

Republica de Cuba
Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”
Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente “CEEMA”

**Herramientas soporte para la planificación energética en
sistemas de gestión de la energía según la Norma ISO
50001:2011**

Tesis en opción al título de Máster en Eficiencia Energética

Autor:
Ing. Andrés Pérez Campo

Tutor:
Dr. Aníbal Borroto Nordelo

Cienfuegos
2012

Declaratoria del autor:

Hago constar que la presente investigación fue realizada en la Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez” como parte de la Maestría en Eficiencia Energética, autorizando a que la misma sea utilizada por la institución para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentada en eventos ni publicada sin la aprobación de la Universidad de Cienfuegos.

Ing. Andrés Pérez Campo

Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido revisado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática reseñada.

Nombre y Apellido. Firma

Información Científico – Técnica

Nombre y Apellidos. Firma

Computación

Dr. Aníbal Borroto Nordelo

Tutor

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a mi tutor, Dr. Aníbal Borroto Nordelo, quien durante todo el desarrollo de este trabajo fue siempre guía, soporte, disposición y motivación. Su experiencia y conocimiento fueron indispensables para el logro del objetivo de este trabajo en el tiempo planeado.

SÍNTESIS

En este trabajo se presenta y explica el uso de herramientas de apoyo para la fase de planificación energética en sistemas de gestión de la energía según la Norma ISO 50001, como contribución a la necesidad de contar con un documento guía en donde se recopilen las posibles herramientas que faciliten el cumplimiento de los requisitos de esta fase.

Se realizó un análisis de los requisitos de la fase planificación energética en los principales sistemas de gestión de la energía, normalizados y no normalizados, anteriores a la Norma ISO 50001, lográndose identificar las herramientas que se han propuesto para su cumplimiento en cada uno de éstos. Del mismo modo, se estudiaron los requisitos de esta fase en la ISO 50001 con el propósito de identificar sus objetivos dentro del sistema de gestión. Todo ello permitió organizar las herramientas consideradas idóneas para su cumplimiento, de las cuales se hizo una descripción y una explicación de su procedimiento de aplicación para resaltar su utilidad.

En este trabajo se proponen dos nuevas herramientas para la gestión de la energía: La CUSUM tabular e indicadores de eficiencia energética. La primera permite una rápida detección de cambios pequeños en un indicador de desempeño energético, mientras que la segunda, representa una alternativa muy efectiva para la medida y seguimiento de la eficiencia energética en organizaciones industriales.

Se elaboró un diagrama de flujo que posibilita una mejor comprensión de los objetivos centrales de los requisitos de la fase de planificación energética en la ISO 5001, a la vez que presenta de forma organizada las herramientas específicas a utilizar para el cumplimiento de cada requisito.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN.....	8
1. LA PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA	
.....	12
1.1 Contexto histórico de la gestión de la energía.....	12
1.2 Sistemas de gestión de la energía	14
1.2.1 La planificación	15
1.2.2 Norma ANSI/MSE 2000	16
1.2.3 Norma EN 16001	19
1.2.4 <i>Guidelines for Energy Management</i> de Energy Star	22
1.2.5 <i>Energy Management Action Plan</i> (MAP) de la SEAI	25
1.2.6 Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (TGTEE) del CEEMA	27
1.2.7 Sistema de Gestión Integral de la Energía (SGIE)	29
1.2.8 Otros sistemas de gestión de la energía.....	31
1.3 Norma ISO 50001	32
1.4 La planificación energética en la Norma ISO 50001	35
1.4.1 Revisión energética.....	36
1.4.2 Línea de base energética.....	39
1.4.3 Indicadores de desempeño energético	40
1.4.4 Objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción para la gestión de la energía	40
1.5 Uso de herramientas de apoyo en la planificación energética	41
1.6 Conclusiones parciales.....	43
2. HERRAMIENTAS PARA LA PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA EN LA NORMA ISO 50001	45
2.1 Análisis del uso y del consumo de energía	46
2.1.1 Listas, tablas y gráficas, gestionadas en hojas de cálculo.....	47

2.1.2 Software especializados para la gestión de datos	49
2.1.3 Filtrado de datos	50
2.1.4 Técnica de la Producción Equivalente	53
2.1.5 Técnica de grados-día.....	55
2.1.6 Gráfico de consumo de energía y producción en el tiempo	56
2.1.7 Análisis de regresión.....	57
2.1.8 Análisis de Suma Acumulada (CUSUM).....	59
2.1.9 Gráfico Base 100	61
2.2 Identificación de las áreas de uso significativo de la energía (USEn).....	62
2.2.1 Listado maestro de equipos.....	63
2.2.2 Encuestas de tecnologías de uso final	65
2.2.3 Balances de energía.....	66
2.2.4 Diagrama Energético – Productivo.....	68
2.2.5 Diagramas Sankey	69
2.2.6 Análisis de Pareto	71
2.2.7 Mapeo de energía.....	72
2.2.a Identificación de las variables que afectan a los USEn	73
2.2.8 Criterio de experto.....	73
2.2.9 Análisis de correlación	75
2.2.b Determinación del desempeño energético de los USEn	75
2.2.10 Diagnósticos energéticos	76
2.2.c Estimación del uso y consumo futuros de energía de los USEn.....	77
2.2.11 Presupuesto de energía	78
2.2.12 Hoja de estimación del consumo futuro de los USEn.....	80
2.3 Identificación, priorización y registro de oportunidades para mejorar el desempeño energético	81
2.3.1 Análisis de requerimientos de energía.....	82
2.3.2 Buenas prácticas.....	83
2.3.3 <i>Monitoring and Targeting</i>	84
2.3.4 Otras	84
2.3.5 Métodos de criterio múltiple para la priorización de oportunidades de mejora...	85
2.3.6 Registro de oportunidades de mejora.....	86

2.4 Establecimiento de la(s) línea(s) de base energética	87
2.4.1 Análisis de regresión	88
2.4.2 Matriz de instalaciones y equipos	90
2.5 Identificación de los indicadores de desempeño energético	91
2.6 Establecimiento, implementación y mantenimiento de los objetivos energéticos y metas energéticas.....	93
2.6.1 Análisis de regresión.....	95
2.7 Conclusiones parciales	98
3. NUEVAS HERRAMIENTAS PARA LA PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA	99
3.1 Carta CUSUM tabular para el seguimiento y control cercano de IDEn.....	99
3.1.1 Caso de estudio	104
3.2 Nuevos indicadores de eficiencia energética	107
3.2.1 Caso de estudio	109
3.3 Conclusiones parciales.....	112
4. CONCLUSIONES GENERALES.....	113
5. RECOMENDACIONES	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116
ANEXO. REQUISITOS DE LA PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA, SUS OBJETIVOS Y HERRAMIENTAS PROPUESTAS	120

INTRODUCCIÓN

El cambio climático, la inestabilidad del suministro energético y el aumento sostenido de los precios de la energía, sumados al acelerado crecimiento económico y poblacional, han puesto de relieve en los últimos años la necesidad de contar con un sistema energético más sostenible y confiable. Entre las opciones que se han considerado, la eficiencia energética es la tecnología más económica, madura y de sencilla aplicación que existe actualmente para enfrentar estos retos a corto y mediano plazo.

Desde el punto de vista organizacional, la eficiencia energética es también un asunto de reducción de costos y de competitividad. La energía es crítica para las operaciones de las organizaciones y puede llegar a ser un costo importante, independientemente del tamaño o de la actividad que ésta realice. Un buen desempeño energético provee beneficios a la organización al optimizar el uso de los recursos energéticos, los cuales se reflejan a través de una reducción de costos y consumo.

Resultados a largo plazo en el desempeño energético únicamente se alcanzan a través de un proceso formal y estructurado de administración de la energía, y cuando éste se convierte en parte de la estrategia de la organización. La Norma Internacional ISO 50001, la cual especifica los requisitos de un sistema de gestión de la energía, propone un modelo que permite lograr un mejoramiento continuo del desempeño energético, a partir de la implementación de una política energética y el establecimiento de unos objetivos, metas, y planes de acción.

La ISO 50001, como toda norma ISO, únicamente define los requerimientos que hay que cumplir, pero no indica cómo hacerlo, y en consecuencia, corresponde a cada organización decidir la forma de implementar su sistema de gestión y de demostrar

la conformidad de éste con los requisitos de la Norma, según su situación, capacidad e intereses particulares. En este sentido, el uso de herramientas de apoyo facilita enormemente este cometido, tanto en el establecimiento y la implementación, como en la operación del sistema de gestión de la energía.

La utilidad de estas herramientas de apoyo es aún más patente en la fase de planificación energética. En ella se lleva a cabo una serie de actividades, en su mayoría de carácter técnico, que involucra la recolección, registro y análisis de un volumen considerable de datos sobre el uso y consumo de la energía, a partir de la cual se deben establecer una línea de base, identificar indicadores de desempeño, establecer objetivos, metas y planes de acción. Es evidente que una apropiada manipulación e interpretación de estos datos garantiza alcanzar el fin último del sistema de gestión: el mejoramiento continuo del desempeño energético de la organización.

Así pues, saber de cuáles herramientas disponer para cumplir cada una de las cláusulas que componen esta fase, cómo usarlas y de qué manera apoyan en este sentido, sería de gran ayuda para este propósito, principalmente en las organizaciones en donde no exista personal con la competencia necesaria para hacerlo. Esto es todavía más relevante actualmente debido a la masificación que se espera para la gestión de la energía, producto de la publicación de la ISO 50001.

Si bien muchas herramientas se han propuesto con este fin en sistemas de gestión de la energía anteriores a la ISO 50001, aún no existe un documento guía para esta última que recopile dicha diversidad, valide su utilidad y las presente de forma ordenada para cada requisito de la fase de planificación energética, indicando la manera en que pueden facilitar y asegurar su cumplimiento adecuado, y además favorecer el funcionamiento efectivo del sistema de gestión según la nueva Norma. A ello se suma el hecho que muchas otras herramientas, que podrían ser igualmente útiles para este propósito, no se han considerado.

Planteamiento del problema

La Norma ISO 50001 únicamente establece los requisitos para un sistema de gestión de la energía que permita a la organización mejorar su desempeño energético de forma continua. La manera de satisfacer estos requisitos es particular a cada organización y se deriva de la declaración que efectúe su alta dirección frente al desempeño energético que desee lograr, de acuerdo a su contexto y capacidades. Si bien la Norma establece los aspectos que hay que cumplir, no indica cómo hacerlo. Ello podría representar una barrera para su implementación y mantenimiento en organizaciones en donde no haya personal capacitado para tal efecto, y además no sea posible o conveniente contratar un consultor externo.

Por tanto, constituye un problema de investigación el hecho de no contar con un documento que recopile las posibles herramientas de apoyo para el proceso de planificación energética de la Norma ISO 50001, y que además indique cómo usarlas y de qué manera favorecen el cumplimiento de los requisitos.

Hipótesis

De este modo, un documento guía que exponga las posibles herramientas de utilidad para el cumplimiento de los objetivos asociados a los requisitos de la fase de planificación energética, podría facilitar el establecimiento, implementación, operación y mantenimiento de sistemas de gestión de la energía de acuerdo a la Norma ISO 50001.

Objetivo general

Proponer un documento guía que presente y explique el uso de herramientas de apoyo para la fase de planificación energética en sistemas de gestión de la energía según la Norma ISO 50001.

Objetivos específicos

- Analizar los requisitos de la fase de planificación energética de la Norma ISO 50001 para comprender los objetivos perseguidos en cada uno de ellos.
- Identificar las herramientas utilizadas en procesos de planificación energética de sistemas de gestión de la energía normalizados, anteriores al propuesto por la Norma ISO 50001.
- Determinar las herramientas de planificación propuestas en los sistemas de gestión de la energía no normalizados más comunes.
- Evaluar diferentes herramientas utilizadas en el control estadístico de la calidad para precisar su aplicabilidad en sistemas de gestión de la energía según la ISO 50001.
- Organizar las herramientas identificadas para cada uno de los requisitos de la fase de planificación energética, explicando su aplicabilidad al cumplimiento de éstos.

1. LA PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA

1.1 Contexto histórico de la gestión de la energía

Durante cientos de miles de años, el hombre utilizó fundamentalmente dos fuentes de energía: su propia musculatura y la leña para hacer fuego. Hace varios miles de años comenzó a aprovechar el viento y la energía muscular de los animales que había domesticado; mucho después, a comienzos de nuestra era, empezó a usar las corrientes de agua como fuentes de energía; pero no empezó a explotar en gran escala los combustibles fósiles hasta la Revolución Industrial [1].

Durante este tiempo, el concepto de conservación de la energía fue siempre un impulsor para el aprovechamiento de los recursos energéticos disponibles. De esta manera, necesidades como la de la realización de trabajos con menor esfuerzo y mayor facilidad, y la de un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles, conllevaron a que el hombre buscara soluciones ingeniosas para ir más allá de lo que su fuerza muscular le permitía. Ello posibilitó la realización de muchas actividades como la agricultura, la navegación, la construcción de grandes obras, etc., cimientos de muchas civilizaciones.

La invención de la máquina de vapor permitió alcanzar un desarrollo sin precedentes durante la Revolución Industrial. El uso del carbón se masificó y condujo a una creciente demanda por el combustible, aumentando los precios de éste y limitando la aplicación de las máquinas de vapor. En respuesta, el concepto de eficiencia emergió como un aspecto fundamental en el diseño de estas máquinas, escenario que inspiró los primeros estudios en Termodinámica [2].

Nuevos desarrollos tecnológicos posibilitaron el aprovechamiento de fuentes energéticas más eficientes. El motor de combustión interna, por ejemplo, creó un

gran mercado para el recién descubierto petróleo, y lo posicionó como la principal fuente de energía para el transporte. Por su parte, la invención del motor y el generador eléctrico, facilitaron la difusión de la electricidad.

Esta amplia diversificación de fuentes energéticas, combinada con la incorporación continua de nuevas tecnologías, permitió una evolución estable del sistema energético durante un largo período [3]. Pero, el aumento paulatino de la población y el consiguiente incremento de consumo energético provocado por el uso masivo de estas tecnologías, así como el desarrollo de nuevas actividades productivas y de servicios, sometió al sistema energético a grandes presiones y comprometió su estabilidad ante un déficit en la oferta.

Inesperadamente, dicha estabilidad aparente fue, por primera vez, puesta a prueba por la crisis del petróleo de 1973, la cual estremeció por completo un sistema energético que dependía casi en su totalidad de un suministro constante del recurso. El impacto fue aun mayor en los países industrializados de occidente por su alta dependencia. Los altos precios ocasionados por la abrupta suspensión del suministro, provocaron que estas economías cuestionaran su alta dependencia y consumo, y buscaran soluciones para reducir su demanda energética interna.

Entre las soluciones implementadas entonces estaba el incentivo para desarrollar programas de conservación de la energía y gestión de la carga (eléctrica), y la difusión de información sobre opciones de ahorro energético y sobre cómo alcanzar una mejor comprensión de la demanda energética a través de la realización de auditorías energéticas [4].

En medio de este escenario de escasez y de cambio de paradigma, surge la gestión de la energía como disciplina independiente, ocupada del aprovechamiento eficiente de los recursos energéticos ante la inestabilidad del suministro. Las crisis energéticas posteriores de los años 1979 y 1980, que elevan los precios de la energía

nuevamente, le imprimen más relevancia [5]. En la década de los noventa, recibe un impulso mayor, gracias al surgimiento de la conciencia ambiental sobre la contribución del consumo energético en la emisión de gases de efecto invernadero, y por los compromisos de reducción de emisiones, derivados del Protocolo de Kioto, que muchos países asumieron.

1.2 Sistemas de gestión de la energía

Los eventos mencionados, principalmente el alza en los precios, tuvo especial repercusión en la competitividad organizacional. Muchas compañías líderes en el mundo reconocieron la necesidad de buscar una menor intensidad energética en sus operaciones para lograr un mayor margen de ganancias, por lo que comenzaron a entrenar a algunos de sus empleados en gestión de la energía. En gran parte de ellas se instituyó el cargo de gestor energético y se conformaron equipos multidisciplinarios para la gestión de todos los aspectos relacionados con la energía [6].

Para entonces, la gestión de la energía se enfocaba hacia el desarrollo de proyectos de eficiencia energética, y su éxito estaba determinado por el número de ellos que eran efectivamente ejecutados. A pesar de que se alcanzaba una mejoría temporal, se era incapaz de mantener sus resultados en el tiempo, haciendo que sus beneficios se perdieran gradualmente. Esto impedía a la gestión energética, dentro de otros aspectos, un verdadero reconocimiento dentro de la organización y hacía que la mayoría de los proyectos se vieran como esfuerzos aislados de algunas áreas.

El cambio de enfoque se presentó al incorporar a la gestión de la energía, el modelo de gestión Planear-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA), que había sido desarrollado para mejorar la gestión organizacional de la calidad, y que había demostrado ser exitoso en la Norma Internacional de la calidad ISO 9001 [6]. Dicho modelo solucionaba

los inconvenientes del enfoque inicial gracias a prácticas cíclicas que involucraban no solo a la parte técnica, sino también a la parte administrativa, posibilitando el mantenimiento y mejora continua de los resultados alcanzados por los proyectos de eficiencia energética, y garantizando el apoyo y recursos por parte de la dirección de la organización; entre otros elementos clave para el éxito de la gestión de la energía.

Siguiendo el modelo PHVA se plantearon diversos sistemas de gestión de la energía (SGEn) alrededor del mundo, algunos de los cuales se convirtieron en normas nacionales y regionales, estableciendo marcos comunes para su establecimiento, mantenimiento y operación.

Dentro de los SGEn normalizados se destacan el de la Norma ANSI/MSE 2000 y el de la Norma EN 16001, los cuales sentaron las bases para el propuesto en la Norma Internacional ISO 50001. Por su parte, dentro de los SGEn no normalizados sobresalen el *Guidelines for Energy Management* de Energy Star, el *Energy MAP* de la Autoridad de Energía Sostenible de Irlanda (SEAI, por sus siglas en inglés), la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (TGTEE) del Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA) de la Universidad de Cienfuegos y el Sistema de Gestión Integral de la Energía (SGIE), desarrollado por varias universidades colombianas a través de un proyecto de investigación auspiciado por el Estado.

1.2.1 La planificación

En términos generales, “Planear” en un sistema de gestión, involucra la identificación de un problema u oportunidad y a partir de allí, se planifican las acciones necesarias para resolver dicho problema o para aprovechar la(s) oportunidad(es). En “Hacer” se implementan las acciones planeadas. “Verificar” implica el seguimiento, medición y análisis tanto de las acciones implementadas, como del funcionamiento mismo del

sistema. Por su parte, “Actuar” comprende tomar acciones sobre lo que se aprendió en “Verificar”.

En un sistema de gestión de la energía, el proceso de planificación es medular para todo el sistema, tanto por su alto componente técnico, como por los resultados que allí se obtienen. En él, se alcanza un conocimiento detallado de la situación energética de la organización, a partir de mediciones y análisis de todos los sistemas energéticos dentro del alcance y límites del sistema, lo que permite identificar oportunidades de mejora y establecer los objetivos, metas y planes de acción para la mejora continua del desempeño energético; motores de todo el sistema de gestión.

1.2.2 Norma ANSI/MSE 2000

Esta norma estadounidense, publicada en 2000, describe los elementos necesarios para establecer y mantener un sistema de gestión de la energía de aplicabilidad a cualquier organización. Es considerada como el primer sistema de gestión de la energía estandarizado, y de carácter nacional, del mundo.

La Norma fue revisada en 2005 y en 2008 para darle una mejor organización que reflejara más acertadamente el enfoque por procesos del modelo de gestión PHVA, e incluirle nuevos requerimientos (ver Figura 1.1). Los elementos fundamentales de la versión vigente son [7]:

- 4 Sistema de gestión para la energía
- 5 Responsabilidad de la dirección
- 6 Planificación de la gestión energética
 - 6.1 Gestión de la información energética
 - 6.2 Perfil energético
 - Seguimiento de datos energéticos
 - Diagnóstico energético

- Usos significativos de la energía
- Indicadores clave de desempeño
- Información externa
- 6.3 Requisitos legales y otros requisitos
- 6.4 Objetivos, metas y planeación de proyectos
- 7 Implementación y operación
- 8 Verificación y evaluación
- 9 Revisión por la dirección



Figura 1.1 Proceso de mejora continua de la ANSI/MSE 2000:2008 [7]

1.2.2.1 Herramientas de apoyo para la planificación

En la ANSI/MSE 2000:2008, la planificación de la gestión energética tiene como fin el establecimiento de objetivos, metas y “proyectos energéticos” a partir de la información obtenida en el “perfil energético”, los cuales deben estar en correspondencia con la política energética y los planes estratégicos de la organización.

La planificación se centra en el desarrollo y mantenimiento de un “perfil energético”. Este perfil se obtiene con base en datos energéticos, financieros y de producción, y en los resultados de los diagnósticos energéticos de equipos, sistemas y procesos. A partir de dichos diagnósticos, se identifican usos significativos de la energía y oportunidades para desarrollar los “proyectos energéticos”, al tiempo que se establecen indicadores clave de desempeño para medir la efectividad del sistema de gestión.

El perfil energético inicial se considera en sí mismo como una línea base a partir de la cual se miden los cambios en el desempeño energético.

Para el desarrollo de esta fase, la Norma recomienda algunas herramientas que ayudan en el cumplimiento de los requisitos. En la Tabla 1.1 se presentan cada una de ellas.

Tabla 1.1 Herramientas para la planificación en la MSE 2000:2008

Requisito	Objetivo del requisito	Herramientas
6.1 Gestión de la información energética	Identificar, recolectar, registrar y analizar la información necesaria para la gestión de la energía.	No especificadas.
6.2 Perfil energético	Revelar tendencias, anomalías, señales de precios, asignaciones de energía y de costos.	
6.2.1 Seguimiento de datos energéticos	Recolectar y analizar el consumo y costo de fuentes energéticas, incluyendo el agua.	Gráficos, tablas, hojas de cálculo, <i>software</i> especializado.
6.2.2 Diagnóstico energético	Determinar el desempeño energético, regímenes de trabajo y de operación de equipos, sistemas y procesos relacionados con la energía.	Diagnósticos energéticos de todos los niveles (específicos para cada sistema energético), auditorías energéticas.
6.2.3 Usos significativos de la energía	Determinar los usos significativos a nivel organizacional para focalizar recursos. También puede incluir a personas.	Balances energéticos, análisis de Pareto, análisis de riesgo, sistemas de ranqueo, prioridades de costos, y otros.
6.2.4 Indicadores clave de desempeño	Desarrollar indicadores para realizar comparaciones de desempeño en diferentes periodos de tiempo.	Análisis de correlación estadística, técnicas de normalización.
6.2.5 Información externa	Considerar información externa	No especificadas.

	que pueda facilitar o tener influencia en la gestión energética, como benchmarks sectoriales...	
6.3 Requisitos legales y otros requisitos	Conocer los requisitos legales o de otro tipo que tengan relación con el uso de energía.	No especificadas.
6.4 Objetivos, metas y planeación de proyectos	Generar estos elementos para garantizar la mejora continua en el desempeño energético.	Buenas prácticas por tecnologías de uso final.

Aunque la misma Norma recomienda estas herramientas, no hace ninguna referencia a la forma como ellas pueden aportar al cumplimiento de los objetivos de la fase de planificación.

1.2.3 Norma EN 16001

En Europa, Dinamarca fue el primer país en iniciar la normalización de los sistemas de gestión de la energía. La publicación de su norma nacional en 2001, fue seguida por la de otros países de la región. Así pues, en 2003 una norma sueca fue anunciada, una irlandesa en 2005 y una española en 2007.

Estas normas nacionales se centraban en asegurar que la gestión de la energía se integrara a la estructura organizacional y de esta manera, las organizaciones pudieran ahorrar energía, reducir costos, mejorar el desempeño energético y de negocio, y reducir sus emisiones contaminantes. Y al igual que la ANSI/MSE 2000, estaban estructuradas y basadas en las Normas de gestión ISO 9001 e ISO 14001 [8].

Su éxito y masiva aceptación, condujo en 2006 a la formación de un grupo de trabajo dentro del Comité Europeo para la Normalización (CEN), para tratar este tema. Para el año 2009, se logró la publicación de la Norma Europea EN 16001, la cual sustituyó a las demás normas nacionales [9].

La Norma EN 16001, al igual que las que reemplazó, tiene la misma estructura de la Norma ISO 14001, tal como se puede ver en la Figura 1.2, y con ello se buscaba una mejor compatibilidad, debido a que la Norma ambiental había alcanzado gran aceptación a nivel regional.

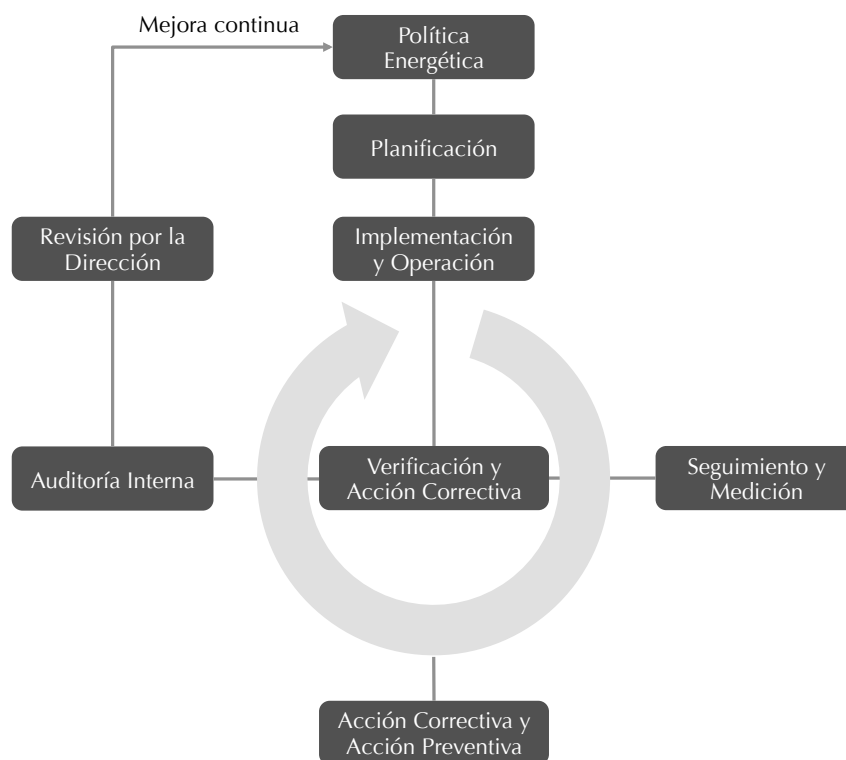


Figura 1.2 Modelo del SGen de la Norma EN 16001 [10]

Sus secciones fundamentales, acordes al modelo de gestión PHVA, son:

- 3.1. Requisitos generales
- 3.2. Política energética
- 3.3. Planificación
 - 3.3.1. Identificación y evaluación de los aspectos energéticos
 - 3.3.2. Obligaciones legales y otros requisitos
 - 3.3.3. Objetivos, metas y programas energéticos
- 3.4. Implementación y operación

- 3.5. Verificación
- 3.6. Revisión por la dirección

1.2.3.1 Herramientas de apoyo para la planificación

En la EN 16001, la planificación se basa en la identificación y evaluación de los “aspectos energéticos” (elemento de las actividades, bienes o servicios de la organización que pueden afectar al uso de la energía o al consumo energético), y en el establecimiento de objetivos, metas y “programas energéticos”.

