

# MODELO PARA EL PRONÓSTICO DE DEMANDA HORARIA DE POTENCIA ELÉCTRICA LOCAL EN EL MERCADO ELÉCTRICO DE GUATEMALA

*Model for the forecast of the hourly demand of local electrical power in the electricity market of Guatemala*

**René Roberto Castellanos Moreira**

Mtro. en Estadística Aplicada  
castellanos.roberto90@gmail.com

**Edwin Adalberto Bracamonte Orozco**

Mtro. en Investigación de Operaciones  
edwinbracamonte@yahoo.com

Recibido: 14 de marzo de 2022.

Revisado: 29 de julio de 2022.

Aprobado: 06 de octubre de 2022.

## RESUMEN

En el siguiente texto se encuentra la evaluación de distintas metodologías pertenecientes a las series de tiempo, para determinar los parámetros de un modelo del pronóstico de demanda horaria de potencia eléctrica en Guatemala, el cual busca disminuir el error en la estimación que actualmente ocurre entre lo planificado y el valor en tiempo real.

Se aplican métodos para series de tiempo cuya formulación permite capturar estacionalidades múltiples como lo son el Suavizado Exponencial de Holt-Winters para la Doble Estacionalidad -HWDS- y los modelos de Espacio de Estado para la Estacionalidad Múltiple -BATS-; concluyendo que con esta última se obtiene el modelo que mejora los pronósticos oficiales actuales y permiten cumplir los requerimientos normativos vigentes.

## ABSTRACT

*The evaluation of various methodologies belonging to time series are presented in this research project, in order to determine forecasting modelling parameters of hourly demand of electrical power in Guatemala, which seeks to reduce the percentage of variation or error in the estimate that currently occurs between planned and real-time value. Methods were applied for time series whose formulation allows to capture multiple seasonality such as Holt-Winters Exponential Smoothing for Double Seasonality -HWDS- and State Space models for Multiple Seasonality -BATS-; concluding that with these methodologies it is possible to obtain models that improve the current official forecasts and allow meeting the current regulatory requirements.*

## PALABRAS CLAVE

Serie de tiempo, estacionalidad múltiple, HWDS, BATS, demanda de potencia eléctrica.

## KEYWORDS

*Time series, complex seasonal, HWDS, BATS, electric power demand.*

## INTRODUCCIÓN

A continuación, se presenta un estudio sobre la proyección demanda de potencia eléctrica de Guatemala con la aplicación de series de tiempo; dejando de lado la demanda de exportación.

Se hace uso de la metodología ARIMA, los suavizados exponenciales de doble estacionalidad anidada, desarrollados por Taylor (2003) y los modelos BATS desarrollados por De Livera, Hyndman y Snyder (2011); finalmente se presenta el análisis de los resultados y se concluye con los parámetros del modelo que disminuye el error medio porcentual.

## DESARROLLO DEL ESTUDIO

Debido a la estacionalidad compleja que suele acompañar a las series de tiempo de muy alta frecuencia (Hyndman 2018), la metodología de este estudio se basa en la aplicación de modelos de pronóstico con series de tiempo que permiten modelar una componente estacional observada en la duración diaria de la serie, así como una segunda componente estacional anidada; que se observa a lo largo de las duraciones semanales.

La base de datos abarca desde 2016 hasta marzo 2020; la que se depura de aquellos valores atípicos que son resultados de días festivos, fines de semana o fallas en el sistema eléctrico de potencia, según indica Taylor (2003 y 2010).

Se utiliza una prueba de Kruskal Wallis para evaluar las diferencias estadísticas en las poblaciones de valores de demanda de potencia eléctrica categorizada en días, con el objetivo de formar subseries y modelarlas con una sola estacionalidad.

Seguidamente, se utilizan las metodologías para capturar la estacionalidad compleja de la serie completa, como lo son el suavizado exponencial de HWDS y los modelos para estacionalidad compleja BATS, se utiliza la comparación entre los errores dejados por cada modelo ajustado según cada metodología y se selecciona el de mejor ajuste en función del menor error porcentual medio (MAPE).

