

## **Sustitución de motores eléctricos subcargados en UEB Gráfica Juan Marinello**

### **Substitution of undersized electrical motors in Graphic UEB Juan Marinello**

**Autores:** M.Sc. Raúl Antonio Caramazana Ferrer<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-5695-7341>

Ing. Vladimir Barreras Fontanet<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-6066-3194>

M.Sc. Osvaldo González Reyes<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-4295-7524>

M.Sc. Jorge Jackson Horritiner<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-8193-0212>

M.Sc. Rolando Escalante Castillo<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-4137-1030>

**Organismo:** Universidad de Guantánamo, Guantánamo, Cuba<sup>1</sup>. Empresa de servicios a grupos electrógenos de emergencia (EMER)<sup>2</sup>

**E-mail:** [raulacf@cug.co.cu](mailto:raulacf@cug.co.cu); [raul700@nauta.cu](mailto:raul700@nauta.cu)

**Fecha de recibido:** 26 may. 2021

**Fecha de aprobado:** 30 jul. 2021

#### **Resumen**

En el presente trabajo se presenta un estudio de carga realizado en los motores eléctricos más consumidores de la UEB gráfica Juan Marinello con el objetivo de sustituirlos por motores asincrónicos de alta eficiencia, mejorando así el comportamiento de los indicadores de eficiencia de las máquinas de trabajo y de la UEB en general. Se realizó el monitoreo de los motores eléctricos principales de las máquinas de conversión, impresión y encuadernación gráficas utilizando un analizador de redes, determinando en la mayoría de los casos su subutilización y proponiendo su sustitución. Se realizó un análisis económico y medioambiental, demostrando la importancia de ejecutar esta inversión que ayuda a disminuir la demanda de energía eléctrica y la emisión de gases de efecto invernadero que dañan nuestro medioambiente. En el futuro cuando se hayan sustituidos los 15 motores propuestos se habrán dejado de consumir alrededor de 25 MWh en un año de trabajo.

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

#### **Abstract**

In this work a study of the charge in the most consuming electric machines of the Graphic UEB Juan Marinello 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 underutilized and suggesting their replacement. An economic and environmental analysis was also applied which helps to diminish electric power demand and the emission of greenhouse effect gasses. In the future, when we replace the 15 machines chosen there will be a consumption reduction of about 25 MWh in a year of work.

**Keywords:** study of the charge, undersized electrical motors, demand, 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 utilizadas por el hombre han marcado las grandes etapas en el desarrollo de la sociedad humana, dependiendo el curso de este de las elecciones energéticas realizadas en cada momento. En el decursar 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, pero sin embargo su utilización sin racionalización es la causa principal por la cual hoy en día el mundo enfrenta una crisis energética ya que las fuentes de abastecimiento de combustibles fósiles se agotan por el desenfrenado consumo impuesto al mundo por las sociedades de consumo.

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 %.

Ante este panorama nada alentador nuestro país, a partir del año 2006, viene desarrollando “La Revolución Energética en Cuba”, donde se ha puesto en práctica nuevas concepciones para el desarrollo de un sistema electroenergético nacional más eficiente y seguro, y un uso racional y eficiente de la energía en todos los sectores de la sociedad cubana, haciendo del ahorro de energía el sustento fundamental del desarrollo del país. La UEB Gráfica Juan Marinello de la provincia Guantánamo, Cuba, se ajusta a este programa y realiza acciones encaminadas a disminuir su demanda de energía eléctrica y 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, trabajan por debajo de su capacidad nominal debido al deterioro técnico que han sufrido con el paso de los años.

Los motores eléctricos de estas máquinas trabajan también por debajo de su valor de potencia nominal debido a las causas explicadas arriba. En la industria, estas máquinas consumen más del 50 % de la energía eléctrica generada por lo que es preciso trabajar en las medidas que permitan contribuir al objetivo de ahorrar energía y gastos capitales en este campo. Es por ello que en este trabajo se plantea como problema científico la baja eficiencia energética de los motores eléctricos, el objeto de la investigación los accionamientos del equipamiento tecnológico para la producción de libros y como objetivo principal el determinar el estado de carga de los motores eléctricos y la viabilidad de su posible sustitución por otros de alta eficiencia.

