Machine Translated by Google

RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar El Conocimiento. ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Recepción: 26 de octubre de 2026 | Aceptación: 31 de octubre de 2026 | Publicación: 5 de noviembre de 2026

La eficiencia energética en la industria comienza con el equipo que opera la planta, no con la compra de nuevos equipos.

La eficiencia energética industrial comienza con el equipo que opera la planta, en lugar de con la compra de nuevos equipos.

La eficiencia energética en la industria comienza con los equipos que operan la planta y no con la compra de equipos nuevos.

Adriano Silva da Cruz Santos es

ingeniero químico egresado del Centro Universitario Jorge Amado (UNIJORGE). Es técnico en operaciones de procesos del Servicio Nacional de Formación Industrial (SENAI), Departamento Regional de Bahía. Es miembro del Instituto Americano de Ingenieros Químicos (AIChE).

RESUMEN

La eficiencia energética industrial suele asociarse con la sustitución de equipos y la adopción de nuevas tecnologías. Sin embargo, la literatura sobre la denominada brecha de eficiencia energética demuestra que una parte significativa del potencial de ahorro depende de factores organizativos, de gestión y de comportamiento, incluyendo la forma en que se operan y mantienen las instalaciones.

Este artículo tiene como objetivo analizar el papel de los equipos de operación y mantenimiento en la mejora del rendimiento energético de las plantas de proceso, con especial énfasis en los sectores químico, petroquímico y energético. La investigación adopta un enfoque cualitativo, basado en una revisión narrativa de la literatura científica y un análisis de normas técnicas y documentos de organizaciones internacionales. El análisis abarca las barreras no tecnológicas a la eficiencia, los sistemas de gestión energética, la mejora continua, la reducción de la variabilidad de los procesos, la fiabilidad de los activos, el conocimiento tácito de los operadores y los múltiples beneficios de las medidas de eficiencia. Los resultados indican que las prácticas operativas, las rutinas de mantenimiento, la competencia técnica y los indicadores incorporados al trabajo diario condicionan el rendimiento energético tanto como la tecnología instalada. Se concluye que las inversiones en equipos producen resultados limitados cuando no van acompañadas de una gestión estructurada y la formación de los equipos que toman decisiones operativas a diario.

Palabras clave: Eficiencia energética; Gestión energética; Mejora continua; Fiabilidad de los activos; Industria de procesos.

RESUMEN La

eficiencia energética industrial se asocia comúnmente con la sustitución de equipos y la adopción de nuevas tecnologías. Sin embargo, la literatura sobre la denominada brecha de eficiencia energética muestra que una parte relevante del potencial de ahorro depende de factores organizativos, de gestión y de comportamiento, incluyendo la forma en que se operan y mantienen las instalaciones. Este artículo analiza el papel de los equipos de operaciones y mantenimiento en la mejora del rendimiento energético de las plantas de proceso, con énfasis en los sectores químico, petroquímico y energético. La investigación sigue un enfoque cualitativo, basado en una revisión narrativa de la literatura científica y en el análisis de normas técnicas y documentos de organizaciones internacionales. El análisis abarca las barreras no tecnológicas a la eficiencia, los sistemas de gestión energética, la mejora continua, la reducción de la variabilidad de los procesos, la fiabilidad de los activos, el conocimiento tácito de los operadores y los múltiples beneficios de las medidas de eficiencia. Los hallazgos indican que las prácticas operativas, las rutinas de mantenimiento, la competencia técnica y los indicadores integrados en el trabajo diario influyen en el rendimiento energético tanto como la tecnología instalada. El estudio concluye que las inversiones en equipos generan resultados limitados cuando no van acompañadas de una gestión estructurada y de la formación de los equipos que toman decisiones operativas a diario.

Palabras clave: Eficiencia energética; Gestión energética; Mejora continua; Fiabilidad de los activos; Industria de procesos.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar El Conocimiento. ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Recepción: 26 de octubre de 2026 | Aceptación: 31 de octubre de 2026 | Publicación: 5 de noviembre de 2026

1. INTRODUCCIÓN

La industria se encuentra entre los mayores consumidores de energía del mundo, y la química,

Las industrias petroquímica y de refinación se encuentran entre las más intensivas en este sentido, ya que dependen de grandes cantidades de energía.

Cantidades de calor, vapor, electricidad y combustibles utilizados para convertir las materias primas en productos.

Durante mucho tiempo, el debate sobre la eficiencia energética en estos sectores se ha centrado en las soluciones.

avances tecnológicos, como motores de alta eficiencia, intercambiadores de calor más eficientes y sistemas de

Cogeneración e integración térmica de procesos. Abdelaziz, Saidur y Mekhilef (2011), en una revisión sobre

Las estrategias de ahorro de energía en el sector industrial han demostrado que estas soluciones coexisten con

medidas de carácter administrativo y de política pública, cuya contribución al resultado final suele

Recibe menos atención que la adquisición de nuevos equipos.

Desde el trabajo de Jaffe y Stavins (1994), la literatura económica ha registrado la existencia de una

diferencia persistente entre el potencial de eficiencia energética considerado económicamente viable y

lo que realmente llevan a cabo las empresas. El problema que guía este estudio se refiere a

Una parte de este potencial no depende de la compra de tecnología, sino de la forma en que se cultivan las plantas.

son operados, mantenidos y gestionados diariamente. Backlund et al. (2012) argumentaron que el

La inclusión de prácticas de gestión energética amplía significativamente el potencial de ahorro, y

Este hallazgo respalda la hipótesis de que los equipos de operaciones y mantenimiento ocupan una posición

crucial para el rendimiento energético industrial.

El objetivo de este artículo es analizar, basándose en la literatura científica, las normas técnicas y...

documentos de organizaciones internacionales, como factores organizativos, métodos de mejora

Control continuo de la variabilidad, la fiabilidad de los activos y el conocimiento operativo.

Influyen en la eficiencia energética de las plantas de proceso. El texto está organizado en siete secciones.

desarrollo, que aborda las barreras no tecnológicas, la gestión de la energía y la mejora

continuo, variabilidad del proceso, confiabilidad de los activos, conocimiento tácito y

Múltiples beneficios de la eficiencia, seguidos de la conclusión.

