

Métodos para la Evaluación de la Demanda de Energía Eléctrica en una Región

Luis Milla Lostaunau

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima Perú

RESUMEN: La proyección de la demanda eléctrica es una de las herramientas más importantes para realizar el planeamiento eléctrico de una región. Se utilizan diversos métodos para este fin, todo depende de la cantidad de información que se disponga, ésta puede ser de los datos históricos que se disponga, o mediante el método de la correlación de las magnitudes de producción versus las magnitudes macroeconómicas. Se puede también utilizar la prospección directa de los productores más significativos ó la comparación cualitativa con el desarrollo eléctrico de otros países similares.

Palabras Claves: extrapolación, t de student, correlación, mínimos cuadrados, varianza.

I. INTRODUCCIÓN

Los métodos utilizados en una región para la evaluación de la demanda futura de energía eléctrica se definen de la siguiente manera:

- *Proyección de la Demanda de Energía eléctrica por extrapolación de la tendencia histórica.* Este método considera que la evaluación de la demanda de energía eléctrica es un fenómeno que implica a la economía general de la Región, pero sin explicar la forma cuantitativa del nexo existente en ellas. Se supone que los factores económicos que han influido en el pasado sobre la demanda lo seguirán haciendo de manera similar en el futuro.
- *Proyección de la Demanda por correlación entre la producción de energía eléctrica y determinadas magnitudes macroeconómicas.* Esta correlación se establece a través de un modelo econométrico que relaciona ambas variables, determinando una serie de tasas

anuales acumulativas de crecimiento del consumo de energía eléctrica, en correspondencia con unas hipótesis del crecimiento económico general.

- *Prospección Directa de los Productores más significativos* obteniéndose los montos de sus entregas energéticas en el futuro.
- *Comparación Cualitativa con el desarrollo eléctrico en otros países.* Este método solo debe ser considerado como complemento de los anteriores y en ningún caso se tratará de obtener del mismo la valoración cuantitativa de la evolución futura del sector energético en la región.

II. METODOLOGÍA PARA PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

De todos los métodos existentes para la proyección de demanda eléctrica, la más desarrollada, dada la fiabilidad de sus resultados, son aquellas que efectúan la proyección de la demanda de energía eléctrica teniendo en cuenta todos los factores importantes, que movidas por la marcha de la economía general del país, actúan en forma directa sobre dicha demanda. Son varios los métodos de este tipo utilizados en los diferentes países, pero conceptualmente pueden distinguirse tres grupos fundamentales que son las que a continuación se enumeran:

- a) El primero de estos métodos, considera la evolución de la demanda a la economía general del país, pero sin explicar cuantitativamente cual es el nexo existente entre las mismas. Se supone en este caso, que los diversos factores económicos que han influido en el pasado sobre la demanda de energía eléctrica, seguirán siendo de manera similar en el futuro. Este planteamiento es equivalente a suponer que las tendencias observadas en el pasado, dentro del ámbito de la demanda de energía, se conservarán

en el futuro, por lo que al formular esta proyección, se realiza una extrapolación directa a partir de la serie histórica de valores registrados. Este método es utilizado de forma universal, para previsiones, de corto y mediano plazo, período en que el mantenimiento de la tendencia citada anteriormente, se conserva con validez. No obstante se debe advertir la incapacidad del mismo para reflejar el hecho de que la demanda de energía eléctrica, esta realmente unida al fenómeno económico general y que este último, no constituye un fenómeno puramente aleatorio, sino que esta influenciado por factores de naturaleza política, administrativa, etc.