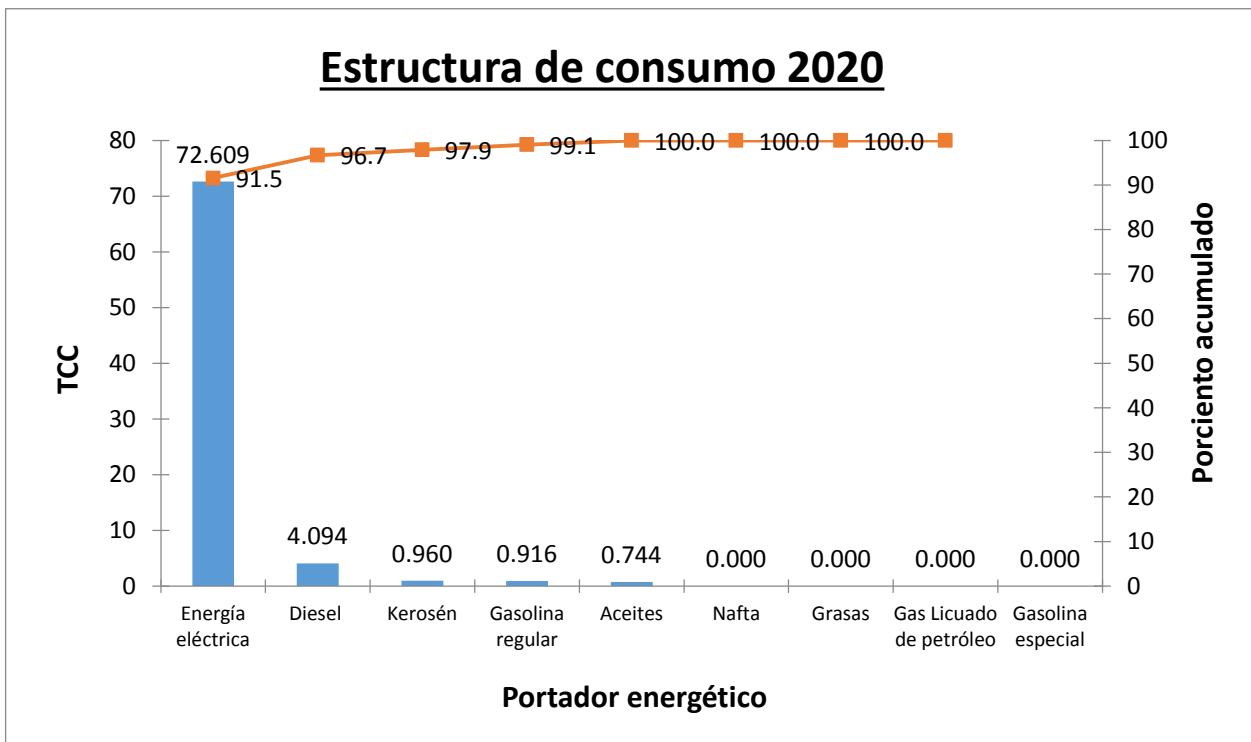
## **Materiales y métodos**

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. En

la actualidad, debido a los precios crecientes y las exigencias de ahorro de energía, el valor de la eficiencia juega un papel fundamental en la industria.

El objetivo de la evaluación está en determinar el estado de carga y la eficiencia operacional con vistas a identificar el potencial de ahorro y aplicar las herramientas necesarias para elevar la competitividad. Aunque este tipo de programa se sustenta desde bases económicas, en la actualidad es necesario considerar, además, su impacto ambiental.