2. METODOLOGÍA

La investigación se caracteriza por ser cualitativa, exploratoria y descriptiva, y fue realizada por

Un método de revisión narrativa de la literatura combinado con análisis de documentos. La elección de la revisión narrativa.

Esto se justifica por la naturaleza interdisciplinaria del tema, que se nutre de contribuciones de la ingeniería química,

desde ingeniería de producción, economía energética, gestión de mantenimiento y psicología

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VII, vol. 2, 2026 | Recepción: 26 de octubre de 2026 | Aceptación: 31 de octubre de 2026 | Publicación: 5 de noviembre de 2026

organizativo. Este tipo de revisión no pretende ser exhaustiva de la producción científica disponible ni
estimar los efectos agregados a través de procedimientos estadísticos, pero permite la agrupación de trabajos de
Referencia, compara sus argumentos y construye una interpretación articulada de la relación entre
Prácticas operativas y rendimiento energético en instalaciones industriales.

La revisión de la literatura consideró bases de datos con amplia cobertura en el campo, como Scopus,
ScienceDirect y Web of Science, además de las listas de referencias de estudios seminales, procedimiento
lo que permitió la identificación de obras citadas con frecuencia en revisiones posteriores. Se utilizaron los siguientes
descriptores en inglés y portugués, incluyendo brecha de eficiencia energética, gestión de energía industrial,
barreras a la eficiencia energética, mejora continua, mantenimiento productivo total, tácito
conocimiento, eficiencia energética industrial y gestión energética. Se priorizaron los artículos publicados en.
revistas revisadas por pares como Energy Policy, Journal of Cleaner Production, Renewable y
Sustainable Energy Reviews, Energy y Journal of Operations Management, así como libros de
Referencias reconocidas por la comunidad académica.

El análisis de documentos abarcó normas técnicas y publicaciones de organismos gubernamentales y
Se examinaron las normas internacionales. La norma ABNT NBR ISO 50001, que establece los requisitos para
sistemas de gestión de energía, la norma ISO 50006, que guía la construcción de líneas base y
Indicadores de desempeño energético, el informe de la Agencia Internacional de Energía sobre el
Múltiples beneficios de la eficiencia energética y directrices técnicas publicadas por agencias gubernamentales
Estados Unidos ha estado estudiando los sistemas de vapor y la integración de la producción ajustada y la energía. Estos estudios...
Los documentos fueron seleccionados por su legitimidad institucional y su disponibilidad pública.
debido a la influencia que ejercen sobre las prácticas adoptadas en la industria.

El material recopilado fue sometido a lectura analítica y organizado en categorías temáticas, a saber:
Barreras no tecnológicas para la eficiencia energética, los sistemas de gestión de la energía y la mejora
variabilidad continua del proceso, confiabilidad de los activos, conocimiento tácito y
La automatización y los múltiples beneficios de las medidas de eficiencia. Una limitación reconocida es...
la naturaleza no exhaustiva de la revisión narrativa, así como el predominio de estudios realizados en
Europa y América del Norte. Parte de la evidencia proviene de distintos sectores industriales de
industria química, que exige precaución al generalizar los resultados e indica la necesidad de
Estudios empíricos específicos en plantas de proceso continuo.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar El Conocimiento. ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Recepción: 26 de octubre de 2026 | Aceptación: 31 de octubre de 2026 | Publicación: 5 de noviembre de 2026

3. La brecha de eficiencia energética y las barreras que no se pueden superar

TECNOLÓGICO

Jaffe y Stavins (1994) sistematizaron el concepto de la brecha de eficiencia energética al discutir por
que las tecnologías que parecen ser económicamente ventajosas no se adoptan a gran escala.
predicho por análisis de ingeniería. Los autores distinguieron diferentes nociones de nivel óptimo de
eficiencia, dependiendo de si solo se consideran las fallas del mercado que pueden corregirse mediante políticas.
factores públicos, así como factores como los costes ocultos, la heterogeneidad entre los consumidores y la incertidumbre.
Esta distinción demostró que parte de la brecha puede explicarse por elementos que los cálculos de
La ingeniería no lo refleja, y abrió la puerta a investigaciones sobre los mecanismos que lo impiden.
Realización del potencial dentro de las propias organizaciones.

Sorrell et al. (2004) exploraron más a fondo esta discusión en un estudio sobre las barreras a la inversión en
Eficiencia energética en las organizaciones europeas. Los autores propusieron una clasificación que incluye
riesgo, información imperfecta, costes ocultos, acceso al capital, incentivos divididos y racionalidad
limitado, y examinó el problema desde tres perspectivas teóricas complementarias, la
económico, conductual y organizacional. La contribución central del estudio fue demostrar
que las barreras no actúan de forma aislada y que factores como la posición de la energía en la estructura de
El poder de la empresa, la atención gerencial disponible y las rutinas establecidas influyen en las decisiones.
tanto como la rentabilidad calculada de los proyectos.

Cagno et al. (2013) propusieron una taxonomía que distingue barreras externas, asociadas con
mercado, a los proveedores, al gobierno y a las instituciones financieras, de barreras internas,
clasificadas como económicas, conductuales, organizativas, basadas en competencias y basadas en la concienciación.
La separación entre estos grupos tiene un valor práctico, ya que indica que muchas de las dificultades afrontadas
porque las empresas están bajo su propio control. Trianni y Cagno (2012), en un estudio empírico con
Las pequeñas y medianas empresas industriales mostraron que la percepción de las barreras varía según...
las características de las empresas y que, además del acceso al capital, factores relacionados con la información y...
Las habilidades técnicas internas influyen en la identificación y la implementación de oportunidades para
eficiencia.

