1,1	PM1,2	PM1,3	PM1,4	PM1,5	PM1,6	PM1,7	AR1,1	AR1,2	AR1,3	AR1,4	AR1,5
PM1,1	1.00											
PM1,2	0.16	1.00										
PM1,3	-0.03	0.16	1.00									
PM1,4	0.00	0.18	0.12	1.00								
PM1,5	-0.11	-0.04	0.02	0.00	1.00							
PM1,6	-0.06	-0.03	-0.02	0.02	-0.03	1.00						
PM1,7	-0.06	-0.00	0.13	-0.04	0.21	-0.03	1.00					
AR1,1	-0.04	0.07	0.01	0.01	0.11	0.10	0.10	1.00				
AR1,2	0.02	0.14	0.10	0.11	0.01	0.03	-0.01	0.10	1.00			
AR1,3	0.01	-0.00	-0.03	-0.14	0.00	-0.13	0.00	-0.17	-0.20	1.00		
AR1,4	0.00	-0.01	0.03	-0.01	-0.04	0.15	-0.00	-0.00	0.02	-0.22	1.00	
AR1,5	0.10	-0.02	-0.03	0.00	-0.11	0.00	-0.07	-0.03	-0.12	-0.01	0.00	1.00

Cuadro 8. Matriz de varianza-covarianza de los parámetros del modelo para carbón.

La figura 6 presenta las gráficas de las autocorrelaciones simple, inversa y parcial de los residuales.

Además para probar que son ruido blanco, se aplican a los residuales, las siguientes pruebas:

- a) Las autocorrelaciones de los residuales no salen de las bandas de confianza al 95% de confianza.
- b) En el cuadro 9, se muestran los valores de la Q de Ljung y Box, que prueban si se tiene una serie puramente aleatoria, a partir de 18 rezagos tienen un valor de probabilidad mayor de 0.05, por lo que a ese nivel de confianza se considera ruido blanco.

Al rezago	Ji cuadrada	G.L.	Prob.
6	0.00	0	0.000
12	0.00	0	0.00
18	7.75	6	0.257
24	11.27	12	0.506
30	16.02	18	0.591
36	20.00	24	0.697
42	24.37	30	0.755
48	27.51	36	0.844
54	34.30	42	0.795
60	38.74	48	0.827
66	42.89	54	0.861

Cuadro 9. Valores de la Q de Ljung y Box para el modelo para carbón.

- c) Se prueba que los residuales son aleatorios con la prueba de puntos de cambio, prueba no paramétrica basada en los rangos de crestas y valles, donde si $|W| < 2$, la serie es aleatoria. Véase Kendall (1990). En este caso el valor de la estadística fue de $W = -1.26$.

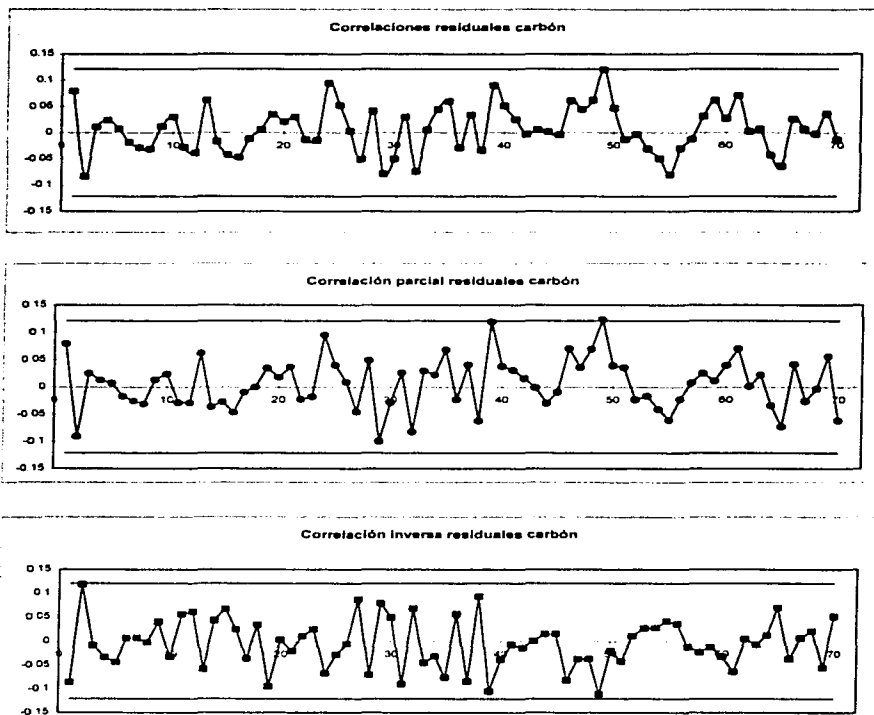


Figura 6. Correlación simple, parcial e inversa de los residuales del modelo para carbón.

d) Se prueba que los residuales no tienen tendencia creciente, con la prueba no paramétrica de puntos crecientes, si $|T| < 2$, la serie no tiene tendencia creciente. Véase Kendall (1990). En este caso el valor de la estadística fue $T = -1.789$.

e) Con la prueba para periodicidades, propuesta por Friedman. Véase Kendall (1990). Al obtenerse para la estadística de prueba $T = 26.51$, se cree que podría existir evidencia de que el ajuste tiende a sobrestimar los valores reales de noviembre, por lo que se puede rechazar la hipótesis de que no existe periodicidad anual, con $\Pr(\chi^2 > 19.68) = 0.95$, es decir existe estacionalidad. Aunque si cambia el nivel de aceptación $\Pr(\chi^2 > 26.75) = 0.995$ no podríamos rechazar dicha hipótesis. Por otra parte, esta prueba tiene bajo poder (pues al estar basada en rangos no considera la magnitud de las diferencias, y al observar los valores de los meses de noviembre, algunas veces el modelo sobrestima los datos por una cantidad pequeña y otras los subestima por una cantidad mayor), y no resulta muy evidente que exista estacionalidad.

IV.2 GRÁFICAS DEL MODELO AJUSTADO CONTRA LOS DATOS ORIGINALES Y PRONÓSTICOS DEL MISMO

La figura 7 contiene a los datos reales y a los estimados por el modelo. Como se puede ver el ajuste es bueno.

La figura 8 presenta los residuales del modelo para carbón con bandas de confianza del 95%. Observese que la mayoría de las observaciones caen dentro de dicha banda.

Y la figura 9 muestra los doce datos pronosticados por el modelo y sus bandas de confianza, con doce datos reales (septiembre 1995 a agosto de 1996) obtenidos posteriormente al ajuste del modelo, publicados por el DOE en enero de 1997. Puede observarse que todos los datos reales caen dentro de las bandas.

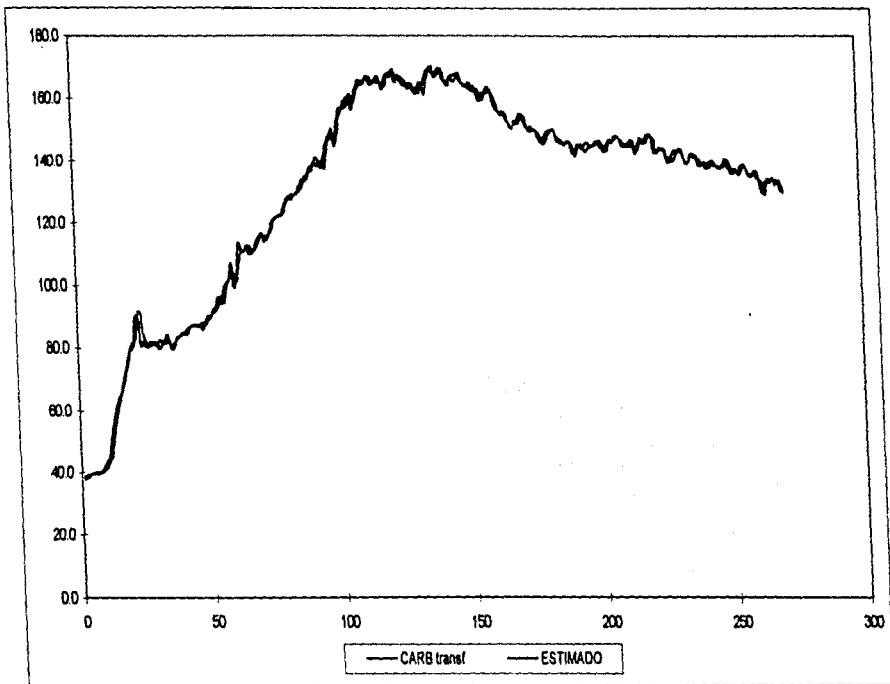


Figura 7. Gráfica de la serie transformada del carbón y los datos estimados por el modelo.

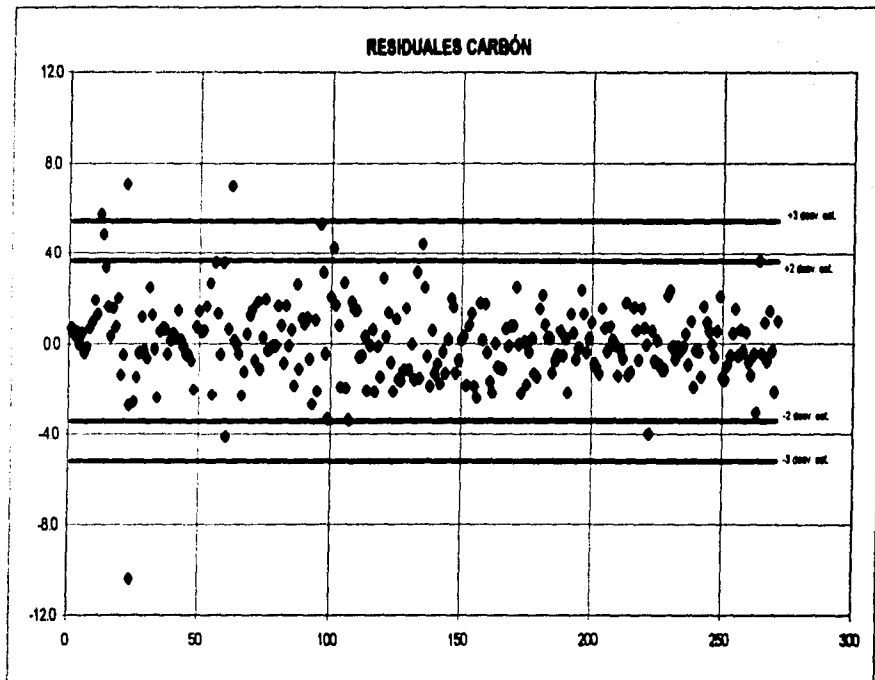


Figura 8. Gráfica de los residuos del modelo para carbón con bandas de confianza.

