

# Análisis de la Dependencia Anual de la Demanda de Energía Eléctrica Frente a la Temperatura Ambiente.

Córdova J. \*

Universidad Estatal de Milagro, Departamento de Investigación.  
Milagro – Ecuador (e-mail: jcordovav@unemi.edu.ec)

---

**Resumen:** *El incremento de la demanda de energía eléctrica es usualmente relacionado con el incremento en el número de clientes servidos, o el avance tecnológico. El presente artículo mediante el uso de modelos matemáticos busca determinar la dependencia de la demanda de energía con respecto a la temperatura ambiente. Además como las cargas de refrigeración (aires acondicionados y refrigeradores) influyen directamente en el incremento de la demanda.*

**Palabras clave:** *Demanda de energía, temperatura ambiente, factores de correlación.*

**Abstract:** *The increment in electric energy demand is usually related to number of clients or technological development. The present article with the use of mathematical models try to determine the dependency of electric demand to ambient temperature. In addition how the cooling loads (air conditioners and refrigerators) affected directly to the increase in electric energy demand.*

**Keywords:** *Energy demand, ambient temperature, correlations factors.*

---

## 1. INTRODUCCION

Varios métodos matemáticos han sido desarrollados para analizar y predecir el comportamiento del consumo de energía eléctrica. Identificar el modelo correcto es un serio problema debido a la no linealidad en la relación del consumo de energía y los factores que la afectan [1]. Algunos de estos modelos han tratado de analizar y predecir la demanda a corto plazo, sin embargo el análisis de la demanda a mediano plazo ha ganado importancia especialmente en la desregularización de los mercados eléctricos [2].

Una gran variedad de métodos han sido considerados como los más importantes al momento de analizar y predecir la demanda de energía, series de tiempo, análisis del perfil de carga, reconocimiento de patrones, modelos de agrupación, sistemas expertos de redes neuronales y enfoques de sistemas híbridos fuzzy-neural (DiptiSrinivasan, 2008 [3]). Redes Neuronales Artificiales (Artificial Neural Networks ANN), han dado buenos resultados en el análisis de la demanda, ofreciendo la ventaja de reconocer patrones ocultos, tales como la saturación de la demanda.

De acuerdo a las estadísticas del sector eléctrico ecuatoriano emitidas en el Boletín Estadístico del CONELEC – 2012, el consumo residencial representa el 35.84% de la totalidad de la demanda de energía (MWh), y en número representan el 87.74% del total de clientes, CONELEC (Consejo Nacional de Electricidad)[4]. En este mismo boletín se describe que el consumo de energía en Galápagos, en cuanto a consumo residencial es de 41.84%, de ello se observa que el porcentaje del consumo residencial es mucho mayor que en la parte continental y por ende de más importancia. El sector residencial incluye consumos de: acondicionamiento climático (aires acondicionados o calentadores), iluminación y el uso de electrodomésticos [5]. El comportamiento de la demanda eléctrica residencial ha sido relacionada con factores tales como: tamaño de la residencia, número de

ocupantes, la eficiencia de los equipos de acondicionamiento climático e intensidad del uso de la energía.

V. Assimakopoulos 1992 [6], establece que la demanda eléctrica además de poder ser analizada cuantitativamente, puede ser analizada cualitativamente, relacionándola con la toma de decisiones de los ocupantes de la misma. Se establece que el consumo de energía se ve afectado por la elección de los equipos eléctricos. Estos comportamientos arbitrarios pueden ser simulados mediante complejos métodos matemáticos y computacionales.

Desde un punto de vista netamente estadístico, grupos de variables aparentemente independientes pueden ser relacionadas y determinarse cuan fuerte es esa relación. Shin-SooKang, Michael D. Larsen, 2012 [7], establecieron un método para determinar la independencia de varias muestras de datos basados en la varianzas de las muestras y mediante la utilización de la estimación de máxima verosimilitud, produciendo estimaciones más eficientes.

