

Proyección del Consumo Eléctrico Residencial de la Región Lambayeque Mediante Análisis Univariante Aríma

Projection of the Residential Electricity Consumption of the Lambayeque Region through Univariate Analysis Aríma

¹Walter Cabrera Torres, ²Alexander Cabrera Torres

RESUMEN

Para determinar la proyección del consumo de energía eléctrica residencial de la región Lambayeque, mediante análisis univariante ARIMA, se realizó el siguiente trabajo.

En primer lugar se estabilizó la varianza de la serie que fue estudiada a través de la familia de transformaciones de Box Cox. En segundo lugar se estabilizó la media diferenciando la estructura regular de la serie ya estacionaria en varianza. En tercer lugar se estabilizó la estacionalidad, diferenciándola la estructura estacional de la serie ya estacionaria en media y varianza.

La serie transformada en estacionaria, se le aplicó 11 retardos para obtener las autocorrelaciones simple y parcial muestral de la estructura regular y 60 retardos para obtener las autocorrelaciones simple y parcial muestral de la estructura estacional. Estas autocorrelaciones simple y parcial muestral se analizaron con las autocorrelaciones simple y parcial teórica y se obtuvieron los órdenes autorregresivos y medias móviles p,q,P,Q. La estimación de los parámetros o coeficientes (Θ_1 y Θ_2), del modelo ARIMA obtenido, tienen representación estadística.

Palabras clave: Arima, energía eléctrica, proyección y serie estacionaria.

ABSTRACT

To determine the projection of the residential electric power consumption of the Lambayeque region, by means of ARIMA univariate analysis, the following work was carried out.

First, the variance of the series that was studied through the Box Cox transformation family was stabilized. Second, the mean was stabilized by differentiating the regular structure of the series that was already stationary in variance. In the third place, seasonality was stabilized, differentiating it from the seasonal structure of the already stationary series in mean and variance.

The series transformed into stationary, 11 delays were applied to obtain the simple and partial sample autocorrelations of the regular structure and 60 delays to obtain the simple and partial sample autocorrelations of the seasonal structure. These simple and partial sample autocorrelations were analyzed with the simple and partial theoretical autocorrelations and the autoregressive orders and moving averages p, q, P, Q were obtained. The estimation of the parameters or coefficients (Θ_1 y Θ_2), of the obtained ARIMA model, have statistical representation.

Keywords: Arima, electric power, projection and stationary series.

¹ Universidad Nacional de Jaén. Jaén, Cajamarca, Perú.

² Universidad Nacional de Frontera. Sullana, Piura, Perú.

INTRODUCTION

La electricidad es un bien necesario de consumo masivo que los hogares utilizan como la principal fuente para la iluminación de la vivienda y el funcionamiento del stock de equipos y artefactos eléctricos. Lo cual tiene serias implicancias para el diseño de las políticas públicas y la regulación tarifaria. El conocimiento del consumo de energía eléctrica anual en el futuro es necesaria, generalmente, para establecer el calendario de mantenimiento de los sistema de distribución. La información básica para realizar esta predicción fue los datos mensuales de varios años, de la energía demandada. La energía demandada mensualmente se predice en el horizonte temporal de un año. En este período la empresa eléctrica se enfrenta al problema de cubrir una estructura de la demanda cualitativa y cuantitativa potencialmente cambiante que han de satisfacer con una capacidad de distribución que es esencialmente fija o determinada.

A partir de la década de 1970 las enormes incertidumbres que emergieron como consecuencia de la primera crisis del petróleo de 1973, hicieron necesario el desarrollo y aplicación de técnicas mucho más sofisticadas entre las que se encuentran los métodos de usuario final, los métodos econométricos y los métodos Aríma.

La metodología Aríma fue formalizada por Box y Jenkins en 1976, por lo que también se le denomina metodología de Box y Jenkins. Esta metodología Box-Jenkins se diferencia de la mayoría de los métodos porque son los datos los que guían a la especificación del modelo y no la suposición sobre el mismo; utiliza un enfoque iterativo de identificación de un modelo útil a partir de modelos de tipo general.

Esta metodológica consiste en identificar, estimar, validar modelos dinámicos de series y predecir. En la etapa de identificación se puede tener más de un modelo seleccionado; luego en la etapa de estimación de los parámetros del

modelo, se verifica a través del estadístico de medición de error, si el modelo es satisfactorio; en la etapa de validación se dice que el modelo se ajusta bien si los residuos entre el modelo de pronóstico y los puntos de datos históricos son reducidos, distribuidos de manera aleatoria e independiente.

La exitosa metodología Arima, por los buenos resultados que se obtienen ha provocado la aplicación a gran cantidad de campos de la economía. En el Perú a partir del año 1996, se desarrolla y se aplican la metodología de Box y Jenkins.

No existió proyecto alguno realizado en la región Lambayeque, que ha utilizado el análisis univariante Arima para la proyección del consumo eléctrico residencial.

En la región Lambayeque, no existe trabajo alguno sobre la proyección del consumo eléctrico residencial, mediante análisis univariante Arima. La metodología de Box y Jenkins o Arima y la demanda de energía, es explicada por los autores como:

Alan Pankratz (1983), mostro claramente como el método Box y Jenkins ó Arima, puede aplicarse a una amplia variedad de conjuntos de datos reales. Wesv, M. & Harrison, P. J. (1989), presenta un enfoque bayesiano. Andrew C. Harvey (1981,1989), discute procedimientos alternativos para el modelado de series temporales, con especial énfasis hacia la econometría. Peña y Sanchez-Albornoz (1983), presenta una introducción básica de la metodología de Box y Jenkins ó ARIMA, para las ciencias sociales. Brian D.O. Anderson y John B. Moore (1979), se extiende particularmente en sistemas de comunicación y teoría de filtrado digital de señales. Vital para los estudiantes en los campos de control y comunicaciones, su contenido también es relevante a los estudiantes en diversas áreas como la estadística, la economía, la bioingeniería y la investigación. Walter Labys (1999), indica si las predicciones resultan ser demasiado bajas pueden tener lugar a

carencias de energía cuyos costos habitualmente son mucho mayores que el valor de la energía no suministrada. Por el contrario, si las previsiones resultan demasiado altas, los costos de oportunidad pueden ser muy elevados al tener comprometidos, de forma improductiva, cuantiosos fondos económicos durante largos periodos de tiempo. Walter Labys(1999), indica también, que existen al menos tres motivos para modelar la demanda de energía. En primer lugar, el suministro razonablemente fiable de energías es vital para el funcionamiento de la economía moderna. En segundo lugar, la ampliación de los sistemas de suministros de energía requiere muchos años. En tercer lugar, las inversiones necesarias en tales sistemas son altamente intensivas en capital, representando, en algunos países, una considerable proporción de su producto bruto interno. Baltels y Fiebig(1996), afirma que el sector residencial es habitualmente uno de los que principalmente contribuye a las puntas de demanda del sistema de generación eléctrica.