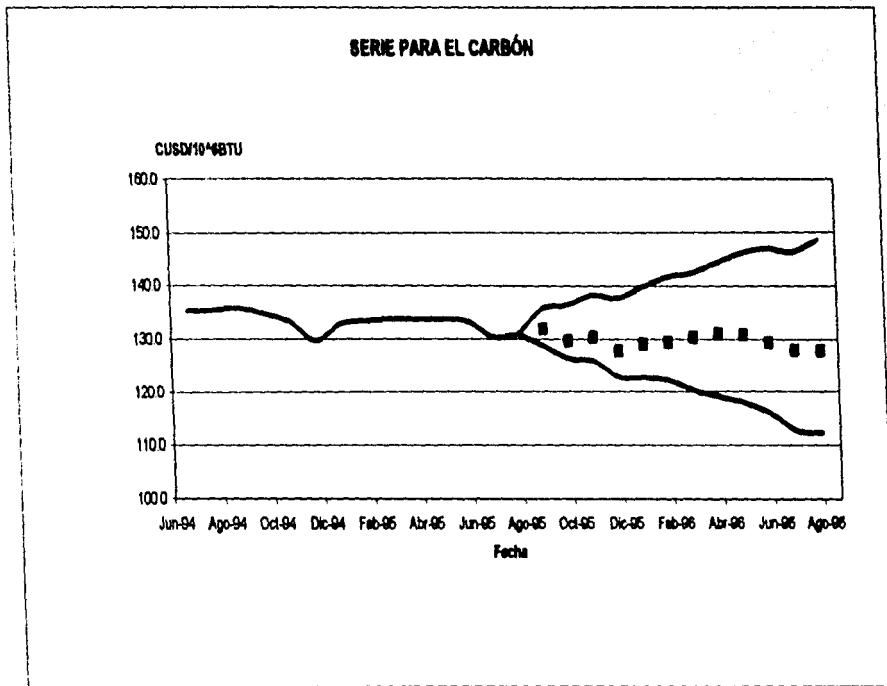


Figura 9. Gráfica de los pronósticos con las bandas de confianza al 95%, con datos reales del carbón.

V. ANÁLISIS DE LA SERIE DE TIEMPO DE PRECIOS DEL COMBUSTÓLEO

V. 1 ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO

Los datos originales de precios del combustóleo se muestran en la figura 10.

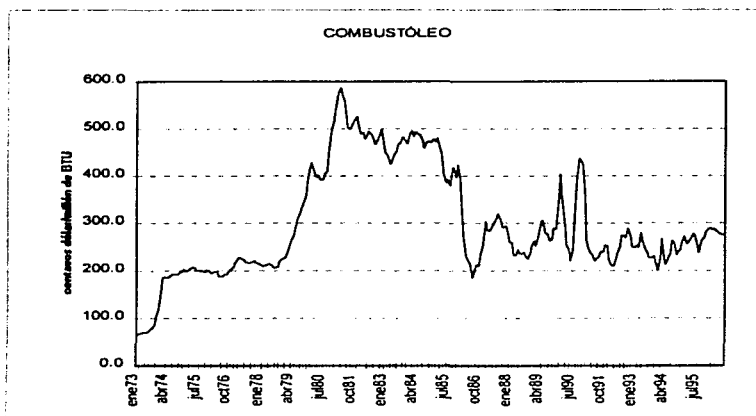


Figura 10. Gráfica de los datos de la serie original de precios del combustóleo.

Para obtener una serie estacionaria, se utiliza el logaritmo natural de los datos originales, y las primeras diferencias de éstos ($d=1$) en el modelo ARIMA. El logaritmo es una transformación que en este caso funciona bien para eliminar la heteroscedasticidad.

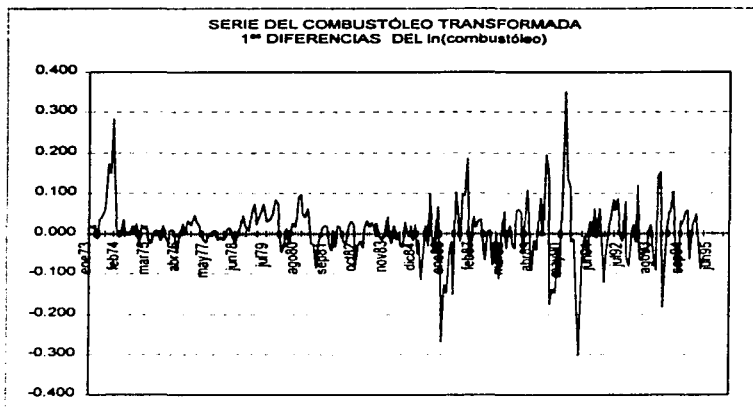


Figura 11. Gráfica de los datos de la serie estacionaria de precios del combustible.

Se intentó una segunda diferenciación de los logaritmos naturales, pero al observar que la línea de sus autocorrelaciones inversas decrece lentamente, indicio de sobrediferenciación, decidimos utilizar sólo las primeras diferencias.

Se realizan las siguientes pruebas de estacionaridad para la serie transformada:

- a). Las autocorrelaciones de los datos diferenciados, no decrecen suficientemente rápido.

b). Prueba de Dickey-Fuller para detectar raíces unitarias. Se rechaza que las raíces del proceso autorregresivo, de la serie transformada de precios del combustóleo, sean unitarias, ya que se compara $\hat{\tau} = -248.73928$ con la tabla de cuantiles para la prueba de Dickey Fuller del anexo 2, a un nivel de significancia del 1%.

En la figura 12, se presentan las gráficas de las autocorrelaciones simple, inversa y parcial de la serie transformada para el combustóleo.

Con la observación de los rezagos que sobrepasan las bandas de confianza al 95% en la gráfica de autocorrelación simple de los datos transformados se proponen los iniciales promedios móviles (q); de la gráfica de autocorrelación parcial de los datos transformados se proponen los correspondientes para la parte autorregresiva (p). De aquí se parte para la modelación utilizando los paquetes estadísticos SAS, SPLUS y RATS, cuyos códigos aparecen en el anexo 3.

Se realizan varias pruebas, en un proceso iterativo, agregando y desechando términos p y q, hasta que se obtiene un modelo donde todos los términos contenidos son significativos, los estimadores están poco correlacionados y la cantidad de varianza explicada, considerando los criterios de Akaike y Schwartz, parece optimizar el criterio de parsimonia. Los valores de t de los estimadores del modelo resultante se presentan en el cuadro 10.

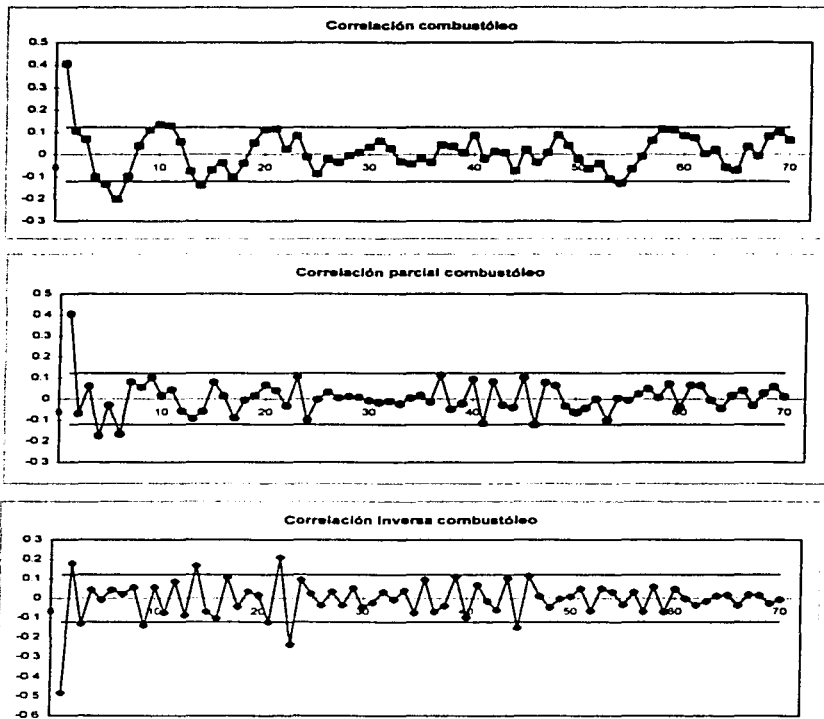


Figura 12. Correlación simple, parcial e inversa de la serie transformada del combustóleo.

Parámetro	Estimador	Relación T	Rezagos
PM1,1	-0.46368	-8.97	1
PM1,2	-0.09264	-1.79	9
PM1,3	0.09063	1.73	14
PM1,4	0.15711	3.01	17
PM1,5	0.20584	3.81	22
AR1,1	-0.15200	-2.51	6
AR1,2	0.16377	2.58	21

Cuadro 10. Estimadores obtenidos para el modelo de combustóleo.

El modelo resultante para la serie de combustóleo, se presenta en el cuadro 11. Observar que los $\{Y_t\}$ son los precios del combustóleo y los $\{e_t\}$ es un proceso puramente aleatorio, a t rezagos.

$$Y_t = -0.15200Y_{t-6} + 0.16377Y_{t-21} - 0.46368e_{t-1} - 0.09264e_{t-9} + 0.09063e_{t-14} + 0.15711e_{t-17} + 0.20584e_{t-22}$$

Cuadro 11. Modelo resultante para los precios del combustóleo.

