



UNIVERSIDAD DE MATANZAS
"CAMILO CIENFUEGOS"
FACULTAD DE INGENIERIAS QUÍMICA – MECANICA.

MONOGRAFÍA

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL CLIMA Y EL
NIVEL DE OCUPACIÓN SOBRE EL CONSUMO Y EL
ÍNDICE DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA
EN UNA INSTALACIÓN TURÍSTICA.

Ing. Juan Landa García, MSc
Departamento de Química e Ingeniería Química.

Noviembre, 2006

Análisis de la influencia del clima y el nivel de ocupación sobre el consumo y el índice de consumo de energía eléctrica en una instalación turística.

Autor : Ing. Juan Landa García, MSc

Profesor Auxiliar

Grupo de Investigación de Eficiencia Energética

Centro de Estudios de Combustión y Energía

Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”

Km 3 y ½ Carretera de Varadero, Ciudad de Matanzas, Matanzas, Cuba

juan.landa@umcc.cu

RESUMEN.

Este trabajo se refiere al análisis realizado para establecer la influencia del número de habitaciones ocupadas por día y del clima expresado a través de la temperatura, la humedad relativa, el número de días lluviosos, la velocidad del viento sobre el consumo de energía eléctrica y el índice de consumo de energía eléctrica kWh/HDO de una instalación hotelera utilizando datos promedios mensuales de los parámetros meteorológicos y del índice y el total de consumo mensual de energía eléctrica, como resultado, después de la aplicación del método de regresión múltiple, se concluye que la relación existente entre estas variables es no lineal, el clima y el nivel de ocupación influyen tanto sobre el consumo como sobre su índice, que la influencia del clima es expresada fundamentalmente por la temperatura y los modelos de regresión entre estos parámetros para dos años.

PALABRAS CLAVE: Turismo, hoteles, consumo, índices de consumo, energía eléctrica, modelos matemáticos, correlación e índices energéticos.

ABSTRACT.

This work refers to an analysis about the influence of the number of rooms used daily and the weather expressed to temperature, relative wed, number of raining days and wind speed on consumption of electrical energy and the index of electrical energy kWh/HDO in a hotel installation, using monthly average date of meteorological parameters and of index and total consumption of electrical energy, as a result, after putting into practice the multilane regression method, it is concluded that the relation between this parameters is no lineal, the weather and the occupational level influence about the consumption and this index according to the analysis made to data of forth years of exploitation of this installation, and the most important effect of weather is the temperature, and the obtaining of the regression models between this parameters in two years.

KEY WORDS: tourism, hotels, consumption, consumption index, mathematical models, correlation, electrical power and energetic index.

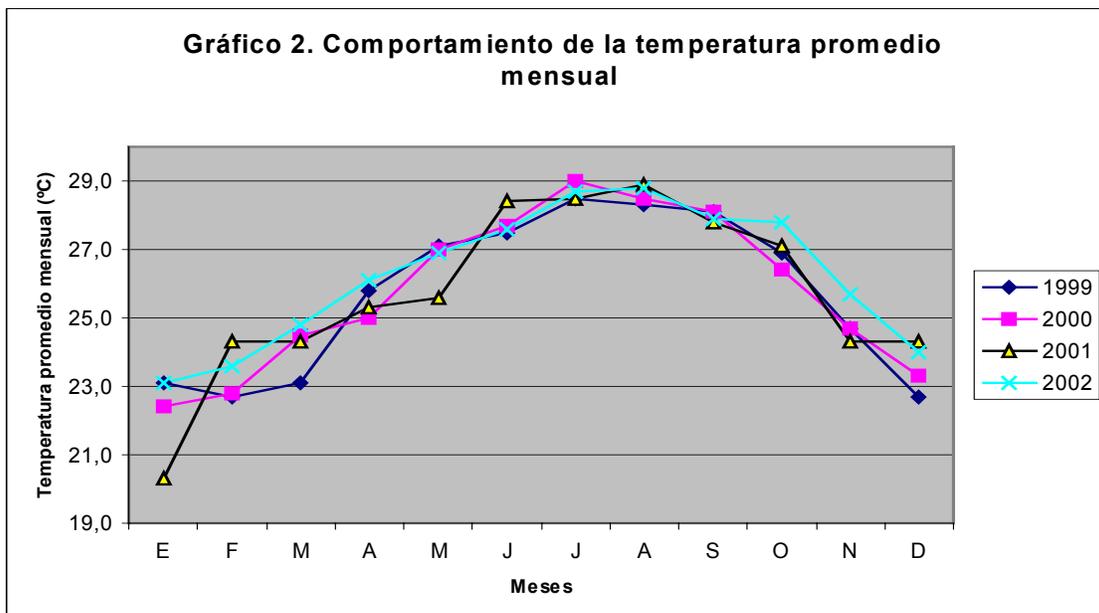
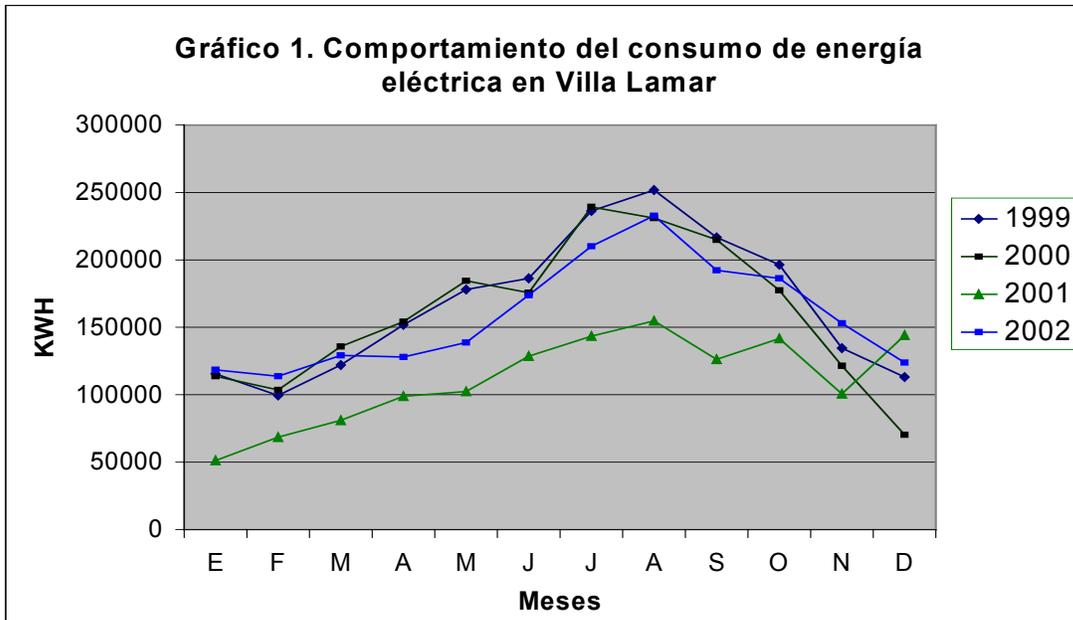
En la industria turística se trabaja intensamente por lograr la reducción de los consumos de los portadores energéticos, en especial de la electricidad y del agua, como lo indica el amplio número de trabajos publicados sobre el tema entre los que se encuentran los de Cabrera (2003), Campos et all. (1995), Campos (1995), Calderón (1996), Cardero (2004), González (1996), Grupo de energética del MICONS (1998), Pelladito (2003).

