

# ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS FACTORES CONDICIONANTES DEL CONSUMO ELÉCTRICO URBANO

Juan Segura<sup>1</sup>, Franyelit Suárez<sup>2</sup>, Juan Casierra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica Indoamérica.

<sup>2</sup>Pontificia Universidad Católica del Ecuador

juanjoelsegura@yahoo.com, {franyelit.suarez,juan.casierra}@pucese.edu.ec

Recibido (30/01/17), aceptado (29/03/17)

---

**Resumen:** El presente trabajo de investigación presenta el análisis de los factores más resaltantes que condicionan el consumo eléctrico residencial urbano. En este estudio se muestran los parámetros cuantitativos condicionantes del consumo eléctrico. Este sector de análisis ha sido escogido debido a que existe información de manera desagregada de cuáles son los principales factores sociales y tecnológicos que determinan su comportamiento, crecimiento, con el objetivo de elaborar políticas en la gestión del consumo eléctrico. La demanda eléctrica considerada como la suma de las potencias de todos los equipos que se estén utilizando en cada uno de los instantes de un día completo, está relacionada con el consumo eléctrico, que no es sino el valor de potencia demandada por un consumidor determinado multiplicado por el tiempo en que dicha demanda se mantiene. En este informe se plantea el diseño de un modelo probabilístico de predicción del consumo eléctrico, tomando en cuenta principalmente los factores sociales y tecnológicos influyentes. El proceso estadístico de esta base de datos se realizó a través del programa de computación Stat Graphics versión 4.1, por su amplia didáctica en la realización de cálculos y métodos asociados. Finalmente se realizó la correlación de las variables para clasificar los condicionantes de forma específica y lograr así determinar el consumo de las viviendas.

---

**Palabras Clave:** Consumo eléctrico, proceso estadístico, sector urbano, factores sociales.

## STATISTICAL ANALYSIS OF THE CONDITIONING FACTORS OF URBAN ELECTRIC CONSUMPTION

---

**Abstract:** This research work presents the analysis of the most important factors that condition the urban residential electricity consumption. This study shows the quantitative parameters conditioning the electricity consumption. This sector of analysis has been chosen because there is disaggregated information of which are the main social and technological factors that determine its behavior, growth, with the objective of elaborating policies in the management of the electric consumption. The electrical demand considered as the sum of the powers of all the equipment that are used in each of the instants of a full day, is related to the electrical consumption, which is not but the value of the power demanded by a determined consumer Multiplied by the time in which said demand is maintained. In this report we propose the design of a probabilistic model of prediction of electricity consumption, taking into account mainly influential social and technological factors. The statistical process of this database is done through the Stat Graphics software version 4.1, for its extensive didactic in the accomplishment of calculations and associated methods. Finally, the correlation of the variables was performed to classify the determinants in a specific way and thus to determine the consumption of the dwellings.

---

**Key words:** Electric Consumption, Statistical process, Urban Sector.

## I. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es uno de los factores más utilizados en la sociedad moderna, se ha convertido en una necesidad de los pueblos, con el avance de nuevas tecnologías domésticas que requieren un mayor consumo de energía eléctrica. Generalmente cuando se adquiere un artículo electrodoméstico (televisor, refrigerador, lavadora, secadora, etc.), se está agregando un consumo adicional al diseño original del circuito eléctrico, lo cual puede generar un sobreconsumo o una sobrecarga que puede ocasionar un peligro de incendio producto del recalentamiento de los conductores y de todo el sistema de red eléctrica. Usualmente los riesgos eléctricos se producen por una excesiva conexión de equipos a una red que fue diseñada para un número moderado de los mismos. Benaventes et al [1] sugiere que la demanda eléctrica responde al precio que se cobra por la misma, y que por lo tanto los cortes de energía son innecesarios cuando hay un déficit en electricidad. En períodos normales se puede considerar que la demanda de energía depende casi solamente del ingreso de los consumidores y del precio relativo [2], [7]. En el siguiente trabajo de investigación se presenta el desarrollo de un análisis estadístico para la valoración del consumo eléctrico residencial urbano en la provincia de Pichincha, Ecuador. En este estudio se han considerado los factores sociales y tecnológicos que determinan el comportamiento del consumo eléctrico. Una vez realizadas las evaluaciones del sector urbano se propuso un modelo probabilístico de predicción del consumo, que permita tomar en consideración el crecimiento poblacional y las características sociales que permitan garantizar un buen servicio eléctrico de forma continua. En este trabajo se presenta un análisis estadístico de las condiciones del sector urbano, se propone un modelo matemático para la predicción del consumo y se evalúan las causas que afectan dicha situación.