El objetivo del trabajo de investigación fue determinar la proyección del consumo eléctrico Residencial de la Región Lambayeque, mediante el Análisis Univariante ARIMA; se utilizó como único dato el consumo de energía eléctrica mensual, esta data abarco de enero del 2003 a diciembre del 2012 y la proyección fue de enero del 2013 a diciembre del 2014.

MATERIALES Y METODOS

En el siguiente trabajo de investigación, para el cálculo del modelo ARIMA, se utilizó el SPSS-V14. Luego se presentó la secuencia, base para el cálculo de un modelo ARIMA.

1. Análisis de estabilidad en varianza

Las series, a lo largo de su evolución histórica pueden presentar una variabilidad no constante, en la mayoría de los casos la variabilidad no aumenta con el tiempo sino con el nivel de la serie. Por tanto, se tendrá que efectuar una transformación de la variable, para estabilizar la varianza.

Prueba de Levene, La prueba de Levene permite comprobar la hipótesis de que los grupos anuales de datos mensuales formados, proceden de poblaciones con varianza común. En el caso de que la hipótesis de homogeneidad de varianzas fuera rechazada, podría ser debido a que la dispersión de la serie cambia con la tendencia central. Una situación frecuente es que en los periodos en los que la tendencia central es grande también lo sea la dispersión. Para estabilizar la varianza se recurre a la familia de transformaciones de Box Cox.

En el siguiente trabajo, para transformar la serie y conseguir un modelo ARIMA adecuado, se aplicó raíz cuadrada según la familia de Box Cox, de acuerdo con el gráfico siguiente.

La figura 01, presento la evolución histórica del consumo eléctrico residencial expresado en kilo watt hora (kwh), de la región Lambayeque en el periodo 2003-2012.

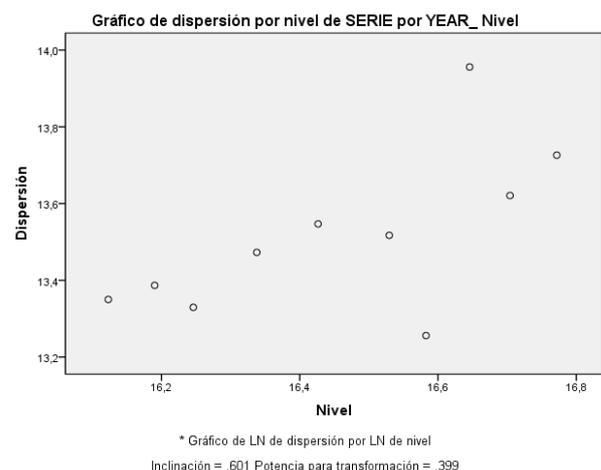


Figura 1. Gráfico de dispersión de la serie del consumo eléctrico residencial de la Región Lambayeque (2003-2012).

2. Análisis de estabilidad en media y de estacionalidad

Con la aplicación de diferencias regulares y estacionales, es posible estabilizar la media de la serie. Después de estabilizar la varianza de la serie, se procede a determinar el grado de diferencia, tomando como referencia:

- El comportamiento gráfico de la serie.
- El comportamiento de las funciones de autocorrelación simple (FAC) y parcial (FACP)
- El uso de estadísticos de medición de error para elegir el mejor arreglo
- El contraste de raíces unitarias para verificar la estacionariedad de la serie.

Si la serie en estudio presenta tendencia creciente o decreciente, su FAC tendrá una estructura positiva con decrecimiento lento hacia cero, entonces esta tendencia puede estabilizarse aplicando sucesivas diferencias regulares:

$$\nabla^d X_t = (1 - L)^d X_t \quad \text{Ec. 1}$$

En el siguiente trabajo de investigación, para estabilizar la media, se diferenció la parte regular (d=1) de la serie en estudio.

Tabla 1. Serie estabilizada en media.

	Nombre de serie	Números de casos de valores no perdidos		Nº de casos validos	Creando función
		Primero	Último		
1	A	2	120	119	DIFF(SQRT,1)

La estacionalidad, se manifiesta como una pauta regular de comportamiento periódico en la serie. Si en el gráfico de la serie no se muestra evidente la presencia de estacionalidad, entonces se recurre a representar la FAC. En el caso de que la serie observada presentara estacionalidad de periodo s la FAC mostrará coeficientes altos con decrecimiento lento en los retardos s, 2s, 3s,..... Entonces la estacionalidad se puede eliminar aplicando diferencias sucesivas estacionales D, de periodo s:

$$\nabla_s^D X_t = (1 - L^s)^D X_t \quad \text{Ec. 2}$$

En el siguiente trabajo, para estabilizar la estacionalidad, se diferenció la parte estacional (D=1) de la serie en estudio.

Tabla 3. Serie estabilizada en media y estacionalidad.

	Nombre de serie	Números de casos de valores no perdidos		Nº de casos validos	Creando función
		Primero	Último		
1	C	14	120	107	DIFF(B,1)

De las tres series diferenciadas (con nombres “A”, “B” y “C”), se obtiene su media y su desviación típica:

Tabla 4. Estadísticos descriptivos de la serie del consumo eléctrico residencial de la región Lambayeque (2003-20012).

	N	Media	Desviación. típica
DIFF(SQRT,1)	119	10,0175	87,67037
SDIFF(SQRT,1,12)	108	133,0301	49,44675
DIFF(B,1)	107	0,0345	49,23921
N Válidos(según lista)	107		

De acuerdo con el cuadro la serie “C” o serie DIFF (B,1), que fue diferenciada tanto en la parte regular como estacional, tiene mayor estabilidad en la media por tener el menor valor y también tiene el menor valor de la desviación típica.

3. Determinación de las ordenes p,q de la parte regular y P,Q de la parte estacional.

La identificación de las órdenes autorregresivas y de medias móviles de la parte regular del modelo (p,q), se realiza a partir de la función de autocorrelacion simple (ACF) y función de autocorrelacion parcial (ACFP) muestrales de la serie que se le aplica en forma simultánea una diferencia regular y una diferencia estacional, las mismas que se comparan con el comportamiento de los retardos típicos de la función de autocorrelacion simple (ACF) y función de autocorrelacion parcial (ACFP) teóricas.