El consumo de energía en las instalaciones hoteleras, especialmente de energía eléctrica, está influenciado sin lugar a dudas por las condiciones climatológicas lo que es referido por Cabrera (2003) y Cardero (2004), ya que de estas depende el consumo de los ciclos de refrigeración instalados para climatización y para conservación de los alimentos y el consumo para el calentamiento de agua sanitaria, los que tienen un peso importante en la estructura de consumo de cualquier instalación turística pero que no es demostrado en la literatura consultada sobre el tema. Por estas razones es que en este trabajo se persigue como objetivo establecer la influencia de parámetros climatológicos y del nivel de ocupación de una instalación turística, expresado a través del número de habitaciones ocupadas durante un día, sobre el consumo de electricidad para lo cual se da respuesta a las siguientes interrogantes ¿cuáles son los parámetros climatológicos que influyen sobre el consumo de electricidad en una instalación hotelera dada? ¿expresa una correlación múltiple la relación matemática existente entre el consumo de energía eléctrica, el nivel de ocupación de la instalación y los parámetros climatológicos que influyen sobre el consumo?

Comportamiento de los consumos mensuales de energía eléctrica en Villa Lamar y de los parámetros climatológicos promedio mensuales.

Como forma de mostrar la posibilidad de una relación física y de una correlación matemática de los consumos con los parámetros climatológicos en Villa Lamar estas magnitudes se representarán gráficamente. En los Gráficos 1 y 2 se representan los consumos de energía eléctrica E_e y la temperatura de bulbo seco T donde se observa que en los meses de verano, en los que la temperatura es mayor, se producen los mayores consumos de energía eléctrica. Para establecer si la relación gráfica entre estas variables es o no casual se muestra en la Tabla 1 la estructura de consumo potencial de energía

eléctrica de los sistemas instalados donde se observa que los equipos de climatización, refrigeración y de acondicionamiento de agua representan el 77% de la carga instalada total, debiendo precisarse que su consumo de energía depende de las condiciones climatológicas como indican los métodos de cálculo o selección de estos equipos [Stoecker (1987)], por lo que se infiere que la relación entre estas variables es objetiva.



Resulta interesante resaltar el hecho de que a partir de la estructura de consumo se puede inferir que la carga predominante en la instalación es la de climatización seguida por la de acondicionamiento de agua sanitaria, por lo que se puede esperar, en primera instancia, una estructura parecida para los consumos de energía eléctrica y que el consumo de energía para climatización en esta instalación es inferior al valor reportado para otras instalaciones turísticas (55 a 65 % en el Caribe [Cabrera (2003)], 50 a 60 %[Campos et all. (1995)], 45 a 55 %[Calderón (1996)] y 48% [Comisión de Energía de la Comunidad Económica Europea. (1991)]) ya que la carga instalada caracteriza el valor máximo del consumo posible en una operación normal de estos sistemas.

Tabla 1. Estructura de la carga eléctrica instalada en Villa Lamar

Equipos o sistemas	% de la carga total instalada
Equipos de climatización	44
Equipos de refrigeración	10
Equipos de acondicionamiento de agua sanitaria.	23
Iluminación	4
Equipos gastronómicos	8
Equipos de Cocina	5
Equipos de oficinas	0,5
Bombeo de agua	2
Otros equipos	3,5

Al comparar los Gráficos 1 y 3 no se aprecia relación entre los consumos de energía eléctrica E_e y la humedad relativa H_{rel} , ya que la humedad relativa tiene un comportamiento anárquico a lo largo del año e incluso su comportamiento cambia de un año a otro. Un análisis similar puede establecerse con otras variables que pueden tener influencia sobre el consumo como la velocidad del viento V_{viento} y el número de días lluviosos D_{ll} (ver Gráficos 4 y 5).

GRAFICO 3. COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD RELATIVA.

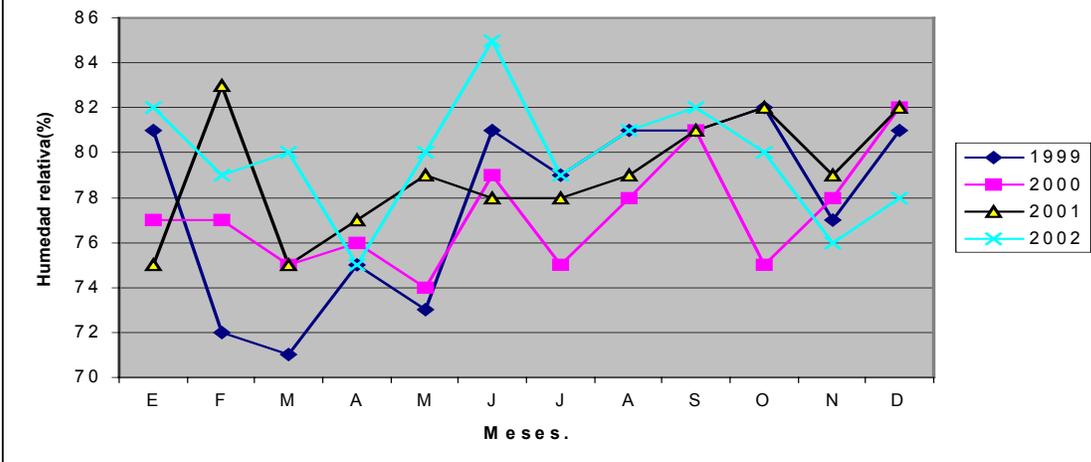


Gráfico 4. Comportamiento del Número de Días LLuviosos.

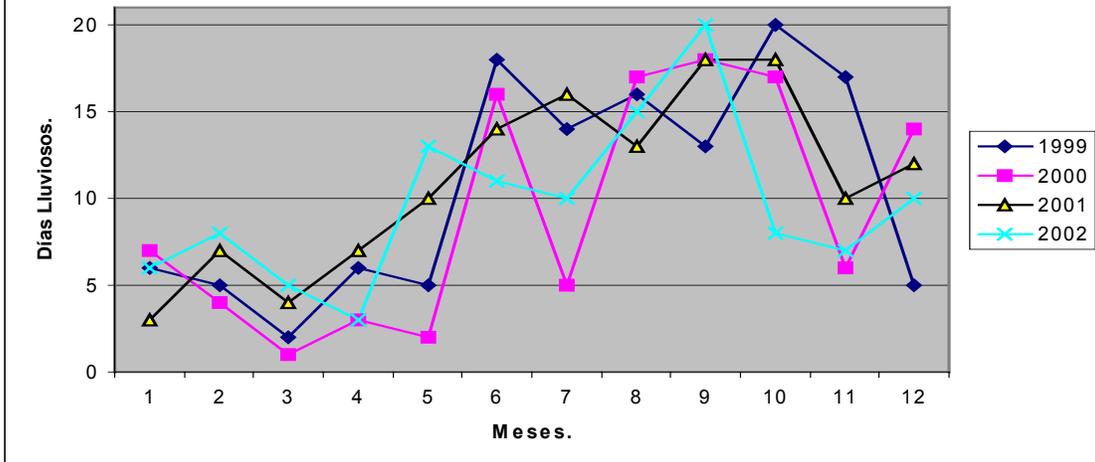
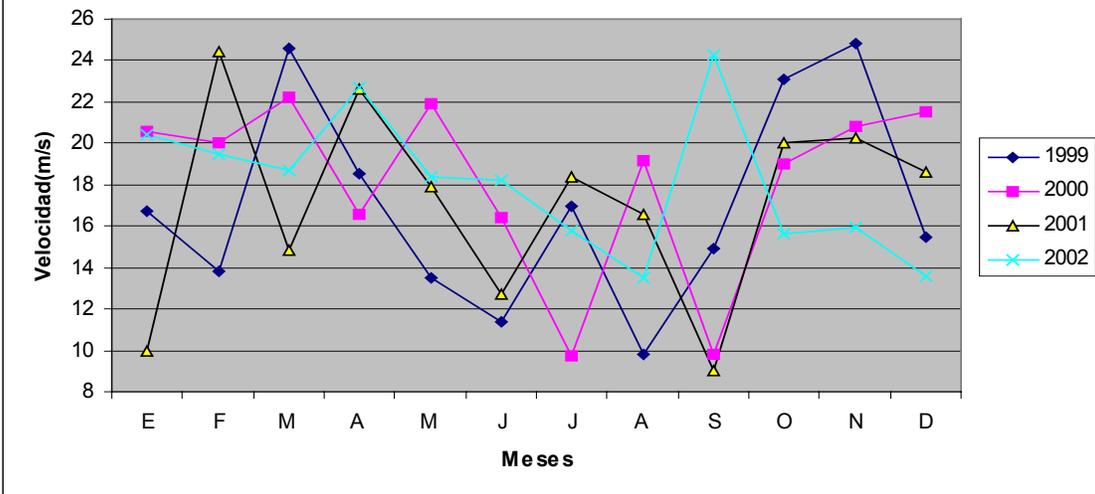


