



TRABAJO TEORICO EXPERIMENTAL

Metodología para el seguimiento, medición y análisis energético de una planta manufacturera

Methodology for monitoring, measurement and energy analysis of a manufacturing plant

Carlos Torres Navarro¹
Maria Saleté Waltrick²
Consuelo Flores Canales¹

¹ Universidad del Bío-Bío. Concepción. Chile.

² Universidade Norte do Paraná. Ponta Grossa. Brasil.

RESUMEN/ABSTRACT

El objetivo de esta investigación es diseñar una metodología para apoyar un proceso de seguimiento, medición y análisis del desempeño energético para una empresa líder en la manufacturera de diversos tipos de papeles de uso industrial. La metodología utilizada se fundamenta en la pentalogía de Taiichi Ohno que ofrece un encadenamiento de cinco actividades de administración que van desde la necesidad de medir consumos de energía hasta la selección de mejoras del desempeño energético para una organización. Los resultados consisten en una descripción detallada para las actividades de medir, conocer, controlar, gestionar y mejorar. Las principales conclusiones indican que es posible aplicar el enfoque de Taiichi Ohno para organizar un proceso de seguimiento, medición, control y análisis del desempeño energético en una empresa manufacturera soportado por indicadores de consumo, de desempeño y de ahorro energético asociado a áreas y equipos operacionales.

Palabras clave: análisis, desempeño energético, energía, medición, seguimiento.

The objective of this research is to design a methodology to support a process of monitoring, measurement and analysis of energy performance for a leader company in the manufacturing of various types of paper for industrial use. The methodology is based on the pentalogy of Taiichi Ohno offering a chain of five management activities from the need to measure until the selection of energy performance improvements for an organization. The result is a detailed description for the activities for measurement, know, control, management and improvement. Key findings indicate that it is possible to apply the approach Taiichi Ohno to organize a process of monitoring, measurement, control and analysis of energy performance in a manufacturing company supported by consumption indicators, performance and energy savings associated with areas and operational equipment.

Key words: analysis, energy, energy performance, measurement, monitoring.

INTRODUCCIÓN

Esta investigación se origina ante la oportunidad de explorar una metodología frecuentemente citada en normativas de gestión de calidad pero poco estudiada y estructurada a nivel de indicadores en el ámbito de la gestión de procesos de seguimiento, medición y mejora de modo de apoyar procesos de monitoreo del desempeño energético en plantas manufactureras de papeles en base a pulpa mecánica. El impacto que puede producir en una organización al disponer de una metodología efectiva se puede traducir en potenciales ahorros de energía de hasta un 40% o cualquier mejora en la eficiencia energética se traduce directamente en una disminución de los costos y un incremento de la eficiencia económica [1-3].

La empresa bajo análisis pertenece a la industria de producción de papel en base de pulpa mecánica. Sus productos principales son: papel estándar para periódico, papel de alta blancura, papel para directorios telefónicos y para textos. Las fuentes de energía corresponden a electricidad, combustibles y vapor. Dentro de los combustibles se encuentra la biomasa (*para la producción de vapor*), gas natural, gas licuado y petróleo. La energía es la capacidad de un sistema para producir actividad externa o realizar trabajo y en un contexto general puede ser eléctrica, combustible, vapor, calor, aire comprimido u otros medios. No obstante, las fuentes de energía, tales como el aire comprimido, vapor y calor, pueden no ser consideradas como tal debido a que suelen ser generadas por la misma organización, sin embargo, es posible hacer gestión de la energía sobre estas fuentes de energía secundaria porque puede dejar capacidad para reemplazar otro tipo de consumo energético [4; 5]. La gestión energética requiere de indicadores para consolidar un proceso de gestión eficaz, en el ámbito de la gestión energética los indicadores de gestión energética se pueden clasificar en dos categorías: los que reflejan *consumos totales* de energía y los que indican *cómo se consume* la energía. La primera categoría mide la cantidad total de energía consumida para generar un volumen dado de productos o actividad. Están relacionados con el volumen de producción (a mayor producción o actividad, mayor consumo), se mide en Julios, kWh, calorías, tFOE, BOE, Btu, etc. Indican “cuánta energía se consume”.

