Eficiencia energética en sistemas eléctricos de micro, pequeñas y medianas empresas del sector de alimentos. Simulación para optimizar costos de consumo de energía eléctrica

Julio C. Cuisano, Luis R. Chirinos, Enrique J. Barrantes y Ronald E. Mas

Departamento de Ingeniería, Sección de Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú, Universitaria 1801, Lima-Perú. (correo-e: jcuisano@pucp.pe; lchirin@pucp.edu.pe; ebarran@pucp.edu.pe; rmass@pucp.edu.pe)

Recibido Oct. 4, 2019; Aceptado Dic. 6, 2019; Versión final Ene. 15, 2020, Publicado Abr. 2020

Resumen

Se usa un algoritmo para simular y estimar ahorros en los costos de consumo eléctrico de las micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES) del sector de alimentos, y su confiabilidad ha sido verificada en una empresa. La metodología contempla la normativa peruana para determinar los cargos correspondientes a cada tarifa eléctrica, y se puede aplicar a cualquier MIPYME en baja y media tensión. A partir del perfil de consumo y tarifa eléctrica, se simuló los escenarios del cambio de tarifa y del factor de calificación en tres MIPYMES representativas. Con esto fue posible identificar la tarifa más conveniente para cada empresa, considerando la calificación del usuario de presente en hora punta (HP) y fuera de hora punta (FHP). Los resultados satisfactorios de la simulación demuestran que la metodología representa una herramienta importante para incrementar la productividad y competitividad de estas empresas.

Palabras clave: eficiencia energética; tarifas eléctricas; factor de calificación; baja y media tensión

Energy efficiency in electrical systems of micro, small and medium size enterprises of the food sector. Simulation to optimize electric energy consumption costs

Abstract

An algorithm to simulate and estimate the savings in electricity consumption costs of micro, small and medium size enterprises (MSMEs) has been used, and its reliability has been verified in an enterprise. The methodology includes Peruvian regulations to determine the charges corresponding to each electrical tariff, and thus can be applied for any kind of MSME in low and medium voltage. From the electricity consumption profile and tariff in three representative MSMEs it was possible to simulate the changes in the electricity tariff and the rating factor. With this methodology it was possible to identify the most convenient tariff for each MSMEs considering their rating factor during peak hour (PH) and non-peak hour (NPH). The satisfactory results of the simulation show that the methodology represents an important tool to increase the productivity and competitiveness of these economic units.

Keywords: energetic efficiency; electric tariff; rating factor; low and medium voltage

INTRODUCCIÓN

A partir del 2017, el Laboratorio de Energía (LABEN), unidad operativa del Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, ha venido ejecutando un programa de impulsión de la eficiencia energética, con el cofinanciamiento del Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (Innovate Perú) del Ministerio de la Producción. La finalidad del programa es fortalecer el desarrollo productivo de la micro, pequeña y mediana empresa (MIPYME) del sector de alimentos procesados, a través de la identificación de oportunidades de ahorro y la recomendación de acciones que permitan reducir el consumo de energía en este sector. En Perú, según datos del Ministerio de la Producción – PRODUCE, las MIPYMES representan el 99.5% del sector productivo formal del Perú (PRODUCE, 2017). Además, de acuerdo con el Fondo Nacional del Ambiente – FONAM, el sector alimentos presenta potenciales ahorros en los costos de facturación de energía, que oscilan entre 6% y 15% en energía eléctrica y entre 8% y 22% en energía térmica (FONAM, 2008).

En efecto, el consumo de energía en las MIPYMES es uno de los factores más influyentes en sus costos de producción, debido a que estas demandan energía en las diversas operaciones que realizan, tales como: trituración, molienda, centrifugado, filtración, cocción, esterilización, pasteurización, secado, deshidratación, liofilización, refrigeración, climatización, empaquetado, entre otros. De manera que, el ahorro energético en dichas operaciones cobra gran importancia para incrementar la productividad y competitividad de estas unidades económicas (Patterson, 1996; Calderón et al., 2011; Bröckl et al., 2014; Trianni et al., 2016; Madrigal et al., 2018). Sin embargo, las MIPYMES no cuentan con una estructura (personal y recursos financieros) centrado en la eficiencia energética de sus operaciones, aspecto que ocasiona la falta de aprovechamiento de estas oportunidades de ahorro energético (Giacone et al., 2008).