La actividad medular de la planificación es la identificación y evaluación de dichos aspectos energéticos. Ello incluye el análisis, tanto del consumo energético pasado y presente, como de los factores que lo influyen; la identificación de equipos y procesos que tienen un consumo energético significativo; la estimación del consumo energético esperado; y la identificación y priorización de oportunidades de mejora.

En su guía de implementación [11], la Norma sigue un cúmulo de herramientas para el proceso de planificación, las cuales se muestran en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Herramientas para la planificación en la EN 16001 [11] [12]

Requisito	Objetivo del requisito	Herramientas
3.3.1. Identificación y evaluación de los aspectos energéticos		
3.3.1.a Identificar el consumo energético pasado y presente y sus factores energéticos, basándose en mediciones y otro tipo de datos	Identificar como se usa de la energía y que factores tienen influencia en ello. Establecer tendencias o cambios en el uso de la energía.	Gráficos, tablas, cartas, hojas de cálculo, <i>software</i> especializado, carta CUSUM, análisis de regresión.
3.3.1.b Identificar áreas de uso significativo	Establecer los aspectos energéticos y su efecto en el uso de la energía, para luego identificar el equipamiento, personal y los procesos que tienen un uso significativo de la energía.	Mapas de proceso, diagramas Sankey, modelos energéticos, análisis de Pareto, balances energéticos, mapeo de energía, encuestas de tecnologías de uso final.
3.3.1.c Identificar y priorizar	Determinar oportunidades para	Auditorías energéticas, modelos

oportunidades de mejora	reducir el consumo energético y ordenarlas según sus beneficios.	energéticos, revisión de mejor tecnología disponible, análisis <i>Pinch</i> , análisis de requerimientos energéticos, análisis de causa raíz, benchmarking, <i>Lean manufacturing</i> Seis Sigma
3.3.1.d Estimar el consumo energético esperado durante el siguiente periodo	Planear el consumo energético para un siguiente periodo, tanto para medir el desempeño, como para establecer un presupuesto.	No especificadas.
3.3.2. Obligaciones legales y otros requisitos	Conocer y cumplir con todas las obligaciones legales y otros requisitos aplicables, relacionados con los aspectos energéticos.	No especificadas.
3.3.3. Objetivos, metas y programas energéticos	Identificar y documentar objetivos y metas para la mejora de la eficiencia energética, así como los programas para ejecutarlos.	Análisis de regresión, análisis CUSUM, técnicas de control estadístico de procesos, análisis de carga base, revisión de mejor tecnología disponible.

A pesar de que la Norma tiene una guía de implementación y una guía específica para los requisitos de carácter técnico, en donde se listan ampliamente herramientas para el cumplimiento de cada uno de sus cláusulas, no expone la idoneidad de éstas para alcanzar los objetivos de los mismos.

1.2.4 Guidelines for Energy Management de Energy Star

Este modelo establece siete principios para el mejoramiento del desempeño energético y financiero de una organización. Fue desarrollado dentro del programa voluntario ENERGY STAR de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos, a partir de buenas prácticas, identificadas gracias al trabajo conjunto con varias compañías líderes de este país.

Los principios se establecen a través de siete pasos [13]:

- Paso 1: Establecer compromiso
- Paso 2: Evaluar el desempeño
 - Recolección y gestión de datos

- Línea base y benchmarking
- Análisis y evaluación
- Paso 3: Establecer objetivos
- Paso 4: Crear plan de acción
- Paso 5: Implementar plan de acción
- Paso 6: Evaluar progreso
- Paso 7: Reconocer resultados

1.2.4.1 Herramientas de apoyo para la planificación

Como se puede apreciar en la Figura 1.3, la planificación se realiza en los pasos 2, 3 y 4. “Evaluar el desempeño” consiste en un análisis del uso de energía en todas las instalaciones y procesos de la organización, para establecer una línea base que permita medir los resultados futuros en cuanto a eficiencia energética e identificar oportunidades para mejorar el desempeño energético. Mientras que, “Establecer objetivos”, se basa en la determinación de los objetivos que direccionen las actividades de gestión energética y promuevan la mejora continua. Por su parte, “Crear plan de acción”, se fundamenta en el aseguramiento de un proceso sistemático para implementar las medidas de desempeño energético.

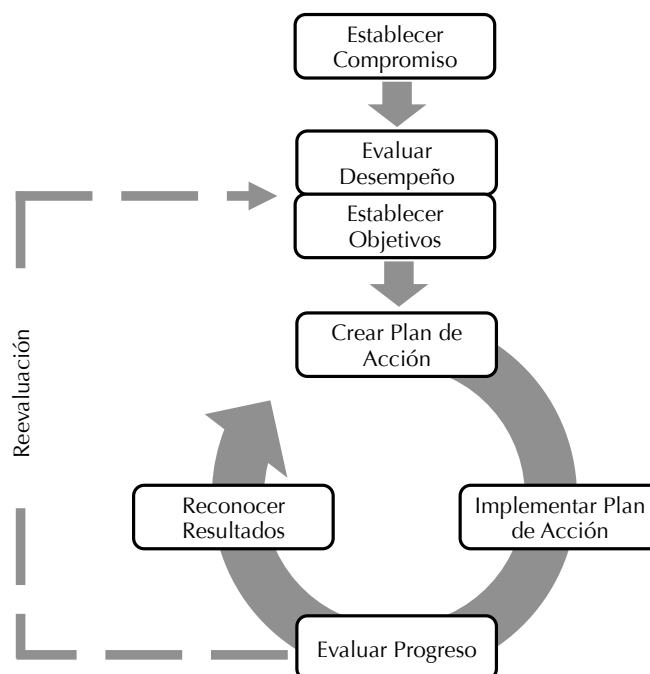


Figura 1.3 Modelo de Energy Star [13]

En lo que respecta a herramientas, Energy Star propone las que se presentan en la Tabla 1.3. Algunas de ellas únicas, como el *Portfolio Manager* y el *Energy Performance Indicator*. La primera se puede utilizar para realizar seguimiento en el tiempo al uso de la energía en edificaciones, y la última, para monitorear patrones anuales de uso energético en industrias específicas y para realizar *benchmarks* sectoriales. Estas dos herramientas están disponibles *online* en la página web de Energy Star (www.energystar.gov).

Tabla 1.3 Herramientas para la planificación del modelo de Energy Star

Requisito	Objetivo del requisito	Herramientas
2. Evaluar desempeño	Comprender el consumo pasado y presente de energía para identificar oportunidades de mejora en el desempeño energético y establecer una línea base.	
2.1 Recolección y gestión de datos	Recolectar información sobre el uso de la energía y hacer seguimiento a los datos en el tiempo. También incluye datos operacionales y de las instalaciones.	<i>Portfolio Manager</i> , <i>Energy Performance Indicator</i> Tablas, gráficos, hojas de calculo, <i>software</i> especializado, técnicas de normalización de datos.
2.2 Línea base y benchmarking	Determinar el punto de partida para la medición de la mejora. Comparar el	No específica para la línea base. <i>Portfolio Manager</i> de Energy Star

	desempeño energético entre instalaciones y competidores en el tiempo y priorizar las instalaciones con potencial de mejora.	<i>Energy Performance Indicator.</i>
2.3 Análisis y evaluación	Identificar los patrones y tendencias en el uso de la energía para comprender los factores que afectan el desempeño energético e identificar opciones para reducir el consumo.	Perfiles de consumo energético, <i>benchmarks</i> , encuestas, lecciones aprendidas, auditorías energéticas, revisión de procedimientos operativos, diagnósticos energéticos.
3. Establecer objetivos	Establecer objetivos de desempeño a partir de los potenciales identificados.	<i>Benchmarks</i> , los resultados del paso anterior.
4. Crear plan de acción	Desarrollar un plan de acción para implementar los objetivos y las opciones de mejora identificadas.	Lluvia de ideas, mapas mentales para identificar sugerencias de cómo desarrollarlos.

Energy Star, propone estas herramientas en cada uno de los apartados de su modelo de gestión, pero no discute la manera en que aportan al cumplimiento de ellos.

1.2.5 *Energy Management Action Plan* (MAP) de la SEAI

Es una guía paso a paso, *online*, para crear un plan de acción de buenas prácticas en gestión de la energía, orientada a pequeñas y medianas empresas. Este sistema de gestión de la energía (o guía para un) fue desarrollado por la Autoridad de Energía Sostenible de Irlanda (SEAI, por sus siglas en inglés). Consiste en 20 pasos, divididos en cinco pilares, que buscan garantizar una adecuada gestión de la energía, los cuales son: Compromiso, Identificación, Planeación, Tomar Acción y Revisión [14].

1.2.5.1 Herramientas de apoyo para la planificación

La planificación se lleva a cabo tanto en Identificación, como en Planeación. La Identificación cubre los pasos:

- 6. Desarrollo y revisión del consumo energético total
- 7. Análisis del uso de la energía e identificación de usuarios significativos de la energía

- 8. Identificación de los factores clave que influyen en el consumo energético y establecimiento de indicadores de desempeño energético
- 9. Identificación de oportunidades de ahorro energético

Por su parte, Planeación, incluye:

- 10. Establecimiento de objetivos y metas
- 11. Establecimiento del plan de programa
- 12. Asignación formal de suficientes recursos humanos y financieros

La mayoría de las herramientas que sugiere el Energy MAP son propias, tal como se ilustra en la Tabla 1.4, a las cuales se puede acceder a través de la página web (www.seai.ie/energymap).

Tabla 1.4 Herramientas para la planificación del Energy MAP

Requisito	Objetivo del requisito	Herramientas
6. Desarrollo y revisión del consumo energético total	Identificar las fuentes energéticas, su consumo y sus usos.	Diagrama de flujo: <i>Analysing Your Bills</i> . Herramienta online: <i>Energy Bill Tracker</i>
7. Análisis del uso de la energía e identificación de usuarios significativos de la energía	Identificar todas las plantas, equipamiento y procesos que consumen energía, y a partir de éstos, los usos significativos de la energía.	Encuestas de tecnologías de uso final, listas maestras de equipos, herramienta <i>Significant Energy Users</i> , listas de chequeo.
8. Identificación de los factores clave que influyen en el consumo energético y establecimiento de indicadores de desempeño energético	Identificar los factores que influyen en el consumo energético y establecer los indicadores de desempeño.	No especificadas.
9. Identificación de oportunidades de ahorro energético	Identificar las oportunidades de ahorro energético con mayor potencial	Modelo: lista de oportunidades, Auditorías energéticas
10. Establecimiento de objetivos y metas	Desarrollar objetivos y metas basado en la política energética, los usos significativos de la energía y las oportunidades de ahorro identificadas.	Guías: <i>How to set objectives and targets</i> y <i>Guide on setting SMART objectives</i>
11. Establecimiento del plan de programa	Identificar las acciones necesarias para implementar la política energética y alcanzar los objetivos	Herramienta: <i>Programme Plan</i>

	y metas establecidas.	
12. Asignación formal de suficientes recursos humanos y financieros	Asignar todos los recursos necesarios para implementar el plan	Documento <i>online</i> : <i>Investing in energy: a practical guide to preparing and presenting energy</i>

En el Energy MAP de alguna manera si se sugiere la forma en las herramientas propuestas, prácticamente todas propias, pueden complementar el cumplimiento de sus requisitos. Una comparación de los objetivos perseguidos en estos requisitos con los de la ISO 50001, validará su aplicabilidad en estos últimos.

1.2.6 Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (TGTEE) del CEEMA

La TGTEE consiste en un paquete de procedimientos y herramientas técnico-organizativas, que aplicados de forma continua y con la filosofía de la gestión total de la calidad, permite establecer nuevos hábitos de dirección, control, diagnóstico y uso de la energía [15]. Está dirigida al aprovechamiento de todas las oportunidades de ahorro, conservación y reducción de los costos energéticos.

La implantación de la TGTEE se realiza mediante un ciclo que recoge las siguientes etapas (ver Figura 1.4):

- 1. Prueba de la necesidad
- 2. Compromiso de la alta dirección
- 3. Diagnóstico energético y socio-ambiental
- 4. Diseño de un plan
- 5. Organización y composición de equipos de mejora
- 6. Aplicación de acciones y medidas
- 7. Seguimiento y control

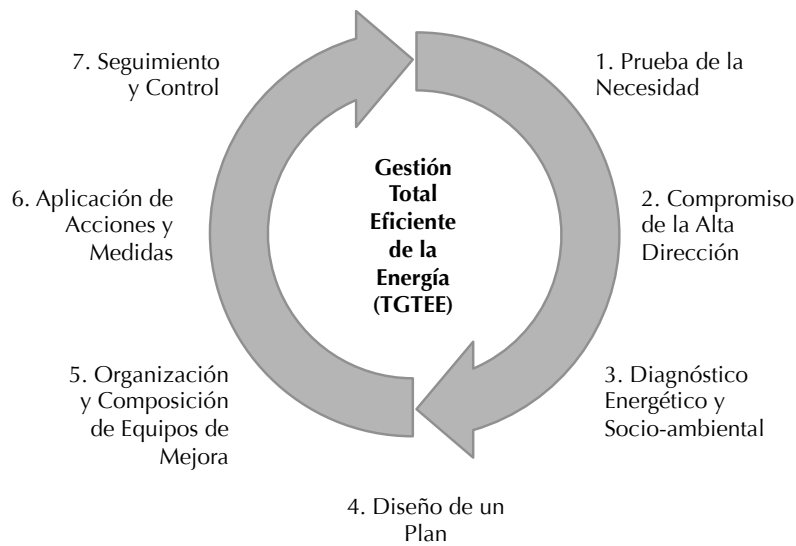


Figura 1.4 Modelo de gestión de la TGTEE [15]

1.2.6.1 Herramientas de apoyo para la planificación

En la TGTEE, el proceso de planificación se lleva a cabo en la etapa 3. El diagnóstico energético se basa en la evaluación cuantitativa y cualitativa del consumo de energía para determinar eficiencias energéticas, identificar potenciales de ahorro, establecer indicadores energéticos y estrategias de operación y mantenimiento, y definir posibles medidas y proyectos para ahorrar energía y reducir costos energéticos. En la Tabla 1.5 se presentan las herramientas usadas en la TGTEE.

Tabla 1.5 Herramientas para la planificación de la TGTEE

Requisito	Objetivo del requisito	Herramientas
3. Diagnóstico energético y socio-ambiental	Determinar la eficiencia energética de los sistemas energéticos, establecer potenciales de ahorro, indicadores...	Diagrama Energético – Productivo, Gráfico de Control, Gráfico de Consumo y Producción en el tiempo, Diagrama de Consumo vs Producción, Producción Equivalente, Diagrama Índice de Consumo vs Producción, Carta CUSUM, Diagrama de Pareto, Estratificación

En este SGen también se explica la utilidad de estas herramientas para alcanzar los objetivos del requisito, y además, la forma de construirlas. Una comparación de los objetivos perseguidos en sus requisitos con los de la ISO 50001, validará su aplicabilidad en estos últimos.

1.2.7 Sistema de Gestión Integral de la Energía (SGIE)

Este sistema de gestión se estructura mediante normas, procedimientos y actuaciones que permiten la materialización de las políticas, los objetivos y las metas de eficiencia energética [16]. Fue desarrollado por varias universidades colombianas a través de un proyecto de investigación auspiciado por el Estado.

La implementación del SGIE se desarrolla en tres etapas: Decisión Estratégica, Instalación y Operación, tal como se ilustra en la Figura 1.5.



Figura 1.5 Modelo de gestión del SGIE

1.2.7.1 Herramientas de apoyo para la planificación

La planificación se efectúa en la etapa de Instalación. En esta etapa se debe crear la estructura organizativa, las bases técnicas, preparar e involucrar al personal, identificar los programas, documentar el SGIE y verificar la capacidad de la empresa para ejecutarlo.

En la Tabla 1.6 se presentan los requisitos que hacen parte de la etapa de Instalación del SGIE, así como las herramientas propuestas por el sistema de gestión para el cumplimiento de éstos. Algunas de las cuales, son las mismas que se utilizan en la TGTEE, y al igual, se explica su uso para el cumplimiento de los requisitos.

Tabla 1.6 Herramientas para la planificación del SGIE [17]

Requisito	Objetivo del requisito	Herramientas
5. Establecimiento de los indicadores del sistema de gestión	Caracterizar energéticamente cada centro de costo energético: definir metas de reducción, evidenciar tendencias, identificar pérdidas y potenciales.	Encuestas, filtrado de <i>outliers</i> , diagrama de correlación E vs. P, producción equivalente, Diagrama IC vs. P, gráfico de tendencia, gráfico base 100, árbol de indicadores de la empresa, gráfico de Pareto, diagnóstico de recorrido a áreas y procesos, hojas de cálculo y <i>software</i> especializados.
6. Identificación de las variables de control por centros de costo	Identificar las variables de control o eventos que impactan los consumos energéticos en cada centro de costo.	Identificador de variables de control, metodología DMAMC de proyectos Seis Sigma, conceptualización, filtrado de soluciones, matriz de selección de mejoras, mapas de navegación de procesos, mapas conductuales.
7. Definición de los sistemas de monitoreo	Establecer en cada centro de costo el sistema de monitoreo de la eficiencia energética.	Gestión a la vista, plan de documentación, plan de monitoreo.
8. Diagnóstico energético	Identificar las oportunidades, soluciones y medidas o proyectos de ahorro energético en los equipos y procesos clave de la organización.	Balances de masa y energía, diagnósticos energéticos, análisis termoeconómicos, criterio de expertos, generador de soluciones.
9. Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva	Fortalecer capacidades y competencias en el desarrollo de los procesos asociados a la vigilancia tecnológica para la toma de decisiones estratégicas.	Mapas tecnológicos, técnicas de análisis multicriterio, técnicas para el diseño de escenarios y toma de decisiones, técnicas para la gestión tecnológica.

10. Plan de medidas de uso eficiente de la energía	Identificar y valorar técnica, económica, ambiental y financieramente medidas de uso eficiente de la energía.	Matriz de selección de mejoras, análisis costo beneficio, métodos de evaluación de impacto ambiental, modelos de costo de la empresa, modelos de evaluación financiera.
11. Actualización y validación de la gestión organizacional del SGIE	Actualizar y validar todos los elementos del sistema de gestión.	Manuales de gestión empresarial, herramientas de alineación empresarial.
12. Preparación del personal	Identificar el personal clave para el uso racional y eficiente de la energía dentro de la organización, y garantizar su competencia.	Plan de recursos humanos, encuestas, talleres de actualización, instructivos de trabajo, normas y procedimientos operacionales.
13. Elaboración de la documentación del SGIE	Definir y establecer los procedimientos, registros y manuales del sistema.	No especificadas.
14. Auditoría interna al SGIE	Establecer la metodología de la auditoría al sistema.	Listas de chequeo, manual de energía, registro de no conformidades, protocolo de auditoría.

1.2.8 Otros sistemas de gestión de la energía

A parte de los SGEN mencionados, existen otros en varios países, tal como se ilustra en la Tabla 1.7. Se observa como el proceso de normalización alcanzó un nivel mundial después del año 2000. La mayoría de estos SGEN conservan las mismas similitudes antes mencionadas.

Tabla 1.7 Evolución de las normas sobre gestión de la energía

Año	País	Norma/Especificación
1982	Japón	JIS Z 9211
1982	Japón	JIS Z 9212
1985	Corea del Sur	B 0071
1990	Australia	AS 3595 Energy Management Programs
1992	Australia	AS 3596 Energy Management Programs
1995	China	GB/T 15587 Guides for energy management in industrial Enterprise
1995	UK	HB 10190 2001 739
1995	Canadá	PLUS 1140 A voluntary energy management guideline
1995	USA	ANSI 739 IEEE Recommended practice for energy management in industrial and commercial facilities

2000	USA	ANSI/MSE 2000 A management system for energy
2001	Australia	AS/NZS 3598 Energy audits
2001	Dinamarca	DS 2403 Energy management specification
2001	Dinamarca	DS/INF 136 Energy management guidance on energy management
2002	UK	HB 1091 Implementing and operating
2003	Suecia	SS 627750 Energy management systems – Specification with guidance for use
2003	UK	BIP 2011 Continual improvement through auditing
2004	Holanda	Energy management system specification with guidance for use
2004	Tailandia	Energy management system: Specification
2005	Irlanda	I.S. 393 Energy Management Systems
2006	Alemania	VDI 4602/1 Technical rule on energy management
2007	Corea del Sur	KSA 4000 Energy management system
2007	España	UNE 216301 Sistema de gestión energética. Requisitos
2008	Europa	EN 16001 Energy management systems – Requirements with guidance for use
2009	España	UNE 216501 Auditorías energéticas. Requisitos
2009	Suráfrica	SANS 879
2009	China	GB/T 23331 Management system for energy. Requirements
2011	Mundial	ISO 50001 Energy management systems – Requirements with guidance for use

1.3 Norma ISO 50001

La experiencia con las normas mencionadas sentó las bases para la promulgación de la Norma Internacional ISO 50001. Con la publicación de esta norma, la gestión de la energía alcanza un protagonismo sin precedentes a nivel mundial, al reconocerse el valor que tiene como medida efectiva para combatir el cambio climático y promover la eficiencia energética y el uso de fuentes renovables de energía.

Según Campos Avella [18], los sistemas de gestión nacionales, o regionales, adquieren mayor valor cuando se convierten en norma internacional, debido a los siguientes aspectos:

- Se incorpora el consenso de los expertos acerca del estado del arte nacional e internacional.

- Se ofrece un marco homogéneo de evaluación a nivel nacional e internacional del nivel de desempeño.
- Se brinda una calificación acreditada de los logros alcanzados en el desempeño energético y medio ambiental de la organización.
- A pesar del carácter voluntario de las normas internacionales, las autoridades gubernamentales locales pueden darle más fuerza reglamentaria o legislativa.

La ISO 50001 recoge todos estos aspectos y gracias a ello se espera que alcance un gran índice de aceptación mundial. A esto se suma el hecho de compartir muchos de los requisitos y principios de las Normas EN 16001 y ANSI/MSE 2000, e igualmente como ocurre en otras normas ISO de sistemas de gestión, como la 9001 y 14001, está basada en el ciclo de mejora continua PHVA (ver Figura 1.6). Características que tributan a una fácil transición y compatibilidad con estos sistemas de gestión.

Al ser una norma de carácter voluntario, de sencilla adaptación y de carácter genérico, garantiza que pueda ser implantada por cualquier organización. Además, su flexibilidad permite que el cumplimiento de los requisitos sea ajustado a las necesidades e intereses particulares de cada organización. Del mismo modo, los conceptos de alcance y límites permiten una conveniente definición del ámbito de aplicación del sistema de gestión energética [19].

A diferencia de las normas de sistemas de gestión de la energía que la anteceden, la ISO 50001 se centra en el concepto de desempeño energético, el cual amplía para incluir, además de la eficiencia energética, el uso y el consumo de la energía. Ello garantiza que todos los aspectos relacionados con la energía, sean tenidos en cuenta dentro del sistema de gestión y puedan ser controlados por la organización.

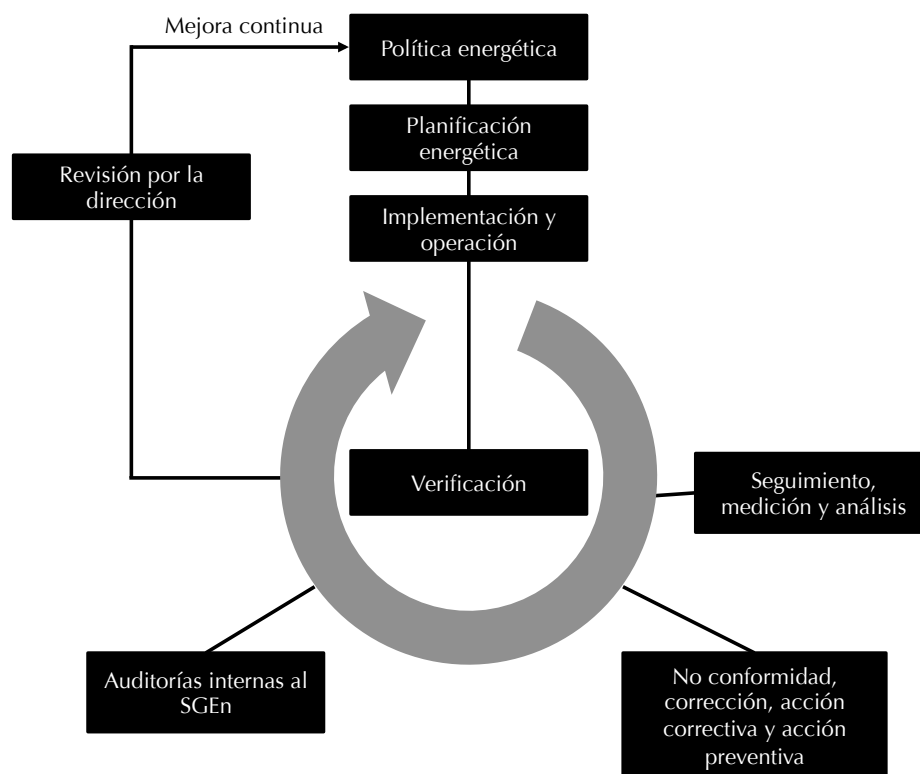


Figura 1.6 Modelo del sistema de gestión de la energía para la Norma [20]

Los elementos principales de la Norma, en los que se recogen sus requisitos, son [20]:

- 4.1 Requisitos generales,
- 4.2 Responsabilidad de la dirección,
- 4.3 Política energética,
- 4.4 Planificación energética,
- 4.5 Implementación y operación,
- 4.6 Verificación, y
- 4.7 Revisión por la dirección.