En la segunda categoría, aquellos que indican “cómo se consume la energía”, están los indicadores que miden consumos específicos (o intensidad energética). Estos indican la energía necesaria para obtener una unidad de producción (consumo específico), permiten comparar la energía real consumida por un proceso productivo y el consumo teórico que se esperaba que hubiese tenido para realizar la misma actividad de haber seguido un patrón de consumo de referencia (consumo teórico o estándar). Estos indicadores son independientes del volumen de actividad o producción. Su valor es característico del estado de la instalación. Se miden, por ejemplo, en GJulios / unidad de producción. En esta segunda agrupación se puede incluir el concepto de eficiencia energética y que se reconoce como una razón entre un resultado de desempeño y una entrada de energía [6]. Una estrategia para alcanzar un nivel de eficiencia energética deseada se puede lograr en la medida que las actividades asociadas se organicen en función de un sistema de gestión energética de modo que puedan integrar e interrelacionar objetivos, políticas, procesos y procedimientos energéticos. La norma ISO 50001 establece diversas exigencias para que las empresas puedan disponer de un sistema de gestión para la mejora del desempeño energético y, en particular, establece lineamientos generales para que las operaciones que determinan el desempeño energético se monitoreen, midan y se analicen de manera sistemática [4]. La literatura consultada ofrece metodologías para complementar procesos de monitoreo y seguimiento energético, entre ellos, se destaca el aporte de Campos et al (2008) donde se presenta un modelo de gestión integral de gestión energética para un sector productivo de Colombia fundamentado principalmente en tres etapas: decisión estratégica, la instalación y operación [1].

Por otra parte, en Castrillón (2013) se presentan los resultados de implementar un sistema de gestión integral de energía para una industria de cemento conforme la norma ISO 50001 lográndose reducir el consumo de electricidad en 4,6% sin realización de inversiones por concepto de compra de nuevos equipos [7]. En Correa et al (2014) se presenta un procedimiento organizado en etapas y pasos para organizar un procedimiento de gestión energética, también conforme la ISO 50001, para una empresa oleo hidráulica donde se destaca el uso de la regresión lineal para comparar los consumos de energía proyectados y frente a una meta pre establecida [8]. En Campos, Prías, Quispe, Vidal y Lora (2008) también se observa la utilización de la regresión lineal para proyectar los consumos de energía para una planta industrial a partir de los niveles de producción, lo anterior debido a que la variable producción intervenía fuertemente en el consumo de energía. Además, al disponer de una ecuación matemática que

explique de manera suficiente el consumo a partir de los niveles de producción permitiría proyectar consumos de energía de manera rápida y efectiva [1; 9].

En Carrillo (2014) se realizó un estudio exploratorio sobre la aplicación de programas de eficiencia energética en siete empresas alimenticias deduciéndose que si bien se obtienen beneficios en relación con la reducción de emisiones de CO₂, el éxito de los programas energéticos radicaría principalmente en la voluntad de realizar inversiones y en la eficacia de las prácticas administrativas. Una conclusión en este mismo sentido también se observa en Linares (2009) [10; 11].

Por otra parte, un proceso de gestión de energía moderno requiere el uso de indicadores para que los gestores dispongan de información relevante referida a la eficiencia energética. En este sentido, un indicador de desempeño energético frecuentemente citado en la literatura es el Índice de Intensidad Energética (IE) que compara los consumos energéticos reales con el consumo teórico. Este indicador permite ver en forma porcentual la mejora o empeoramiento del consumo energético real de las instalaciones en relación con el consumo teórico. Además, el seguimiento de este indicador permite conocer la eficiencia de un área manufacturera deduciendo el estado de su mantenimiento u operación [3; 6]. Un complemento frecuente de citar para este último índice es la utilización de las gráficas de sumas acumuladas (Cusum) que permiten conocer la tendencia real de la empresa en cuanto a variación de los consumos energéticos, comparar niveles de producción, determinar la magnitud del ahorro o pérdida producida en un período actual respecto a un período base y evaluar la efectividad de medidas de ahorro de energía [7; 12; 13]. Un proceso de monitoreo eficaz requiere de una sistemática de análisis y de una organización que facilite el seguimiento, en este sentido, en Campos, Prías, Quispe, Vidal y Lora (2008) se indican componentes que debiese tener un proceso de monitoreo, entre ellos, los siguientes: un software o herramienta de monitoreo informática, indicadores y valores estándares, definición de intervalos de monitoreo, reportes de resultados, responsables y un equipo de mejora [1].

