

Contribución al cambio de matriz energética en Universidad de Guantánamo
Contribution to the change of energy matrix in Guantanamo University

Autores:

Raúl Antonio Caramazana-Ferrer, <https://orcid.org/0000-0002-5695-7341>

Jorge Alberto Jackson-Horruitiner, <https://orcid.org/0000-0002-8193-0212>

Osvaldo González-Reyes, <https://orcid.org/0000-0003-4295-7524>

Robuam Peña-Domínguez, <https://orcid.org/0000-0002-6348-0123>

Gustavo Ezequiel Fernández-Salva, <https://orcid.org/0000-0001-7425-8571>

Organismo: ¹Universidad de Guantánamo, Cuba.

E - mail: raulacf@cug.co.cu; jorgeajh@cug.co.cu; osvaldogr@cug.co.cu; robuam@cug.co.cu; gfsalva2019@cug.co.cu

Fecha de recibido: 7 ene. 2023

Fecha de aprobado: 19 mar. 2023

Resumen

En este trabajo se presenta un estudio de carga realizado en los servicios eléctricos de la Universidad de Guantánamo con el objetivo de conocer el comportamiento de las principales variables que lo caracterizan y proponer vías para el mejoramiento de los mismos. Como resultado del análisis realizado se propone la sustitución de los transformadores sobredimensionados, el mejoramiento del factor de potencia de la instalación, así como el uso de Fuentes Renovables de Energía como los paneles fotovoltaicos con el objetivo de cambiar la matriz energética de consumo contribuyendo con ello al plan de desarrollo económico y social del país para el año 2030. Este estudio y la implementación de las propuestas tendrán en el futuro un impacto en el medioambiente pues se logrará la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero y beneficios económicos pues se logrará reducir en una cuota significativa la facturación eléctrica.

Palabras clave: Estudio de carga; Fuentes renovables de energía; Matriz energética; Gases de efecto invernadero; Paneles fotovoltaicos

Abstract

This paper presents a load study carried out in the electrical services of the University of Guantánamo with the objective of knowing the behavior of the main variables that characterize it and proposing improvements to improve them. As a result of the analysis carried out, the replacement of the oversized transformers is proposed, the improvement of the power factor of the installation as well as the use of Renewable Energy Sources such as photovoltaic panels with the aim of changing the energy consumption matrix, thereby contributing to the country's economic and social development plan for the year 2030. This study and the implementation of the proposals will have an impact on the environment in the future, since it will achieve a reduction in the emission of greenhouse gases and economic benefits since electricity billing will be reduced by a significant amount.

Keywords: Charge study; Renewable energy sources; Energy consumption matrix; Greenhouse gases; Photovoltaic panels

Introducción

El desarrollo energético integral y sostenible se presenta como una solución prioritaria ante la creciente demanda mundial de energía, la inestabilidad de los precios del petróleo y otros combustibles fósiles. La disminución de las reservas naturales petrolíferas y la amenaza ecológica que representa el esquema energético global actual que socava los límites de la capacidad del planeta para asimilar los impactos ambientales que ocasiona, así como la disminución de los costos de las Fuentes Renovables de Energía (FRE), sobre todo la fotovoltaica (FV) y la eólica, y el desarrollo prospectivo del transporte eléctrico hacen imprescindible el llevar a cabo esta política de desarrollo que maneja el ecosistema como un todo en pos de su conservación y explotación satisfaciendo las necesidades del hombre y asegurando la de las futuras generaciones por venir.

La satisfacción de los principales servicios energéticos del hombre por una vía basada en los combustibles fósiles (cerca del 80 % del total mundial), conjuntamente con el desarrollo industrial, el crecimiento de la población y su concentración en grandes urbes, ha alterado significativamente algunos ciclos vitales en el planeta. Se ha aumentado la circulación del carbono en un 20 %, del nitrógeno en un 50 % y del azufre en un 100 %. De acuerdo con Viego (2007) "se descargan volúmenes crecientes de contaminantes a la atmósfera y las aguas, provocando impactos locales como la contaminación atmosférica en las grandes ciudades, regionales como la lluvia ácida, e incluso de alcance global como los cambios climáticos provocados por el incremento de gases de efecto invernadero en la atmósfera".