El uso eficiente de la energía eléctrica conlleva a conocer los equipos o procesos de mayor consumo energético, identificar los de uso crítico, reconocer donde es posible ahorrar energía, además de otras acciones. Medidas de costo cero, como elegir una tarifa de suministro eléctrico que más se acomode a las necesidades de la MIPYME y modificar su patrón de consumo evitando los periodos de hora punta (donde el costo de la electricidad se eleva), sin afectar los procesos productivos, son prácticas de ahorro de energía (Pérez et al., 2005; Bernal, 2009; Aderemi et al., 2009).

Un análisis de la evaluación del consumo de energía en la industria del sector de alimentos en economías en desarrollo ha sido realizado por Aderemi et al. (2010), donde resalta que aun cuando está garantizada las oportunidades de ahorro al ejecutar simples acciones de mejora energética, las direcciones de estas empresas difícilmente admiten esta realidad. Fritzson y Berntsson (2006) estimaron que en el consumo de energía relacionado con el enfriamiento de alimentos es posible alcanzar un 10% de ahorro en industrias modernas y un 15% en industrias más antiguas. Nunes et al. (2014) caracterizaron los procesos de producción y el consumo de energía de 20 empresas procesadoras de salchichas en Portugal. Sus resultados muestran que el consumo de energía se debe principalmente al uso de la electricidad (82%), de los cuales es posible alcanzar un ahorro de 23.9% por implementar medidas prácticas y simples, incluyendo la modificación del patrón de uso de los sistemas de refrigeración.

Abdullah et al. (2013) evaluó diferentes escenarios para el ahorro de electricidad por aire acondicionado en una institución ubicada en el sudeste asiático, encontrando que debido al cambio de la tarifa local de dicha región es posible lograr un ahorro marginal de hasta 3.13%. En Brasil, Batista et al. (2013) introdujeron prácticas de bajo costo en la gestión de la energía eléctrica y cuantificaron su beneficio económico en una empresa de producción de calderas. Para ello, fueron recolectados datos del perfil de energía e historial de las facturas de electricidad correspondientes a 11 meses. El ahorro mensual estimado, debido a la modificación del patrón de consumo durante las horas del día, fue equivalente al 28.78%, afirmando que de lograrse este ahorro podría invertirse en la modernización de las instalaciones o aplicarse a otros objetivos de planificación estratégica que contribuyan significativamente a la competitividad y crecimiento de la empresa.

Por todas estas razones, las actividades del proyecto ejecutado por el LABEN se han enfocado en realizar más de 50 diagnósticos de eficiencia energética a las MIPYMES del sector de alimentos del Perú, teniendo como referencia la norma ISO 50001 (ISO, 2018) y otras publicaciones académicas, como la de Yuriev y Boiral (2017). En el presente estudio, se detalla la propuesta metodológica utilizada en la simulación de dos escenarios para el uso eficiente de la energía eléctrica de estas MIPYMES: i) cambio de tarifa eléctrica, similar a la medida adoptada por Abdullah et al. (2013); ii) modificación del patrón de consumo o cambio del factor de calificación, algo similar a lo evaluado por Nunes et al. (2014) y Batista et al. (2013). Se analiza el ahorro estimado en el consumo de energía de tres empresas representativas del sector. Adicionalmente, el ahorro estimado de una MIPYME fue validado con aquellos resultados obtenidos durante los meses posteriores a la implementación de los cambios propuestos.

METODOLOGÍA

El procedimiento adoptado para el desarrollo de la metodología se presenta a través de la simulación de dos escenarios progresivos (cambio de tarifa eléctrica y cambio del factor de calificación), luego de definir las condiciones iniciales (perfil de consumo eléctrico y tarifa eléctrica contratada).

Perfil de consumo eléctrico (PCE)

Se analizó toda la información importante recogida en las facturas eléctricas, tales como datos del contrato, consumos de energía o demanda de potencia activa y reactiva, y otros parámetros energéticos. Como resultado de este registro, se obtuvo la variación del consumo eléctrico durante un periodo de análisis del proceso productivo de las MIPYMES.

