



Dyna

ISSN: 0012-7353

dyna@unalmed.edu.co

Universidad Nacional de Colombia

Colombia

Carrillo-Rojas, Galo; Andrade-Rodas, Juan; Barragán-Escandón, Antonio; Astudillo-Alemán, Ana
Impacto de programas de eficiencia energética eléctrica, estudio de caso: Empresas alimentarias en
Cuenca, Ecuador

Dyna, vol. 81, núm. 184, abril, 2014, pp. 41-48

Universidad Nacional de Colombia

Medellín, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49630405006>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Impact of electrical energy efficiency programs, case study: Food processing companies in Cuenca, Ecuador

Impacto de programas de eficiencia energética eléctrica, estudio de caso: Empresas alimentarias en Cuenca, Ecuador

Galo Carrillo-Rojas ^a, Juan Andrade-Rodas ^b, Antonio Barragán-Escandón ^c & Ana Astudillo-Alemán ^d

^a M Sc., Dirección de Investigación - Universidad de Cuenca, Ecuador, galo.carrillo@ucuenca.edu.ec

^b M Sc., Facultad de Ingeniería - Universidad de Cuenca, Ecuador, juan.andrade@ucuenca.edu.ec

^c M Sc., Dirección de Investigación - Universidad de Cuenca, Ecuador, tono_barragan@yahoo.es

^d M Sc., Centro de Estudios Ambientales - Universidad de Cuenca, Ecuador, anilua33@hotmail.com

Received: November 12th, 2013. . Received in revised form: January 22th, 2014,. Accepted: February 5th, de 2014

Abstract

This exploratory study illustrates the effects of the application of electrical energy efficiency programs in 7 food processing companies in Cuenca, Ecuador. The research encompassed phases of diagnosis, intervention and evaluation. A comparative analysis between the companies was conducted: energy consumption versus product volume, energy-quality analysis, relation between compliance/specific energy consumption, and the impact on CO₂ emissions. Results revealed that the acceptance to the recommendations of savings is biased by the level of investments and the willing/proneness of the administration. The study showed that interventions had a partial effect on the reduction of the specific energy consumption in 4 companies. In addition, it has obtained a positive effect on the power factor correction in one company and an improvement on the load balance in 5. The research showed the existence of a significant reduction of emissions post-intervention, highlighting the effectiveness of the programs.

Keywords: Energy Efficiency, food processing companies, CO₂ emissions.

Resumen

El estudio exploratorio muestra los resultados de aplicación de programas de eficiencia energética eléctrica en 7 empresas alimentarias en Cuenca, Ecuador. La investigación contempló fases de diagnóstico, intervención y evaluación. Se condujo un análisis comparativo entre las empresas: consumo de energía versus producción, análisis de calidad de energía, relación cumplimiento/consumo específico de energía, e impacto sobre emisiones CO₂. Los resultados revelaron que la aceptación hacia las recomendaciones de ahorro, se basa en el nivel de inversión y la voluntad/disponibilidad administrativa. El estudio mostró que las intervenciones tuvieron un efecto parcial sobre la reducción del consumo específico de energía en 4 empresas. Adicionalmente se obtuvo un efecto positivo en la corrección de factor de potencia en una empresa y en la mejora del balance de corriente en 5. La investigación mostró la existencia de una reducción significativa de emisiones post-intervención, resaltando la efectividad de los programas.

Palabras Clave: Eficiencia energética, industria de alimentos, emisiones CO₂.

1. Introducción

Velandia-Durán [1] expone que un sistema de generación termoeléctrico con gas emite entre 0,4 - 0,5 kg de CO₂, mientras que un sistema con carbón emite 1 kg para generar un kWh, y concluye que la energía eléctrica ha sido uno de los avances tecnológicos que ha permitido al hombre un progreso económico, industrial y demográfico durante el último siglo; sin embargo existe preocupación por las implicaciones medioambientales asociadas a la generación de energía, de ahí es necesario razonar que, cuando se consume energía eléctrica innecesariamente, en algún lugar ha aumentado la contaminación atmosférica por emisiones de combustión. La

eficiencia energética eléctrica se plantea como una metodología para el análisis y tratamiento de los problemas del creciente consumo. Por otro lado Linares [2] afirma que el ahorro energético se apunta desde numerosas instituciones, como la alternativa con mayor potencial y rentabilidad para reducir las emisiones de CO₂, y así lo sugiere el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) en su cuarto informe, cuando estima que se podría ahorrar entre un 7 y 14% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) globales para 2030, con medidas de costo cero, donde la mayoría son prácticas de ahorro. La Agencia Internacional de la Energía (IEA) por su parte, considera que el ahorro y la eficiencia, deben ser capaces de aportar un 43% de la reducción de emisiones prevista en su

