



Guía para el diseño y operación del Plan de Monitoreo y Verificación en PyMEs

Octubre 2025

Implementado por



Mitigation Action
Facility

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Publicado por:

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 32 + 36
53113 Bonn, Deutschland
T +49 228 44 60-0
F +49 228 44 60-17 66

Dag-Hammarskjöld-Weg 1 - 5
65760 Eschborn, Deutschland
T +49 61 96 79-0
F +49 61 96 79-11 15

E info@giz.de
I www.giz.de

Programa NAMA PyME, PyMEs como contribución a una economía baja en carbono.

Guía para el diseño y operación del Plan de Monitoreo y Verificación en PyMEs

Agencia de la GIZ en México Torre Hemicor, PH
Av. Insurgentes Sur No. 826 Col. Del Valle
C.P. 03100, Ciudad de México.
T +52 55 5536 2344
F + 52 55 5536 2344
E giz-mexiko@giz.de
I www.giz.de/mexico

Versión

Septiembre de 2025

Diseño

Laguna

Texto

Ana Gabriela Herrera Alejandre
Berenice Hernández Rubio
Ramón Rosas Moya

Supervisión

Edgar Uriel Arias Hernández

La GIZ México es responsable del contenido de la presente publicación digital.

Esta guía se desarrolló para el programa Eco Crédito Sustentable con apoyo de la Agencia Alemana de Cooperación Técnica en el marco del programa NAMA PyME.

Este programa cuenta con el apoyo técnico y financiero de Mitigation Action Facility por encargo del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección del Clima, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania (BMUKN), junto con la Iniciativa Internacional para el Clima (IKI), el Departamento de Seguridad Energética y Cero Neto del Reino Unido (DESNZ), el Ministerio de Clima, Energía y Servicios Públicos de Dinamarca (KEFM), el Ministerio de Asuntos Exteriores de Dinamarca (MFA), la Unión Europea y la Fundación del Fondo de Inversión para la Infancia (CIFF).

El Programa NAMA PyME México está dentro de las Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMAs, por sus siglas en inglés), que son iniciativas voluntarias y autodirigidas por los países en desarrollo para reducir sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el contexto de un desarrollo sostenible. El programa busca mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de GEI en las Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs) de México.

Tabla de contenido

Tabla de contenido	1
Lista de tablas	4
Lista de figuras	5
Tabla de abreviaturas y acrónimos	6
Tabla de definiciones	7
1 Introducción	8
Contexto y relevancia del monitoreo energético en las PyMEs	8
Objetivo de la guía	8
Alcance	8
Beneficios que puede obtener una PyME al implementar un Plan de M&V	8
2 Pasos para implementar un Plan de Monitoreo y Verificación	10
1. Definir Indicadores de Desempeño Energético	10
2. Fijar la línea base energética (LBEn)	11
3. Establecer objetivos energéticos	11
4. Elaborar el Plan de Monitoreo y Verificación (M&V)	11
5. Implementar el Plan de M&V	12
3 Indicadores de Desempeño Energético	13
3.1 Definición de Indicador de Desempeño Energético	13
3.2 Clasificación de los Indicadores de Desempeño Energético	15
4 Línea base energética	18
4.1 Descripción de la línea base energética	18
4.2 Clasificación de la línea base energética	18
4.3 Establecimiento de la línea base energética	18
4.4 Ejemplo de establecimiento de la línea base energética	19
5 Objetivos energéticos	21
5.1 Descripción y beneficios de los objetivos energéticos	21
5.2 Metodología para establecer y verificar los objetivos energéticos	21
6 Guía de implementación del Plan de Monitoreo y Verificación	22
6.1 Pasos para la elaboración del Plan de Monitoreo y Verificación	22
6.2 Pasos para la implementación del Plan de Monitoreo y Verificación	22