Fleiter, Worrell y Eichhammer (2011) examinaron cómo los modelos de demanda de energía
Los modelos industriales ascendentes representan barreras para la eficiencia. Los autores encontraron que estos
modelos, ampliamente utilizados para estimar ahorros potenciales y orientar políticas públicas,
Suelen abordar las barreras de forma simplificada, a menudo mediante descuentos.
restricciones altas o genéricas a la difusión tecnológica. Esta simplificación conduce a estimaciones que

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VII, vol. 2, 2026 | Recepción: 26 de octubre de 2026 | Aceptación: 31 de octubre de 2026 | Publicación: 5 de noviembre de 2026

Describen lo que sería técnicamente posible, pero proporcionan poca información sobre las condiciones.
Las estructuras organizativas son necesarias para que el potencial se haga realidad, lo que refuerza la importancia de comprender los procesos internos de las empresas.
Backlund et al. (2012) impulsaron este debate al proponer el concepto de brecha de eficiencia extendida.
Los autores argumentaron que los análisis tradicionales consideran principalmente la energía.
adopción de tecnologías eficientes, al tiempo que se incluyen prácticas de gestión de energía, como
Seguimiento sistemático del consumo, definición de responsabilidades y modificación de rutinas.
Los aspectos operativos revelan un potencial adicional significativo. Esta formulación cambia parte de la atención.
desde equipos hasta personas y procesos de trabajo, y respalda el argumento de que una fracción
La relevancia de la eficiencia energética industrial depende de cómo se gestionen las instalaciones.
en la vida cotidiana.

4. La gestión de la energía como práctica organizacional

La norma ABNT NBR ISO 50001 establece los requisitos que las organizaciones deben implementar,
Mantener y mejorar los sistemas de gestión energética, basados en el ciclo planificar, hacer, verificar y actuar (Asociación Brasileña de Normas Técnicas, 2018). Entre sus...
Los elementos clave incluyen la revisión energética, la identificación de los usos energéticos significativos y la definición.
de indicadores de rendimiento energético y líneas de base y el establecimiento de objetivos y
objetivos. La norma también exige que las personas cuyo trabajo afecte al rendimiento energético sean
competentes y conscientes del impacto de sus actividades, un requisito que reconoce formalmente la
El papel de los equipos operativos en el resultado alcanzado.
La norma ISO 50006 complementa este marco al guiar la construcción de líneas base y...
indicadores de rendimiento energético (ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL PARA
ESTANDARIZACIÓN, 2014). El documento enfatiza la necesidad de estandarizar el consumo en
dependiendo de las variables relevantes que la influyen, como el volumen de producción y las condiciones.
Se tienen en cuenta los factores climáticos y las características de la materia prima, por lo que es posible realizar comparaciones a lo largo del tiempo.
reflejar cambios reales en el rendimiento y no solo variaciones de carga. Esta guía tiene
Esto tiene una implicación directa en las operaciones, ya que los indicadores mal construidos pueden atribuir las ganancias al equipo.
o pérdidas resultantes de factores externos a sus acciones.
Schulze et al. (2016) realizaron una revisión sistemática de la literatura sobre la gestión de la energía en la industria.
y propuso un modelo conceptual integrador compuesto por cinco elementos, a saber, estrategia y
Planificación, implementación y operación, control, organización y cultura. Al incluir la organización

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar El Conocimiento. ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Recepción: 26 de octubre de 2026 | Aceptación: 31 de octubre de 2026 | Publicación: 5 de noviembre de 2026

y la cultura entre los elementos del modelo, junto con las dimensiones técnicas y de control, los autores
Reconocieron que el desempeño energético también depende de las estructuras de rendición de cuentas y...
valores compartidos entre los empleados. Esta formulación es relevante porque indica que...
La existencia de procedimientos formales no garantiza, por sí sola, que el rendimiento energético sea...
incorporado a las decisiones cotidianas de quienes operan sistemas que consumen energía.
Palm y Thollander (2010) abogaron por una perspectiva interdisciplinaria para el estudio de la eficiencia.
energía industrial, argumentando que los enfoques puramente técnicos o económicos no
Explican por qué empresas con condiciones similares muestran resultados tan diferentes. En el trabajo
Más tarde, Thollander y Palm (2013) reunieron evidencia sobre auditorías energéticas, gestión de
energía y programas públicos, y demostraron que la continuidad de los resultados depende de las estructuras.
estructuras organizativas que asignan responsabilidades para la energía, rutinas de monitoreo y...
Compromiso de la alta dirección. En ausencia de estos elementos, los ahorros obtenidos en las auditorías
Tienden a disiparse con el tiempo.
La síntesis de estas contribuciones nos permite comprender la gestión energética como una práctica organizativa.
y no solo como un conjunto de proyectos de ingeniería. En las plantas de proceso, una gran parte de la
variables que determinan el consumo, como temperaturas de funcionamiento, relaciones de reflujo, exceso de
La presión del aire en los hornos, la presión del vapor y la alineación de los equipos se ajustan continuamente mediante
Equipos de turno. La norma ABNT NBR ISO 50001 y el modelo de Schulze et al. (2016) convergen.
indicando que la eficiencia solo se vuelve sostenible cuando estas decisiones están guiadas por
Indicadores comprensibles, objetivos claros y retroalimentación sobre el efecto de cada acción en
rendimiento energético.

5. Mejora continua y lucha contra las pérdidas invisibles

Los fundamentos de la mejora continua se remontan al trabajo de Shewhart (1939), quien propuso un ciclo de
Especificación, producción e inspección como proceso de aprendizaje científico aplicado a la calidad.
Posteriormente se popularizó como el ciclo de planificar, hacer, verificar y actuar. Deming (1986) amplió este concepto.
Esta formulación argumentaba que la mayoría de los problemas de rendimiento provienen del sistema de
trabajo, cuya responsabilidad recae en la dirección, y no en la conducta individual de los trabajadores.
Según el autor, para mejorar los resultados es necesario comprender la variación presente en los procesos y crear las condiciones adecuadas.
para que las personas que trabajan en ellas contribuyan con conocimiento e iniciativa, un principio que...
Esto se aplica directamente al consumo de energía.
Imai (1986) popularizó el concepto de kaizen, entendido como mejora gradual y continua y

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar El Conocimiento. ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Recepción: 26 de octubre de 2026 | Aceptación: 31 de octubre de 2026 | Publicación: 5 de noviembre de 2026

involucrando a todos los niveles de la organización, en contraste con las estrategias basadas exclusivamente en en las principales innovaciones tecnológicas. Bessant, Caffyn y Gallagher (2001) investigaron cómo la La capacidad de mejora continua se desarrolla dentro de las empresas, y propusieron un modelo evolutivo en... que esta capacidad se construye progresivamente, a través del aprendizaje y la consolidación de Rutinas de comportamiento específicas. Los autores demostraron que la mejora continua no surge de... La adopción de herramientas no se produce de forma espontánea, ya que depende de prácticas que deben cultivarse. Se ha fortalecido e integrado en la estrategia de la organización con el paso del tiempo.