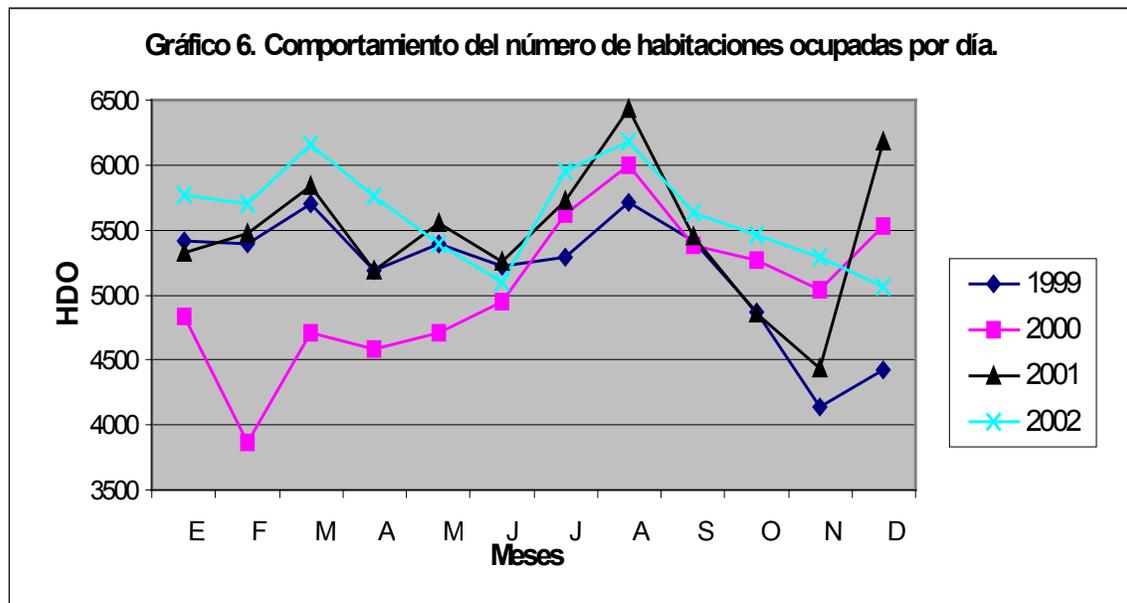
Gráfico 5. Comportamiento de la Velocidad del viento



Del análisis gráfico realizado se concluye en primera instancia que el único parámetro climatológico de los estudiados que ejerce influencia en forma individual sobre el consumo de energía eléctrica es la temperatura de bulbo seco.

Relación entre el comportamiento de los consumos mensuales de energía eléctrica en Villa Lamar y el número de habitaciones ocupadas mensuales.

Al comparar los Gráficos 1 y 6 no se puede precisar influencia del nivel ocupacional, expresada a través del número de habitaciones ocupadas por día HDO, sobre el consumo de energía como ocurre con la temperatura de bulbo seco, ya que aunque en los meses de verano hay picos en este indicador de ocupación se pueden presentar picos de casi igual cuantía en otros períodos del año como ocurre en los años 1999, 2001 y 2002 en los meses de invierno (ver Gráfico 6) y, sin embargo, no hay picos de consumo en estos meses. No obstante se conoce que a mayor ocupación de una instalación dada debe haber mayor consumo de energía, lo que ha sido tratado por Cabrera (2003), pero este no reporta relación entre estas variables debido a los bajos valores de los coeficientes de correlación lineal que obtuvo (R^2 varía entre 0,012 y 0,147).



Tomando como base los análisis realizados se trabajará a continuación en obtener los modelos de regresión del consumo de energía eléctrica con los parámetros meteorológicos y ocupacionales de diferente nivel de complejidad empezando por la regresión lineal simple y pasando a expresiones más complejas entre estas variables.

Correlación entre el consumo de energía eléctrica y la temperatura de bulbo seco.

En las Figuras 1 y 2 se muestra que existe una clara correlación entre el consumo y la temperatura de bulbo seco, aumentando la calidad del modelo reportado en la Figura 2 respecto al reportado en la Figura 1, aunque también su complejidad, lo cual ha sido abordado por Landa y Pelladito (2004) lo cual era de esperar de acuerdo a lo analizado al comparar las Gráficos 1 y 2.