6.3 Recursos requeridos por el Plan de Monitoreo y Verificación	23
6.4 Recomendaciones para un Plan de Monitoreo y Verificación exitoso en una PyME.....	23
7 Bibliografía.....	24
8 Anexos.....	25
Anexo A. Medidas de ahorro de energía eléctrica.....	25
A.1. Iluminación.....	25
Medidas de Ahorro Energético (MAEs).....	25
Indicadores energéticos aplicables (para iluminación)	25
A.2. Aire acondicionado.....	27
Medidas de Ahorro Energético (MAEs).....	27
Indicadores energéticos aplicables (para aire acondicionado)	28
A.3. Refrigeración	30
Medidas de Ahorro Energético (MAEs).....	30
Indicadores energéticos aplicables (para refrigeración).....	31
A.4. Motores eléctricos	32
Medidas de Ahorro Energético (MAEs).....	32
Indicadores energéticos aplicables (para motores eléctricos).....	32
A.5. Aire comprimido	34
Medidas de Ahorro Energético (MAEs).....	34
Indicadores energéticos aplicables (para aire comprimido)	34
A.6. Sistemas de bombeo.....	36
Medidas de Ahorro Energético (MAEs).....	36
Indicadores energéticos aplicables (para sistemas de bombeo)	36
A.7. Calentadores eléctricos	38
Medidas de Ahorro Energético (MAEs).....	38
Indicadores energéticos aplicables (para calentadores eléctricos)	38
A.8. Autogeneración con Sistemas Solares Fotovoltaicos (SFV)	40
Medidas de Ahorro Energético (MAEs).....	40
Indicadores energéticos aplicables.....	40
Anexo B. Medidas de ahorro de energía térmica.....	42
B.1. Sistemas de generación de vapor	42
Medidas de Ahorro Energético (MAEs).....	42
Indicadores energéticos aplicables (para sistemas de generación de vapor)	43
B.2. Sistemas de distribución de vapor	45
Medidas de Ahorro Energético (MAEs).....	45
Indicadores energéticos aplicables (para sistemas de distribución de vapor)	46

B.3. Intercambiadores de calor	48
Medidas de Ahorro Energético (MAEs).....	48
Indicadores energéticos aplicables (para intercambiadores de calor).....	48
B.4. Calentadores	50
Medidas de Ahorro Energético (MAEs).....	50
Indicadores energéticos aplicables (para calentadores)	50
Anexo C. Factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional	53
Anexo D. Indicador de grados-día.....	54
Descripción	54
Beneficios del indicador de grados-día.....	54
Aplicaciones del indicador de grados-día	54
Metodología de cálculo del indicador de grados-día.....	54
Anexo E. Tabla de sensación térmica	56
Anexo F. Corrección del indicador energético por el número de días.....	57
Anexo G. Plantillas de la herramienta	58
G.1. Plantilla de registro de objetivos energéticos.....	58
G.2. Plantilla de registro de planes de acción	59
Anexo H. Información complementaria sobre el Plan de Monitoreo y Verificación	64
Definición y objetivos de Monitoreo y Verificación	64
Principios de Monitoreo y Verificación.....	64
Métodos y Protocolos de Monitoreo y Verificación	65
Anexo I. Documentación de respaldo del Plan de Monitoreo y Verificación.....	67

Lista de tablas

Tabla 1. Medición de Indicador de Desempeño Energético	14
Tabla 2. Clasificación de los IDEn según la forma de determinarlos	15
Tabla 3. Clasificación de los IDEn según su cobertura.....	16
Tabla 4. Datos históricos de consumo y ocupación del hotel	19
Tabla 5. Datos históricos de consumo y ocupación del hotel	19

Lista de figuras

Figura 1. Pasos para implementar un Plan de Monitoreo y Verificación	10
Figura 2. Uso de la línea base energética (LBEn)	13
Figura 3. Ejemplo de establecimiento de la línea base energética	20
Variables a monitorear 1.....	26
Variables a monitorear 2.....	29
Variables a monitorear 3.....	31
Variables a monitorear 4.....	35
Variables a monitorear 5.....	36
Variables a monitorear 6.....	37
Variables a monitorear 7	38
Variables a monitorear 8.....	39
Variables a monitorear 9.....	40
Variables a monitorear 10	44
Variables a monitorear 11.....	46
Variables a monitorear 12	49
Variables a monitorear 13	51

Tabla de abreviaturas y acrónimos

ASHRAE	Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers)
BPVP	Protocolo de Verificación del Desempeño de Edificios (Building Performance and Verification Protocol)
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CDD	Grado-día de Enfriamiento o Refrigeración (Cooling Degree Days)
ENCC	Estrategia Nacional de Cambio Climático
EVO	Organización de Evaluación de la Eficiencia (Efficiency Valuation Organization)
GEI	Gases de efecto invernadero
GIZ	Cooperación Técnica Alemana
HDD	Grado-día de Calefacción (Heating Degree Days)
IDEn	Indicador de Desempeño Energético
IPMVP	Protocolo Internacional de Medición y Verificación del Desempeño (International Performance Measurement and Verification Protocol)
ISO	Organismo Internacional de Estandarización (International Organization for Standardization)
LBEn	Línea base energética
MAE	Medida de Ahorro Energético
M&V	Monitoreo y Verificación
NAMA	Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (Nationally Appropriate Mitigation Actions)
PCI	Poder calorífico inferior
PECC	Programa Especial de Cambio Climático
ppm	Partes por millón
PyME	Pequeña y Mediana Empresa
SDT	Sólidos disueltos totales
SGEn	Sistema de Gestión de Energía
STC	Sensación térmica por calor
USEn	Usos Significativos de Energía