- b) El segundo método, se basa en la formulación de una explicación explícita de las relaciones funcionales existentes entre la evolución de la demanda eléctrica y la economía general. Esta relación se establece a través de un modelo econométrico que liga ambas variables. Este modelo ha sido considerado como el más útil en las diferentes acciones y para diferentes países. Consiste en establecer una relación, entre el crecimiento anual de la demanda de energía eléctrica y algún índice macroeconómico, como puede ser la renta per cápita, el Producto Nacional Bruto, el Producto Industrial, etc. Indicando la elasticidad existente entre ambos fenómenos. Este método ha sido seguido con éxito en los Planes de Desarrollo Eléctrico de Francia y España; y otros países como Bélgica, Holanda e Italia, utilizan modelos muy similares para efectuar sus propias previsiones, debido a que con este planteamiento se expresa de manera satisfactoria el hecho real, de que el crecimiento de consumo de energía eléctrica no obedece solamente a fenómenos de carácter aleatorio, sino que va ligado a la economía general del país. La forma más usual de presentar los resultados obtenidos por medio del modelo, consiste en determinar una serie de tasas anuales acumulativas de crecimiento de consumo de energía eléctrica, en correspondencia de una hipótesis del crecimiento económico general. Este método conjuntamente con el anterior basado en una extrapolación, puede ser, clasificado como analíticos de la demanda registrada en el pasado y servirán para estudiar las previsiones futuras.
- c) En tercer lugar puede realizarse una prospección directa de los productores más significativos obteniéndose de la misma cuales son sus ventajas energéticas en el futuro.

En el análisis del mercado eléctrico de una región, se aplican por métodos indicados anteriormente, según las características propias del mercado de cada una de las zonas y áreas que constituyen este estudio. De esta forma se han podido obtener unos resultados totales y realizar una forma coherente de la proyección de la demanda de la energía eléctrica, al mismo tiempo por que se han valorado los caminos seguidos y las hipótesis afectados por comparación de la evolución económica eléctrica en diversos países. En el marco de las empresas eléctricas se utiliza el primero de estos métodos dadas las características propias de este mercado por el contrario en las zonas industriales se toma como base al tercero de estos métodos, por ser el consumo prácticamente industrial en su totalidad y solamente sujeto, por tanto, a los planes de ampliación de estas empresas. El segundo método se aplica en su totalidad a una región dado que sus características permiten obtener cierta indicación al aplicar las comparaciones y con índices macroeconómicos, aunque estos índices no sean conocidos por el momento en la exactitud que es conveniente para tener cierta confiabilidad. En este caso la utilidad del método ha sido exclusivo lo del contraste con el resultado obtenido por el de correlación. Dentro del método de extrapolación de series históricas se han localizado un estudio de márgenes de confiabilidad basados en la distribución normal de la función de demanda, cuya varianza se supone fija en el tiempo. Se obtiene de esta manera, un intervalo de confianza en el que se encuentra la demanda de energía eléctrica con una probabilidad prefijada de antemano.

III. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR EXTRAPOLACIÓN DE LA TENDENCIA HISTÓRICA

La primera fase de la tecnología a emplear en el presente estudio, esta basado en la obtención de valores previstos para el futuro, partiendo de una serie de valores ya registrados en el pasado. Esta metodología de extrapolación podrá ser aplicada en todos los casos en que existan series fiables de valores homogéneos, es decir correspondientes en el mismo ámbito de actividad.

De esta forma podrán constituirse series históricas para ser extrapoladas según unidades territoriales (totalidad de la Región, Departamento, Área, Zonas) o dentro de estas unidades según la aplicación que se de a sus elementos como sector de su actividad; por ejemplo, domestico, comercial, industrial, etc.

La extrapolación de bienes históricos, es un método de aceptable fiabilidad para proyecciones a corto y mediano plazo, en países o sectores en que la economía

en general se encuentra en vías de desarrollo ya que se supone que la evolución de la demanda de energía eléctrica es un factor de relación implícita con el fenómeno económico general.