Una criterio para evaluar mejoras alternativas es utilizando el concepto de *curva de costo marginal de abatimiento* la cual permite priorizar oportunidades de mejora en el desempeño energético siendo evaluadas bajo un contexto técnico – económico [5]. Este criterio considera el potencial de mejora en el desempeño y costo de implementación que ofrece cada iniciativa (el eje de abscisa puede representar el potencial de reducción en kWh, kWh/ton, kWh/m², etc.; y en el eje de ordenada el costo marginal de abatimiento expresado en US\$/kWh). En Gwinner (2015) se presenta una derivación de este criterio incorporando las emisiones de gases de efecto invernadero [14].

Una sistemática de análisis puede organizarse a través de una secuencia coherente de pasos, tales como las cuatro etapas del ciclo Deming, los ocho pasos para la mejora continua de Gutiérrez (2014) o las cinco etapas también para la mejora continua de la metodología seis sigma (definir, medir, analizar, mejorar y controlar) [15; 16].

En este contexto, la siguiente pentalogía, atribuida a Taiichi Ohno, ofrece un eslabonamiento coherente de cinco pasos para organizar un proceso decisional eficaz y pragmático en el ámbito de la gestión energética, estos cinco pasos son: *medir, conocer, controlar, gestionar y mejorar*, indicando con ello que: lo que no se mide, no se conoce; lo que no se conoce, no se controla; lo que no se controla, no se gestiona; y lo que no se gestiona, no se mejora [17]. En este sentido, la empresa bajo análisis carece de una metodología efectiva y organizada para gestionar adecuadamente un proceso de análisis y toma de decisiones en base a la identificación de indicadores relevantes y el despliegue de actividades apropiadas para promover la mejora continua en el consumo energético.

De modo que el objetivo principal de esta investigación es diseñar una metodología de seguimiento, medición y análisis del desempeño energético para una planta manufacturera de papel utilizando el enfoque de los cinco pasos de Taiichi Ohno. Los objetivos específicos son identificar los componentes y actividades de los pasos de la pentalogía Ohno para apoyar la mejora continua del desempeño energético en una planta manufacturera de papel en base a pulpa mecánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue de carácter exploratorio y descriptivo, y consideró como marco referencial una empresa manufacturera de papeles de la Región del Bío-Bío, Chile. La información de campo se obtuvo de la gerencia energética y de mejoramiento continuo de la empresa. La revisión bibliográfica incluyó bases de datos de acceso *on-line* tales como SciELO, EBSCO y Latindex, además, de manuales energéticos e indicaciones sobre seguimiento y monitoreo contenidas en la norma ISO 50001.

La metodología consistió en identificar los elementos y actividades energéticas que conciernen a cada uno de los cinco pasos de la pentalogía de Taiichi Ohno para organizar un proceso de seguimiento, monitoreo y control eficaz. Esta estrategia ofrece una secuencia novedosa y coherente de cinco pasos que es concordante con reconocidas metodologías de mejora continua para gestionar un sistema de gestión energética en una planta manufacturera de papel.

La descripción de cada uno de los pasos que concierne el enfoque de Taiichi Ohno, se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Descripción de los pasos del enfoque de Taiichi Ohno

Pasos	Descripción
Medir	Se refiere al proceso de asignar valores a los consumos energéticos de la empresa, áreas y equipos de modo de complementar las mediciones con indicadores energéticos.
Conocer	Se refiere a identificar y constatar comportamientos de consumos de energía y desempeños energéticos a través del uso de técnicas estadísticas (gráficos e línea, gráficos de control, gráficas Cusum y diagramas de Pareto), además, conocer a través de auditorías el estado de las prácticas energéticas.
Controlar	Se refiere al proceso de implementar acciones para cumplir con estándares pre establecidos por la alta dirección, el cual implica observar consumos reales, consumos teóricos y eficiencia energética de modo de establecer los procedimientos que faciliten cumplir con los estándares planificados.
Gestionar	Se refiere al proceso de planificación y toma de decisiones para intervenir los procesos en función de los resultados y los objetivos de desempeño energético planificados.
Mejorar	Se refiere al proceso de implementación de las decisiones para evidencias cambios ventajosos. La selección de mejoras puede considerar el criterio de costo marginal de abatimiento.

Fuente: Elaboración a partir de [8; 16].