El sistema de producción de Toyota, descrito por Ohno (1997), organizó la eliminación de desperdicios en girando en torno a categorías como sobreproducción, espera, transporte, sobreprocesamiento, inventarios, movimiento y defectos. Womack y Jones (1996) sintetizaron esta experiencia en los principios de El pensamiento Lean se centra en definir el valor, mapear el flujo y la producción bajo demanda. y en la búsqueda de la perfección. Liker (2004) destacó que el éxito de este modelo depende de principios como observación directa del lugar de trabajo y del desarrollo de las personas involucradas, lo que proporciona Los equipos de primera línea desempeñan un papel activo en la identificación de pérdidas y la propuesta de soluciones.

La energía no figura explícitamente entre las categorías clásicas de pensamiento desperdiciado. Concisa, aunque está presente en casi todas ellas. La guía publicada por la Agencia de Protección. La Comisión Ambiental de los Estados Unidos sobre la integración de la producción ajustada y la energía observa que Las iniciativas de mejora tradicionales suelen generar ahorros de energía, pero hay que prestar atención a esto. La divulgación explícita del consumo de energía permite obtener beneficios sustancialmente mayores (ESTADOS). (UNITED, 2007). El documento propone que el uso de energía se incorpore al mapeo de flujo de valor y eventos de mejora, para que los equipos comiencen a reconocer el consumo. innecesario como pérdida que puede eliminarse.

La transposición de estos métodos a la industria de procesos continuos requiere adaptación, ya que Fueron diseñados en contextos de fabricación discretos. En plantas químicas y petroquímicas, Las pérdidas de energía adoptan formas específicas, como el vapor que se libera por las trampas de vapor defectuosas. Aislamiento térmico dañado, exceso de aire en la cámara de combustión, sobrecalentamiento y Equipos en funcionamiento sin la demanda correspondiente. La guía del Departamento de Energía sobre El informe sobre los sistemas de vapor de Estados Unidos describe varias de estas oportunidades y destaca que muchas Estos problemas pueden detectarse mediante inspecciones periódicas, ajustes operativos y mantenimiento. adecuado, sin necesidad de inversiones significativas en nuevos equipos (ESTADOS) UNIDOS, 2012).

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar El Conocimiento. ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Recepción: 26 de octubre de 2026 | Aceptación: 31 de octubre de 2026 | Publicación: 5 de noviembre de 2026

6. Variabilidad del proceso, Six Sigma y control avanzado

Comprender la variabilidad es uno de los principios fundamentales del control estadístico de procesos.
Shewhart (1939) distinguió entre las causas comunes de variación, inherentes al sistema, y las causas especiales.
asociada a sucesos identificables, y esta distinción sigue siendo fundamental en la literatura contemporánea.
Montgomery (2013) muestra que los gráficos de control y los análisis de capacidad permiten
para diferenciar entre estas dos fuentes y orientar la acción correctiva apropiada para cada una. En los procesos químicos,
La variabilidad en la temperatura, la presión, la composición y el caudal afecta no solo a la calidad del producto,
pero también la cantidad de energía necesaria para mantener el funcionamiento dentro de las especificaciones.
La metodología Six Sigma, desarrollada en Motorola y difundida por empresas como General
La gestión eléctrica fue descrita por Harry y Schroeder (2000) como una estrategia de gestión orientada a reducir
defectos y variaciones en los procesos. Su hoja de ruta más conocida organiza los proyectos en etapas de
Definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Schroeder et al. (2008) analizaron la base teórica de
método y lo definió como una estructura organizada, paralela a la jerarquía formal, destinada a
reducir la variación en los procesos a través de especialistas en mejora, un método estructurado y
Métricas de desempeño, con el objetivo de alcanzar las metas estratégicas de la organización.
Linderman et al. (2003) examinaron Six Sigma a la luz de la teoría del establecimiento de objetivos y
Argumentaron que la combinación de objetivos específicos y desafiantes y un método estructurado de
La resolución de problemas explica parte de la eficacia observada. Los autores enfatizaron que los objetivos son muy específicos.
Los objetivos ambiciosos, cuando carecen de método y entrenamiento, pueden conducir a la frustración y...
Comportamientos indeseables. Esta observación es relevante para la gestión de la energía, ya que los objetivos de
Se establecen reducciones de consumo sin que los equipos cuenten con los análisis y las herramientas necesarias.
La autonomía para actuar sobre las variables del proceso tiende a producir resultados inconsistentes.
El control avanzado de procesos ofrece otra forma de reducir la variabilidad. Bauer y Craig (2008)
Realizaron una encuesta entre usuarios y proveedores de esta tecnología y propusieron una
Un punto de referencia para evaluar sus beneficios económicos. El mecanismo central descrito en la literatura.
Esto implica reducir la dispersión de las variables controladas, lo que permite desplazar el punto medio.
La operación se acerca a las restricciones del proceso sin aumentar el riesgo de violarlas. Entre las
Entre los beneficios asociados a esta reubicación se incluyen una mayor capacidad y una mejor productividad.
y la reducción del consumo de energía, resultados que dependen tanto del rendimiento de los controladores
en cuanto a su aceptación por parte de los equipos operativos.
La relación entre variabilidad y consumo de energía es particularmente clara en
Márgenes de seguridad operacionales adoptados por los equipos. Cuando el proceso fluctúa, los operadores

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VII, vol. 2, 2026 | Recepción: 26 de octubre de 2026 | Aceptación: 31 de octubre de 2026 | Publicación: 5 de noviembre de 2026

Suelen mantener las variables alejadas de los límites de especificación mediante una purificación que va más allá de...
Se requieren temperaturas de calefacción más altas o mayores caudales de servicios públicos para evitar
Productos que no cumplen con las especificaciones. Estos márgenes consumen energía de forma continua y poco frecuente.
Aparecen en los indicadores como una pérdida. La reducción de la variabilidad, ya sea por métodos estadísticos o por
El control avanzado, o la estandarización de los procedimientos, permite reducir estos márgenes con...
Garantiza la seguridad y convierte la disciplina operativa en ahorros de energía cuantificables.