Los valores de los criterios Akaike y Schwartz fueron los menores, en el modelo elegido: AIC= -745.94 y SBC= -720.72.

En el cuadro 12, se muestra la matriz de varianza-covarianza de los parámetros del modelo; se observa que, al ser estimados conjuntamente, los parámetros elegidos no presentan problemas de dependencia.

Parámetro	PM1,1	PM1,2	PM1,3	PM1,4	PM1,5	AR1,1	AR1,2
PM1,1	1.00						
PM1,2	-0.08	1.00					
PM1,3	0.12	0.00	1.00				
PM1,4	-0.08	-0.08	0.06	1.00			
PM1,5	0.12	0.13	-0.10	0.01	1.00		
AR1,1	0.01	0.06	-0.03	0.03	0.07	1.00	
AR1,2	0.00	0.00	-0.01	-0.07	0.00	0.06	1.00

Cuadro 12. Matriz de varianza-covarianza de los parámetros del modelo para combustóleo.

Mientras que la figura 13, presenta las gráficas de las autocorrelaciones simple, inversa y parcial de los residuales.

Para determinar si los residuales son "ruido blanco", les aplicamos las siguientes pruebas:

- a) Las autocorrelaciones de los residuales no salen de las bandas de confianza al 95% de confianza.
- b) En el cuadro 13, se muestran los valores de la Q de Ljung y Box, que prueban si se tiene una serie puramente aleatoria, a partir de 12 rezagos tienen un valor de probabilidad mayor de 0.05, por lo que, a ese nivel de confianza, los residuales son ruido blanco.

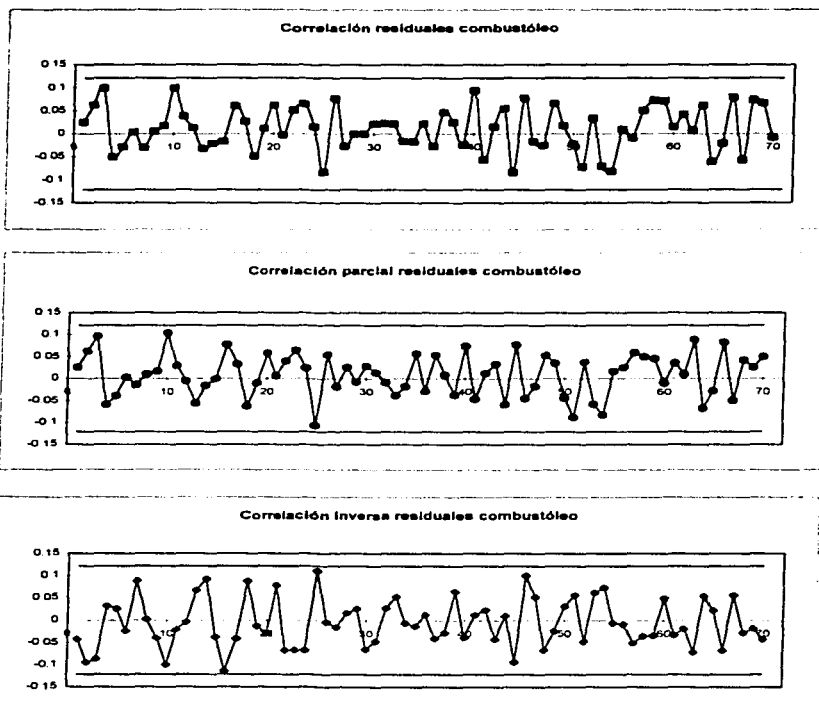


Figura 13. Correlación simple, parcial e inversa de los residuos del modelo para combustóleo.

Al rezago	Ji cuadrada	G.L.	Prob.
6	0.00	0	0.000
12	8.57	5	0.128
18	11.03	11	0.441
24	14.37	17	0.641
30	18.63	23	0.722
36	19.50	29	0.908
42	24.52	35	0.907
48	31.52	41	0.857
54	37.86	47	0.827
60	42.57	53	0.847
66	48.34	59	0.838

Cuadro 13. Valores de la Q de Ljung y Box para el modelo para combustóleo.

- c) Se prueba que los residuales son aleatorios con la prueba de puntos de cambio, prueba no paramétrica basada en los rangos de crestas y valles, donde si $|W| < 2$, la serie es aleatoria. Véase Kendall (1990). Para estos residuales el valor de la estadística fue de $W=1.062$.
- d) Se prueba que los residuales no tienen tendencia creciente con la prueba no paramétrica de puntos crecientes, si $|T| < 2$, la serie no tiene tendencia creciente. Véase Kendall (1990). Para estos residuales el valor de la estadística fue $T=-0.52607$.
- e) Con la prueba para periodicidades, propuesta por Friedman. Véase Kendall (1990). Al obtenerse para la estadística de prueba un valor de $T= 9.73$, no existe evidencia para rechazar la hipótesis de que no existe periodicidad anual, con $\Pr(\chi^2 > 19.68)=0.95$, es decir no existe estacionalidad.

V.2 GRÁFICAS DEL MODELO AJUSTADO CONTRA LOS DATOS ORIGINALES Y PRONÓSTICOS DEL MISMO

La figura 14, contiene a los datos reales y a los estimados por el modelo. Se puede observar que el ajuste es bueno.

La figura 15, presenta los residuales del modelo para combustóleo con bandas de confianza del 95%. Obsérvese que la mayoría de las observaciones caen dentro de dicha banda.

Y la figura 16, muestra a los doce datos pronosticados por el modelo y sus bandas de confianza, con doce datos reales (septiembre 1995 a agosto de 1996), publicados por el DOE en enero de 1997. Todos los datos reales se encuentran dentro de las bandas.

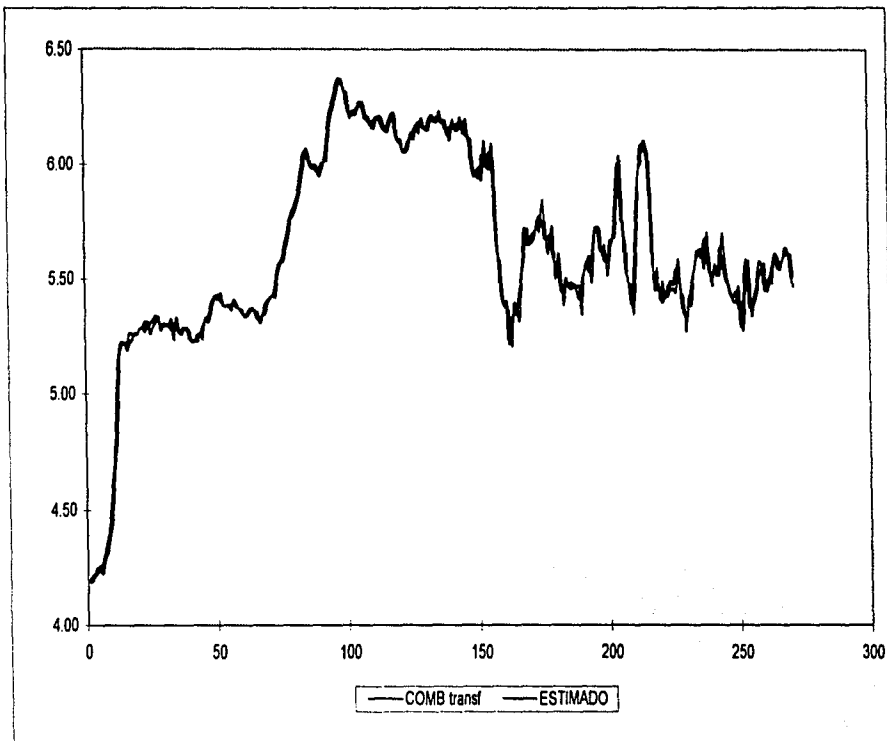


Figura 14. Gráfica de la serie transformada del combustóleo y los datos estimados por el modelo.

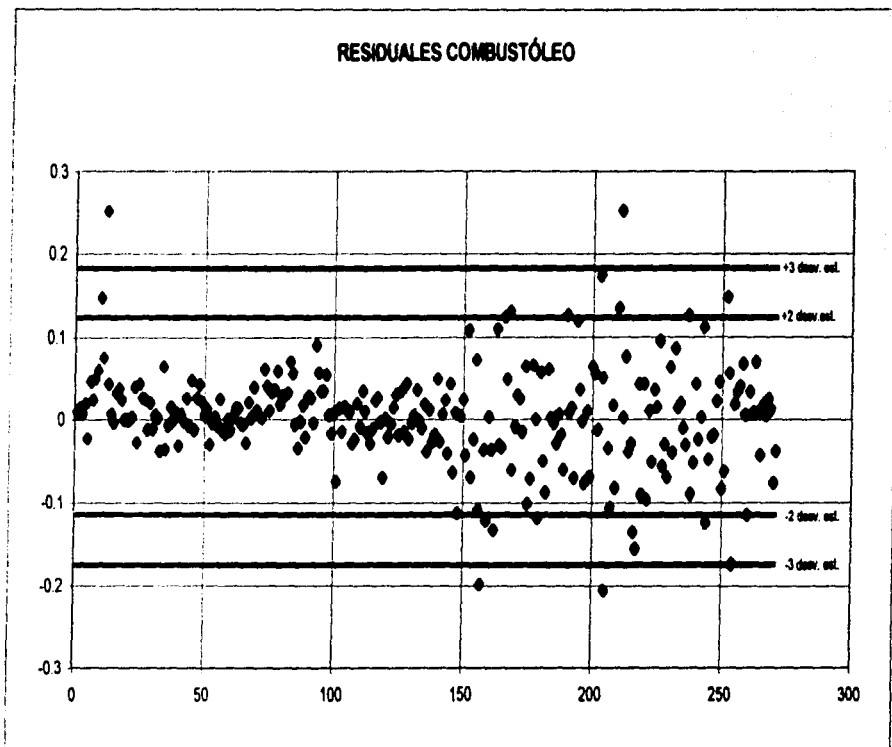


Figura 15. Gráfica de los residuales del modelo para combustóleo con bandas de confianza.