RESULTADOS

Ámbito de medición

En el ámbito de la *medición* se identificó la necesidad de medir diversas variables relacionadas con tres fuentes de energía, cuatro áreas operacionales y seis equipos donde:

- Fuentes de Energía: Eléctrica, biomasa, gas licuado, petróleo y vapor.
- Áreas operacionales: Fábrica de pulpa, Máquina papelera 1, Máquina papelera 2, Planta térmica
- Equipos: Desfibradores, Refinador de pulpa, Bombas de vación, Accionamientos, Secador y Caldera.
- Mediciones de consumo energético: planta y áreas.

Ámbito conocer

Para el ámbito del *conocer* se definieron los contextos de conocimiento, los mecanismos que facilitan reconocer ese conocimiento técnico y los indicadores asociados a las áreas y equipos de la planta, como se indica en la tabla 2.

Ámbito de control

Este paso de *control* se refiere al proceso empleado para cumplir con los estándares de manera consistente, implica observar el desempeño actual, compararlo con lo planificado y establecer los procedimientos que faciliten el mantenimiento de las variables energéticas dentro de los límites planificados. Las actividades específicas en este ámbito, son las siguientes:

- Disponer de instructivos para preciar criterios de operación y mantenimiento de equipos.
- Evaluar el desempeño energético de la empresa.
- Realizar el control operacional en la empresa de modo de mantener las variables indicadores energéticos según lo planificado.
- Comparar los resultados reales versus planificados de las variables e indicadores energéticos con la finalidad de identificar brechas.
- Instalar capacidades, conocimiento y habilidades en el personal.
- Realizar auditorías energéticas.
- Organizar el tratamiento de no conformidades y verificación de las acciones correctivas y preventivas implementadas.

Ámbito de gestión

Este paso de *gestión* concierne el proceso de planificación y toma de decisiones para intervenir en la organización en función de los objetivos energéticos, metas y planes de acción establecidos. En este contexto la empresa debería desplegar las siguientes actividades:

- Establecer los objetivos y metas energéticas en sus cuatro áreas operacionales
- Reconocer y analizar las restricciones financieras, operativas y de negocios, evaluar y diseñar futuros proyectos energéticos con la finalidad de mejorar los desempeños energéticos de las áreas involucradas.
- Implementar y mantener planes de acción para lograr los objetivos y metas, definir los planes de acción para cada área o para cada proyecto de eficiencia energética.
- Realizar reuniones sistemáticas de análisis de variables e indicadores energéticos y generar planes de acción para su implementación y seguimiento.
- Evaluar la eficacia y eficiencia de los proyectos de mejora para la disminución de consumo de energía.

Ámbito de mejora

El paso de *mejora* se evidencia a través de la implementación de proyectos que evidencien un cambio ventajoso de los indicadores energéticos de modo que incidan favorablemente en el desempeño energético de la planta y en el sistema de gestión de energía. La constatación de las mejoras se propone realizarla a través de los resultados periódicos de los indicadores energéticos de la tabla 2.

Las oportunidades de mejora se pueden clasificar en dos grandes grupos: las que no conllevan gasto alguno (cambio de hábitos de consumo, regulación y programación, mantenimiento, etc.) y aquellas que sí necesitan una inversión inicial (por ejemplo, sustitución de equipos). En De Laire (2013, p 43) y Cárcel y Graw (2015) se presentan diversos ejemplos de mejora en base a indicadores de consumos de electricidad y consumos totales de electricidad asociados al caso donde se requirieron inversiones [1; 19].

Tabla 2. Ámbitos de interés y mecanismos para análisis y control de indicadores energéticos	
Ámbito de conocimiento	Mecanismo gráficos de control
Consumos reales de energía según áreas y equipos de las instalaciones. Las unidades de medida pueden ser: GJulios, kWh, calorías, tFOE, BOE, m3OE, Btu, etc.	Cartas de control de X-Individuales y de Rango Móvil (n=2) para conocer estabilidad de los procesos y, Gráficos de Pareto para conocer perfil de consumo según áreas de operación.
Consumos Específicos de Energía (CE) para equipos y áreas operacionales.	Gráficos de línea utilizando alguna de las siguientes unidades compuestas: GJ/BOE, GJ/tonelada, GJ/tonelada FOE, kWh/tonelada.