Tabla de definiciones

Concepto	Definición
Energía	Es la capacidad de un sistema de producir una actividad externa o de realizar un trabajo. La energía puede ser electricidad, combustibles, vapor, aire comprimido y otros similares.
Consumo energético	Cantidad de energía que se utiliza en un equipo, sistema o instalación de una Pequeña y Mediana Empresa (PyME) para su operación.
Eficiencia energética	Proporción u otra relación cuantitativa entre el consumo de energía (entradas) y el rendimiento, beneficio, bienes o servicios (salidas). A mayor rendimiento y menor consumo, mayor eficiencia energética.
Línea base energética (LBEn)	Referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del consumo energético de un equipo o sistema eléctrico o térmico; sirve como punto de referencia para evaluar el ahorro de energía una vez que se implementen las medidas de eficiencia energética.
Indicador de Desempeño Energético (IDEn)	Valor cuantitativo o medida del desempeño energético. Puede expresarse como una simple medida, un cociente o un modelo más complejo (consultar Capítulo 4).
Medida de Ahorro Energético (MAE)	Acción o estrategia implementada para reducir el consumo de energía, sin afectar la funcionalidad de los equipos o procesos.
Ahorro energético	Reducción del consumo de energía mediante el uso eficiente de los recursos, sin comprometer la producción, el confort o el rendimiento de los equipos o sistemas.
Medición	Proceso para determinar el valor de una cantidad, comparándola con una unidad estándar.
Verificación	Proceso de revisión y validación de los datos reportados, para asegurar que sean precisos, completos y confiables.
Usos Significativos de Energía (USEn)	Procesos, equipos o sistemas dentro de la PyME que consumen la mayor proporción de energía o que tienen un alto potencial de mejora en cuanto a eficiencia energética.
Monitoreo energético	Proceso de medir, registrar y analizar continuamente el consumo de energía en instalaciones, equipos o sistemas, con el fin de identificar oportunidades de mejora, optimizar el uso de la energía y reducir costos.
Unidad de producción de la PyME	Es el parámetro cuantitativo que representa el volumen de bienes o servicios generados por la PyME en un periodo determinado, de acuerdo con la naturaleza de su actividad.
Normalización	Es el proceso sistemático mediante el cual se establecen y aplican reglas, especificaciones, requisitos o criterios comunes con el fin de ordenar, unificar y mejorar productos, servicios, procesos o prácticas, garantizando su calidad, seguridad, compatibilidad y eficiencia.

1 Introducción

Contexto y relevancia del monitoreo energético en las PyMEs

En un entorno cada vez más competitivo, el monitoreo energético contribuye a desarrollar una cultura organizacional orientada al uso racional de los recursos. Esto facilita tomar decisiones basadas en información confiable y genera beneficios económicos y ambientales sostenibles en el tiempo.

El monitoreo energético permite identificar, registrar y analizar, para posteriormente optimizar el consumo de electricidad y combustible. A través de la recopilación sistemática de datos y su análisis, es posible identificar ineficiencias y pérdidas; detectar oportunidades de mejora; establecer comparativas entre procesos o períodos; y ajustar comportamientos operativos para reducir costos, mejorar la productividad y disminuir el impacto ambiental.

El Monitoreo y Verificación (M&V) de parámetros energéticos es una práctica utilizada a nivel internacional en proyectos de eficiencia energética, certificaciones ambientales y sistemas de gestión como la ISO 50001. Esta herramienta permite evaluar el desempeño energético de una instalación mediante la medición sistemática del consumo antes y después de la implementación de Medidas de Ahorro Energético (MAEs), asegurando que los ahorros obtenidos sean comprobables y cuantificables.

En un contexto donde la demanda energética mundial continúa creciendo, la gestión eficiente del consumo resulta indispensable. El M&V no solo proporciona claridad sobre cómo, cuándo y dónde se consume la energía, sino que también permite comprobar el impacto de las acciones implementadas, lo cual fortalece la toma de decisiones y justifica inversiones futuras en eficiencia energética.

Además del beneficio económico directo, el monitoreo energético contribuye a la responsabilidad social y ambiental de las empresas. Disminuir el consumo energético implica reducir la huella de carbono y contribuir a los compromisos globales frente al cambio climático. A nivel local, mejora la calidad de vida al reducir emisiones contaminantes, optimizar el uso de recursos naturales y disminuir la dependencia energética.

Objetivo de la guía

Proporcionar a las PyMEs una herramienta accesible, práctica y adaptable para el diseño e implementación de sistemas de monitoreo energético. A través de su aplicación, se busca:

- Promover una gestión energética eficiente basada en datos confiables.
- Facilitar la identificación y evaluación de oportunidades de mejora en el consumo energético.
- Apoyar el cumplimiento de objetivos ambientales, normativos y de competitividad.
- Contribuir a la reducción de costos operativos mediante la mejora del desempeño energético.