IV. REPRESENTACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA MEDIANTE UN MODELO MATEMÁTICO

Se ha aceptado en primera aproximación como representativa de la evolución de la demanda de energía, una función exponencial sencilla, que sólo cabría modificar en caso que existiese una marca de desviación, entre los valores reales integrantes de la serie histórica y las deducidas de la fórmula adoptada para cada año. Así pues la función elegida será de la forma:

$$E_t = E_1 \left(1 + \frac{\Delta E}{100}\right)^t \quad (1)$$

Donde:

t: es el año al que se refiere el dato, tomando como origen el primer año que integra la serie.

E_1 : es el valor de la demanda técnica en el año t.

ΔE : es la tasa anual de crecimiento de un año sobre el anterior expresado en tanto por ciento.

Tomando logaritmos en (1) se tiene:

$$\text{Log } E_t = \text{Log } E_1 + t \text{Log} \left(1 + \frac{\Delta E}{100}\right)$$

Ecuación que mediante los siguientes cambios:

$$Y_t = \text{Log } E_t$$

$$a = \text{Log } E_1$$

$$b = \text{Log} \left(1 + \frac{\Delta E}{100}\right)$$

$$Z_t = t$$

Adopta la forma lineal:

$$Y_t = a + b Z_t \quad (2)$$

Que una vez conocido los parámetros a y b permite hallar el valor teórico de la demanda anual de energía [1], [2].

El valor real de la demanda de energía en cada año puede considerarse constituido o a partir del valor teórico modificado en cada caso, por una perturbación de carácter aleatorio V_t es decir:

$$V_t = a + b + Z_t + V_1$$

La relación constituye un modelo matemático lineal, que permite simular la evolución de la demanda de energía en el tiempo.

V. REVISIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA

Para analizar esta evolución de energía en el tipo se han de considerar, los siguientes elementos:

- Un conjunto de valores Y_1, Y_2, \dots, Y_t de la función del modelo, Y_t que representa el logaritmo de la demanda.
- Un conjunto de valores Z_1, Z_2, \dots, Z_t de la variable del modelo, Z_t que representa el tiempo.
- Dos parámetros estructurales del modelo a y b.
- Un conjunto de variables V_1, V_2, \dots, V_t que determina la perturbación aleatoria V_c .
- En la realización del modelo se ha supuesto que estos elementos, cumplan los siguientes principios.
- Tanto la función Y_t como la variable Z_t , son magnitudes numéricas cuyos conjuntos de valores son los resultados de la observación de una muestra aleatoria simple de tamaño T.
- El conjunto de valores, parámetros y variables, especificados anteriormente, satisfacen la relación

$$Y_t = a + bZ_t$$
 cualquiera sea el valor que se le asigne a t entre los valores 1,2,...,t
- Las variables V_1, V_2, \dots, V_t , son aleatorias cada una

De las variables se observa perturbación que tiene esperanza matemática nula. Con V_T se tiene en cuenta en el modelo, el conjunto de influencias externas que actúan sobre la función Y_t , distintas de Z_t . Por tanto, V_t puede considerarse como suma de muchas variables exógenas, cada una de las cuales influye débilmente en la formación de las Y_t , es decir, se puede imaginar que son una especie de "errores en la ecuación". Precisamente por este carácter de error puede aceptarse como cierta la condición de esperanza matemática nula.

$$E(V_T) = 0 \quad (t = 1, 2, \dots, T) \quad (3)$$

Aceptando estos principios en las variables constitutivas de la función H_{it} se deducen para el las siguientes propiedades:

- a) La variable Y_t es una variable aleatoria, por ser función de la variable aleatoria V_t .
- b) La esperanza matemática de la función Y_t condiciona a un valor de Z_t fijo, es una función de

Z_t de la forma $a + bZ_t$, ya que V_t tiene una esperanza matemática nula, es decir:

$$E(Y_t / Z_t) = f(Z_t) = a + bZ_t \quad (4)$$

c) La varianza de Y_t , es igual a la varianza de la variable Y_t , en efecto:

$$D^2(Y_t) = E[Y_t - E(Y_t)]^2 = E(Y_t - a - bZ_t)^2 = E(V_t)^2 \quad (5)$$

Con estas condiciones es posible determinar un estimado de cada uno de los parámetros estructurales a y b aplicando el método de los mínimos cuadrados, que mediante la expresión (4) permiten obtener el valor medio de la demanda de energía.