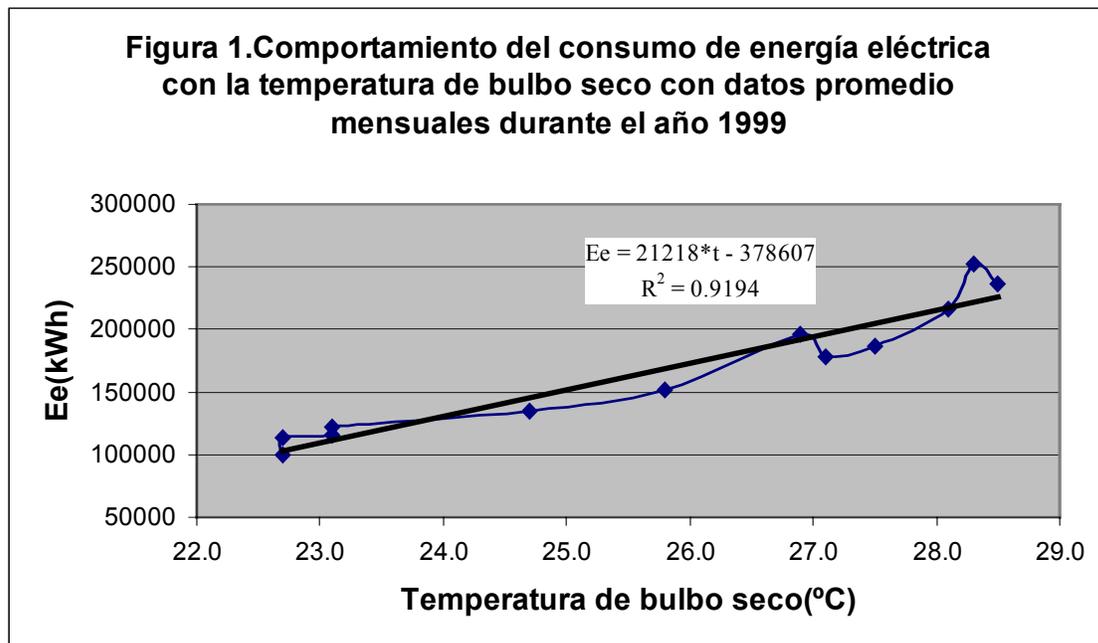
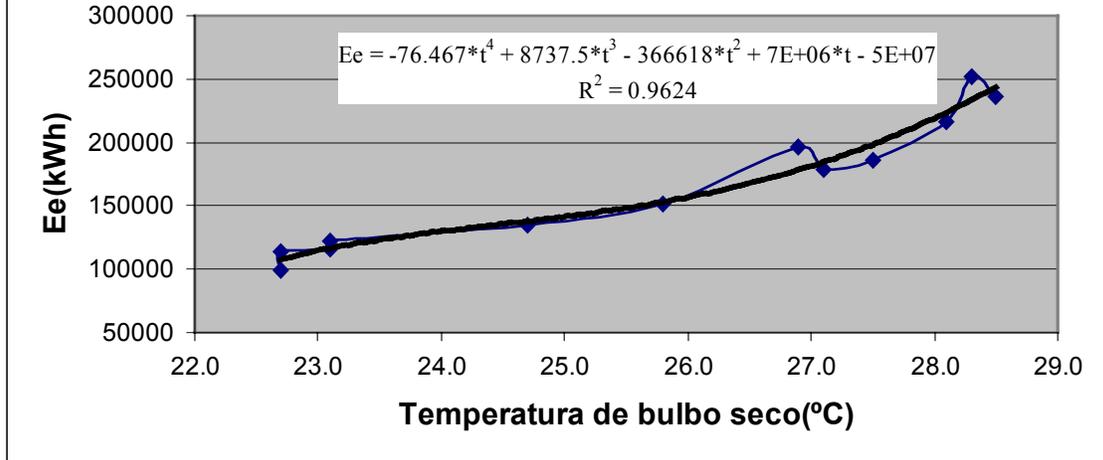


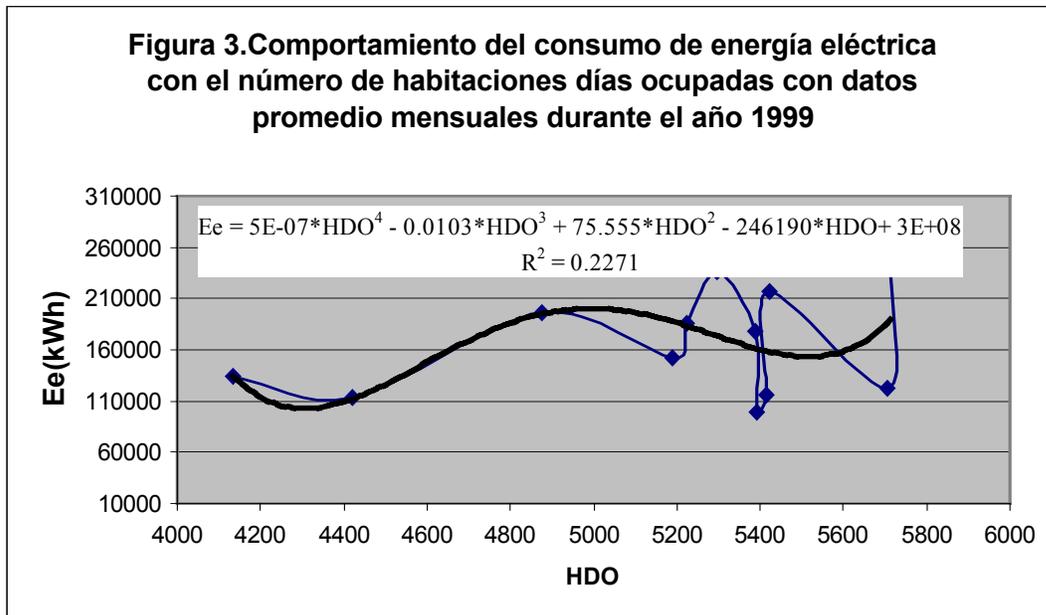
Figura 2. Comportamiento del consumo de energía eléctrica con la temperatura de bulbo seco con datos promedio mensuales durante el año 1999



Correlación entre el consumo de energía eléctrica y el número de habitaciones ocupadas por un día.

En la Figura 3 se muestra que no existe correlación entre el consumo y el número de habitaciones ocupadas por un día debido al bajo valor obtenido del coeficiente de correlación al cuadrado, debiendo señalarse que este es el mejor resultado obtenido, Landa (2006) lo cual era de esperar de acuerdo a lo analizado al comparar las Gráficos 1 y 6, corroborándose lo reportado por Cabrera (2003).

Figura 3. Comportamiento del consumo de energía eléctrica con el número de habitaciones días ocupadas con datos promedio mensuales durante el año 1999



Análisis del comportamiento del índice de consumo en la instalación en los años estudiados.

En la Figura 4 se muestra la variación mensual del índice de consumo de energía eléctrica kWh/HDO entre los años 1999 y 2003 donde se observa que en tres de los años estudiados el índice tiene un valor máximo en los meses de verano, en los cuales la temperatura es la mayor del año (Landa y Pelladito, 2004), excepto en el año 2001, lo cual se debió a lectura incorrecta del consumo de energía eléctrica y en el 2003 en que hubo un suministro insuficiente de energía eléctrica.

Esto pone de manifiesto la relación existente entre el índice de consumo y el clima, y demuestra que a mayor temperatura debe producirse un mayor índice de consumo. Para precisar esto se correlacionó el índice con la temperatura de bulbo seco con datos promedio mensuales del año 1999 obteniéndose los resultados mostrados en la Figura 5, donde queda claro que el índice de consumo depende de la temperatura de bulbo seco según indica el alto valor del coeficiente R^2 (0.9202) del modelo reportado.

Figura 4. Comportamiento del Índice de consumo de energía eléctrica por habitaciones días ocupadas de la instalación en los últimos cinco años.