En cada uno de estos elementos, la ISO 50001 presenta diferencias con las normas en que está basada. En este trabajo se analizan únicamente las que tienen que ver

con los requisitos de la fase de planificación energética, y más específicamente con los de carácter técnico.

1.4 La planificación energética en la Norma ISO 50001

El proceso de planificación energética de la ISO 50001 presenta cambios notables frente a los enfoques anteriores. En este caso, los requisitos demandan actividades más explícitas que evitan confusiones: algunos términos ambiguos usados en otras normas fueron eliminados y se incluyeron nuevas cláusulas, entre las que se destacan las específicas para los usos significativos de la energía. En las secciones siguientes se esbozan más en detalle estas diferencias.

En la Figura 1.7 se muestra un diagrama conceptual de la planificación energética, en donde se pueden ver sus elementos principales.

En esta fase, la Norma determina las acciones para desarrollar la revisión energética y establecer la línea de base, los indicadores de desempeño energético, los objetivos, las metas y los planes de acción necesarios para alcanzar los resultados esperados por la organización de acuerdo a las oportunidades de mejora y su política energética.

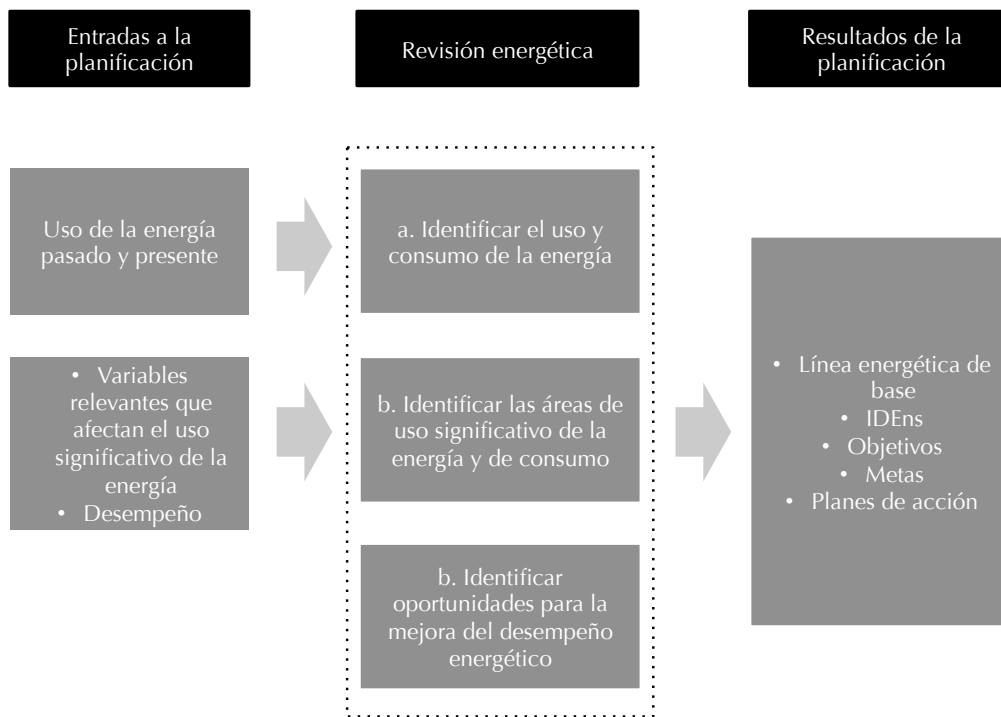


Figura 1.7 Diagrama conceptual del proceso de planificación energética [20]

1.4.1 Revisión energética

La actividad central de la planificación energética es la revisión energética. Su objetivo es analizar el uso y consumo de la energía para identificar los usos significativos de la energía (USEn), así como las oportunidades para la mejora del desempeño energético. En la Figura 1.8 se aprecian todas las actividades que comprende el cumplimiento de este requisito.

Aunque el término revisión energética se introduce por primera vez, el concepto detrás es prácticamente el mismo que en los demás sistemas de gestión de la energía estudiados. De esta manera, en la Norma ANSI/MSE 2000 se expresa como perfil energético, mientras que, en la EN 16001, como identificación y evaluación de los aspectos energéticos. Así mismo, en el modelo de Energy Star, se declara como evaluación del desempeño; en el Energy MAP y en la TGTEE, como Identificación, y

como diagnóstico energético, respectivamente. En el SGIE se realiza en la etapa de Instalación.

En contraste con estos SGEN, la ISO 50001 hace hincapié en su realización a través de procesos documentados.

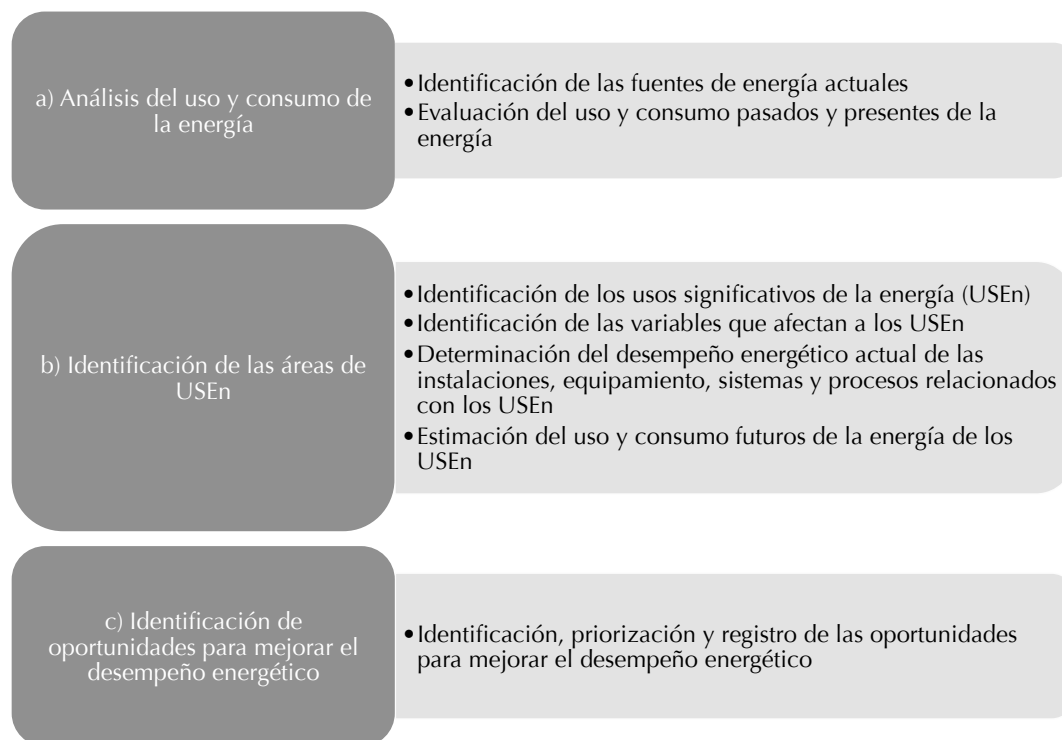


Figura 1.8 Actividades de la revisión energética

1.4.1.1 Análisis del uso y el consumo de energía basándose en mediciones y otro tipo de datos

Con este requisito, la Norma busca que la organización pueda identificar patrones y tendencias de uso y consumo de la energía, y a la vez conocer sus fuentes de energía dentro del alcance del SGEN. Este análisis debe conducir a la determinación del desempeño energético de la organización y a la identificación de oportunidades de mejora.

El cumplimiento de este requisito comprende la identificación de las fuentes de energía actuales y la evaluación del uso y consumo pasados y presentes de la energía.

Este requisito es básicamente el mismo en todos los SGEN analizados, aunque en la MSE 2000, en el Energy MAP y en la TGTEE, no se especifica explícitamente la necesidad de evaluar el uso y consumo pasados de energía.

1.4.1.2 Identificación de las áreas de uso significativo de la energía

La Norma establece que a partir de la información recabada para dar cumplimiento al requisito precedente, es preciso determinar las instalaciones, equipamiento, sistemas, procesos y personal que afectan significativamente al uso y al consumo de la energía. El objetivo de este requisito es que la organización pueda focalizar los recursos disponibles para el SGEN, en mejorar y mantener un óptimo desempeño de un pequeño grupo de sistemas críticos [21]. El criterio para definir un uso de la energía como significativo debe ser documentado.

Aunque todos los SGEN consultados fijan este requisito en general, ninguno incluye cláusulas específicas para los USEN, tal como la ISO 50001 lo hace:

- identificar las variables que los afectan
- determinar su desempeño energético actual
- estimar su uso y consumo futuros de energía

1.4.1.3 Identificación, priorización y registro oportunidades para mejorar el desempeño energético

Con este requisito la ISO 50001 pretende que la organización revise permanentemente sus prácticas operacionales en busca de mejoras en sus procesos

y equipamiento, especialmente en los que impacten significativamente el uso y el consumo de la energía.

Las oportunidades que se identifiquen necesitan ser priorizadas con el fin de concentrar únicamente los recursos y esfuerzos en las más atractivas, de acuerdo al criterio que establezca la organización. Las cuales a su vez, deben ser registradas adecuadamente para hacerles seguimiento y de esta manera garantizar los beneficios esperados con su implementación.

La esencia de este requisito es recogida en todos los SGEN analizados. Aunque ni en la MSE 2000, ni en el modelo de Energy Star, está explícito. En ambos casos se considera su identificación como resultado de los diagnósticos energéticos.

1.4.2 Línea de base energética

La ISO 50001 especifica el establecimiento de una(s) línea(s) de base energética a partir de la información levantada en la revisión energética. Con ello se busca que la organización cuente con una referencia cuantitativa a partir de la cual pueda estimar las mejoras en su desempeño energético, y además, realizar comparaciones.

Este requisito no se incluye en la MSE 2000, ni en la EN 16001. No obstante, en la primera se indica que el perfil energético inicial sirve como línea de base. De igual forma, en la EN 16001, se sugiere usar los datos de consumo energéticos iniciales con esta misma finalidad. En ambas Normas, se expresa el uso de la línea de base para los mismos propósitos que se plantean en la ISO 50001.

En el modelo de Energy Star, este requisito se incluye dentro del Paso 2, “Evaluar Desempeño” (que equivale a la revisión energética en la ISO 50001). En los demás SGEN no se especifica en ninguno de sus requisitos.

1.4.3 Indicadores de desempeño energético

La Norma establece la necesidad de identificar IDEn apropiados para realizar mediciones y seguimiento al desempeño energético de la organización. Los IDEn, al igual que la línea de base energética, tienen mucha utilidad en comparaciones de desempeños posteriores a la implementación del SGEN o a la puesta en marcha de una mejora.

En la Norma MSE 2000 este requisito está incluido dentro del perfil energético, y en el Energy MAP, hace parte del Paso 8. En el SGIE se denota como establecimiento de los indicadores del sistema de gestión. Por el contrario, en la EN 16001, el modelo de Energy Star, y en la TGTEE, no existe como tal el requisito, a pesar que en estas se hace referencia al uso de IDEn para medir el desempeño energético.

1.4.4 Objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción para la gestión de la energía

En esta cláusula la Norma indica que es necesario establecer, implementar y mantener objetivos energéticos y metas energéticas, de acuerdo a las funciones, niveles, procesos o instalaciones pertinentes dentro de la organización. Estos elementos impulsarán todo sistema de gestión, los cuales se ponen en práctica a través de planes de acción.

La Norma define varios aspectos para incluir en los planes de acción, entre los cuales se estipulan dos que no se señalan en los demás SGEN analizados, que son:

- la declaración del método para verificar la mejora del desempeño energético,
- la declaración del método para verificar los resultados.

En la MSE 2000 este requisito se incluye con el mismo objetivo. En este caso, los planes de acción se denominan proyectos, y para ellos no se estipulan los elementos

que deben incluir. En la EN 16001, este requisito guarda bastante similitud. Los programas energéticos son el equivalente de los planes de acción. Tanto en el modelo de Energy Star, como en el Energy MAP, la TGTEE y el SGIE, se incorpora.

Con el establecimiento de los objetivos energéticos, sus metas y sus planes de acción, culmina la fase de planificación energética y se da paso a la implementación y operación del SGEN.

1.5 Uso de herramientas de apoyo en la planificación energética

Como se puede ver, la planificación energética, tanto en la ISO 50001, como en los demás SGEN, comprende una serie de actividades, en su mayoría de carácter técnico, que involucra la recolección, registro y análisis de un volumen considerable de datos sobre el uso y consumo de la energía, con el fin de identificar oportunidades de mejora, a partir de las cuales, se establecen las acciones necesarias para implementarlas. Sin duda que una apropiada manipulación e interpretación de estos datos garantiza alcanzar el fin último del sistema de gestión: el mejoramiento continuo del desempeño energético de la organización.

De allí pues, surge la necesidad del uso de herramientas de apoyo para el efectivo cumplimiento de cada uno de los requisitos involucrados en esta fase. En este sentido, Campos Avella [22], manifiesta que al igual que los sistemas de gestión de la calidad necesitan de herramientas básicas para su aplicación exitosa, los sistemas de gestión de la energía también las necesitan, y que las organizaciones tienen además el reto de dominarlas, aplicarlas e introducirlas en su gestión organizacional.

La ISO también es consciente de esta necesidad, y actualmente está desarrollando documentos normativos de apoyo a aspectos específicos de la Norma que requieren mayor profundización, como: Indicadores de desempeño energético, Formulación de

líneas base, Auditorías energéticas y Guía de implementación de la Norma, entre otros.

En el análisis que se realizó a los SGEN antes mencionados, se identificaron las herramientas que se han propuesto para facilitar el cumplimiento de los requisitos que hacen parte de sus procesos de planificación. En la Tabla 1.8 se organizaron de acuerdo al objetivo que persigue cada requisito para el cual se propusieron. Con esta tabla es evidente la gran variedad de herramientas que podrían usarse en el establecimiento, implementación y operación de la fase de planificación energética de la ISO 50001.

Tabla 1.8 Herramientas propuestas en los SGEN estudiados

Objetivo del requisito	Herramientas
Identificar tendencias y patrones en el uso y el consumo de todas las fuentes de energía	<i>Portfolio Manager</i> de Energy Star, <i>Energy Performance Indicator</i> de Energy Star. Tablas, gráficos, hojas de cálculo, <i>software</i> especializado, técnicas de normalización de datos, análisis de regresión, Gráfico de Consumo y Producción en el tiempo, técnica de Producción Equivalente, Diagrama Índice de Consumo versus Producción, Carta CUSUM, Gráfico Base 100
Identificar áreas de uso significativo de la energía	Balances energéticos, análisis de Pareto, estratificación, análisis de riesgo, sistemas de ranqueo, prioridades de costos, mapas de proceso, diagramas Sankey, modelos energéticos, mapeo de energía, encuestas de tecnologías de uso final, perfiles de consumo energético, <i>benchmarks</i> , encuestas, lecciones aprendidas, auditorías energéticas, revisión de procedimientos operativos, diagnósticos energéticos, listas maestras de equipos, herramienta de Energy MAP <i>Significant Energy Users</i> , listas de chequeo, Diagrama Energético–Productivo.
Evaluar el desempeño energético	Diagnósticos energéticos de todos los niveles (específicos para cada sistema energético), auditorías energéticas.
Identificar oportunidades de mejora	Auditorías energéticas, modelos energéticos, revisión de mejor tecnología disponible, análisis Pinch, análisis de requerimientos energéticos, análisis de causa raíz, <i>benchmarks</i> , <i>Lean manufacturing</i> , Seis Sigma, perfiles de consumo energético, encuestas, lecciones aprendidas, revisión de procedimientos operativos, diagnósticos energéticos, análisis termoeconómicos, criterios de

	expertos.
Identificar indicadores de desempeño energético	Análisis de correlación estadística, técnicas de normalización, filtrado de <i>outliers</i> .
Establecer objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción	Buenas prácticas por tecnologías de uso final, análisis de regresión, análisis CUSUM, control estadístico de proceso, análisis de carga base, técnicas de mantenimiento predictivo, buenas prácticas sectoriales, minería de datos, <i>benchmarks</i> , lluvia de ideas, mapas mentales, guías: Energy MAP: <i>How to set objectives and targets</i> y <i>Guide on setting SMART objectives</i> , Herramienta Energy MAP: <i>Programme Plan</i>

La ISO 50001 guarda muchas similitudes con estos sistemas de gestión, y por tanto, muchas de las herramientas propuestas podrían usar igualmente en el cumplimiento de sus requisitos. A pesar de esto, la Norma también tiene diferencias notables frente a ellos, las cuales deben considerarse al usar éstas.

Con la masificación que se espera que alcance aún más la gestión de la energía, producto de la publicación de la Norma Internacional ISO 50001, un documento guía que sugiera las herramientas disponibles para el cumplimiento de los requisitos y que además indique cómo usarlas y de qué manera apoyan en este sentido, sería de gran ayuda, principalmente en las organizaciones en donde no exista personal con la competencia para hacerlo.

1.6 Conclusiones parciales

1. La gestión de la energía ha alcanzado una considerable transcendencia mundial en los últimos años, y se espera que continúe creciendo gracias a la publicación de la Norma Internacional ISO 50001. Las crisis energéticas y sus consecuencias, al igual que la marcada conciencia ambiental sobre los efectos asociados al consumo energético, han jugado un papel importante en este sentido. Esto no solo ha llevado

a la creación de políticas nacionales, sino a que las organizaciones reconozcan la criticidad de la energía para la competitividad de sus operaciones.

2. Una de las medidas que se han adoptado ha sido la creación de normas nacionales y regionales de SGEN, y últimamente una internacional como lo es la ISO 50001. Estas normas establecen marcos comunes para la gestión de la energía y facilitan el mejoramiento continuo del desempeño energético. Dentro de esos sistemas de gestión, el proceso de planificación energética es, sin duda, un punto neurálgico para su establecimiento y operación.

3. En la fase de planificación energética el uso de herramientas es esencial para cumplir con sus requisitos. A pesar de que muchas de ellas se han propuesto en los SGEN que anteceden a la ISO 50001, no existe un documento guía que muestre cómo ellas pueden facilitar y asegurar su cumplimiento adecuado, y además favorecer el funcionamiento efectivo del SGEN según la Norma actual. Esto cobra incluso mayor relevancia debido al hecho de que la Norma solo establece lo que se debe cumplir, mas no precisa cómo hacerlo.

4. Atendiendo a las similitudes de los objetivos perseguidos por los requisitos del proceso de planificación energética de los SGEN estudiados con las de los de la Norma ISO 50001, algunas de las herramientas propuestas en ellos podrían ser usadas para el cumplimiento de los requisitos de la Norma. Un análisis más detallado en el capítulo siguiente permitirá validar esta afirmación.

2. HERRAMIENTAS PARA LA PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA EN LA NORMA ISO 50001

En este capítulo se presentan las herramientas consideradas idóneas, para cada uno de los requisitos, de índole técnico, de la fase de planificación energética, se fundamenta su utilidad y se explica el procedimiento para su aplicación. La cláusula relacionada con los requisitos legales y otros requisitos, no se incluye en este trabajo por considerarse fuera de su alcance estrictamente técnico.

La selección se fundamentó en su aplicabilidad práctica y sencillez, pensando principalmente en sistemas de gestión de la energía de ámbito industrial, específicamente en pequeñas y medianas organizaciones, que se establecen o implementan por primera vez, o que tienen poca madurez, y que realizan un primer ciclo PHVA para comprender su situación energética actual frente al cumplimiento de los requisitos de la Norma. En este tipo de organizaciones es común una escasez relativa de datos históricos de energía y de otras variables, lo que limita el uso de herramientas más sofisticadas. Es importante resaltar que la aplicabilidad de las herramientas presentadas no solo se limita al establecimiento e implementación, muchas de ellas son igualmente útiles durante la operación del SGen.

No se incluyó una descripción de la auditoría energética como herramienta dentro del proceso de planificación energética, debido a que existen varias normas sobre el tema que pueden ser consultadas y además se pudo conocer que la ISO está preparando la **Norma 50002 – Auditorías Energéticas**, la cual define los atributos de una adecuada auditoría energética. Estas normas pueden considerarse en sí mismas herramientas de soporte para toda la revisión energética.

Las herramientas se organizan dentro de cada requisito, los cuales forman las secciones del capítulo. En cada uno de ellos se realiza una descripción de su

objetivo general dentro del SGE y a continuación se sugieren las herramientas que se consideran pertinentes para cumplirlo, en parte o de manera integral.

2.1 Análisis del uso y del consumo de energía

El objetivo central de este requisito es identificar patrones y tendencias globales en el uso y el consumo de todas las fuentes de energía utilizadas por la organización. Ello posibilita comprender cómo ha sido y cómo es actualmente el desempeño energético, estimar comportamientos futuros y establecer diferencias con los reales, y decidir hasta qué punto sus variaciones son aceptables. Dicho análisis permite, además, tener una primera impresión de las áreas de mayor consumo y de algunos potenciales de mejora.

El cumplimiento de este objetivo depende en gran medida de la calidad de los datos a que la organización tenga acceso, pues ello definirá el tipo de análisis que se pueda realizar. De cualquier modo, estos datos deben, inicialmente, permitir describir de manera general la situación pasada y presente del sistema energético de la organización. La cantidad de datos disponible debe cubrir como mínimo dos años de operación, en los cuales haya habido una operación estable sin cambios considerables en la organización.

Antes de realizar cualquier tipo de análisis es recomendable normalizar los datos y de esta manera tener en cuenta la influencia de factores relevantes, como el nivel de producción y la temperatura ambiente, así como posibles errores en las mediciones, en la calidad de los mismos.

Las herramientas sugeridas para gestionar y presentar los datos recopilados son:

- Listas, tablas, gráficas, hojas de cálculo en general
- *Software* especializados para la gestión de datos

Para normalizar los datos:

- Filtrado de datos (filtrado de *outliers*)
- Técnica de la Producción Equivalente
- Técnica de Horas-Grado (o grados-día)

Para analizar las tendencias y patrones del consumo de energía y de sus variables de influencia:

- Gráfico de consumo de energía y producción en el tiempo
- Análisis de regresión
- Análisis CUSUM
- Gráfico Base 100

2.1.1 Listas, tablas y gráficas, gestionadas en hojas de cálculo

Las listas o tablas permiten, de forma organizada y centralizada, presentar todos los datos de consumo por tipo de fuente energética. Éstas pueden estar alimentadas por los datos suministrados por la compañía de energía o por mediciones realizadas directamente por la organización, y tener diversas formas, según la disponibilidad de datos y necesidades de la misma. En lo esencial, deben posibilitar conocer cuánto, qué y en qué se consume la energía utilizada dentro del alcance y límites del SGEN, en el pasado y en el presente.

La Tabla 2.1 es un ejemplo de la forma que pueden tener las tablas. En ella se muestran los consumos mensuales de energía por tipo de fuente, así como el costo asociado a éste. En este caso simple, los datos fueron tomados únicamente de las facturas mensuales de la organización.

Tabla 2.1 Seguimiento del consumo de energía y sus costos [21]

Meses	Días	Consumo electricidad (kWh)	Costo consumo electricidad (\$)	Consumo combustibles fósiles (MMBTU)	Costo consumo combustibles (\$)	Total consumo energético (MMBTU)	Costo consumo energético (\$)	Costo promedio (\$/MMBTU)
nov-10	30	9.397.344	\$562,35	17.074	\$282,61	49.138	\$845	\$17.20
dic-10	30	9.118.128	\$589,99	19.060	\$261,97	50.171	\$852	\$16.98
ene-11	31	9.738.882	\$644,72	19.712	\$275,99	52.941	\$921	\$17.39
feb-11	27	9.031.250	\$610,81	19.473	\$203,50	50.288	\$814	\$16.19
mar-11	30	10.482.312	\$711,64	20.724	\$182,84	56.489	\$894	\$15.83
abr-11	29	9.520.374	\$678,75	16.329	\$145,84	48.812	\$825	\$16.89
may-11	31	11.045.710	\$731,14	19.561	\$173,56	57.249	\$905	\$15.80
jun-11	29	11.689.324	\$769,32	18.067	\$136,08	57.951	\$905	\$15.62
jul-11	30	11.922.946	\$798,19	17.600	\$131,84	58.281	\$930	\$15.96
ago-11	30	12.537.956	\$855,15	18.268	\$161,69	61.048	\$1.017	\$16.66
sep-11	29	10.932.634	\$718,47	15.542	\$133,89	52.844	\$852	\$16.13
oct-11	30	10.058.302	\$664,55	17.642	\$102,34	51.961	\$767	\$14.76
Totales	356	125,475,162	\$8,335,093		\$2,192,137	647.173	\$10.527	\$16.28

La ventaja de gestionarlas en hojas de cálculo de *Microsoft Excel*®, es que se pueden generar fácilmente gráficos a partir de ellas. Dichos gráficos ayudan a mostrar visualmente los comportamientos de los datos, lo que facilita enormemente su comprensión por todos los niveles de la organización. La Figura 2.1 muestra un modelo de estos gráficos, el cual refleja la evolución mensual del consumo total y el costo de energía. Gráficos como éste, pueden tomar diversas formas, según las necesidades particulares de análisis de la organización.