## 2. METODOLOGÍA

Como base de cálculo es necesario contar con juegos de datos correspondientes a cada variable a ser analizada, y todos ellos deben haber sido tomados simultáneamente o corresponder a un mismo sujeto. Existe una gran variedad de programas computacionales capaces de realizar análisis estadístico de datos de forma muy rápida y sencilla, entre ellos podemos nombrar: Microsoft Excel, MINITAB, SPSS, MATLAB, entre otros. Los programas mencionados cuentan con editores para la edición de los datos, cuentan además con funciones o comandos para el análisis estadístico y visualización de resultados para su fácil entendimiento.

De acuerdo a Sik-Yum Lee (1985) [8], los factores de correlación (R) determinan la dependencia entre dos o más

variables. Esta relación se determinan mediante el uso de la siguiente formula:

$$R(i, j) = \frac{C(i, j)}{\sqrt{C(i, i)C(j, j)}} \quad (1)$$

Donde

R(i,j) es el factor de correlación entre variable i y j

C(i,j) covarianza entre variables i y j

C(i,i) varianza de la variable i

Para determinar las covarianzas y varianza entre las variables i y j, la siguiente formula estadísticas es utilizada:

$$C(i, j) = \frac{\sum ij}{N} - \bar{i}\bar{j} \quad (2)$$

Donde

C(i,j) Covarianza entre variables i y j

$\bar{i}\bar{j}$  Medias de las variables i y j

N Número de datos

Los factores de correlación son útiles para determinar cuan dependiente es una variable con respecto a factores externos, y para determinar que otros factores son irrelevantes al momento de desarrollar un modelo matemático que represente empíricamente a una variable. Valores entre 0 y 0.3 denotan una dependencia baja, valores entre 0.3 y 0.7 denotan una dependencia moderada, y valores superiores a 0.7 una dependencia fuerte, los signos positivo o negativo, determinan si la dependencia es directa o inversa.

Para asegurar la fiabilidad de los resultados, los datos recopilados deben provenir de fuentes confiables, en este caso, se considera al ente regulador del sector eléctrico, CONELEC (Consejo Nacional de Electricidad) o las empresas eléctricas de distribución, las cuales mantienen actualizadas sus bases de datos con registros de: demanda máxima horaria, producción mensual de energía, número de clientes. Datos relacionados con otras variables que puedan afectar la demanda deben ser obtenidos de otras fuentes. La temperatura ambiente o la humedad relativa pueden ser conseguidos de organizaciones ambientales encargadas del monitoreo de estos parámetros.

Una vez desarrollados los modelos matemáticos empíricos, es necesario que los mismos sean validados a fin de comprobar su exactitud. En caso de crear modelos matemáticos para la predicción de valores futuros de cualquier variable dependiente de otras, es necesario no utilizar la totalidad de los datos disponibles, crear o encontrar formas de agruparlos y dejar al menos un grupo de ellos para ser utilizado como punto de referencia y contrastar los valores predichos con los valores reales y calcular el error en la predicción.

### 2.1 Caso de estudio: Empresa Eléctrica de Galápagos

La Empresa Eléctrica Provincial Galápagos S.A. (EEPG), sirve a la región insular del Ecuador, cuenta con aproximadamente 9,500 clientes y una demanda máxima de 5.59 MW, sus clientes son predominantemente de tipo residencial [9]. Los datos estadísticos históricos corresponden a los años 2001 a 2012, la demanda de energía está

almacenada con una periodicidad horaria, y el número de clientes en forma mensual.

Se ha escogido como caso de estudio a la EEPG, debido a que en este sistema aislado se está trabajando con proyectos de generación renovables, y el conocer con mejor certeza la demanda futura ayudará a planificar la expansión de la generación, sea esta renovable o convencional. Adicionalmente la operación de sistemas híbridos en los cuales la penetración de fuentes renovables es alta, es sumamente complicada, debido a la variabilidad del recurso renovable, lo cual provoca inestabilidad al no contarse con suficiente reserva rodante o reserva fría lista para entrar en operación.

Datos relacionados con la temperatura ambiental y humedad relativa se obtienen del sitio web de la Estación Científica Charles Darwin [10], los cuales han sido almacenados con una periodicidad de cada 10 minutos. Se obtuvo además datos sobre el número de turistas que ingresan mensualmente a las islas Galápagos, los cuales se encuentran publicados en los boletines informativos del Parque Nacional Galápagos [11].