escenario BLUE (disminución de GEI en un 50% hasta el año 2050). No obstante, desde el punto de vista macroeconómico y productivo, la intensidad energética a nivel mundial ha tenido un decrecimiento continuo (según último informe del World Energy Council 2004), donde se evidencia que el consumo de energía (térmica y eléctrica) sostuvo un crecimiento más lento que la economía, (cuantificado por reducción del consumo de energía por unidad de producto interno bruto PIB) con una tasa de 1,5% anual, entre 1990 y 2002. Durante el mismo período, la intensidad energética de Europa decreció con una tasa de 0,9% anual, mientras en Latinoamérica y el Caribe decreció con una tasa de 0,5% anual, siendo China el principal responsable con un 6% anual (pasando de una baja productividad energética en 1980 a alcanzar el promedio mundial en 2002). Los estudios obtenidos en Europa han llevado a proponer desde el 2006 una meta del 20% de reducción del consumo hasta el año 2020, basada en la decisión política, que se refleja en la institucionalidad. Esto ha motivado que en países latinoamericanos, los organismos y políticas gubernamentales propongan acciones que incentiven la eficiencia energética en todos los niveles, incluidos la producción industrial. En la actualidad Latinoamérica y el Caribe mantienen como región, una intensidad energética por debajo del promedio mundial; sin embargo han mostrado una pequeña mejora en las dos últimas décadas, con agendas gubernamentales que se enfocan al cambio en la matriz de generación de energía, principalmente hacia el tipo hidroeléctrico [3]. Algunos países de América Latina, no han trascendido con iniciativas de eficiencia, o bien se encuentran en un desarrollo que no muestra aún resultados significativos; particularmente en Ecuador, la intensidad energética en el sector industrial, mantiene una evolución creciente, que se debe entre otros aspectos, al uso de tecnologías energéticas poco eficientes; por ello desde el año 2012, el Gobierno Ecuatoriano busca mejorar esta situación con iniciativas como la construcción de proyectos hidroeléctricos, y con la creación del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) que fomenta la investigación científica en este ámbito en el país [4, 5]. De entre las actividades productivas esenciales, resaltan las que aporta el rubro alimentario por su notable heterogeneidad; esta actividad, tanto a nivel de pequeña como gran empresa, ha enfrentado aspectos que en el mundo globalizado representan un desafío de supervivencia en el mercado, entre ellos se puede anotar: precios internacionales competitivos, importaciones de consumibles extranjeros, acoplamiento a normativas interiores y exteriores de calidad, seguridad y medio ambiente, y normativas y estándares para consumo de energía. Todo este conjunto de aspectos a corto plazo, pueden frenar el crecimiento económico, pues los costos al ajustarse a cada actividad, pueden ser mayores a los esperados; por ende, muchos de los esfuerzos se canalizan solo al cumplimiento normativo ambiental. Con este panorama se percibe que en un alto número de empresas, el uso de la energía se ve como una caja negra, y su uso eficiente rara vez se considera como parte de los ciclos de mejora. En países latinoamericanos y del mundo, se ha logrado éxito en la implementación de programas de eficiencia energética, en diversos rubros de producción, a

través de la innovación de los procesos por tecnologías de gestión aplicadas y con aplicación de normativas tales como ISO 50001, así como la generación de escenarios de consumo por medio de indicadores de eficiencia [6, 7].

El sector industrial-empresarial ecuatoriano, utiliza la electricidad para producir fuerza motriz y calor, esto es 14% del total del consumo por tipo de energía. La tasa de crecimiento estimada hasta el 2020 se prevé de 5,1% (según escenario tendencial). El consumo eléctrico industrial, en la mayoría de empresas distribuidoras incluyendo a la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur (EERCS) representa el 26%; y el 93% de ese consumo se encuentra focalizado en el cantón Cuenca, prov. del Azuay (Población 505.000 hab; 3.476 hab/km²). El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) reportó en 2007 el valor agregado de la industria manufacturera (sin incluir la refinación de petróleo) como un 13,99% del PIB, siendo la industria de alimentos y bebidas la de mayor aporte (7,83% del PIB); además esta tiene especial importancia pues contribuye con el 55,9% de su valor agregado (\$3.090 millones de dólares americanos). Hacia 2007, la industria de alimentos experimentó una tasa de crecimiento promedio de 7,33%, superior a la tasa de variación promedio general (4,79%) y al crecimiento promedio de la industria manufacturera (5,21%). Estimado entre 2009 y 2011, el 47,31% de los establecimientos del sector de alimentos y bebidas fueron empresas grandes que concentraron el 93,9% de la producción y superan ampliamente a las pequeñas y medianas empresas (PyMEs) [8, 9]; estas últimas han llamado el interés para el estudio, por funcionar generalmente con métodos poco eficientes de producción y acceso limitado a tecnologías de vanguardia. Como punto de partida para la investigación, se estableció una línea base para determinar las condiciones usuales de trabajo y consumo. Considerando normativas locales vigentes de distribución [10] junto a otras internacionales como EN 50160 [11], se ha abordado al interior de 7 PyMEs, un análisis de calidad de energía (mediciones en baja tensión); se ha investigado el cumplimiento de límites de parámetros como tensión, flicker, distorsión armónica, factor de potencia, frecuencia, desbalance de corriente, corriente y tensión por el neutro, y variación de tensión de corta duración. El incumplimiento de límites de regulación, se ha revelado por diversas causas, y por ende su tratamiento ha tenido varios matices, relacionados con la generación de recomendaciones aplicadas en el periodo de intervención. Se han evaluado finalmente cumplimientos, inversiones y consumos específicos, así como tasas de emisión de CO₂ post-intervención.