Tarifa eléctrica

Esta información permitió evaluar la repercusión de los costos asociados al cambio de la tarifa eléctrica contratada, en cumplimiento de lo establecido por el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) en la Norma de Opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicación de las Tarifas a Usuario Final (OSINERGMIN, 2013). En dicha normativa se establecen los rangos para considerar a un usuario en baja tensión (BT, suministro inferior o igual a 1kV) o media tensión (MT, suministro superior a 1kV y menor a 30 kV). Además, se indican las consideraciones para determinar los cargos de facturación de las tarifas eléctricas disponibles a nivel nacional para BT y MT. La relación de cargos correspondientes a cada mes de las tarifas eléctricas, encontradas comúnmente en los suministros a MIPYMES, se presenta en la tabla 1. En la tabla, se entiende por horas de punta (HP), el período comprendido entre las 18:00 y las 23:00 horas de cada día de todos los meses del año, excepto domingos y feriados; mientras que por horas fuera de punta (HFP), se entiende al resto de horas del mes no comprendidas en las horas de punta (HP).

Cambio de tarifaria eléctrica

La tarifaria eléctrica más económica para la MIPYME dependerá de su estructura de consumo. Por esta razón, y con el propósito de contribuir a su evaluación a través de la simulación, fue determinado el costo mensual del consumo eléctrico (CMCE). Esta variable se obtuvo sumando los cargos de la tarifa eléctrica (ver tabla 1) y aplicando las ecuaciones (1), (2) y (3) para las tarifas 1, 2 y 3 respectivamente:

$$CMCE_{BT2/MT2} = FM + EAHP + EAHFP + PAGHP + PADHP + ExPADHFP + ExER \quad (1)$$

$$CMCE_{BT3/MT3} = FM + EAHP + EAHFP + PAG^* + PAD^{**} + ExER \quad (2)$$

$$CMCE_{BT4/MT4} = FM + EA + PAG^* + PAD^{**} + ExER \quad (3)$$

Con excepción del cargo fijo mensual (FM) del pliego tarifario, cada cargo de energía eléctrica de las ecuaciones (1), (2) y (3) se determina multiplicando el costo unitario actual (OSINERGMIN, 2019) por el consumo registrado en el mes de análisis. Además, los cargos PAG^* y PAD^{**} dependerán del valor del Factor de Calificación (FC) del usuario.

Si $FC \geq 0,5$ (HP), se tiene que:

$$PAG^* = PAGHP \quad (4)$$

$$PAD^* = PADHP \quad (5)$$

Caso contrario, si $FC < 0,5$:

$$PAG^* = PAGFHP \quad (6)$$

$$PAD^* = PADFHP \quad (7)$$

Se debe agregar que la selección de la tarifa eléctrica tuvo en cuenta la ubicación geográfica del suministro, debido a que los precios de las tarifas en el Perú están en función al tipo de generación eléctrica con el que se cubra la energía en hora punta.

Tabla 1: Cargos considerados según la opción tarifaria contratada (OSINERGMIN, 2013).

Cargos		Tarifa eléctrica		
		Tarifa 2 (BT2 o MT2)	Tarifa 3 (BT3 o MT3)	Tarifa 4 (BT4 o MT4)
Fijo mensual	FM	✓	✓	✓
Energía activa en punta	EAHP	✓	✓	
Energía activa fuera de punta	EAHFP	✓	✓	
Energía activa	EA			✓
Potencia activa de generación para usuarios presentes en punta	PAGHP	✓	✓	✓
Potencia activa de generación para usuarios fuera de punta	PAGHFP		✓	✓
Potencia activa de distribución en horas punta	PADHP	✓		
Exceso de potencia activa de distribución en horas fuera de punta	ExPADHFP	✓		
Potencia activa de distribución para usuarios presentes en punta	PADHP		✓	✓
Potencia activa de distribución para usuarios fuera de punta	PADFHP		✓	✓
Exceso de energía reactiva	ExER	✓	✓	✓

Cambio del factor de calificación (FC)

El factor de calificación es la razón entre la energía activa consumida en horas punta del mes (EAHPmes) y el producto de la máxima demanda del mes (MDmes, sea ésta en HP o FHP) y el número de horas punta del mes (HPmes), y está dada por la ecuación (8):

$$FC = \frac{EAHPmes}{MDmes \times HPmes} \quad (8)$$

De acuerdo a la ley vigente, si un suministro posee un FC mayor a 0.5 se considera que es un usuario en HP, y si este factor es menor a 0,5 calificará como usuario FHP. Por tanto, a través de la variación de este factor se buscó simular el cambio de la programación en el proceso productivo de la MIPYME, de forma tal que el consumo en HP sea el mínimo para disminuir el impacto de los cargos en la facturación.

