

EnMa Tool: una herramienta de software en apoyo al estándar ISO 50001 con basamento en Indicadores Clave de Desempeño para la Búsqueda de Eficiencia Energética en Procesos Productivos de PyMEs

Leopoldo Nahuel¹, José Maccarone², Javier Marchesini¹,
Marcela Rognoni¹, Gastón Andres¹, Rodrigo María García¹

¹ Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información

² Departamento de Ingeniería Eléctrica

Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnológica Nacional, Av. 60 esq. 124 s/n CP 1900
{lnahuel, jmacarone, jmarchesini, mrognoni, gandres, rmariag}@frlp.utn.edu.ar

Abstract. En el presente trabajo se analizan las principales causas de ineficiencia energética y se busca definir Indicadores Clave de Desempeño (Key Performance Indicator, KPI por sus siglas en inglés) para su implementación en PyMEs industrializadas de cualquier tipo, con la finalidad de alcanzar la eficiencia energética en los procesos productivos que en éstas se realizan. Se siguen los lineamientos propuestos por la norma internacional ISO 50001, para el diseño de un Sistema de Gestión de la Energía (SGE), con el objetivo de que cualquier organización pueda mejorar su eficiencia energética. Como aporte al campo de la informática se presentará el desarrollo de un software llamado EnMa Tool, una herramienta de soporte a la implementación de Sistemas de Gestión de la Energía bajo norma ISO 50001 en Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs).

Palabras Clave: Indicadores Clave de Desempeño, Sistema de Gestión de la Energía, Herramientas software, Ahorro y Eficiencia Energética.

1. Introducción

Durante los últimos 10 años el consumo industrial global ha estado aumentando significativamente. En el año 2006 se consumieron 51.275 ZW (Miles de trillones de Watts de potencia) y se espera que dicho número crezca a 71.961 ZW para el 2030, con una tasa promedio de crecimiento anual de 1.4%. El sector industrial utiliza más energía que cualquier otro sector de uso final, y actualmente consume cerca del 37% de toda la energía distribuida en el mundo. ^[1]

En la figura 1 se puede apreciar este crecimiento del consumo energético global del sector industrial, detallando tanto países incluidos o no en la OECD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos).

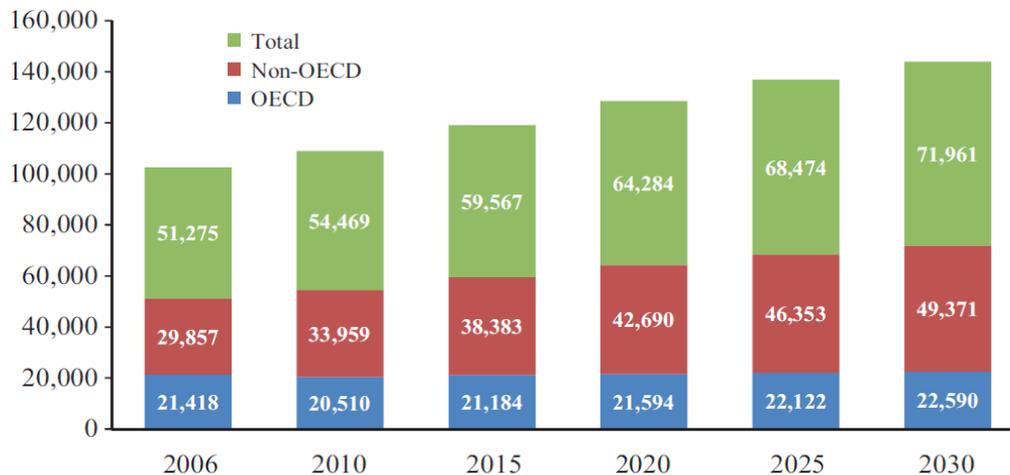


Fig. 1. Consumo de energía del sector industrial entre los años 2006 y 2030 (unidades en ZW: miles de trillones de Watts).

Esta energía es consumida por un diverso grupo de industrias incluyendo manufactura, agricultura, minería y construcción, y por una gran variedad de actividades, como procesamiento y ensamblado, calefacción y refrigeración de recintos, e iluminación.

Si bien existen varias tecnologías para el ahorro de energía, como el uso de motores de alta eficiencia, variadores de velocidad, y sistemas para prevención de fugas, se enfocará el estudio en los Sistemas de Gestión Energética asistidos por herramientas software, dado que se considera que su implementación es más rápida y efectiva, transversal a cualquier tipo de industria y con un menor costo asociado.