Los gases de efecto invernadero (GEI) son gases atmosféricos que absorben y emiten radiación a la atmósfera y que el equilibrio entre estos procesos posibilita una temperatura ambiente que permite el desarrollo de la vida en la tierra y además que el planeta ni se enfríe ni se caliente manteniendo un equilibrio térmico. De no ser por estos gases, vapor de agua, dióxido de carbono, metano, óxido de nitrógeno y ozono la temperatura sobre la tierra sería alrededor de -18°C .

De acuerdo con Blasing (2013) las actividades humanas desde el inicio de la Revolución Industrial a finales del siglo XVIII han producido un incremento del 40 % en la concentración atmosférica del dióxido de carbono, desde 280 ppm en 1750 a 400 ppm en 2015. Este incremento ha ocurrido a pesar de la absorción de una gran porción de las emisiones por varios depósitos naturales que participan del ciclo del carbono. Las emisiones de CO_2 antropogénicas (producidas por actividades humanas) provienen de la combustión de combustibles fósiles, principalmente carbón, petróleo y gas natural, además de la deforestación, la erosión del suelo y la crianza animal.

Mora (2013) ha estimado que si las emisiones de GEI continúan al ritmo actual, la temperatura de la superficie terrestre podría exceder valores históricos tan pronto como 2050, con efectos potencialmente dañinos en los ecosistemas, la biodiversidad y la subsistencia de personas en todo el mundo. Estimados de Mann (2014) sugieren que para el 2036, de continuar la trayectoria de emisiones actual, la Tierra podría superar el límite de 2°C de calentamiento global señalado por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático, IPCC por sus siglas en inglés, como un calentamiento global "peligroso".

El país, como parte del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030, tiene entre sus ejes estratégicos el de Recursos Naturales y Medio Ambiente que entre sus objetivos plantea elevar la eficiencia energética y el desarrollo de fuentes renovables de energía, lo que contribuye, entre otros beneficios, la reducción en la generación de gases de

efecto invernadero, así como mitigar los efectos del cambio climático y la promoción de un desarrollo económico menos intenso en carbono.

El estudio de carga representa una herramienta poderosa para el análisis y monitoreo de variables de comportamiento eléctrico que caracterizan una unidad con carga consumidora de energía eléctrica fundamentalmente. La realización del mismo en la Universidad de Guantánamo, en los dos servicios más consumidores de la misma, ubicados en la sede central Raúl Gómez García, ha posibilitado conocer el comportamiento de estos, monitorear en tiempo real el consumo de energía activa, los valores máximos de demanda que se registran así como el comportamiento del factor de potencia que tanto incide en la eficiencia energética de una instalación y a partir de los análisis realizados incidir en la toma de decisiones para el mejoramiento de estos indicadores y tomar medidas de tipo administrativas y otras que contemplen inversiones aprovechando las potencialidades que tienen para su uso hoy día las fuentes renovables de energía contribuyendo de esa manera al cambio de matriz energética de consumo que tanto necesita el país para favorecer la descarbonización de la sociedad.

Materiales y métodos

El Ministerio de Educación Superior es el organismo de la Administración Central del Estado que tiene la misión de proponer al Estado y al Gobierno, y una vez aprobadas, dirigir y controlar las políticas de educación superior referentes a la formación integral de los estudiantes de nivel superior, la educación de posgrado, la preparación y superación de cuadros y reservas; y dirigir y controlar el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación en las universidades y entidades de ciencia, tecnología e innovación adscriptas, así como la extensión de su quehacer a toda la sociedad.

En este sentido la misión de la universidad es formar y superar profesionales revolucionarios integrales, comprometidos con el desarrollo sostenible de Guantánamo; sustentados en la ciencia, el desarrollo de la informatización de los procesos, la innovación, la calidad y la racionalidad económica en la prestación de servicios de excelencia para Cuba y el exterior. En el diagrama de Pareto que se muestra a continuación se puede ver la estructura de consumo de portadores energéticos de la universidad y resalta que la energía eléctrica es el portador de mayor consumo por lo que las principales medidas a tomar deben estar encaminadas a la reducción del consumo del mismo sin olvidar que los demás son importantes también.