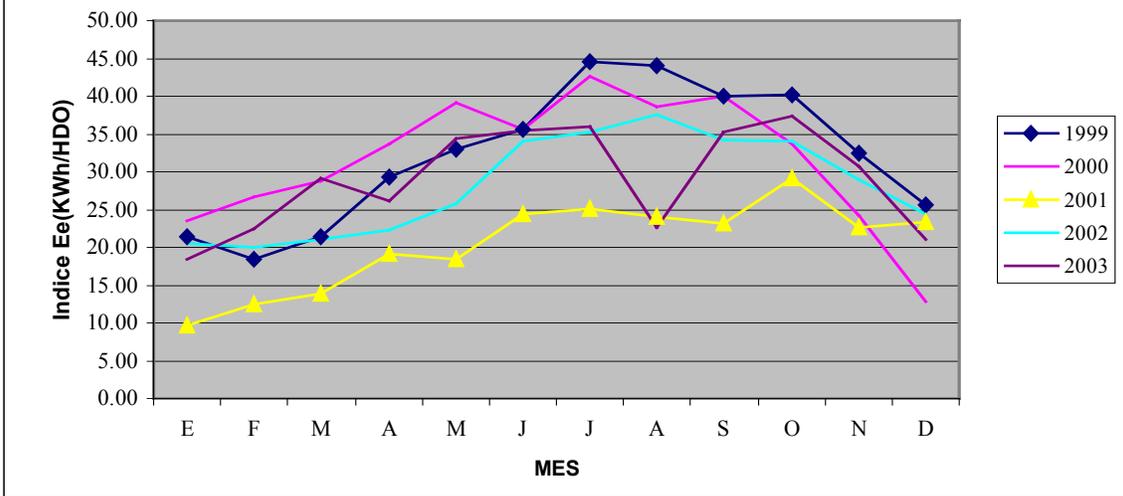
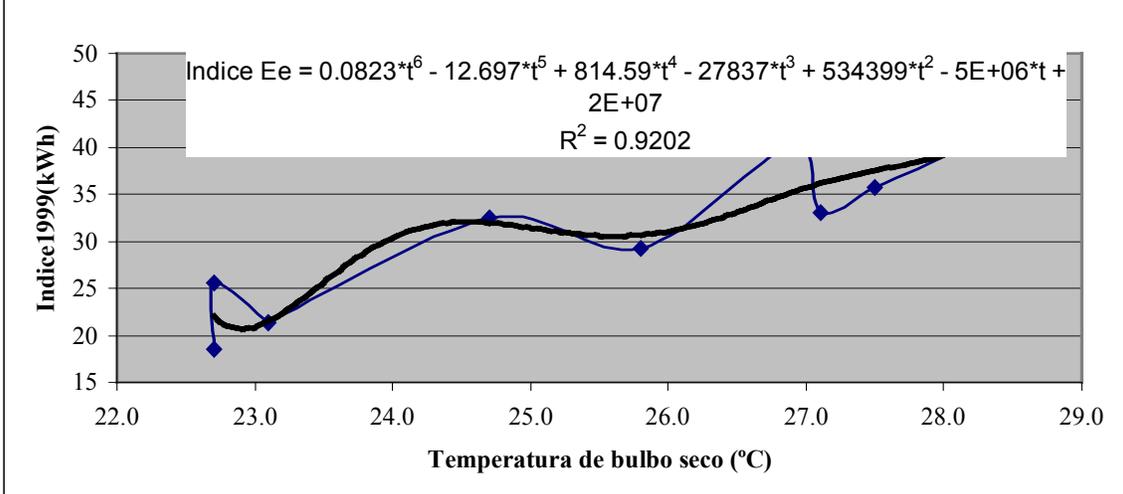
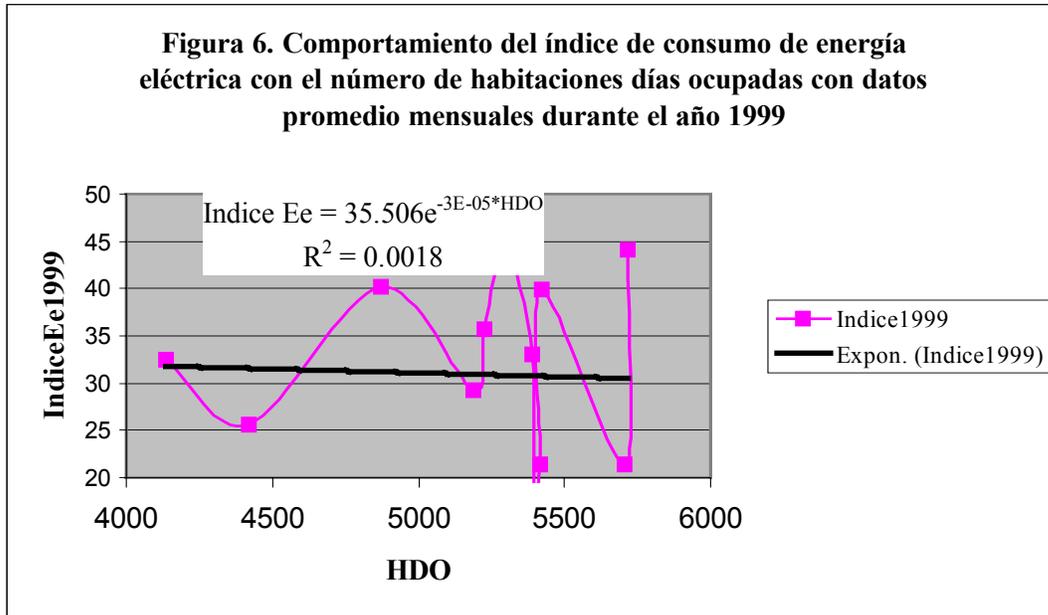


Figura 5. Variación del índice de consumo de energía eléctrica con la temperatura de bulbo seco con datos promedio mensuales durante el año 1999



Para establecer si existe correlación en forma individual entre el Índice y el número de habitaciones ocupadas durante un día durante un mes se procedió a ajustar ecuaciones entre estos parámetros de diferente tipo, siendo el mejor modelo ajustado mostrado en la Figura 6. El valor de R^2 de 0.0018 indica la falta de correlación entre estas variables cuando se hace el análisis individualmente entre estas.

Figura 6. Comportamiento del índice de consumo de energía eléctrica con el número de habitaciones días ocupadas con datos promedio mensuales durante el año 1999



Estos resultados han obligado a buscar otras formas de correlacionar las variables de forma que se pueda establecer si realmente no hay correlación entre el índice de consumo y los consumidores, lo que en primera instancia parece improbable, siendo el procedimiento utilizado mostrado a continuación.

Correlación múltiple entre el consumo de energía y el índice de consumo con los parámetros meteorológicos y ocupacionales.

La Figura 2 muestra que existe una excelente correlación entre el consumo de energía eléctrica y la temperatura, sin embargo, un entendido espera que sobre el consumo influyan otros parámetros climatológicos como la humedad relativa, la velocidad del viento y la pluviosidad (precipitaciones), como se planteó anteriormente (Landa y Pelladito, 2004) y es reafirmado por Montelier y otros (Montelier y otros, 2005) quien cita a Pindado (Pindado, 1998) y además del nivel de ocupación del hotel, expresado a través de alguna de los siguientes parámetros: el número de habitaciones ocupadas, el número de turistas, una combinación de ambos o de otra forma. Sin embargo, en la Figura 3 se aprecia que el coeficiente R^2 de la correlación entre el consumo y las habitaciones días ocupadas es muy bajo como ya se dijo. Con respecto al índice de consumo pasa otro tanto. Por eso, a continuación se analiza la posible relación existente

entre estas variables utilizando ahora relaciones funcionales de mayor complejidad entre las variables dependientes y las independientes citadas.

Método de trabajo utilizado.

Se utilizaron datos de parámetros climatológicos y del índice de consumo de energía eléctrica E_e promedio mensual en cuatro años, del total de habitaciones ocupadas por día HDO y del consumo de energía eléctrica mensual E_e , correlacionándose los datos correspondientes a un año, de forma que se evite en lo posible el efecto que sobre la correlación ejercen otras variables como el cambio de tecnología del equipamiento de la instalación, lo cual provocaría una dispersión no explicada por las variables climatológicas y el nivel de ocupación del hotel.