Consumo Energético Real (CER) y Consumo Energético Teórico (CET) para equipos involucrados.	Gráficos de línea, cartas de control de X-Individuales y de Rango Móvil (n=2), y de Gráficas Cusum.
Indicadores de Intensidad Energética (IE) a nivel de áreas operacionales.	Gráficos de línea para conocer porcentualmente cuánto ha mejorado o empeorado el consumo energético real de las áreas en relación con el consumo teórico.
Indicador de Ahorro Energético (IAE) a nivel de áreas operacionales.	Gráficos de línea que permita obtener una mirada integral respecto del Ahorro Energético para constatar ahorros de energía, año a año, y para todas las áreas involucradas de la planta.
Indicador de Intensidad Energética (IIE) a nivel de áreas operacionales.	Gráficos de línea que permita obtener una mirada integral de la Intensidad Energética de equipos y áreas de la planta.

Fuente: A partir de [1; 8; 18].

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los principales resultados consisten en una propuesta metodológica en base a la pentalogía de Taiichi Ohno para sistematizar el proceso de seguimiento, medición y análisis del desempeño energético para una empresa manufacturera conformada por tres tipos de energía, cuatro áreas operacionales y seis tipos de equipos principales. Los hallazgos de esta investigación permiten constatar que es posible recurrir al enfoque de Taiichi Ohno, originalmente enfocado para la industria automovilística, para organizar un proceso decisional que comienza con la necesidad de medir, que es una característica de las ciencias físicas, y termina con la constatación de evidencias de mejora. Los principales resultados ofrecen una propuesta metodológica original para organizar, a través de cinco pasos, un proceso de toma de decisiones en ámbito de la gestión energética para una empresa manufacturera de papeles.

Las exigencias respecto de seguimiento, realización de mediciones y posterior análisis contenidas en la norma ISO 50001 son exigencias de carácter general que pueden ser implementada de una variedad de empresas sin embargo, la secuencia de cinco pasos de la pentalogía de Taiichi Ohno propuesta en esta investigación es una metodología coherente y fácil de implementar de manera más específica en una empresa de manufactura de papeles en base a pulpa mecánica. El proceso de revisión bibliográfica permitió constatar que las evidencias empíricas respecto de procesos de toma de decisiones en el ámbito energético no son abundantes y en muchos casos tienen a circunscribirse solo en la normativa ISO siendo este referente normativo muy general en el ámbito de la medición y seguimiento y enfocado principalmente en el establecimiento de un sistema de gestión soportado principalmente en base a un sistema documental, sistema necesario pero no suficiente para apoyar la toma de decisiones en un marco de semanas o meses. Es frecuente encontrar en la literatura energética propuestas metodológicas parciales o enfocadas solo en algunos de los procesos que están entre la medición y las propuestas de mejoras de modo que los resultados de esta investigación consideran una pentalogía que aborda de manera más integral procesos de gestión en base a una coherente concatenación de cinco pasos que abarcan desde la medición hasta la mejora.

La propuesta metodológica incorpora una serie de indicadores que permiten monitorear tanto la cuantía de los consumos de energía como la forma de cómo se consume la energía. Además, se complementa con una propuesta de técnicas estadísticas gráficas que facilita el análisis de los resultados de las mediciones. Por otra parte, la propuesta de indicadores posee respaldo bibliográfico y validez de constructo dado que sintetiza diversas propuestas rescatadas de revistas energéticas seriadas. La implementación de la pentalogía Ohno requiere que la empresa realice verificaciones del estado de los equipos de medición para constatar su funcionalidad, además, establecer un proceso sistemático de recopilación y registro de datos para contribuir a que el proceso de análisis de datos sea eficaz y representativo del funcionamiento de la planta. Si bien esta investigación ofrece una metodología para el tratamiento de los datos que se originan a través de la identificación de necesidades de medición bien precisas en una empresa manufacturera de la industria de la madera, su cobertura solo cubre seis tipos de energía.