Diagrama de flujo del algoritmo propuesto

En base a la normativa legal vigente se desarrolló un diagrama de flujo para el algoritmo propuesto (ver figura 1). El algoritmo fue implementado en lenguaje *Visual Basic for Application*. El diagrama presenta la serie de pasos que describe la metodología empleada en el estudio, para detectar posibles escenarios de eficiencia energética en las MIPYMES del sector de alimentos del Perú. Básicamente, el diagrama contempla cuatro pasos: inicio (definición de condiciones iniciales), proceso de simulación 1 (evaluación de tarifas eléctricas), proceso de simulación 2 (producción en horario fuera de hora punta), fin (reporte de posibles ahorros, en el caso que existiera). Además, se emplean líneas de flujo para mostrar la secuencia de los pasos y las relaciones entre ellos.

Como primer paso, el algoritmo recurre a la lectura de los parámetros del PCE de la MIPYME, tales como: potencia contratada, nivel de tensión, tarifa eléctrica, entre otros. Así mismo, se introduce el registro de los valores de potencia y energía activa, más el factor de calificación (en el caso de que hubiera – tarifas 2 y 3), correspondientes a un periodo determinado de análisis. Cabe resaltar que el algoritmo consideró un periodo mínimo de 12 meses de facturación (periodo muy similar al utilizado por Batista et al., 2013), con la finalidad de obtener escenarios proyectados confiables, dado que los cargos de facturación vigentes dependen en muchos casos del registro de consumo y demanda de energía y potencia de los últimos 6 meses. De esta forma, en el instante en el que esta condición es satisfecha, se procede al siguiente paso del algoritmo.

Fig. 1: Diagrama de flujo del algoritmo desarrollado.

Definida las condiciones iniciales anteriores, se prosigue a simular el cambio de tarifa eléctrica (primer escenario de la simulación). Para empezar, en la tarifaria actual, se calcula el CMCE para cada mes de facturación, utilizando la ecuación (1), (2) o (3). Es costo actual por consumo de energía eléctrica se determina sumando los CMCE del periodo evaluado. Este procedimiento se repite para nuevas opciones tarifarias, obteniéndose la tarifa más rentable; es decir, la que presenta el menor costo para las características de consumo del proceso productivo.

A continuación, se evalúa el cambio del factor de calificación (segundo escenario de la simulación). Si en la mayoría de meses del periodo analizado, el valor del FC (calculado u obtenido de la facturación) es mayor a 0.5 se considera que la MIPYME es un usuario en HP. Razón por la cual se ejecuta una segunda simulación sobre la tarifa más rentable del primer escenario; esto es, se cambia la calificación de la MIPYME a FHP. Finalizada las ejecuciones de los dos escenarios simulados, se procede a encontrar la tarifa que presenta el menor costo para el PCE bajo estudio. Si dicha tarifa es diferente a la actual, entonces, se totaliza los ahorros monetarios que podrían ser alcanzados por la MIPYME, de mantenerse el PCE actual en los próximos meses.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A través de un diagnóstico de eficiencia energética para MIPYMES del sector de alimentos (Cuisano et al., 2019), se logró recolectar información y calcular algunas variables vinculada a los procesos productivos y los

parámetros de operación, para conocer el comportamiento energético de las empresas. Los principales datos del PCE de las 3 MIPYMES analizadas en este estudio se detallan en la tabla 2. Esta información consolidada constituyó las condiciones iniciales para la simulación de los dos escenarios energéticos propuestos. Observando la tabla 2 se constata que la MIPYME 2 cuenta con la menor potencia contratada y la mayor tarifa en baja tensión (10 kW con BT4). Así mismo, se obtiene que los promedios anuales de la demandada fuera y dentro de hora punta (PFHP y PHP) correspondieron a 9 y 7.9 kW. Los datos del PCE también revelan un perfil parejo de la energía activa consumida en HP (770 kWh, en promedio), con FC mensual superior a 0.5 y promedio anual de 0.68; calificándolo como usuario presente en HP.