En el siguiente trabajo de investigación, como un caso de serie temporal; el grafico ACF y ACFP se identificó un orden regular de media móvil q=1, MA (1), cuya característica de la CAF y CAFp es la siguiente.

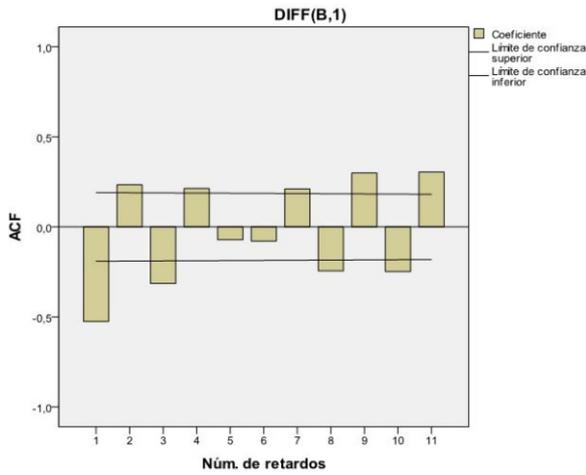


Figura 2. Función de autocorrelacion simple muestral de la estructura regular de la serie en el periodo 2003-2012.

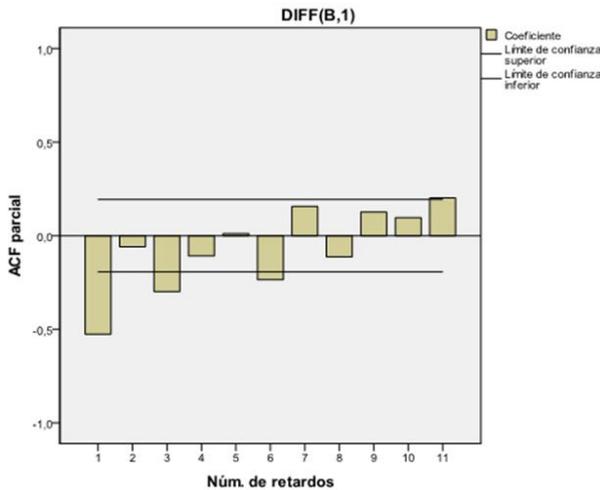


Figura 3. Función de autocorrelacion parcial muestral de la estructura regular de la serie en el periodo 2003-2012.

De la misma manera, la identificación de las ordenes autorregresivos y de medias móviles de la parte estacional (P y Q), se realiza a partir de la función de autocorrelación simple (ACF) y función de autocorrelación parcial (ACFP) muestrales, de la serie que se le aplica en forma simultánea una diferencia regular y una diferencia estacional, considerando exclusivamente los retardos estacionales s, 2s, 3s....., y teniendo como patrón de comportamiento a las ACF y ACFP teóricas. En el siguiente trabajo de investigación, como un caso de serie temporal; el gráfico ACFP se

identificó un orden estacional de media móvil Q = 1, MA (1), cuya característica de la ACF y ACFP es la siguiente.

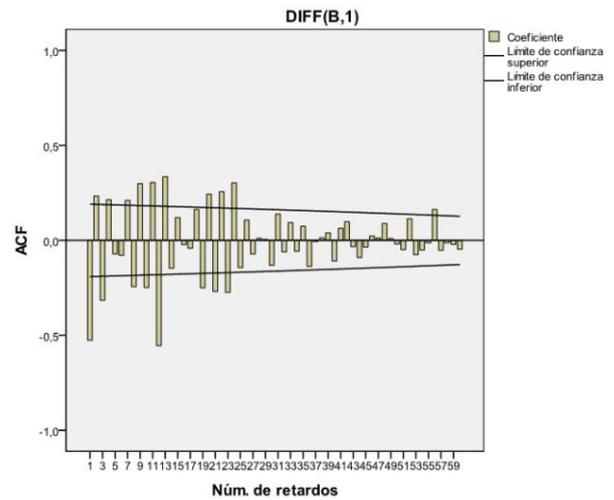


Figura 4. Función de autocorrelacion simple muestral de la estructura estacional de la serie en el periodo 2003-2012.

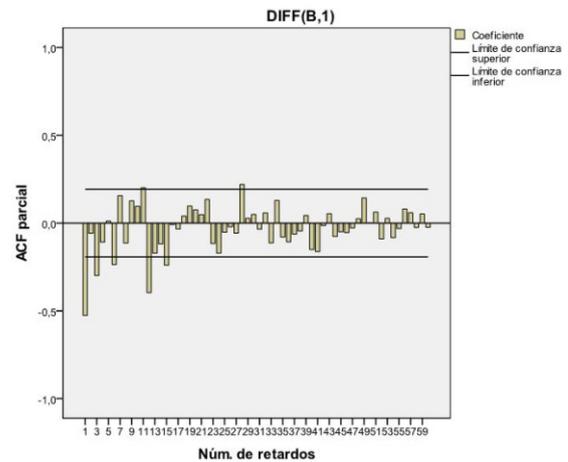


Figura 5. Función de autocorrelacion parcial muestral de la estructura estacional de la serie en el periodo 2003-2012.

4. Estimación de parámetros

Una vez determinada las ordenes autoregresivas y medias móviles, se trata de estimar los parámetros o coeficientes del modelo ARIMA ($\Phi, \Phi, \theta, \Theta$), cuya expresión general es:

$$\Phi_p(L^s)\Phi_p(L)\nabla^d\nabla_s^D X_t = \theta_q(L)\Theta_\theta(L^s)\delta_t + C \quad \text{Ec. 3}$$

La estimación de los parámetros $\Phi, \theta, \Phi,$ y Θ generalmente se realiza por los métodos máxima verosimilitud condicional y máxima verosimilitud exacta. En base a ello es importante

señalar que los distintos programas que se utilizan, pueden proporcionar valores diferentes de los parámetros calculados para un mismo modelo ARIMA; pues además se suma la diferencia de algoritmos utilizados por cada programa.

En el proceso de ajuste de cada modelo ARIMA tentativo, una vez que se ingresó las ordenes ARIMA (p,d,q)(P,D,Q) al programa utilizado, se comprobó si los parámetros calculados por dicho programa son significativamente distintos de cero. Se realizó mediante la probabilidad asociada al estadístico t-Student y (Approx Sig), para contrastar la hipótesis nula de que el parámetro correspondiente es igual a cero.