Los indicadores energéticos resultantes consideran los aportes de la literatura especializada en energía, incluso aquella referente a la planta específica bajo análisis (De Laire, 2013). Por otra parte, la propuesta tanto metodológica como de diseño de indicadores energéticos, puede ser replicada en otras organizaciones de similar naturaleza y a la vez responder las exigencias sobre disponibilidad de mecanismos de seguimiento, medición y análisis habitualmente exigidos en diversos sistemas de gestión normativos. Se considera que los resultados ofrecen una postura rigurosa y novedosa que abarca desde los procesos de medición hasta la implementación de mejoras en el ámbito energético. Como futuras líneas de investigación se deduce la oportunidad para aplicar técnicas multivariadas para desarrollar una investigación correlacional a partir de datos históricos de diferentes tipos de consumos de energía y/u otros factores operacionales de interés para analizar el comportamiento de los indicadores de intensidad energética y de ahorro energético. Las implicancias de los resultados de esta investigación radican en que es posible abordar procesos de mejora continua con enfoques de gestión alternativos al enfoque Deming el cual es profusamente recurrido en la literatura consultada no siendo el único enfoque disponible para organizar procesos de toma de decisiones en la industria manufacturera.

CONCLUSIONES

Los resultados logrados indican que es posible diseñar una metodología simple y un conjunto preciso de actividades e indicadores energéticos que permiten apoyar un proceso de seguimiento, medición y análisis energético en una planta manufacturera de papel utilizando la secuencia de cinco pasos de Taiichi Ohno.

La característica principal de la aplicación de la pentalogía de Taiichi Ohno es que permite enlazar cinco pasos, desde la necesidad de medir hasta la proposición de mejoras, y precisar las actividades específicas asociadas a cada paso facilitando así el proceso de control y toma de decisiones.

Los resultados proporcionan una propuesta válida y organizada de: actividades, indicadores de consumo, de desempeño y ahorro energético que permiten monitorear la gestión energética desde la perspectiva de *cuánto* se consume de cada tipo de energía y de *cómo* se consume la energía.

Es posible identificar y potenciar el uso, en la planta, diversas técnicas y gráficos estadísticos para adquirir conocimiento objetivo y sistemático sobre lo que se requiere saber en el ámbito energético a partir de mediciones en equipos y áreas de la planta, aspecto que constituía una carencia en el sistema de gestión energética actual.

El enfoque de Taiichi Ohno resalta la necesidad de identificar fuentes de medición energética y así disponer de datos suficientes para concatenar procesos administrativos subsecuentes tales como el control, la gestión y la mejora.

La propuesta metodológica puede ser replicada en otras plantas de similar naturaleza y a la vez apoyar de forma novedosa requerimientos de seguimiento, medición y análisis de datos establecidos en la norma ISO 50001 así como en otras normas de gestión que contienen estos tipos de requerimientos.

REFERENCIAS

- [1] Campos C. et al. "El MGIE, un modelo de gestión energética para el sector productivo nacional". *El Hombre y la Máquina*. 2008. Consultado el: 20 de diciembre de 2015. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47803003>
- [2] Karcher, P. y Jochem, R. "Success factors and organizational approaches for the implementation of energy management systems according to ISO 50001". *The TQM Journal*. 2015, Vol. 27 Iss: 4, pp.361 – 381. Consultado el: 20 de diciembre de 2015. Disponible en: <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/TQM-01-2015-0016>
- [3] Ferro, G. y Lentini, E. "Eficiencia energética y regulación económica en los servicios de agua potable y alcantarillado". *Serie recursos naturales e infraestructura de la Cepal*. 2015. Consultado el: 20 de diciembre de 2015. Disponible en: <http://www.cepal.org/es/publicaciones/37630-eficiencia-energetica-y-regulacion-economica-en-los-servicios-de-agua-potable-y>
- [4] INN. *Sistema de Gestión de la Energía - Requisitos con orientación a su uso*. Instituto Nacional de Normalización. Norma Chilena. NCh-ISO 50001-2011, Santiago, Chile. 2011.