Los datos de mediciones de temperatura ambiente y humedad tienen un comportamiento cíclico anual, mientras que el número de clientes y turistas incrementa anualmente. Por esta razón el análisis ha sido efectuado en dos etapas, la primera analiza la dependencia de las variables en base a su valores máximos anuales, la segunda lo hace con los valores máximos diarios del año 2011. Con los resultados obtenidos se determina qué variables son irrelevantes al momento de elaborar un modelo matemático para predecir la demanda en años futuros.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como primer paso en el desarrollo de un modelo matemático para la predicción de la demanda de energía eléctrica, es necesario conocer qué variables son irrelevantes y cuales tienen una afectación directa.

Tabla 1. Factores de Correlación entre la Demanda de Energía y Factores Externos.

	Demanda de Energía Valores Anuales	Demanda de Energía Valores Diarios
Numero Clientes	0.9934	-0.4146
Numero Turistas	0.9592	0.2944
Temperatura	-0.3675	0.7154
Humedad	-0.0325	0.1906

La Tabla 1 muestra los factores de correlación entre la demanda de energía y factores externos. En un análisis de valores máximos anuales se observa que la demanda de energía depende estrechamente del número de clientes y número de turista, mientras que con la temperatura la dependencia es solo moderada e inversa, la humedad relativa presenta una dependencia muy baja y en este caso se considera irrelevante. Mientras que en un análisis de datos

máximos diarios, la temperatura ambiental es la variable que mayormente afecta a la demanda, el número de clientes solo lo hace moderadamente y de forma inversa, esto debido a que en los meses de julio a noviembre la demanda de potencia disminuye a pesar de que el número de clientes haya aumentado. El número de turistas y humedad afectan la demanda muy poco, esto se ve reflejado en los bajos valores para sus factores de correlación. Se puede observar que la humedad en ambos casos, afecta a la demanda muy levemente, se considera que esta variable es irrelevante al momento de elaborar un modelo matemático para representar la demanda de potencia eléctrica.

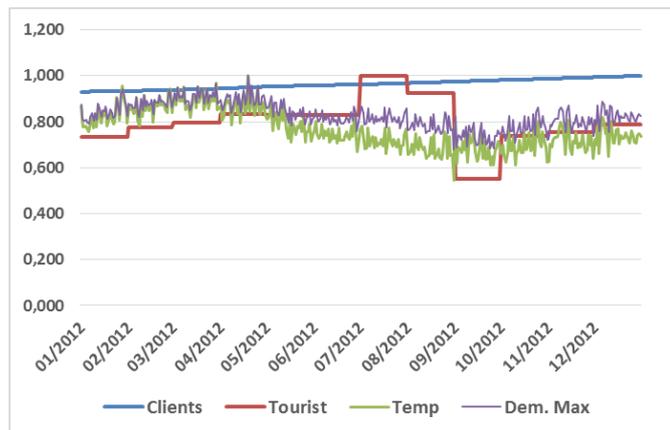


Figura 1. San Cristóbal - Máxima Demanda Diaria, Número de Clientes, número de Turistas y Temperatura, Valores Reales 2012 en por unidad. Fuente de datos EEGP, Elaboración Propia

En la Fig.1 se muestran valores en por unidad, siendo la base de cada variable el valor máximo de cada una de ellas. Es posible observar el comportamiento de la demanda y de las variables que la afectan, se observa que la demanda disminuye desde los meses de julio hasta noviembre, y en diciembre esta recupera su tendencia de crecimiento. A pesar de que el número de clientes aumenta constantemente durante el año, se observa una disminución en la demanda, algo similar pasa con el número de turistas. Sin embargo la demanda y la temperatura comparten un mismo comportamiento a lo largo del año, lo cual es confirmado con los resultados de los coeficientes de correlación mostrado en la Tabla .1 segunda columna. Estas mismas tendencias se observan tanto en la isla San Cristóbal como en la isla Santa Cruz.