7. Confiabilidad y mantenimiento de activos como fuentes de EFICIENCIA

Nakajima (1988) presentó el mantenimiento productivo total como un sistema destinado a maximizar
La efectividad del equipo, con la participación de todos los niveles de la organización. El autor propuso que...
Eficacia general del equipo como indicador que combina disponibilidad, rendimiento y
calidad, e identificó seis pérdidas importantes, incluidas las pérdidas por averías, configuración y ajustes,
paradas menores, velocidad reducida, defectos y fallos de arranque. Cada uno de estos
Las pérdidas tienen una contraparte energética, ya que el equipo que se detiene, funciona a un ritmo reducido o
Al generar productos que no cumplen con las especificaciones, continúan consumiendo energía sin producir valor.
correspondiente.
Uno de los pilares del mantenimiento productivo total es el mantenimiento autónomo, en el que los operadores
Realizan tareas básicas como limpiar, inspeccionar, lubricar y ajustar el equipo que
conducta (NAKAJIMA, 1988). La propuesta se basa en el principio de que quienquiera que opere el equipo
Cuando lo haces a diario, estás en una mejor posición para percibir cambios sutiles en el ruido, la vibración, la temperatura y
fugas. Esta proximidad permite la detección de anomalías en una etapa temprana, antes de que se conviertan en
Fallos funcionales. Desde el punto de vista energético, la detección temprana previene pérdidas como
Pueden persistir las fugas de vapor, el calentamiento anormal de los cojinetes y la degradación del aislamiento.
durante semanas o meses sin registrarse.
Moubray (1997) sistematizó el mantenimiento centrado en la confiabilidad, un enfoque que comienza desde
Las funciones requeridas de cada activo para identificar sus modos de fallo y las consecuencias de dichos fallos.
y las tareas de mantenimiento técnicamente apropiadas. El autor describió el intervalo entre el momento
el punto en el que un fallo potencial se vuelve detectable y el punto en el que se convierte en un fallo funcional.
El concepto que subyace al mantenimiento basado en condiciones. Este intervalo es especialmente
Esto es relevante para la eficiencia energética porque muchos equipos siguen funcionando durante el
degradación, con rendimiento progresivamente menor, sin que la pérdida sea percibida por

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar El Conocimiento. ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Recepción: 26 de octubre de 2026 | Aceptación: 31 de octubre de 2026 | Publicación: 5 de noviembre de 2026

Indicadores de disponibilidad tradicionales.

La acumulación de incrustaciones en los intercambiadores de calor ilustra esta relación de manera ejemplar. Macchietto et al. (2011) Señalaron que la causa era la acumulación de residuos en los tanques de precalentamiento de petróleo de las refinerías. Se observaron importantes problemas de ineficiencia energética y se tomaron nota de los métodos de diseño convencionales. Se limitaban a acomodar la incrustación, en lugar de prevenirla. La metodología de integración térmica La propuesta de Linnhoff y Hindmarsh (1983) y detallada por Kemp (2007) permite el diseño de redes de intercambiadores de calor que maximizan la recuperación de calor, pero el beneficio obtenido en el diseño depende de Mantener el rendimiento térmico durante toda la operación requiere monitoreo y Planificación de la limpieza.

Los sistemas de servicios públicos ofrecen más ejemplos de pérdidas asociadas con la condición de Equipos. Guía del Departamento de Energía de los Estados Unidos sobre sistemas de vapor. Recomienda programas de inspección regulares para trampas de vapor, reparación de fugas y recuperación de... Condensación, mantenimiento del aislamiento térmico y ajuste de la combustión en calderas (ESTADOS) UNITED, 2012). Saidur (2010), en una revisión sobre motores eléctricos, demostró que estos dispositivos Representan una parte significativa del consumo de electricidad industrial y operan fuera de En el punto correcto, el sobredimensionamiento y la ausencia de control de velocidad aumentan las pérdidas. La Tabla 1 resume estas relaciones entre los mecanismos de pérdida y las prácticas de operación y mantenimiento.

Tabla 1 – Mecanismos de pérdida de energía asociados con la operación y el mantenimiento de la planta proceso

Sistema	Mecanismo de pérdida	Práctica de operación o mantenimiento	Referencia
Intercambiadores de calor	La acumulación de incrustaciones reduce la recuperación de calor y aumenta la carga de calor.	Supervisar el rendimiento térmico y planificar la limpieza.	Macchietto et al. (2011) y Kemp (2007)
Sistemas de vapor	Trampas de vapor defectuosas, fugas y aislamiento dañado.	Inspección periódica, reparación de fugas y recuperación de condensado.	Estados Unidos (2012)
Hornos y calderas	Ajuste incorrecto de la combustión	Supervisar y ajustar la relación aire-combustible.	Estados Unidos (2012)
Motores, bombas y ventiladores	Operación fuera del punto adecuado y sobredimensionamiento	Revisión de las condiciones de funcionamiento y control de velocidad	Saidur (2010)
Control proceso	Amplios márgenes operativos para compensar la variabilidad.	Reducir la variabilidad y operar cerca de los límites.	Bauer y Craig (2008)

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar El Conocimiento. ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Recepción: 26 de octubre de 2026 | Aceptación: 31 de octubre de 2026 | Publicación: 5 de noviembre de 2026

Sistema	Mecanismo de pérdida	Práctica de operación o mantenimiento	Referencia
Equipos en general	Descansos, paradas breves, arranques y	Mantenimiento autónomo y detección temprana de anomalías	Nakajima (1988)

desaceleración. Fuente: elaborado por el autor a partir de las referencias proporcionadas.

8. Conocimiento tácito, competencia operativa y las paradojas de AUTOMATIZACIÓN

Polanyi (1966) formuló la noción de conocimiento tácito al afirmar que las personas saben más que que son capaces de expresar. Este tipo de conocimiento, construido a través de la experiencia y la práctica, Incluye la capacidad de reconocer patrones, interpretar señales ambiguas y actuar en función de las percepciones. difícil de formalizar. En las plantas de proceso, el conocimiento tácito se manifiesta de la manera en que Los operadores experimentados anticipan el comportamiento de las columnas de destilación, los hornos y los compresores. Ante cambios en la carga, las materias primas o las condiciones ambientales, este conocimiento resulta influyente. Se relaciona directamente con la eficiencia con la que se utiliza la energía en cada momento de funcionamiento.