Tabla 2: Datos del PCE de las tres MIPYMES consideradas en el estudio.

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PCE	MIPYME 1 (Potencia contratada 150 kW; tarifa actual BT3; calificación presente en FHP)											
EAHP (kWh)	2040	1005	390	195	360	420	450	600	330	555	375	345
EAFHP (kWh)	33060	27705	14055	5175	5835	5415	3885	8250	4515	16440	14775	13110
PHP (kW)	116.3	55.5	29.40	10.2	16.5	21.2	30.2	24.6	30.3	55.2	52.2	42.85
PFHP (kW)	158.1	155.7	148.2	140.6	139.7	143.4	145.4	159.2	145.4	154.7	158.9	152.1
FC	0.10	0.05	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02
PCE	MIPYME 2 (Potencia contratada 10 kW; tarifa actual BT4; calificación presente en HP)											
EAHP (kWh)	783	780	711	700	767	751	770	765	756	841	777	839
EAFHP (kWh)	3289	3328	3099	3197	3371	3343	3417	3299	3563	3483	3353	3560
PHP (kW)	8.45	7.93	7.73	7.14	7.79	7.54	7.53	8.01	8.20	8.68	8.04	8.13
PFHP (kW)	9.04	8.00	8.45	8.19	9.30	8.82	8.66	9.06	10.08	9.68	9.45	9.23
FC	0.69	0.75	0.67	0.68	0.63	0.68	0.68	0.68	0.63	0.67	0.69	0.70
PCE	MIPYME 3 (Potencia contratada 150 kW; tarifa actual BT3; calificación variable)											
EAHP (kWh)	2134	1502	2290	2753	3375	4044	4017	3124	3119	2615	1209	2459
EAFHP (kWh)	9009	7049	10392	11752	13172	15819	16067	13557	12444	10974	6348	10342
PHP (kW)	42.04	33.53	41.63	39.02	43.83	48.36	51.53	44.93	40.40	33.94	29.54	35.31
PFHP (kW)	47.27	40.95	47.40	44.93	46.17	54.41	52.62	45.89	44.52	41.22	39.71	36.82
FC	0.36	0.28	0.37	0.51	0.58	0.55	0.64	0.57	0.56	0.49	0.24	0.51

Por otra parte, la tabla 2 muestra que las MIPYMES 1 y 3 cuentan con similar potencia contratada (150 kW), pero con diferencias en la tarifa y calificación. Además, a partir de estos datos, se establece que la demanda de estos usuarios fue mayor en FHP, correspondiéndole valores promedios anuales de 150 kW y 45 kW para la MIPYME 1 y MIPYME 3 respectivamente. En HP, ambos usuarios demandan aproximadamente 40 kW, en promedio anual, pero con perfiles variados en los meses de análisis, debido a sus inherentes características productivas. La MIPYME 1 estuvo presente en FHP (FC promedio anual de 0.03), mientras que la MIPYME 3 estuvo tanto en HP cuanto en FP, ya que su FC mensual varió de 0.24 a 0.64.

En las figuras 2 a 4 y tablas 3 y 4 se muestran los resultados obtenidos a través de la simulación del primer escenario: cambio de tarifa eléctrica, para las 3 MIPYMES evaluadas. Las tablas 5 y 6 corresponden a los resultados de la simulación del segundo escenario: cambio de factor de calificación. En el caso de la MIPYME 1 (figura 2), se observa que el mayor costo del consumo eléctrico corresponde a la tarifa actual BT3, mientras que la tarifa alternativa BT2 muestra una tendencia positiva en cuanto al ahorro posible por el cambio tarifario, proporcionando un promedio de ahorro anual equivalente a 19.6%, con respecto al consumo actual. Más aún, de mantenerse el PCE, el máximo ahorro alcanzable con la tarifa BT2 sería de 31.3% (ver mes 8 en tabla 3). Por otro lado, en la MIPYME 1 no fue necesario simular el segundo escenario: cambio del factor de calificación, dado que este usuario ya se encuentra presente en FHP, tal como se indica en los datos de la tabla 2.