Si se designan por R_t los valores observados, matemáticamente el problema se reduce a minimizar la expresión:

$$X = \sum (Y_t - R_t)^2 = \sum (a + bZ_t - R_t)^2 \quad (6)$$

Ya que Y_t menos R_t son las desviaciones entre valor observado y valores previstos por el método, por tanto haciendo nulas las derivadas respecto a los dos parámetros se tiene:

$$\frac{\delta X}{\delta a} = 0 = \sum (a + bZ_t - R_t) = Ta + b \sum Z_t - \sum R_t$$

$$\frac{\delta X}{\delta b} = 0 = \sum (a + bZ_t - R_t)Z_t = a \sum Z_t + b \sum (Z_t)^2 - \sum Z_t R_t$$

De estas dimensiones, se obtiene las siguientes expresiones para los parámetros:

$$a = \frac{(\sum Z_t R_t) \sum Z_t - (\sum R_t) \sum Z_t^2}{(\sum Z_t)^2 - T \sum Z_t^2} \quad (7)$$

$$b = \frac{(\sum R_t) \sum Z_t - (\sum Z_t R_t)}{(\sum Z_t)^2 - T \sum Z_t^2} \quad (8)$$

a) Obtener los parámetros y valores de la demanda se pueden también calcular el coeficiente de correlación

de Bregáis-Pearson [1], [2], [3], representativo del grado de ajuste, cuya expresión es:

$$r = \frac{T \sum Z_t R_t - \sum Z_t \sum R_t}{\sqrt{\left[T \sum (R_t)^2 - \left(\sum R_t \right)^2 \right] \left[T \sum Z_t^2 - \left(\sum Z_t \right)^2 \right]}} \quad (9)$$

Sustituidos en la fórmula (4) los valores de A y B obtenidos, se deducen los valores del logaritmo de la demanda calculada. El antilogaritmo de b permite determinar la tasa de crecimiento anual.

VI. INTERVALOS DE CONFIABILIDAD APLICABLE A LAS PROYECCIONES DE LA DEMANDA ELÉCTRICA

Como complemento de la extrapolación de la tendencia histórica se ha calculado un estudio de márgenes e intervalos de confiabilidad aplicable a las proyecciones de la demanda de energía eléctrica.

Designando por a y b los estimados de los parámetros estructurales. De la ecuación $U = Y_t - (a + bZ_t)$ da una medida de la desviación de los datos respecto a la curva obtenida por ajuste.

Esta variable tiene una distribución normal, por ser función lineal la siguiente expresión.

$$\sigma^2_u = \sigma^2 \left[\frac{T+1}{T} + \frac{(Z_t - Z)^2}{\sum (Z_t - Z)^2} \right] \quad (10)$$

Siendo θ^2 la varianza constante de las perturbaciones aleatorias, A su vez, la variante: $\frac{U}{\sigma_u}$

Tiene una distribución normal con media cero y varianza unidad y su distribución es independiente de ver [3,4]: $\frac{T\sigma^2}{\sigma^2}$

Siendo σ^2 el estimador de máxima verosimilitud de σ^2 por tanto la variable:

$$r = \frac{U/\sigma_u}{\sqrt{T\sigma^2 / (T-2)\sigma^2}} \quad (11)$$

Tiene una distribución t de student con (t-2) grados de libertad [1] y no incluyen parámetros desconocidos. Sus desigualdades en:

$$P(T_c < T < T_E) = 1 - C \tag{12}$$

Pueden transformarse para determinar el intervalo de predicción de 100(1-E) por 100 y para Y_t , el intervalo viene dado por:

$$P(\hat{a} + \hat{b}Z_t - X < Y_t < \hat{a} + \hat{b}Z_t + X) = 1 - \epsilon$$

$$X = T_E \sigma \sqrt{\frac{T}{T-2} * \frac{T+1}{T} + \frac{(Z_t + \bar{Z})^2}{\sum_1^T (Z_t - \bar{Z})^2}} \tag{13}$$