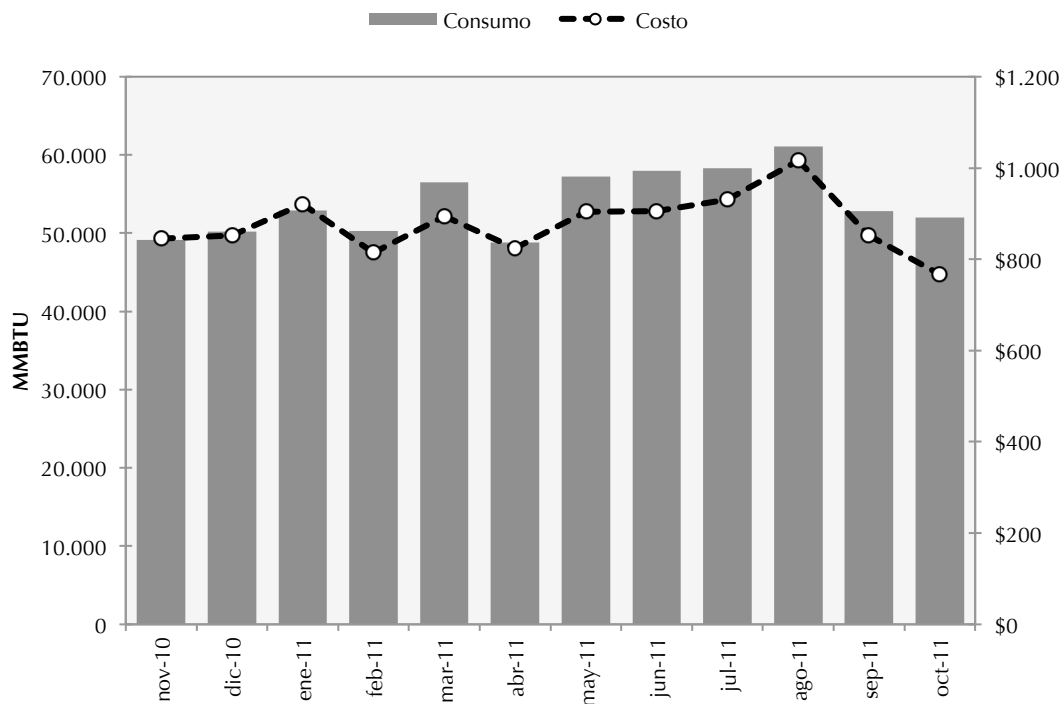


Figura 2.1 Gráfico de seguimiento mensual del consumo y costo de la energía [21]

Una herramienta adicional, muy útil en este propósito, la ofrece *Energy Star*, la denominada **Energy Tracking Tool**. Es un libro de *Microsoft Excel*® programado con diversos macros, que permite realizar seguimiento al consumo de energía en una organización, a indicadores, a costos de energía y a las emisiones de gases de efecto invernadero. Adicionalmente, brinda la posibilidad de establecer líneas de base y realizar seguimiento a metas, entre otros aspectos. Está disponible para descarga en: www.epa.gov

2.1.2 Software especializados para la gestión de datos

A parte de las hojas de cálculo de *Microsoft Excel*®, la organización puede beneficiarse de herramientas más sofisticadas para la contabilización de la energía, cuando sus necesidades así lo requieran y sus recursos se lo permita. En el mercado existen varios *software* licenciados de monitoreo y seguimiento de datos de energía

para una instalación industrial. Estas herramientas tienen especial aplicación en organizaciones donde se manejan grandes volúmenes de datos, tomados con sistemas de adquisición y provenientes de diferentes instalaciones.

Generalmente estos *software* tienen un valor que oscila en unos cuantos miles de dólares, según sus características. Por mencionar algunos:

- **EnergyCAP:** gestión de datos de energía y generación de reportes, completamente modular según las necesidades específicas de la organización, entre otras características. Disponible en: www.energycap.com
- **Metrix:** gestiona datos de energía y todo tipo de proyectos de energía, y sus ahorros relacionados. Crea una línea de base y puede realizarse el seguimiento del consumo con relación a ésta. Disponible en: www.src-systems.com

2.1.3 Filtrado de datos

Esta técnica permite descartar los datos que no reflejan un comportamiento normal, y que son principalmente producto de errores en las mediciones y condiciones anómalas de operación. Su uso debe ser cuidadoso cuando la organización produce varias referencias de producto con diferentes intensidades energéticas en las mismas líneas de producción, ya puede inducir a la eliminación de datos válidos. Cuando sea éste el caso, lo mejor es obtener primero una producción equivalente, tal como se mostrará en la siguiente sección, y luego realizar el filtrado.

El filtrado se basa en un análisis de correlación, en donde se considera un patrón normal, cuando existe una variación simultáneamente lineal en el consumo energético y en el nivel producción (u otra variable independiente) durante un mismo periodo. Los pares de datos que no cumplen con este criterio son considerados anómalos.

Usando las funciones de *Microsoft Excel*® PENDIENTE e INTERSECCION.EJE, se calcula, para toda la muestra de datos de consumo de energía y nivel de producción (P) (u otra variable de influencia), la pendiente de la línea recta (m) y su intercepto (E_0), respectivamente, para obtener una ecuación de la forma:

$$E_{\text{estimado}} = mP + E_0 \quad (2.1)$$

Con la cual, se estima un consumo energético teórico para cada nivel de producción.

A continuación, para cada par de datos, se obtiene la variación explicada (Ve) y la variación no explicada (Vne), respecto al valor promedio y al valor estimado con la Ecuación (2.1), de la siguiente manera:

$$Ve = (\text{Consumo observado} - \text{Consumo promedio})^2 \quad (2.2)$$

$$Vne = (\text{Consumo observado} - \text{Consumo estimado})^2 \quad (2.3)$$

Una vez obtenidas las dos variaciones, es posible entonces calcular el coeficiente de correlación (R^2), para cada par de datos, así:

$$R^2 = \frac{Ve}{Vne + Ve} \quad (2.4)$$

Este coeficiente determina en qué medida la variación en el consumo de energía es explicada por el nivel de producción, que en este caso esperamos sea lo más alto posible, ya que asumimos una variación lineal entre ambas variables. Además, se espera que el nivel de producción sea la variable que defina en mayor grado el consumo de energía en una planta industrial.

En la Tabla 2.2 se muestran los coeficientes de correlación obtenidos para un rango de datos de dos años de observaciones, aplicando esta técnica.

Tabla 2.2 Técnica del filtrado de datos: análisis de correlación

Mes	Producción (ton)	Fuel Oil (ton)	R ²
ene-09	910	1.680	0,98
feb-09	960	1.860	0,02
mar-09	710	1.450	1,00
abr-09	1.220	2.240	0,65
may-09	740	1.670	0,71
jun-09	605	1.305	0,99
jul-09	1.120	2.230	0,22
ago-09	540	1.390	0,95
sep-09	1.210	2.185	0,73
oct-09	1.260	1.915	0,79
nov-09	1.420	2.105	0,91
dic-09	1.130	1.720	0,39
ene-10	1.160	2.120	0,66
feb-10	970	1.720	0,01
mar-10	1.100	1.880	0,97
abr-10	810	1.332	0,35
may-10	1.280	2.105	1,00
jun-10	820	1.600	1,00
jul-10	650	1.234	0,82
ago-10	705	1.520	0,96
sep-10	920	1.780	0,38
oct-10	1.080	1.810	0,74
nov-10	1.195	1.920	0,88
dic-10	860	1.530	0,59

Los pares de datos con un coeficiente de correlación inferior a 0,6 se eliminan de la muestra (filas resaltadas en la Tabla 2.2 y puntos de color negro en la Figura 2.2), según el criterio de filtrado que se utilice. Es recomendable que los pares de datos resultantes no sean inferior al 70% de la muestra original, para que ésta sea representativa. En el caso de ejemplo, se eliminan 7 pares, resultando 17 que cumplen con el criterio, los cuales representan el 71% de la muestra original, y por tanto, la muestra resultante tiene validez para ser usada en análisis posteriores.

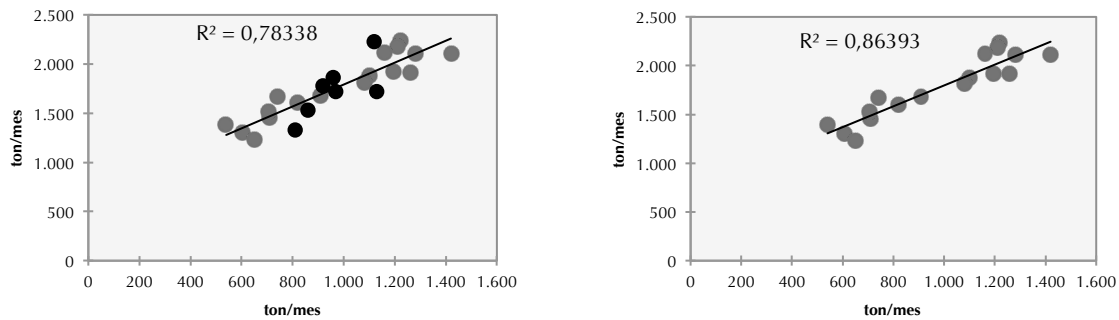


Figura 2.2 Gráfico de dispersión antes y después del filtrado

Nótese que antes del filtrado el nivel de correlación de la muestra era del 78%, y después se incrementa hasta 86%, tal como se ilustra en la Figura 2.2. Este alto nivel de afinidad entre los datos garantiza que puedan ser usados en análisis posteriores, pues reflejan en gran medida la variabilidad normal de la relación energía-nivel de producción de la organización.

A parte de la técnica de filtrado propuesta, se pueden usar otros métodos estadísticos para la eliminación de *outliers*.

2.1.4 Técnica de la Producción Equivalente

Esta técnica de normalización busca considerar el efecto que tiene la variación del tipo de producto (o de referencia) procesado con diferente intensidad energética, en el consumo energético, generalmente presente cuando se utilizan los mismos equipos para producirlos o cuando las mediciones no son realizadas durante los mismos periodos. Dicho efecto se refleja como un bajo nivel de correlación entre el consumo energético y el nivel de producción global de la organización, habitualmente alta en procesos productivos. Se debe utilizar únicamente después de

haber descartado problemas con la adquisición y procesamiento de los datos, ya que esto también puede generar bajos niveles de correlación.

La producción equivalente se puede estimar de varias formas, según los datos disponibles. Una primera opción es obtener un modelo lineal ($E = mP + E_0$) a través de un análisis de regresión para cada tipo de producto procesado [23]. Luego se selecciona una referencia de producto como estándar, comúnmente el de mayor volumen de producción o el de mejor nivel de correlación, y se refieren los demás modelos al de éste. Así pues, la ecuación para calcular la producción equivalente de cada referencia de producto quedaría así:

$$Peq_{Ref_i} = \frac{m_{Ref_i} P_{Ref_i} + E_{0Ref_i} - E_{0estandar}}{m_{estandar}} \quad (2.5)$$

Donde:

m_{Ref_i}	Pendiente del modelo lineal para la referencia i.
P_{Ref_i}	Nivel de producción de la referencia i.
$E_{0estandar}$	Intercepto del modelo lineal para la referencia estándar.
$m_{estandar}$	Pendiente del modelo lineal para la referencia estándar.

La producción equivalente total sería la sumatoria de todas las producciones equivalentes para cada producto.

Otra opción se basa en calcular la energía específica necesaria para producir una unidad de cada tipo de producto y referirla a la del producto de mayor volumen de procesamiento. El consumo específico de cada referencia se obtiene a través de un balance de energía para un nivel típico de producción [15]. La producción equivalente total sería, el dato de producción del producto definido como estándar, más la sumatoria de las producciones de cada tipo de producto por su consumo específico referido al del producto estándar, según la ecuación:

$$P_{eq} = P_{estandar} + \frac{CEE_{Ref_i}}{CEE_{estandar}} P_{Ref_i} + \dots \quad (2.6)$$

Donde:

$P_{estandar}$	Nivel de producción de la referencia estándar.
P_{Refi}	Nivel de producción de la referencia i.
CEE_{Refi}	Consumo específico de energía de la referencia i.
$CEE_{estandar}$	Consumo específico de energía de la referencia estándar.

2.1.5 Técnica de grados-día

En las organizaciones en donde por su ubicación geográfica, la temperatura ambiente tiene un impacto considerable en el consumo de energía para la climatización, esta técnica posibilita la incorporación de su influencia para análisis más precisos. Aunque, en instalaciones industriales se espera que el nivel de producción tenga un impacto mucho mayor que la temperatura ambiente, en el consumo total de energía.

El concepto de grados-día (o de horas-grado) se basa en la premisa básica de que para temperaturas ambiente por debajo de un valor umbral (o punto de equilibrio), se requiere energía para calentar un edificio, y para temperaturas ambiente por encima de dicho umbral, se requiere refrigeración; mientras que para temperaturas ambiente iguales a este valor, no se requiere ni calefacción ni refrigeración [24]. Este umbral es generalmente 18 °C, establecido a partir del hecho que incluso una edificación deficientemente construida, es capaz de mantener condiciones de confort sin climatización a esta temperatura ambiente [25].

El método más común para calcular los grados-día (de calefacción o de refrigeración), consiste en determinar la temperatura promedio diaria, a partir de la temperatura más alta y más baja observada durante el día. Para un día determinado, si la temperatura diaria promedio está por debajo del umbral de 18 °C, la diferencia

es el valor de grados de calefacción-día, pero si está por encima, la diferencia es el valor de grados de refrigeración-día.

Una vez comprobada la influencia de esta variable en el consumo energético de la organización, se realiza una regresión múltiple junto con el nivel producción, para incluir los dos efectos en los análisis posteriores a nivel de la planta, como estimaciones de consumos futuros, definición de indicadores, etc.

2.1.6 Gráfico de consumo de energía y producción en el tiempo

Esta herramienta posibilita observar la variación simultánea del consumo de energía con el nivel de producción durante un periodo determinado, facilitando la identificación de comportamientos anómalos, es decir, aquellos en donde no exista una variabilidad proporcional. Análisis más profundos de estas variaciones especiales, permitirán identificar las causas o factores que las producen para tomar las acciones necesarias para evitar que se repitan. Este gráfico puede realizarse para cada fuente de energía utilizada en la organización y establecerse para varios niveles, según sus necesidades [26].

La Figura 2.3 muestra un ejemplo de este gráfico, en donde se aprecia como varían paralelamente el consumo de energía eléctrica y el nivel de producción de una organización determinada. Es evidente una disparidad en las variaciones a partir de diciembre de 2001, indicando que los cambios en el consumo energético no son debidos principalmente al nivel de producción de la planta, y que otra variable tiene una influencia mayor, o también podría ser que los datos de nivel de producción no corresponden a los mismos periodos del consumo, entre otras posibles situaciones.

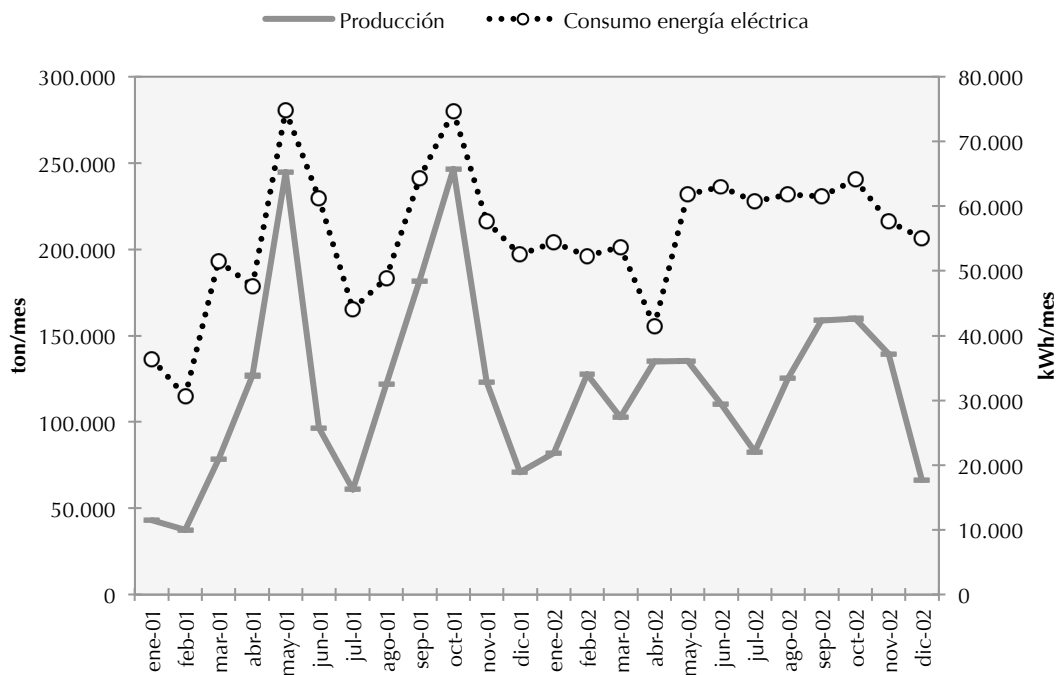


Figura 2.3 Gráfico de consumo y producción en el tiempo

2.1.7 Análisis de regresión

Consiste en correlacionar el consumo energético con una variable de influencia, generalmente el nivel de producción, para determinar un modelo matemático que permita explicar sus variaciones. Dicho modelo, cuando la regresión es lineal simple, es la ecuación de la línea recta (o línea de mejor ajuste), la cual, en este caso, tiene la forma $E = mP + E_0$. El coeficiente m representa la mínima cantidad la energía requerida, a cualquier nivel de producción, para obtener una unidad adicional de producto, mientras que E_0 expresa un consumo de energía fijo que no está asociado directamente al nivel de producción.

Este modelo lineal, a pesar de su sencillez, tiene mucha utilidad en la gestión de la energía, pues permite alcanzar un buen entendimiento de la relación que existe entre el consumo de la energía y el nivel de producción, u otra variable de influencia. A

partir de él, se puede conocer el consumo variable y fijo de energía, comprender el comportamiento histórico del consumo de energía producto del nivel de producción, estimar consumos futuros para determinados niveles de producción, establecer objetivos y metas energéticas, entre otros aspectos.

El patrón observado en la Figura 2.4 es muy común en organizaciones industriales, en donde el consumo energético está fuertemente relacionado con nivel de producción. A mayores niveles de producción, se esperan mayores consumos de energía, y viceversa, suponiendo un comportamiento lineal en todo el rango de datos. Para este ejemplo, el modelo lineal resultante que describe este comportamiento, es: $E = 1,068P + 729,12$ [ton/mes].

El consumo de energía no asociado al nivel de producción (729,12 ton/mes de *fuel oil*, en el ejemplo), es un dato muy importante en un SGen. Éste indica el consumo base de la planta, independientemente de que ésta produzca o no, el cual está asociado principalmente a inadecuadas prácticas operacionales, subutilización de la capacidad instalada o a deficiencias en el mantenimiento del equipamiento. La organización puede encontrar en este valor un indicador del nivel de gestión que realiza y un punto de referencia para establecer metas energéticas que busquen reducirlo.

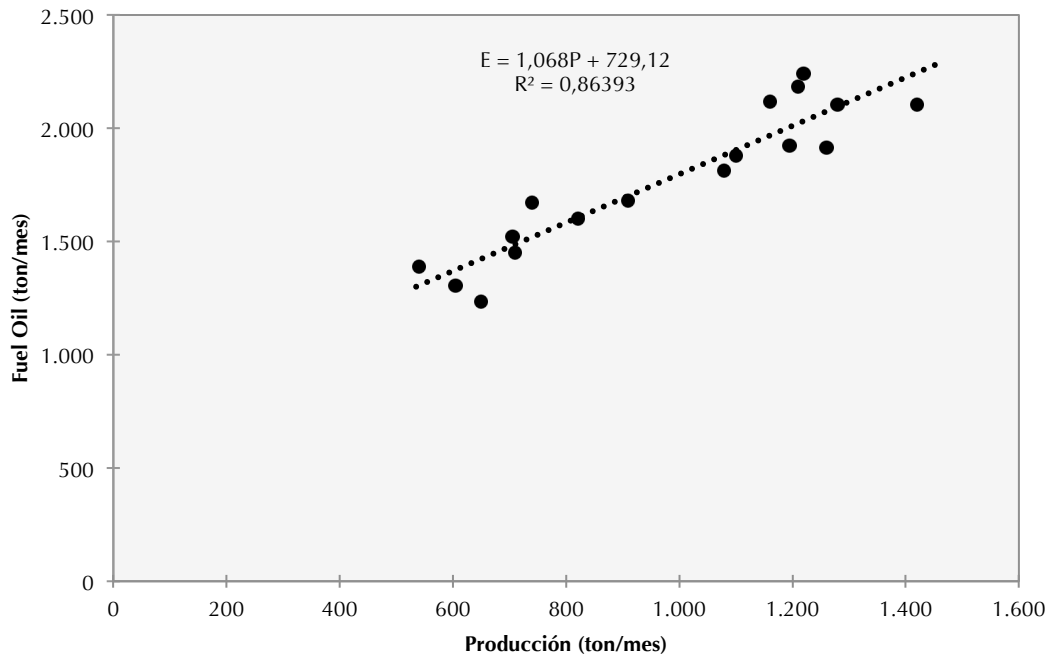


Figura 2.4 Correlación de consumo energía y nivel de producción

El rango de datos común para realizar un buen análisis de regresión es de dos años de observaciones mensuales. Para SGEEn que se establecen por primera vez es recomendable obtener datos, en lo posible diarios o al menos semanales, durante seis o 12 meses [27]. Ello garantizará una comprensión adecuada de la relación consumo energético – nivel de producción, del proceso productivo y de los factores que determinan el desempeño energético.

2.1.8 Análisis de Suma Acumulada (CUSUM)

El análisis CUSUM se basa en la obtención de la suma acumulada de las diferencias entre el consumo observado en un periodo determinado, y el consumo estimado a través del modelo lineal, que se obtiene en el análisis de regresión para un periodo base o de referencia. Dicha suma acumulada, graficada en una carta CUSUM, permite observar la tendencia de la variación del consumo energético en relación al periodo base.

La existencia de estas diferencias indica que la relación consumo de energía – nivel de producción no explica completamente los cambios observados en el desempeño energético durante el periodo de análisis, y por tanto hay otros factores no identificados que lo influyen. Asimismo, un análisis de las causas y efectos de estas variaciones, permitirán identificar las buenas o malas prácticas de operación que se deben mantener o evitar para alcanzar determinado nivel de desempeño.

En la Figura 2.5 es posible advertir una tendencia decreciente en el consumo de combustible, comparado con el periodo base. Este comportamiento puede indicar una mejora continua en el desempeño energético, fuertemente marcada después del mes de junio. Investigando sus causas, se pueden identificar las buenas prácticas que lo provocaron.

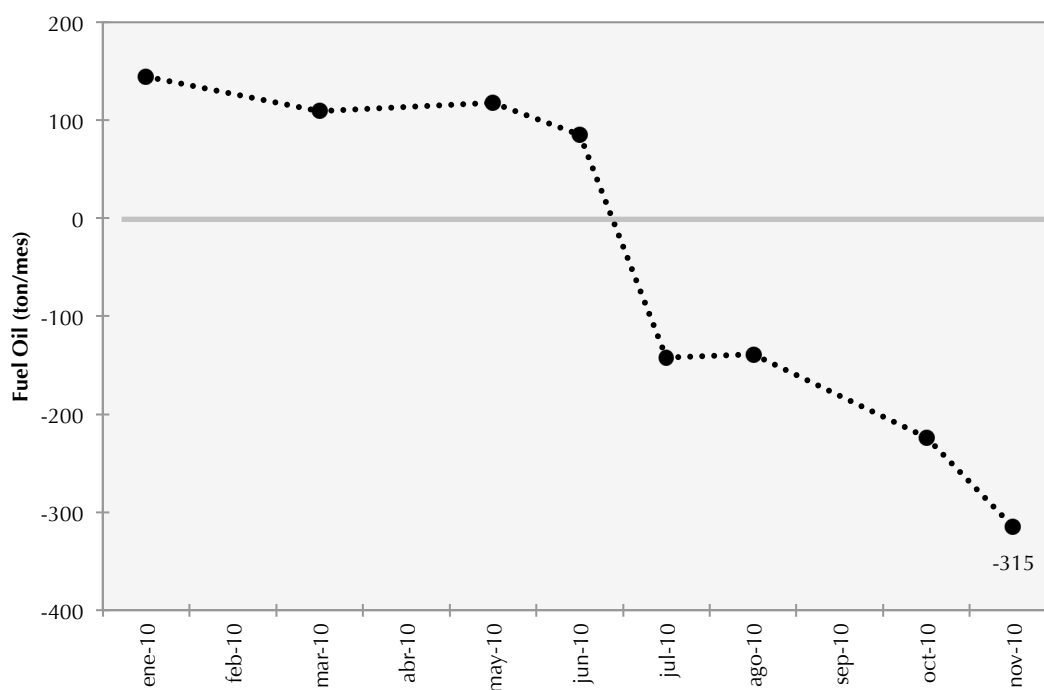


Figura 2.5 Carta CUSUM

Adicionalmente, con este análisis es posible determinar la magnitud del consumo energético, evitado o en exceso, respecto al periodo base, hasta el final de su

realización [15], que éste caso hipotético, fue de 315 ton de *Fuel Oil*, tal como se ilustra en la Figura 2.5.

2.1.9 Gráfico Base 100

Se construye a partir del cálculo de los porcentajes de cumplimiento e incumplimiento del consumo real contra un consumo estimado. El consumo estimado se obtiene a partir del modelo lineal del análisis de regresión. Los porcentajes se obtienen al dividir el consumo real entre el consumo estimado, de la siguiente manera:

$$Base\ 100 = \frac{Consumo\ real}{Consumo\ estimado} \times 100 \quad (2.7)$$

Con base en el resultado de la operación, se puede saber qué porcentaje por encima o por debajo, fue el consumo real del consumo esperado para el mismo nivel de producción, de acuerdo a un comportamiento anterior. En el ejemplo mostrado en la Figura 2.6, se aprecia que en el mes de enero hubo un consumo de un 7% por encima de lo estimado, mientras que en julio, un 16% por debajo.