## RESULTADOS OBTENIDOS

### a) Modelado con subseries de tiempo

De forma similar al trabajo de Trull (2019), se fragmenta la serie en un conjunto de entrenamiento que desde enero 2017 hasta el 15 de febrero 2020 y un conjunto de pruebas del 16 al 22 de febrero 2020.

Para cumplir con el objetivo también se incluye la comparación de los errores medios porcentuales con las proyecciones del operador del sistema dentro de la programación semanal y la programación diaria.

En la tabla 1 se muestran los resultados con los modelos ajustados y así como con las predicciones oficiales, para los martes de las subseries de tiempo “martes a jueves”.

Tabla 1.  
Valores MAPE por intervalos acumulados

Lecturas	Holt Winters	SARIMA	AMM-diario	AMM-semanal
04:00	3.61%	3.38%	3.16%	3.12%
12:00	2.10%	1.67%	1.53%	1.45%
19:30	1.47%	1.50%	1.26%	1.30%
24:00	1.29%	1.51%	1.32%	1.41%

Fuente: elaboración propia.

### b) Modelado con serie semanal

Se ajustan modelos con las metodologías de suavizado exponencial HWDS, y la metodología de Espacio de Estado BATS, para realizar proyecciones con alcance semanal, es decir 231 valores y se obtienen los siguientes errores porcentuales medios.

Tabla 2.  
Valores MAPE por intervalos acumulados

Lecturas	HWDS	BATS	AMM-diario	AMM-semanal
Domingo	1.68%	1.53%	1.95%	1.95%
Lunes	1.69%	1.52%	2.08%	2.10%
Martes	1.70%	1.50%	1.85%	1.92%
Miércoles	1.53%	1.38%	1.70%	1.74%
Jueves	1.45%	1.35%	1.64%	1.76%
Viernes	1.51%	1.42%	1.77%	1.80%
Sábado	1.54%	1.51%	1.96%	1.86%

Fuente: elaboración propia.

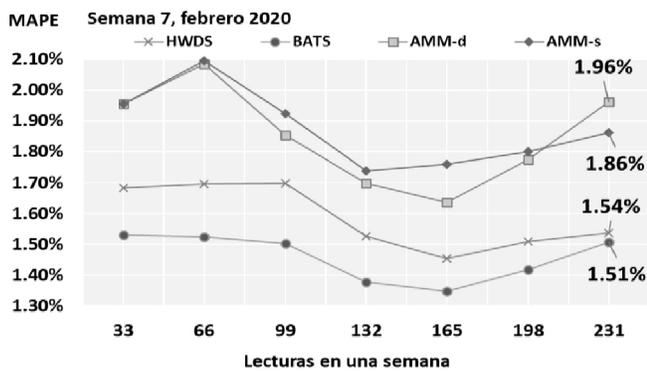


Figura 1. Valores MAPE a lo largo de la semana.

Fuente: elaboración propia.

Con lo anterior queda demostrado que para la semana de prueba del 9 al 15 de febrero 2020, el modelo de mejor ajuste es BATS (0.23, {2,3},-, {33,231}) con los parámetros que se presentan en la tabla 3.

Tabla 3.  
Modelo -BATS- ( $\omega, \phi, p, q, m_1, m_2, \dots, m_T$ ).

Omega	Phi	p	q	S1	S2
0.2328	-	2	3	33	231
Alpha	Beta	Gamma 1	Gamma 2		
0.0309	-	0.1478	-0.0053		
Ar(1)	Ar(2)				
0.4452	0.3488				
Ma(1)	Ma(2)	Ma(3)			
-0.0189	-0.2124	-0.0252			

Fuente: elaboración propia.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Popularmente, se cree que la demanda de potencia eléctrica horaria se agrupa en tres categorías que son: la de los días laborales de lunes a viernes, la de los días sábados y días domingos; sin embargo, el análisis no paramétrico de los valores de demanda permite marcar las diferencias estadísticamente significativas entre estas poblaciones, de modo que para Guatemala la agrupación debe ser en 5 grupos, los cuales son: 1) domingos, 2) lunes, 3) martes a jueves, 4) viernes y 5) sábados.