Se buscará identificar los principales causales de ineficiencia en una industria, y definir Indicadores Clave de Desempeño Energético, para luego poder realizar un seguimiento que permita identificar desvíos respecto de los valores previamente definidos como objetivos de ahorro.

El estándar ISO 50001 define estos Indicadores Claves de Desempeño como Indicadores de Desempeño Energético, o EnPIs por sus siglas en inglés, y representan un valor de medida del rendimiento energético, el cual debe ser definido por cada organización.

Un SGE que cumpla ISO 50001 debe poder demostrar una mejora en el desempeño energético, por lo cual debe poder medirse este desempeño antes y después de implementar el SGE para comprobar si es eficaz y en qué medida lo mejora.

Debe tenerse en cuenta que el desarrollo industrial en todo el mundo resultará en un mayor consumo de energía y llevará a una mayor concentración de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono, dióxido de azufre y monóxido de nitrógeno, los cuales tienen consecuencias desastrosas para el clima del planeta, como el recalentamiento global, sequía e inundaciones ^[3]. Además los costos asociados al uso de energía se incrementan permanentemente, lo cual empuja a buscar la eficiencia en el consumo de los recursos energéticos.

2. Requerimientos para un Sistema de Gestión de la Energía con Soporte a la Norma ISO 50001

El punto de partida para encarar un programa de eficiencia energética y de mejora continua es detectar los objetivos que se buscará alcanzar con el mismo. El estándar ISO 50001 exige establecer, documentar, implementar y mejorar continuamente, un sistema de gestión energética. El primer paso en la implementación de un sistema de gestión energética es definir el alcance y frontera de la organización. La organización debe considerar: el uso de energía a través de todo su proceso productivo, las oportunidades de mejora en cuanto a eficiencia y los recursos humanos para soportar un SGE ^[4]. El desarrollo de una herramienta software de soporte para un SGE debería cubrir o respetar estos requerimientos para estar en línea con la norma ISO 50001.

- *Política energética.*
- *Planeamiento energético.*
- *Requerimientos legales.*
- *Revisión energética.*
- *Equipamiento, tipo de planta y tipo de industria.*
- *Variables afectando a los usuarios significativos.*
- *Estimación de consumo a futuro.*
- *Oportunidades de eficiencia energética.*
- *Línea base e indicadores de desempeño energético.*
- *Objetivos energéticos, metas y planes de gestión de acciones energéticas.*
- *Implementación y operación.*
- *Metodología de comunicación interna.*
- *Documentación: alcance y frontera, política energética, objetivos energéticos, metas y planes de acción.*
- *Control operacional.*
- *Obtención de servicios de energía, productos, equipamiento y energía.*
- *Monitoreo, medición y análisis.*
- *Auditoría interna del SGE: requerimientos, metas, y mejora del desempeño energético.*
- *Disconformidades, corrección, acciones preventivas y correctivas.*
- *Control de registros.*

3. Una Clasificación de las Ineficiencias Energéticas Detectadas

En base a un relevamiento realizado sobre parques industriales locales entre los años 2012 y 2013, se ha estudiado el desempeño energético de varias organizaciones, y en particular se han analizado las condiciones de contratación de los proveedores de energía eléctrica en dichas industrias.

En dicho estudio se han detectado ocho cuestiones, entre necesidades e ineficiencias energéticas, las cuales se detallan a continuación:

1. *Ineficiencia por Factor de Potencia bajo*: el factor de potencia tiene un importante significado técnico-económico, debido a que de su magnitud dependen, en cierta medida, los gastos de capital y explotación, así como el uso efectivo de los equipos de las instalaciones eléctricas. Constituye un indicador cualitativo y cuantitativo de la eficiencia energética en la industria. Todas estas cuestiones tienen una consecuencia negativa y finalmente generan considerables sobrecostos en la facturación del servicio que la organización debe afrontar ^[5].
2. *Ineficiencia por contratación inadecuada*: una problemática muy común en las organizaciones estudiadas es que efectúan una contratación errónea del servicio de energía eléctrica, contratando capacidades por encima de lo necesario. Este error en general ocurre por falta de conocimiento, o por no contar con las herramientas adecuadas para dimensionar el verdadero consumo de la organización
3. *Ineficiencia por picos de demanda*: los picos de consumo pueden acarrear severas multas y castigos económicos por parte del proveedor del servicio, los cuales pueden prolongarse por los siguientes períodos, aún si los picos no vuelven a ocurrir. Esto conlleva un sobrecosto a pagar que podría ser evitado si se organizan mejor los procesos productivos de cada industria para asegurar que no se incurra en estas demandas excesivas simultáneas, que producen picos por encima de las capacidades contratadas.
4. *Ineficiencia por maquinarias en espera (standby)*: muchas organizaciones olvidan considerar los consumos de las maquinarias cuando están en espera (activas, pero no realizando tareas productivas) ni aquellos períodos de demora en los que se está esperando que termine una etapa inmediata anterior de la cadena de producción, que por algún motivo no estuvo lista justo a tiempo para alimentar la entrada del proceso en cuestión. El consumo de una máquina desconectada es cero, pero aquella que está en espera tiene un consumo efectivo mayor, y los tiempos de espera deben ser minimizados para corregir esa ineficiencia.
5. *Necesidad de KPI prácticos, aplicables a nivel de maquinaria, proceso y planta*: es necesario desarrollar métodos que puedan extender el uso de Indicadores de Desempeño Energético (de ahora en adelante EnPIs) a otros niveles de agregación, adaptables a maquinarias, procesos específicos y para cada tipo de planta.
6. *Necesidad de comparación de eficiencia energética entre plantas*: los EnPIs desarrollados deben permitir la comparación entre varias plantas.
7. *Necesidad de sensores inteligentes de tiempo real, de bajo costo*: se debe buscar el desarrollo de herramientas con compatibilidad con tecnologías de medición por sensores inteligentes, de bajo costo y consumo intrínseco de energía.
8. *Dificultad para comprender las relaciones de causa-efecto entre la gestión de la producción y el rendimiento energético asociado*: una parte importante del proceso es identificar las relaciones de causa-efecto entre la gestión de los procesos productivos y la forma en que esto impacta en el consumo de energía.

4. Definición de EnPIs (Indicadores de Desempeño Energético)

Teniendo en cuenta el tipo de industria, las características de la planta y los diferentes procesos productivos que se realizan, se podrán diferenciar entre cuatro tipos distintos de EnPIs:

4.1. EnPIs a Nivel de Organización

Estos indicadores se basan en el consumo total de una organización. Sobre éstos, se calculan los ahorros energéticos año a año y su progreso contrastado con las metas definidas en su Política Energética.

4.2. EnPIs de Consumo de Combustibles Fósiles

Se trata de los indicadores referidos al consumo de combustibles fósiles, en todas sus formas como carbón, gas natural, fuel-oil, comúnmente utilizados en la industria, tanto para procesos químicos y metalúrgicos, como para calefacción de recintos, según los requerimientos de los procesos productivos.

4.3. EnPIs de Consumo de Combustible para Transporte

En los casos en donde las organizaciones incorporen el transporte intensivo y la distribución en sus procesos productivos, se deben definir EnPIs adecuados para su medición y registro.

4.4. EnPIs de Consumo de Electricidad

Estos indicadores se enfocan especialmente en el consumo de electricidad, y son objeto principal de este estudio por ser considerados los de mayor influencia en el ahorro de energía que puede implementar una organización en el corto plazo. Con un mayor potencial para reducir los costos rápidamente y mejorar la eficiencia energética, y siendo el campo en el que se ha detectado una mayor cantidad de ineficiencias, se considera el elemento clave para introducir mejoras en el desempeño energético de las organizaciones.

1. **FP = Coseno (Φ)** donde Φ : ángulo de desfase entre tensión y corriente
Factor de Potencia: el valor del Coseno de (Φ) puede variar entre 0 y 1. Valores más cercanos a 1 indican una mayor eficiencia (un menor uso de energía reactiva).
 - a. FP por máquina: el factor de potencia puede ser corregido para cada máquina individualmente, logrando una reducción en conjunto igual de efectiva.
 - b. FP por proceso productivo: al identificar aquellos procesos productivos que mayor influencia tienen en el aprovechamiento de la energía eléctrica, se pueden enfocar adecuadamente las acciones correctivas pertinentes.
 - c. FP por franjas horarias: se debe considerar las franjas horarias en las que es más costosa la energía eléctrica y verificar que un factor de potencia bajo no produzca un exceso por encima de la capacidad contratada en horarios pico de consumo.
2. **EC = kW/CU** donde CU: cantidad de unidades producidas, W: potencia activa [watts]
Eficiencia del Consumo: un mayor valor de ésta medida indicará una mayor eficiencia en el consumo de energía utilizada por cada unidad producida o instancia de servicio brindado.
 - a. EC por máquina: mejorar la eficiencia del consumo para cada maquinaria o equipo permite mejorar el desempeño energético prestando especial atención al rendimiento de la producción. Se deberán evaluar los tiempos de standby o reposo, para minimizar los desperdicios de energía.
 - b. EC por franja horaria: siempre será más eficiente producir en aquellas franjas horarias con menor costo asociado al consumo energético.
3. **DCC = CC – CP** donde CC: capacidad contratada, CP: consumo instantáneo.
Desviación entre capacidad contratada y consumo: este indicador se conforma calculándolo a intervalos regulares de tiempo, y brinda información sobre la adecuada contratación del servicio eléctrico, y sobre la posibilidad de expandir la capacidad productiva instalada dentro de los márgenes de energía disponibles según lo contratado.