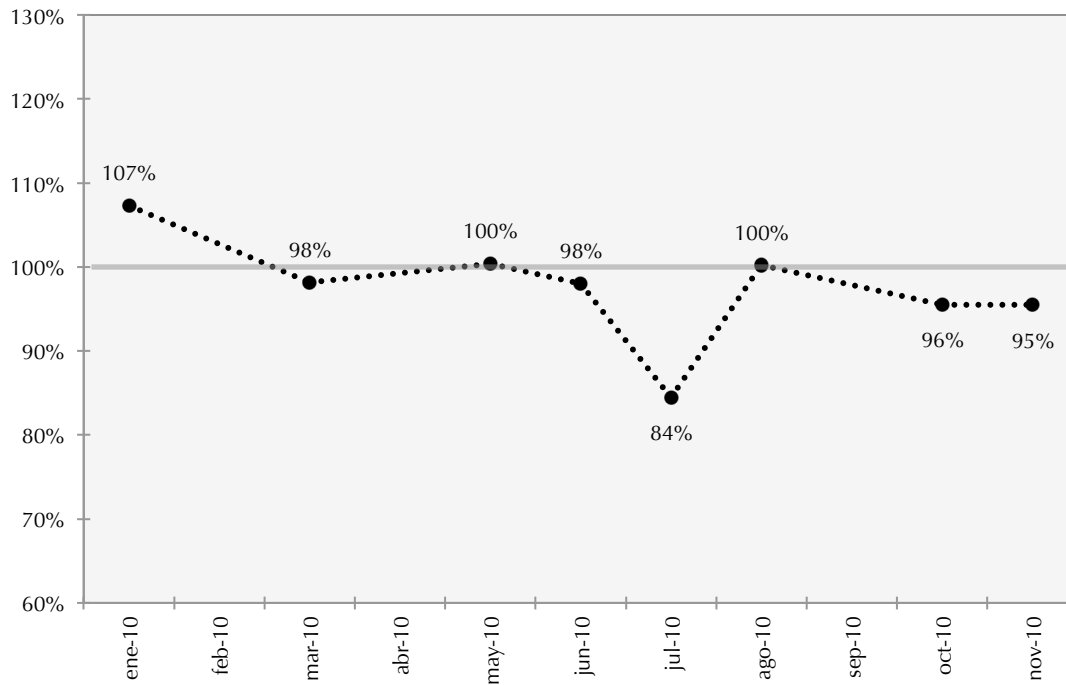


Figura 2.6 Gráfico Base 100

Este análisis también puede dar origen a un IDEn adimensional, expresado como porcentaje. Útil para realizar seguimiento al desempeño energético a partir de una línea de base.

2.2 Identificación de las áreas de uso significativo de la energía (USEn)

Según la Norma, un USEn es “un uso de la energía que ocasiona un consumo sustancial de energía y/o que ofrece un potencial considerable para la mejora del desempeño energético” [20]. Al mismo tiempo, define uso de la energía como “forma o tipo de aplicación de la energía”. Por tanto, el objetivo del requisito es identificar todas las aplicaciones altamente consumidoras de energía y/o las que ofrecen mejores potenciales de ahorro, para darles especial atención y de esta manera obtener los mayores beneficios en el desempeño energético con un mínimo de recursos.

Alcanzar este objetivo depende fundamentalmente del conocimiento profundo de los sistemas energéticos y de los procesos productivos de la organización, e igualmente, de la calidad de los datos usados.

Para SGEN que se establecen e implementan por primera vez, es recomendable definir solo unos pocos USEn para mantener la sencillez del sistema a medida que se gana experiencia en su mecánica. Mientras más USEn se precisen, más complejo se volverá el sistema de gestión y por tanto, demandará mayores recursos, lo que puede llegar a comprometer su mantenimiento.

En tal sentido las herramientas que se proponen para apoyar la identificación de los usos y consumos significativos son:

- Listado maestro de equipos por fuente de energía
- Encuestas de tecnologías de uso final
- Balances energéticos
- Diagrama Energético-Productivo

Y para representar gráficamente los resultados obtenidos con las herramientas anteriores, las siguientes:

- Diagramas Sankey
- Diagrama de Pareto
- Mapeo de energía

2.2.1 Listado maestro de equipos

En muchas organizaciones el Departamento de Mantenimiento posee listados de todos los equipos de la planta (u hojas de vida) en donde se especifican sus características técnicas. A partir de estos datos y conociendo su tiempo de operación, se pueden estimar sus consumos energéticos, y por tanto, identificar aquellos con

consumo significativo por área o proceso. Estos listados son un insumo para aplicar la ley de Pareto y determinar el 20% de los equipos y áreas, que consumen aproximadamente el 80% de las distintas fuentes de energía en la organización.

La Tabla 2.3 muestra un ejemplo de la forma que podrían tener dichos listados, que en este caso, es uno de motores eléctricos por instalación. Lo mismo podría realizarse para los equipos que consumen energía térmica, combustibles, etc.

Tabla 2.3 Listado maestro de motores eléctricos por instalación

Descripción	Cantidad	Motor			Unidad kW	Total kW	Horas /Mes	Total kWh	Factor de Diversidad	Demanda Máxima kW
		HP	Carga	Eficiencia						
Instalación 1						62,2		47.247		28,0
Equipo 1	1	75	100%	90%	62,2	62,2	760	47.247	0,45	28,0
...										
Instalación 2										
Equipo 1										
...										

La cantidad de datos que contenga los listados dependerá de las posibilidades de medición de la organización, pero al menos deben permitir el cálculo de los consumos de energía. Datos de placa podrían usarse inicialmente, pues permiten una buena aproximación, no obstante, a medida que el SGEEn madure, será necesario refinar estos datos con mediciones directas.

Los listados solo permiten la identificación de USEn en momento determinado, por lo que es recomendable realizar mediciones periódicas, o cuando ocurran cambios en los equipos o en sus regímenes de operación, con el objetivo de mantener la pertinencia de los análisis iniciales.

2.2.2 Encuestas de tecnologías de uso final

En ausencia de un listado maestro de equipos, estas encuestas proveen una buena manera de identificar usos y consumos de la energía en toda la planta, aunque estas dos herramientas no son excluyentes y se pueden utilizar de forma combinada para una mejor cobertura de información. Consisten en agrupar los consumos de las diferentes fuentes de energía por tecnologías de uso final, permitiendo identificar los equipos y aplicaciones de mayor consumo.

En una organización industrial, las tecnologías de uso final más comunes de la energía eléctrica son motorización, iluminación, compresión, bombeo, calentamiento-enfriamiento, acondicionamiento de espacios y refrigeración, ofimática. Así también se puede clasificar para las demás fuentes energéticas dentro del alcance y límites del SGE.

En la Tabla 2.4 se puede ver un modelo para llevar a cabo las encuestas. En este ejemplo, se presenta una para equipos consumidores de gas natural.

Tabla 2.4 Modelo de encuesta para equipos consumidores de gas

No.	Equipo	Localización	Valores nominales de consumo		Tiempo operación (h/día)	Comentarios
			(Btu/h)	(m ³ /h)		

Hay disponible una herramienta de la SEAI llamada ***Significant Energy Users***, la cual es un libro de *Microsoft Excel*®, que puede ser de mucha ayuda en la identificación de los UEn en una organización. Cada hoja de cálculo cubre las principales tecnologías de uso final como iluminación, aire comprimido, calentamiento, motorizados, etc. Es básicamente una encuesta de equipos consumidores de energía

por categoría de uso, que debe ser alimentada con de datos de potencias, factores de carga, horas de operación, para que pueda estimar los consumos de energía y a partir de éstos, identificar los USEn. Puede ser descargada gratuitamente desde: www.seai.ie/EnergyMAP/Resources_tools/Template_Energy_Use_Cost_Savings_/Significant_Energy_Users/Significant_Energy_Users_Tool.xls

2.2.3 Balances de energía

Constituyen una contabilización sistemática de los flujos de energía y sus transformaciones dentro de un sistema [11]. Se pueden aplicar a todos los sistemas energéticos y procesos dentro del alcance y límites del SGEN para identificar áreas de uso significativo, así como pérdidas de energía y potenciales de aprovechamiento de flujos energéticos. La complejidad de los balances de energía dependerá de las necesidades de la organización.

La forma de comprobar la veracidad del balance, cuando se realiza en toda las áreas de la planta, es compararlo con el consumo energético total medido. Si no coinciden, los cálculos deben realizarse nuevamente hasta que se cumpla esta condición. La Figura 2.7 propone un diagrama de flujo con los pasos para desarrollarlo [21].

En ausencia de mediciones directas, se pueden utilizar los valores nominales de los equipos (datos de placa). El consumo energético se calcula al multiplicar estos valores por los factores de carga y de servicio y por el tiempo de operación.

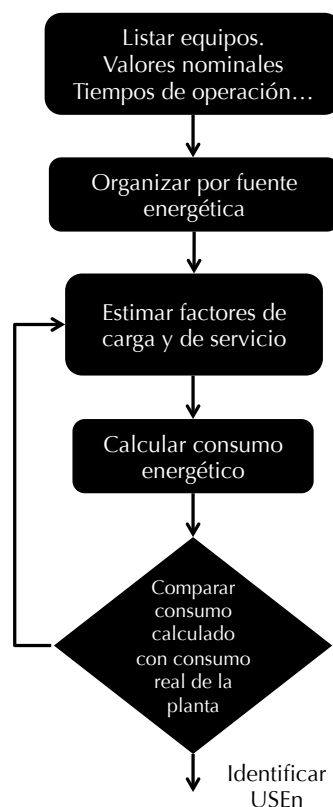


Figura 2.7 Metodología para realizar un balance de energía

El balance de energía que se muestra como ejemplo en la Tabla 2.5, permite identificar los USEn a partir de las cantidades consumidas de energía. En este caso, la caldera es el principal equipo consumidor de energía de la planta, y por tanto, un potencial uso significativo.

Tabla 2.5 Balance de energía de una planta pequeña [21]

Descripción	Tamaño	Unidades	Tiempo operación (h)	Factor de Carga	Consumo (kWh)	Consumo (MMBtu)	% total
Consumo eléctrico							
VSD screw	125	HP	8.760	0,50	439.177	1.498	10,0%
Recip backup	50	HP	500	0,70	14.506	49	0,3%
Chiller	100	ton	8.760	0,50	350.400	1.196	8,0%
Manejador de aire	20	HP	8.760	0,75	108.916	372	2,5%
Torre enfriamiento	15	HP	8.760	0,45	49.012	167	1,1%
Refrigeración	3	ton	8.760	0,50	10.512	36	0,2%

Bombas proceso	50	HP	6.600	0,60	164.120	560	3,7%
Votator	20	HP	3.300	0,40	21.883	75	0,5%
Homogenizador	40	HP	3.300	0,40	43.765	149	1,0%
Iluminación	69	kW	6.600	1,00	455.400	1.554	10,4%
Motores proceso	50	HP	6.600	0,40	109.413	373	2,5%
Consumo misceláneo					352.695	1.203	8,0%
Consumo gas natural							
Caldera	25	bHP	6.600	0,35		6.909	46%
Calentador agua	300.000	Btuh	8.760	0,20		526	4%
Consumo misceláneo						335	2%
Total planta						15.003	100%

2.2.4 Diagrama Energético – Productivo

Esta herramienta consiste en desarrollar el diagrama de flujo del proceso productivo, agregándole todas las entradas y salidas de materiales y de energía, con sus magnitudes características para los niveles de producción típicos de la empresa [15]. Ello permite, dentro de otros aspectos, obtener la relación entre las diferentes etapas del proceso productivo, e identificar las etapas donde se concentran los mayores consumos energéticos. Para construirlo es necesario desarrollar primero un balance de masa y energía del proceso.

Un ejemplo de este diagrama se muestra en la Figura 2.8. Se pueden ver los consumos promedios mensuales de energía eléctrica y de vapor, por procesos productivos de una empresa de aceites vegetales.

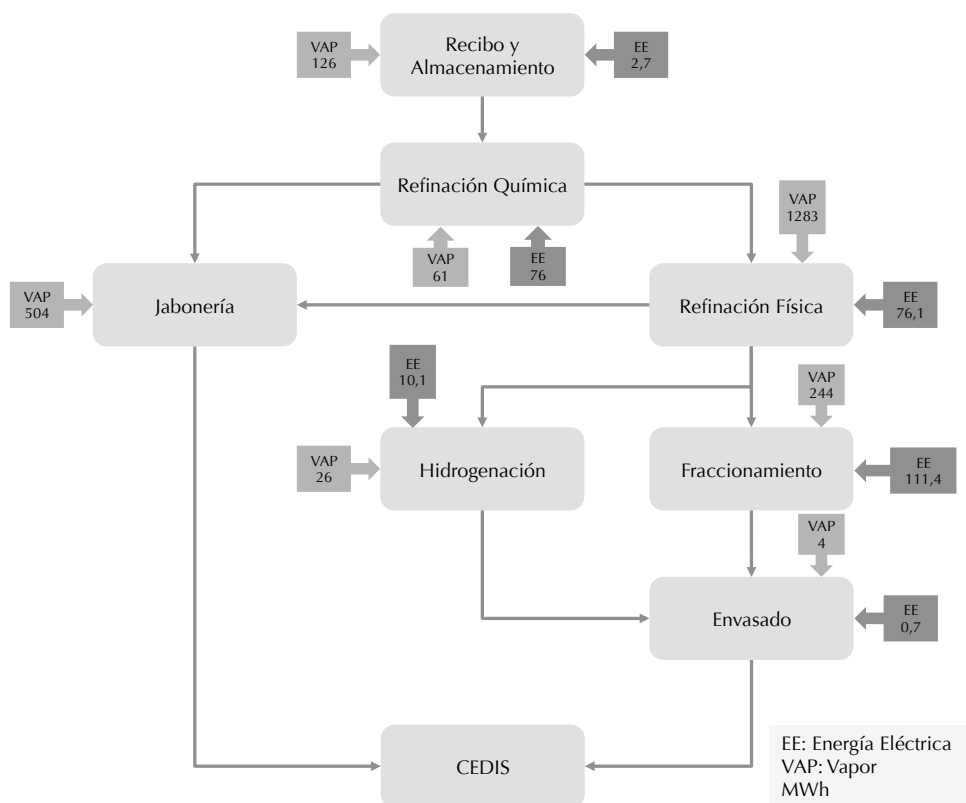


Figura 2.8 Diagrama Energético – Productivo de una empresa de aceites vegetales

A partir del diagrama se puede concluir que en el proceso de “Refinación Física”, se consume la mayor cantidad de vapor, mientras que en el de “Fraccionamiento”, la mayor de energía eléctrica. Ambos procesos (o sus equipos relacionados) son potenciales usos significativos de la energía.

2.2.5 Diagramas Sankey

Son un tipo de diagrama de flujo en el cual el grosor de las líneas es proporcional al valor del flujo, lo que facilita mostrar gráficamente las corrientes de energía en procesos y equipos, o entre ellos. Dicha característica permite identificar fácilmente usos significativos y fuentes de pérdidas. Para su construcción es necesario un

balance previo de energía. En la Figura 2.9 se muestra un ejemplo para un sistema de generación de vapor.

Al respecto, la ISO publicó recientemente la Norma *ISO 13579 - Method of measuring energy balance and calculating efficiency*, que especifica los cálculos para llevar a cabo balances de energía y diagramas Sankey en quemadores industriales. Aunque la Norma está diseñada para los constructores de estos equipos durante las puestas en marcha, puede ser igualmente usada para verificar el estado del consumo de la energía e identificar potenciales de mejora [28].

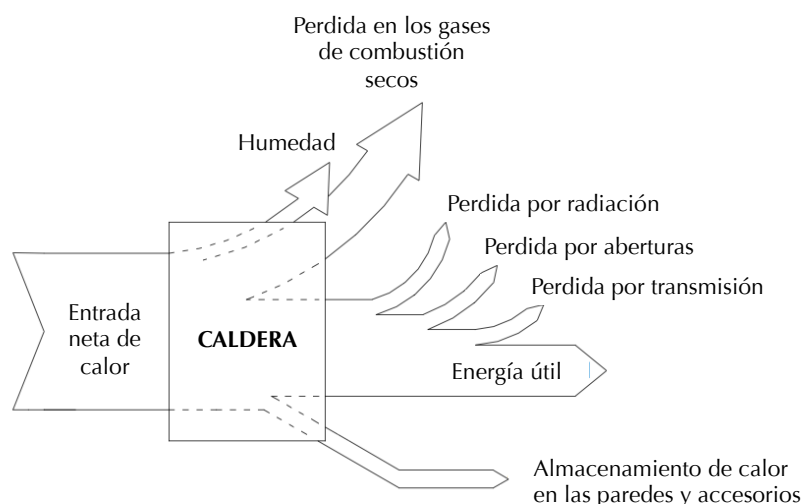


Figura 2.9 Diagrama Sankey para un sistema de generación de vapor

Su construcción puede llegar a ser compleja, sobretodo cuando existen muchos flujos de energía, por lo que será necesario utilizar una herramienta informática como el eSankey® (disponible en www.e-sankey.com). Este software facilita la creación de diagramas para flujos de materia, energía y costos, cuyos datos pueden provenir de una hoja de cálculo de Microsoft Excel®.

2.2.6 Análisis de Pareto

Este análisis está basado en el principio de Pareto: unas pocas causas son las que crean los mayores efectos, que en el ámbito de la gestión de la energía sería “unos pocos usos de la energía son los responsables de los mayores consumos”. El análisis se realiza a través de un gráfico, en donde se muestran los valores de consumo de energía en orden descendente, en unidades y en porcentaje. Los porcentajes agregados se grafican en el eje secundario para mostrar la suma incremental de cada categoría respecto al total.

El gráfico facilita la identificación visual de los mayores consumidores de energía de la organización, las mayores pérdidas energéticas o los mayores costos energéticos [15], tal como se ilustra en la Figura 2.10. En este caso, se puede observar que solo cerca de cuatro equipos son responsables del 80% del consumo de energía de la planta.

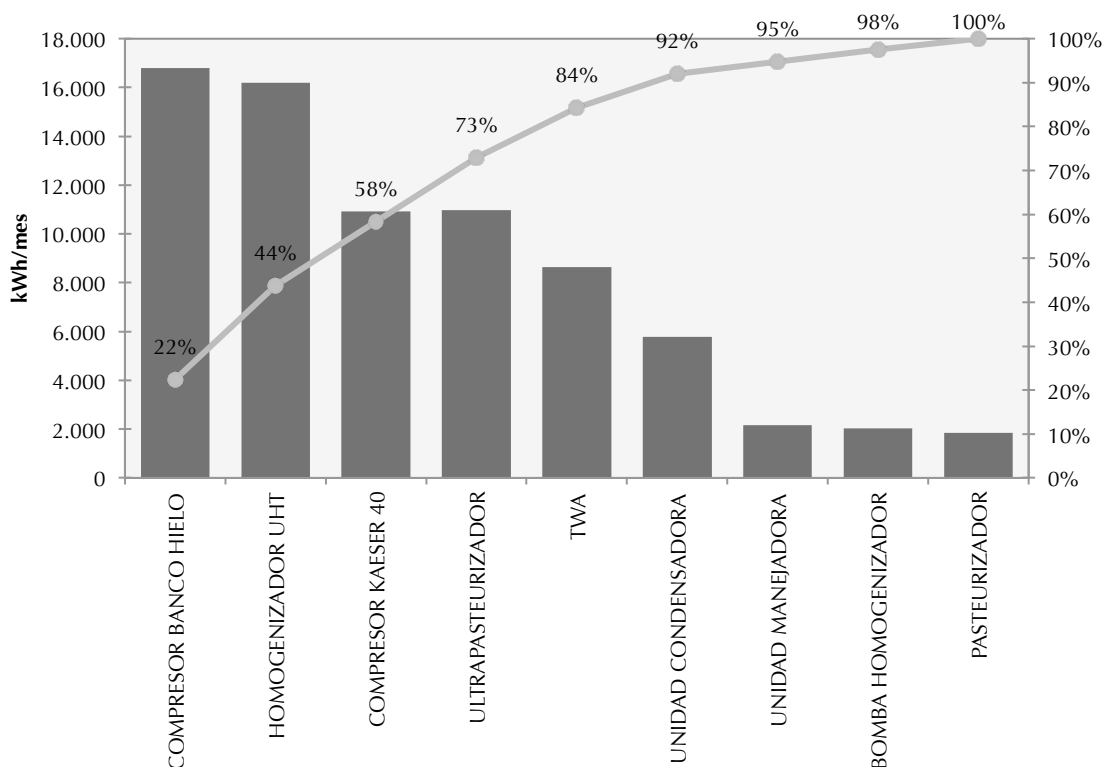


Figura 2.10 Diagrama de Pareto

2.2.7 Mapeo de energía

Con esta herramienta es posible presentar gráficamente de forma desagregada el consumo de energía en sus usos finales. Por ejemplo, un mapeo de electricidad puede consistir en una desagregación del consumo energético en iluminación, climatización, aire comprimido, etc. [11]. Aunque el mapeo de energía parece muy sencillo, es resultado de un análisis detallado del uso y consumo de la energía en la organización.

La Figura 2.11 muestra los usos de la energía eléctrica en una planta industrial a través de un mapeo. En ésta se evidencia que el uso energía mecánica, representa más del 50% del consumo de eléctrico en esta instalación.

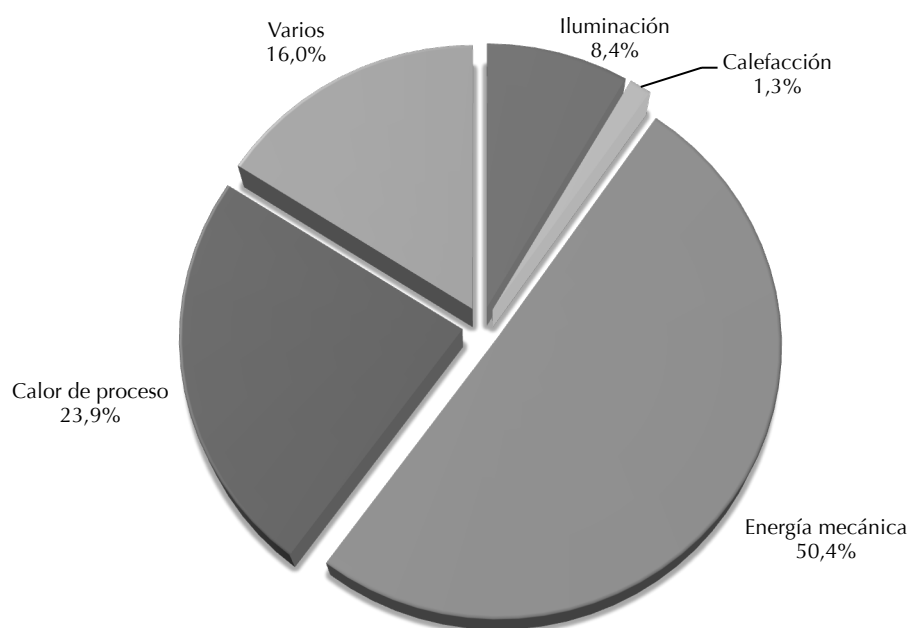


Figura 2.11 Mapeo del uso de energía eléctrica de un planta industrial

Si bien los principales criterios para determinar los USEn son un consumo sustancial de energía y/o alto potencial para la mejora del desempeño, también podría basarse en otros aspectos como la reducción de emisiones, minimización de riesgos para la

salud y seguridad del personal, requerimientos legales o en estrategias corporativas, entre otros.

Otros métodos para identificar los USEn pueden ser [21]:

- Ranqueo/estratificación
- Diagrama Causa-Efecto (de espina de pescado)
- Análisis modal de fallos y defectos

2.2.a Identificación de las variables que afectan a los USEn

Las variables de influencia son muy particulares para cada proceso, sistema energético o equipo. Por ejemplo, en procesos industriales la variable que tiene mayor impacto en el consumo energético de todos los usos de la energía de la planta, es el nivel de producción. Otras variables como la materia prima, las prácticas de operación del equipamiento y el estado técnico de ellos, tienen igualmente una influencia en el consumo. La identificación de estas variables es muy importante para el SGEEn. Ellas determinan en gran parte el consumo de energía, y por tanto deben ser conocidas y controladas adecuadamente.

Una adecuada identificación de estas variables requiere del conocimiento profundo de las características del USEn a analizar. Solo así se garantizará la precisión de esta actividad. En esta línea, la herramienta que se propone para la identificación de las variables de influencia es el criterio de experto, y para verificar el grado de influencia, se recomienda el análisis de correlación lineal.

2.2.8 Criterio de experto

Consiste en reunir a expertos internos o externos de la organización, para determinar a partir de su experiencia y conocimiento, las variables que tienen influencia en los

USEn identificados. Esta actividad se puede apoyar en el método de las 6M's, el cual es un tipo del diagrama de causa-efecto utilizado en control de la calidad. Dicho método consiste en agrupar las causas potenciales de un problema o defecto (o las posibles variables de influencia) en seis ramas principales: métodos de trabajo, mano de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente [29].

De esta manera, el grupo de expertos, a través de una lluvia de ideas, por ejemplo, puede plantear las variables que consideran tienen impacto en el consumo de energía dentro de cada categoría, resultando un esquema como el que se muestra en la Figura 2.12.

Las variables que se establezcan deben tener valor cuantitativo o cualitativo bien determinado, haber sido contabilizadas y registradas mensualmente junto con los consumos y correlacionar adecuadamente con los valores de consumo de los USEn correspondientes [30].

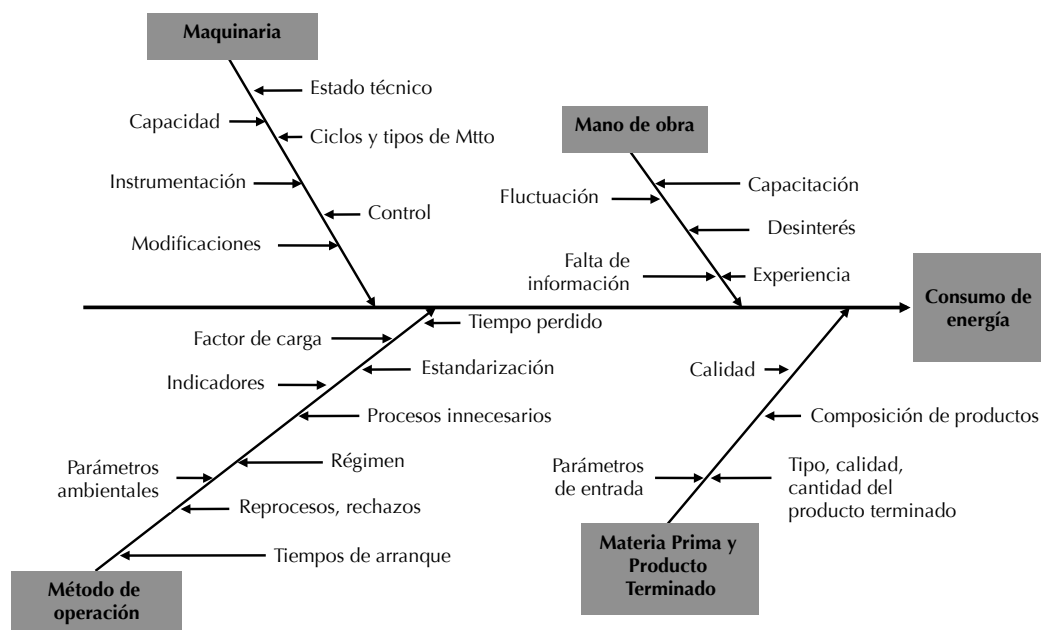


Figura 2.12 Diagrama de causa-efecto para la identificación de variables de influencia del consumo energético

2.2.9 Análisis de correlación

Una vez identificadas las variables que tienen influencia en los USEn, es preciso determinar con certeza qué tanta relación existen entre ellas y el consumo energético de los USEn, y así determinar cuáles explican mejor su variación. Un análisis de correlación lineal, simple o múltiple, facilita dicha verificación. Para cada rango de datos de la variable identificada, se determina el coeficiente de correlación R^2 , tal como se muestra en la Tabla 2.6. Las variables que presenten los valores más altos, serán las que afectan (o explican) en mayor medida al consumo energético.