Los resultados de los modelos para subseries de tiempo que incluyen un solo tipo de día no presentan una mejora importante en la bondad de ajuste en comparación, con respecto a las predicciones que realiza el operador del sistema.

Para la subserie de tiempo, que abarca los días de martes a jueves, tanto el suavizado exponencial de Holt-Winters como el modelo SARIMA mejoran levemente el error medio porcentual que deja la proyección oficial, esto se debe a que esta subserie presenta una mayor homogeneidad consecutiva en la distribución de los valores de martes a jueves, que comparada con las otras 4 subseries, disminuye el efecto de algunos ciclos de duración variable.

Por otro lado, tanto el suavizado exponencial de Holt-Winters con Doble Estacionalidad, como los modelos de Espacio de Estado para la Estacionalidad Compleja, muestran una mejora importante en los resultados obtenidos, puesto que disminuyen los errores medios porcentuales que se obtienen con los modelos ajustados a las subseries de tiempo y con las proyecciones oficiales del operador del sistema.

## CONCLUSIONES

1. El modelo de mejor ajuste para el pronóstico horario de la demanda de potencia eléctrica en Guatemala, que se obtiene con métodos estadísticos de series de tiempo de alta frecuencia y múltiple estacionalidad; es BATS (0.23,-,{2,3},33,231).
2. Se determina que las principales variables exógenas que influyen en la demanda de potencia eléctrica de Guatemala son los diferentes tipos de días, según el análisis de Kruskal Wallis realizado sobre las muestras categorizadas en días, se identifican 5 grupos

estadísticamente diferentes entre sí: 1) domingos, 2) lunes, 3) martes a jueves, 4) viernes y 5) sábados.

3. Se determina que el error medio porcentual disminuye para las semanas de prueba con 1.51 %. comparado con 1.86 % correspondiente al pronóstico por parte del operador del sistema.

## RECOMENDACIONES

1. Evaluar en futuros estudios si la depuración exhaustiva de la base de datos mejora significativamente los errores del modelo, para determinar si el efecto de la tercera componente estacional se puede mejorar.
2. Derivado de la relativa sencillez del modelo encontrado se propone implementar el pronóstico en línea como medida rápida de mitigación ante grandes errores sostenidos entre el pronóstico inicial y el valor real.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- De Livera, A. Hyndman, R. y Snyder, R. (2010); Forecasting time series with complex seasonal patterns using exponential smoothing. *Journal of the American Statistical Association* 106 (496): 1513-27. <http://www.buseco.monash.edu.au/ebs/pubs/wpapers/2009/wp9-09.pdf>.
- Hyndman, R.J., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: principles and practice*, 2nd edition, OTexts: Melbourne, Australia. Recuperado de OTexts.com/fpp2.
- Taylor, J.W. (2003). Short-Term Electricity Demand Forecasting Using Double Seasonal Exponential Smoothing. *Journal of Operational Research Society*, (54), 799-805.
- Taylor, J.W. (2010). Triple Seasonal Methods for Short-Term Electricity Demand Forecasting. *European Journal of Operational Research*, (204), 139-152.
- Trull, O. (2019). *Predicción a corto plazo de la demanda horaria de energía eléctrica en España mediante modelos optimizados de Holt-Winters múltiple-estacionales* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

## INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

Maestro en Estadística Aplicada, Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2021.

Ingeniero Electricista, egresado de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014.

Afiliación laboral: Alternativa de Energía Renovable, S.A.

Ingeniero Industrial, Edwin Adalberto Bracamonte Orozco, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1987.

Magister Scientiae en Investigación de Operaciones, Facultad de Ingeniería de Sistemas, Informática y Ciencias de la Computación, Universidad Francisco Marroquín, 1997.

Afiliación laboral: Facultad de Ingeniería USAC