Para la serie que fue estudiada; se presentó el cuadro de salida en SPSS del modelo ARIMA.

Tabla 5. Parámetros del modelo ARIMA con constante.

			Estimac	ET	t	Sig
Serie _1	Raíz cuadrada	Constante	0,139	0,532	0,262	0,794
		Diferencia regular	1			
		MA regular Retardo 1	0,660	0,076	8,642	0,000
		Diferencia estacional	1			
		MA estacional Retardo 1	0,625	0,114	5,470	0,000

Como

$$\theta = 0.660 ; \Theta = 0.625 ; C = 0.139$$

Entonces

θ = es representativo estadístico.

Θ = es representativo estadístico.

C = es no representativo estadístico ($P > 0.05$)

El cuadro de salida en SPSS del modelo ARIMA, presento el valor de los parámetros pero sin la constante del modelo.

Tabla 6. Parámetros del modelo ARIMA sin constante.

			Estimac	ET	t	Sig
Serie _1	Raíz cuadrada	Diferencia regular	1			
		MA regular Retardo 1	0,658	0,076	8,650	0,000
		Diferencia estacional	1			
		MA estacional Retardo 1	0,623	0,114	5,488	0,000

Donde, el parámetro estimado tiene significancia estadística (valor como tal, el calculado), cuando el estadístico t-Student (t) posea un valor no menor de 2 y/o el estadístico Aprox Sig. (p-valor) tenga un valor no mayor de 0.05.

5. Proyección del consumo eléctrico residencial.

Finalmente se procedió a proyectar la serie que fue estudiada. Se tiene un error promedio porcentual histórico de 1.2 y un error promedio porcentual de validación de 1.7.

El gráfico presenta la serie que fue estudiada de color azul y la serie que fue proyectada de color verde.

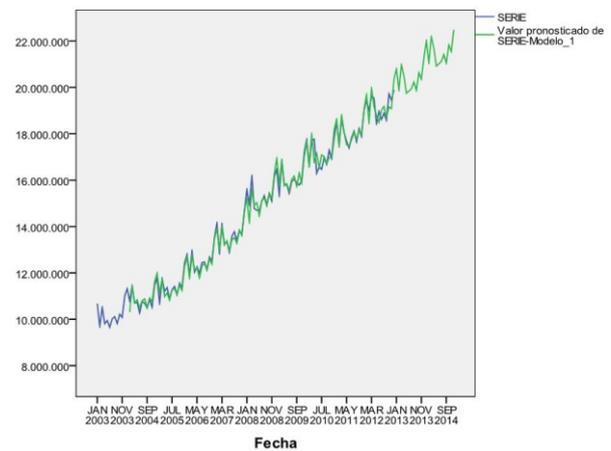


Figura 6. Serie del consumo eléctrico residencial de la región Lambayeque (2003-2012) VS serie modelada del consumo eléctrico residencial de la Región Lambayeque (2003-2014).

RESULTADOS

Con referencia a la figura 1, muestra la estimación de la potencia para transformación (λ) de la serie del consumo eléctrico residencial de la Región Lambayeque del periodo 2003-2012, cuyo valor fue de $\lambda = 0.399$.

Con referencia a la tabla IV, muestra los valores de la media y la desviación típica de la serie diferenciada, previa transformación de la serie a través de la raíz cuadrada (estabilizada en varianza). A la serie estabilizada en varianza se le aplico diferencias de la manera siguiente:

- Una diferencia regular, cuyo resultado fue una desviación típica de 87,67037 y una media de 10,0175.
- Una diferencia estacional, cuyo resultado fue una desviación típica de 49,44675 y una media de 133,0301.
- Una diferencia regular y una diferencia estacional, cuyo resultado fue una desviación típica de 49,23921 y una media de 0,0345.

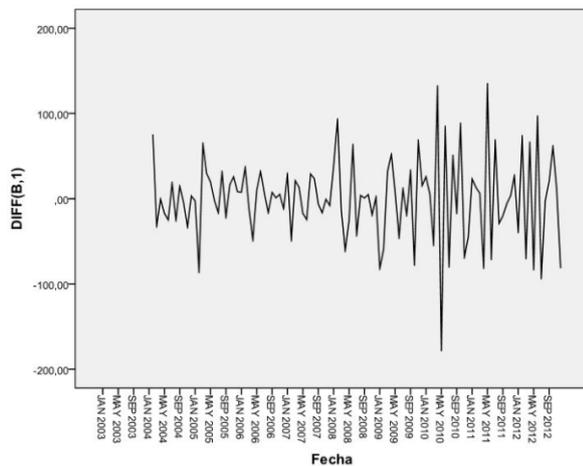


Figura 7. Serie estacionaria del consumo eléctrico residencial de la Región Lambayeque (2003-2012).

En la figura 7, muestra el comportamiento de la serie en el periodo 2003-2012, que fue estabilizada en varianza, media y estacionalidad. Con referencia a la figura 2 y figura 3, representan la función de autocorrelación simple y parcial muestral de la estructura regular, estas funciones se lograron obtener aplicando 11 retardos a la serie estacionaria del consumo eléctrico residencial de la Región Lambayeque en el periodo 2003-2012. Las funciones de autocorrelación simple y parcial muestral fueron analizadas con las funciones de autocorrelación simple y parcial teórica, y se logró obtener la identificación a priori de los siguientes modelos ARIMA (p,d,q): (2,1,0), (0,1,2) y (0,1,1). La figura 4 y figura 5, representan la función de autocorrelación simple y parcial muestral de la estructura estacional, estas funciones se lograron obtener aplicando 60 retardos a la serie en el

periodo 2003-2012. Las funciones de autocorrelación simple y parcial muestral fueron analizadas con la funciones de autocorrelación simple y parcial teórica, y se logró obtener la identificación a priori de los siguientes modelos ARIMA (P,D,Q): (1,1,0), (2,1,0), (0,1,2), y (0,1,1).

La identificación total de modelos ARIMA (p,d,q)(P,D,Q) fueron los siguientes: (2,1,0)(1,1,0), (2,1,0)(2,1,0), (2,1,0)(0,1,2), (2,1,0)(0,1,1), (0,1,2)(1,1,0), (0,1,2)(2,1,0), (0,1,2)(0,1,2), (0,1,2)(0,1,1), (0,1,1)(1,1,0), (0,1,1)(2,1,0), (0,1,1)(0,1,2), (0,1,1)(0,1,1)

Con referencia a la tabla V, muestra los parámetros estimados con el modelo ARIMA que fue identificado (0,1,1)(0,1,1) y fue el único modelo que cumplió con los parámetros estadísticos determinados.