Es muy importante este ejercicio de verificación, ya que éstas serán las variables clave que luego deberán monitorearse y analizarse en la fase de verificación del SGEN.

Tabla 2.6 Verificación de la influencia de variables en una caldera

Variable	R^2
Régimen de purgas	
Temperatura del agua de alimentación	
Temperatura del combustible	
Relación aire-combustible	
Presión del vapor	
Presión de atomización	

Esta herramienta tiene la desventaja de requerir una buena cantidad de datos para que arroje resultados confiables.

2.2.b Determinación del desempeño energético de los USEn

Debido a que generalmente, los USEn son responsables de la mayor parte del consumo de energía en la organización, su operación eficiente es vital para la salud del desempeño energético global. La determinación inicial del desempeño permite, además de conocer el estado actual de la eficiencia frente a la de diseño, identificar las oportunidades que existan para mejorarla. El resultado inicial del desempeño

energético posibilita, además, realizar seguimiento de su evolución después de la implementación de los planes de acción.

Una mejora, aunque pequeña, en el desempeño energético de un USEn, representa una reducción considerable del consumo de energía de la organización, y de sus costos asociados, en términos absolutos.

Ya que el concepto de desempeño energético no solo se limita a la eficiencia energética, es igualmente necesario que en su evaluación se involucren parámetros relacionados al uso y al consumo de la energía; como prácticas operacionales y de mantenimiento, estado de la tecnología de uso final, entre otros.

Debido a que el desempeño energético de los sistemas energéticos tiende a declinar continuamente en el tiempo, diagnósticos regulares se requerirán para saber cuándo existe la necesidad de realizar mantenimiento preventivo y asegurar condiciones óptimas de operación. Aunque un USEn puede ser simplemente un equipo, una evaluación de todo el sistema energético del cual hace parte y que involucre todos los factores que puedan influir en él, provee mayores beneficios al SGEN.

2.2.10 Diagnósticos energéticos

Los diagnósticos energéticos (o también auditorías o evaluaciones energéticas) proporcionan una herramienta eficaz para la evaluación del desempeño energético de equipos particulares, y de sistemas energéticos en general. No obstante, en términos generales, la determinación del desempeño energético no es el único propósito de un diagnóstico energético, ello también comprende la identificación de oportunidades para mejorarlo.

Tal como se expuso inicialmente, la ISO está preparando la Norma 50002 – Auditorías Energéticas, la cual define los atributos de una adecuada auditoría energética, y será también una herramienta para la medición del desempeño energético.

Existen diversas metodologías bien documentadas sobre la forma de desarrollar un diagnóstico, según el grado de detalle que se desee alcanzar y el tipo de sistema que se evalúa. Así por ejemplo, para mencionar algunos casos, el *Natural Resources Canada* [31], ofrece un manual detallado sobre cómo realizar estas evaluaciones.

Del mismo modo, la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME, por sus siglas en inglés) y el Departamento de Energía de los Estados Unidos (U.S. DOE), ofrecen una serie de normas y recursos en este sentido, para los sistemas energéticos más comunes en la industria [21] [32]. Se puede acceder a ellos a través de la página web: <https://save-energy-now.org/Pages/default.aspx>

2.2.c Estimación del uso y consumo futuros de energía de los USEn

El propósito de este requisito es que la organización pueda prever el consumo energético futuro que estará asociado a los USEn, y conocer de qué forma las variables de influencia y cambios previstos pueden afectarlo. Generalmente esta estimación se realiza a partir de datos de comportamientos anteriores, y su éxito se basa en la experiencia que se tenga para pronosticar tendencias.

Cabe resaltar que también se debe tener en cuenta el impacto que tendrá la implementación de los planes de acción para la mejora del desempeño energético, así como las metas energéticas planteadas, en el consumo energético.

Las herramientas para la estimación del consumo futuro de energía varían desde modelos complejos, hasta conjeturas intuitivas. En muchos casos, la falta relativa de información básica tenderá a forzar la selección de opciones menos sofisticadas de herramientas de pronóstico [24]. Algunos métodos que pueden utilizar para la estimación son: método de usuarios finales, método de series temporales, métodos paramétricos (que incluyen el análisis de regresión), inteligencia artificial y métodos híbridos.

Fernández Pérez [33], realizó un análisis de estos métodos para comparar sus ventajas y desventajas, así como los resultados obtenidos. Pudo demostrar que los mejores resultados se obtenían con las series temporales y la inteligencia artificial. Sin embargo, la efectividad del pronóstico depende de un buen volumen de datos históricos precisos, y para su utilización es necesario apoyarse en *software* especializado, como *Statgraphics®* y *Matlab®*.

En SGEEn que apenas inician, es poco probable que se tenga una base de datos completa sobre el consumo de la energía de todos los USEn identificados, y en consecuencia solo se podrán realizar inicialmente estimaciones globales. El análisis de regresión lineal que se ha usado en los requisitos precedentes, puede igualmente emplearse como herramienta de estimación con resultados aceptables.

2.2.11 Presupuesto de energía

Esta metodología se basa en un análisis de regresión, del cual resulta el modelo lineal que describe el consumo energético producto de una variable de influencia [34] [35]. Si se conocen más de una variable de influencia, se puede obtener un modelo múltiple con mejores resultados de estimación. De acuerdo a los datos con que se cuente, se puede obtener dicho modelo para cada USEn o para área de la organización.

En la Tabla 2.7 se muestra el presupuesto de energía para un horno de fundición a gas natural de una industria de transformación de metales, el cual fue identificado como UEn. A partir de los datos históricos de consumo energético y nivel de producción, se obtuvo el modelo: $E = 607,17P + 56.833 \text{ [m}^3\text{/mes]}$, con un nivel de correlación del 95%. Conociendo el nivel de producción planeado mensual para el año siguiente, se pudo estimar los consumos esperados de gas natural.

Tabla 2.7 Presupuesto de energía para un horno

Meses	Consumo gas natural (m ³)	Nivel de producción planeado (ton)
Enero	223.199	274
Febrero	331.276	452
Marzo	299.703	400
Abril	226.842	280
Mayo	270.558	352
Junio	205.591	245
Julio	239.592	301
Agosto	293.024	389
Septiembre	334.312	457
Octubre	200.126	236
Noviembre	251.736	321
Diciembre	229.878	285
Totales	3.105.836	3.992

Por su parte, en la Figura 2.13 se presenta gráficamente los consumos de gas natural observados en el periodo base y los esperados para el periodo presupuestario.

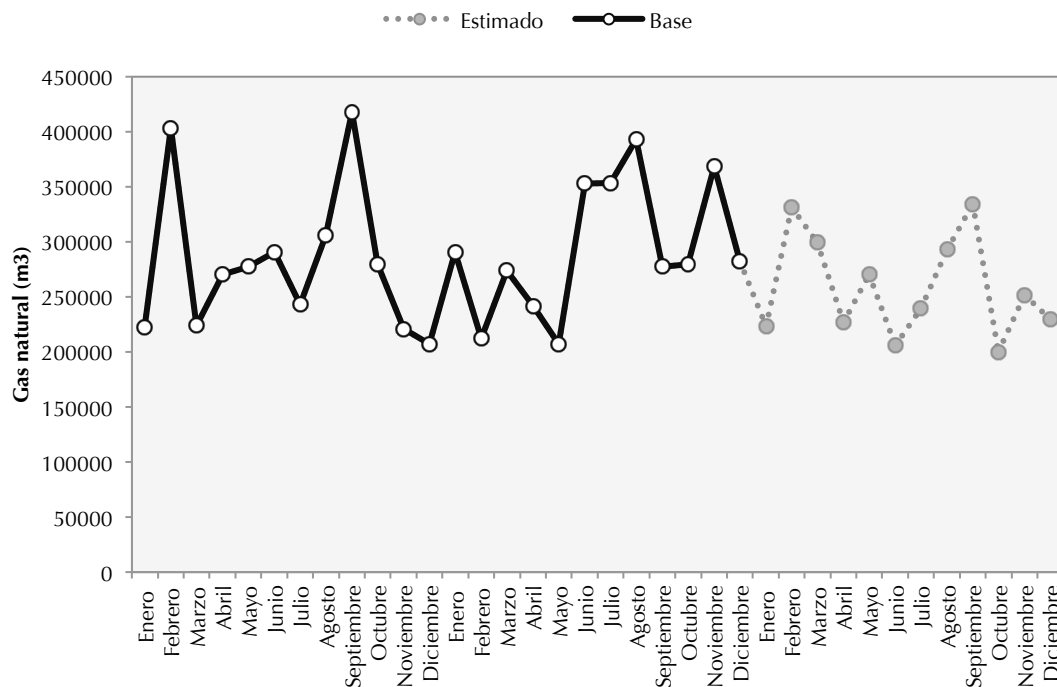


Figura 2.13 Presupuesto de energía para un horno de fundición

2.2.12 Hoja de estimación del consumo futuro de los USEn

El U.S. DOE propone este formato de ayuda durante el proceso de estimación el consumo futuro de energía de los USEn [21]. Facilita considerar la mayoría de los cambios potenciales que pueden influenciar el consumo, como los efectos de la producción, las inversiones de capital, el uso de nuevas fuentes de energía, así como las nuevas prácticas o proyectos de mejora del desempeño. La Figura 2.14 muestra la representación de la hoja.

Uso significativo de la energía (USEn): _____
 Localización del USEn: _____

El consumo de energía de este USEn en el último periodo fue: _____

Durante el periodo de _____ hasta _____, los factores que influenciarán su consumo de energía y los cambios anticipados son:

Los **niveles de producción** incrementarán/disminuirán en un _____% afectando el consumo energético en un +/- _____%.

Las **inversiones de capital** serán finalizadas afectando el consumo energético en un +/- _____%.

Las **fuentes de energía** cambiarán de _____ a _____ afectando el consumo energético en un +/- _____%.

Nuevas **prácticas de ahorro de energía** serán establecidas afectando el consumo energético en un +/- _____%.

Otros factores a considerar: _____ afectando el consumo energético en un +/- _____%.

Total de cambios esperados en el consumo de energía: _____%

El consumo esperado de energía para el próximo periodo es estimado que sea: (consumo periodo anterior x (1 + % cambio)) = _____

Realizado por: _____ Cargo: _____ Fecha: _____

Aprobado por: _____ Cargo: _____ Fecha: _____

Figura 2.14 Hoja para la estimación del consumo futuro de los USEn [21]

(<https://save-energy-now.org/EM/SPM/Documents/Step2/Step 2.3.5 SEU Future Energy Estimate Worksheet.docx>)

Un control adecuado y permanente de los USEn es muy importante para la mejora continua del desempeño energético. Esto incluye además del registro de los USEn, las áreas o las operaciones relacionadas con ellos, así como el personal que tiene influencia en su desempeño energético.

2.3 Identificación, priorización y registro de oportunidades para mejorar el desempeño energético

El cumplimiento de los requisitos anteriores ha debido permitir una identificación simultánea de oportunidades de mejora, tal como se mencionó en el caso de los diagnósticos energéticos (o auditorías energéticas) y en la identificación de los USEn.

Estas oportunidades no solo se limitan a aspectos técnicos, también pueden incluir temas estructurales y organizacionales relacionados con el uso y el consumo de la energía. La identificación e implementación de oportunidades de mejora es un elemento fundamental dentro del SGEN, y debe ser un proceso continuo para que pueda contribuir eficazmente al mejoramiento permanente del desempeño energético de la organización.

Un concepto útil en este sentido es el de iniciar la búsqueda de oportunidades de mejora en el punto de uso final de la energía, donde ésta tiene un costo mayor, y desde allí hacia el punto de suministro de la energía [36] [31]. Es decir, como primera medida es aconsejable verificar que el uso de la energía esté acorde a la necesidad, luego, comprobar que el uso cumpla con un nivel de eficiencia determinado, y por último, considerar una optimización del suministro.

Aunque las auditorías energéticas (o diagnósticos energéticos) constituyen la herramienta más usada en la identificación de oportunidades de mejora en el ámbito industrial, otras herramientas pueden ser igualmente empleadas para éste fin, tal como se concluyó en la revisión bibliográfica.

2.3.1 Análisis de requerimientos de energía

Este análisis permite definir la cantidad mínima de energía necesaria para obtener un resultado deseado. Se basa en indagar sobre la necesidad de utilizar una cierta cantidad de energía, si el resultado del proceso se puede obtener de una manera diferente que requiere una cantidad menor de energía o ninguna [11].

A través de cálculos, se determina la necesidad de energía para el proceso o actividad, y luego se verifica si el uso actual satisface la necesidad con el mínimo desperdicio o exceso. Esto se complementa con una revisión de las tecnologías

disponibles que, con un menor costo y eficiencia, puedan satisfacer la misma necesidad; o de procesos alternativos que logren el mismo resultado con menos intensidad energética. Las oportunidades de mejora surgirán de estas revisiones, las cuales también puedan estar apoyadas con comparaciones (*benchmarks*) con estándares sectoriales, si se conocen.

2.3.2 Buenas prácticas

Las guías de buenas prácticas indican las oportunidades de mejora más comunes en los sistemas energéticos industriales, siendo de mucha utilidad durante los análisis de desempeño energético, y sirviendo además, como listas de chequeo durante inspecciones.

Las series publicadas por el *Energy Efficiency Best Practice Programme* del gobierno británico [37], son una buena herramienta en este sentido. En ellas se indican qué aspectos examinar primero, normalmente fáciles de solucionar o de bajo costo de inversión, y listas de oportunidades potenciales que requieren cierto grado de inversión. Igualmente, *Carbon Trust*, de este mismo país, tiene disponible muchas publicaciones útiles sobre los mismos temas, que pueden ser descargadas gratuitamente de su página web: www.carbontrust.co.uk

Energy Star también dispone de una serie de guías, específicas para varias industrias, para identificar y evaluar oportunidades de mejora, desarrollar planes de acción y listas de chequeo. Se pueden descargar sin ningún costo en: www.energystar.gov

Asimismo, otras referencias sobre mejores técnicas disponibles, como la publicada por la Comisión Europea [38], son una excelente herramienta para identificar oportunidades para mejorar el desempeño energético.

2.3.3 *Monitoring and Targeting*

Otra metodología usada en la industria, principalmente en Europa, para la identificación de oportunidades de mejora es el *Monitoring and Targeting* (Monitoreo, análisis y selección de objetivos). Aunque comparte muchos de los conceptos de la revisión energética, en esta metodología todos los recursos energéticos, y sus flujos, dentro de la planta, son considerados recursos controlables, y se gestionan al igual que las materias primas, los productos terminados, el capital y el personal.

El *Monitoring and Targeting*, propone una división de la planta en centros de costos energéticos, en donde cada recurso energético es monitoreado y su consumo es comparado con una variable de influencia. Este enfoque permite una gestión adecuada de los costos energéticos y una apropiada asignación de recursos monetarios [39]. La información recopilada en cada uno de ellos es analizada para identificar desviaciones y tendencias y a partir de allí, establecer objetivos y planes de mejora.

2.3.4 Otras

De la misma manera, oportunidades de mejora pueden provenir de [21]:

- Sugerencias de empleados.
- Representantes de compañías de energía.
- Técnicos de servicio.
- Vendedores de equipos.

En cuanto a la identificación de oportunidades de mejora en el suministro, incluye como primera medida el análisis de los sistemas de distribución internos, las tarifas y las contrataciones de los servicios de energía; la evaluación de posibles tecnologías

para la recuperación de calor, sistemas de cogeneración, energías renovables, o cambios de fuentes energéticas.

Una vez que se ha generado una lista con todas las posibles oportunidades de mejora identificadas, es necesario priorizarlas, según lo establece la Norma, para enfocarse en las más prácticas o en las que ofrezcan mayores beneficios, de acuerdo al criterio que establezca la organización. Algunos criterios pueden ser (o sus combinaciones):

- Nivel de ahorro energético previsto (y de sus costos asociados).
- Retorno de la inversión u otro criterio económico usado por la organización.
- Inversión inicial.
- Facilidad de implementación.
- Impacto en la productividad.
- Impacto en el mantenimiento.
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

2.3.5 Métodos de criterio múltiple para la priorización de oportunidades de mejora

Cuando la organización define varios criterios para priorizar las oportunidades de mejora, es recomendable desarrollar o elegir un método de criterio múltiple para lograr una mejor categorización. Si los criterios tienen diferentes niveles de importancia para la organización, será necesario determinar inicialmente su peso relativo. Esto se puede establecer a través del criterio de experto, que este caso sería el equipo de gestión de la energía y representantes de otras áreas.

Uno de los métodos más usados en evaluaciones de criterio múltiple, por su sencillez y facilidad de aplicación, es la ponderación lineal [15]. Este método consiste en multiplicar los valores obtenidos de la evaluación de cada criterio (x_i), por el factor de peso de cada criterio (w_i), y luego dividir el resultado, entre la suma

de los factores de peso. Así para cada alternativa (oportunidad de mejora), según la Ecuación (2.8):

$$F_i = \frac{\sum_{j=1}^k w_j * x_{ij}}{\sum_{j=1}^k w_j} \quad (2.8)$$

Como generalmente los valores de las evaluaciones de las oportunidades de mejora tienen diferente unidad de medida, y en muchos casos lo deseable es maximizarlos y en otros, por el contrario, minimizarlos, es necesario realizar una normalización para poder sumarlos linealmente. Una forma de realizar esta normalización, según se vaya a maximizar o minimizar, es a través de las Ecuaciones (2.9) y (2.10):

$$Valor \ a \ maximizar = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (2.9)$$

$$Valor \ a \ minimizar = \frac{x_i - x_{max}}{x_{max} - x_{min}} \quad (2.10)$$

La oportunidad de mejora que resulte con el mayor valor en la ponderación, será la mejor, y así, de manera descendente. El equipo de gestión de energía deberá confirmar los resultados y asegurar que el orden de priorización, refleje los intereses de la organización y los objetivos del SGEn.

2.3.6 Registro de oportunidades de mejora

La ISO 50001 también señala la necesidad de registrar todas las oportunidades de mejora que fueron identificadas. La SEAI tiene una herramienta, basada en un libro de *Microsoft Excel*®, que se puede utilizar para gestionar todas las oportunidades de mejora. La herramienta permite, además, estimar los costos y las emisiones evitadas, asociadas con cada unidad de energía ahorrada. Se puede descargar desde: www.seai.ie/uploadedfiles/EnergyMAP/tools/02-06b%20Register%20of%20Opportunities%20v1.0.xls

2.4 Establecimiento de la(s) línea(s) de base energética

La línea de base energética es la referencia a partir de la cual se medirá la evolución del desempeño energético de la organización, se monitorearán los IDEn y se establecerán las metas energéticas. Se fija con base en los resultados obtenidos en la revisión energética. Esta referencia puede ser cualquier valor medible; una cantidad absoluta de consumo energético, un indicador. Puede haber tantas líneas de base como sea necesario, para toda la organización, por áreas, procesos o por sistemas energéticos en particular, y según los límites que se establezcan.

La línea de base debe cubrir un periodo reciente de datos confiables, normalmente de un año, y en donde haya habido una operación estable sin cambios considerables en la organización. Es decir, este periodo base debe reflejar la situación típica de operación de la organización, ser comparable con el actual y anterior a la implementación de los planes de acción.

La selección del periodo base puede apoyarse en un análisis CUSUM. En la Figura 2.15 se presenta una carta de este tipo, en donde se puede observar que el periodo con menos variaciones es el último año. Durante este periodo la organización presentó una operación estable comparada con el año anterior, y por tanto es un buen punto de comparación.

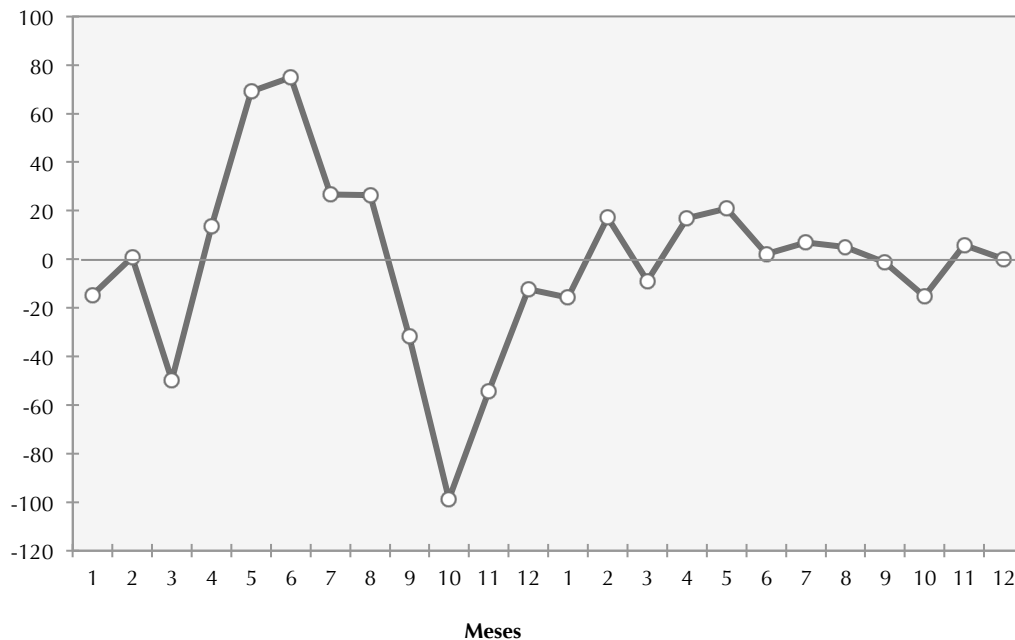


Figura 2.15 Carta CUSUM para determinar el periodo base

2.4.1 Análisis de regresión

Habiendo identificado el periodo base se obtiene, a través de un análisis de regresión lineal, el modelo energético que lo define, tal como se realizó en los requisitos anteriores. La línea representada por este modelo, también denominada línea de mejor ajuste, puede considerarse como una línea de base energética, a partir de la cual se puede monitorear y valorar el desempeño energético, así como calcular y verificar los ahorros [27] [40].

En la Figura 2.16 se ilustra dicho análisis, en donde se obtuvo la línea de base: $E = 0,95P + 1785$ [MWh/mes]. En este análisis, es también importante verificar el nivel de correlación de los datos, el cual debe ser el más alto posible para asegurar que refleje la realidad de las variaciones del proceso productivo. En el caso de ejemplo puede observarse que el nivel de correlación es del 97%, un valor bastante alto que denota una relación muy fuerte entre los datos.

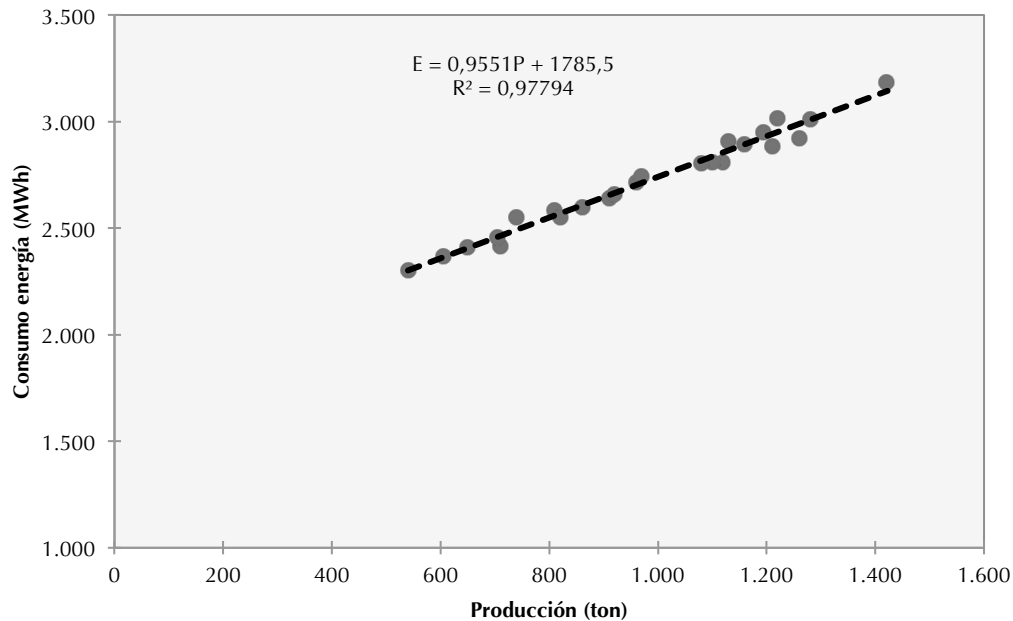


Figura 2.16 Línea de base energética a partir de un análisis de regresión

El indicador de consumo específico de energía (CEE), también puede usarse para definir una línea de base. El CEE de base puede compararse con el CEE para un mismo nivel de producción. En la Figura 2.17 se presenta la línea de tendencia que forma el CEE y el nivel de producción, la cual puede considerarse una línea de base energética. Los valores del CEE ubicados por debajo de esta línea, indicarán una mejora en el desempeño energético, y viceversa.