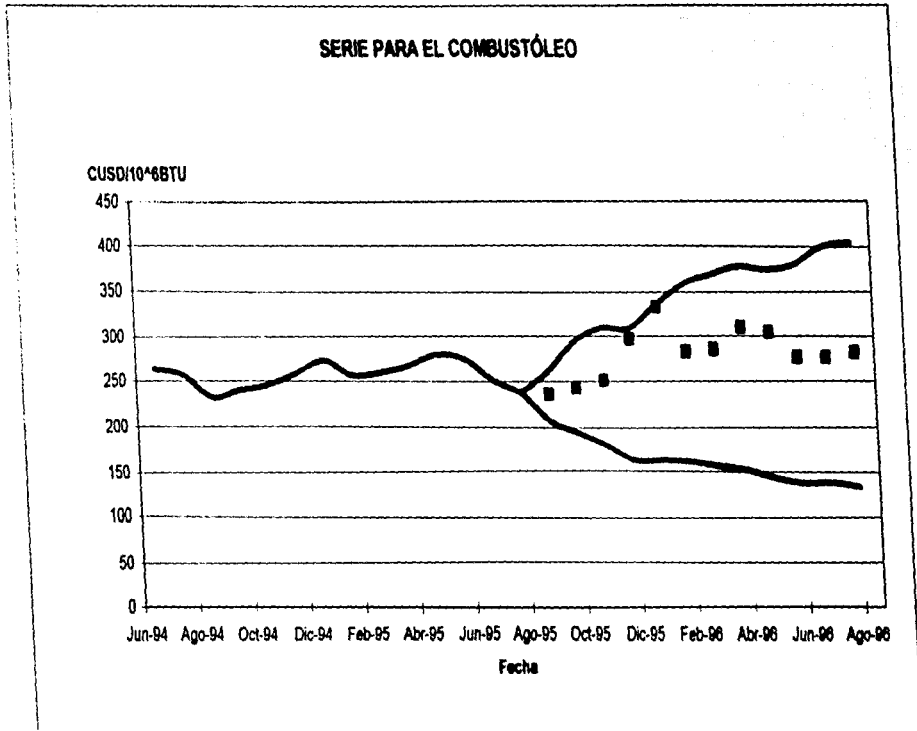


Figura 18. Gráfica de los pronósticos con las bandas de confianza al 95%, con datos reales del combustóleo.

VI. ANÁLISIS DE LA SERIE DE TIEMPO DE PRECIOS DEL GAS NATURAL

VI. 1 ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO

Los datos originales de precios del gas natural se muestran en la figura 17.

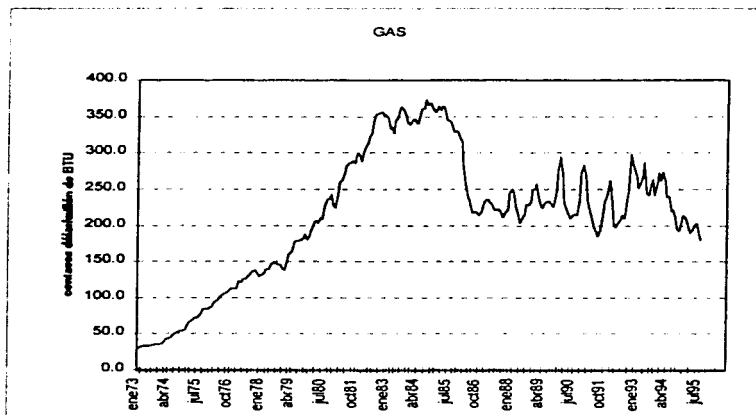


Figura 17. Gráfica de los datos de la serie original de precios del gas natural.

Para obtener una serie estacionaria, se transformaron los datos originales de la siguiente forma: se aplicó dos veces logaritmo natural, se obtuvieron las primeras diferencias y posteriormente se removió un componente lineal. El aplicar estas transformaciones resolvió parcialmente el problema de heteroscedasticidad de esta serie, que es mayor que el de las series de los dos combustibles anteriores.

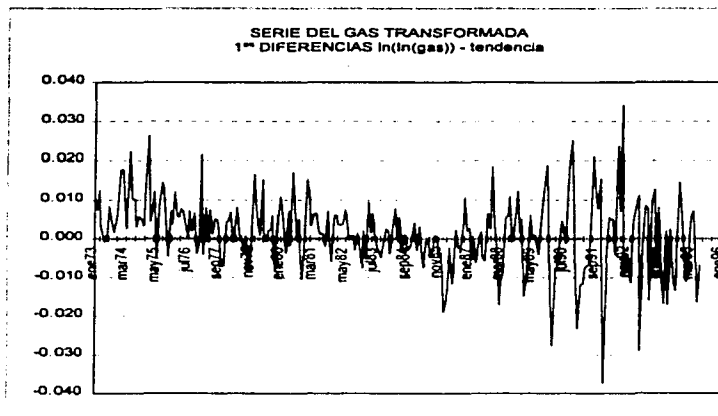


Figura 18. Gráfica de los datos de la serie estacionaria de precios del gas natural.

Se intentó una segunda diferenciación de los dobles logaritmos naturales, pero al observar que la línea de sus autocorrelaciones inversas decrece lentamente (indicio de sobrediferenciación), se utilizaron las primeras diferencias.

Se realizan las siguientes pruebas de estacionaridad para la serie transformada:

- a). Las autocorrelaciones de los datos diferenciados, no decrecen suficientemente rápido.
- b). Prueba de Dickey-Fuller para detectar raíces unitarias. Se rechaza que las raíces del proceso autorregresivo, de la serie transformada de precios del gas natural, sean unitarias. Ya que compara $\hat{\tau} = -237.54$ con la tabla de cuantiles para la prueba de Dickey Fuller del anexo 2, a un nivel de significancia del 1%.

En la figura 19, se presentan las autocorrelaciones simple, inversa y parcial de los dobles logaritmos naturales de los precios del gas natural.

Con la observación de los rezagos que sobrepasan las bandas de confianza al 95% en la gráfica de autocorrelación simple de los datos transformados se proponen los iniciales promedios móviles (q); de la gráfica de autocorrelación parcial de los datos transformados se proponen los correspondientes para la parte autorregresiva (p). De aquí se parte para la modelación utilizando los paquetes estadísticos SAS, SPLUS y RATS, cuyos códigos aparecen en el anexo 3.

Se realizan varios intentos, en un proceso iterativo, agregando y desechando términos p y q, hasta que se obtiene un modelo donde todos los términos contenidos son significativos, los estimadores de los parámetros están poco correlacionados y la cantidad de varianza explicada, y el número de parámetros se minimizan según los criterios de Akaike y Schwartz. Los valores de t de los estimadores del modelo resultante se presentan en el cuadro 14.

Parámetro	Estimador	Relación T	Rezago
PM1.1	0.14129	2.27	8
PM1.2	0.19683	2.65	42
PM1.3	0.12102	1.59	43
AR1.1	0.18260	3.10	1
AR1.2	0.29662	-4.82	11
AR1.3	0.18993	3.03	12
AR1.4	0.10717	1.82	16
AR1.5	-0.15718	-2.56	22

Cuadro 14. Estimadores obtenidos para el modelo de gas natural.

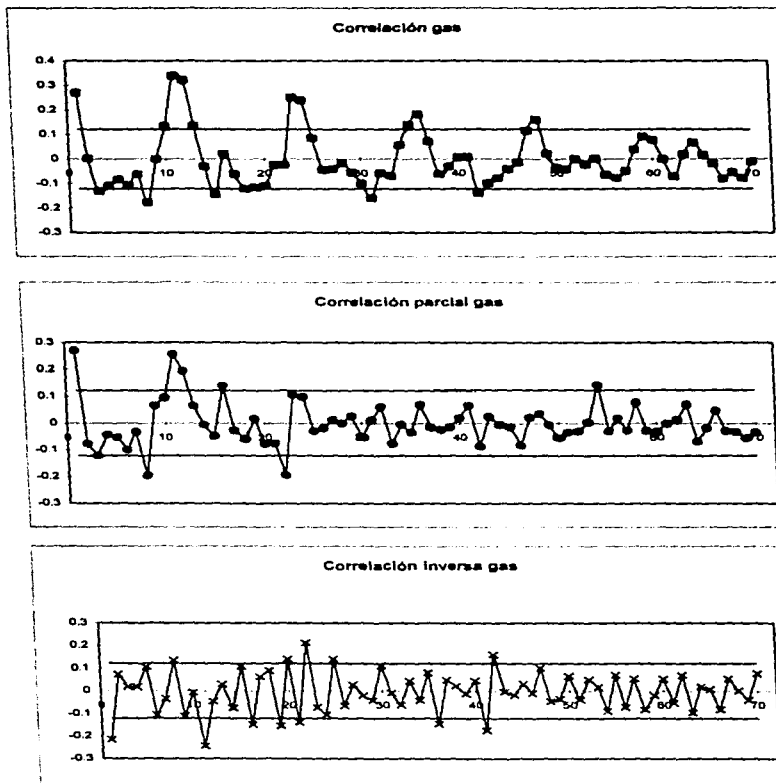


Figura 19. Correlación simple, parcial e inversa de la serie transformada del gas natural.

El modelo resultante para la serie de gas natural, se presenta en el cuadro 15. Observar que los $\{Y_t\}$ son los precios del gas natural y los $\{e_t\}$ es un proceso puramente aleatorio, a t rezagos.

$$Y_t = 0.18260Y_{t-1} + 0.29662Y_{t-11} + 0.18993Y_{t-12} + 0.10717Y_{t-16} - 0.15718Y_{t-22} \\ + 0.14129e_{t-9} + 0.19683e_{t-42} + 0.12102e_{t-43}$$

Cuadro 15. Modelo resultante para los precios del gas natural.

Los valores de los criterios Akaike y Schwartz fueron los menores, en el modelo elegido, y fueron: AIC= -1870.43 y SBC= -1841.62.