El estadístico t-student (t), presento valores mayores de 2:

$$t = 8.642 > 2$$

$$t = 5.470 > 2$$

Así también el estadístico Aprox Sig (p-valor), sus valores fueron menores de 0.05, a diferencia de la constante:

$$P\text{-valor} = 0.794 > 0.05$$

$$P\text{-valor} = 0 < 0.05; P\text{-valor} = 0 < 0.05$$

Entonces

θ1.- tiene representación estadística, cuyo valor es 0.660

Θ1.- tiene representación estadística, cuyo valor es 0.625

C, es no representativo estadístico (P>0.05), lo que significa estimar nuevamente los parámetros pero sin la constante.

Con referencia a la tabla VI, muestra los nuevos valores de los parámetros que fueron estimados pero sin la constante modelo. La estimación del modelo para la serie del consumo eléctrico residencial de la región Lambayeque fue:

$$\Phi_p(L^s)\mathcal{D}_p(L)\nabla^d\nabla_s^D X_t = \theta_q(L)\Theta_q(L^s)\partial_t \tag{Ec. 4}$$

$$\nabla\nabla_{12}\sqrt{X_t} = (1 - 0.658L)(1 - 0.623L^{12})\partial_t$$

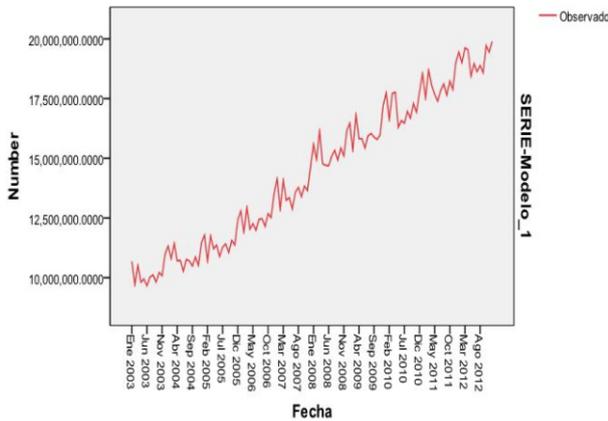


Figura 8. Serie que fue modelada del consumo eléctrico residencial de la Región Lambayeque.

Fuente: Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad del Norte S.A.

La figura 8, muestra la serie del consumo eléctrico residencial de la Región Lambayeque, que fue modelada en el periodo 2003-2012, por el modelo ARIMA (0,1,1)(0,1,1), cuyos parámetros que fueron estimados tienen representación estadística a excepción de la constante del modelo, como se demuestra en la tabla V y tabla VI.

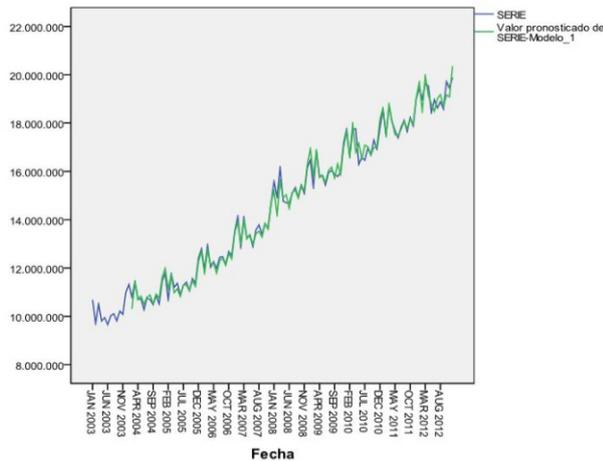


Figura 9. Serie del consumo eléctrico residencial de la región Lambayeque(2003-2012) VS serie que fue modelada del consumo eléctrico residencial de la Región Lambayeque (2003-2012).

La figura 9, muestra la serie en el periodo 2003-2012, representada por el color azul y la serie que fue modelada en el periodo 2003-2012, representada por el color verde.

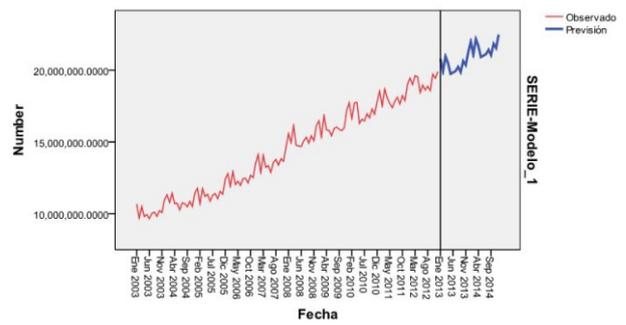


Figura 10. Serie modelada del consumo eléctrico residencial de la Región Lambayeque en el periodo 2003-2012 y para el periodo 2013.-2014.

Fuente: Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad del Norte S.A.

La figura 10, muestra la serie modelada en el periodo 2003-2012(color rojo) y la serie proyectada en el periodo 2013-2014(color azul); que fue el objetivo del trabajo de investigación.

Tabla 7. Error promedio porcentual de validación que fue calculado.

SERIE	FIT-3	ERROR	V. ABS. ERROR	% ERROR
19,448,890.3349	19,697,603.2767	-248,712.9418	248712.9418	1.2788
19,000,721.6049	18,551,346.6240	449,374.9809	449374.9809	2.3650
19,623,170.6098	19,859,769.8789	-236,599.2691	236599.2691	1.2057
19,540,325.4997	19,074,265.8847	466,059.6150	466059.6150	2.3851
18,433,095.8350	18,722,422.4950	-289,326.6600	289326.6600	1.5696
18,964,011.7171	18,490,289.3984	473,722.3187	473722.3187	2.4980
18,622,126.0904	18,905,023.6773	-282,897.5869	282897.5869	1.5191
18,885,437.7850	19,160,100.0876	-274,662.3226	274662.3226	1.4544
18,580,114.6360	18,779,747.1468	-199,632.5108	199632.5108	1.0744
19,721,016.7818	19,281,314.8497	439,701.9321	439701.9321	2.2296
19,447,610.5017	19,024,729.9396	422,880.5621	422880.5621	2.1745
19,894,565.6224	20,197,870.9242	-303,305.3018	303305.3018	1.5246
ERROR PROMEDIO PORCENTUAL DE VALIDACION				1.7732

La columna(SERIE), representa la serie de consumo eléctrico residencial de la Región Lambayeque. La columna (FIT-3), representa la serie modelada del consumo eléctrico residencial de la región Lambayeque. La columna (ERROR), representa el error de las series. La columna (V.ABS.ERROR), representa el error absoluto de las series y la columna (%ERROR), representa el error porcentual de validación de las series.