Alcance

Esta guía está dirigida a responsables técnicos, gerentes operativos, encargados de mantenimiento y cualquier profesional o colaborador involucrado en la gestión energética dentro de una PyME. Pueden utilizarla organizaciones de diversos sectores y tamaños, sin necesidad de contar con conocimientos avanzados en ingeniería o grandes inversiones iniciales.

La implementación de un Plan de M&V conforme a esta guía puede realizarse de manera progresiva, adaptándose a los recursos y capacidades de cada empresa, e implementando acciones conforme se obtienen resultados.

Esta guía busca ser un punto de partida para que las PyMEs avancen hacia una cultura energética más eficiente, competitiva y sostenible, contribuyendo al mismo tiempo al bienestar ambiental y al desarrollo económico del país.

Beneficios que puede obtener una PyME al implementar un Plan de M&V

El análisis del diagnóstico de capacidades en materia Dentro de los principales beneficios que una PyME puede obtener de un Plan de M&V energético se encuentran los siguientes:

- **Reducción de costos.** Identificar áreas de consumo excesivo permite reducir el uso innecesario de energía, lo que se traduce en ahorros significativos en las facturas de servicios públicos.

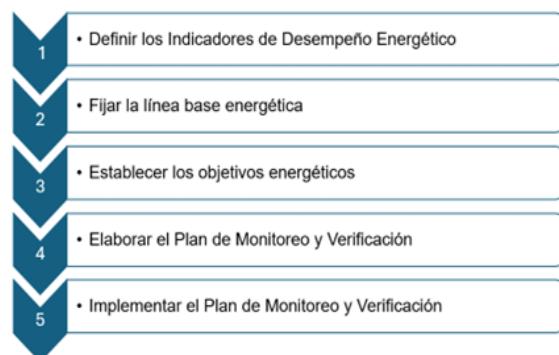
- **Optimización de recursos.** Un análisis detallado del consumo energético ayuda a maximizar la eficiencia de los equipos y sistemas energéticos, garantizando que se utilicen de manera óptima.
- **Detección de anomalías.** El monitoreo constante permite detectar comportamientos inusuales o picos de consumo, lo que puede indicar fallas en equipos u oportunidades de mejora.
- **Mejora en la toma de decisiones.** Con datos precisos y actualizados sobre el uso de energía, las organizaciones pueden tomar decisiones informadas sobre inversiones en eficiencia energética y energías renovables.
- **Cumplimiento de normativas.** Mantener un monitoreo adecuado ayuda a las empresas a cumplir con las regulaciones energéticas y medioambientales, evitando sanciones y promoviendo buenas prácticas.
- **Mitigación del cambio climático.** La reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) es crucial para combatir el cambio climático. Los objetivos energéticos contribuyen a disminuir la huella de carbono y a proteger el medio ambiente.
- **Fomento de la sostenibilidad.** Disminuir la huella de carbono y aprovechar responsablemente los recursos energéticos permite alinearse con los objetivos de sostenibilidad organizacional y global.
- **Conciencia ambiental.** Fomenta una cultura de responsabilidad entre los empleados y otras partes interesadas (stakeholders), creando conciencia sobre el impacto del consumo energético en el medio ambiente.
- **Facilitación de estrategias de ahorro energético.** Permite implementar planes y programas de ahorro energético más efectivos, basados en datos concretos y análisis de tendencias.
- **Evaluación de proyectos de eficiencia energética.** Ayuda a conocer el rendimiento de las iniciativas de eficiencia energética para realizar ajustes a las estrategias implementadas.
- **Aumento de la competitividad.** Las organizaciones que gestionan y reducen su consumo energético pueden mejorar su competitividad en el mercado, al posicionarse como líderes en sostenibilidad. Además, la transición hacia tecnologías limpias fomenta la innovación y el desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas.
- **Seguridad energética.** Diversificar las fuentes de energía y reducir la dependencia de combustibles fósiles mejora la seguridad energética y disminuye la vulnerabilidad ante fluctuaciones en los precios de la energía.

2 Pasos para implementar un Plan de Monitoreo y Verificación

En esta sección se presentan los pasos prácticos para que las PyMEs puedan implementar un Plan de Monitoreo y Verificación (M&V) que contribuya al uso eficiente de la energía. Cada paso está diseñado para facilitar el seguimiento del desempeño energético y apoyar la toma de decisiones con base en datos. Estos pasos incluyen, entre otros, la definición de objetivos, la evaluación de resultados y la capacitación del personal. Al final se incluyen anexos con herramientas y formatos que facilitan la puesta en marcha del sistema dentro de las operaciones de cada empresa.