En el cuadro 16, se muestra la matriz de varianza-covarianza de los parámetros del modelo; se observa que, al ser estimados conjuntamente, los parámetros elegidos no presentan problema de dependencia.

Parámetro	PM1,1	PM1,2	PM1,3	AR1,1	AR1,2	AR1,3	AR1,4	AR1,5
PM1,1	1.00	-0.049	-0.036	0.050	-0.085	-0.117	0.149	0.002
PM1,2		1.00	-0.175	0.099	-0.136	-0.028	-0.041	0.016
PM1,3			1.00	-0.027	0.016	-0.162	-0.026	0.015
AR1,1				1.00	-0.074	-0.280	0.119	0.064
AR1,2					1.00	-0.176	0.012	-0.274
AR1,3						1.00	0.025	-0.072
AR1,4							1.00	0.063
AR1,5								1.00

Cuadro 16. Matriz de varianza-covarianza de los parámetros del modelo para gas natural.

Mientras que la figura 20, presenta las gráficas de las autocorrelaciones simple, inversa y parcial de los residuales.

Para determinar si los residuales son "ruido blanco", les aplicamos las siguientes pruebas:

- a) Las autocorrelaciones de los residuales no salen de las bandas de confianza del 95%.
- b) En el cuadro 17 se muestran los valores de la Q de Ljung y Box, que prueban si se tiene una serie puramente aleatoria, a partir de 18 rezagos tienen un valor de probabilidad mayor de 0.05, por lo que a ese nivel de confianza se considera ruido blanco.

Al rezago	Ji cuadrada	G.L.	Prob.
6	0.00	0	0.000
12	12.76	4	0.013
18	17.34	10	0.067
24	25.84	16	0.056
30	29.06	22	0.143
36	33.34	28	0.223
42	39.09	34	0.252
48	43.21	40	0.336
54	46.46	46	0.454
60	49.16	52	0.586
66	56.74	58	0.522

Cuadro 17. Valores de la Q de Ljung y Box para el modelo para gas natural.

- c) Se prueba que los residuales son aleatorios con la prueba de puntos de cambio, prueba no paramétrica basada en los rangos de crestas y valles, donde si $|W| < 2$, la serie es aleatoria. Véase Kendall (1990). Para los residuales de este modelo, el valor de la estadística fue $W=0.34$.

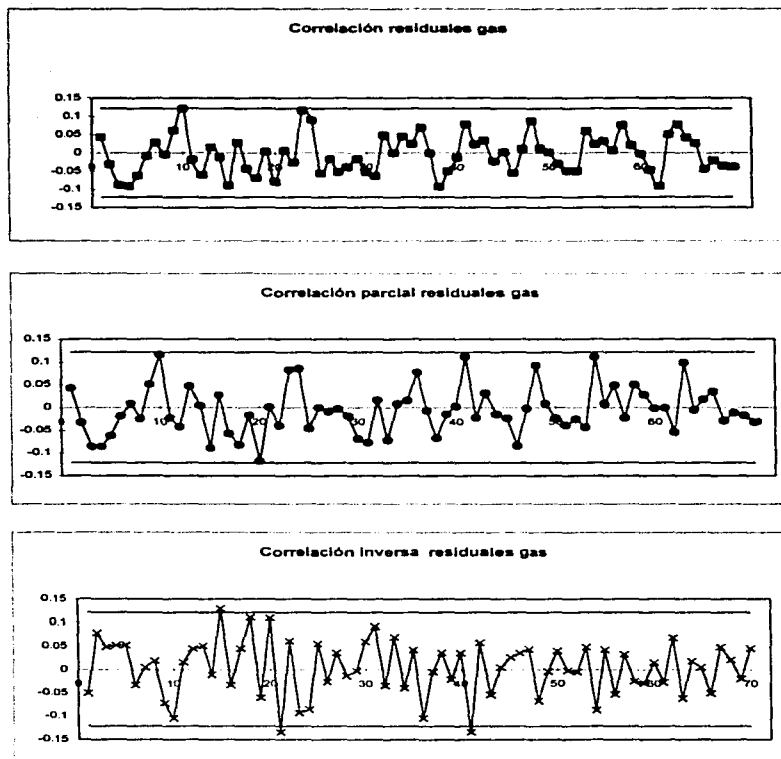


Figura 20 Correlación simple, parcial e inversa de los residuales del modelo para gas natural.

d) Se prueba que los residuales no tienen tendencia creciente con la prueba no paramétrica de puntos crecientes, si $|T| < 2$ la serie no tiene tendencia creciente. Véase Kendall (1990). Para estos residuales el valor de la estadística fue $T=0.316$.

e) Con la prueba para periodicidades propuesta por Friedman. Véase Kendall (1990). Al obtenerse para la estadística de prueba un valor de $T= 6.81$, no existe evidencia para rechazar la hipótesis de que no existe periodicidad anual, con $\Pr(\chi^2 > 19.68)=0.95$, es decir no existe estacionalidad.

VI.2 GRÁFICAS DEL MODELO AJUSTADO CONTRA LOS DATOS ORIGINALES Y PRONÓSTICOS DEL MISMO

La figura 21 contiene a los datos originales y a los estimados por el modelo. Se observa que el ajuste es malo, sobrestima y subestima a las observaciones en cantidades importantes; no sigue el verdadero comportamiento de la serie transformada del gas.

La figura 22 presenta los residuales del modelo para gas natural con bandas de confianza del 95%. La mayoría de las observaciones caen dentro de esa banda.

Y la figura 23, muestra a los doce datos pronosticados por el modelo y sus bandas de confianza, con doce datos reales (septiembre 1995 a agosto de 1996), publicados por el DOE en enero de 1997. Se observa que sólo cinco de los doce datos reales caen dentro de las bandas. Lo que significa que el modelo ajustado es inapropiado para pronosticar.

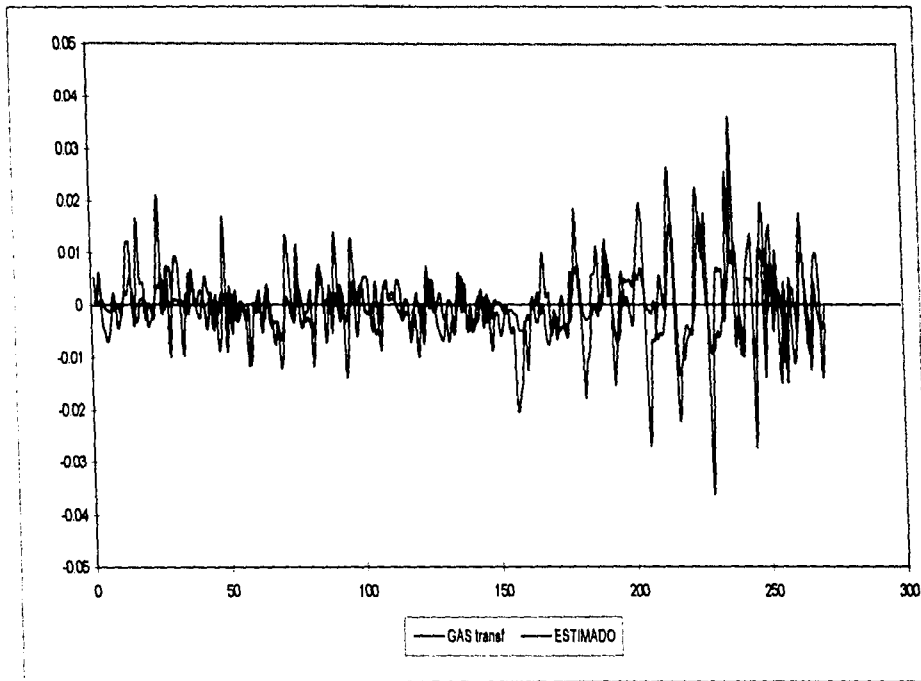


Figura 21. Gráfica de la serie transformada del gas natural y los datos estimados por el modelo.

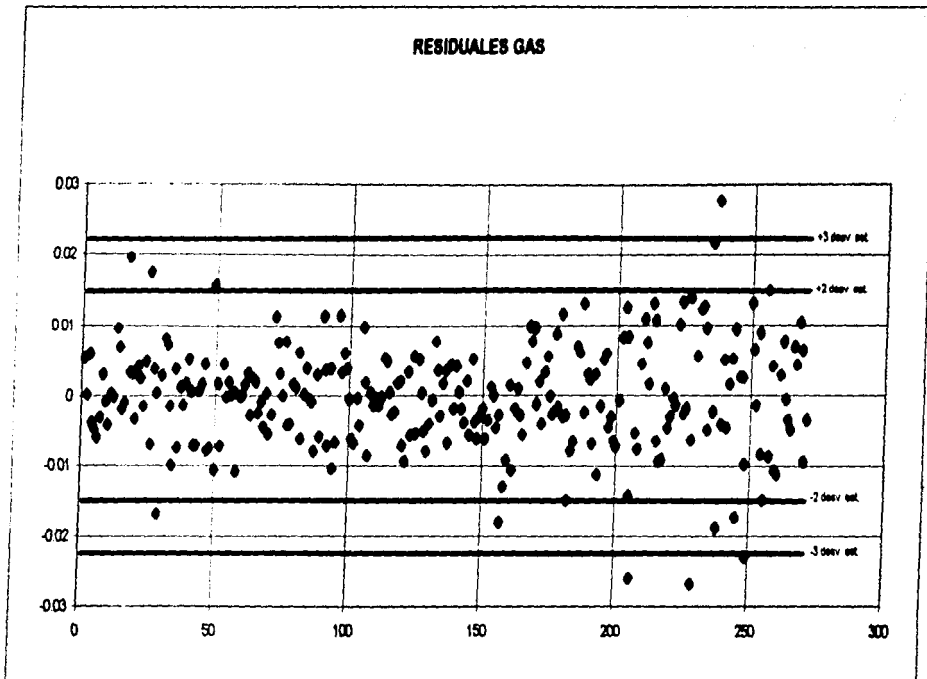


Figura 22. Gráfica de los residuales del modelo para gas natural con bandas de confianza.

