

Estudio de cargabilidad en poligráfico de Guantánamo

Chargeability study in Guantanamo polygraph

 **Raúl Antonio Caramazana Ferrer**

Universidad de Guantánamo, Cuba
raulacf@cug.co.cu

 **Robuam Peña Domínguez**

Universidad de Guantánamo, Cuba

 **Jorge Alberto Jackson Horruitiner**

Universidad de Guantánamo, Cuba

RESUMEN: En el presente trabajo se presentó un estudio de carga realizado en los motores eléctricos más consumidores del poligráfico de Guantánamo con el objetivo de sustituirlos por motores asíncronos de alta eficiencia, mejorando con ello el comportamiento de los indicadores de eficiencia de las máquinas de trabajo y de la Unidad Empresarial de Base (UEB). Para ello se realizó el monitoreo de los motores eléctricos principales de las máquinas de conversión, impresión y encuadernación gráficas utilizando para este fin un analizador de redes. Fue posible determinar, en la mayoría de los casos, la subutilización de estos y proponer su sustitución. Se realizó además un análisis económico y medio ambiental demostrando la importancia de llevar a cabo esta inversión que ayuda a disminuir la demanda de energía eléctrica y a la par la emisión de gases de efecto invernadero que dañan nuestro medioambiente. Cuando se hayan sustituidos los 15 motores propuestos se habrá dejado de consumir alrededor de 25 MWh en un año de trabajo.

Palabras clave: estudio de carga, motores eléctricos subcargados, portador energético, medio ambiente, gases de efecto invernadero.

ABSTRACT: In this work a study of the charge in the most consuming electric machines in Guantanamo polygraph is carried out with the objective of substituting them for asynchronous machines of high efficiency, increasing the indicators of efficiency of the working machines and of the UEB in general. For such purpose the monitoring of the principal electric machines of the areas of conversion, impression and graphic bookbinding was applied using a net analyzer, defining that in most cases they are subutilized and suggesting their replacement. An economic and environmental analysis was also applied which helps to diminish the demand of electric power and the emission of gasses of greenhouse effect. In the future once the 15 machines chosen have been replaced there will be a consumption reduction of about 25 MWh in a year of work.

Keywords: study of the charge, undersized electrical motors, energetic bearer, environment, gases of greenhouse effect.

INTRODUCCIÓN

La energía posibilita y facilita toda la actividad humana. Las diferentes fuentes y sistemas de producción y uso de la energía empleados por el hombre han marcado grandes etapas en el desarrollo de la sociedad humana. En muchos casos, el desarrollo de estas ha dependido de las elecciones energéticas realizadas en cada momento.

Recibido: 18/10/2022

Aceptado: 15/11/2022



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Con el decurso del tiempo el hombre pasó del empleo de su fuerza muscular al uso de diversas fuentes para satisfacer sus necesidades: el empleo del fuego, la utilización de la tracción animal, y finalmente, en rápida sucesión, el dominio de las tecnologías del carbón, del petróleo y el gas natural, y la producción y uso del vapor y la electricidad. Esta última ha sido la base para el mejoramiento de los niveles de vida de la población y para el desarrollo industrial.

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. (Viego, 2007, p. 7).

Ante este panorama nada alentador, nuestro país, a partir del año 2006, viene desarrollando un proceso denominado "Revolución Energética en Cuba". En él se ha puesto en práctica nuevas concepciones para el desarrollo de un sistema electro energético nacional más eficiente y seguro. Dentro de los ejes temáticos del Plan Nacional de Desarrollo para el 2030 se encuentra el de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y entre sus objetivos específicos se encuentra: "Elevar la eficiencia energética y el desarrollo de fuentes renovables de energía, lo que contribuye, entre otros beneficios, a reducir la emisión de gases de efecto invernadero, a mitigar el cambio climático y a promover un desarrollo económico menos intenso en carbono". (Tabloide Especial, Granma, 2017).