5. EnMa Tool: Herramienta de Software basada en ISO 50001 para Sistemas de Gestión Energética

EnMa Tool es una herramienta software diseñada para dar soporte a la normativa ISO 50001 en etapas concretas de los procesos que propone, de modo que su objetivo principal será brindar información relevante generada a partir de datos sobre el consumo energético de la organización. ^[6,7] El funcionamiento de EnMa se basa en el cómputo de los datos de consumo eléctrico. A medida que se vayan cargando se irán almacenando en una base de datos y estarán disponibles cada vez que se los requiera. En base a estos datos, la herramienta proporcionará informes que asistirán al personal idóneo a tomar decisiones. La fuente de información para el posterior procesamiento y armado de reportes de EnMa, son las facturas de consumo eléctrico de la organización. Esta carga se hace a través de dos pantallas: una sirve para la carga de los datos de identificación de la factura, como la fecha o el número. Además se ingresan los datos netos de consumo, subsidios, y otros (Figura 2).

Carga de Facturas

Nueva Factura

N° Factura: 0000-49069413 Periodo: septiembre de 2013

Fecha Lectura Ant.: 30/09/2013 Fecha Lectura Actual: 30/09/2013

Potencia Contratada
Tarifa T3 (Grandes Demandas)-BT.Baja Tension
PP: 200 kW-mes PF: 300 kW-mes

Cargos de Potencia y Energia

Consumo Energetico: 132332 kWh

Subtotal x Serv. S/ Subsidio: \$

Subsidios:

Sub. estado nacional pico	\$ -18470	Sub. estado nacional resto	\$ -42328,78
Sub. estado nacional valle	\$ -1860,96	Incremento Costo Mayorista	\$ 15238
Subtotal x Serv. C/ Subsidio		\$ 45985	

Buttons: Guardar, Cancelar

Fig. 2: Ventana para ingreso de datos principales de factura

La otra pantalla es específica para la carga de datos impositivos correspondientes al usuario y su tipo de contratación de servicio (Figura 3). Además de los impuestos fijos (pueden ser configurados a nivel global en la aplicación) también se permite la carga de otros de carácter temporal o específicos de la situación fiscal de la empresa.

Carga de Facturas

Nueva Factura

N° Factura: 0000-49069413 Periodo: septiembre de 2013

Fecha Lectura Ant.: 30/09/2013 Fecha Lectura Actual: 30/09/2013

Potencia Contratada
Tarifa T3 (Grandes Demandas)-BT.Baja Tension
PP: 200 kW-mes PF: 300 kW-mes

Impuestos

IVA	XX%	Fdo. Esp. Desarrollo Elec.	XX%
Percepcion no categorizado	XX%	Fdo. Grandes Obras	XX%
Contribucion Municipal	XX%	Perc. Ingresos Brutos	XX%
Contribucion Provincial	XX%	Otro Impuesto 2	XX%
Fdo. Esp. Desarrollo Elec.	XX%	Otro Impuesto 1	XX%
Fdo. Prov. Santa Cruz	XX%		

Subtotal Impuestos \$ 137204

Otros Cargos

Res. Sec. Energia 745/05	XX%	Otro Cargo	XX%
Tasa de iluminacion mun.	XX%	Otro Cargo	XX%

Subtotal Cargos varios Exentos \$ 137204

Buttons: Guardar, Cancelar

Fig.3: Ventana para ingresar información impositiva relevada de la factura

En la Figura 4 se observa un gráfico de consumo energético desarrollado sobre varios períodos y separados por el momento de consumo (resto, valle y punta), a modo de ejemplo.