2 Materiales y métodos

Se empleó un diseño exploratorio y descriptivo en el estudio. La información base se construyó con un análisis previo de los datos 2011 de la Cámara de la Pequeña Industria del Azuay (CAPIA), donde se registraron 27 empresas de rubro alimenticio (17,3% del cantón), así como de otras fuentes (Cámara de Industrias y Registro Municipal), que sumaron 32 PyMEs en total. Luego de una estrategia personal de acercamiento a cada una, se seleccionaron 8 empresas, que se comprometieron por convenio firmado, para acogerse a los PEEE. Estas empresas se acogieron voluntariamente al estudio,

mientras que el resto no mostraron real interés, ni cooperación para participar, debido a políticas internas. Una de las empresas dedicada a Panificación (PN3) abandonó el programa después de 6 meses de iniciado, por lo fue descartada del análisis. Finalmente el estudio se enfocó a un segmento de 7 empresas, distribuido de la siguiente manera: 3 pastificios (fabricación de fideo y pasta pre-cocida), 2 panificadoras (fabricación de pan y

pastelería a nivel industrial) y 2 fábricas de embutidos cárnicos. Por convenio de confidencialidad, se han reservado los nombres de las empresas investigadas, y se ha asignado la siguiente codificación: Pastificios: PS1, PS2 y PS3, Panificadoras: PN1 y PN2, y Fabricas de Embutidos Cárnicos: CR1 y CR2. Las características se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.
Características de las empresas de alimentos investigadas

Código PyMEs	Actividad Productiva	Horario Trabajo (Horas/Días)	No. de Trabajadores (Administrativos /Trabajadores)	Carga Base Estimada (Kwh/mes)	Distrib. Carga Base (%Maquinas /% Iluminación)
PS1	Pastificio	8 / 5	8 / 34	81668	94/6
PS2	Pastificio	8 / 5	21 / 34	155799	99/1
PS3	Pastificio	8 / 5	8 / 10	14764	99/1
PN1	Panificadora	8 / 5	7 / 18	18640	89/11
PN2	Panificadora	8 / 5	3 / 9	1440	91/9
CR1	Embutidos	24 / 6	20 / 68	160235	99/1
CR2	Embutidos	8 / 5	19 / 16	14131	96/4

2.1 Estructura de los PEEE

Cada PEEE se aplicó en tres fases secuenciales:

F1) Diagnóstico de la situación productiva, consumo eléctrico, instalaciones/carga base y parámetros de calidad eléctrica de la empresa; F2) Intervención/aplicación de medidas correctivas y recomendaciones pro-ahorro de energía basadas en los hallazgos del diagnóstico (con una duración de entre 3 a 6 meses); y F3) Evaluación de resultados post-intervención con análisis y comparativa estadística (con una duración de entre 6 a 9 meses). Tanto en F1 como en F3, se realizaron las siguientes actividades:

- 1) Recopilación y actualización de información general por medio de lista de chequeo y entrevista.
- 2) Recopilación de histórico de planillación y facturación mensual (Datos EERCS) [12].
- 3) Recopilación de información de producción y carga base estimada de maquinaria, equipos, iluminación etc.

4) Monitoreo de parámetros de calidad energética que se realizó con un equipo analizador trifásico de calidad de energía FLUKE 435 – IEC 61000-4-30 Class A Compliant (Precisión 0,1%), con sondas de tensión (TLS430) y corriente (i430flex-TF), emplazado en los tableros de distribución de cada PyME y conectado de acuerdo a especificaciones del fabricante y a las del Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) estándares: 1100-2005, 1159-1995, 739-1995, en cableado trifásico (L1-L2-L3), neutro y tierra. Los monitoreos se realizaron por un periodo de 7 días, con intervalo de muestreo de 10 minutos según estándar EN 50160 y medición de las siguientes variables: Nivel de voltaje (% ΔV_k), Flicker (PST), Flicker (PLT), Distorsión armónica (THD), Factor de Potencia (FP), Cos-phi (Cos ϕ), Frecuencia (f) y Desbalance de corriente (%). Para el análisis de la información se utilizó software Fluke PowerLog ver.2.9.2, Fluke View ver.3.34.1, IBM PASW Statistics ver.18, Microsoft Excel 2010 y Grapher ver.9.4.819.

Tabla 2.
Descripción de variables sujetas a modificación, criterios de conformidad y formas de evaluación

Variable Sujeta a Modificación	Criterios de Conformidad	Forma de Evaluación	PS1	PS2	PS3	PN1	PN2	CR1	CR2
Niveles de tensión	Grado de desbalance	R y P ¹	X		X				
Niveles de corriente	Grado de desbalance	R y P ¹	X	X	X	X	X		X
Flickers	Presencia o Ausencia	R y P ¹			X ²				
Armónicos	Presencia o Ausencia	R y P ¹							
Factor de potencia	Presencia o Ausencia	R y P ¹	X	X	X	X	X	X	X
Frecuencia	Presencia o Ausencia	R y P ¹							
Demanda Máxima	Sobrecarga	P ¹		X			X		
Tensión/corriente en fase neutra	Grado de pérdida	P ¹	X	X	X	X	X	X	X
Energía Total	Grado de pérdida	P ¹	X	X	X	X	X	X	X
Huecos y picos	Presencia o Ausencia	P ¹			X				
Estado Instalaciones	Reemplazo de maquinaria	P ¹	X	X	X	X	X	X	X

R= Regulatoria, P= Ponderada. ¹ La evaluación ponderada se realizó considerando la dimensión del hallazgo/falla frente a: carga base total instalada, pérdidas de energía por calentamiento de conductores y equipos, y efecto en la reducción de vida útil del equipo/sistema.

² La presencia de flickers en PS3 es de tipo PLT, es decir no está regularizada (ver Tabla 1) pero ha sido considerada para modificación.