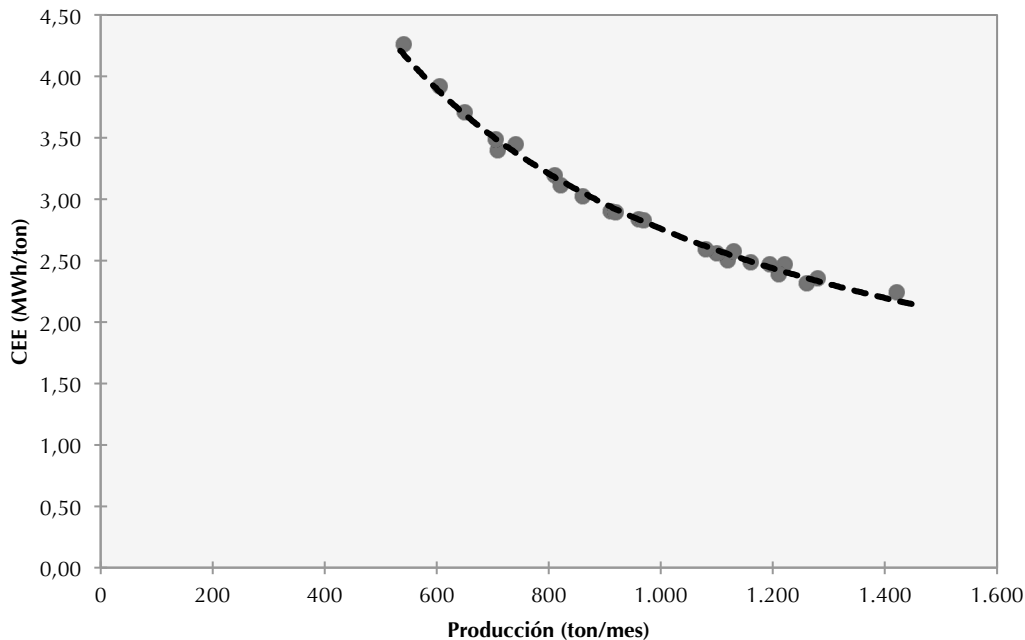


Figura 2.17 Línea de base a partir del CEE

2.4.2 Matriz de instalaciones y equipos

Otra forma de construir una línea de base es a partir de una matriz, en donde se identifiquen los usos y consumos de la organización, clasificados por áreas físicas, al igual que sus indicadores de desempeño energético, tal como se ilustra en la Figura 2.18 [19]. Con la información obtenida en la revisión energética, se calculan los valores de los indicadores, los cuales reflejan el comportamiento del periodo base, generalmente un año.

La información contenida en la matriz sirve de comparación con otros periodos, permitiendo establecer correlaciones, tendencias o particularidades en el comportamiento del desempeño energético.

Inventario instalaciones y equipos			Áreas de actividad	Indicadores de desempeño energético				
			Área 1	Intensidad energética (energía/unidad económica relevante)	Eficiencia energética	Otros 1	Otros 2	
Instalación 1	equipo 1	combustible 1						
		combustible n						
		energía eléctrica 1						
		otros consumos						
	equipo 2							
		3						
		4						
		5						
		...						
Instalación 2	equipo 1							
	equipo 2							
	3							
	4							
	5							
	...							

Figura 2.18 Matriz para establecer una línea de base energética [19]

2.5 Identificación de los indicadores de desempeño energético

Los IDEn son parámetros cuantificables utilizados para realizar seguimiento y medición del desempeño energético. En organizaciones industriales, normalmente relacionan el consumo de energía con la producción, siendo el más común el índice de consumo o consumo específico de energía (CEE). Asimismo, pueden ser otros parámetros de interés para la organización como una simple medición, por ejemplo el consumo global de energía.

Aunque la Norma no establece el hecho de definir IDEn para todos los USEn, es una buena práctica hacerlo, ya que ellos definen en gran medida el desempeño general de la organización. Igualmente es recomendable definir los IDEn por tipo de fuente energética utilizada.

Para la selección apropiada de un IDEn, es necesario conocer detalladamente el proceso, área, equipo u otra parte de la organización bajo consideración dentro de límites definidos; que permita luego realizar interpretaciones acertadas sobre su comportamiento e identificar sus posibles causas y efectos, para tomar las acciones pertinentes. Del mismo modo, es recomendable tener presente los objetivos de monitoreo que se desean alcanzar con el IDEn.

Los IDEn pueden ser normalizados para incluir las variables previamente identificadas que afectan el consumo de energía. Si estas variables no son tenidas en cuenta, el IDEn resultante puede enmascarar la tendencia real en el consumo de energía y conducir a errores durante su interpretación [14]. Una de estas variables es la variación de las referencias de producto con diferentes intensidades energéticas, producidas en las mismas líneas de producción. La técnica de producción equivalente, presentada anteriormente, permite incluir estas variaciones y obtener el divisor adecuado para la definición del IDEn, en este caso, el CEE.

El análisis de regresión provee una herramienta útil para la selección y prueba de los IDEn identificados. De la misma manera, puede facilitar la verificación de la influencia de distintas variables independientes, y en el caso de que exista una alta correlación, incluirla para mejorar la confiabilidad del indicador.

Energy Star mantiene una base de datos de IDEn para muchas industrias, entre ellas la del cemento, de recipientes de vidrio, del maíz, de pulpa y papel. Estos indicadores permiten realizar comparaciones (*benchmarks*) entre plantas similares para estimar el nivel de desempeño energético y establecer metas de mejora. Se puede acceder a esta base a través de la página web: <https://www.energystar.gov/ia/business/industry>

2.6 Establecimiento, implementación y mantenimiento de los objetivos energéticos y metas energéticas

Los objetivos energéticos son los fines de carácter general, que la organización establece para dar cumplimiento al compromiso de alcanzar una mejora en el desempeño energético, de acuerdo a lo establecido en su política energética. Por su parte, las metas definen y cuantifican los criterios específicos de desempeño energético, que son necesarios cumplir para alcanzar un objetivo energético. Es decir, los objetivos solo establecen los logros deseados en cuanto al desempeño energético, mientras que las metas, puntualizan la forma de alcanzarlos.

Los objetivos y metas tienen como fin contribuir al cumplimiento de la política energética, la cual a su vez, debe proporcionar el marco de referencia para establecerlos y revisarlos.

La Norma establece que para la definición y revisión de los objetivos y metas, la organización debe tener en cuenta los siguientes aspectos [20]:

- Los requisitos legales y otros requisitos aplicables,
- Los usos significativos de la energía (según se definieron en la revisión energética),
- Las oportunidades de mejora del desempeño energético (según se identificaron en la revisión energética),
- Sus condiciones financieras, operacionales y comerciales,
- Las opciones tecnológicas, y
- Las opiniones de las partes interesadas.

Lo anterior indica que el establecimiento de los objetivos y metas debe ser un proceso detallado de análisis, basado en los resultados de la revisión energética, las condiciones actuales de la organización, sus políticas, objetivos y estrategias; y en los intereses de todos los niveles de la organización.

Los objetivos y metas pueden establecerse para las funciones, niveles, procesos o instalaciones que la organización estime pertinentes. Aunque la Norma no estipule, que éstos tengan que establecerse a partir de los USEn o de las oportunidades de mejora priorizadas, es recomendable que sean unos de los aspectos más importantes por considerar.

Referente a recomendaciones y buenas prácticas sobre el establecimiento de objetivos y metas energéticas, existe un cúmulo de referencias que pueden ser consultadas con este propósito. De forma general, la mayoría coincide en que éstos deben ser [14] [12] [27]:

- Específicos (bien definidos, enfocados, detallados, concretos),
- Medibles (kWh, tiempo, dinero, %, ...),
- Alcanzables,
- Realistas (de acuerdo a las posibilidades y recursos de la organización),
- Basados en metas (para los objetivos),
- Ajustados a un tiempo (cronogramas definidos de cumplimiento)

Algunas de las formas más comunes para expresar los objetivos incluyen [13] [14]:

- *En términos de una reducción definida:* Un porcentaje determinado de reducción del consumo energético o una cantidad determinada. Por ejemplo: Reducir el consumo de energía en un 10% comparado con el periodo base.
- *En términos del mejor comportamiento histórico observado:* Mantener el desempeño energético del periodo XXXX.
- *En términos del mínimo nivel de desempeño aceptable.*
- *En términos de una mejora en el desempeño energético:* Los objetivos se expresan en función de una reducción de la intensidad energética de un IDEn específico. Por ejemplo: Reducir en 2 kWh por unidad de producto el CEE.

- *En términos de una reducción en las emisiones contaminantes.* Por ejemplo: Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del consumo energético en un 4% de los niveles de 2010 al 2014.

Una vez que los objetivos hayan sido definidos, se procede a definir las metas energéticas. Debido a que éstas últimas deben referirse a aspectos concretos que permitan cumplir un determinado objetivo, en la mayoría de los casos, será necesario realizar análisis más detallados (como diagnósticos energéticos) de los procesos, áreas, equipos, etc., asociados a éstos, para definirlas claramente.

Las metas pueden ser de reducción de costos, de consumos de energía, de capacitación, de gestión, de cumplimiento de requisitos legales y de requisitos establecidos por terceros o clientes [23]. Algunos enfoques para establecerlos pueden ser [11]:

- Desempeño anterior.
- Mejores prácticas.
- *Benchmarks* internos.
- Límites teóricos.

2.6.1 Análisis de regresión

Una meta puede estar basada en el mejor desempeño energético observado durante un periodo determinado. El análisis de regresión puede ayudar a identificar este periodo. En la Figura 2.19a se pueden observar valores por debajo de la línea de mejor ajuste (que representa el promedio de los datos), los cuales constituyen periodos de alto desempeño. De estos valores, se pueden seleccionar incluso los mejores, si se desea ser más ambicioso en la meta, que este caso serían los tres triángulos de color negro, con los que se calcula una nueva ecuación.

La nueva línea de mejor ajuste, mostrada en la Figura 2.19b, representa un nivel de desempeño más deseable para la organización, a partir de la cual puede establecerse una meta energética alcanzable si no se anuncian cambios estructurales durante el próximo periodo.

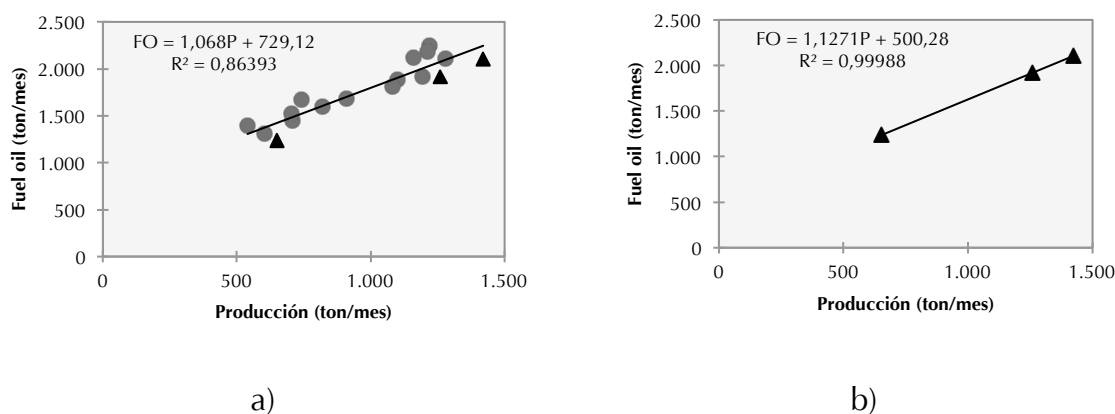


Figura 2.19 Establecimiento de una meta energética a partir de un análisis de regresión

Así pues, la meta energética podría rezar: *Reducir el consumo de fuel oil no asociado al nivel de producción, de 729 a 500 ton/mes, durante el próximo periodo.* O también: *Reducir 229 ton/mes del consumo de fuel oil no asociado al nivel de producción para el próximo periodo.*

Una vez establecidos los objetivos y las metas energéticas, la ISO 50001 señala la necesidad de establecer, implementar y mantener planes de acción para poder alcanzarlos. La Norma define los parámetros que deben incluir los planes, entre los que se destaca la declaración del método mediante el cual se verificará la mejora del desempeño energético y la definición del método para verificar los resultados.

Un ejemplo de la forma que puede tener y de la información que debe incluir, según la Norma, se presenta en la Tabla 2.8.

Tabla 2.9 Plan de acción [21]

PLAN DE ACCIÓN PARA LA GESTIÓN DE LA ENERGÍA			
Objetivo:		Fecha inicial:	
Meta:		Fecha de revisión:	
Proyecto:			
Planeación del proyecto			
Acciones	Responsable	Fecha terminación	Recursos necesarios
Plan de verificación de la meta			
Ítem		Necesidades de recursos/información	
Resultados reales/Comentarios:			
Preparado por:		Fecha:	
Aprobado por:		Fecha:	

Esta tabla puede ser descargada de: <https://save-energy-now.org/EM/SPM/Documents/Step3/Step 3.2 Energy Management Action Plan.doc>

Otro ejemplo también puede ser un libro de *Microsoft Excel*® ofrecido por la SEAI denominado **Programme Plan**, que incluye además, una herramienta de priorización de oportunidades de mejora. Éste se puede descargar en: http://www.seai.ie/energymap/Resources_tools/Template_Planning_Management_/Programme_Plan/Programme_Plan.xls

2.7 Conclusiones parciales

1. Por más sencillo que se establezca un SGEn, requerirá de una buena cantidad de datos para su adecuado funcionamiento. La calidad y cantidad de los datos garantiza la posibilidad de realizar análisis más precisos que reflejen la realidad de la organización, lo que constituye la base para lograr los objetivos de la mayoría de los requisitos de la fase de planificación energética.

2. Al analizar los objetivos de los requisitos de la fase de planificación energética de acuerdo a la ISO 50001, y al estudiar las características de las herramientas planteadas en sistemas de gestión de la energía anteriores, se pudo establecer que la mayoría de ellas aún son válidas para facilitar su cumplimiento (ver anexo).

3. Aunque las situaciones industriales son demasiado variadas, fue posible explicar en forma general la aplicabilidad de las diferentes herramientas presentadas, para el cumplimiento del objetivo central de cada uno de los requisitos del proceso de planificación. Asimismo, se pudo constatar la disponibilidad de diversas fuentes de información que, aunque dispersas, podrían consultarse en este sentido.

4. En el desarrollo de este capítulo, y en la revisión bibliográfica, se pudo comprobar que actualmente no existe un documento publicado con características similares a las de éste. Por lo tanto, constituye un aporte para un mejor entendimiento y difusión del sistema de gestión propuesto por la Norma.

3. NUEVAS HERRAMIENTAS PARA LA PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA

Una oportuna y continua identificación de oportunidades de mejora dentro de un SGE_n, requiere del monitoreo y control de IDE_n apropiados para poner de manifiesto tendencias tempranas en su comportamiento, las cuales se convierten en señales tempranas de cambios importantes en la eficiencia energética, el uso y el consumo de energía en la organización.

Las cartas de control, empleadas como herramientas para monitoreo y control de los IDE_n no son del todo efectivas para este propósito, ya que no evidencian tendencias asociadas a sus pequeñas variaciones.

Por otra parte, los IDE_n usados en organizaciones industriales deben posibilitar la evaluación y seguimiento de la eficiencia energética de la instalación, y además, permitir realizar comparaciones entre procesos o áreas. Aun así, el índice de consumo o consumo específico de energía (CEE), indicador ampliamente usado en este sector, no lo permite completamente.

Con el objetivo de contribuir en la resolución de estas problemáticas, en este capítulo se introducen dos nuevas herramientas para la planificación energética y la verificación, que tienen una mayor efectividad en este sentido.

3.1 Carta CUSUM tabular para el seguimiento y control cercano de IDE_n

Los IDE_n, aplicados con las herramientas adecuadas, pueden contribuir eficazmente al monitoreo, identificación y análisis de desviaciones en las metas establecidas en el proceso de planificación energética. Una de las herramientas más usadas para este

propósito es la carta de control, la cual está basada en la carta de control de individuales que se utiliza en el control estadístico de la calidad.

En esta carta se considera normal la variabilidad dentro de un rango definido por más o menos tres veces la desviación estándar de la media de los valores observados del indicador. Por ello, si se observa un valor fuera de este rango, será señal de que ha ocurrido algo fuera de lo usual en el desempeño energético de la organización. Otras señales de comportamiento anómalo observables son los cambios en la media, marcadas tendencias crecientes y decrecientes, ciclos recurrentes, y alta o baja variabilidad en los valores.

Dichos comportamientos son evidentes solo cuando se presentan cambios importantes en el indicador, algunas veces demasiado tarde para tomar acciones preventivas. Es decir, la carta no tiene la sensibilidad suficiente para detectar cambios pequeños en el nivel del indicador, ni para evidenciar las tendencias asociados a ellos, perdiendo utilidad cuando se requiere realizar un monitoreo y control más preciso de la variabilidad del mismo.

Una pronta identificación de estas tendencias es muy importante para el proceso de mejora continua en el que se enmarca la gestión de la energía, ya que ellas pueden ser señales tempranas sobre cambios mayores en el indicador, los cuales puedan resultar luego en un incumplimiento de alguna meta energética.

Otra herramienta, también utilizada en el control estadístico de la calidad y que facilita la rápida identificación de cambios pequeños en un proceso, es la carta CUSUM (suma acumulativa). En esta carta se grafica la suma acumulada de las desviaciones respecto al valor nominal de la característica de interés, en alguno de sus dos tipos: de dos lados y tabular.

La carta CUSUM de dos lados requiere, para determinar si el proceso está fuera de control, un dispositivo especial llamado máscara V, que forma sus límites de control. Si algún punto se ubica fuera de los brazos de la máscara, el proceso se considera fuera de control.

Su uso práctico como carta de control, se ha visto limitado por la dificultad del diseño de la máscara, debido a se requiere el uso de un *software* especial para su correcta construcción.

La carta CUSUM de dos lados, aunque sin límites de control, se usa ampliamente en el monitoreo de las tendencias en los consumos energéticos y en la determinación de los ahorros o sobreconsumos acumulados. La carta es bastante sensible para detectar desviaciones entre un consumo real y uno estimado a partir de un periodo base. Esta característica la convierte en una herramienta muy útil en el monitoreo de la efectividad de las medidas de desempeño implantadas.

También se ha usado para el establecimiento de metas energéticas. En este caso, se realiza un análisis detallado de los periodos con tendencias decrecientes en las sumas acumulativas, que permita identificar las causas que provocaron esos comportamientos mejores que los proyectados, para luego proponerse como meta, emularlos [41].

La CUSUM tabular, por su parte, presenta menos dificultades para la construcción de los límites de control y además, ofrece excelentes resultados en el seguimiento de pequeñas variaciones. Estos dos atributos la hacen una buena alternativa para el monitoreo y control cercano de la variabilidad de un IDEn.

En la carta CUSUM tabular se considera de manera separada las sumas acumuladas de las desviaciones por arriba y por abajo del valor nominal (o meta) de una característica de interés, que en este caso sería el indicador de desempeño.

Dichas sumas se definen en el punto i como:

$$S_H(i) = \text{máx} [0, X_i - (\mu_0 + K) + S_{H(i-1)}] \quad (3.1)$$

$$S_L(i) = \text{mín} [0, (\mu_0 - K) - X_i + S_{L(i-1)}] \quad (3.2)$$

Con $S_H(0) = 0$ y $S_L(0) = 0$. X_i es el valor observado del IDEn en el tiempo i , mientras que el parámetro K es el valor de referencia y corresponde a la mitad del cambio de nivel que interesa detectar, expresado en unidades del indicador, es decir, $K = k \sigma_x$. Por su parte, μ_0 es el valor nominal (o meta) del indicador.

La desviación estándar en los valores del IDEn, σ_x , se puede obtener a través del método de rangos:

$$\sigma_x = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (3.3)$$

donde $\bar{R}$ es la media de los rangos móviles entre dos observaciones sucesivas (de orden 2), en cuyo caso, d_2 asume el valor de 1,128 [29].

El criterio para decidir si el proceso está fuera de control, es que alguna de las sumas supere el intervalo de decisión dado por H , igualmente expresado en unidades del indicador, es decir $H = h \sigma_x$. Este parámetro generalmente se toma como 4 o 5 veces el cambio de nivel que interesa detectar, y que forma los límites de control de la carta.

Debido a que los cambios de nivel que comúnmente interesa detectar son los de 1 sigma (1σ), los valores usuales de k y h son 0,5 y 4, respectivamente, los cuales ofrecen una respuesta óptima para estos cambios [42].

La suma por arriba (S_H) acumula solo cuando el valor observado en el tiempo i es mayor que $(\mu_0 + K)$, mientras que la suma por abajo (S_L), acumula cuando el valor observado en el tiempo i es menor que $(\mu_0 - K)$. Así pues, las sumas anteriores solo

acumulan cuando el valor observado en el indicador se aleja del valor nominal (o meta), μ_0 , más allá del valor de referencia para el cambio de nivel a detectar, K . Esta característica de la carta garantiza que solo las variaciones de interés sean tenidas en cuenta. Cuando no se cumplen éstas dos condiciones, las sumas asumen el valor de cero. La Figura 3.1 ilustra estas tres situaciones.

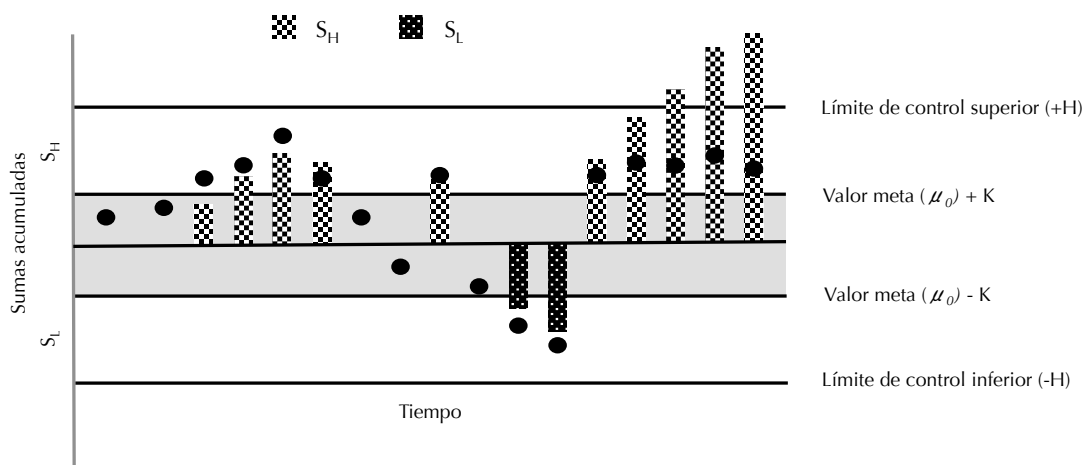


Figura 3.1 Carta CUSUM tabular

En el contexto de la gestión de la energía, esta herramienta tiene gran utilidad en la rápida detección de cambios pequeños en el IDEn, permitiendo un monitoreo más cercano de éste y así, anticipar cambios mayores o especiales que podrían conllevar al incumplimiento de una meta. Por ello, cuando el interés principal del monitoreo y control es reducir la variabilidad debida a causas comunes, generalmente difíciles de identificar y eliminar por su baja contribución individual a la causa; esta herramienta juega un papel primordial. Estas causas comunes de variación, aunque pequeñas, representan a largo plazo la mayor oportunidad de mejora [29].

Esta rápida detección también permite tomar acciones preventivas cuando cambios mayores aún están en proceso de incubación, que en el contexto de la norma ISO 50001, podrían considerarse como no conformidades potenciales. Cabe resaltar que

la carta CUSUM tabular, al igual que la CUSUM de ambos lados, se han utilizado para el monitoreo y control de consumos de energía [42], pero no para el de IDEn.

3.1.1 Caso de estudio

A manera de ejemplo para mostrar la utilidad de esta herramienta, se aplicó al análisis del comportamiento del consumo específico (CEE) de electricidad de un sistema de refrigeración en una empresa frigorífica hipotética. En la Tabla 3.1 se muestran los valores diarios, durante un mes, del indicador, así como el consumo de energía y el nivel de producción.

Tabla 3.1 Datos de consumo de electricidad y nivel de producción de una empresa frigorífica.

Día	Consumo energético (kWh)	Producción (m ³ eq)	CEE (kWh/m ³ eq)
1	7867	22000	0,358
2	9707	25997	0,373
3	8374	22100	0,379
4	8883	23500	0,378
5	10175	26777	0,380
6	11041	29840	0,370
7	10244	27100	0,378
8	9990	26290	0,380
9	10303	26970	0,382
10	9176	24800	0,370
11	9656	24900	0,388
12	10839	28600	0,379
13	10101	25980	0,389
14	8931	22900	0,390
15	5573	14217	0,392
16	8241	20100	0,410
17	5957	13553	0,440
18	10081	28397	0,355
19	12104	33810	0,358
20	11429	31747	0,360
21	11512	31800	0,362
22	8887	24020	0,370
23	10698	29000	0,369
24	8565	22900	0,374
25	9088	24100	0,377
26	10994	29900	0,368
27	9385	25000	0,375
28	10073	27100	0,372

29	7752	20030	0,387
30	7412	19000	0,390

En la Figura 3.2 se presenta la carta de control para el CEE. En donde se aprecia una variabilidad aparentemente normal de los valores del indicador, salvo de un punto fuera de control el día 17.

Esta carta muestra un comportamiento relativamente estable del indicador hasta el día 17, e indicando además, que el proceso es capaz de mantener un bajo nivel de puntos fuera de control. Es evidente que en este tipo de cartas las pequeñas variaciones no son relevantes y se asumen como normales en la operación. Sin embargo, estas variaciones aunque pequeñas podrían desembocar a largo plazo en inestabilidades mayores, por lo que una oportuna detección garantizaría una acción preventiva que evitaría tal situación.

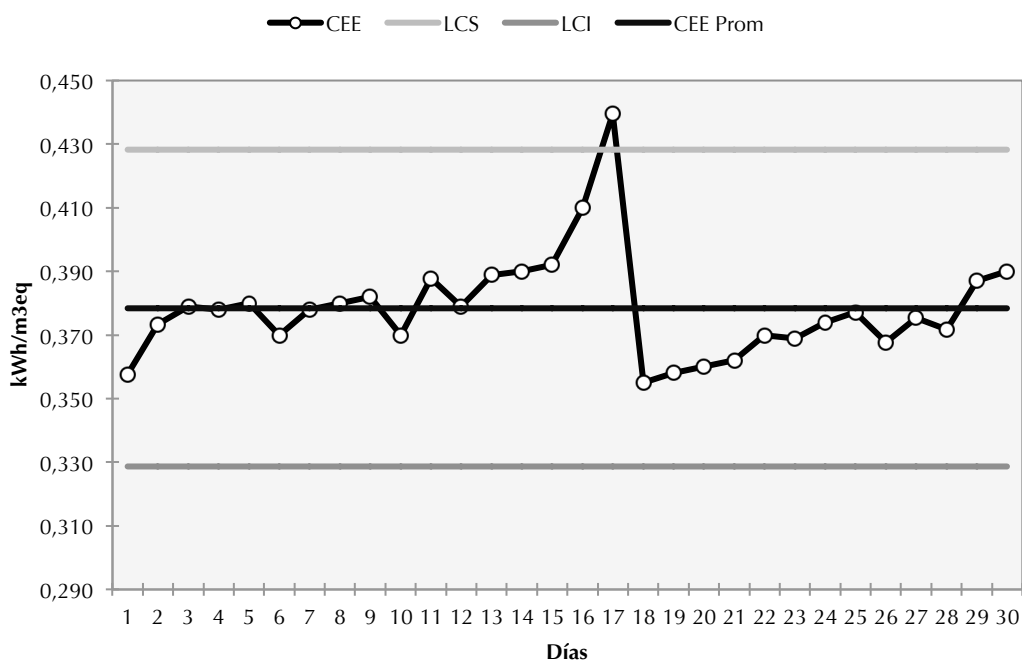


Figura 3.2 Carta de control para el CEE

Estas pequeñas desviaciones son más patentes en la carta CUSUM tabular, en donde además, es posible realizar el monitoreo de la variabilidad de los valores respecto a un valor meta establecido.