Los valores de T_E se obtiene a partir de la tabla de distribución t de student, que se reproduce parcialmente a continuación:

Grados de Libertad	PROBABILIDAD						
	(n-2)	50%	80%	90%	95%	98%	99%
4		0.741	1.533	2.132	2.776	3.47	4.604
5		0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6		0.718	1.440	1.943	2.441	3.143	
7		0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	
8		0.706	1.397	1.800	2.306	2.896	
9		0.383	1.383	1.833	2.262	2.821	
10		0.700	1.372	1.312	2.228	2.744	

VII. PROYECCIÓN DE LA DEMANDA POR CORRELACIÓN ENTRE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y DETERMINADAS MAGNITUDES MACROECONÓMICAS

En la mayor parte de los países que emplean métodos de extrapolación razonados para realizar sus previsiones de energía eléctrica, tratan de mejorarlas utilizando modelos explicativos del proceso de crecimiento del sistema. Es decir consideran que la demanda de energía eléctrica varía no solamente en función del tiempo, sino también de las variables explicativas de empresas de desarrollo. Generalmente existen fuertes lazos de unión entre la evolución de la producción de energía eléctrica y la evolución de determinados indicadores macroeconómicos como es

lógico, la aplicación de estas relaciones depende de las previsiones existentes para aquellas otras variables económicas cuya evolución se liga con la producción de energía eléctrica. Estas variables podrán ser de tipo demográfico, como la población total o activa de indicadores macroeconómicos, como el “Producto Regional Bruto” (PRB.), etc.

La expresión matemática de estas relaciones entre variables pueden ser muy diversas: formulas empíricas, ecuación de regresión, o coeficientes indicadores del efecto que tendrá el incremento unitario de una variable sobre la otra (coeficiente de elasticidad), a la vez puede añadirse algún parámetro para lograr un mejor ajuste entre los valores observados y ajustados.

VIII. CORRELACIÓN PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PRODUCTO REGIONAL BRUTO

Esta primera correlación [1],[2],[3] entre los valores de la producción eléctrica y del producto regional, utiliza una función del tipo:

$$E_t = a(\text{PRB}_t)^b \tag{14}$$

En la que E_t es el consumo en control o producción eléctrica neta del año t y PRB es el producto regional en ese mismo año.

a y b son constantes determinados mediante ajuste por mínimo cuadrado a los valores observados de E y PRB.

La validez de una formula de este tipo se puede probar, si se parte de la hipótesis de una tendencia exponencial en las dos variables, es decir:

$$E_t = E_1 K^t$$

$$\text{PRB} = \text{PRB}_1 K^{t_2}$$

Se toman logaritmos y se elimina t, se obtiene

$$\text{Log} E_t = [\text{log PRB}_t - \text{log PBR}_1] \frac{\text{log } K_1}{\text{log } K_2} + E_1$$

Es decir:

$$E_t = E_1 \left[\frac{\text{PRB}_t}{\text{PRB}_1} \right]^{\frac{\text{log } K_1}{\text{log } K_2}} = a(\text{PRB}_t)^b$$

$$E_t = a(\text{PRB}_t)^b \tag{15}$$

IX. CRECIMIENTOS ANUALES DEL PRODUCTO REGIONAL BRUTO Y LA PRODUCCIÓN ELÉCTRICA

Esta relación funcional entre los crecimientos anuales del producto regional bruto y la producción eléctrica, resulta muy útil para establecer previsiones en el mercado eléctrico.