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 como lo demuestra la estructura de consumo mostrada en el gráfico abajo, como puede verse 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, sin olvidar, como es natural, el impacto que tiene trabajar en la disminución del consumo de los demás portadores energéticos.



**Fig. 1** Estructura de consumo de portadores energéticos

Existen muchos métodos para determinar la eficiencia; por ejemplo: la **IEEE-112** establece cinco métodos denominados **A, B, C, E y F** con las variantes **E<sub>1</sub>, F<sub>1</sub>**. En la práctica industrial los métodos de evaluación toman nombres genéricos y pueden fundarse en la combinación de varios métodos básicos. Entre ellos se tiene el método de los datos de placa, método de la corriente equivalente, etc.

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

$$\eta = \frac{P_{SALIDA}}{P_{ELECTRICA\ ENTRADA}}$$

La potencia de salida es la potencia de entrada menos las pérdidas. De la forma en cómo se determinan las pérdidas depende la exactitud del método aplicado.

Entre las mediciones necesarias pueden encontrarse la lectura de la placa y el registro de datos con un analizador de redes, etc.

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 técnica ya que debieron haberse cambiado, según las normas de la propia poligrafía, alrededor de 9 veces. Desde el punto de vista técnico el estado del equipamiento deja mucho que desear por los años de explotación a que han sido sometidos, incidiendo en ello, la falta de piezas de repuesto, hecho este que redundo en una disminución de su capacidad productiva con relación a su capacidad nominal provocando la subutilización de su motor principal que unido a su deficitario estado técnico provoca paros improductivos y sobreconsumo energético. Estos motores eléctricos tienen bajo factor de potencia, baja eficiencia, y adolecen de piezas de recambio para su mantenimiento y como ya se comentó arriba, más de 40 años de explotación. En la foto puede apreciarse una máquina impresora planeta con el motor eléctrico que trae de fábrica.