Fue considerada la serie del consumo eléctrico residencial de la región Lambayeque en el periodo 2003 al 2011. Mediante el modelo

Arima calculado se modelo la serie del consumo eléctrico residencial de la región Lambayeque en el periodo 2003 al 2012. Finalmente con la serie existente y con la serie modelada se determinó que el error promedio de validación fue 1.7%.

Tabla 8. Error promedio porcentual histórico que fue calculado.

{ 9w@	FIT-3	ERROR	V. ABS. ERROR	% ERROR
10,681,452.3990				
9,694,520.2540				
10,512,011.6435				
9,809,055.0815				
9,944,721.8198				
9,657,990.3814				
10,020,693.4345				
10,111,910.4885				
9,814,773.7230				
10,217,393.3725				
10,080,175.7964				
10,995,066.4272				
11,321,285.0699				
10,794,368.6065	10,306,712.5133	487,656.0932	487656.0932	4.5177
11,437,018.5978	11,422,507.0071	14,511.5907	14511.5907	0.1269
10,700,298.9737	10,695,722.4300	4,576.5437	4576.5437	0.0428
10,729,028.5327	10,839,634.6715	-110,606.1388	110606.1388	1.0309
10,271,309.4141	10,501,952.3508	-230,642.9367	230642.9367	2.2455
10,765,771.2829	10,798,683.9228	-32,912.6399	32912.6399	0.3057
10,694,034.7560	10,882,507.1467	-188,472.3907	188472.3907	1.7624
10,483,284.2580	10,510,855.3339	-27,571.0759	27571.0759	0.2630
10,869,306.4912	10,918,248.3057	-48,941.8145	48941.8145	0.4503
10,511,159.1025	10,760,282.0331	-249,122.9306	249122.9306	2.3701
11,466,714.0635	11,616,206.1567	-149,492.0932	149492.0932	1.3037
11,782,010.3156	11,991,182.1379	-209,171.8223	209171.8223	1.7753
10,679,099.0389	11,134,860.3565	-455,761.3176	455761.3176	4.2678
11,755,125.2694	11,708,994.9499	46,130.3195	46130.3195	0.3924
11,204,416.0412	10,981,122.2867	223,293.7545	223293.7545	1.9929
11,365,038.2747	11,139,658.1979	225,380.0768	225380.0768	1.9831
10,881,320.9710	10,822,557.8086	58,763.1624	58763.1624	0.5400
11,279,247.8984	11,295,320.8163	-16,072.9179	16072.9179	0.1425
11,415,991.5927	11,293,044.8351	122,946.7576	122946.7576	1.0770
11,053,997.5724	11,074,510.0197	-20,512.4473	20512.4473	0.1856
11,561,649.1675	11,478,237.2502	83,411.9173	83411.9173	0.7215
11,364,174.3949	11,238,345.0804	125,829.3145	125829.3145	1.1072
12,414,680.0168	12,260,744.1454	153,935.8714	153935.8714	1.2400
12,797,340.4095	12,687,987.9011	109,352.5084	109352.5084	0.8545
11,898,715.8695	11,779,014.7893	119,701.0802	119701.0802	1.0060
12,948,379.8855	12,751,415.4363	196,964.4492	196964.4492	1.5212
12,030,563.1439	12,129,643.9322	-99,080.7883	99080.7883	0.8236
12,263,969.6914	12,216,389.9989	47,579.6925	47579.6925	0.3880
11,981,618.3528	11,781,308.1838	200,310.1690	200310.1690	1.6718
12,443,388.3449	12,297,390.9463	145,997.3986	145997.3986	1.1733
12,471,591.1907	12,411,781.4885	59,809.7022	59809.7022	0.4796
12,144,360.2182	12,113,436.6021	30,923.6161	30923.6161	0.2546
12,683,055.3512	12,598,325.3589	84,729.9923	84729.9923	0.6681
12,513,162.4970	12,378,910.6620	134,251.8350	134251.8350	1.0729
13,528,652.2278	13,482,577.5747	46,074.6531	46074.6531	0.3406
14,143,238.3851	13,896,309.5756	246,928.8095	246928.8095	1.7459
12,848,162.8086	13,009,351.8559	-161,189.0473	161189.0473	1.2546
14,096,941.1085	13,975,072.4495	121,868.6590	121868.6590	0.8645
13,236,836.8183	13,201,544.5180	35,292.3003	35292.3003	0.2666
13,355,399.1665	13,387,249.8779	-31,850.7114	31850.7114	0.2385
12,884,231.1352	12,974,988.3449	-90,757.2097	90757.2097	0.7044
13,576,163.5080	13,416,645.2285	159,518.2795	159518.2795	1.1750
13,779,255.6525	13,523,404.1471	255,851.5054	255851.5054	1.8568
13,390,770.7625	13,273,745.9059	117,024.8566	117024.8566	0.8739
13,832,923.2331	13,837,366.5921	-4,443.3590	4443.3590	0.0321
13,650,014.4810	13,608,935.3950	41,079.0860	41079.0860	0.3009
14,647,848.6726	14,710,600.1450	-62,751.4724	62751.4724	0.4284
15,592,246.8928	15,192,277.6372	399,969.2556	399969.2556	2.5652
14,936,034.8212	14,182,361.6117	753,673.2095	753673.2095	5.0460
16,165,754.4810	15,610,392.9708	555,361.5102	555361.5102	3.4354
14,771,069.7022	14,915,822.7308	-144,753.0286	144753.0286	0.9800
14,701,386.3842	15,027,938.0312	-326,551.6470	326551.6470	2.2212
14,681,855.8513	14,463,432.9627	218,422.8886	218422.8886	1.4877
15,086,789.0407	15,128,628.6012	-41,839.5605	41839.5605	0.2773
15,331,041.8445	15,231,029.8956	100,011.9489	100011.9489	0.6523
14,927,852.8261	14,888,332.2592	39,520.5669	39520.5669	0.2647
15,432,478.4926	15,421,940.0749	10,538.4177	10538.4177	0.0683
15,089,893.2494	15,203,930.3842	-114,037.1348	114037.1348	0.7557
16,154,286.0492	16,274,543.5285	-120,257.4793	120257.4793	0.7444