- [5] De Laire, M. “Guía para la Implementación de Sistemas de Gestión de la Energía basada en la ISO 50001”. *Agencia Chilena de Eficiencia energética*. 2013. Consultado el: 20 de diciembre de 2015. Disponible en: <http://guiaiso50001.cl/iso-50001/>
- [6] Perea J. y Botello I. “Índices de Energía en la Industria de Petróleo y Gas”. *Guía ARPEL*. 2013. Consultado el: 20 de diciembre de 2015. Disponible en: <http://www10.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2014/13920.pdf>
- [7] Castrillón, R., González, A. y Quispe, E. “Mejoramiento de la eficiencia energética en la industria del cemento por proceso húmedo a través de la implementación de un sistema de gestión integral de la energía”. *Dyna*. 2013. año 80, Edición 177, Medellín. Consultado el: 20 de diciembre de 2015. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/496/49625661015.pdf>
- [8] Correa, J. et al. “Diseño y aplicación de un procedimiento para la planificación energética según la NC-ISO 50001:2011”. *Ingeniería Energética*. 2014. Vol. XXXV, No. 1, p. 38-47. Consultado el: 20 de diciembre de 2015. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59012014000100005&script=sci_arttext
- [9] Salazar, C., De Oliveira, E. y Vidal, J. (2012). “La eficiencia energética como herramienta de gestión de costos: una aplicación para la identificación de inversiones en eficiencia energética, su evaluación económica y de riesgo”. *Revista del Instituto Internacional de Costos*. Edición Especial. 2012. Consultado el: 20 de diciembre de 2015. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/ejemplar/324156>
- [10] Carrillo, G. et al “Impacto de programas de eficiencia energética eléctrica, estudio de caso: Empresas alimentarias en Cuenca, Ecuador”. *Dyna*. 2014. 81 (184), p. 41-48. Medellín. . Consultado el: 20 de diciembre de 2015. Disponible en: http://www.sci.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532014000200005&lng=es&nrm=iso
- [11] Linares, P. “Eficiencia Energética y Medio Ambiente”. *Economía y Medio Ambiente*, 2009, N.º 847 ICE. Consultado el: 20 de diciembre de 2015. Disponible en: <https://www.iit.upcomillas.es/docs/IIT-09-005A.pdf>
- [12] Monteagudo J. y Gaitán O. “Herramientas para la gestión energética empresarial”. *Scientia et Technica*. 2005, Año XI, N.º 29. Consultado el: 20 de diciembre de 2015. Disponible en: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6639>
- [13] Serna, C. “Gestión energética empresarial una metodología para la reducción de consumo de energía”. *Producción + Limpia*. 2010. Consultado el: 20 de diciembre de 2015. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3875716>
- [14] Gwinner, S. “Análisis técnico y económico de proyectos de eficiencia energética en puerto patache de la compañía minera doña Inés de Collahuasi”. Memoria para optar al título de ingeniero civil electricista. U. De Chile. 2015. Consultado el: 20 de diciembre de 2015. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/133784/Analisis-tecnico-y-economico-de-proyectos-de-eficiencia-energetica-en-Puerto-Patache.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [15] Gutiérrez Pulido, H. *Calidad y Productividad*. Mc Graw Hill. 4ed. 2014. ISBN 6071511488.
- [16] Escalante, Edgardo. (2013). *Seis-Sigma. Metodología y Técnicas*. 2ed. ISBN 9786070504488. Ed. Limusa.
- [17] Ohno, Taiichi. “Toyota production system: beyond large scale production”. *Productivity Pres, Cambridge, MA*, 1988.
- [18] Carretero, A. y García, J. “Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora”. *Aenor Ediciones*. 2012. España. Consultado el: 20 de diciembre de 2015. Disponible en: <http://www.aenor.es/aenor/normas/ediciones/fichae.asp?codigo=9675#.VLQkXyuG83g>
- [19] Cárcel, F y Grau, J. “Supervisión energética para monitorización y control de consumo eléctrico. Un caso práctico”. 2015. *3C Tecnología*. N.º 1, Vol 4. – N.º 1, p.19-31. Consultado el: 20 de diciembre de 2015. Disponible en: <http://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2015/03/SUPERVISI%C3%93N-ENERG%C3%89TICA-PARA-MONITORIZACI%C3%93N-Y-CONTROL-DE-CONSUMO-EL%C3%89CTRICO.-UN-CASO-PR%C3%81CTICO2.pdf>

AUTOR

Carlos Torres Navarro

Profesor Investigador. Magíster en Gestión. Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad del Bío-Bío.
Concepción. Chile
E-mail: ctores@ubiobio.cl

Maria Salete Waltrick

Doutora em Administração. Coordenação de Administração, Universidade Norte do Paraná. Ponta Grossa. Brasil.
E-mail: maria.waltrick@kroton.com.br

Consuelo Flores Canales

Ingeniero Civil Industrial, Universidad del Bío-Bío. Concepción. Chile.
E-mail: consuelo.flores.canales@gmail.com