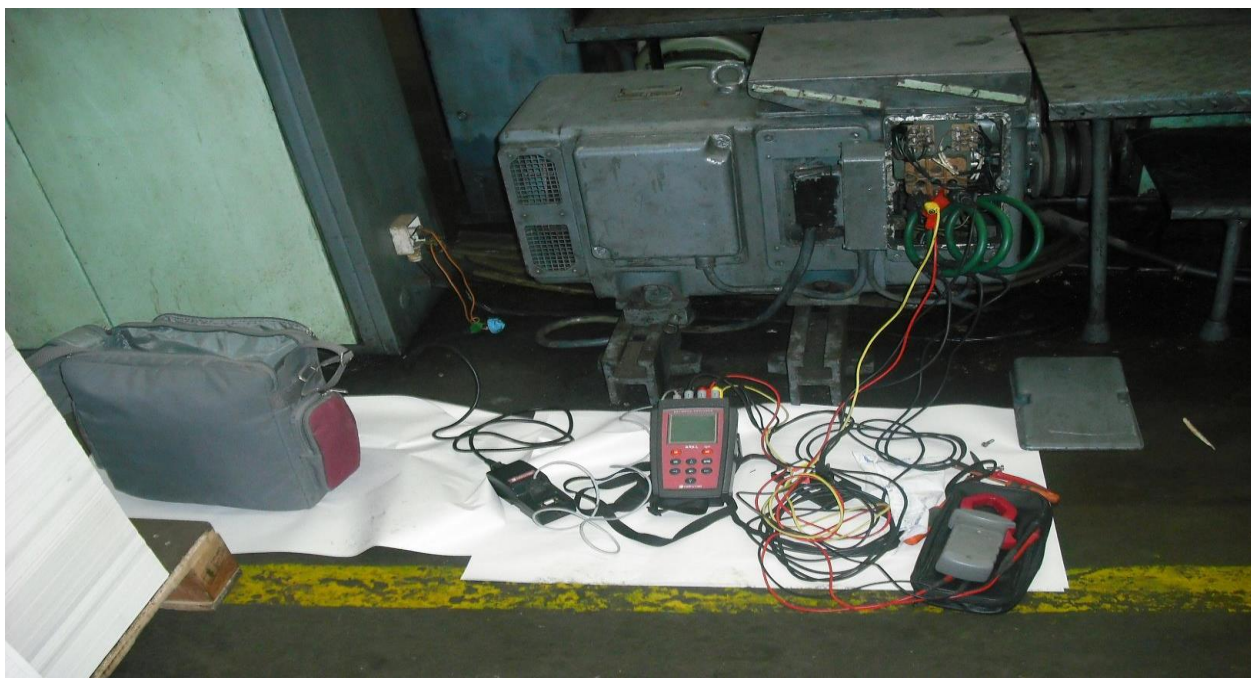


**Fig. 2** Máquina impresora planeta y su accionamiento eléctrico original

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. El mismo es capaz de monitorar, 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 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 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.





**Fig. 3** Analizador de redes monitoreando datos en el accionamiento eléctrico

El analizador de redes se monta en el motor principal de cada una de las máquinas antes mencionadas. El mismo posee terminales que varían su calibre de acuerdo a la tensión (V) del motor a medir. Estos se colocan en la entrada de energía eléctrica al mismo. 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 que 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 análisis. 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:

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:

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

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 nos dice que de la potencia nominal del motor solo se aprovecha el 54,56 %, por lo que se puede establecer que el mismo está subutilizado.

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

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

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

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 la misma como la variación de tensión, desbalance de tensión y otros. Al final la potencia real entregada es igual a:

$$Potencia_{entregada actual} = 6,08 \text{ kW}$$

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 SIEMENS donde se encuentran valores estandarizados de potencia, eligiendo el siguiente motor con las características que se muestran a continuación:

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| Motor de alta eficiencia      |       |
| Trifásico, totalmente cerrado |       |
| Tipos RGZE. RGZESD, RGZZESD   |       |
| 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 por la fórmula:

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

$$Mmáxc = 112,42 \text{ N – m}$$

Se calculan los valores de momento nominal y momento máximo absoluto del motor propuesto utilizando la fórmula que aparece arriba, obteniéndose los resultados siguientes:

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

Ahora 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.

Momento máximo en el ciclo < (0,7-0,8) Momento máximo del motor seleccionado

Efectuando se tiene que:

$$Mmáxc < (0,7 - 0,8)Mmáxabs$$

$$112,42 < 164,03$$

Luego se concluye que el motor propuesto resulta adecuado para los requerimientos de momento máximo. En coordinación con la agencia CEDAI se han importado tres motores de alta eficiencia y se montaron los mismos en el taller de impresión plana y rotativa obteniéndose hasta ahora excelentes resultados. A continuación, se muestra la máquina impresora planeta de cuatro colores con el nuevo accionamiento.

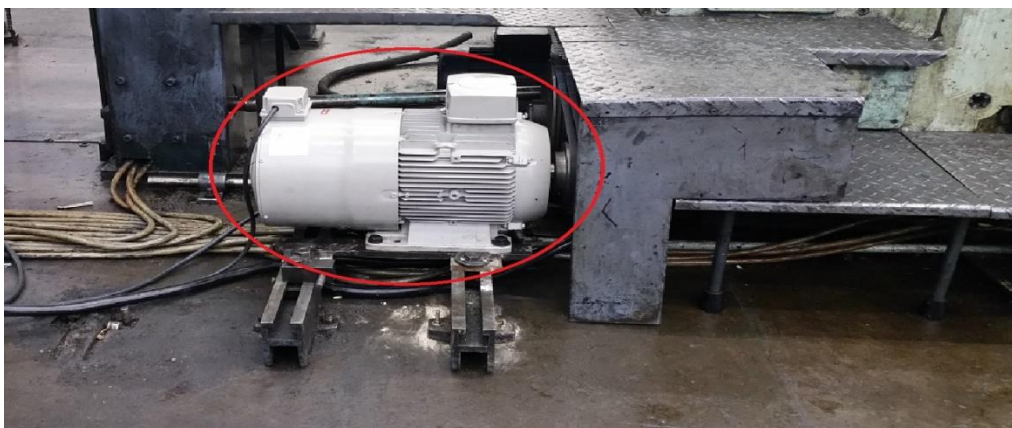


Fig. 4 Máquina impresora planeta y su nuevo accionamiento eléctrico

### 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 obteniéndose 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.