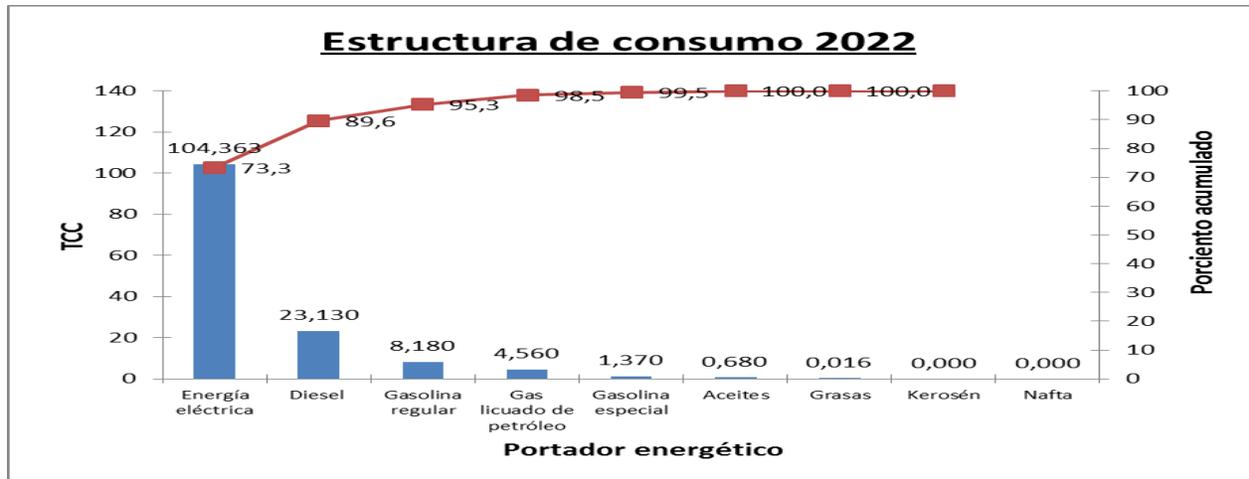


Figura1. Estructura de consumo de portadores energéticos

La universidad, como se mencionó arriba, es alimentada desde el punto de vista energético por dos subestaciones que llamaremos en lo adelante servicio eléctrico # 1 y servicio eléctrico # 2 respectivamente.

El servicio eléctrico # 1 alimenta una parte de la sede central que abarca las aulas, laboratorio, secretaría y todo lo que se corresponde con la docencia, tiene 1 transformador de 37,5 kVA y otro de 250 kVA, finalmente este servicio presenta una capacidad total de 287,5 kVA y una conexión Delta Abierta.

El servicio eléctrico # 2 alimenta fundamentalmente la parte de los dormitorios y el área de servicios, el mismo tiene un banco de transformadores compuesto por 3 transformadores monofásicos de 100 kVA, además, este circuito tiene como respaldo un Grupo Electrónico de Emergencia trifásico de 45 kVA, 220/127 V, los mismos están conectados eléctricamente, suministrando un servicio trifásico con una capacidad total de 300 kVA, el cual permite que en caso de ausencia de servicio eléctrico del Sistema Electroenergético Nacional (SEN) algunas cargas eléctricas puedan continuar su funcionamiento entre las que se encuentran el alumbrado, calderas para la cocción de alimentos, local de la cocina comedor, bomba de agua, taller de mantenimiento a la instalación, oficinas administrativas, equipos de refrigeración, entre los que podemos mencionar neveras y cajas de agua, entre otras.

Para la realización del estudio de carga en los servicios eléctricos seleccionados se utilizó un analizador de redes de marca CIRCUTOR ARL – 5. El mismo es capaz de monitorear, registrar y grabar varias variables eléctricas en una unidad de tiempo determinada. Este equipo es capaz de ofrecer en forma tabular y gráfica los siguientes, entre otros, datos, como la tensión (V), corriente (A), potencia activa (kW), potencia reactiva (ckVAr), potencia aparente (kVA), factor de potencia ($\cos\phi$), frecuencia (Hz), etc. Este equipo posee un puerto para después de recopilados los datos poder vaciarlos en la PC y mediante un software, llamado POWER VISION, visualizarlos y analizarlos.