Los resultados de la simulación del primer escenario para la MIPYME 2 se muestran en la figura 3 y tabla 4, donde se aprecia que la tarifa eléctrica actual BT4 no representa la opción más adecuada. El cambio a la tarifa alternativa BT3, por ejemplo, generaría un ahorro en todos los meses del consumo. Sin embargo, este porcentual de ahorro (ver tabla 4) sería inferior al 1% con respecto a su costo actual, lo cual no justificaría un cambio de tarifa. Por lo que se refiere a la simulación del segundo escenario en la MIPYME 2, debido a que esta se encuentra presente en HP en todos los meses analizados (ver tabla 2), los resultados presentados en la tabla 5 indican que

el cambio de calificación del usuario podría permitir un ahorro porcentual, promedio anual, de 9.8% sobre la tarifa actual BT4, a través de la modificación de sus horas de producción de HP a FHP. Este resultado está en sintonía con lo publicado por Pechmann y Schöler (2011).

Fig. 2: Simulación de los costos de consumo eléctrico en diferentes tarifas para la MIPYME 1.

Tabla 3: Porcentual de ahorro simulado por el cambio de tarifa BT3 (actual) a BT2 en la MIPYME 1.

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ahorro (%)	-10.7	8.8	19.3	29.9	26.5	25.3	27.7	31.3	28.8	14.5	15.7	18.5

Fig. 3.: Simulación de los costos de consumo eléctrico en diferentes tarifas para la MIPYME 2.

Tabla 4: Porcentual de ahorro simulado por el cambio de tarifa BT4 (actual) a BT3 en la MIPYME 2.

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ahorro (%)	0.46	0.52	0.51	0.59	0.53	0.55	0.56	0.51	0.63	0.45	0.50	0.49

Tabla 5: Porcentual de ahorro simulado por cambio de calificación de la MIPYME 2, de HP a FHP, en BT4.

Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ahorro (%)	9.8	9.3	9.8	9.6	9.9	9.7	9.5	9.9	10.2	10.1	10.2	9.8

Finalmente, para el caso de la MIPYME 3 (figura 4), los resultados de la simulación del cambio de opción tarifaria indican que su tarifa eléctrica actual MT3 es la adecuada, en comparación a las tarifas alternativas MT2 y MT4. Por consiguiente, la MIPYME 3 debería mantenerse en su tarifa actual. Debido al comportamiento variable del FC de la MIPYME 3 (véase tabla 2), se definió simular el segundo escenario (cambio de calificación) para los 5 meses en que el valor del FC fue mayor a 0.5 (mes 5 a mes 9). Los resultados mostrados en la tabla 6 demuestran que en ese periodo es posible obtener un porcentual de ahorro promedio de 11.2% por dejar de demandar la potencia en hora punta; es decir, por considerar al usuario únicamente como cliente fuera de punta.

Con base en los resultados de las simulaciones realizadas, se elaboraron las recomendaciones en los informes de diagnósticos en eficiencia energética para las MIPYMES del sector de alimentos. Actualmente, estas empresas vienen implementando estas sugerencias de ahorro en el consumo eléctrico, contribuyendo a la obtención de indicadores energéticos que permitan validar los escenarios simulados. Pero al igual que en otros estudios internacionales similares (Aderemi et al., 2009; Aderemi et al., 2010), se constató, de modo general, las dificultades de aceptación de las MIPYMES del sector de alimentos del Perú para acogerse a las recomendaciones del programa de eficiencia energética. Esto fue sesgado, muchas veces, por la falta de voluntad y disponibilidad de los empresarios.

A continuación, se describe, a modo de ejemplo, los resultados obtenidos por el cambio de tarifaria eléctrica en la MIPYME 1 (ver figura 5 y tabla 7) durante los seis meses posteriores a su evaluación (ver figura 2 y tabla 3). En la figura 5, los indicadores correspondientes a la tarifa BT3 representan una proyección si en caso no se hubiese implementado el cambio de tarifa. Las barras de la tarifa BT2 corresponden al indicador que resultó luego de las mejoras realizadas durante los meses 13 a 18. Comparando ambos contextos, se constata que el ahorro máximo se dio durante el mes 15, correspondiendo a una reducción del 22.7% en los costos del consumo eléctrico (ver tabla 6). Durante el mes 16, la MIPYME 1 tuvo una producción atípica, lo cual ocasionó un incremento del indicador eléctrico hasta 27.6 USD/kW. Este efecto fue debido a que las actividades productivas de ese mes se desarrollaron en gran parte del horario punta, donde el costo de la tarifa BT3 es superior a la tarifa BT2. Sin embargo, en los meses 17 y 18, como previsto en los meses equivalentes 5 y 6 de la tabla 3, el indicador eléctrico mostró una caída subsiguiente debido a que la producción se realizó en FHP, donde la tarifa BT3 resulta ser la más económica en comparación a la antigua BT2.