Nonaka y Takeuchi (1995) propusieron un modelo para la creación de conocimiento organizacional. basado en la conversión continua entre conocimiento tácito y explícito, en cuatro modos llamados socialización, externalización, combinación e internalización. Los autores argumentaron que la ventaja La competitividad de una empresa depende de su capacidad para aprovechar el conocimiento tácito de las personas. y convertirlo en conocimiento compartido. En el contexto de la eficiencia energética, este proceso Esto corresponde a la transformación de buenas prácticas operativas individuales en procedimientos y parámetros. materiales de referencia y recursos de capacitación, para que el desempeño no dependa exclusivamente de experiencia de los que están de servicio.

Rasmussen (1983) distinguió tres niveles de desempeño humano en sistemas técnicos, basados en: habilidades, reglas y conocimientos. El comportamiento basado en habilidades corresponde a Las acciones automatizadas, acciones basadas en reglas, implican la aplicación de procedimientos conocidos a Se movilizan situaciones reconocidas y enfoques basados en el conocimiento frente a nuevas situaciones, que Requieren razonamiento analítico. La optimización energética de una unidad de proceso a menudo Esto pertenece al último nivel, ya que implica comprender las interacciones entre variables y evaluar... compromisos entre consumo, ingresos y calidad, y decidir en condiciones que ninguno El procedimiento se describe detalladamente.

Bainbridge (1983) describió las ironías de la automatización al observar que la automatización de tareas Las tareas rutinarias tienden a dejar las situaciones más difíciles al operador humano, mientras que también

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VII, vol. 2, 2026 | Recepción: 26 de octubre de 2026 | Aceptación: 31 de octubre de 2026 | Publicación: 5 de noviembre de 2026

tiempo, lo que reduce las oportunidades de practicar las habilidades necesarias para lidiar con ellos.
El autor argumentó que los operadores que solo supervisan sistemas automatizados salen perjudicados.
gradualmente conduce a una comprensión detallada del proceso. Este hallazgo tiene implicaciones para la
Eficiencia energética, puesto que los sistemas de control y optimización dependen de operadores capaces de...
evaluar si las acciones automatizadas tienen sentido, identificar cuándo están en funcionamiento los controladores.
fuera de sus instalaciones e intervenir de manera apropiada.
La conexión entre estas contribuciones indica que la competencia operativa constituye un recurso.
Estratégico para el rendimiento energético, y no solo un requisito de seguridad o calidad.
Se cumplen los requisitos de competencia y conocimiento establecidos en la norma ABNT NBR ISO 50001.
La base teórica de estos estudios muestra que el conocimiento necesario para operar
Una planta eficiente se construye en gran medida en la práctica y necesita ser diseñada cuidadosamente.
compartido. Programas de capacitación que combinan los fundamentos de la termodinámica y de
Las operaciones unitarias, combinadas con el análisis de casos reales de las propias instalaciones, tienden a favorecer esta opción.
La conversión del conocimiento individual en capacidad organizativa.

9. Múltiples beneficios y comportamientos en el lugar de trabajo

Worrell et al. (2003) analizaron más de 70 estudios de casos industriales y encontraron que las medidas
Las medidas de eficiencia energética suelen generar beneficios que van más allá del ahorro energético.
tales como mayor productividad, menores costos de mantenimiento y mejor calidad de
producto, reducción de residuos y mejora de las condiciones laborales. Los autores demostraron que, en
En el caso de la industria siderúrgica estadounidense, incluir estos beneficios en el modelo duplicaría el potencial.
el potencial de eficiencia considerado económicamente viable en comparación con un análisis
limitado al valor de la energía ahorrada. Este hallazgo cambia la forma en que se diseñan los proyectos.
Se debe evaluar la eficiencia.
La Agencia Internacional de Energía consolidó esta perspectiva en un informe dedicado a los beneficios.
La eficiencia energética abarca múltiples aspectos, incluyendo sus efectos en la economía, la salud y la seguridad.
Energía y competitividad industrial (AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA, 2014).
El documento registra que cuando se incorporaron los beneficios de productividad y operativos
En un análisis de las inversiones en eficiencia en la industria, el período de recuperación de las medidas disminuyó de 4,2 a
1,9 años. Esta diferencia indica que la evaluación basada únicamente en el ahorro energético subestima el coste.
evaluar sistemáticamente el valor de las mejoras, incluidas aquellas que dependen predominantemente de
Cambios operativos y de mantenimiento.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VII, vol. 2, 2026 | Recepción: 26 de octubre de 2026 | Aceptación: 31 de octubre de 2026 | Publicación: 5 de noviembre de 2026

El comportamiento de las personas en el lugar de trabajo constituye otra dimensión relevante. Lo, Peters
Kok (2012) revisó estudios sobre los determinantes de los comportamientos proambientales en
organizaciones e intervenciones destinadas a promoverlas, incluidas acciones centradas en la economía.
de energía. Los autores identificaron que factores como las actitudes, las normas sociales, los hábitos y la percepción
Los factores de control influyen en estos comportamientos y observaron que la base empírica para las intervenciones
En contextos organizacionales, aún era limitado y metodológicamente heterogéneo, lo que recomienda
Se debe tener precaución al generalizar los resultados obtenidos en estudios aislados.
Carrico y Riemer (2011) evaluaron, en un estudio de campo realizado en un entorno laboral, los efectos
De dos estrategias para fomentar el ahorro de energía, la devolución de información sobre el consumo
a nivel grupal y educación entre pares. Los resultados indicaron reducciones en el consumo.
en comparación con las condiciones de control, lo que sugiere que la visibilidad del rendimiento
La interacción colectiva y la influencia de los pares pueden impulsar el cambio de comportamiento. Aunque el estudio
Aunque se llevó a cabo en edificios administrativos, sus principios dialogan con la lógica de
Indicadores de turno y rutinas de monitoreo adoptadas en plantas industriales.
Para trasladar estos hallazgos a la industria de procesos, es necesario considerar que el comportamiento
La relevancia energética de los operadores está menos ligada a los hábitos individuales, como apagar los aparatos.
iluminación o equipos de oficina, y más asociados con decisiones técnicas respecto al funcionamiento de
proceso. Aun así, los mecanismos identificados en la literatura, como la visibilidad de los resultados,
El ciclo de retroalimentación y las normas compartidas del grupo se aplican a este contexto.
Indicadores de rendimiento energético presentados por turno, discutidos durante los traspasos de servicio y
Al estar vinculados a objetivos comprensibles, tienden a convertir el consumo de energía en una variable de proceso.
El enfoque se supervisa con la misma atención que la producción y la calidad.