Pasos para implementar un Plan de M&V en una PyME:

Figura 1. Pasos para implementar un Plan de Monitoreo y Verificación



1. Definir Indicadores de Desempeño Energético

Los Indicadores de Desempeño Energético (IDEn) son herramientas de medición que relacionan el consumo de energía con variables relevantes de la operación, como producción, superficie, grados-día o servicio prestado. Su función es evaluar la eficiencia en el uso de la energía, comparar resultados a lo largo del tiempo y verificar el cumplimiento de objetivos energéticos.

Es indispensable identificar las variables relevantes que influyen o afectan el consumo de energía de la PyME para establecer el o los indicadores energéticos más adecuados. Algunas de las variables

relevantes que determinan el consumo de energía en las PyMEs son:

- En aplicaciones industriales: la producción mensual.
- En hotelería: el porcentaje de ocupación o el número de cuartos-noche rentados al mes.
- En hospitales: el índice de ocupación hospitalaria o camas ocupadas en el mes.
- En restaurantes: el número de comensales atendidos por mes.
- En aplicaciones donde el aire acondicionado sea el mayor consumidor de energía: los grados-día (ver Anexo D). Esta variable relevante suele ser la que mejor refleja el comportamiento del consumo de energía en estos casos.

Ejemplos de IDeN:

- **Caso 1.** Una PyME que produce puertas de madera para hotelería podría definir un IDeN eléctrico como: kWh de energía eléctrica consumida por pieza producida al mes (kWh/pieza).
- **Caso 2.** Una PyME que produce pinturas en presentación de cubetas de 19 litros, podría definir un IDeN eléctrico como: kWh de energía eléctrica consumida por cubeta de pintura producida (kWh/cubeta).
- **Caso 3.** Una PyME que produce aceite comestible de girasol en diferentes presentaciones, podría definir un IDeN térmico como: m³ de gas natural consumido por litro de aceite producido (m³/litro).
- **Caso 4.** Una PyME que da servicios de hotelería, podría definir un IDeN eléctrico como: kWh de energía eléctrica consumida por habitación-noche rentada al mes (kWh/habitación-noche).

Los IDeN también se pueden expresar de una manera más sencilla en términos del consumo de energía mensual, ya sea térmica, eléctrica o ambas, particularmente en el caso de PyMEs que no identifican una variable relevante de la que claramente dependa el consumo de energía. Por ejemplo:

- Para el consumo de energía eléctrica: kWh/mes
- Para consumo de combustibles: litros/mes

Por otra parte, los IDeN también se pueden expresar con la intervención de dos o más variables relevantes y con expresiones matemáticas más complejas que un cociente, como ecuaciones lineales, polinomiales, logarítmicas o exponenciales.

Debe elegirse la expresión que mejor refleje el comportamiento del IDEn como función de la o las variables relevantes.

Por ejemplo, en muchos casos el consumo específico de producción varía dependiendo del nivel de producción; en estos casos, el IDEn se puede expresar con una expresión matemática que refleje dichas variaciones. Así podríamos establecer el consumo específico como:

$$\text{Consumo específico} = a \times P^2 + bP + c$$

Donde P es la producción, y el valor de los coeficientes a, b y c, se ajustan para reflejar el comportamiento real del IDEn.

En el Capítulo 4 de la presente guía se dará una explicación más detallada al respecto.

2. Fijar la línea base energética (LBEn)

La línea base energética (LBEn) es el punto de referencia que representa el consumo histórico o proyectado de energía en condiciones normales de operación, contra el cual se comparan los resultados obtenidos para evaluar mejoras en la eficiencia y el desempeño energéticos. La LBEn es el valor de referencia del IDEn, contra el cual se compararán los valores futuros.

Ejemplos de LBEn:

- 0.25 kWh/pieza producida
- 3.42 litros/tonelada producida
- 2.14 kWh/habitación-noche
- 66,400 kWh/mes
- 0.00034 P² - 0.002 P + 0.4678

En el Capítulo 5 de la presente guía se ampliará el tema.

3. Establecer objetivos energéticos

Los objetivos energéticos deben ser específicos, medibles, alcanzables, realistas y deben tener un tiempo bien definido para ser alcanzados. Los objetivos energéticos se expresan usualmente en función de:

- Porcentaje de mejora del desempeño energético.
- Reducción del consumo de energía en cierto porcentaje.
- Reducción del consumo de energía en cierta cantidad.

- Mejora del IDEn en determinado porcentaje.

Ejemplos:

- Reducir el consumo de energía eléctrica de la empresa un 20% en un periodo de dos años en las aplicaciones de iluminación y climatización.
- Reducir el valor del IDEn de consumo específico de producción global de la PyME en un 12% en un plazo de tres años.
- Mejorar la eficiencia energética en la producción de aire comprimido en un 15%, en un periodo de un año.