Tabla 3.
Recomendaciones de los PEEE en la fase de intervención/aplicación

Recomendaciones basadas en hallazgos de los PEEE	PS1	PS2	PS3	PN1	PN2	CR1	CR2
	Encendido progresivo de equipos grandes consumidores; es decir, evitando la simultaneidad en el arranque general	X	X	X	X	X	X
Instalación/revisión de los bancos de condensadores y desconexión en horas no productivas. Redistribución de cargas	X	X	X	X	X	X	X
Reemplazo de cableado inadecuado (calibres, empalmes, aislamientos)		X	X		X	X	
Reemplazo de luminarias incandescentes por ahorradoras y fluorescentes de balastro electrónico	X	X	X	X	X	X	
Sustitución parcial de motores trifásicos convencionales por motores eficientes						X	X
Mejora de conexiones a tierra		X	X	X			X

En F1 el diagnóstico permitió generar un listado de variables eléctricas de interés para la intervención (ver Tabla 2), las que se analizaron sistemáticamente para propender una mayor aceptación y factibilidad de aplicación durante F2. En la Tabla 2 los “Criterios de Conformidad” se consideraron de acuerdo a metodología validada de auditoría de energía eléctrica [13] y la “Forma de Evaluación” se abordó de acuerdo a aspectos regulatorios [10, 11] y ponderados [14, 15].

La línea base para la fase de intervención (F2) se fundamentó en los hallazgos de la fase de diagnóstico (F1), y su pertinencia fue relativa a la observación de: Costumbres inadecuadas de encendido de maquinaria, Desbalances de cargas trifásicas, Poco o nulo mantenimiento de bancos de condensadores, Zonas con cableado y empalmado deficientes, Luminaria poco eficiente, Conexiones a tierra inadecuadas y Motores trifásicos ineficientes; considerado esto se generó un

listado de recomendaciones potenciales (ver Tabla 3), mismas que las empresas aplicaron en un periodo de tiempo variable (3 a 6 meses) según la disponibilidad de recursos y grado de compromiso. Concluido lo anterior, se analizó un escenario de “modificaciones esperadas” (basadas en los hallazgos de las tablas 2 y 3), versus “modificaciones observadas”, considerando el grado de cumplimiento, inversiones en mejoras y consumos específicos.

Los resultados pre y post-intervención se analizaron como el impacto en la generación de GEI al ambiente (Ton CO₂) de acuerdo al Factor de Emisión (FE) del Sistema Nacional Interconectado Año 2012 [16]. Los resultados del estudio para cada PyME dimensionaron el impacto de los PEEE de modo individual, y su efecto final fue dependiente de decisiones administrativas, ejecutivas, participativas y económicas internas.

Tabla 4.
Diagnóstico inicial de calidad de energía en las PyMEs

Parámetro	Indicador	Límites	PS1	PS2	PS3	PN1	PN2	CR1	CR2
Nivel de voltaje	$\Delta V_k(\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} \cdot 100$	$\pm 10\% V_N$	NC*	C	NC*	C	C	C	C
Flicker	<i>PST</i>	<i>PST > 1 en t > 5%</i>	C	C	C	C	C	C	C
Flicker	<i>PLT</i>	<i>N/A*</i>	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>
Distorsión Armónica	$THD = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{40} V_i^2}}{V_n} \cdot 100$	$8\% \cdot V_N$	C	C	C	C	C	C	C
Factor de Potencia	<i>FP</i>	<i>FP < 0.92 en t > 5%</i>	C	C	C	C	NC	C	C
Cos (phi)	<i>Cos(φ)</i>	<i>Cos(φ) < 0.92 en t > 5%</i>	C	C	C	C	NC	C	C
Frecuencia	<i>f</i>	<i>59.8Hz < f < 60.2Hz</i>	C	C	C	C	C	C	C
Desbalance de corriente	[%]	<20%	C	C	C	C	NC	C	C

C = Cumple; NC = No Cumple.

* No se consideró para la intervención de los PEEE por estar fuera del alcance de mejoras sobre las PyMEs.

3 Resultados

3.1 Resultados Pre-intervención

En la Tabla 4 se muestran los resultados del diagnóstico (F1); los que fueron concluyentes en el sentido de que la EERCS satisface los índices de calidad regulados, excepto los de nivel de voltaje para PS1 y PS3. Sin embargo aquellos parámetros que son intrínsecos de cada industria en el sentido de la forma de consumo e instalaciones, presentaron un comportamiento que ha sido abordado en el estudio. Los parámetros de Factor de potencia, $\cos \phi$ y Desbalance de corriente fueron de mejora potencial en cada PyME al aplicar los PEEE, mientras que los demás sirvieron prioritariamente para verificar la calidad del servicio, y no se consideraron para las fases de intervención y evaluación.

3.2 Resultados Post-intervención

3.2.1 Cumplimiento e Inversiones

El análisis de cumplimiento e inversiones de las PyMEs posterior a F2, consideró las variables sujetas a modificación (mostradas en la Tabla 2) en forma de resultados esperados y observados, así como las inversiones que se realizaron para alcanzar estas modificaciones (ver Figura 1). Se puede apreciar que ninguna de las empresas alcanzó un cumplimiento total de modificaciones esperadas, en forma de ratio Esperado/Observado esto fue: PS1=5,5/6, PS2=4,5/6, PS3=3,5/8, PN1=2/5, PN2=5,5/6, CR1=1/4 y CR2=3,5/5. En relación a las inversiones esperadas versus las observadas post-intervención, se destaca que las empresas del rubro “Pastificio” tuvieron un grado de aceptación mayor, comparable solo con una empresa cárnica (CR2).