La aplicación en la UEB Gráfica Juan Marinello de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de Energía (TGTEE) ha permitido identificar el potencial que existe para el ahorro de energía eléctrica en la misma ya que este portador es el de mayor consumo como se demostró en la estructura de consumo de portadores energéticos presentada arriba (ver **figura 1**).

Con la sustitución de estos motores eléctricos por otros de menor consumo energético y más eficientes se obtiene el siguiente ahorro energético:

|  |                 |                  |              |
|--|-----------------|------------------|--------------|
|  | Ahorro 16 horas | Ahorro en un mes | Ahorro 1 año |
|--|-----------------|------------------|--------------|



|              |              |                |                  |
|--------------|--------------|----------------|------------------|
|              | (kW.h)       | (kW.h)         | (kW.h)           |
| <b>Total</b> | <b>85,28</b> | <b>2046,72</b> | <b>24 560,64</b> |

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 SO <sub>2</sub> (kg) | Emisiones de CO <sub>2</sub> (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 280g/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:

| Cargo fijo     |                              |                     |               |                |
|----------------|------------------------------|---------------------|---------------|----------------|
| Tarifa MIA     | Demanda contratada           | Demanda a contratar | Diferencia    | Ahorro (\$)    |
|                | 200                          | 190                 | 10 kW         | 840 CUP        |
| Cargo variable |                              |                     |               |                |
| Tarifa MIA     | Precio (\$)                  |                     | Consumo (kWh) | Ahorro (\$)    |
| Día            | 0,021*\$/kWh*k+0,064*\$/kWh  |                     | 18 420,48     | \$ 2809,13 CUP |
| Pico           | 0,0481*\$/kWh*k+0,064*\$/kWh |                     | 6140,16       | \$ 1637,63 CUP |
| subtotal       | -                            |                     | 24 560,64     | \$ 4446,76 CUP |
| Total          |                              |                     |               | \$ 4866,76 CUP |

## Conclusiones

La aplicación de este trabajo en la UEB Gráfica Juan Marinello ha posibilitado la determinación del estado de carga de los motores eléctricos de los talleres de conversión, impresión y encuadernación concluyéndose que 15 de los mismos están subcargados. En

coordinación con la agencia CEDAI se ha podido sustituir tres de ellos. Esta solución ha permitido una disminución en el gasto de la facturación eléctrica, así como una importante contribución para la disminución en la emisión de gases de efecto invernadero que tanto dañan nuestro medio ambiente.

### **Recomendaciones**

Esta experiencia puede generalizarse a cualquier instalación industrial con el objetivo de conocer la cargabilidad de los motores eléctricos instalados en ella, y con la sustitución de los subcargados, contribuir al ahorro de energía eléctrica que es el portador energético de mayor consumo en el país.

### **Referencias bibliográficas**

- Viego, P.; De Armas, M.; Padrón, E.A. "Ahorro de energía en sistemas eléctricos industriales". Universidad de Cienfuegos. Cienfuegos. 2002.
- Viego, P. et al. "Temas especiales de sistemas eléctricos industriales. Texto de la Maestría en Eficiencia Energética. Editorial Universo Sur. Universidad de Cienfuegos, Cuba. 2006.
- Viego, P. "Uso final eficiente de la energía eléctrica". Texto para la Especialización en Eficiencia Energética. Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia. 2006.
- Viego, P. "Tecnología de Gestión Total Eficiente de Energía". Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Universidad de Cienfuegos, Cuba. 2007.