En la Figura 3.3 se muestra la carta CUSUM tabular para el mismo CEE, la cual se construyó considerando un valor meta de $0,36 \text{ kWh/m}^3\text{eq}$, tomado a partir del promedio de los mejores valores del periodo anterior. En este caso, se supone que interesa monitorear desviaciones de 1 sigma por arriba y por abajo en el valor meta, es decir variaciones de $\pm 0,0045 \text{ kWh/m}^3\text{eq}$.

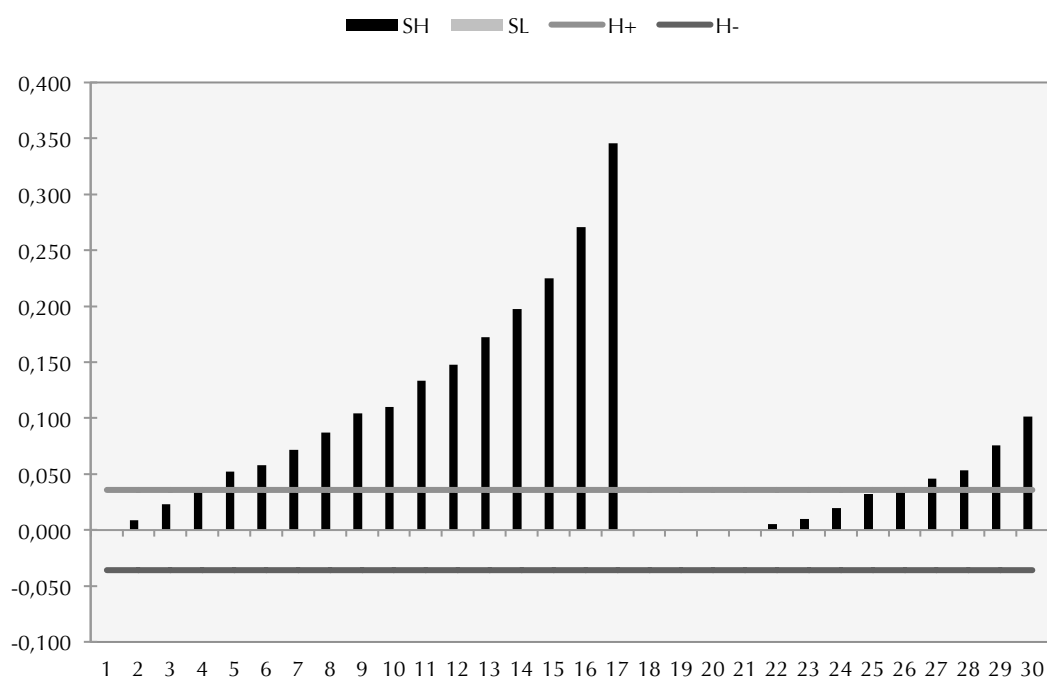


Figura 3.3 Carta CUSUM tabular del CEE

A diferencia del comportamiento relativamente estable observado en la carta de control común, desde los primeros días las sumas acumuladas por arriba (S_H) superan el límite de control superior en la carta CUSUM tabular. Este patrón fuera de control, ofrece una señal sobre la ocurrencia persistente de alguna causa que está afectando el desempeño energético y provocando una pequeña tendencia al

aumento en el indicador, que sino se toman las acciones preventivas necesarias, al cabo de unos días provocará un efecto mayor.

Al realizar el análisis en el frigorífico para identificar la causa de dicho comportamiento, se encontró que había una falla en el purgador automático de gases incondensables del sistema de refrigeración, provocando un incremento de la presión de condensación y por tanto, un sobreconsumo de electricidad.

Se puede afirmar entonces, que si se hubiera contado con esta herramienta, hubiese sido posible identificar oportunamente la falla en el equipo, y evitar reaccionar tarde en forma correctiva. En este caso, la carta de control (Figura 3.2) fue incapaz de evidenciar anticipadamente la existencia de la pequeña tendencia creciente en el indicador asociada a dicha falla, y solo cuando se presentó el punto fuera de control, la puso de manifiesto para tomar las acciones pertinentes.

Debido a que la medida que se ejecutó fue realizar una purga manual, hasta tanto se reparara o sustituyera el purgador automático, vemos nuevamente en la Figura 3.3 que, al cabo de unos pocos días, reaparece la tendencia creciente en el indicador, indicando que la falla aún persiste y es necesario cuanto antes tomar una medida correctiva definitiva.

3.2 Nuevos indicadores de eficiencia energética

Dentro el conjunto de indicadores para el desempeño energético, los indicadores de eficiencia energética son muy importantes para observar el impacto de las medidas adoptadas en este sentido. Además, ellos deben permitir realizar comparaciones entre procesos o áreas, y mostrar realmente si la energía se está usando y consumiendo eficientemente. La elección de indicadores de eficiencia energética es, por lo tanto, un elemento fundamental dentro de un SGEn.

El indicador más utilizado en la industria es el consumo específico de energía (CEE), el cual relaciona el consumo de energía con una determinada unidad de producción. Este indicador da una idea sobre un aumento o una disminución en el desempeño energético, y permite realizar análisis comparativos si se cuenta con datos referenciales (periodos anteriores o indicadores sectoriales), pero no especifica el grado de eficiencia con que se usa la energía.

Debido a que el CEE está afectado por el nivel de producción, su uso como indicador de eficiencia energética debe ser cuidadoso, ya que su variabilidad también puede ser debida a factores tales como economía de escala o problemas de producción, conduciendo a interpretaciones erróneas sobre una mejoría o deterioro de la eficiencia energética de la planta.

Un indicador que muestra el grado de eficiencia con el que se utiliza la energía es el indicador de Eficiencia Térmica, que se define como la relación entre la cantidad de energía requerida teóricamente para completar el proceso y el consumo energético real del proceso (definiendo fronteras apropiadas):

$$\eta = \frac{E_{teórica}}{E_{real}} \quad (3.4)$$

El consumo teórico se obtiene termodinámicamente al calcular la energía teórica, es decir, sin tener en cuenta las pérdidas, que se requiere para llevar a cabo el proceso. Por su parte, el consumo de energía del proceso se puede obtener estadísticamente a partir de los valores históricos de consumo y de producción, hasta encontrar el modelo matemático que los relaciona, $E = mP + E_0$, o con mediciones directas.

Este indicador tiene el inconveniente que solo se puede usar en procesos productivos donde sea posible por leyes físicas, determinar el consumo teórico de energía para llevarlos a cabo. Procesos de fundición, congelación o conservación, son ejemplos comunes.

Debido a que este indicador es igualmente influenciado por el nivel de producción, Giacone y Mancò [43] sugieren separarlo en dos efectos: uno fijo y otro variable. El efecto fijo está determinado por la eficiencia marginal, la cual es el consumo teórico por cada unidad de producción ($E_{teórico}$) dividido entre el consumo marginal por cada unidad de producción (m). Mientras que el efecto variable, es la parte variable del consumo del proceso (mP) dividida entre el consumo del proceso ($mP + E_o$). Es decir, el indicador se podría expresar de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{E_{teórico}}{mP} \frac{mP}{mP + E_o} \quad (3.5)$$

La ventaja de separar el indicador es que el primer factor, la eficiencia marginal, es un valor constante independientemente del nivel de producción, que indica la eficiencia energética del proceso excluyendo el efecto del consumo no asociado. Por su parte, el segundo factor muestra la proporción del consumo variable (consumo aprovechado directamente por el proceso) del consumo total, el cual depende del nivel de producción. Estos dos factores permiten evidenciar la influencia del nivel de producción y del consumo no asociado en el consumo total de energía de la planta, y también pueden ser usados como indicadores.

3.2.1 Caso de estudio

Utilizando valores históricos de producción y consumo energético de una empresa siderúrgica real, se muestra la utilidad del indicador de eficiencia térmica. Dicha empresa produce acero líquido en un horno de arco eléctrico. Asumiendo que la planta funde el acero desde una temperatura ambiente de 20 °C hasta una temperatura de 1.400 °C, la cantidad de energía teóricamente necesaria sería:

$$E_{teórico} = P (h_{@1.400} - h_{@20}) \quad (3.6)$$

$$E_{teórico} = P (277,42 - 2,33) \quad (3.7)$$

$$E_{teórico} = 275 \cdot P \left[\frac{kWh}{ton} \right] \quad (3.8)$$

donde P es el nivel de producción.

En la Tabla 3.2 se muestran los valores históricos de producción y consumo de energía eléctrica de la planta en un periodo de 35 meses. Asimismo, se pueden observar la energía teórica, y los indicadores de eficiencia térmica, eficiencia marginal y relación de consumo variable.

Tabla 3.2 Datos de producción y consumo de electricidad de una empresa siderúrgica

Meses	Producción (ton)	Ereal (kWh)	Eestimado (kWh)	Eteórico (kWh)	Eficiencia térmica	Eficiencia marginal	Relación consumo variable
1	3.542	2.213.341	2.111.972	973.937	46,12%	60,54%	0,76
2	3.108	1.997.226	1.915.086	854.738	44,63%	60,54%	0,74
3	3.383	2.179.272	2.039.869	930.285	45,61%	60,54%	0,75
4	3.749	2.270.516	2.206.150	1.030.955	46,73%	60,54%	0,77
5	3.902	2.276.259	2.275.902	1.073.184	47,15%	60,54%	0,78
6	3.492	2.186.574	2.089.409	960.277	45,96%	60,54%	0,76
7	4.119	2.497.283	2.374.383	1.132.807	47,71%	60,54%	0,79
8	4.245	2.374.141	2.431.298	1.167.265	48,01%	60,54%	0,79
9	4.276	2.463.320	2.445.723	1.175.998	48,08%	60,54%	0,79
10	3.983	2.228.584	2.312.470	1.095.323	47,37%	60,54%	0,78
11	3.993	2.388.365	2.317.065	1.098.106	47,39%	60,54%	0,78
12	3.769	2.358.169	2.215.183	1.036.424	46,79%	60,54%	0,77
13	4.188	2.687.559	2.405.595	1.151.703	47,88%	60,54%	0,79
14	4.420	2.587.453	2.510.811	1.215.404	48,41%	60,54%	0,80
15	4.106	2.632.305	2.368.213	1.129.072	47,68%	60,54%	0,79
16	4.213	2.561.467	2.416.828	1.158.504	47,93%	60,54%	0,79
17	2.397	1.377.055	1.592.126	659.211	41,40%	60,54%	0,68
18	4.861	2.779.662	2.711.232	1.336.743	49,30%	60,54%	0,81
19	4.765	2.765.231	2.667.496	1.310.264	49,12%	60,54%	0,81
20	4.822	2.717.987	2.693.651	1.326.099	49,23%	60,54%	0,81
21	5.159	2.843.057	2.846.497	1.418.636	49,84%	60,54%	0,82
22	4.432	2.433.739	2.516.611	1.218.915	48,43%	60,54%	0,80
23	4.501	2.540.773	2.547.700	1.237.737	48,58%	60,54%	0,80
24	3.717	1.961.247	2.191.666	1.022.186	46,64%	60,54%	0,77
25	3.717	2.098.082	2.191.426	1.022.041	46,64%	60,54%	0,77
26	4.540	2.497.692	2.565.516	1.248.523	48,67%	60,54%	0,80
27	4.916	2.644.557	2.736.175	1.351.844	49,41%	60,54%	0,82
28	2.991	1.607.938	1.861.724	822.432	44,18%	60,54%	0,73
29	4.977	2.802.971	2.763.841	1.368.594	49,52%	60,54%	0,82
30	4.752	2.526.738	2.661.706	1.306.759	49,09%	60,54%	0,81
31	5.219	2.825.014	2.874.122	1.435.361	49,94%	60,54%	0,82
32	4.783	2.382.481	2.675.784	1.315.282	49,16%	60,54%	0,81
33	5.164	2.829.967	2.848.819	1.420.042	49,85%	60,54%	0,82
34	4.994	2.619.972	2.771.831	1.373.431	49,55%	60,54%	0,82
35	5.251	2.886.356	2.888.474	1.444.049	49,99%	60,54%	0,83

La eficiencia térmica promedio es de 47,7%, con un valor máximo de 49,9% en el mes 35. Esto indica que éste fue el mes en el que el consumo energético se desvió menos del óptimo teórico para ese nivel de producción, y por tanto fue el mes con el mejor comportamiento desde el punto de vista de la eficiencia energética en el periodo analizado.

Igualmente se observa que la eficiencia marginal permanece constante en 60,54%, independientemente del nivel de producción. Se puede decir que esta es la eficiencia energética de la planta descontando el efecto del consumo no asociado, es decir la eficiencia energética propiamente del proceso productivo. Esta característica hace que este indicador pueda ser usado en *benchmarks* de procesos similares como un parámetro de medición de la eficiencia energética real de la planta.

En la última columna se aprecian los valores de la relación de consumo variable, los cuales indican qué tanto del consumo energético de la planta está relacionado directamente al proceso productivo. Entre más se acerquen a la unidad, mayor será la eficiencia térmica de la planta. En otras palabras, cuanto menor es el efecto del consumo no asociado a la producción (o consumo de base), mayor será la eficiencia energética de la planta.

En la Figura 3.4 se puede observar como varían estos valores durante los meses analizados. Aquí se puede apreciar claramente el efecto que tiene el consumo no asociado a la producción en la eficiencia térmica de la planta. En los meses 17 y 28, donde la relación de consumo variable fue menor, la eficiencia térmica sufrió un deterioro considerable.

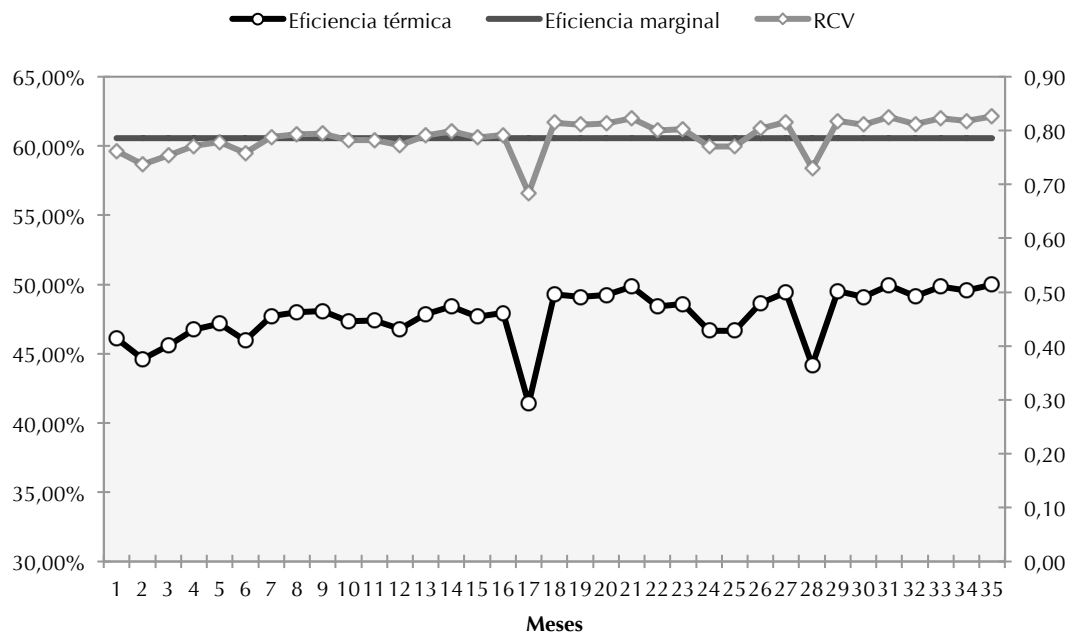


Figura 3.4 Variación de los indicadores de eficiencia térmica, eficiencia marginal y relación de consumo variable

3.3 Conclusiones parciales

1. Se pudo evidenciar la gran utilidad que tiene la carta CUSUM tabular para la rápida detección de cambios pequeños en un indicador de desempeño energético, permitiendo un monitoreo más cercano de éste, y así poder anticipar acciones preventivas y evitar cambios mayores que podrían conllevar al incumplimiento de una meta.
2. Los indicadores de desempeño energético presentados ofrecen una alternativa más apropiada para la medida de la eficiencia energética en organizaciones industriales que los comúnmente usados. Aunque con la limitación de un uso exclusivamente en procesos donde el producto final tiene un alto contenido energético.

4. CONCLUSIONES GENERALES

1. Se pudo comprobar que en la fase de planificación energética, de cualquier sistema de gestión de la energía (SGEn), el uso de herramientas es esencial para asegurar el cumplimiento satisfactorio de sus requisitos técnicos. En los SGEn que anteceden a la ISO 50001 se han propuesto una gran variedad de herramientas, la mayoría de las cuales son igualmente útiles para el proceso de planificación que en ésta se propone.

2. Sobre la base del estudio de los objetivos perseguidos por cada uno de los requisitos de la fase de planificación energética de la Norma ISO 50001, se seleccionaron las herramientas idóneas para facilitar su cumplimiento de forma total o parcial. Se elaboró un diagrama de flujo, que aparece en el Anexo, el cual posibilita una mejor comprensión de los objetivos centrales de esta fase y presenta de forma organizada las herramientas específicas a utilizar para el cumplimiento de cada requisito.

3. En el documento guía se particularizó en las herramientas a emplear en SGEn que se establecen por primera vez, principalmente en pequeñas y medianas organizaciones, en donde la falta relativa de datos y de recursos limita el uso de herramientas más sofisticadas.

4. La CUSUM tabular, una de las dos nuevas herramientas propuestas, permite la rápida detección de cambios pequeños en un indicador de desempeño energético y la toma oportuna de acciones preventivas, evitando la ocurrencia de no conformidades.

5. La propuesta de utilización de los indicadores de eficiencia energética, otro aporte del presente trabajo, representa una alternativa muy efectiva para la medida y

seguimiento de la eficiencia energética en organizaciones industriales, particularmente en aquellos procesos en donde el producto tiene un alto contenido energético, factible de determinar por leyes físicas.

6. El documento guía elaborado, no existente hasta el momento otro similar, recopila la diversidad de herramientas de soporte actualmente disponibles para la fase de planificación energética, y muestra cómo ellas pueden facilitar y asegurar el cumplimiento adecuado de sus requisitos, constituye el aporte en este sentido.

5. RECOMENDACIONES

1. La mayoría de las herramientas sugeridas son de utilidad para los aspectos fundamentales de los requisitos de la planificación energética, y tratan de cubrir de forma general la diversidad de situaciones organizacionales que puedan existir en la práctica. Así pues, las herramientas y este documento per se, solo pueden considerarse como una ayuda más para un mejor entendimiento de la forma de cumplir la Norma, pero no una interpretación completa de la misma. Por ello, se recomienda consultar otros documentos de implementación que puedan existir, para incorporar todos los requerimientos que la Norma establece, tomando en consideración la situación particular de la organización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Arrastía Ávila and M. Limia Martínez, *Energía y cambio climático*. La Habana, Cuba: Editorial Academia, 2011.
- [2] D. R. Wulfinghoff, "The modern history of energy conservation: An overview for information professionals." Energy Institute Press, 2004.
- [3] D. Bouille, "Economía de la energía." Olade, 2004.
- [4] S. C. Bhattacharyya, *Energy Economics - Concepts, Issues, Markets and Governance*. Springer, 2011.
- [5] A. Borroto Nordelo, "Sistemas de gestión energética," Universidad de Cienfuegos, 03-Feb-2012.
- [6] M. L. Brown, "Management Systems for Energy," in *Encyclopedia of Energy Engineering and Technology*, vol. 2, 3 vols., B. L. Capehart, Ed. CRC Press, 2007.
- [7] American National Standards Institute (ANSI), "ANSI/MSE 2000:2008, A Management System for Energy." 2008.
- [8] Sustainable Energy Authority of Ireland (SEAI), "I.S. 393:2005 Energy Management Systems Technical Guideline." 2006.
- [9] Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU) and Federal Environment Agency (UBA), "DIN EN 16001: Energy Management Systems in Practice. A Guide for Companies and Organisations." 2010.
- [10] Monument Info Search Ltd, "BS EN 16001 Energy Management," 2012. [Online]. Available: www.monument-info-search.co.uk/bs-en-16001-energy-management/. [Accessed: 09-Oct-2012].
- [11] Sustainable Energy Authority of Ireland (SEAI), "I.S. EN 16001:2009 Energy Management Systems Technical Guideline." 2009.
- [12] Sustainable Energy Authority of Ireland (SEAI), "I.S. EN 16001:2009 Implementation Guide." 2009.
- [13] Energy Star, "Guidelines for Energy Management," 2008. [Online]. Available: www.energystar.gov/index.cfm?fuseaction=guidelines. [Accessed: 05-Mar-2012].

- [14] Sustainable Energy Authority of Ireland (SEAI), "Energy Management Action Plan (MAP)," Jul-2012. [Online]. Available: www.seai.ie/energymap/About_Energy_Map/. [Accessed: 30-Jul-2012].
- [15] Colectivo de autores, *Gestión y economía energética*. Cienfuegos, Cuba: Universo Sur, 2006.
- [16] J. C. Campos Avella, O. F. Prías Caicedo, E. C. Quispe Oqueña, J. R. Vidal Medina, and E. D. Lora Figueroa, "El MGIE, un modelo de gestión energética para el sector productivo nacional," *El Hombre y la Máquina*, vol. 30, no. Enero-Junio de 2008, Jun-2008.
- [17] Universidad del Atlántico and Universidad Autónoma de Occidente, "Guía para la implementación de Sistemas de Gestión Integral de la Energía." 2007.
- [18] J. C. Campos Avella, "Sistemas de gestión energética NTC-ISO 50001," Bogotá, Colombia, enero-2012.
- [19] A. Carretero Peña and J. M. García Sánchez, *Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora*. España: AENOR ediciones, 2012.
- [20] International Organization for Standardization (ISO), "ISO 50001:2011, Sistemas de gestión de la energía - Requisitos con orientación para su uso." 2011.
- [21] U.S Department of Energy, "DOE eGuide for ISO 50001," Jul-2012. [Online]. Available: save-energy-now.org. [Accessed: 10-Jul-2012].
- [22] J. C. Campos Avella, "La ISO 50001 y su impacto en la gestión energética empresarial," presented at the Simposio Iberoamericano de Eficiencia Energética e ISO 50001, Cali, Colombia, 2012.
- [23] J. C. Campos Avella, "Herramientas de planeación e implementación de la ISO 50001," Universidad del Atlántico, Barranquilla, 2012.
- [24] N. Franklin and B. Tyers, "Guía ambiental de ARPEL No. 33: Monitoreo y seguimiento del uso de energía." Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe (ARPEL), Jun-2002.
- [25] W. C. Turner and S. Doty, Eds., *Energy management handbook*, 6th ed. Lilburn, USA: The Fairmont Press, Inc., 2007.

- [26] Universidad del Atlántico and Universidad Autónoma de Occidente, "Herramientas para el análisis de caracterización de la eficiencia energética." 2007.
- [27] Z. K. Morvay and D. D. Gvozdenac, *Applied industrial energy and environmental management*, 1st ed. UK: John Wiley & Sons Ltd, 2008.
- [28] M. Imada, "Cooling down – ISO sets to reduce industrial furnace emissions," *ISO Focus+*, vol. 2, no. 5, May-2011.
- [29] H. Pulido Gutiérrez and R. de la Vara Salazar, *Control estadístico de calidad y seis sigma*, vol. 2. La Habana: Félix Varela, 2007.
- [30] Universidad de Cienfuegos, "Manual de procedimientos para efectuar la prueba de la necesidad en una empresa." 2005.
- [31] Natural Resources Canada, "Energy Savings Toolbox – An Energy Audit Manual and Tool." 2008.
- [32] B. Orthwein and U.S. Department of Energy, "Save Energy Now Tools and Resources." 2011.
- [33] R. D. Fernández Pérez, "Sistema de gestión y pronóstico de energía eléctrica en la UCF," Tesis de maestría, Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba, 2007.
- [34] D. E. Tripp, "Accounting: Facility Energy Use," in *Encyclopedia of Energy Engineering and Technology*, vol. 1, 3 vols., B. L. Capehart, Ed. CRC Press, 2007.
- [35] J. C. Campos Avella, "Tecnologías para el manejo de la información energética," Universidad del Atlántico, Barranquilla, 2008.
- [36] Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), "Proceso de identificación de oportunidades de ahorro de energía." 2007.
- [37] Energy Efficiency Best Practice Programme, UK, "Undertaking an industrial energy survey." 2002.
- [38] European Commission, "Reference document on best available techniques for energy efficiency." Feb-2009.
- [39] Energy Efficiency Best Practice Programme, UK, "Monitoring and Targeting in large companies." 1998.
- [40] R. del P. Castellón, "El establecimiento de la línea de base energética en el contexto de los requerimientos establecidos por la Norma ISO 50001," *Mundo*

Eléctrico, no. 87, pp. 37–43, Jun-2012.

[41] D. Tripp and S. Dixon, “Energy monitoring, targeting and reporting,” in *Guide to energy management*, 7th ed., The Fairmont Press, Inc., 2012.

[42] H. Giaccone, S. Mancò, and P. Gabriele, “Energy management techniques for small and medium-sized companies,” *Journal of Energy Resources Technology*, vol. 130, 2008.

[43] H. Giaccone and S. Mancò, “Energy efficiency measurement in industrial processes,” *Energy*, vol. 38, pp. 331–345, 2012.

ANEXO. REQUISITOS DE LA PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA, SUS OBJETIVOS Y HERRAMIENTAS PROPUESTAS