El poligráfico de Guantánamo se integra a este programa, y realiza acciones encaminadas a disminuir su demanda de energía eléctrica y a hacer más efectiva su gestión energética. Dentro de sus talleres productivos se encuentran instaladas máquinas de impresión y encuadernación que tienen alrededor de 45 años de explotación. Dichas máquinas trabajan por debajo de su capacidad nominal debido al deterioro técnico sufrido con el paso de los años. Los motores eléctricos de estas máquinas trabajan también por debajo de su valor de potencia nominal atendiendo a las causas explicadas arriba. En la industria, estas máquinas consumen más del 50 % de la energía eléctrica generada por lo que es preciso establecer medidas que permitan contribuir al ahorro de energía y de gastos capitales en este campo. De ahí que el objetivo de este trabajo sea determinar el estado de carga de los motores eléctricos, y la viabilidad de su posible sustitución por otros de alta eficiencia.

METODOLOGÍA

De acuerdo con Viego (2006 b) "Un programa de perfeccionamiento energético difícilmente puede considerarse completo sin una evaluación de la eficiencia de los motores más potentes y críticos de una instalación" (p. 7). En la actualidad, debido a los precios crecientes y a las exigencias de ahorro de energía, el valor de la eficiencia juega un papel fundamental en la industria. Para la realización del estudio se partió del hecho de que la energía eléctrica es el principal portador energético que se consume en la UEB. La demostración de ello aparece en la estructura de consumo mostrada en la Figura 1. Aquí es posible apreciar que haciendo hincapié en el ahorro de electricidad se puede mejorar la eficiencia económica e industrial de la instalación ya que el mayor porcentaje de consumo corresponde a este portador. Para llevar a cabo la investigación se emplearon métodos del nivel teórico (análisis - síntesis e histórico - lógico) y empírico (análisis documental).

Existen diversos métodos para determinar la eficiencia. Por ejemplo: la IEEE-112 establece cinco métodos denominados A, B, C, E y F con las variantes E₁, F₁. En la práctica industrial, los métodos de evaluación toman nombres genéricos, y pueden fundarse en la combinación de varios métodos básicos. Figuran entre ellos el método de los datos de placa, el método de la corriente equivalente, etc.

En todos los métodos la eficiencia se calcula según la ecuación:

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{electrica\ entrada}}$$

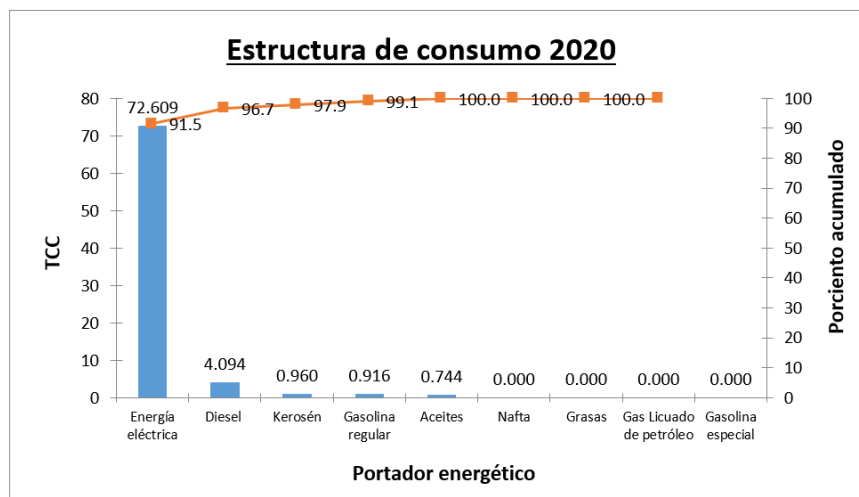


Fig. 1. Estructura de consumo de portadores energéticos

La potencia de salida es la potencia de entrada menos las pérdidas. De la forma en la cual se determinan las pérdidas depende la exactitud del método aplicado. El equipamiento tecnológico instalado en la planta industrial data de finales de los años 70, y la mayoría de estos proviene del desaparecido campo socialista. Estas máquinas tienen un alto grado de obsolescencia tecnológica. Desde el punto de vista técnico el estado del equipamiento deja mucho que desear por los años de explotación a que han sido sometidos. Estos motores eléctricos tienen bajo factor de potencia, baja eficiencia, y adolecen de piezas de recambio para su mantenimiento. Para la realización del estudio de carga a los motores eléctricos se utilizó un analizador de redes de marca CIRCUTOR ARL - 5 como se mencionó arriba. Dicho analizador es capaz de monitorear, registrar y grabar varias variables de comportamiento de un motor eléctrico en una unidad de tiempo determinada. Este equipo es capaz de ofrecer en forma tabular y gráfica 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 que permite, después de recopilados los datos, vaciarlos en la PC y mediante un software, llamado POWER VISION, visualizarlos y analizarlos en forma gráfica y/o tubular. En la [figura](#) que se muestra a continuación, se puede ver el equipo montado en una máquina de impresión Planeta a cuatro colores.

El analizador de redes se monta en el motor principal de cada una de las máquinas antes mencionadas. Dicho analizador posee terminales que varían su calibre de acuerdo con la tensión (V) del motor a medir. El analizador se programa para registrar y grabar valores durante una hora de trabajo a intervalos de 1 minuto. La máquina impresora o encuadernadora comienza a trabajar y al cabo de la hora se obtienen alrededor de 60 mediciones, las cuales son suficientes para determinar el comportamiento energético del motor eléctrico. Se retiran los terminales del analizador, y después, utilizando un puerto, estos valores se llevan a la PC donde se descarga el archivo correspondiente. De esa forma, se procede en todas las máquinas y los archivos creados por el analizador van siendo guardados en la PC para su posterior examen. Con estos registros en máquina, después de verificar que el motor eléctrico analizado consume por debajo de su valor nominal de chapa, se prepara una hoja de cálculo electrónica en el Microsoft Excel, siguiendo el siguiente algoritmo de cálculo, para proponer el nuevo motor con el nuevo valor de potencia a consumir:



Fig. 2. Analizador de redes monitoreando datos en el accionamiento eléctrico

Se tomó como referencia el cálculo realizado al accionamiento principal de una máquina impresora Planeta de 4 colores. El motor eléctrico original tiene las siguientes características técnicas:

- Potencia = 5 - 25 kW
- Voltaje = 440 V
- Corriente= 29,5 - 44,5 A
- Factor de potencia = 0,38 - 0,99

Utilizando el método de la corriente equivalente cuya **fórmula** se muestra a continuación efectuamos:

$$I_{eq} = \sqrt{\frac{2 \sum_{i=1}^n I_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}$$

Sustituyendo los valores registrados por el analizador de redes se obtiene:

$$I_{eq} = 24,28 \text{ A}$$

La cargabilidad del motor se puede calcular por:

$$C = \frac{I_{eq}}{I_{nom}}$$

$$C = \frac{24,28}{44,5}$$

$$C = 54,56\%$$

Este valor revela que de la potencia nominal del motor solo se aprovecha el 54,56 %. Con ello es posible establecer que dicho motor está subutilizado.

Se calcula ahora el valor de la potencia equivalente por la **fórmula** que aparece a continuación:

$$P_{eq} = \sqrt{\frac{2 \sum_{i=1}^n P_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}}$$

$$P_{eq} = 7,15 \text{ kW}$$

Este valor se multiplica por la eficiencia real ajustada que es igual a un 85 % después de tener en cuenta varios factores que influyen en ella como la variación de tensión, desbalance de tensión y otros. Al final la potencia real entregada es igual a:

$$Potencia\ entregada\ actual = 6,08\ kW$$

Multiplicando este último valor por un factor de seguridad igual a 1,65, se determina que la potencia que se requiere para energizar esta máquina es igual a 10,03 kW. Ahora se normaliza este valor de potencia y para ello hay que apoyarse en un catálogo de motores de la marca SIEMENS donde se encuentran valores estandarizados de potencia. Entonces se elige el nuevo motor con las características que se muestran a continuación:

Motor de alta eficiencia	
Trifásico, totalmente cerrado	
Tipos RGZE, RGZESD, RGZESD	
440 V	60 Hz
Potencia (kW)	15
Velocidad (rpm)	1755
Eficiencia nominal	91,7 %
Factor Potencia	0,80
Par (N.m)	81
Par máximo	270 %
Par máximo (N.m)	218,7