3.2.2 Consumos Específicos versus Cumplimiento

Se analizó estadísticamente el consumo específico de energía (kWh/kg) pre y post-intervención (Figura 2), para posteriormente compararlo con un porcentaje general de cumplimiento alcanzado (análisis 3.2.1.). El gráfico boxplot muestra reducciones del consumo específico medio en PS1 (0,17%), PS3 (15,11%), PN2 (4,76%) y CR1 (14,41%), así como reducciones en los máximos y cuartiles superiores; mientras que se observó un aumento en PS2, PN1 y CR2. La Figura 3 muestra el grado de cumplimiento de recomendaciones frente al potencial de ahorro observado. Se determinó que para PS1 y PN2 a pesar de haber cumplido el plan en casi un 92%, su reducción del consumo (kWh/kg) fue poco significativo, y se observó que en empresas como PS3 y CR1 que sin haber cumplido significativamente todas las recomendaciones, mostraron reducciones mayores al 14% en consumo específico. Para el caso de las restantes PyMEs se observó un incremento variado en el consumo.

Las variables de calidad de energía que fueron analizadas posterior a la fase de intervención, fueron el

Factor de Potencia (FP) y el Desbalance de Corriente, por depender intrínsecamente de las modificaciones esperadas.

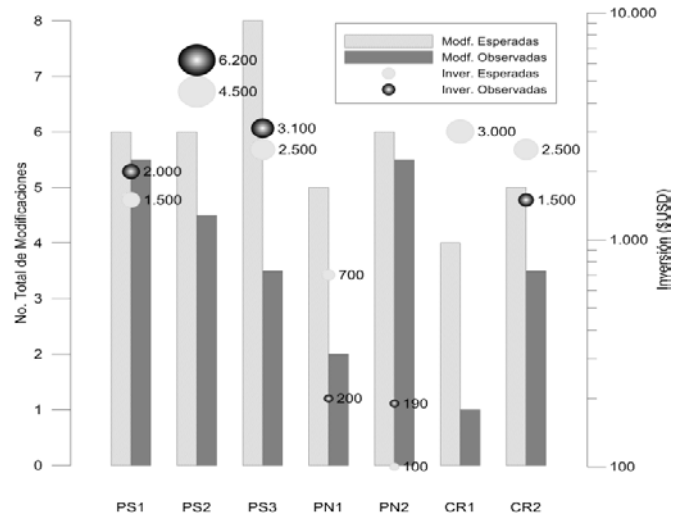


Figura 1. Relación entre modificaciones esperadas versus observadas post-intervención, y cuantificación de inversiones

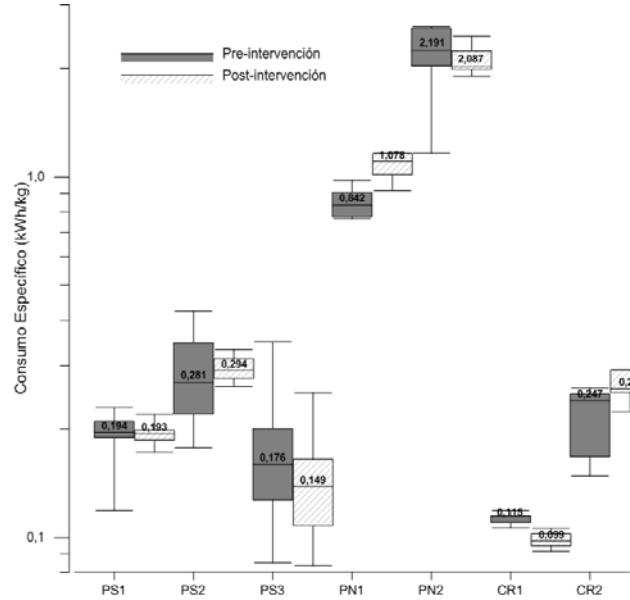


Figura 2. Consumos específicos de las PyMEs pre y post-intervención

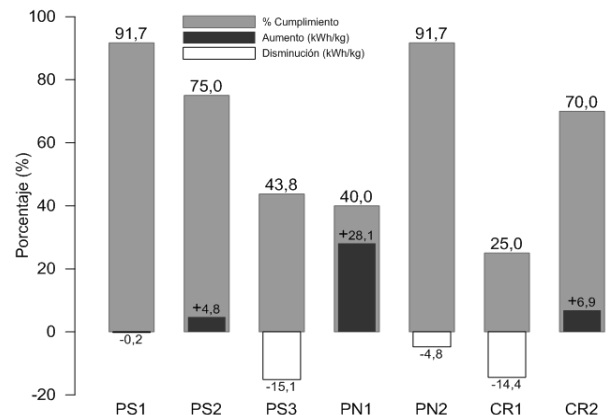


Figura 3. Relación % cumplimiento versus % reducción de consumo específico

3.2.3 Factor de Potencia

Se escogió el FP en lugar del $\cos \phi$, ya que considera los efectos de distorsión armónica, es decir, al usar el FP implícitamente se incluye el efecto de los armónicos generados. Como caso representativo se muestra la situación de la empresa PN2, (92% de cumplimiento de recomendaciones, las cuales incluyeron la revisión/mejora de su banco de condensadores); la Figura 4 muestra los resultados del análisis de FP provenientes del monitoreo de calidad de energía. En el periodo post-intervención se observó un incremento significativo del FP en las fases L2 y L3 (medios, cuartiles y máximos), mientras que para L1 el valor medio decreció, aunque mostrando un incremento del máximo y cuartil superior. Esta mejora repercutió en la eliminación de penalizaciones por bajo FP en la facturación de PN2. El resto de PyMEs no manifestaron cambios en el FP post-intervención.