Este tipo de correlación es especialmente indicado, para países en vías de desarrollo en los que existen unos planes de expansión que asignan objetos de crecimiento en las distintas ramas de actividad que deben ser alcanzadas para la buena marcha de la economía nacional.

El modelo probabilístico usado, está basado en los siguientes conceptos:

- Para una tasa de crecimiento anual de la variable económica elegida (PRB), el crecimiento de la producción de energía eléctrica sigue una cierta ley de probabilidad solo en función de la tasa de crecimiento supuesta en la variable económica. Esto significa que esta ley no varía durante el periodo abarcado por la extrapolación.
- El valor probable de la tasa de crecimiento de la producción de energía eléctrica es función lineal de la tasa de crecimiento de la variable económica elegida PRB, la dispersión alrededor de este valor probable se supone constante.

Este segundo postulado es el que permite el uso de coeficientes de elasticidad constante y puede aclararse observando la forma real de las curvas de demanda de energía o en función de PBR y la variación de estas curvas al cambiar el PBR, tal como se expone a continuación.

El valor de la producción de energía eléctrica vendrá dado por la forma que toma la representación de su curva en función del precio de la energía.

Las curvas de producción o su equivalente, consumo en central, vienen determinadas por las curvas individuales de utilidad marginal.

La variación del precio desplazará el presupuesto de equilibrio entre oferta y consumo sobre la curva hacia la derecha y por el mismo precio el consumo aumentará.

Se ha comprobado por series de producto-consumo eléctrico de varios países y zonas, que representadas en coordenadas logarítmicas son generalmente lineales.

Las rectas de este tipo son consecuentes con la hipótesis de que tanto el consumo de energía eléctrica como el producto regional siguen tendencias exponenciales, es decir, que puedan representarse de la forma siguiente:

$$E_t = E_0 \left(1 + \frac{\Delta E}{100}\right)^t$$

$$PRB_t = PRB_0 \left(1 + \frac{\Delta PRB}{100}\right)^t \quad (16)$$

Si en estas dos ecuaciones se toman logaritmos y se eliminan t se obtiene una recta de la forma:

$$\log PBR_t = K_1 + a \log E_t$$

Donde la pendiente de la recta será:

$$a = \lim_{2 \rightarrow 1} \frac{\log PRB_2 - \log PRB_1}{\log E_2 - \log E_1} = \lim_{2 \rightarrow 1} \frac{\log(PRB_2 / PRB_1)}{\log(E_2 / E_1)} \quad (17)$$

$$\frac{\log(1 + \Delta PRB / 100)}{\log(1 + \Delta E / 100)} \cong \frac{\Delta PRB}{\Delta E}$$

Siendo 1 y 2 Puntos Próximos situados sobre la recta. Por otra parte, la función elasticidad es:

$$\text{Elasticidad} = e = \frac{dE/E}{dPRB/PRB} \text{ en c/punto} \quad (18)$$

Si en las Exponenciales de E_t y PRB_t se toman logaritmos, se diferencia y se despeja, queda:

$$\frac{dE}{E} = \log \left(1 + \frac{\Delta E}{100}\right) dt$$

$$\frac{dPRB}{PRB} = \log \left(1 + \frac{\Delta PRB}{100}\right) dt$$

Luego:

$$e = \frac{\log(1 + \Delta E / 100)}{\log(1 + \Delta PRB / 100)} \cong \frac{1}{a}$$

Que dada la forma observada de la curva, aproximadamente una recta, tiene pendiente constante en cualquier punto, con lo que queda probada la hipótesis de un coeficiente de elasticidad constante e igual a un coeficiente entre las tasas anuales de consumo eléctrico y producto regional.

El ajuste de la serie de valores registrados para ΔE y ΔPRB mediante una expresión que en este caso se encuentra representada por la elasticidad se puede realizar por el método usual de mínimos cuadrados.