A continuación, se calcula el momento máximo que pide la carga, según la fórmula:

$$Mmáxc = \frac{Pmáxc}{\frac{\pi n}{30} * rpm} * 1000$$

$$Mmáxc = 112,42\ N - m$$

A continuación, se calculan los valores de momento nominal y momento máximo absoluto del motor propuesto utilizando la fórmula que aparece arriba. Se obtuvieron los resultados siguientes:

Momento nominal de motor propuesto		
Mn	81,00	N.m
Mmáxperm	218,70	N.m

Seguidamente, se comprueba si el motor propuesto es capaz de mover la carga. Para ello se calcula si el momento máximo en el ciclo es menor que el momento máximo del motor seleccionado.

$$\text{Momento máximo en el ciclo} < (0,7-0,8) \text{ Momento máximo del motor seleccionado}$$

Los resultados son:

$$Mmáxc < (0,7 - 0,8)Mmáxabs$$

$$112,42 < 164,03$$

Luego se concluye que el motor propuesto resulta adecuado para los requerimientos de momento máximo. En coordinación con la agencia CEDAI, han sido importados tres motores de alta eficiencia, los cuales fueron montados en el taller de impresión plana y rotativa. Hasta este momento se han obtenido excelentes resultados. A continuación, se muestra la máquina impresora Planeta de cuatro colores con el nuevo accionamiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El procedimiento antes descrito se llevó a cabo en cada uno de los motores eléctricos estudiados en los talleres de conversión, impresión y encuadernación de la UEB. Fueron obtenidos los siguientes resultados:

1. Del total de motores eléctricos estudiados se demostró que 15 de ellos están trabajando por debajo de su capacidad nominal, o lo que es lo mismo, están subcargados bajo las condiciones de carga actuales.

2. La sustitución de estos motores eléctricos subcargados por motores eléctricos de alta eficiencia trae consigo un impacto energético considerable.
3. Con la disminución de la demanda eléctrica por este concepto se logra reducir el gasto de combustible en la fuente principal de generación, y con ello una reducción en la emisión de gases de efecto invernadero.
4. Es considerable, además, la disminución en la facturación eléctrica ya que disminuye el consumo de energía eléctrica.
5. Con la sustitución de los motores eléctricos subcargados se disminuye el consumo de energía reactiva ya que al motor eléctrico trabaja en un rango de consumo más próximo a su valor nominal y mejora el factor de potencia de la instalación.

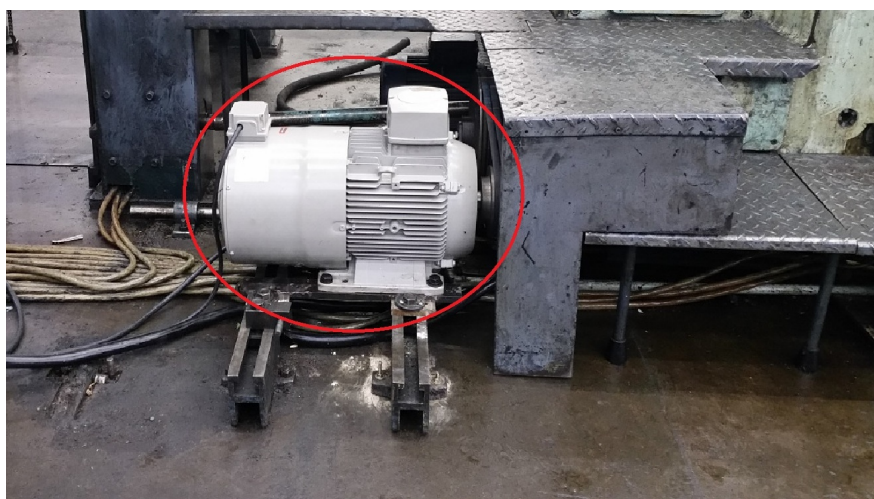


Fig. 3. Máquina impresora Planeta y su nuevo accionamiento eléctrico

La aplicación en el poligráfico de Guantánamo de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de Energía (TGTEE) ha permitido identificar el potencial que existe para el ahorro de energía eléctrica en este lugar, ya que este portador es el de mayor consumo como se demostró en la estructura de consumo de portadores energéticos antes presentada. (Ver [Figura 1](#)).