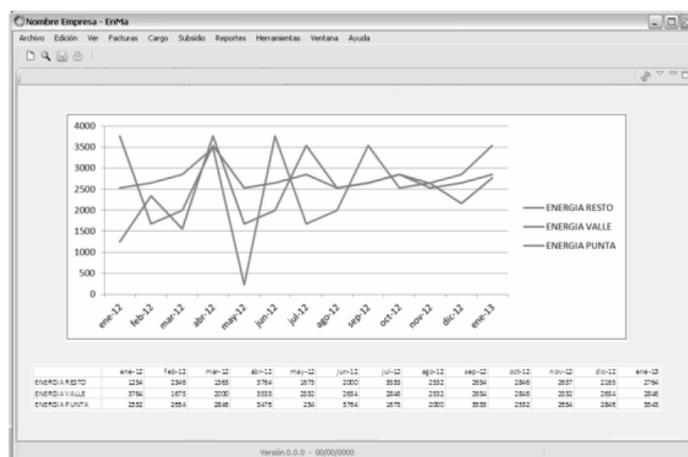


Fig. 4: Ejemplo de salida (reporte gráfico)

6. Conclusiones y Trabajo Futuro

El panorama del uso de energía actual nos indica una fuerte tendencia al aumento del consumo y los costos operativos. Ante ésta situación se torna indispensable la búsqueda de acciones preventivas y correctivas que lleven a mejorar el desempeño energético de las distintas organizaciones. La reducción del consumo de recursos energéticos puede cambiar el futuro de la situación medioambiental, y esto se puede lograr rápidamente si cada organización analiza su propio desempeño energético, y redefine el uso de sus recursos.

Luego de analizar la situación en distintas industrias, se han identificado las principales causas de ineficiencia energética, lo cual ha permitido definir Indicadores Clave de Desempeño que permitan realizar un seguimiento estadístico, buscando mediante su corrección, mejorar la eficiencia energética en las organizaciones, sobre todo aquellas con uso intensivo de energía.

El aporte al campo tecnológico con la herramienta EnMa Tool, busca complementar el desarrollo de un Sistema de Gestión de la Energía bajo norma ISO 50001, cubriendo las necesidades básicas para el gerenciamiento energético, con la posibilidad de incorporar en la brevedad el uso de los EnPIs definidos en esta primer etapa. Actualmente posee indicadores para el consumo de electricidad, como lo son el factor de potencia, eficiencia de consumo e información sobre la desviación entre capacidad contratada y consumo. Esta información se obtiene con la carga de facturas y se generan reportes gráficos que permiten hacer un análisis de negocio para la toma de decisiones. Así se pueden obtener datos anuales de ahorro energético, es decir, utiliza indicadores a nivel organización. EnMa está orientada a la gestión y a la toma de decisiones, y no a la automatización como otras herramientas más sofisticadas, debido a que éstas requieren de funciones de mayor complejidad de implementación que tienen un elevado costo de desarrollo y un aun mayor gasto en implantación de los dispositivos hardware necesarios para esta funcionalidad. EnMa es una herramienta acotada y sencilla pero ha demostrado ser suficiente para verificar resultados y validar los métodos y el diseño empleado. Por último, en etapas más avanzadas del proyecto, se analizará la posibilidad de extender su alcance para la gestión de otros tipos de energía y/o recursos (gas, agua, etc.).

Referencias Bibliográficas

- [1] A review on energy saving strategies in industrial sector; 2010; E.A. Abdelaziz, R. Saidur, S. Mekhilef.
- [2] Norma ISO 50001 - Energy Management Systems - <http://www.iso.org/iso/home/standards/management-standards/iso50001.htm>
- [3] Mahlia TMI. Emissions from electricity generation in Malaysia. *Renewable Energy* 2002;27:293–300.
- [4] A structured approach for facilitating the implementation of ISO 50001 standard in the manufacturing sector; Bhaskaran Gopalakrishnan, Kartik Ramamoorthy, Edward Crowe, Subodh Chaudhari, Hasan Latif. *Research Gate*, September 2014.
- [5] El factor de potencia y la eficiencia energética. Manuel J. Hernández, Juana M. Téllez Reinoso, artículo: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia29/HTML/articulo06.htm>
- [6] L. Nahuel, J. Maccaroni, M. Marchesini, M. D Ambrosio, L. Cantalops. *Métodos y Tecnología Informática aplicada al desarrollo de Sistemas de Gerenciamiento Energético en apoyo a ISO 50001*. XV° Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación - WICC 2013. ISBN 9789872817961. Paraná, Entre Ríos, Argentina
- [7] ENMA Tool - producto del PID Desarrollo de Instrumentos de Relevamiento Energético

y Algoritmos necesarios para un Software de Gestión Energética de Organizaciones.
Homologado por la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado del Rectorado de la
Universidad Tecnológica Nacional (UTN) con código ENIANLP3530 y financiado por SCyT
de la UTN - Facultad Regional La Plata y SCTyP del Rectorado UTN.