## II. DESARROLLO

### 1. Materiales y Métodos

Para el siguiente estudio se consideraron los principales factores sociales y tecnológicos que determinan el consumo eléctrico urbano; su comportamiento, crecimiento, con el objetivo de elaborar políticas en la gestión del mismo [3],[4].

Para este trabajo se realizó un análisis social en el norte de la Ciudad de Quito, Ecuador, en espacios residenciales urbanos con características sociales similares, número de hijos, profesión, edad, ocupación, y características similares de la vivienda; número de

habitaciones, equipos eléctricos, etc.

### Fundamentos teóricos

**Demanda Eléctrica:** Se considera Demanda Eléctrica a la sumatoria de potencias consumidas por los equipos que se estén utilizando a cada instante del día y de la noche, esta magnitud se mide en Watt o múltiplos de ella [2-6], [8],[10].

**Consumo Eléctrico:** Se refiere al valor de potencia exigida por un consumidor multiplicado por el tiempo en que dicha potencia se mantiene, se expresa en Watt-horas o múltiplos de esta unidad [2], [4], [8], [10].

### Característica del Sector Residencial.

1- Posee un bajo factor de carga, pues durante el día la demanda es muy baja la cual se incrementa bruscamente en el horario nocturno, coincidiendo con el horario de máxima demanda.

2- El factor de carga depende del nivel de electrificación del país [3],[10].

3- Posee altas tasas de crecimiento anual [10].

4- Sus consumos fluctúan con el clima y nivel de vida de sus habitantes.

Selección de factores a estudiar de forma cuantitativa

1. Mes (factores estacional)

2. Potencia instalada (factor tecnológico)

3. Ingreso total familiar (factor social-económico)

4. Número de personas/por viviendas (factor social-demográfico)

Selección de factores a estudiar de forma cualitativa

1- Ocupación

2- Nivel de escolaridad

3- Edad

Selección de la población objeto de estudio

La población seleccionada son las ciudadelas ubicadas en el sector Centro-Norte de la Ciudad de Quito, constituidos por 5 edificios con un total de 526 departamentos. El mismo posee una alta densidad de población y una composición social heterogénea.

Cálculo del tamaño de la muestra en la población

seleccionada El tamaño de la muestra se determina a través de la ecuación 1, arrojando un valor de n=100 departamentos.

$$n = \left( \frac{Z * S}{E} \right)^2 \quad (1)$$

Dónde: n: tamaño de la muestra.

Z: variable estandarizada, para  $\alpha = 0,05$ ;  $Z = 1,96$

S: desviación estándar de la medición en el objeto de medición (metro contador)  $S = 0,05$

E: error permisible tomado para el estudio.  $E = 0,01$

Se considerarán variables dependientes el consumo eléctrico expresado en KW-h y como variable independiente las definidas de manera cualitativa y cuantitativa, relacionadas con los aspectos sociales y tecnológicos.

Los valores correspondientes a la variable Consumo Eléctrico pertenecen al año de estudio 2014, esta información fue suministrada por la Corporación Nacional de Electricidad, CNEL, previo conocimiento del control, ruta y código de cada consumidor seleccionado. Una vez seleccionadas las residencias de estudio, se procedió a evaluar las características de cada vivienda, a través de un sistema de encuestas y de un levantamiento de carga. Se utilizó el software de computación Stat Graphics para el procesamiento de datos, ya que ofrece una amplia herramienta para procesamiento de datos estadísticos con alta confiabilidad de respuesta. El conjunto de datos se aprecia en la tabla I, se muestran los 12 modelos correspondientes a cada uno de los meses del año