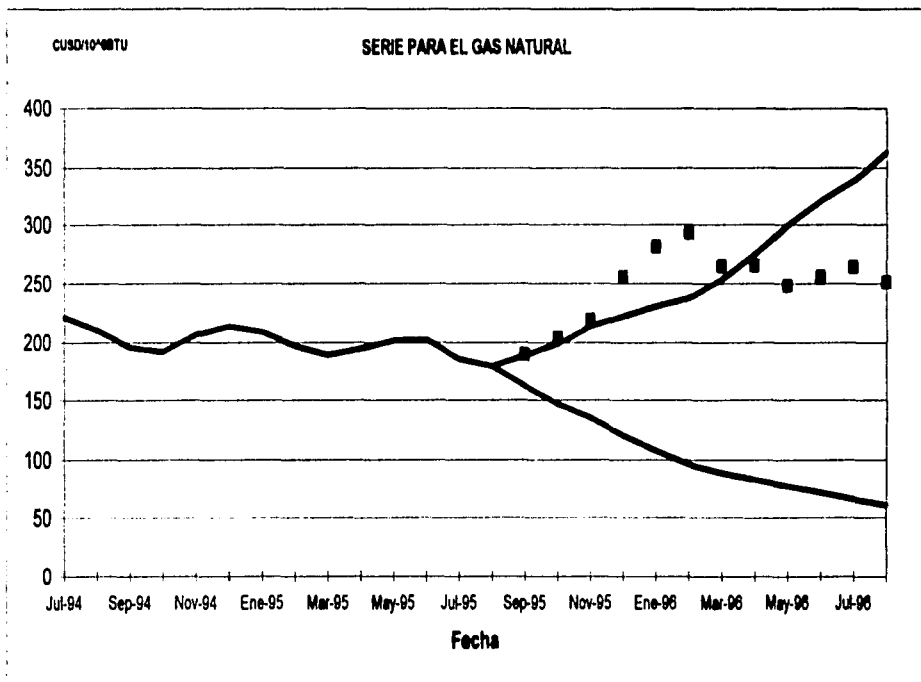


Figura 23. Gráfica de los pronósticos con las bandas de confianza al 95%, con datos reales del gas natural.

VII. CONCLUSIONES

Se observa que los modelos ARIMA fueron adecuados para la descripción y pronóstico en los casos del carbón y el combustóleo:

La serie del carbón tenía una volatilidad baja y es suave, sus primeras diferencias fueron estacionarias y el modelo resultante fue un ARIMA (38,1,52) con 12 parámetros estimados. Los residuales fueron pequeños (SCR= 590.25 y $R^2=0.9945$). Al comparar los doce datos reales, todos caen dentro de las bandas de confianza estimadas.

La serie del combustóleo presenta varianza mayor a la de la serie del carbón y se observa que la varianza crece con el tiempo, al aplicar el logaritmo natural a la serie original se logra estabilizar la varianza, por lo que se trabajó con esta serie transformada. La primera diferenciación de la serie de los logaritmos ya es estacionaria. El modelo ajustado fue un ARIMA (21,1,22) con siete parámetros estimados. Los residuales fueron buenos (SCR= 0.8454 y $R^2=0.969155$). Al comparar los doce datos reales, todos caen dentro de las bandas de confianza estimadas.

La serie del gas presentó mayor problema de heteroscedasticidad, pues la varianza cambia en diferentes etapas de la serie. Aunque se intentó estabilizar aplicando algunas transformaciones, siendo la mejor el logaritmo natural del logaritmo natural de los datos originales, el problema no se resolvió

completamente. Es por eso que la aplicación de un modelo ARIMA no parece ser apropiada para esta serie de tiempo, la mejor alternativa sería usar un modelo GARCH (modelos autorregresivos condicionalmente heteroscedásticos generalizados). Como se puede observar en la figura 23, siete de los doce datos reales salen de las bandas de confianza pronosticadas, lo cual probablemente no se debe a que el comportamiento intrínseco de la serie haya cambiado, sino que el modelo ajustado es inapropiado. En la figura 21 se observa que la línea del modelo ajustado deja de captar mucha de la variación de la serie transformada. Los modelos ARIMA deben ser aplicados en modelos estacionarios (homoscedásticos) y la serie del gas no lo es, ni lo son sus transformaciones.

VII. 1 ALCANCES DE LAS PROYECCIONES DEL ESTUDIO (PRONÓSTICO A CORTO PLAZO)

Una limitante de los modelos ARIMA es que sus predicciones sólo son buenas a corto plazo, pues son de memoria corta; en este trabajo se consideró adecuado un año de predicciones con datos mensuales.

Los alcances se ven limitados por dos razones, la primera es que en todos los modelos las varianzas de las estimaciones se hacen cada vez más grandes a medida que se pronostican períodos más alejados, y la segunda es que en los modelos ARIMA las predicciones decrecen exponencialmente a la media por lo que no son útiles para hacer predicciones a largo plazo.

Por otra parte, existen modelos **ARFIMA** que se utilizan cuando las series cronológicas tienen memoria larga (teoría iniciada por Hurst, que aplicó al estudio del escurrimiento medio anual del río Nilo); la peculiaridad de los modelos **ARFIMA(p,d,q)** es que el término diferencia "d" no es entero, lo que significa que el modelo resultante debe desarrollarse por aproximaciones matemáticas.

En este trabajo estos modelos no fueron utilizados, pero sería una interesante extensión probar si las series de los precios de los combustibles tienen memoria larga y, si resulta afirmativo, utilizar los modelos **ARFIMA**.

Por lo tanto, las posibles extensiones de este estudio serían:

- a).- Usar modelos **GARCH**. Véase Enders (1995) y Mills (1993).
- b).- Usar modelos **ARFIMA**. Véase Beran (1994).
- c).- En vez de estudiar las tres series por separado, usar modelos multivariados, en este caso con las tres series como un vector **VAR(i)**, pero crece el número de parámetros a estimar, y se emplean matrices de correlación y autocorrelaciones cruzadas.
- d).- Cointegración.

VII.2 IMPORTANCIA DE LOS PRONÓSTICOS DE PRECIOS DE LOS COMBUSTIBLES PARA LA INDUSTRIA ELÉCTRICA

El combustible que la CFE utiliza en sus centrales termoeléctricas es suministrado por Petróleos Mexicanos, con el que tiene contratos de compra-venta anuales automáticamente renovables. Además, las fórmulas de fijación de precios consideran precios referentes internacionales, con un desfase de un mes. Por lo que la CFE debe planear su consumo de combustibles conociendo el precio con sólo un mes de anticipación.

Por otra parte, la variabilidad del precio de los combustibles es tan alta que puede variar varios centavos de dólar por unidad de volumen, y considerando las grandes cantidades de combustibles consumidos en la industria eléctrica, las pérdidas de una mala planeación pueden representar varios millones de dólares anuales. Por ejemplo, una diferencia anual de sólo diez centavos en el precio del gas natural puede representar pérdidas del orden de 15 millones de dólares. Véase Pemex (1996).

Por lo anterior, al poder pronosticar los precios de los combustibles, se puede realizar una programación óptima de los consumos, que pueda calendarizar mantenimientos en las centrales cuando las condiciones del mercado sean desfavorables, o sobreutilizar algunas centrales cuando los precios sean atractivos.

VIII. ANEXOS

VIII.1 Precios de los combustibles fósiles entregados a las plantas eléctricas públicas (centavos de dólar por millón de BTU)

VIII.2 Tabla de Dickey-Fuller

VIII.3 Códigos empleados

ANEXO 1
Precios de los combustibles fósiles entregados a las plantas
eléctricas públicas (Centavos de dólar por millón de BTU)

Año	Mes	CARBÓN	COMBUSTÓLEO	GAS
1973	Ene73	37.8	65.8	29.9
	Feb73	38.5	66.5	31.1
	Mar73	38.9	67.8	31.9
	Abr73	39.4	68.7	33.3
	May73	39.5	70.2	33.7
	Jun73	40.0	69.2	33.8
	Jul73	39.8	71.7	33.7
	Ago73	39.6	74.9	33.6
	Sep73	40.8	79.4	34.9
	Oct73	41.9	86.1	36.5
	Nov73	44.0	102.3	35.7
	Dic73	45.5	118.5	36.3
1974	Ene74	51.4	157.1	37.3
	Feb74	56.9	183.4	38.8
	Mar74	60.8	186.3	42.5
	Abr74	64.0	184.6	43.6
	May74	65.9	185.8	44.0
	Jun74	69.7	192.4	47.9
	Jul74	72.9	192.5	48.8
	Ago74	77.3	192.6	51.8
	Sep74	79.1	192.5	52.4
	Oct74	80.8	196.3	53.6
	Nov74	90.2	197.6	54.7
	Dic74	88.7	202.5	55.4
1975	Ene75	80.7	197.1	58.6
	Feb75	81.6	201.4	65.3
	Mar75	80.5	203.7	66.5
	Abr75	80.4	207.7	68.9
	May75	81.8	204.4	72.6
	Jun75	81.4	199.5	71.2
	Jul75	80.8	198.5	74.0
	Ago75	82.1	200.2	78.8
	Sep75	82.1	199.9	83.5
	Oct75	81.5	196.5	85.2
	Nov75	81.7	200.6	83.5
	Dic75	82.2	198.5	86.2