Uno de los grandes beneficios de tener claramente establecidos los objetivos energéticos es que estos permitirán orientar las acciones de monitoreo para alcanzarlos.

En el Capítulo 6 de la presente guía se tratará el tema con mayor detalle.

4. Elaborar el Plan de Monitoreo y Verificación (M&V)

El Plan de Monitoreo y Verificación (M&V) del desempeño energético es una herramienta que asegura el seguimiento sistemático de los IDEn. Permite evaluar el impacto real de las medidas implementadas en el logro de los objetivos energéticos. Tiene como propósito garantizar el seguimiento sistemático del desempeño energético de las instalaciones y procesos, evaluando de forma objetiva la eficacia de las medidas implementadas y el logro de los objetivos energéticos.

Dentro de las características clave que debe tener un Plan de M&V se encuentran:

- Claridad en los objetivos de M&V.
- Definición de IDEn específicos, medibles y relevantes.
- Obtención de datos confiables y trazables.
- Aplicación de metodologías de medición consistentes y estandarizadas.
- Orientación hacia la mejora continua y la transparencia en los resultados.

En la elaboración de un Plan de M&V se debe:

- Especificar el IDEn con el que se evaluará el sistema.
- Establecer la LBEn como punto de referencia de comparación.

- Identificar las fuentes de información y/o equipos de medición de los parámetros energéticos, así como de las variables relevantes.
- Determinar la frecuencia de medición y el método de recolección de datos.
- Asignar responsables del Plan de M&V con funciones claramente definidas.
- Establecer procedimientos de verificación y validación de los resultados obtenidos.

Ejemplo:

Sistema de Climatización en Oficinas

- IDEn: kWh/m² de área climatizada.
- Consumo promedio mensual: 2,500 kWh consumidos en promedio en los equipos de aire acondicionado.
- Área de las oficinas a climatizar: 330 m²
- LBEEn: 2,838 kWh / 330 m² = 8.6 kWh/m²
- Objetivo energético: reducción del 10% en el consumo específico (kWh/m²) en un periodo de 12 meses.
- Fuente de datos: medidor digital conectado al sistema de gestión de energía.
- Frecuencia de monitoreo: lectura mensual del medidor eléctrico exclusivo del sistema de climatización.
- Responsable: Área de Mantenimiento, con validación del Departamento de Gestión Energética.
- Procedimiento de verificación: comparación mensual con la LBEEn.

En el Capítulo 7 se amplía el tema para el análisis de casos más complejos.

5. Implementar el Plan de M&V

Una vez elaborado el Plan de M&V, lo que sigue es implementarlo; para ello, se recomienda seguir los pasos indicados a continuación:

Identificar o instalar los equipos de medición que se usarán, así como la fuente de datos

- Identificar, instalar o habilitar equipos de medición (kilowathorímetros, medidores de caudal de combustible, termómetros, datos de producción, ocupación, etc.)
- Garantizar la confiabilidad y trazabilidad de los datos.

Recolección y registro de datos

- Registrar consumos y variables de operación en formatos estandarizados.

- Asegurar la integridad y consistencia de la información.

Análisis y comparación con la LBEEn

- Evaluar el consumo real frente al esperado.
- Determinar ahorros o mejoras de eficiencia alcanzadas.

Verificación y validación de resultados

- Confirmar que los ahorros obtenidos son atribuibles a las medidas implementadas y no a factores externos (clima, producción, estacionalidad).

Reporte y comunicación de resultados

- Elaborar reportes claros y periódicos para la Dirección y las demás áreas responsables.
- Incluir indicadores, desviaciones, tendencias y recomendaciones de mejora.

Mejora continua

- Ajustar el Plan de M&V según resultados y lecciones aprendidas.
- Incorporar nuevas tecnologías de medición y control.

3 Indicadores de Desempeño Energético

3.1 Definición de Indicador de Desempeño Energético

Un Indicador de Desempeño Energético (IDEn) es una medida que relaciona el consumo de energía con una actividad o proceso de la empresa, como la cantidad de productos fabricados, las horas trabajadas o los servicios prestados.

Los IDEn ayudan a la PyME a saber si está usando bien la energía y a tomar decisiones para mejorar.

Algunos ejemplos simples de IDEn son:

- kWh consumidos por cada tonelada producida
- Litros de diésel por hora de operación de un equipo
- kWh consumidos por cada metro cuadrado de oficinas
- Consumo mensual de gas natural por número de hornos en uso

Los IDEn pueden aplicarse a todo el negocio, a un área, a un proceso, o incluso a un solo equipo. Por ejemplo:

- Si la PyME tiene un horno industrial, puede medir cuántos litros de gas consume por cada lote de producción.
- Si presta un servicio (como lavandería), puede medir los kWh por cada carga lavada.
- Si ofrece refrigeración, puede medir el consumo por metro cúbico refrigerado.