**Tabla I. Resumen de los Modelos Mensuales**

Mes	R <sup>2</sup> Ajustada (%)	Modelo mensual (kW-h)	Error estándar del estimado (kW-h)
Enero	91,1023	21,3712Pinst + 23,5399 No. Pers.	44,4967
Febrero	90,0709	16,5691Pinst + 20,3878 No. Pers.	39,8578
Marzo	91,6072	22,3367Pinst + 21,6926 No. Pers.	41,9842
Abril	90,1458	19,5692Pinst + 24,8360 No. Pers.	47,9193
Mayo	89,9815	24,2341Pinst + 20,2330 No. Pers.	46,3811
Junio	92,4096	27,8018Pinst + 22,4906 No. Pers.	44,5491
Julio	93,0441	26,2801Pinst + 22,8229 No. Pers.	41,6399
Agos.	93,4384	32,3750Pinst + 21,0059 No. Pers.	41,6792
Sep.	93,8472	26,2612Pinst + 23,6899 No. Pers.	39,5664
Oct.	93,5358	27,6168Pinst + 20,3710 No. Pers.	39,1861
Nov.	91,7972	25,7062Pinst + 21,0031 No. Pers.	43,6443
Dic.	90,8683	20,2742Pinst + 21,3052 No. Pers.	42,4683

## 2. Estudio de Correlación.

Se realizó un estudio de correlación entre el consumo, como variable dependiente y las variables independientes de carácter cuantitativo; Mes, Potencia instalada, Número de personas/por viviendas e Ingresos. Se pudo comprobar que la variable Ingresos no correlaciona con las siguientes variables: Consumo, Mes y Potencia instalada. Ya que el ingreso por vivienda no garantiza que los habitantes tengan mayor o menor cantidad de equipos eléctricos y que los mantengan encendidos durante las 24h del día.

## 3. Análisis de Regresión Lineal Múltiple

Para la realización del estudio de Regresión Lineal Múltiple se propone la confección de 12 modelos, uno mensual y de esta forma cada uno de ellos tendrá implícitos la variabilidad estacional y mensual respecto al Consumo.

Datos empleados en la confección de los modelos.

- 1.-Consumo para cada mes específico de cada vivienda seleccionada.
- 2.-Potencia instalada.
- 3.-Número de personas/por vivienda.

## 4. Validación de los modelos obtenidos a través del estudio de Regresión Lineal Múltiple.

La validación del modelo se debe realizar en elementos de la población seleccionada que cumplan los siguientes requisitos:

- 1.-Las viviendas objeto de validación se deben escoger al azar.
- 2.-Las viviendas objeto de validación no pueden formar parte de la muestra.
- 3.-Las viviendas objeto de validación deben poseer un consumo histórico mensual durante el año 2015 entre (50-250) kW-h.

Se validó el modelo comparando el valor real de consumo obtenido a través de la facturación del mes en estudio, con el valor de consumo arrojado por la ecuación del modelo de Regresión para el mes analizado junto con su intervalo de predicción para observaciones futuras. Si el valor real de consumo está dentro del intervalo calculado el modelo es válido para el nivel de confianza seleccionado, un 95%.

El intervalo de predicción se obtiene a través de la ecuación (2)

$$\hat{Y}(X_0) \pm t \frac{\infty}{2, n-p} \sqrt{\hat{\sigma}^2 [1 + X_0'(X'X)^{-1}X_0]} \quad (2)$$

donde:

$\hat{Y}$  - Valor obtenido a través del modelo.

$\hat{\sigma}$  - Desviación estándar de los residuos de los

modelos, se emplea como límite de predicción para nuevas observaciones.

$X_0'$  -La matriz transpuesta del vector columna correspondiente a los nuevos valores o valores futuros de las variable regresoras, en este caso: potencia instalada y número de personas.

$$X_0' = [1 \quad X_{01} \quad X_{02}]$$

$X_0$  – Vector columna de los valores futuro.

$$X_0 = \begin{bmatrix} 1 \\ X_{01} \\ X_{02} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$[X'X]^{-1}$  – Es la matriz inversa del producto de la matriz transpuesta por ella misma.

$t$  – es la  $t$  de Student

$\alpha$  - **0,05** para un intervalo de confianza de un **95 %**

$n - p$  - Grados de libertad

$n$  – Número total de observaciones

$p$  - Parámetros del modelo.