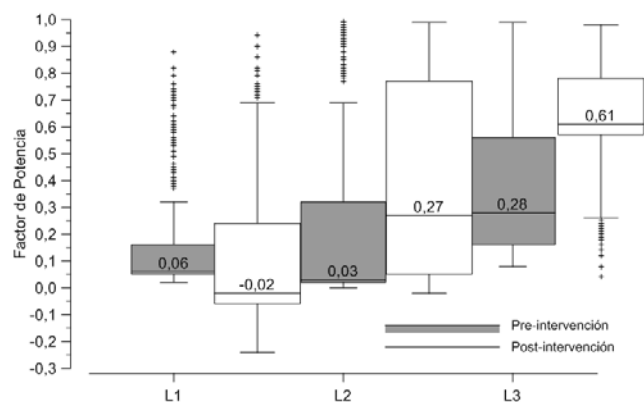


Figura 4. Empresa PN2 - Comportamiento del monitoreo de FP en las tres fases, antes y después de intervención

3.2.4 Desbalance de Corriente

La Tabla 5 muestra el comportamiento de desbalance de corriente para cada empresa, antes y después de la intervención. Se consideró un análisis de correlación lineal entre fases, y se observó una notable mejora en el coeficiente de correlación para PN2 y mejoras leves para PS2, PS3, PN1 y CR1 después de la intervención. Sin

embargo, para el caso de CR2 se observó un deterioro de la correlación en L1-L2 y L1-L3, que fue debido a modificaciones no contempladas por los PEEE en esta empresa, y que no pudieron ser corregidas oportunamente, repercutiendo en los resultados de esta empresa. Finalmente en PS1 se observó una leve disminución. La aplicación de medidas específicas, tales como la instalación/revisión de bancos de condensadores, desconexión en horas no productivas, y la redistribución de cargas dio como resultado el mejoramiento del balance de corrientes en 5 de las 7 PyMEs.

Tabla 5. Factores de correlación de Corrientes (entre fases) pres y post intervención

	Valor R pre-intervención			Valor R post-intervención		
	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1-L2	L1-L3	L2-L3
PS1	0,999	1,000	0,999	0,995	0,990	0,986
PS2	0,986	0,984	0,993	0,991	0,992	0,993
PS3	0,994	0,979	0,987	0,997	0,995	0,994
PN1	0,962	0,968	0,959	0,976	0,976	0,969
PN2	0,774	0,245	0,117	0,919	0,845	0,897
CR1	0,987	0,993	0,998	0,991	0,996	0,998
CR2	0,932	0,902	0,880	0,523	0,441	0,970

* Los valores resaltados muestran una mejora de correlación

3.2.5 Impacto de los PEEE sobre el escenario de emisiones

La cuantificación de emisiones CO₂ a la atmósfera por consumo de energía (origen termo e hidroeléctrico), depende del Factor de Emisión (FE) del Ecuador, (0,460 tCO₂/MWh para 2012). Se ha obtenido las tasas de emisión de CO₂ por kg de producto de cada PyME, antes y después de la intervención, considerando los mismos meses de producción del año previo, de modo que exista concordancia en la variabilidad productiva anual (ver Tabla 6). Al observar los valores de reducción de emisiones (kgCO₂/kg) y sus porcentajes, y compararlos con el grado de cumplimiento, se revela el mismo comportamiento que en el estudio del apartado “3.2.2. Consumos Específicos versus Cumplimiento”.

Tabla 6. Tasa de emisiones y potencial de reducción

	Tasa emisión Pre-interv. (kgCO ₂ /kg)	Tasa emisión Post-interv. (kgCO ₂ /kg)	Diferencia (kgCO ₂ /kg)	Porcentaje Reducción	Resultado	% Cumplimiento Recomendaciones
PS1	0,0890	0,0888	-0,0002	-0,17%	Reduce	91,7
PS2	0,1290	0,1351	0,0061	+4,75%	Aumenta	75,0
PS3	0,0809	0,0687	-0,0122	-15,11%	Reduce	43,8
PN1	0,3870	0,4958	0,1088	+28,10%	Aumenta	40,0
PN2	1,0071	0,9592	-0,0479	-4,76%	Reduce	91,7
CR1	0,0530	0,0454	-0,0076	-14,41%	Reduce	25,0
CR2	0,1134	0,1213	0,0079	+6,90%	Aumenta	70,0

Finalmente al analizar lo anterior en función del volumen total de producción de cada PyME post-

intervención, se cuantificó la cantidad de emisiones de CO₂ (ton) generadas por consumo eléctrico (ver Tabla 7). Los

resultados muestran que la reducción en PS1, PS3, PN2 y CR1 asciende a 36,9 toneladas de CO₂, mientras que las emitidas en las demás ascienden a un total de 15,4 tCO₂, lo cual supone un efecto positivo de los PEEE en el escenario de emisiones de GEI.

Tabla 7.
Emisiones Post-intervención

	Producción post-interv. (ton)	Emisión CO ₂ post-interv. (ton)
PS1	2318,9	-0,3
PS2	1101,0	+6,7
PS3	603,2	-7,4
PN1	48,6	+5,3
PN2	5,0	-0,2
CR1	3799,5	-29,0
CR2	436,8	+3,4