Se utilizaron las técnicas de obtención de modelos por regresión matemática, siendo procesados los datos mediante los principios de regresión lineal múltiple, para cumplir lo cual se conformaron, a partir de las variables meteorológicas Temperatura de bulbo seco (T), Número de días lluviosos (DII), Humedad relativa (Hrel) y Velocidad del viento (Vviento) y del nivel de ocupación expresado a través del número de habitaciones días ocupadas (HDO), nuevas variables obtenidas como el producto entre estas o elevadas a algún exponente, como se ejemplifica a continuación:

$HDO2 = HDO^2$, $HDO3 = HDO^3$, $HDOT = HDO * T$, $HDOHrel = HDO * Hrel$, $T2 = T^2$, $T3 = T^3$, $HDOVviento = HDO * Vviento$, etc.

Se establecieron relaciones funcionales de la forma

$$E_e = f(T, T2, T3, HDO, HDO2, HDO3, HDOT, HDOT2, HDOT3, HDO2T, HDO2T2, \dots, HDOHrel, HDODII, HDOVviento, \dots)$$
$$IndiceE_e = f(T, T2, T3, HDO, HDO2, HDO3, HDOT, HDOT2, HDOT3, HDO2T, HDO2T2, \dots, HDOHrel, HDODII, HDOVviento, \dots)$$

Se ajustaron los modelos de regresión utilizando el software Statgraphics 5.0.

Se determinó el error de ajuste de los modelos a los datos, seleccionándose aquellos modelos que presentan mejores parámetros estadísticos y menor error de ajuste.

Obtención de los modelos de correlación múltiple entre el consumo de energía eléctrica (Ee) con los parámetros meteorológicos y ocupacionales.

Para explicar los resultados obtenidos se tomará como base el año 1999.

En la Tabla 1 se muestran los resultados del modelo de mayor coeficiente de correlación R^2 obtenido ($R^2=99.8866\%$) utilizando un número grande de variables. Se observa que la probabilidad de rechazo de los coeficientes para todas las variables del modelo es muy superior al 10 %, por lo que puede pensarse en no considerar adecuados los valores estimados de dichos coeficientes pese al reducido valor del error máximo de ajuste a los datos que presenta el modelo (ver Tabla 4) por lo que se procedió a eliminar los coeficientes que no son significativos, para lo cual se utilizaron los métodos de regresión paso a paso Forward Selection y Backward Selection (Statgraphics Versión 5.0) siendo los resultados del ajuste de los nuevos modelos y sus parámetros estadísticos reportados en las tablas 2 y 3 respectivamente y el error de ajuste del modelo a los datos en la Tabla 4. Se aprecia en la Tabla 2, que según el método Forward Selection, el consumo es función de la temperatura de bulbo seco y del número de habitaciones ocupadas en el día, mientras en la Tabla 3, que según el método Backward Selection, es función además del número de días lluviosos y de la humedad relativa. Todos estos modelos ponen de manifiesto que el consumo de energía eléctrica es función del clima y del número de habitaciones ocupadas en el día y explican mejor la correlación entre el consumo y los parámetros climatológicos que los reportados anteriormente (Landa y Pelladito, 2004).

En las Tablas 2 y 3 se aprecia que los coeficientes de correlación al cuadrado de estos modelos son muy altos y que la probabilidad de rechazo de los coeficientes es muy baja por lo que existe correlación entre las variables y no se debe rechazar ninguna de las variables independientes utilizadas.

En la tabla 4 se aprecia que el error de ajuste de los modelos a los datos es pequeño, siendo en el caso del obtenido por el método Backward Selection solo de 2.21753 %, lo que indica la alta calidad del ajuste del modelo a los datos que le dieron origen.

En la Tabla 5 se reportan sintetizadamente los resultados del análisis de regresión del año 2002 del consumo de energía eléctrica (modelos 1, 2 y 3) donde se aprecia que existe una relación estrecha entre las variables correlacionadas, siendo los coeficientes de correlación superiores al 88.792 % y el mejor modelo como en el caso anterior fue obtenido por el método Backward Selection, el que tiene un error de ajuste máximo a los datos de 20.9571 % y medio de 6.954 %, por lo que el modelo es aceptable. En este caso el consumo de energía depende de las habitaciones días ocupadas y de la temperatura de bulbo seco.

Modelos de índice de consumo de energía eléctrica (Índice Ee).

En la Tabla 4 se reportan los modelos obtenidos para el año 1999, los que son, igual que en el caso del consumo de energía, los de mayor calidad del período estudiado.

Observe que, al igual que para los modelos de energía eléctrica, en este caso el modelo con todas las variables es el que presenta mayor coeficiente de correlación al cuadrado, pero, al ser aplicado los métodos de regresión paso a paso se eliminan varias variables, siendo el mejor modelo obtenido por el método Backward Selection con coeficiente de correlación 98,36 %, error máximo de ajuste a los datos de 9.78 % y error medio de 3.238 %, por lo que es un modelo de calidad. En este caso las variables independientes son las habitaciones días ocupadas HDO y la temperatura de bulbo seco T.

En la Tabla 5 se reportan los resultados del análisis de regresión efectuado a los datos del año 2002 del índice de consumo de energía eléctrica (modelos 4, 5 y 6) donde se aprecia que existe una relación estrecha entre las variables correlacionadas, siendo los coeficientes de correlación superiores al 94,3491% y el mejor modelo, como para el año 1999 fue obtenido por el método Backward Selection, el que tiene un error de ajuste máximo a los datos de 13.1336 % y un error medio es de 4.7484%. En este caso las variables independientes son HDO, T, Dll y Hrel.

En la Tabla 6 se recoge el rango de validez de los modelos de consumo e índices de consumo de energía eléctrica.

En todos estos casos se aprecia la influencia directa del clima y del nivel de ocupación del hotel sobre los índices de consumo, lo que debe ser tenido en cuenta al establecer índices para instalaciones turísticas, ya que un valor único del índice no caracteriza adecuadamente el comportamiento de la instalación, o sea, para iguales condiciones de ocupación si el clima cambia el índice de consumo de energía kWh/HDO también cambiará y si el nivel de ocupación varía el índice también lo hará, a modo de ejemplo, un cambio en la temperatura de 1 °C al variar la temperatura de 23.1 a 24.1 °C provoca un cambio en el índice de 1.0426 kWh/HDO en el año 1999 para las siguientes condiciones

Hrel	DII	Vviento	HDO
81	6	16.7	5416

Conclusiones.

- No puede establecerse un índice numérico único del consumo de energía eléctrica en instalaciones hoteleras cuyo consumo dependa fundamentalmente de sus huéspedes, ya que este depende no solo del nivel de ocupación sino también del clima.
- Existe una estrecha relación matemática entre los consumos e índices de consumo de energía eléctrica con el número de habitaciones días ocupadas y con el clima, siendo la temperatura la variable que más explica la relación matemática existente entre las variables analizadas en el rango de ocupación existente en el hotel en el período estudiado.
- Los modelos de regresión múltiple, intrínsecamente no lineales, son los únicos que expresan la influencia del nivel de ocupación de la instalación hotelera sobre el consumo y el índice de consumo de energía eléctrica.
- La influencia del clima se expresa en todos los años analizados a través de la temperatura de bulbo seco, a lo cual se añade en algunos años el número de días lluviosos, la humedad relativa y la velocidad del viento.