Si se simplifica la ecuación 2 despreciándose el término  $[1 + X_0'(X'X)^{-1}X_0]$  el cual forma parte de la cantidad sub radical, traeríacomo consecuencia un resultado menor considerándose el menor de los casos para el intervalo de predicción futura, la ecuación 4 muestra la simplificación obtenida:

$$\hat{Y}(X_0) \pm t \frac{\infty}{2} \frac{\hat{\sigma}}{n - p} \quad (4)$$

Se propone para lavalidación del modelo tomar un 5% de la población seleccionada que cumpla con los requisitos citados anteriormente. El valor del 5% se ha tomado por tener un nivel de confianza de un 95% que permite lograr una respuesta con un error de hasta un 5%.La población seleccionada está constituida por 526 apartamentos, para lo cual el 5% lo constituyen 26 departamentos, con el objetivo de verificar si el valor real obtenido se encuentra dentro del rango para cada modelo mensual.

### 5.Estudio y análisis del Consumo Eléctrico respecto a las variables cualitativas

Para el cumplimiento del mismo se plantea un análisis de frecuencia de la variable ocupación, el cual tiene implícito las otras las otras dos variables respecto al consumo.

Análisis de Frecuencia para la Variable Ocupación.

Para la realización del presente estudio se establecen

diferentes grupos de clases en dependencia de la ocupación que posean las personas integrantes de los núcleos familiares en las viviendas objeto de estudio y análisis.

Los grupos de clases propuestos son los siguientes:

- Grupo A. Está integrado por el conjunto de departamentos pertenecientes a la muestra de 100 viviendas donde la ocupación de sus habitantes se denomina trabajadores solos, o éstos asociados a estudiantes.

- Grupo B. Está integrado por el conjunto de departamentos pertenecientes a la muestra de 100 viviendas donde la ocupación de sus habitantes se denomina trabajadores, jubilados, estudiantes, amas de casa, niños, es decir, mixtos.

- Grupo C. Está integrado por el conjunto de departamentos pertenecientes a la muestra de 100 viviendas donde la ocupación de sus habitantes se denomina jubilados solos, o éstos asociados a estudiantes.

Para la muestra estudiada la composición de la mismade acuerdo a la ocupación de las personas es presentada en la tabla II. Donde se observa un valor importante en la cantidad de trabajadores en comparación con la cantidad de amas de casa.

**Tabla II. Composición de la muestra**

Ocupación	N° de personas
• Trabajadores	167
• Estudiantes	63
• Jubilados	51
• Ama de casa	16
• Niños y adolescentes	22
• Total de la muestra	319

Determinación de datos estadísticos tanto para la muestra en su conjunto como para los diferentes grupos de clases.

Se determinaron los valores estadísticos de la muestra, expuestos en la tabla 4, adicional se muestra la mediana, el mínimo y el máximo del conjunto de datos.

**Tabla III. Resumen de los valores estadísticos.**

Estadísticos	P/Muestra (kW-h)	Grupo A (kW-h)	Grupo B (kW-h)	Grupo C (kW-h)
Casos válidos	100	57	31	12
Media	1801,07	1673,11	2083,03	1680,5
Mediana	1769	1710	1996	1413
Mínimo	130	130	792	817
Máximo	5620	3020	5620	3151
Total	180107	95367	64574	20166

Valoración acerca del análisis de frecuencia para las variables cualitativas.

Los consumidores pertenecientes al Grupo B (grupo mixto), poseen las siguientes características:

- Tienen el mayor consumo promedio anual y mensual por viviendas respecto a la muestra.

- El grupo tiene el segundo lugar en el consumo con respecto al total de la muestra seleccionada.

Al comparar el consumo promedio anual del Grupo B en relación a los Grupos A y C, se observa que el primero arroja valores superiores. De acuerdo a los resultados anteriores se infiere que las viviendas pertenecientes a este Grupo B tienen mejores características respecto a los otros dos grupos que conforman la muestra, motivado a que van a poseer un mayor número de personas en sus casas, diversidad en las ocupaciones de sus integrantes, expresándose esto en un mayor consumo per cápita. De esta forma se corrobora la correlación existente entre consumo y número de personas/vivienda.

Los consumidores pertenecientes al Grupo C (Jubilados solos o asociados a estudiantes) poseen un consumo promedio mensual por vivienda y consumo promedio anual por vivienda prácticamente igual al Grupo A (Trabajadores solos o asociados a Estudiantes).

Por tal motivo se infiere la importancia de conocer la ocupación de las personas con vista a la realización de estudios encaminados al pronóstico del consumo y la demanda, pues los jubilados al tener una mayor permanencia en el hogar, contribuyen al incremento de ambas, independientemente de que ellos como grupo respecto a la muestra sean los de menor consumo.