Dado que estas series, en especial la de incrementos del PBR, no suelen ser todo lo regulares que fuera de desear, impidiendo la coincidencia de los valores

observados con los ajustados, se suele incorporar un parámetro K de forma que la expresión;

$$\Delta E = e\Delta PRB$$

Queda de la forma

$$\Delta E = a\Delta PRB + K$$

La expresión del ajuste por mínimos cuadrados será:

$$Z = \sum_{i=1}^n (\Delta E_j - \Delta E_j^1)^2 = \sum_{i=1}^n (a\Delta PRB_j^1 + K - \Delta E_j^1)^2 = \text{Mínimo}$$

Para que sea mínimo se deriva Z respecto de los parámetros a y k y se igualan a cero las expresiones resultantes:

$$\frac{\delta Z}{\delta a} = \sum_{i=1}^n (a\Delta PRB_j^1 + K - \Delta E_j^1 \Delta PRB_j^1) =$$

$$a \sum_{i=1}^n \Delta PRB_j^1 + K \sum_{i=1}^n \Delta PRB_j^1 - \sum_{i=1}^n (\Delta PRB_j^1 \Delta E_j^1) = 0$$

$$\frac{\delta Z}{\delta K} = \sum_{i=1}^n (a\Delta PRB_j^1 + K - \Delta E_j^1) =$$

$$a \sum_{i=1}^n \Delta PRB_j^1 + nk - \sum_{i=1}^n \Delta E_j^1 = 0$$

Sistema que despejando K y a resulta:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta E_j^1 \sum_{i=1}^n \Delta PRB_j^1 - n \sum_{i=1}^n (E \Delta PRB)}{\left(\sum_{i=1}^n (\Delta PRB_j^1)^2 - n \sum_{i=1}^n \Delta PRB_j^2 \right)} \quad (19)$$

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n (E \Delta PRB) \sum_{i=1}^n \Delta PRB - \sum_{i=1}^n \Delta PRB \sum_{i=1}^n \Delta E}{\left(\sum_{i=1}^n \Delta PRB \right) - n \sum_{i=1}^n \Delta PRB^2} \quad (20)$$

Una vez obtenidos los valores óptimos de a y K, la extrapolación de la demanda eléctrica se realiza a través de cada fórmula.

$$E_i = E_0 \left(1 + \frac{a\Delta PRB + K}{100} \right)^i \quad (21)$$

Esta metodología que ha sido aplicado a la totalidad de una región con los valores de la serie de PRB obtenida por comparación sectorial con respecto a la serie de P.I.B.

Los resultados de esta metodología han sido contrastados con los obtenidos por suma de la extrapolación en las distintas áreas y zonas integrantes de una región.

X. CONCLUSIONES

La proyección de la demanda eléctrica regional, generalmente se funda en los datos históricos obtenidos de la evolución de la misma en el tiempo.

La otra forma es la relación existente entre la evolución de la demanda eléctrica y la economía general utilizando un modelo adecuado de correlación de variables.

Por último el método de extrapolación, se puede realizar mediante una proyección directa de los productores más significativos.

En tal sentido depende de la información que se disponga en el área de estudio para aplicar el modelo más adecuado. Es decir si se cuenta con información es conveniente proyectar los datos históricos.

Otra de la formas sería correlacionar la evolución de la demanda eléctrica con la evolución de las variables macroeconómicas de país.

REFERENCIAS

- [1] M. Spiegel, *Teoría de correlación, Estadística* MC GrawHill, p 241, Mexico, 1996
- [2] L. Kazmier y A. Díaz, *Coefficiente de Asimetría de Person, Estadística Aplicada a la Administración y Economía*, 2º.edic., Mc Graw Hill, p.55, México, 1995
- [3] S. Shao, *Estadística para Economía y Administración de Empresa, Distribución Normal*, Editor F. Rodriguez, p.300, México, 1997
- [4] J. Calzada, *curva normal, Estadística General*, Edit. Jurídica, p. 54, 1975.