Año	Mes	CARBÓN	COMBUSTÓLEO	GAS
1976	Ene76	80.2	193.8	87.6
	Feb76	81.4	195.3	92.4
	Mar76	82.7	197.5	94.8
	Abr76	83.7	196.9	97.2
	May76	84.6	188.4	100.7
	Jun76	84.7	187.5	104.0
	Jul76	85.8	187.1	105.6
	Ago76	86.4	191.8	105.8
	Sep76	86.9	191.9	109.4
	Oct76	86.9	198.4	110.3
	Nov76	86.6	203.2	113.8
	Dic76	86.6	207.1	111.7
1977	Ene77	85.9	217.0	111.4
	Feb77	88.0	223.4	123.4
	Mar77	90.0	227.9	121.0
	Abr77	90.1	226.3	125.8
	May77	91.8	222.7	125.3
	Jun77	93.3	217.9	129.8
	Jul77	96.2	217.1	130.6
	Ago77	94.3	217.0	133.8
	Sep77	98.0	218.0	136.8
	Oct77	100.5	220.0	138.2
	Nov77	101.7	216.5	133.4
	Dic77	106.8	214.5	129.1
1978	Ene78	98.6	211.3	131.9
	Feb78	102.1	208.0	134.7
	Mar78	113.4	209.8	139.3
	Abr78	110.9	213.3	138.6
	May78	110.6	213.9	141.4
	Jun78	112.0	210.1	147.1
	Jul78	110.2	205.3	148.0
	Ago78	110.0	205.8	147.7
	Sep78	111.4	208.8	145.1
	Oct78	114.0	218.0	146.5
	Nov78	115.8	223.0	139.7
	Dic78	115.9	226.1	138.3

**Precios de los combustibles fósiles entregados a las plantas
eléctricas públicas (Centavos de dólar por millón de BTU)**

Año	Mes	CARBON	COMBUSTÓLEO	GAS
1979	Ene79	115.6	228.3	150.2
	Feb79	114.6	240.6	159.1
	Mar79	116.8	258.6	163.0
	Abr79	120.1	264.4	163.7
	May79	121.1	273.7	177.0
	Jun79	121.9	288.6	178.7
	Jul79	122.2	310.7	178.1
	Ago79	122.5	322.3	180.1
	Sep79	125.3	331.8	182.3
	Oct79	127.4	344.0	188.1
	Nov79	127.7	360.8	180.2
	Dic79	129.2	362.1	183.0
1980	Ene80	128.7	422.2	193.7
	Feb80	129.9	428.2	203.4
	Mar80	130.1	406.6	206.5
	Abr80	133.8	397.3	202.5
	May80	133.4	402.2	210.3
	Jun80	135.1	391.7	208.2
	Jul80	137.4	393.5	228.1
	Ago80	137.9	404.0	236.4
	Sep80	138.9	409.9	236.4
	Oct80	138.1	449.2	243.0
	Nov80	139.3	494.9	229.4
	Dic80	137.8	520.0	224.2
1981	Ene81	142.7	541.1	243.4
	Feb81	146.3	575.4	257.9
	Mar81	148.3	586.5	262.5
	Abr81	148.9	571.8	271.6
	May81	146.7	557.1	281.9
	Jun81	152.7	510.9	285.2
	Jul81	156.5	501.1	287.0
	Ago81	157.0	499.7	299.1
	Sep81	157.2	506.9	285.8
	Oct81	180.2	516.6	297.7
	Nov81	159.1	526.1	297.4
	Dic81	156.7	510.6	287.5

Año	Mes	CARBÓN	COMBUSTÓLEO	GAS
1982	Ene82	160.9	466.2	297.4
	Feb82	164.1	463.6	307.8
	Mar82	165.7	477.1	314.2
	Abr82	164.8	467.0	320.7
	May82	165.1	464.2	327.6
	Jun82	167.0	468.3	341.8
	Jul82	164.5	477.8	353.3
	Ago82	164.7	467.1	353.4
	Sep82	165.9	475.3	354.7
	Oct82	164.9	480.2	355.9
	Nov82	165.3	501.0	349.8
	Dic82	162.9	461.9	352.5
1983	Ene83	166.8	446.9	347.1
	Feb83	167.8	441.4	331.9
	Mar83	168.1	426.0	336.1
	Abr83	168.5	431.6	326.1
	May83	165.0	446.6	344.3
	Jun83	167.3	453.6	347.2
	Jul83	165.3	467.0	361.1
	Ago83	164.3	470.4	363.2
	Sep83	163.9	482.8	358.1
	Oct83	164.6	478.6	360.1
	Nov83	163.6	472.2	340.5
	Dic83	162.2	466.7	338.7
1984	Ene84	161.6	466.9	343.7
	Feb84	164.9	466.3	347.5
	Mar84	163.4	464.0	338.8
	Abr84	165.7	464.1	344.4
	May84	168.6	466.9	380.4
	Jun84	169.1	468.3	380.9
	Jul84	168.2	474.6	373.1
	Ago84	167.2	458.6	365.6
	Sep84	167.4	472.5	388.0
	Oct84	168.7	474.1	361.4
	Nov84	166.6	470.6	357.2
	Dic84	165.0	460.4	365.4

**Precios de los combustibles fósiles entregados a las plantas
eléctricas públicas (Centavos de dólar por millón de BTU)**

Año	Mes	CARBÓN	COMBUSTÓLEO	GAS
1985	Ene85	164.1	472.0	364.4
	Feb85	167.0	482.4	368.1
	Mar85	167.1	458.8	364.9
	Abr85	167.6	452.1	361.6
	May85	166.8	403.1	346.1
	Jun85	165.0	384.9	344.8
	Jul85	164.2	392.8	344.0
	Ago85	164.0	380.5	334.8
	Sep85	163.2	419.0	328.7
	Oct85	163.5	415.8	330.4
	Nov85	163.6	397.2	329.3
	Dic85	161.0	424.3	320.9
1986	Ene86	159.6	396.0	314.7
	Feb86	161.4	302.1	282.3
	Mar86	161.7	266.2	256.9
	Abr86	163.5	229.7	239.1
	May86	162.3	218.9	236.0
	Jun86	159.2	214.4	221.5
	Jul86	157.1	184.1	216.8
	Ago86	156.1	203.6	219.4
	Sep86	154.9	213.0	216.8
	Oct86	154.7	208.6	213.9
	Nov86	153.3	230.5	218.0
	Dic86	152.2	252.7	230.7
1987	Ene87	150.4	304.1	233.4
	Feb87	152.7	286.5	236.8
	Mar87	152.6	283.6	229.9
	Abr87	155.2	236.6	229.2
	May87	154.4	300.4	221.7
	Jun87	151.6	310.6	220.4
	Jul87	150.0	321.7	222.6
	Ago87	149.3	310.8	217.1
	Sep87	149.6	291.1	210.5
	Oct87	149.6	291.7	217.9
	Nov87	147.4	294.5	221.0
	Dic87	145.8	271.9	244.3

Año	Mes	CARBÓN	COMBUSTÓLEO	GAS
1988	Ene88	146.5	280.0	250.4
	Feb88	148.7	280.5	247.7
	Mar88	149.3	232.7	225.4
	Abr88	149.8	231.6	212.8
	May88	149.5	245.0	203.3
	Jun88	146.3	236.2	209.2
	Jul88	146.0	234.5	216.0
	Ago88	145.3	239.0	229.1
	Sep88	145.3	232.0	228.0
	Oct88	145.6	223.6	232.2
	Nov88	145.6	236.8	248.3
	Dic88	142.3	251.2	250.3
1989	Ene89	142.7	264.1	257.5
	Feb89	145.0	251.9	237.2
	Mar89	144.4	271.8	225.7
	Abr89	143.6	303.0	224.6
	May89	145.3	307.2	232.0
	Jun89	145.5	279.9	232.1
	Jul89	144.1	275.6	233.3
	Ago89	144.7	264.2	230.6
	Sep89	146.0	264.8	225.4
	Oct89	145.4	289.1	231.6
	Nov89	144.2	288.0	248.1
	Dic89	142.8	360.2	275.4
1990	Ene90	144.6	403.9	293.8
	Feb90	146.6	338.2	289.3
	Mar90	145.7	295.2	231.0
	Abr90	147.3	254.7	221.7
	May90	147.8	244.7	212.5
	Jun90	146.6	219.4	209.3
	Jul90	144.6	239.9	214.6
	Ago90	144.5	341.1	215.9
	Sep90	144.7	389.9	214.3
	Oct90	146.2	436.8	236.8
	Nov90	144.8	400.1	271.9
	Dic90	142.4	424.7	283.1

**Precios de los combustibles fósiles entregados a las plantas
eléctricas públicas (Centavos de dólar por millón de BTU)**

Año	Mes	CARBÓN	COMBUSTÍOLEO	GAS
1991	Ene91	145.4	359.4	267.1
	Feb91	147.0	265.8	234.8
	Mar91	145.5	244.2	220.0
	Abr91	147.3	234.2	206.7
	May91	148.3	233.1	198.2
	Jun91	147.4	220.2	191.2
	Jul91	142.7	227.2	184.6
	Ago91	143.1	226.7	192.7
	Sep91	143.3	241.4	215.4
	Oct91	143.6	238.6	231.0
	Nov91	142.8	253.9	240.7
	Dic91	140.0	252.2	262.0
1992	Ene92	139.6	223.2	247.1
	Feb92	142.1	209.8	201.7
	Mar92	143.4	208.2	196.8
	Abr92	142.7	217.8	202.6
	May92	142.9	237.1	207.8
	Jun92	141.9	251.4	213.6
	Jul92	139.3	274.1	208.9
	Ago92	139.6	274.1	237.3
	Sep92	142.0	268.5	246.3
	Oct92	141.3	290.5	297.9
	Nov92	141.5	273.5	282.6
	Dic92	138.6	252.1	276.5
1993	Ene93	138.5	249.7	267.3
	Feb93	139.3	254.1	250.7
	Mar93	137.5	248.6	256.7
	Abr93	139.3	280.0	268.9
	May93	140.0	262.7	286.3
	Jun93	139.0	245.8	243.2
	Jul93	138.0	237.3	240.9
	Ago93	137.4	227.0	252.6
	Sep93	138.5	226.1	263.6
	Oct93	140.5	231.0	241.3
	Nov93	138.4	218.0	254.0
	Dic93	136.2	198.8	272.4