Tabla 6: Porcentual de ahorro simulado por cambio de calificación de la MIPYME 3, de HP a FHP, en MT3.

Mes	5	6	7	8	9
Ahorro (%)	11.8	11.1	10.8	11.1	11.2

Tabla 7: Indicador energético obtenido por el cambio de tarifa BT3 (anterior) a BT2 (actual) en la MIPYME 1

Mes	13	14	15	16	17	18
Ahorro (%)	0.4	15.1	22.7	-11.3	11.4	13.9

En consecuencia, la modificación del cambio de tarifa eléctrica implementada por la MIPYME 1 tuvo un efecto positivo sobre el consumo de energía, si se considera el ahorro logrado de hasta un 22.7%. Autores como Aranda et al. (2003) indican que en el sector de alimentos se puede lograr ahorros de energía de hasta el 14%, a través de la modificación del padrón de consumo y compensando la energía reactiva mediante bancos de condensadores. Nunes et al. (2014) también demuestran que en las empresas procesadoras de salchichas es posible obtener un ahorro de 23.9% por implementar medidas prácticas como la modificación del patrón de uso de los sistemas de refrigeración. Otros estudios también demuestran que en la industria del sector de alimentos la mejora puede ser mucho más significativa cuando se aplican mejoras tecnológicas en los sistemas de refrigeración, bombeo, aire comprimido e iluminación; sin embargo, tales medidas involucran costos económicos que suelen dificultar aún más la implementación de programas de eficiencia energética en MIPYMES.

Fig. 4. Simulación de los costos de consumo eléctrico en diferentes tarifas para la MIPYME 3.

Fig. 5. Mejoras en el indicador energético de la MIPYME 1 por el cambio de tarifa BT3 (anterior) a BT2 (actual).

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos, se pueden extraer las siguientes conclusiones: 1) la identificación de oportunidades de ahorro energético en las MIPYMES del sector de alimentos requiere conocer su perfil de consumo de energía de y su perfil de demanda; 2) el procedimiento adoptado para la simulación y estimación de ahorros en el consumo de energía eléctrica representa una herramienta importante para identificar la tarifa adecuada al perfil del consumo de energía eléctrica de las MIPYMES. El cambio de tarifa realizada por una MIPYME validó los previstos con la simulación; 3) la metodología propuesta permitió comparar los costos debido al consumo eléctrico en hora punta con el consumo en fuera de punta, de forma tal que las MIPYMES puedan reprogramar sus operaciones para disminuir el impacto de los cargos en la facturación durante hora punta.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quisieran agradecer a Innóvate Perú y a la Pontificia Universidad Católica del Perú por el financiamiento del proyecto Extensionismo Tecnológico celebrado bajo el contrato 303-INNOVATEPERU-ET-2017. Agradecemos también al personal técnico y administrativo del LABEN.

