

Indicadores Clave de Desempeño y Tecnología Informática aplicada a Sistemas de Gestión de Energía según Norma ISO 50001 para el Uso Eficiente de la Energía en PyMEs

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 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).

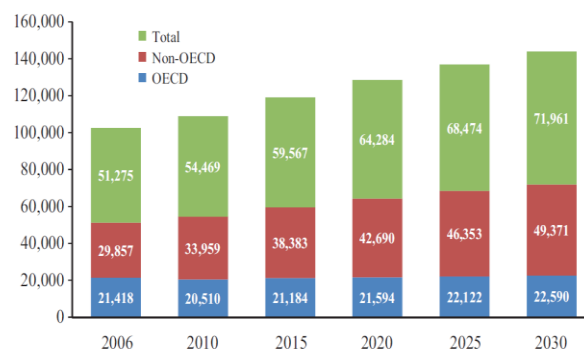


Figura 1: Consumo de energía del sector industrial entre los años 2006 y 2030 (unidades en ZW: miles de trillones de Watts).

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.^[2]

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 calentamiento 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. Elementos del Trabajo y metodología

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.*

2.1. Definición de EnPIs.

Los EnPIs (Energy Performance Indicators, es decir Indicadores de Rendimiento Energético) son métricas que se utilizan para cuantificar los resultados de

una determinada acción o estrategia en función de unos objetivos predeterminados; es decir, indicadores que nos permiten medir el éxito de nuestras acciones.

Todos los EnPIS deben cumplir con ciertas características básicas:

- Medible: Por definición un EnPIS debe ser medible.
- Alcanzable: Los objetivos planteados a la hora de establecer un EnPIS deben ser creíbles.
- Relevante: No debe generar exceso de información innecesaria, sino aquella información de interés.
- Disponible a tiempo: Cada EnPIS debe ajustarse a unos plazos de tiempo razonables.

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:

2.1.1. 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.

2.1.2. 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.

2.1.3. 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.

2.1.4. 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/CE** donde CE: 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.

3. Resultados

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 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.

3.1 EnMa Tool: una propuesta tecnológica de soporte a la certificación ISO 50001

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]. EnMa funciona básicamente computando 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 relevantes para la gestión energética.

En sintonía con los requerimientos de la ISO 50001, EnMa podría dar soporte total o parcial en las siguientes actividades detalladas en la norma (se sigue la misma numeración de la norma para una rápida referencia al documento oficial):

4. Requisitos del sistema de gestión de la energía

4.1 Requisitos generales

4.3 Política energética

4.4 Planificación energética

4.4.3 Revisión de la energía

4.4.4 Línea de base de la energía

4.4.5 Indicadores de eficiencia

energética

4.4.6 Objetivos de la energía, metas energéticas y planes de acción de gestión de la energía

4.5 Aplicación y funcionamiento

4.5.4 Documentación

4.5.5 Control operacional

4.5.6 Diseño

4.5.7 Contratación de servicios

energéticos, productos, equipos y energía

4.6 Verificación

4.6.1 Monitoreo, medición y análisis

4.6.3 Auditoría interna del SGE

Luego del proceso de ingeniería de requerimiento realizado en este dominio, se comenzó el desarrollo de la aplicación. Para ello, se utilizó el entorno de desarrollo Eclipse, el cual es una plataforma para el desarrollo de aplicaciones muy completa y libre que puede aumentar su funcionalidad a través de múltiples librerías y plugins que están constantemente en desarrollo y mantenimiento.

En la figura 2 se observa la pantalla principal de fondo, con una proyección 3D de las ventanas principales que componen la interfaz gráfica de la aplicación. Sobre la pantalla principal de EnMa, tenemos la opción de crear un proyecto. Un nuevo proyecto significa cargar los datos que identifican a la empresa u organización sobre la cual se va a trabajar (nombre, dirección, rubro, etc.).



Figura 2: Pantallas que conforman la GUI de EnMa

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 3).

Figura 3: 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 4). Además de los impuestos fijos, también se permite la carga de otros de carácter temporal o específicos de la situación fiscal de la empresa.