- Los modelos obtenidos de regresión múltiple del consumo de energía eléctrica representan en mayor medida la correlación existente entre las variables estudiadas que los modelos lineales reportados en trabajos anteriores, presentando errores de ajuste a los datos aceptables o muy pequeños.
- Para obtener modelos matemáticos que correlacionen el consumo y el índice de consumo de alta correlación, pequeño error y en que se incluya el número de habitaciones ocupadas por día y los parámetros climatológicos temperatura, velocidad del viento, humedad relativa y número de días lluviosos es necesario incluir en el análisis variables que se obtengan como el producto de las variables anteriormente citadas o como el producto de sus potencias, siendo los productos de las potencias del número de habitaciones ocupadas por día y de las temperaturas de bulbo seco variables que siempre hay que tener en cuenta como indican los modelos obtenidos.

Recomendaciones.

Establecer los índices de consumo de energía eléctrica a aplicar como forma de control de la operación de las instalaciones turísticas por meses o época del año, por la marcada influencia que tienen los parámetros climatológicos sobre su valor.

Obtener ecuaciones de los consumos e índices de consumo de energía eléctrica utilizando datos diarios.

Bibliografía.

(Cabrera Gorrín, Osmel. 2003). Reflexiones sobre el consumo energético en el sector hotelero cubano. [en Línea]. Disponible en: www.monografias.com. [Consultado en Enero 2004].

(Campos, J.C. et all. 1995). La Eficiencia energética en la competitividad de las empresas. Universidad de Cienfuegos.

(Campos Avella, Juan Carlos. 1995). La eficiencia energética en la gestión empresarial. Universidad de Cienfuegos.

(Calderón, Ana. 1996). Manual Energético. La Habana. Impreso Cadena Islazul.

(Comisión de Energía de la Comunidad Económica Europea. 1991). Uso Racional de la Energía en el Sector Hotelero. Editorial URE

(Cardero Corría, G. 2004). Problemas energéticos de los sistemas centrales de climatización. Revista Energía Racional del FIDE (México). No. 50: 48 – 52, enero – marzo.

(González Rodríguez, Rigoberto. 1996). Influencia de la temperatura ambiente en el comportamiento energético de un ciclo de refrigeración con recuperación de calor. La Habana. Editorial Pueblo y Educación.

(Grupo de energética del MICONS. 1998). Medidas y sugerencias para el ahorro y uso racional de la energía. Ministerio de la Construcción. Abril.

(Pelladito Williams, Jorge Luis. 2003). Estudio para la reducción del consumo de energía eléctrica en Villa Lamar. Tesis (en opción al título de Master en Termoenergética Industrial). Tutorado por Juan Landa García. Universidad de Matanzas. Matanzas. Cuba.

(Rodríguez Rodríguez, Jesús M.. 2003). Movimiento por la Excelencia Energética. En: Forum de Ciencia y Técnica (XIV : Varadero).

(Stoecker, W.F. 1987). Refrigeración y acondicionamiento de aire. La Habana. Edición Revolucionaria.

(Landa García, Juan y Jorge Luis Pelladito Williams, 2004). Correlación lineal entre el consumo de energía eléctrica y parámetros climatológicos y ocupacionales. Revista Retos Turísticos. Universidad de Matanzas. Cuba.

(Montelíer Hernández, Sergio , Anibal Borroto Nordelo, Margarita Lapidó Rodríguez, José Monteagudo Llanes, Mario Álvarez Guerra Plasencia y Juan C. Armas, 2005). Influencia de las principales variables climatológicas en la operación de los sistemas de climatización de agua helada. 4^{to} Taller Internacional de Energía y Medioambiente. Universidad de Cienfuegos. Cuba

(Pelladito Williams, Jorge Luis, Juan Landa García y Carlos Roque Beltrán, 2004). Análisis del consumo de energía eléctrica en Villa Lamar. Revista Electrónica “Avanzada Científica”. Matanzas. Cuba.

Tabla 1. Modelo de Energía Eléctrica de mejor ajuste con todas las variables.

Multiple Regression – Ee1999
Multiple Regression Analysis

Dependent variable: Ee1999

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-1.64879E7	6.17946E6	-2.66818	0.2283
HDO	10856.6	5325.41	2.03864	0.2903
HDO2	-3.35529	0.833018	-4.02786	0.1549
HDO2T	0.0828598	0.0904381	0.916205	0.5278
HDO2T2	-0.00155088	0.00180941	-0.85712	0.5489
HDO3	0.000373455	0.000159372	2.34329	0.2568
HDO3T	-0.000017044	0.0000171061	-0.996365	0.5012
HDO3T2	3.23422E-7	3.4219E-7	0.945152	0.5179
HDODll	-0.415957	0.220738	-1.88439	0.3106
HDOHrel	4.42563	9.08562	0.487103	0.7114
Hrel	-21896.8	49099.5	-0.445968	0.7329

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	2.91175E10	10	2.91175E9	88.11	0.0816
Residual	3.30486E7	1	3.30486E7		
Total (Corr.)	2.91505E10	11			

R-squared = 99.8866 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 98.7529 percent
Standard Error of Est. = 5748.79
Mean absolute error = 1298.18
Durbin-Watson statistic = 2.71444 (P=0.0000)
Lag 1 residual autocorrelation = -0.410459

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a multiple linear regression model to describe the relationship between Ee1999 and 10 independent variables.

The equation of the fitted model is

$$Ee1999 = -1.64879E7 + 10856.6 * HDO - 3.35529 * HDO2 + 0.0828598 * HDO2T - 0.00155088 * HDO2T2 + 0.000373455 * HDO3 - 0.000017044 * HDO3T + 3.23422E-7 * HDO3T2 - 0.415957 * HDODll + 4.42563 * HDOHrel - 21896.8 * Hrel$$

Tabla 2. Modelo de Energía Eléctrica de mejor ajuste obtenido por el método de análisis Forward Selection.

Multiple Regression Analysis

Dependent variable: Ee1999

Parameter	Standard Estimate	T Error	Statistic	P-Value
CONSTANT	312459.0	47475.7	6.58146	0.0001
HDO	-78.9284	11.7316	-6.72788	0.0001
HDO2T2	.0000145155	0.00000113835	12.7514	0.0000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	2.77679E10	2	1.38839E10	90.37	0.0000
Residual	1.38267E9	9	1.53631E8		

Total (Corr.) 2.91505E10 11
R-squared = 95.2568 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 94.2027 percent
Standard Error of Est. = 12394.8
Mean absolute error = 9279.41
Durbin-Watson statistic = 1.87464 (P=0.1803)
Lag 1 residual autocorrelation = 0.0532795

Stepwise regression

Method: forward selection

F-to-enter: 4.0

F-to-remove: 4.0

Step 0:

0 variables in the model. 11 d.f. for error.
R-squared = 0.00% Adjusted R-squared = 0.00% MSE = 2.65005E9

Step 1:

Adding variable HDO2T2 with F-to-enter = 24.9667
1 variables in the model. 10 d.f. for error.
R-squared = 71.40% Adjusted R-squared = 68.54% MSE = 8.33666E8

Step 2:

Adding variable HDO with F-to-enter = 45.2643
2 variables in the model. 9 d.f. for error.
R-squared = 95.26% Adjusted R-squared = 94.20% MSE = 1.53631E8

Final model selected.

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a multiple linear regression model to describe the relationship between Ee1999 and 10 independent variables. The equation of the fitted model is

$$Ee1999 = 312459.0 - 78.9284 * HDO + 0.0000145155 * HDO2T2$$

Tabla 3. Modelo de Energía Eléctrica de mejor ajuste obtenido por el método de análisis Backward Selection.