10. CONCLUSIÓN

El análisis desarrollado en este artículo nos permite afirmar que la eficiencia energética industrial no puede
se reducirá al reemplazo de equipos. La literatura sobre la brecha de eficiencia energética,
El trabajo iniciado por Jaffe y Stavins y desarrollado posteriormente por estudios subsiguientes muestra que una porción significativa
del potencial de crecimiento económico permanece sin explotar por razones que no son tecnológicas, pero
Factores organizativos, de gestión y de comportamiento, muchos de ellos bajo el control directo de los propios individuos.
empresas.
Las taxonomías de barreras examinadas muestran que la falta de información y habilidades...
Las limitaciones de supervisión interna y gerencial restringen la realización del potencial con la misma intensidad que...

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google
RCMOS – Revista Científica Multidisciplinar El Conocimiento. ISSN: 2675-9128. São Paulo-SP.

Año VII, vol. 2, 2026 | Recepción: 26 de octubre de 2026 | Aceptación: 31 de octubre de 2026 | Publicación: 5 de noviembre de 2026

restricciones de capital. La propuesta de brecha ampliada refuerza esta interpretación al demostrar que las prácticas
Las prácticas de gestión energética amplían el potencial de ahorro más allá de lo que se podría lograr únicamente con el ahorro de energía.
La tecnología, que sitúa las rutinas laborales y a las personas que las realizan en el centro del debate.
Los sistemas de gestión de energía proporcionan el marco necesario para transformar la eficiencia en
Práctica permanente. Las normas ABNT NBR ISO 50001 e ISO 50006 establecen indicadores,
Requisitos básicos y de competencias que reconocen formalmente el papel de los equipos.
El modelo de Schulze et al., al incluir la cultura entre sus elementos, indica, sin embargo, que
Los procedimientos formales no son suficientes cuando no hay una participación efectiva de los empleados, una condición
necesario para que estos sistemas influyan en las decisiones cotidianas.
Métodos de mejora continua, desde el ciclo propuesto por Shewhart hasta las prácticas del Sistema de Producción Toyota.
en la producción, proporcionan herramientas para identificar y eliminar las pérdidas de energía que rara vez
Aparecen en los indicadores tradicionales. La experiencia documentada por la agencia ambiental norteamericana-
Estudios estadounidenses indican que prestar atención explícita a la energía amplifica los beneficios de estas iniciativas, siempre que...
Los métodos deben adaptarse a las características de la industria de procesos continuos y a las formas.
funciones específicas que desempeñan los residuos en este entorno.
Se ha demostrado que la reducción de la variabilidad de los procesos es un vínculo importante entre la calidad y la productividad.
y consumo de energía. Amplios márgenes operativos, adoptados para compensar las fluctuaciones, consumen
Suministro de energía continuo y silencioso. Métodos estadísticos, proyectos de mejora estructurados y
Los controles avanzados le permiten reducir estos márgenes de forma segura, pero los resultados dependen
de objetivos bien definidos, formación adecuada y aceptación por parte de los equipos que trabajan juntos
interacciones diarias con los sistemas de control.

La fiabilidad de los activos y la calidad del mantenimiento son cruciales para preservar el rendimiento.
Energía obtenida del proyecto. Incrustaciones en intercambiadores de calor, fallos en trampas de vapor, combustión.
Los sistemas y equipos desalineados que operan fuera de sus parámetros adecuados representan pérdidas acumuladas.
con el tiempo. El mantenimiento autónomo y el mantenimiento basado en condiciones se asignan a
Los operadores desempeñan un papel central en la detección temprana de estas pérdidas, antes de que se conviertan en fallas o en
Consumo excesivo prolongado.
El conocimiento tácito de los operadores y las paradojas de la automatización muestran que la tecnología,
De forma aislada, no garantiza un funcionamiento eficiente. Sistemas de control cada vez más sofisticados.
Requieren operadores capaces de comprender el proceso en profundidad y evaluar la idoneidad de...
Acciones automáticas e intervención en situaciones imprevistas. La conversión de este conocimiento individual.
en los procedimientos, los parámetros de referencia y los programas de capacitación constituyen una condición para
El rendimiento energético no depende de la experiencia de unas pocas personas.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VII, vol. 2, 2026 | Recepción: 26 de octubre de 2026 | Aceptación: 31 de octubre de 2026 | Publicación: 5 de noviembre de 2026

Finalmente, considerando los múltiples beneficios, se demuestra que la evaluación de las medidas de eficiencia...
Basarse únicamente en el valor de la energía ahorrada subestima su retorno real, especialmente en el caso de...
Mejoras operativas y de mantenimiento. Se concluye que las inversiones en equipos producen...
Se obtienen resultados limitados cuando no se acompaña de una gestión estructurada e indicadores integrados.
a la rutina y el entrenamiento de los equipos. Se recomienda, para futuras investigaciones, realizar estudios.
estudios empíricos en plantas químicas y petroquímicas que cuantifican la contribución relativa de las prácticas
Soluciones operativas y tecnológicas para el rendimiento energético.

REFERENCIAS

ABDELAZIZ, EA; SAIDUR, R.; MEKHILEF, S. Una revisión de las estrategias de ahorro de energía en el sector industrial. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, n.º 1, págs. 150-168, 2011.

Asociación Brasileña de Normas Técnicas. NBR ISO 50001: Sistemas de gestión de la energía, requisitos y guía de uso. Río de Janeiro: ABNT, 2018.

BACKLUND, S. et al. Ampliando la brecha de eficiencia energética. Energy Policy, vol. 51, págs. 392-396, 2012.

BAINBRIDGE, L. Ironías de la automatización. Automatica, vol. 19, n.º 6, págs. 775-779, 1983.

BAUER, M.; CRAIG, IK Evaluación económica del control avanzado de procesos: un estudio y un marco de referencia. Journal of Process Control, vol. 18, n.º 1, págs. 2-18, 2008.

BESSANT, J.; CAFFYN, S.; GALLAGHER, M. Un modelo evolutivo del comportamiento de mejora continua. Technovation, vol. 21, n.º 2, págs. 67-77, 2001.