4. Discusion

Del estudio se desprende que la aceptación de las PyMEs para acogerse a recomendaciones de los PEEE, está sesgada a costos económicos involucrados y a la voluntad/disponibilidad de los mandos empresariales; en este sentido se halló que el rubro de “Pastificios” tuvo una mejor relación cumplimiento/inversiones que los otros dos rubros. Se presume que los PEEE tuvieron un efecto de reducción del consumo específico de energía en 4 de 7 empresas, sin embargo al comparar esto con el grado de cumplimiento de recomendaciones, se observó que aquellas empresas con mayor cumplimiento, no necesariamente mostraron una reducción significativa de consumo específico (p.ej.: PS1 y PN2), mientras que algunas PyMEs cuyo cumplimiento fue inferior, mostraron una reducción parcial del consumo, lo que a criterio de los autores se considera como evidencia de que el cumplimiento completo de un plan de mejoras, no necesariamente es garantía de reducción tangible del consumo específico, ya que esto dependería de factores relacionados con la naturaleza de las medidas que se hayan tomado, es decir, de aquellas recomendaciones que afectan directamente a la reducción de consumo (tales como reemplazo de equipos/instalaciones ineficientes, corrección de FP, encendido progresivo de grandes consumidores, y especialmente los métodos / costumbres de producción). La intervención tuvo un efecto positivo en la corrección de factor de potencia en PN2, así como en la mejora del balance de corriente en 5 de 7 PyMEs; autores como Aranda Usón et al., indican que en el sector alimentario se puede lograr ahorros de energía de hasta un 14% mediante optimización de la factura y compensando la energía reactiva con bancos de condensadores [7]. Otros estudios demuestran que en la industria de cárnicos la mejora es significativa cuando se han aplicado mejoras tecnológicas en sistemas de aire comprimido, refrigeración e iluminación [17]. Adicionalmente se pudo identificar que casi todas las PyMEs tienen un sobre-dimensionamiento en infraestructura, la cual está diseñada para acoger la producción en periodos de sobre-demanda estacional (ej.: época de navidad) y esto puede repercutir en problemas

tales como desbalance de corriente. Al realizar los análisis pre y post-intervención se observó un comportamiento estacional en la producción, lo cual no necesariamente se refleja en las mediciones de calidad de energía; por ello se determinó que es necesario que las PyMEs apliquen una cultura de diseño de emprendimiento, para que desde el inicio de sus actividades mantengan un crecimiento sostenido de carga instalada; esto tiene impacto directo en la eficiencia energética, ya que el trabajo de máquinas y equipos se encontraría más cerca de su punto óptimo. También se ha podido discernir que la energía proporcionada por la empresa distribuidora satisface lo indicado en las normas, y que la mayoría de problemas se remiten al interior de cada PyME. Estos problemas, en la generalidad de los casos, tienen soluciones técnicamente probadas que demandan inversiones relativamente bajas, como se observó en las acciones de la intervención (Tabla 3 y Figura 1); sin embargo, la falta de visión de la administración interna hace que este tipo de esfuerzos e inversiones sean pospuestos hasta que se justifique una intervención urgente. La evaluación reveló un grado de desbalance fasorial de corriente en casi todas las empresas, lo cual es llamativo, si se considera que el levantamiento de carga base determinó que en promedio el 95% de la carga instalada es trifásica (tabla 1), esto hace suponer que el problema puede deberse a una práctica generalizada de reparar los motores averiados (rebobinado) antes que reemplazarlos por nuevos, algunos estudios demuestran la ventaja económica de usar una política de “reemplazar” antes que una de “reparar” [18]. Desde el punto de vista de impacto sobre la generación de emisiones de CO₂, se observó que los potenciales de reducción de emisión hallados, no necesariamente tienen una relación estrecha con el grado de cumplimiento del plan de mejoras. No obstante, al calcular las emisiones post-intervención en función del volumen de producción, se evidenció una reducción significativa en algunas PyMEs, lo cual respalda la efectividad de este tipo de intervenciones que conllevan un beneficio ambiental intrínseco. En un estudio de caso realizado en panificadoras de Australia, se muestra que luego de aplicar buenas prácticas de eficiencia, se obtuvieron reducciones del consumo de energía en alrededor de 7% con una reducción de 48% en las emisiones GEI, realizando modificaciones en hornos, aire acondicionado e iluminación; estos resultados comparados con los del presente estudio, son superiores [19].

5. Conclusiones

El estudio ha abordado una muestra pequeña de empresas, por lo que en un futuro, sus resultados podrían ser debatidos y comprobados en investigaciones de mayor alcance. Se ha demostrado que la gestión energética ayuda a las organizaciones a reducir costos e impactos ambientales, sin importar su tamaño. En este sentido, la hipótesis es que en algunas empresas, aun cuando está garantizada la rentabilidad económica, esta puede ser mejorada si se ejecutan simples acciones tendientes a mejorar la calidad de energía. Sin embargo, y a pesar de que es extremadamente

raro que no se logre una reducción de costos al aplicar algún tipo de programa de mejora energética, se comprueba, que la dirección de la organización difícilmente admite esta realidad [20, 21], lo cual se revela también aquí. Es por lo tanto pertinente emprender políticas de eficiencia en este sector de la economía, para lograr cambios sustanciales en índices de consumo y optimizaciones impostergables. Se requiere de parte de las instituciones gubernamentales el fomento de políticas de eficiencia ambiental y rankings de eficiencia industrial, como se realiza en otros países para diferentes procesos productivos, por ejemplo en industrias manufactureras de Colombia [22, 23]. Es necesario profundizar en estudios enfocados al desarrollo de cultura de monitoreo y control, así como buenas prácticas energéticas para mejorar el consumo de energía en PyMES [24, 25]. Finalmente, el estudio resalta la importancia de generar investigación de los impactos reales de programas de eficiencia energética y otras herramientas de gestión ambiental, con el fin de validar su pertinencia, aplicabilidad y eficacia en actividades productivas similares en Latinoamérica.