Multiple Regression Analysis

Dependent variable: Ee

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
CONSTANT	-1.41382E7	2.49994E6	-5.65543	0.0299
HDO	8643.69	1496.95	5.7742	0.0287
HDO2	-3.27849	0.631023	-5.19551	0.0351
HDO2T	0.118801	0.0317736	3.73898	0.0647
HDO2T2	-0.0022737	0.000622779	-3.6509	0.0675
HDO3	0.000421357	0.0000911557	4.62239	0.0438
HDO3T	-0.0000237938	0.00000617187	-3.8552	0.0612
HDO3T2	4.59176E-7	1.21019E-7	3.79425	0.0630
HDODII	-0.45075	0.159874	-2.81942	0.1061
HDOHrel	0.374406	0.128224	2.91995	0.1000

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	2.91109E10	9	3.23455E9	163.27	0.0061
Residual	3.96215E7	2	1.98108E7		

Total (Corr.) 2.91505E10 11
R-squared = 99.8641 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 99.2524 percent
Standard Error of Est. = 4450.93
Mean absolute error = 1313.06
Durbin-Watson statistic = 2.28202 (P=0.0817)
Lag 1 residual autocorrelation = -0.195527

Stepwise regression

Method: backward selection

F-to-enter: 4.0

F-to-remove: 4.0

Step 0:

10 variables in the model. 1 d.f. for error.

R-squared = 99.89% Adjusted R-squared = 98.75% MSE = 3.30486E7

Step 1:

Removing variable Hrel with F-to-remove = 0.198888

9 variables in the model. 2 d.f. for error.

R-squared = 99.86% Adjusted R-squared = 99.25% MSE = 1.98108E7

Final model selected.

The StatAdvisor

The output shows the results of fitting a multiple linear regression model to describe the relationship between Ee1999 and 10 independent variables. The equation of the fitted model is

$$Ee_{1999} = -1.41382 \cdot 10^7 + 8643.69 \cdot HDO - 3.27849 \cdot HDO2 + 0.118801 \cdot HDO2T - 0.0022737 \cdot HDO2T2 + 0.000421357 \cdot HDO3 - 0.0000237938 \cdot HDO3T + 4.59176 \cdot 10^{-7} \cdot HDO3T2 - 0.45075 \cdot HDODII + 0.374406 \cdot HDOHrel$$

Tabla 4. Resumen de modelos de consumo e índice de consumo de energía eléctrica del año 1999

No	Modelo	F	Pv mod	R ²	R ² adj	Emáx	Emedic
1	$Ee = -1.64879 \cdot 10^7 + 10856.6 \cdot HDO - 3.35529 \cdot HDO2 + 0.0828598 \cdot HDO2T - 0.00155088 \cdot HDO2T2 + 0.000373455 \cdot HDO3 - 0.000017044 \cdot HDO3T + 3.23422 \cdot 10^{-7} \cdot HDO3T2 - 0.415957 \cdot HDODII + 4.42563 \cdot HDOHrel - 21896.8 \cdot Hrel$	88.11	0.0816	99.8866	98.7529	2.21753	0.7818
2	FS $Ee = 312459.0 - 78.9284 \cdot HDO + 0.0000145155 \cdot HDO2T2$	90.37	0.0000	95.2568	94.2027	10.3838	5.4507
3	BS $Ee = -1.41382 \cdot 10^7 + 8643.69 \cdot HDO - 3.27849 \cdot HDO2 + 0.118801 \cdot HDO2T - 0.0022737 \cdot HDO2T2 + 0.000421357 \cdot HDO3 - 0.0000237938 \cdot HDO3T + 4.59176 \cdot 10^{-7} \cdot HDO3T2 - 0.45075 \cdot HDODII + 0.374406 \cdot HDOHrel$	163.27	0.0061	99.8641	99.2524	2.21753	0.7818
4	IndiceEe $= -1900.29 + 1.28373 \cdot HDO - 0.000352897 \cdot HDO2 + 0.00000633518 \cdot HDO2T - 1.17966 \cdot 10^{-7} \cdot HDO2T2 + 3.58978 \cdot 10^{-8} \cdot HDO3 - 1.38987 \cdot 10^{-9} \cdot HDO3T + 2.65843 \cdot 10^{-11} \cdot HDO3T2 + 0.000625839 \cdot HDOHrel + 0.0000547601 \cdot HD0Vviento - 3.23271 \cdot Hrel$	31.34	0.1369	99.6819	96.5009	1.31047	2.86
5	FS $IndiceEe = 88.7235 - 0.0202982 \cdot HDO + 2.6807 \cdot 10^{-9} \cdot HDO2T2$	70.93	0.0000	94.0341	92.7083	10.8886	5.3965
6	BS $IndiceEe = -1708.59 + 1.09281 \cdot HDO - 0.000242085 \cdot HDO2 + 6.45779 \cdot 10^{-7} \cdot HDO2T + 2.02128 \cdot 10^{-8} \cdot HDO3 - 2.90468 \cdot 10^{-10} \cdot HDO3T + 3.86373 \cdot 10^{-12} \cdot HDO3T2$	49.89	0.0003	98.3572	96.3858	9.78466	3.2382

Tabla 5. Resumen de modelos de consumo e índice de consumo de energía eléctrica del año 2002

Nº	Modelo	F	Pv mod	R ²	R ² adj	Emáx
1	$Ee_{2002} = 96260.1 - 14.4164 \cdot HDO - 0.00498561 \cdot HDO2 + 0.00000858337 \cdot HDO2T2 + 0.183958 \cdot HDODII - 0.383555 \cdot HD0Vviento + 0.31597 \cdot HDOHrel$	12.08	0.0076	93.5458	85.8008	19.1785
2	FS $Ee_{2002} = 158374.0$	-	-	0.0	0.0	38.9563
3	BS $Ee_{2002} = 118001.0 - 0.00610086 \cdot HDO2 + 0.0000105918 \cdot HDO2T2$	35.65	0.0001	88.7928	86.3023	20.9571
4	IndiceEe ₂₀₀₂ $= 536,716 - 12,6873 \cdot DII - 0,122517 \cdot HDO + 4,80003 \cdot 10^{-7} \cdot HDO2 + 0,00221314 \cdot HDODII + 0,000485875 \cdot HDOHrel + 0,000561178 \cdot HDOT + 0,00239921 \cdot HD0Vviento - 1,67275 \cdot Hrel - 13,4868 \cdot Vviento$	8,03	0,1156	97,3078	85,193	6.64913
5	FS $IndiceEe_{2002} = 19,5503 + 0,000159008 \cdot HDODII$	7,28	0,0224	42,1275	36,3403	34.1554
6	BS $IndiceEe_{2002} = 126,233 - 8,5871 \cdot DII - 0,0376747 \cdot HDO + 0,00150666 \cdot HDODII + 0,000107775 \cdot HDOHrel + 0,00045193 \cdot HDOT$	20,04	0,0011	94,3491	89,64	13.1336

Tabla 6. Rango de validez de los modelos de consumo e índices de consumo de energía eléctrica.					
Parámetro	T(°C)	Hrel	Vviento(m/s)	Dll(adim)	HDO(adim)
Año 1999	22,7 a 28,5	71,0 a 82,0	9,8 a 24,8	2 a 20	4135 a 5715
Año 2002	23,1 a 28,8	75 a 85	13,5 a 24,3	3 a 18	5067 a 6185