Si la PyME ha realizado un diagnóstico energético, ahí podrá encontrar recomendaciones sobre los indicadores que puede usar y también su LBEn, que es la referencia de consumo antes de hacer mejoras.

Es importante definir y entender el IDEn antes de hacer el monitoreo, porque justamente las variables que forman ese indicador son las que se van a medir constantemente para saber si las acciones de mejora están funcionando.

El IDEn sirve para:

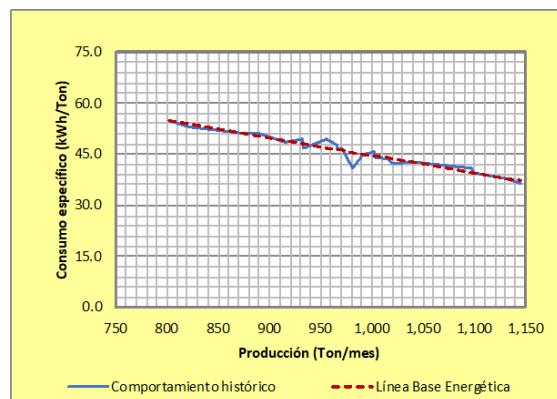
1. Describir cómo consume energía la PyME.

2. Establecer metas de ahorro.
3. Comparar resultados antes y después de las acciones de mejora.

Por ejemplo, si una PyME fabrica galletas y su consumo promedio antes de la implementación de medidas (LBEn) es de 50 kWh por cada 100 kilos de galletas, se espera que el consumo se reduzca después de la implementación de las medidas de ahorro, por ejemplo, a 45 kWh por cada 100 kilos, lo que significará que mejoró su desempeño energético.

Cuando el valor IDEn es función del denominador, como en el caso del consumo eléctrico específico de producción (kWh/producción), la LBEn es una curva como la del Gráfico 2, donde el eje vertical muestra el valor del indicador y el eje horizontal muestra el valor de la producción; la línea azul corresponde a los valores reales obtenidos en el pasado del indicador y la línea roja es la curva de tendencia de los valores reales, que corresponde a la LBEn.

Figura 2. Uso de la línea base energética (LBEn)



Una vez definida la LBEn, le daremos seguimiento al valor del IDEn, y lo que esperaremos es que los valores futuros se encuentren por debajo de los LBEn. Por ejemplo, en la tabla siguiente puede verse, para cada uno de los tres meses posteriores a la implementación de la medida, el valor correspondiente a la LBEn, el valor obtenido del mes y la diferencia entre ambos. En el Anexo G.6 se presenta este formato.

Tabla 1. Medición de Indicador de Desempeño Energético

Mes	Valor del IDEn (kWh/Ton)			Producción (Ton)	Ahorro de energía (kWh/mes)	Observaciones
	Del mes	Liben	Diferencia			
1	48.0	43.1	-4.9	1,030	-5,047	El consumo del mes fue superior al de la LBEn, por lo que hubo un consumo en exceso por 5,047 kWh
2	32.7	39.9	7.2	1,093	7,870	Se logró una reducción del consumo de energía por 7,870 kWh
3	39.2	47.4	8.2	948	7,774	Se logró una reducción del consumo de energía por 7,774 kWh

Fuente: Elaboración propia.

Para tener resultados confiables, la PyME debe identificar las variables que afectan su consumo, como:

- Producción
- Turnos y horarios
- Condiciones del clima
- Cambios en la operación

Si estas variables cambian, el IDEn también puede cambiar, aunque la eficiencia no haya mejorado. Por eso, a veces se necesita “ajustar” o “normalizar” los datos, para que las comparaciones sean justas.

Por ejemplo:

- Si una panadería vende más durante fiestas, su consumo subirá, pero eso no significa que sea menos eficiente.
- Si un taller cambia sus horarios o produce otro tipo de producto, es normal que varíen los indicadores.

En esos casos, se pueden usar:

- Ajustes simples (como calcular el consumo promedio por turno).
- Modelos más avanzados (como análisis estadístico).

Finalmente, para un monitoreo efectivo, es esencial definir bien qué se va a medir y hasta dónde.

Como se mencionó anteriormente, los indicadores pueden aplicarse a:

- Un equipo (por ejemplo, un horno)
- Un sistema (toda la planta de producción)

- Toda la empresa (incluyendo oficinas, almacén y planta)

Esto ayudará a la PyME a concentrarse en las áreas donde hay más oportunidad de ahorro.