6. Agradecimiento

El presente manuscrito se desarrolló en el contexto del Proyecto “Aplicación de Programas de Eficiencia Energética Eléctrica en Empresas de Alimentos de la ciudad de Cuenca 2011 – 2012”, financiado por la Dirección de Investigación (DIUC) de la Universidad de Cuenca. Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad y sus instancias: DIUC, Centro de Estudios Ambientales (CEA) y Facultad de Ingeniería, así como a las empresas participantes, estudiantes de pasantía y tesis, por el apoyo y respaldo en esta investigación. Nuestra gratitud al profesor Dr. Jan Feyen, asesor científico Prometeo/SENESCYT por la revisión y corrección del manuscrito.

Referencias

- [1] Velandía Durán, E.A., Roa Martínez, L.X., and Garzón Basto, S.L., "La cultura: un aspecto determinante en el control de los procesos contaminantes," *J. Épsilon - Universidad de La Salle*, pp. 205-214, 2009.
- [2] Linares, P., "Eficiencia energética y medio ambiente," *J. de Economía ICE*, pp. 75-92, 2009.
- [3] WEC, 2013 World Energy Issues Monitor. 2013. Disponible en: <http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/02/2013-World-Energy-Issues-Monitor-Report-Feb2013.pdf>. [Citado 14 de agosto de 2013].
- [4] SENPLADES, "Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013, Políticas 2.6 y 4.3," ed: Secretaría Nacional de Planificación, Gobierno del Ecuador, 2009.
- [5] Alborno, E. and MEER, "Instrumentos e Incentivos para la Promoción de Eficiencia Energética," 1er Encuentro Internacional Empresas Públicas Eficientes, Quito, 2012.
- [6] Castrillon, R., González, A., and Quispe, E., "Mejoramiento de la eficiencia energética en la industria del cemento por proceso húmedo a través de la implementación del sistema de gestión integral de la energía," *J. Dyna*, vol. 80, pp. 115-123, 2013.
- [7] Aranda Usón, A., Scarpellini, S., and Feijó, M., "Análisis de la eficiencia energética en la industria española y su potencial de ahorro," *J. Economía Industrial*, pp. 11-24, 2003.
- [8] Carrillo, D. and INEC, "La Industria de alimentos y bebidas en el Ecuador," Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2009.
- [9] Calle, J. and Chica, F., "Situación Energética del Cantón Cuenca y líneas de acción preferentes para fortalecer la investigación y el desarrollo a nivel local," *J. INGENIUS*, vol. 6, pp. 85-95, 2011.
- [10] CONELEC, Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución. Regulación CONELEC 004/01. 2001. Disponible en: <http://www.conelec.gob.ec/normativa/CalidadDeServicio.doc>. [Citado 30 de enero 2012].
- [11] CENELEC, "EN 50160: European standard for voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems," ed: CENELEC TCX., 2006.
- [12] EERCS. Información de Planificación Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR. 2013. Disponible en: <http://www.centrosur.com.ec/información/consultas-linea/consultar-planillas/> [Citado Desde enero 2012 hasta abril 2013].
- [13] Thumann, A. and Younger, W.J., *Handbook of Energy Audits, Seventh Edition* ed.: The Fairmont Press, Inc., 2007.
- [14] Sumper, A. and Baggini, A., *Electrical Energy Efficiency: Technologies and Applications: Wiley & Sons, Ltd., Pub.*, 2012.
- [15] Wang, L., *Energy Efficiency and Management in Food Processing Facilities: CRC Press, Taylor & Francis Group*, 2008.
- [16] MEER, MAE, CONELEC, and CENACE, "Informe: Factor de Emisión del Sistema Nacional Interconectado al Año 2012," ed: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Ecuador, 2012, p. 18.
- [17] AlQdah, K.S., "Prospects of energy savings in the national meat processing factory," *International Journal of Sustainable Energy*, vol. 32, pp. 670-681, 2013.
- [18] Consortium for Energy Efficiency, *The 1*2*3 Approach to Motor Management*. 2007. Disponible en: http://www.motorsmatter.org/tools/123_UsersManual.pdf. [Citado 15 de septiembre de 2013].
- [19] Department of Industry Tourism and Resources, *Case Study: Achieving Results in the Bread Baking Sector*. 2003. Disponible en: http://www.ret.gov.au/energy/Documents/best-practice-guides/energy_case_studies_bakersdelight.pdf. [Citado 01 de octubre de 2013].
- [20] Aderemi, A., Ilori, M., Aderemi, H., and Akinbami, J., "Assessment of electrical energy use efficiency in Nigeria food industry," *African J. of Food Science*, vol. 3, pp. 206-216, 2009.
- [21] Aderemi, A.O., Aderemi, H.O., and Akinbami, J.F.K., *Electrical Energy Use Efficiency: Case of food companies in a developing economy: Lap Lambert Acad. Publ. AG & Co. KG*, 2010.
- [22] Pardo Martínez, C.I., "Factors influencing energy efficiency in the German and Colombian manufacturing industries," in *Energy Efficiency*, Centro de Investigaciones VIDE, Ed., ed: SCIYO, 2010.
- [23] Posada, E., "Rational energy use and waste minimization goals based on the use of production data," *J. Dyna*, vol. 75, pp. 19-27, 2008.
- [24] AChEE and Chilealimentos A.G., *Manual de Eficiencia Energética en la Industria de los Alimentos Elaborados*. 2012. Disponible en: http://www.chilealimentos.com/medios/LaAsociacion/NoticiasChilealimentos2012/MANUAL_DE_Eficiencia_Energetica_Chilealimentos.pdf. [Citado 01 de octubre de 2013].
- [25] Fritzson, A. and Berntsson, T., "Energy efficiency in the slaughter and meat processing industry—opportunities for improvements in future energy markets," *J. of Food Engineering*, vol. 77, pp. 792-802, 2006.