REFERENCIAS

- Abdullah, M. O., Yii, L.P., Junaidi, E., Tambi, G. y Mustapha, M. A., *Electricity cost saving comparison due to tariff change and ice thermal storage (ITS) usage based on a hybrid centrifugal - ITS system for buildings: a university district cooling perspective*, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.08.008>, J. Energy and Buildings, 67, 70–78 (2013).
- Aderemi, A., Llori, M., Aderemi, H. y Akinbami, J., *Assessment of electrical energy use efficiency in Nigeria food industry*, ISSN: 1996-0794, African J. of Food Science, 3, 206-216 (2009).
- Aderemi, A.O., Aderemi, H.O. y Akinbami, J.F.K., *Electrical energy use efficiency: case of food companies in a developing economy*, 1ª ed., 1-96, LAP LAMBERT Academic Publishing, Nigeria (2010).
- Aranda, J.A., Scarpellini, S. y Feijóo, M., *Análisis de la eficiencia energética en la industria española y su potencial de ahorro*, ISSN: 0422-2784, J. Economía Industrial, 352, 11-24 (2003).
- Batista, O. E., Flauzino, R. A., Chaim, O.C., y Lima, D.R.M., *A Brazilian experience in energy management: low-cost actions as strategy to reduce electricity costs*, <https://doi.org/10.3182/20130911-3-BR-3021.00025>, IFAC Proceedings, 46(24), 40-47 (2013).
- Bernal, F.N., *Diseño de un sistema de tarificación eléctrica flexible que promueve criterios de eficiencia energética*, Tesis de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile (2009).
- Bröckl, M., Illman, J., Oja, L. y Vehviläinen, L., *Energy efficiency in small and medium sized enterprises*, 1ª ed., 22-28, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Dinamarca (2014).
- Cuisano, J.C., Chirinos, L.R., y otros siete autores, *“Eficiencia energética en el sector de alimentos procesados: aplicación en MIPYMES del Perú”*, Congreso Internacional de Energía – RELIEVE 2019, Cuenca, Ecuador (2019).
- Calderón, R., Arredondo, J.A., Gallegos, R. y Mayagoitia, F., *Reducción del consumo eléctrico y co2 mediante sistemas ahorradores y de aislamiento térmico aplicados a la vivienda de zonas áridas de México*, <https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000200008>, Información Tecnológica, 22 (2), 69-78 (2011).
- FONAM: Fondo Nacional del Ambiente del Perú, *“Guía N° Modelo N° 11: Elaboración de proyectos de guías de orientación del uso eficiente de la energía y de diagnóstico energético en la industria de alimentos”*, Perú (2008).
- Fritzson, A. y Berntsson, T., *Energy efficiency in the slaughter and meat processing industry - opportunities for improvements in future energy markets*, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.08.005>, J. of Food Engineering, 77, 792-802 (2006).
- Giacone, E., Mancò S. y Gabriele, P., *Energy Management Techniques for Small- and Medium-Sized Companies (ESDA2006-95808)*, <https://doi.org/10.1115/1.2835614>, ASME J. Energy Resources Technology, 130 (1), p. 012002 (2008).
- ISO 50001: International Organization for Standardization, *Energy management systems, requirements with guidance for use* (2018).
- Madrigal, J.A., Cabello, J.J., Sagastume, A. y Balbis, M., *Evaluación de la climatización en locales comerciales, integrando técnicas de termografía, simulación y modelado por elementos finitos*, <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000400179>, Información Tecnológica, 29(4), 179-188 (2018).
- Nunes, J., Silva, P. D., Andrade, L. P., y Gaspar, P. D., *Characterization of the specific energy consumption of electricity in the Portuguese sausage industry*, <https://doi.org/10.2495/ESUS140681>, WIT Transactions on Ecology and The Environment, 186, 763-774 (2014).
- OSINERGMIN: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería del Perú, *Decreto supremo N° 054-2001-PCM*, Perú (2013).
- OSINERGMIN: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería del Perú, *Pliegos tarifarios aplicables al cliente final*, Perú (2019).
- Patterson, M., *What is energy efficiency?: concepts, indicators and methodological issues*, [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(96\)00017-1](https://doi.org/10.1016/0301-4215(96)00017-1), J. Energy Policy, 24(5), 377-390 (1996).
- Pechmann, A. y Schöler, I., *Optimizing energy costs by intelligent production scheduling*, Globalized solutions for sustainability in manufacturing, 1ª ed., 293-298, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, Alemania (2011).
- Pérez, J. I., Sánchez, L.J. y Pardo, M., *La gestión de la demanda de electricidad*, 1ª ed., 66-71, Fundación Alternativas, Madrid, España (2005).
- PRODUCE: Ministerio de la Producción del Perú, *Las MIPYME en cifras*, Perú (2017).
- Trianni, A., Cagno, E. y Farné, S., *Barriers, drivers and decision-making process for industrial energy efficiency: a broad study among manufacturing small and medium-sized enterprises*, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.02.078>, Applied Energy, 162, 1537–1551 (2016).
- Yuriev, A. y Boiral, O., *Implementing the ISO 50001 system: a critical review*, 145-147, Measuring operations performance, Springer, Cham (2017).