Conociendo estos resultados, es posible con la utilización de programas computacionales estadísticos (MINITAB), desarrollar un modelo matemático que pueda predecir la demanda eléctrica de Galápagos en forma precisa. Utilizando los datos históricos desde el año 2001 hasta el año 2011, el uso de las opciones preestablecidas del MINITAB, y diferentes combinaciones de variables, se obtuvieron tres modelos. Estos modelos fueron validados efectuando el cálculo de la demanda del año 2012 y comparando los resultados con los valores reales registrados en los datos históricos de EEGP.

Modelos no lineales independientes fueron desarrollados para predecir los valores máximos diarios de la demanda para las islas San Cristóbal y Santa Cruz de forma separada. La forma general del modelo estadístico utilizado es:

$$Y=A_0+A_1X_1+A_2X_2+....$$

Santa Cruz

$$\text{Demanda (kW)} = 658.871 + 1.78253 * M + 1.71836 * TN + 0.016071 * (AT * NC) \tag{3}$$

San Cristóbal

$$\text{Demanda (kW)} = 120.666 + 4.47353 * M + 1.89087 * TN + 0.017276 * (AT * NC) \tag{4}$$

Donde:

M: número del orden del mes.

TN: Número de turistas que ingresan a Galápagos

AT: Temperatura Ambiente

NC: Número de Clientes en cada isla

En los modelos matemáticos desarrollados (3 y 4) no se ha considerado la humedad relativa, ya que este factor externo en ambos análisis (anual y diario) ha mostrado una muy baja incidencia sobre la demanda de energía eléctrica.

Al validar estos modelos con los datos del año 2012, se obtuvo un error global del 1.4% en comparación con los valores reales medidos.

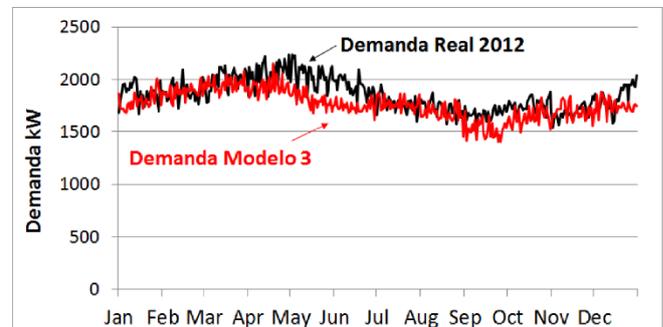


Figura 2. San Cristóbal - Máxima Demanda Diaria, Resultados de Simulación y Valores Reales 2012. Fuente de datos EEGP, Elaboración Propia

Los modelos matemáticos antes descritos necesitan como datos de entrada, los valores proyectados del número de clientes, número de turistas y temperatura ambiente, los dos primeros datos pueden ser determinados con facilidad usando los datos históricos y su tendencia de crecimiento, mientras que la temperatura ambiente será necesario la utilización de un modelo más complejo y considerar los ciclos del mismo.

Al demostrarse una fuerte dependencia de la demanda con respecto a la temperatura ambiente, se considera importante determinar qué porcentaje de la demanda es debido a la afectación de la temperatura sobre los equipos cuya principal carga sea la de enfriamiento.

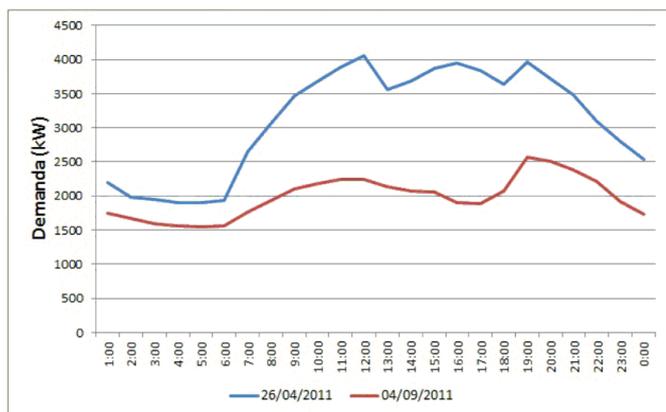


Figura 3. Santa Cruz - Demanda de Electricidad en dos diferentes estaciones del año. Fuente de datos EEGP, Elaboración Propia.