### III. RESULTADOS

Del estudio de Regresión Lineal Múltiple se obtuvieron los siguientes resultados:

- Se empleó un modelo lineal sin constante numérica como primer término, debido a que en ausencia de todas las variables independientes el consumo sería 0, pues no existe en las viviendas una carga fija consumidora

desvinculada de las variables independientes.

- Los modelos obtenidos van a poseer una R<sup>2</sup> ajustada en el rango (89,9815– 93,8472) % indicando que los mismos explican en ese rango la variabilidad del consumo en dependencia del mes que se estudie.

- Las variables que conforman el modelo están muy interrelacionadas, por tanto: el modelo se presenta como un todo, pudiéndose emplear en predecir el consumo, sin embargo, no puede ser usado para evaluar rigurosamente el aporte que tiene cada variable por separado en la respuesta total.

- El P-value en cada modelo toma una magnitud de 0,0000 indicando una alta significación estadística para un 95 % de nivel de confianza.

- Los modelos obtenidos a pesar de poseer una R<sup>2</sup> ajustada en el rango anteriormente citado (excelentes valores), sin embargo, tienen un Error Estándar del Estimado en el rango de (39,1861–47,9193) kW-h, los cuales se consideran elevados con vistas a la predicción de nuevas observaciones.

### IV. CONCLUSIONES

1.-Se establece una correlación estadísticamente significativa entre los factores social y tecnológico, respecto al consumo total anual, excepto la variable social cuantitativa ingresos.

2.-Se elaboró un modelo matemático correspondiente a cada mes del año para realizar una predicción probabilística acerca del consumo en una vivienda del sector residencial urbano, determinando el nivel de influencia de los parámetros cuantitativos seleccionados de manera conjunta y no individualmente.

3.-Se empleó un modelo lineal sin constante numérica como primer término, debido a que en ausencia de todas las variables independientes el consumo sería cero.

4.-Los modelos obtenidos van a poseer una R<sup>2</sup> cuadrada ajustada en el rango (89,9815-93,8472) % indicando que los mismos explican en ese rango la variabilidad del consumo en dependencia del mes que se estudie.

5.-El modelo a pesar de resultar insuficiente para realizar en general pronósticos del consumo en el sector residencial urbano por carecer de otros elementos fue validado en 26 viviendas de la población seleccionada, representando 312 meses, de los cuales en sólo 10 casos el valor real no pertenecía al intervalo de predicciones futuras.

**V.REFERENCIAS**

- [1] Benavente, J., Galetovic, A., Sanhueza, R. y Serra, P. Estimando la demanda por electricidad en Chile: el consumo es sensible al precio. (2005) Vol. 42. pp. 31-61.
- [2] Marshall, D. El consumo eléctrico residencial en Chile en 2008. (2010) Vol. 47. pp. 57-89.
- [3] Puentes, V. Demanda eléctrica. Conferencia Nacional de Demanda Eléctrica, La Habana, 2002.
- [4] Martínez Serna P. Trabajo de Grado. Proyección de La Demanda. Antecedentes. Necesidad e Importancia. Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales, 2003.
- [5] De Barros Neto, Benicio; Spacino Scarminio, Leda; Edward Bruns, Ray. Como Fazer Experiments. II Ed. página 58. Editora Unican 2002.
- [6] Fierro, G., Serra, P. Un modelo de estimación del costo de falla eléctrica: caso Chile. Cuaderno de economía. Año 30, No. 90 (Agosto 1993), pp. 247-259
- [7] IDEA. Secretaría general departamento de planificación y estudio. (2011). Análisis del consumo energético del sector residencial en España.
- [8] Agostini, C., Pottier, M., Saavedra, E. (2009) LA demanda residencial por energía eléctrica en Chile. CASEN.
- [9] Martén, I., Baeza, R., López, D., Molleda, J. El reto de Kioto: mitos y realidades. Revista Universia Business Review, núm. 2, segundo trimestre, 2004, pp. 118-135 Portal Universia S.A. Madrid, España
- [10] Segura, J. Trabajo de grado. Modelo matemático del consumo eléctrico residencial urbano. (2012). Universidad de Cienfuegos.