Resultados y discusión

De las mediciones realizadas y producto del análisis de los datos registrados se detectaron los siguientes problemas en los servicios eléctricos monitoreados:

Servicio eléctrico# 1

- ✓ Se muestra una ligera desviación entre los voltajes de fase ya que de un mínimo establecido en 2 % este alcanza el valor de un 2,37 %.
- ✓ En el caso de la variación de tensión el valor alcanzado es notable por lo que se recomienda solicitarle a la Organización Básica Eléctrica (OBE) bajar un punto en la derivación del enrollado del transformador (tap) con el objetivo de bajar los niveles de voltaje.
- ✓ Existe desviación entre las corrientes de fase muy por encima de lo normado por lo que lo recomendable realizar un correcto balance de carga.
- ✓ Cuando se analiza el consumo de energía activa (P) y aparente (S) en este servicio se aprecia que los transformadores del mismo están sobredimensionados y que el valor de demanda máxima registrado está muy por debajo de lo contratado con la OBE por lo que se recomienda la sustitución de transformadores acordes a la carga conectada y la recontractación de la máxima demanda con el organismo rector.
- ✓ El consumo promedio diario registrado alcanza un valor igual a 11,2 kWh.

Servicio eléctrico# 2

- ✓ No se muestra desviación entre los voltajes de fase.
- ✓ En el caso de la variación de tensión el valor alcanzado es ligeramente superior a los establecido por lo que se recomienda solicitarle a la OBE bajar un punto en la derivación del enrollado del transformador (tap) con el objetivo de bajar los niveles de voltaje.
- ✓ Existe desviación entre las corrientes de fase muy por encima de lo normado por lo que lo recomendable es realizar un correcto balance de carga.
- ✓ El factor de potencia se comporta por debajo de lo normado por lo que se necesita corregir el valor del mismo para evitar las penalizaciones económicas de la OBE.
- ✓ Cuando se analiza el consumo de energía activa (P) y aparente (S) en este servicio se aprecia que los transformadores del mismo están sobredimensionados y que el valor de demanda máxima registrado está muy por debajo de lo contratado con la OBE por lo que se recomienda la sustitución de transformadores acordes a la carga conectada y la recontractación de la máxima demanda con el organismo rector.
- ✓ El consumo promedio diario registrado alcanza un valor igual a 21,2 kWh.

En la tabla se muestra el resumen de las mediciones realizadas en ambos servicios

Paramentos Evaluados	Valor parámetros Servicio eléctrico 1			Valor parámetros Servicio eléctrico 2		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Voltaje Máximo (V)	251	249	259	246	249	242
Corriente Máxima (A)	140	195	80	216	270	219
Potencia Aparente 3 Φ S (kVA)	41.4			96		
Potencia Activa 3Φ P(kW)	32.2			47		
Potencia Reactiva 3Φ Q (kVAr)	13.0			28		

Factor de Potencia	0.730 – 0.84			0.70 – 1.00		
Frecuencia (Hz)	59.8 y 60.2			59.7 – 60.2		
Energía (kWh)	257.6			510.4		
Capacidad T. Banco 3Φ (kVA)	287.5			300		
Tipo conexión 3Φ	3Φ Delta Abierta			Delta con Neutro		
Tiempo duración Estudio (h)	23			24		
Grupo Electrógeno (kVA)	No tiene			45		
	Resultados cálculo Servicio eléctrico 1			Resultados cálculo Servicio eléctrico 2		
	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Variación Tensión +/- 10 %	251	249	259	246	249	242
Desviación Tensión ($\leq 2\%$)	2.37 %			1.38 %		
Asimetría Carga ($\leq 10\%$)	41 %			14 %		
Factor Potencia ($0.90 \leq \cos\Phi \leq 0.97$)	0.73 – 0.84			0.70 – 1.00		
Frecuencia. ($\leq 0.5\%$) ($59.7 \leq 60 \text{ Hz} \leq 60.3$)	59.8 – 60.2			59.7 – 60.2		
Demanda máxima (kW)	32.2			44.1		

Además, como parte del estudio y aprovechando las bondades de la energía solar así como las capacidades disponibles en cubiertas de la sede principal universitaria, es posible la implementación de un sistema de autogeneración eléctrica a partir de la instalación de Sistemas Solares Fotovoltaicos de Inyección a Red (SFVCR) que sustituyan parte del consumo anual diurno proveniente actualmente del Sistema Electro energético Nacional (SEN) por energía limpia autogenerada y disminuir así la factura eléctrica de la institución, convirtiéndose la energía generada por el SFVCR totalmente gratis una vez amortizada la inversión, proceso que se verá acelerado por la venta de este tipo de energía inyectada al SEN, en resumen, contribuir con el objetivo de país establecido en el Lineamiento 247 de la política económica y social y el programa de desarrollo hasta 2030, de modificar la actual matriz energética cubana logrando una mayor participación de las Fuentes Renovables de Energía que hoy representa aproximadamente un 5 % y para el 2030 convertirlo en un 37 %.