Figura 4: Ventana para ingresar información impositiva relevada de la factura

La posibilidad de procesar la información de entrada para obtener reportes “a medida” es la función principal de EnMa. Estos reportes serán la entrada de otros procesos contemplados en la norma ISO 50001 y servirán como información relevante para empleados de alto rango. En la actual versión del aplicativo, se diagramarán reportes estáticos que sean considerados como los más importantes. En versiones posteriores se agregará la posibilidad de que el usuario pueda armar los reportes mediante la interacción con la interfaz gráfica a través de consultas QBE (Query By Example) [buscar referencia].

Los reportes integrados en la primera versión del prototipo son básicos, para lograr un entendimiento claro de la funcionalidad de la aplicación. Algunos son:

- Consumo de potencia histórico: muestra un gráfico con los consumos de potencia eléctrica usada en meses anteriores. La cantidad de meses es ingresada por el usuario.
- Consumo energético histórico: grafica los consumos de energía eléctrica por período, siendo éste un número de meses ingresado por el usuario.
- Consumo comparativo de un mismo periodo: mediante el ingreso de dos períodos distintos, realiza un gráfico para cada uno en un mismo eje de coordenadas.

En la Figura 5 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.



Figura 5: Ejemplo de salida (reporte gráfico)

4. Discusión:

El uso de EnPIs permite una forma de trabajo cuantificable y comparable, lo cual facilita el proceso de optimización de uso de recursos energéticos. Como contrapartida a estos beneficios, se presenta la dificultad de implementación de estos indicadores, que implican una colaboración muy estrecha entre hardware que pueda captar estas mediciones, y el software que debe procesarlo. Además, el costo de los componentes electrónicos necesarios, tiende a elevarse al intentar aumentar su precisión. De todas maneras, se constató la utilidad de la aplicación para la toma de decisiones sobre las contrataciones del suministro eléctrico y la concientización del consumo energético, todo esto acotado a la funcionalidad limitada que aún presenta el prototipo, aún sin contar con el hardware necesario para cubrir la incorporación del uso de EnPIs a la herramienta software. La facilidad de uso y la posibilidad de visualización más intuitiva de la información presentan ventajas sustanciales sobre métodos de gestión no especializados (como el registro de consumos en planillas de cálculo o a mano). La herramienta se puede adaptar a múltiples tareas y procesos detallados en la norma ISO 50001, pudiendo de esta manera servir como una ayuda a una

futura certificación si la organización lo desea.

También se destacan buenos resultados en el aporte de la Ingeniería en Sistemas sobre proyectos multidisciplinarios que apuntan sobre gestión ambiental y optimización en el uso de recursos energéticos

5. Conclusión y trabajo futuro:

En las sucesivas iteraciones del proceso de desarrollo se proyecta incorporar a EnMa la capacidad de refinar los datos en base a un consumo “instantáneo” de cada sector de la organización, incorporando el uso de los EnPIs definidos en este trabajo, para generar reportes y sugerir controles aplicables en pos de mejorar el rendimiento energético de la organización. Para que esta funcionalidad refleje un consumo instantáneo de cada sector, es necesario reunir dispositivos hardware (captoreadores de datos) que puedan medir a intervalos regulares el consumo energético, algo que, dado el precio elevado de estos equipos, para empresas pequeñas puede resultar imposible de concretar. Para suplir esto, se propone relevar cada componente relevante para el dominio que tenga un consumo eléctrico dentro del aplicativo, ingresando los datos de consumo de cada uno. Estos datos técnicos están disponibles en la misma máquina o deberán consultarse con su fabricante. De esta manera, sabiendo la cantidad de horas de trabajo diario de una máquina podría aproximarse el consumo instantáneo de la organización. Por último, en etapas más avanzadas del proyecto, se analizará la posibilidad de extender las funcionalidades de EnMa para la gestión de otros tipos de energía y/o recursos (gas, agua, etc).

Referencias

- [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. Maccarone, J. 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.