Con la sustitución de estos motores eléctricos por otros de menores consumos energéticos, y más eficientes se obtiene el siguiente ahorro energético:

	Ahorro 16 horas (kW.h)	Ahorro en un mes (kW.h)	Ahorro 1 año (kW.h)
Total	85,28	2046,72	24 560,64

Por el ahorro conseguido en un año de trabajo (24,56 MW.h) deja de emitirse a la atmósfera la siguiente cantidad de gases contaminantes:

Reducción de contaminantes en Termoeléctricas	Emisiones de NOx (kg)	Emisiones de SO₂ (kg)	Emisiones de CO₂ (kg)
Por cada kWh ahorrado se deja de emitir	71,23	368,41	16 406,51

La termoeléctrica Antonio Maceo (Renté) de Santiago de Cuba deja de emitir a la atmósfera, 16,85 toneladas de gases de efecto invernadero en un año de trabajo. Además, 6877 kilogramos de combustible dejados de quemar para la generación de energía eléctrica teniendo en cuenta que su índice de consumo es de 280 g/kWh.

En el momento en que se deje de consumir 24,56 MW.h considerando 16 horas de trabajo, 254 días laborables y recontratando la demanda máxima, al año, la UEB dejará de pagar por concepto de facturación eléctrica lo siguiente:

Tarifa MIA	Demanda contratada	Cargo fijo		Diferencia	Ahorro (\$)
		Demanda a contratar			
	200	190		10 kW	11280 CUP
Tarifa MIA	Precio (\$)	Cargo variable		Consumo (kWh)	Ahorro (\$)
Día	1,5869*\$/kWh*k+0,8595*\$/kWh			18 420,48	\$ 45 063,86 CUP
Pico	3,1672*\$/kWh*k+0,8595*\$/kWh			6140,16	\$ 24 724,58 CUP
subtotal	-			24 560,64	\$ 69 788,44 CUP
Total					\$ 81 068,44 CUP

CONCLUSIONES

La aplicación de este trabajo en el poligráfico de Guantánamo permitió la determinación del estado de carga de los motores eléctricos de los talleres de conversión, impresión y encuadernación. Se concluyó que quince de ellos están subcargados. En coordinación con la agencia CEDAI se ha podido sustituir tres. Esta solución ha permitido una disminución en el gasto de la facturación eléctrica, así como realizado una importante contribución a la disminución en la emisión de gases de efecto invernadero que tanto dañan nuestro medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castro, F. *Discurso en la Cumbre Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo*. 2005.
- CITMA Provincial. *Resultados de los estudios de Peligro, Vulnerabilidades y Riesgos en la Provincia de Guantánamo*. 2021.
- ___ CITMA Macroprogramas. *Ciencia, Tecnología e Innovación, Recursos Naturales y Medio Ambiente. Desarrollo Humano, Equidad y Justicia Social*. 2021.
- ___ Estrategia de desarrollo de la provincia Guantánamo. *Los sectores estratégicos, Recursos Naturales y Medio Ambiente*. 2021.
- ___ *Proyecciones Tarea Vida 2021 - 2025*. Cuba.
- Comisión Gubernamental para el Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables de Energía. *Informe al Poder Popular Provincial Guantánamo*. 2019.
- 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.
- <http://www.cubadebate.cu>. *2017 y la estrategia energética en Cuba*. Katheryn Felipe. 25 de febrero de 2017.
- Ministerio de Finanzas y Precios (MFP). *Resolución de Tarifas Eléctricas para el sector no residencial*. 2020.
- Viego, P., De Armas, M. y 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.
- ___ (2006b). *Uso final eficiente de la energía eléctrica*. Texto para la Especialización en Eficiencia Energética. Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia.
- ___ (2007). *Tecnología de gestión total eficiente de energía*. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Editorial Universo Sur.
- SIEMENS. *Catálogo General de Motores Eléctricos*. 2000.
- Unión Nacional Eléctrica. *Manual de Estudio*. 2006.