CAGNO, E. et al. Un enfoque novedoso para las barreras a la eficiencia energética industrial. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 19, págs. 290-308, 2013.

CARRICO, AR; RIEMER, M. Motivación para el ahorro de energía en el lugar de trabajo: una evaluación del uso de la retroalimentación grupal y la educación entre pares. Journal of Environmental Psychology, vol. 31, n.° 1, págs. 1-13, 2011.

DEMING, WE. Fuera de la crisis. Cambridge, MA: Centro de Estudios Avanzados de Ingeniería del MIT, 1986.

ESTADOS UNIDOS. Agencia de Protección Ambiental. El conjunto de herramientas para la eficiencia energética. Washington, DC: EPA, 2007.

ESTADOS UNIDOS. Departamento de Energía. Mejora del rendimiento de los sistemas de vapor: una guía para la industria. 2.ª ed. Washington, DC: DOE, 2012.

FLEITER, T.; WORRELL, E.; EICHHAMMER, W. Barreras para la eficiencia energética en modelos de demanda energética ascendentes industriales: una revisión. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, n.º 6, págs. 3099-3111, 2011.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VII, vol. 2, 2026 | Recepción: 26 de octubre de 2026 | Aceptación: 31 de octubre de 2026 | Publicación: 5 de noviembre de 2026

HARRY, M.; SCHROEDER, R. Six Sigma: la innovadora estrategia de gestión que está revolucionando las principales corporaciones del mundo. Nueva York: Currency, 2000.

IMAI, M. Kaizen: la clave del éxito competitivo de Japón. Nueva York: Random House, 1986.

AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA. Aprovechando los múltiples beneficios de la eficiencia energética. París: OCDE/AIE, 2014.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN. ISO 50006: Sistemas de gestión de la energía, medición del rendimiento energético mediante líneas de base energéticas (EnB) e indicadores de rendimiento energético (EnPI), principios generales y directrices. Ginebra: ISO, 2014.

JAFFE, AB; STAVINS, RN La brecha de eficiencia energética: ¿qué significa? Energy Policy, vol. 22, n.º 10, págs. 804-810, 1994.

KEMP, Análisis de puntos de inflexión e integración de procesos: una guía para el usuario sobre la integración de procesos para el uso eficiente de la energía. 2.ª ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007.

LIKER, JK El método Toyota: 14 principios de gestión del mayor fabricante del mundo. Nueva York: McGraw-Hill, 2004.

LINDERMAN, K. et al. Six Sigma: una perspectiva basada en la teoría de objetivos. Journal of Operations Management, vol. 21, n.º 2, págs. 193-203, 2003.

LINNHOFF, B.; HINDMARSH, E. El método de diseño de punto de estrangulamiento para redes de intercambiadores de calor. Chemical Engineering Science, vol. 38, n.º 5, págs. 745-763, 1983.

LO, SH; PETERS, G.-JY; KOK, G. Una revisión de los determinantes y las intervenciones para las conductas proambientales en las organizaciones. Journal of Applied Social Psychology, vol. 42, núm. 12, págs. 2933-2967, 2012.

MACCHIETTO, S. et al. Incrustaciones en trenes de precalentamiento de petróleo crudo: una solución sistemática a un problema antiguo. Ingeniería de Transferencia de Calor, vol. 32, núm. 3-4, págs. 197-215, 2011.

MONTGOMERY, DC Introducción al control estadístico de calidad. 7.ª ed. Hoboken: Wiley, 2013.

MOUBRAY, J. Mantenimiento centrado en la fiabilidad. 2.ª ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997.

NAKAJIMA, S. Introducción al TPM: mantenimiento productivo total. Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.

NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. La empresa creadora de conocimiento: cómo las empresas japonesas generan la dinámica de la innovación. Nueva York: Oxford University Press, 1995.

OHNO, T. El sistema de producción Toyota: más allá de la producción a gran escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PALM, J.; THOLLANDER, P. Una perspectiva interdisciplinaria sobre la eficiencia energética industrial. Energía Aplicada, vol. 87, n.º 10, págs. 3255-3261, 2010.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.

Machine Translated by Google

Año VII, vol. 2, 2026 | Recepción: 26 de octubre de 2026 | Aceptación: 31 de octubre de 2026 | Publicación: 5 de noviembre de 2026

POLANYI, M. La dimensión tácita. Garden City: Doubleday, 1966.

RASMUSSEN, J. Habilidades, reglas y conocimientos; señales, signos y símbolos, y otras distinciones en los modelos de desempeño humano. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. SMC-13, n.º 3, págs. 257-266, 1983.

SAIDUR, R. Una revisión sobre el uso de energía y el ahorro de energía en motores eléctricos. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 14, n.º 3, págs. 877-898, 2010.

SCHROEDER, RG et al. Six Sigma: definición y teoría subyacente. Journal of Operations Management, vol. 26, n.º 4, págs. 536-554, 2008.

SCHULZE, M. et al. Gestión energética en la industria: una revisión sistemática de hallazgos previos y un marco conceptual integrador. Journal of Cleaner Production, vol. 112, págs. 3692-3708, 2016.

SHEWHART, WA. Métodos estadísticos desde el punto de vista del control de calidad. Washington, DC: Escuela de Posgrado del Departamento de Agricultura, 1939.

SORRELL, S. et al. La economía de la eficiencia energética: barreras para una inversión rentable. Cheltenham: Edward Elgar, 2004.

THOLLANDER, P.; PALM, J. Mejora de la eficiencia energética en los sistemas energéticos industriales: una perspectiva interdisciplinaria sobre barreras, auditorías energéticas, gestión energética, políticas y programas. Londres: Springer, 2013.

TRIANNI, A.; CAGNO, E. Abordar las barreras a la eficiencia energética y las PYMES: algunas evidencias empíricas. Energy, vol. 37, n.º 1, págs. 494-504, 2012.

WOMACK, JP; JONES, DT Pensamiento Lean: elimine el desperdicio y cree riqueza en su empresa. Nueva York: Simon & Schuster, 1996.

WORRELL, E. et al. Beneficios de productividad de las medidas de eficiencia energética industrial. Energy, vol. 28, n.º 11, págs. 1081-1098, 2003.

Este artículo se publica en acceso abierto bajo la licencia Creative Commons Attribution, que permite el uso, la distribución y la reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se cite correctamente la obra original.