	16,941,864.9562	-467,689.7838	467689.7838	2.8389
15,333,337.1783	15,776,284.1546	-442,946.9763	442946.9763	2.8888
16,839,474.4146	16,856,907.9421	-17,433.5275	17433.5275	0.1035
15,825,837.1336	15,742,660.4525	83,176.6811	83176.6811	0.5256
15,810,960.5694	15,846,830.7589	-35,870.1895	35870.1895	0.2269
15,431,242.1667	15,537,209.6351	-105,967.4684	105967.4684	0.6867
15,939,833.0872	16,037,076.3038	-97,243.2166	97243.2166	0.6101
16,036,997.0166	16,173,946.2563	-136,949.2397	136949.2397	0.8540
15,883,547.4394	15,729,872.1108	153,675.3286	153675.3286	0.9675
15,787,552.0174	16,311,325.6024	-523,773.5850	523773.5850	3.3176
15,977,840.0258	15,857,832.6786	120,007.3472	120007.3472	0.7511
17,199,142.6215	17,018,013.0239	181,129.5976	181129.5976	1.0531
17,746,035.5723	17,654,763.9182	91,271.6541	91271.6541	0.5143
16,608,584.0489	16,597,264.5471	11,319.5018	11319.5018	0.0682
17,717,674.2299	17,982,899.0183	-265,224.7884	265224.7884	1.4970
17,767,110.5620	16,786,333.9178	980,776.6442	980776.6442	5.5202
16,291,034.4371	17,161,689.5714	-870,655.1343	870655.1343	5.3444
16,581,531.6673	16,522,601.8346	58,929.8327	58929.8327	0.3554
16,461,896.2115	17,086,239.9698	-624,343.7583	624343.7583	3.7927
16,968,356.0486	17,018,144.4673	-49,788.4187	49788.4187	0.2934
16,675,570.7629	16,687,626.1636	-12,055.4007	12055.4007	0.0723
17,297,082.2780	16,983,195.6430	313,886.6350	313886.6350	1.8147
16,926,610.3006	16,989,174.8795	-62,564.5789	62564.5789	0.3696
17,800,442.6170	18,162,158.8948	-361,716.2778	361716.2778	2.0321
18,556,208.4443	18,617,352.2841	-61,142.8398	61142.8398	0.3295
17,502,862.1410	17,461,642.7196	41,219.4214	41219.4214	0.2355
18,695,173.1224	18,787,028.0806	-91,854.9582	91854.9582	0.4913
18,056,008.1570	18,065,229.7566	-9,221.5996	9221.5996	0.0511
17,675,478.9929	17,520,346.4555	155,132.5374	155132.5374	0.8777
17,386,876.8032	17,470,274.3772	-83,397.5740	83397.5740	0.4797
17,833,461.2241	17,741,500.5736	91,960.6505	91960.6505	0.5157
18,113,930.2470	18,064,713.9747	49,216.2723	49216.2723	0.2717
17,643,722.6401	17,766,257.3430	-122,534.7029	122534.7029	0.6945
18,230,715.0877	18,158,134.7815	72,580.3062	72580.3062	0.3981
17,878,734.1632	17,974,631.6762	-95,897.5130	95897.5130	0.5364
19,011,152.2989	19,045,377.6051	-34,225.3062	34225.3062	0.1800
19,448,890.3349	19,698,885.7554	-249,995.4205	249995.4205	1.2854
19,000,721.6049	18,478,612.2577	522,109.3472	522109.3472	2.7478
19,623,170.6098	19,963,713.2288	-340,542.6190	340542.6190	1.7354
19,540,325.4997	19,156,250.1921	384,075.3076	384075.3076	1.9656
18,433,095.8350	18,789,965.8247	-356,869.9897	356869.9897	1.9360
18,964,011.7171	18,489,700.2911	474,311.4260	474311.4260	2.5011
18,622,126.0904	19,018,561.3927	-396,435.3023	396435.3023	2.1288
18,885,437.7650	19,178,932.6516	-293,494.8866	293494.8866	1.5541
18,580,114.6360	18,694,725.6954	-114,611.0594	114611.0594	0.6168
19,721,016.7818	19,160,300.5968	560,716.1850	560716.1850	2.8432
19,447,610.5017	19,080,436.0703	367,174.4314	367174.4314	1.8880
19,894,565.6224	20,358,811.2101	-464,245.5877	464245.5877	2.3335
	20,796,496.1037			
	19,891,878.5073			
	20,971,142.2813			
	20,495,078.5979			
	19,746,962.9693			
	19,838,260.2119			
	19,940,902.2567			
	20,233,165.3844			
	19,867,686.2080			
	20,635,245.6153			
	20,355,631.0994			
	21,265,870.5776			
	21,998,339.4222			
	21,067,815.8580			
	22,178,166.2742			
	21,688,651.7766			
	20,919,012.4625			
	21,013,083.2571			
	21,118,822.3595			
	21,419,656.1575			
	21,043,700.6518			
	21,833,498.0173			
	21,545,983.1297			
	22,482,219.1577			
ERROR PROMEDIO PORCENTUAL				1.2470

La columna (SERIE), representa la serie de consumo eléctrico residencial de la Región Lambayeque. La columna (FIT-3), representa la serie modelada del consumo eléctrico residencial de la región Lambayeque. La columna (ERROR), representa el error de las series. La columna (V.ABS.ERROR), represento el error absoluto de las series y la columna (%ERROR), represento el error promedio porcentual histórico de las series.

Fue considerada la serie del consumo eléctrico residencial de la región Lambayeque en el periodo 2003 al 2012. Mediante el modelo Arima calculado se modelo la serie del consumo eléctrico residencial de la región Lambayeque en el periodo 2003 al 2014. Finalmente con la serie existente y con la serie modelada se determinó que el error promedio porcentual histórico fue 1.2%.

DISCUCION

El valor de λ , es proporcionado en forma automática por el programa SPPSS y se aproxima a 0,5 y no al cero, que significa según la familia de transformaciones de Box Cox; que a la serie se le transformo aplicando raíz cuadrada, consiguiendo de esta manera una serie estacionaria en varianza.

En este trabajo, se utilizó la serie que se aplicó en forma simultánea una diferencia regular y una diferencia estacional, porque el valor de la media fue la menor, lo que significó que es la serie que tiene mayor estabilidad en la media así como también la desviación típica fue la menor. Se puede decir que se tiene una serie estacionaria en media y en estacionalidad.