Año	Mes	CARBÓN	COMBUSTÍOLEO	GAS
1994	Ene94	136.9	228.6	261.5
	Feb94	136.8	266.2	273.5
	Mar94	135.9	221.6	261.5
	Abr94	138.1	213.1	238.2
	May94	138.3	224.8	240.6
	Jun94	137.4	237.3	219.2
	Jul94	135.3	263.2	221.9
	Ago94	135.4	256.9	210.3
	Sep94	135.8	232.5	195.7
	Oct94	134.8	238.8	191.6
	Nov94	133.3	245.2	206.8
	Dic94	129.7	258.1	213.9
1995	Ene95	132.9	273.1	209.2
	Feb95	133.4	256.2	197.0
	Mar95	133.8	259.0	189.0
	Abr95	133.7	266.2	194.5
	May95	133.7	279.2	201.9
	Jun95	133.3	274.8	202.6
	Jul95	130.3	251.3	185.6
	Ago95	130.9	237.0	179.1
	Sep95	131.8	234.7	189.5
	Oct95	129.6	242.5	204.1
	Nov95	130.2	250.5	218.9
	Dic95	127.7	256.8	255.3
1996	Ene96	129.0	332.4	281.2
	Feb96	129.3	282.5	293.1
	Mar96	130.2	265.0	264.8
	Abr96	130.9	309.7	264.9
	May96	130.7	304.4	247.7
	Jun96	129.3	277.0	255.4
	Jul96	127.8	276.6	263.9
Ago96	127.7	282.5	250.7	

Energy Information Administration
 Historical Monthly Energy Review 1973-1992
 Monthly Energy Review (varios números)
 Base de datos electrónica: Enero 1997

Datos
 1973-1992
 1993-1996
 1996

Tabla de Dickey-Fuller

Distribución empírica acumulativa de $\hat{\tau}$ para $\rho=1$

Tamaño de la muestra n	Probabilidad de un valor menor							
	0.01	0.025	0.05	0.10	0.90	0.95	0.975	0.99
$\hat{\tau}$								
25	-2.68	-2.28	-1.95	-1.60	0.92	1.33	1.70	2.16
50	-2.62	-2.25	-1.95	-1.61	0.91	1.31	1.66	2.08
100	-2.60	-2.24	-1.95	-1.61	0.90	1.29	1.64	2.03
250	-2.58	-2.23	-1.95	-1.62	0.89	1.29	1.63	2.01
500	-2.58	-2.23	-1.95	-1.62	0.89	1.28	1.62	2.00
infinito	-2.58	-2.23	-1.95	-1.62	0.89	1.28	1.62	2.00
$\hat{\tau}_\mu$								
25	-3.75	-3.33	-3.00	-2.63	-0.37	0.00	0.34	0.72
50	-3.58	-3.22	-2.93	-2.60	-0.40	-0.03	0.29	0.66
100	-3.51	-3.17	-2.89	-2.58	-0.42	-0.05	0.26	0.63
250	-3.46	-3.14	-2.88	-2.57	-0.42	-0.06	0.24	0.62
500	-3.44	-3.13	-2.87	-2.57	-0.43	-0.07	0.24	0.61
infinito	-3.43	-3.12	-2.86	-2.57	-0.44	-0.07	0.23	0.60
$\hat{\tau}_\tau$								
25	-4.38	-3.95	-3.60	-3.24	-1.14	-0.80	-0.50	-0.15
50	-4.15	-3.80	-3.50	-3.18	-1.19	-0.87	-0.58	-0.24
100	-4.04	-3.73	-3.45	-3.15	-1.22	-0.90	-0.62	-0.28
250	-3.99	-3.69	-3.43	-3.13	-1.23	-0.92	-0.64	-0.31
500	-3.98	-3.68	-3.42	-3.13	-1.24	-0.93	-0.65	-0.32
infinito	-3.96	-3.66	-3.41	-3.12	-1.25	-0.94	-0.66	-0.33

FUENTE: Citado en Fuller, Wayne A. 1976. Tabla construida por David A. Dickey usando el método de Montecarlo.

Los detalles están en Dickey (1975). Los errores estándar pueden variar, pero no más de 0.02.

ANEXO 3

Códigos empleados

CÓDIGO EN RATS

Breve programa en RATS usando primeras diferencias con datos sin tendencia
(Programa con precios de carbón, combustóleo y gas natural)

Estableciendo periodo y longitud de los datos:

```
CALENDAR 1973 1 12
ALLOCATE 300
```

Abriendo el archivo de datos:

```
OPEN DATA c:\gasdatos.xlw
DATA(FORMAT=XLS,ORG=OBS) / VAR_GAS
```

Estadísticas descriptivas:

```
TABLE
STATISTICS VAR_GAS
```

Calculando autocorrelaciones:

```
CORRELATE(NUMBER=100,PARTIAL=PARCIALG6,INVERSE=INVERSAG6)
VAR_GAS / CORRELAGAS6
```

Graficando correlaciones:

```
GRAPH(HEADER='CORRELACIONES gas',KEY=UPRIGHT) 3
# CORRELAGAS6
# PARCIALG6
# INVERSAG6
```

GAS

```
boxjenk(ar=||1,11,12,16,22||,ma=||8,42,43||,define=estimp2) VAR_GAS /
gasd1RESIDBJ6
compute akaike6d1gas=%nobs*log(%rss)+2*%nreg
display akaike6d1gas
```

forecast 1 12 272

```
# estimP2 predG6
```

```
graph(HEADER='estimaciones GAS',KEY=UPRIGHT) 2
```

```
# VAR_GAS
# predG6
```

print / predG6

```
print / GASD1RESIDBJ6
```

Graficando residuales incompletos:

```
GRAPH(HEADER='RESIDUALESBJI LNGASd1',KEY=UPRIGHT) 1
# GASD1RESIDBJ6
```

Calculando y graficando autocorrelaciones de residuales:

```
CORRELATE(NUMBER=100,PARTIAL=PARCIALGR6,INVERSE=INVERSAGR6)
GASD1RESIDBJ6 / CORRELASGR6
```

```
GRAPH(HEADER='CORRELACIONES RESIDUALES gas',KEY=UPRIGHT) 3
```

```
# CORRELASGR6
# PARCIALGR6
# INVERSAGR6
```

```
SOURCE DFUNIT.SCR
```

```
@dfunit var_gas
```

```
@dfunit GASD1RESIDBJ6
```

CÓDIGO EN SAS

```
filename datos dde 'excel|[mercost2.xls]MERCOST2!r2c1:r273c4' ;
```

```
data esmerald ;
  infile datos;
  format fecha:monyy5. ;
  input fecha:monyy5. carbon petro gas ;
run;
```

```
data aaa ;
  set esmerald;
  t = _N_ ;
  logp = log(petro) ;
  llgas = log(log(gas)) ;
  llgas1 = dif1(llgas) ;
run;
```

```
proc reg data=aaa;
  model llgas1 = t ;
  OUTPUT OUT= sale R= var_gas ;
run;
```

```
proc print data=sale;
run;
```

```

proc arima data=sale;
  i var=var_gas nlag=100;
  estimate p=(1,11,12,16,22) q=(8,42,43) NOINT plot;
  forecast lead=12;
run;

```

CÓDIGO EN S-PLUS

```

win.graph()
par(mfrow=c(3,1))
lee <- scan("a:\\carbon.txt")
difs1 <- lee[2:264] - lee[1:263]
difs2 <- difs1[2:263] - difs1[1:262]
tiempo2 <- seq(1,262)
ajuste2 <- lsfit(tiempo2,difs2)
ls.diag(ajuste2)
modelo2 <- lm(difs2 ~ tiempo2)
anova(modelo2)
residuos2 <- ajuste2$residuals
win.graph()
res.arima21200 <- arima.mle(residuos2,model=list(order=c(12,0,0)))
res.diag21200 <- arima.diag(res.arima21200)
stamp (paste("ARIMA 21200, segundas diferencias", date()))
win.graph()
a21200 <- res.diag21200$std.resid
b21200 <- a21200 %*$ b21200
tsplot(a21200)
stamp (paste("residuales estandarizados, segundas diferencias:
res.diag21200$std, ARIMA(12,0,0),scr=", scr, date()))
q()

```


IX. REFERENCIAS

1. Beran, J. (1994). *Statistic for Long Memory Processes*. Monographs on Statistics an applied probability 61. Chapman & Hall. New York, USA.
2. British Petroleum Company (1995). *Statistical Review of World Energy*.
3. CFE. GEPI. (1995). *Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos del Sector Eléctrico. Generación 1995*. México.
4. CFE. GPSE. (1995). *Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico 1995*. México.
5. Conover, W.J. (1980). *Practical Nonparametric Statistics*. (2nd. Edition) Texas Tech University, John Wiley & Sons. New York, USA.
6. Chatfield, C. (1991). *The analysis of time series, An introduction* (4th Edition). Chapman and Hall, London.
7. Enders, W. (1995). *Applied Econometric Times Series*. John Wiley & Sons, Inc.
8. Energy Information Administration. (1993). *Historical Monthly Energy review 1973-1992*. U.S. Department of Energy, Washington, DC.
9. Energy Information Administration. (1996). Búsqueda electrónica en Internet <ftp://ftp.eia.doe.gov/pub/energy.overview/monthly.energy/mer9-10>. Monthly Energy Review. U.S. Department of Energy.
10. Energy Information Administration. (1996). *Monthly Energy Review*, June 1996. U.S. Department of Energy, Washington, DC.

11. Fuller, W. (1976). *Introduction to statistical time series*. John Wiley. New York, USA.
12. Guerrero, V. (1991). *Análisis estadístico de series de tiempo económicas*. Colección CBI. México.
13. Gujarati, D. (1990). *Econometría*. (2ª edición) Mc Graw-Hill. México.
14. Kendall, M. y Ord, J. (1990). *Time Series* (3rd. Edition). Charles Griffin Title, Edward Arnold, Great Britain.
15. Mills, T. (1993). *The Econometric Modelling of Finished Times Series*. Cambridge University Press.
16. Neter, W. y Wasserman, W. y Kutner, M. (1990). *Applied Linear Statistical Models*. (3rd. Edition). Richard D. Irwin, Inc., USA.
17. Pemex Gas y Petroquímica Básica. (1996). *Presentación para renovación del contrato con la CFE*. octubre 1996. México.
18. SEDESOL. (1994). *NOM-085-ECOL-1994*. Diario Oficial de la Federación del 2 de diciembre de 1994. México.