Desde el punto de vista administrativo se deben tomar medidas para dar cumplimiento al plan de ahorro de portadores energéticos de la organización haciendo énfasis en lo relacionado con la energía eléctrica, portador de mayor representatividad. En el aspecto organizacional es necesaria la recontractación de la máxima demanda contratada con la OBE ya que se permite en el año natural el cambio de la misma dos veces. La universidad tiene

un período lectivo y otro no lectivo, en este último tanto los trabajadores como estudiantes salen de vacaciones por lo que se debe ajustar la máxima demanda contratada a los consumos representativos de esos períodos y evitar pérdidas económicas representativas que dañan la economía de la institución.

Como parte del aprovechamiento de las cubiertas en la instalación se instalarán un total de 54 módulos de 492 Wp para una potencia instalada de 21,28 kWp. Esto permitirá en el año una generación aproximada igual a 126,4 MWh de los cuales se aprovechará el 56 % aproximadamente y el resto se le venderá a la OBE según resolución aprobada por el Ministerio de Finanzas y Precios (Mfp). Estos paneles permitirán un respaldo energético en el caso de falta de fluido eléctrico lo que permitirá una mayor calidad en el proceso docente – educativo, cubrir parte de la demanda eléctrica de la instalación con los paneles fotovoltaicos y protección de puestos claves, así como contribuir a la disminución en la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera con un total de 108,9 t de CO₂ lo que representa un ahorro de combustible igual a 35,4 toneladas.

En el mundo hoy en día el incremento de la generación de energía fotovoltaica es notable, para el 2050 se estima una producción anual superior a los 10 000 TeraWatts Hora (TWh), unas diez veces mayor que la actual, y Cuba no se queda atrás en ese sentido pues recibe cada año una radiación solar igual a los 5 kiloWatts hora (kWh) por metro cuadrado cada día por lo que es inobjetable el uso de la misma para la disminución de la dependencia de los combustibles fósiles y lograr la descarbonización paulatina de la sociedad.

El gráfico que se muestra a continuación muestra la demanda cubierta por el SFVCR en caso de ser instalado en la institución y como puede apreciarse cerca del 60 % de lo demandado al SEN es cubierto por esta fuente renovable de energía que es una de las más importantes y de mayor crecimiento en el mundo hoy día. Incluso en el mes de septiembre se puede apreciar un vacío pues si estuviesen instalado el sistema de paneles fotovoltaicos la demanda al SEN hubiese sido cubierta por los paneles fotovoltaicos.