La Fig.3 muestra como la demanda en el mes de abril es mayor que en el mes de septiembre, fecha en la que el número de clientes es mayor, así como el número de turistas, sin embargo la temperatura es mucho menor. La diferencia en los valores de la demanda alcanza un 30% del valor pico del mes de abril (4000 kW).

EEGP con la ayuda del Gobierno Central y ONGs internacionales ha emprendido varios proyectos de energías renovables. Este tipo de proyectos al ser su producción de energía de carácter intermitente y no controlable en su disponibilidad, deben ser cuidadosamente diseñados a fin de aprovechar el recurso renovable al máximo y de forma eficiente. Futuras investigaciones deberán enfocarse en analizar la afectación de la producción de energía renovable debido a la no coincidencia de la máxima disponibilidad del recurso renovable y de la demanda máxima de energía eléctrica.

#### 4. CONCLUSIONES

Mediante la utilización de los factores de correlación se puede determinar la dependencia de dos o más variables y diferenciar entre las que afectan realmente su comportamiento.

La comprobación de modelos matemáticos con la utilización de datos reales para su contrastación es de gran importancia para poder validar los resultados y asegurar la confiabilidad de los mismos.

La demanda de energía puede ser relacionada con varios factores externos, es importante establecer cuáles son los más importantes y ser considerados al momento de establecer políticas de ahorro energético.

La temperatura ambiente no solo afecta mayormente el confort de los usuarios, sino que además la demanda individual de los equipos que requieren cargas de enfriamiento, las mismas que pueden llegar a representar hasta un 30% del total de la demanda, esto debido a que las cargas de enfriamiento se ven afectadas por la temperatura ambiente y ciertas cargas son dejadas de usar como son los aires acondicionados.

El establecer que la demanda de energía depende de mayormente de un tipo específico de carga, puede ayudar a las empresas eléctricas a determinar cómo implementar sistemas automáticos de alivio de carga (racionamiento) en el caso de existir un déficit de producción

#### RECONOCIMIENTO

Me gustaría dar las gracias a ELECGALAPAGOS por facilitarme los datos estadísticos utilizados en la elaboración de este proyecto.

#### REFERENCIAS

- [1] Kyriakides, E., Polycarpou, M., 2007. Short term electric load forecasting: A tutorial. In: Chen, K., Wang, L. (Eds.), Trends in Neural Computation, Studies in Computational Intelligence, vol. 35. Springer, pp. 391–418 (Chapter 16).
- [2] KUMAR, U. and JAIN, V.K., 2010. Time series models (Grey-Markov, Grey Model with rolling mechanism and singular spectrum analysis) to forecast energy consumption in India. *Energy*, 35(4), pp. 1709-1716.
- [3] Srinivasan, D. (2008). Energy demand prediction using GMDH networks. *Neurocomputing*, 72(1-3), 625–629. doi:10.1016/j.neucom.2008.08.006
- [4] Consejo Nacional de Electricidad, enlace [www.conelec.gob.ec](http://www.conelec.gob.ec) fecha de consulta Mayo 2013.
- [5] STERMAN, J.D., 1988. Modeling the formation of expectations: The history of energy demand forecasts. *International Journal of Forecasting*, 4(2), pp. 243-259.
- [6] Assimakopoulos, V. (1992). Residential energy demand modelling in developing regions. *Energy Economics*, 14(1), 57–63. doi:10.1016/0140-9883(92)90025-9
- [7] Kang, S.-S., Larsen, M. D. (2012). Tests of independence in incomplete multi-way tables using likelihood functions. *Journal of the Korean Statistical Society*, 41(2), 198–189.
- [8] Lee, S.-Y. (1985). Analysis of covariance and correlation structures. *Computational Statistics & Data Analysis*, 2(4), 279–295. doi:10.1016/0167-9473(85)90002-7
- [9] Empresa Eléctrica Provincial Galápagos (EEGP), enlace [www.elecgapagos.com.ec](http://www.elecgapagos.com.ec), Fecha de consulta Mayo 2013
- [10] Estación Científica Charles Darwin, enlace [www.darwinfoundation.org](http://www.darwinfoundation.org), Fecha de consulta Junio 2013.
- [11] Parque Nacional Galápagos, enlace [www.galapagospark.org](http://www.galapagospark.org), Fecha de consulta Mayo 2013.