A esta serie estacionaria en varianza, media y estacionalidad, se le aplico 11 retardos para obtener su autocorrelación simple y parcial muestral, luego estas autocorrelaciones muestrales fueron analizadas con las autocorrelaciones simple y parcial teóricas para determinar las órdenes de los procesos autorregresivos y de medias móviles (p,q) de la estructura regular.

Para la estructura estacional a esta misma serie estacionaria en varianza, media y estacionalidad, se le aplico 60 retardos y se logró obtener su autocorrelación simple y parcial muestral, luego se analizaron con las autocorrelaciones simple y muestral teóricas y se determinó las órdenes de los procesos autorregresivos y de medias móviles (P,Q). Finalmente se logró obtener el modelo ARIMA(0,1,1)(0,1,1).

Los parámetros o coeficientes (θ_1 y Θ_1) que fueron estimados, con el modelo ARIMA (0,1,1)(0,1,1) calculado, tienen representación estadística, a excepción de la constante del modelo.

El error promedio porcentual histórico fue de 1.2 y el error promedio porcentual de validación fue de 1.7.

Por lo tanto el modelo ARIMA (0,1,1)(0,1,1) calculado, es el modelo que mejor se ajustó a la serie “consumos de energía eléctrica residencial de la región Lambayeque”. Este modelo matemáticamente se escribió como:

$$X_t - X_{t-1} - X_{t-12} + X_{t-13} = \delta_t - \theta_1 \delta_{t-1} - \Theta_1 \delta_{t-12} + \theta_1 \Theta_1 \delta_{t-13} \quad \text{Ec. 5}$$

Se demuestra, que el modelo ARIMA (0,1,1)(0,1,1) que fue calculado es correcto, ya que se ajusta a la serie estudiada. Por lo tanto se puede afirmar que en la región de Lambayeque fue posible modelar los consumos de energía eléctrica residencial, utilizando la metodología de Box y Jenkins o metodología ARIMA, esto debido a que la serie estudiada se puede convertir en estacionaria, lográndose de esta manera una alta probabilidad de éxito en la modelación, a través de dicha metodología.

La metodología Arima permite modelar los consumos de energía eléctrica en el corto plazo, así lo demuestran los trabajos realizados por Patricia Carbajal Olaya (2003), quien modela los consumos de energía eléctrica en los municipios de Colombia, utilizando la metodología propuesta por Box JenKis o Arima; por Francisco Reyes Lora (2016), quien estima el comportamiento de la curva de demanda de energía eléctrica, mediante modelos Arima o

Redes Neuronales; y Manuel Chong y Renato Aguilar (2016), quienes concluyen que la metodología Arima es mejor para la proyección del consumo de energía eléctrica para clientes residenciales en Ecuador. La metodología Arima también permite modelar con éxito el consumo de energía eléctrica en el mediano plazo, así se demuestra con el presente trabajo de investigación.

El presente trabajo de investigación, indico el error promedio histórico y el error promedio porcentual de validación, valores muy por debajo del 5% permitido por dicha metodología. Cabe indicar que este error promedio, no fue presentado por los autores mencionados líneas arriba.

CONCLUSIONES

1. El modelo ARIMA obtenido fue (0,1,1)(0,1,1), y matemáticamente se escribió como:

$$X_t - X_{t-1} - X_{t-12} + X_{t-13} = \delta_t - \theta_1 \delta_{t-1} - \Theta_1 \delta_{t-12} + \theta_1 \Theta_1 \delta_{t-13} \quad \text{Ec. 5}$$

2. La metodología ARIMA permitió modelar el consumo de energía eléctrica residencial en la región Lambayeque.

En este trabajo, se estabilizo la varianza aplicando raíz cuadrada, luego se estabilizo la media al diferenciar su estructura regular, finalmente se estabilizo la estacionalidad al diferenciar su estructura estacional.

En la serie estacionaria en varianza, media y estacionalidad se logró obtener su autocorrelación simple y parcial muestral, determinándose las órdenes de los procesos autorregresivos y de medias móviles (p,q) de la estructura regular. En la serie estacionaria en varianza, media y estacionalidad se logró obtener su autocorrelación simple y parcial muestral, determinándose las órdenes de los procesos autorregresivos y de medias móviles (P,Q) de la estructura estacional. Finalmente se obtiene el modelo ARIMA.

Los parámetros o coeficientes ($\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p$), tienen representación estadística, a excepción de la

constante del modelo.

El error promedio porcentual histórico fue de 1.2 y el error promedio porcentual de validación fue de 1.7.

BIBLIOGRAFÍA

- González Chávez, S. (2007). Modelos energéticos metodologías, cálculos y aplicaciones. Lima. Perú.
- Gutiérrez Moya, E. (2003). Tesis sobre La Demanda Residencial de Energía Eléctrica en la Comunidad Autónoma de Andalucía. Un Análisis cuantitativo. Sevilla, España: recuperado de www.cervantesvirtual.com/.../la-demanda-residencial-de-energía-electric.
- Gujarati, D. (1997). Econometría (3° ed.). Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- Universidad Pontificia Comillas-Madrid. Metodología ARIMA aplicada a análisis y predicción de series. España: en la dirección web <http://www.utp.edu.com>
- Universidad autónoma de Madrid (2004). Curso de predicción económica y empresarial. Modelo ARIMA. España: recuperada de: <http://www.uam.es/predysim>.
- Bowerman, B., O'Connell, R. y Koehler, A. (2006). Pronóstico, series de tiempo y regresión. Un enfoque aplicativo (4° ed.). México: CENGAGE learning.
- Fernandez, Adrian. Análisis de series de tiempo: en la dirección web <http://www.ccee.edu.uy>
- Hernández Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2006). Metodología de la investigación (4° ed.). México: McGraw-Hill.
- Peña Sánchez de Rivera D. (1989). Estadística modelos y métodos. 2. Modelos lineales y series temporales (2° ed.). Madrid, España: Alianza Universidad Textos.

Patricia Carbajal Olaya (2003). Artículo estudio del pronóstico de la demanda de energía eléctrica, utilizando modelos de series de tiempo. Colombia.

Francisco Reyes Lora (2016), Tesis predicción de la demanda eléctrica: comparativa Arima - redes neuronales mediante Software SPSS. España.

Manuel Chong y Renato Aguilar (2016). Artículo proyección de serie de tiempo para el consumo de energía eléctrica a clientes residenciales en Ecuador. Ecuador.

CORRESPONDENCIA

Walter Cabrera Torres

Húsares de Junin N° 146 – José Leonardo

Ortiz – Chiclayo

linder_ct@hotmail.com