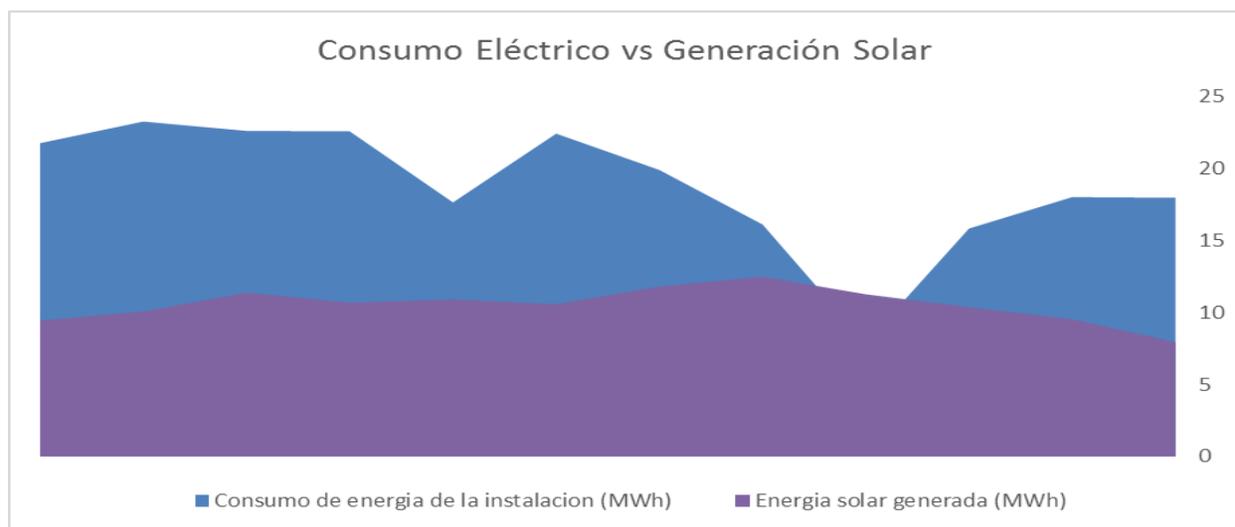


Figura 2 Demanda cubierta por el sistema de paneles fotovoltaicos

Conclusiones

El estudio de carga realizado en los servicios eléctricos de la universidad de Guantánamo, específicamente en su sede central, permitió conocer el comportamiento de las variables eléctricas que caracterizan al mismo como consumo activo, factor de potencia, energía reactiva, etc. Con la sustitución de los transformadores sobredimensionados por otros de menor capacidad se disminuyen las pérdidas por transformación y con ello una rebaja sustancial en la tarifa eléctrica.

La reconstrucción de la demanda máxima dos veces en el año de acuerdo a los valores registrados y hecho el análisis correspondiente es muy beneficioso desde el punto de vista económico, se contrata un valor para el período septiembre – junio, período lectivo, y otro para el período julio – agosto, período no lectivo. Por cada 10 kW que se rebaje en ese valor contratado significaría al año un ahorro en moneda nacional igual a 11 280 CUP. La realización de este estudio de carga le costó a la institución alrededor de 1100 CUP, el mismo se realizó antes de la implementación de la Tarea Ordenamiento, en octubre de 2021 por lo que el costo del mismo es desde el punto de vista económico insignificante.

El mejoramiento del factor de potencia en el servicio eléctrico # 2, penalizado por la OBE cada mes en la factura eléctrica, reporta beneficios económicos ya que cuando el mismo se comporta entre 0,92 y 0,96 es bonificado con rebaja en la facturación. El valor de compra de los 54 módulos de SFVCR con potencia igual a 415 Wp es igual a 1 111 572,50 CUP y 44 462,90 USD. La instalación de un sistema de parques fotovoltaicos en las cubiertas de la sede principal permitirá una generación de energía estimada de 126,4 MWh, un ahorro de 35,4 toneladas de combustible fósil que se traduce en no emitir a la atmósfera una cantidad igual a 108,9 toneladas de CO₂.

Recomendaciones

Esta experiencia puede generalizarse a cualquier organización, sea de tipo industrial o no, ya que el mismo permite evaluar el comportamiento de los principales parámetros eléctricos que caracterizan las subestaciones que alimentan las mismas, así como la evaluación para la instalación de fuentes renovables de energía como contribución al cambio de matriz energética.

Bibliografía

- Blasing, T. J. (February 2013), *Current Greenhouse Gas Concentrations*. CDIAC.
- Comisión Gubernamental para el Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables de Energía. *Informe al Poder Popular Provincial Guantánamo*. 2019.
- Mann, Michael E. (2014). *Earth Will Cross the Climate Danger Threshold by 2036*. Scientific American.
- Ministerio de Finanzas y Precios (MFP). *Resolución de Tarifas Eléctricas para el sector no residencial*. 2020.
- Mora, C (2013). *The projected timing of climate departure from recent variability*. Nature 502: 183-187.
- Tabloide Especial. (2017). *Documentos del 7mo Congreso del PCC aprobados por el III Pleno del Comité Central del PCC el 18 de mayo del 2017 y respaldados por la Asamblea Nacional del Poder Popular el 1 de junio del 2017*. Periódico Granma.
- Viego, P., De Armas, M., Padrón, E.A. (2002). *Ahorro de energía en sistemas eléctricos industriales*. Editorial Universo Sur.

- Viego, P. et al. (2006a). Temas especiales de sistemas eléctricos industriales. Texto de la Maestría en Eficiencia Energética. Editorial Universo Sur.
- Viego, P. (2006b). Uso final eficiente de la energía eléctrica. Texto para la Especialización en Eficiencia Energética. Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia.
- Viego, P. (2007). Tecnología de gestión total eficiente de energía. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Editorial Universo Sur.