En otras palabras, para que los IDEn reflejen de una manera más precisa el desempeño energético, la PyME debe determinar las variables relevantes que afectan el desempeño energético, como son los parámetros climáticos, la producción, las horas de operación o servicio, entre otros. La PyME debe definir los IDEn considerando dichas variables relevantes, de tal manera que se pueda comparar el desempeño energético bajo condiciones equivalentes. En algunos casos es necesario ajustar o normalizar el valor de alguno de los parámetros a monitorear para corregir el efecto de factores externos que no estén considerados en el cálculo del IDEn, tales como cambios en la composición de la producción (cuando una PyME produce diversos tipos de productos), variaciones estacionales y modificaciones en los horarios de operación.

Ejemplo de normalización: Cuando las variables que afectan el consumo de energía cambian (por ejemplo, producción, clima o turnos), la PyME puede normalizar sus datos para compararlos de manera justa. Esto significa ajustar el consumo registrado como si las condiciones fueran las mismas. Una forma sencilla es calcular el consumo por unidad producida o por hora de operación. Por ejemplo, si en enero se produjeron 500 unidades y en febrero solo 250, el consumo total será distinto, pero la PyME puede dividir el consumo de cada mes entre las unidades producidas para obtener un consumo por unidad comparable. Si existen otras

variables relevantes, como la temperatura ambiente, la normalización puede hacerse ajustando los datos con base en promedios históricos o utilizando fórmulas simples que relacionen el consumo con esa variable. Lo importante es que la PyME defina qué variable considera clave, cómo la va a medir y cómo va a ajustar sus resultados antes de compararlos.

Algunas variables son más relevantes para el consumo de energía que otras. Por ejemplo, cuando el consumo de energía por unidad de producción se está midiendo a partir del número de productos finales, el resultado podría ser incorrecto si existen salidas de productos intermedias y si esas salidas intermedias son residuos, valor agregado o reciclados. En aquellos casos en los que existan distintas variables relevantes para el consumo de energía, se puede recurrir a modelos estadísticos y establecer unidades de producción energéticamente equivalentes. Así se obtendrán indicadores energéticos que reflejen más fielmente el comportamiento energético de la PyME.

Para medir el desempeño energético, deben definirse los límites de medición disponibles para

cada IDEn. Estos se denominan límites de los IDEn y pueden traslaparse.

3.2 Clasificación de los Indicadores de Desempeño Energético

Los IDEn se pueden clasificar a partir de dos enfoques:

- a) La forma de determinarlos
- b) Su cobertura

Según la forma de determinarlos, los IDEn se clasifican en: valor medido de la energía, relación de valores medidos, modelos estadísticos y modelos de ingeniería. En la Tabla 2 se presentan las características generales de cada uno de ellos.

Por otro lado, según la cobertura del indicador, estos se agrupan de la siguiente manera: indicadores globales, indicadores específicos de sistema e indicadores específicos del equipo. En la Tabla 3 se presentan algunos ejemplos de cada uno de ellos aplicables a PyMEs.

Tabla 2. Clasificación de los IDEn según la forma de determinarlos

Tipo de IDEn	Principales aplicaciones	Observaciones
Valor medido de la energía	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar la reducción absoluta en el consumo de energía. • Entender las tendencias en el consumo de energía. 	<ul style="list-style-type: none"> • No toma en cuenta los efectos de las variables relevantes, dando resultados engañosos para muchas aplicaciones. • No mide la eficiencia energética.
Relación de valores medidos	<ul style="list-style-type: none"> • Monitorear la eficiencia energética en los sistemas que tienen una sola variable relevante. • Dar seguimiento en los sistemas donde existen pequeñas o ninguna carga base. • Comparar entre múltiples instalaciones u organizaciones (<i>benchmarking</i>). • Entender las tendencias en cuanto a eficiencia energética. • Expresar la eficiencia energética de un equipo sistema o proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> • No toma en cuenta la carga base, por lo que puede resultar engañoso para instalaciones con una carga base amplia. • No toma en cuenta los efectos no lineales del uso de la energía.
Modelo estadístico	<ul style="list-style-type: none"> • Debe usarse cuando el sistema tiene múltiples variables relevantes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Para modelos con múltiples variables relevantes, la relación puede ser difícil de determinar. • Requiere ser confirmado mediante pruebas estadísticas.
Modelo de ingeniería	<ul style="list-style-type: none"> • Estimar el desempeño energético en la etapa de diseño. • Evaluar el desempeño energético de los cambios operativos cuando las variables son numerosas. • Analizar sistemas con variables relevantes interdependientes. 	<ul style="list-style-type: none"> • El modelo debe ser confirmado y ajustado mediante pruebas en campo. • El modelo debe mantenerse para asegurar resultados válidos.

Tabla 3. Clasificación de los IDEn según su cobertura

Tipo	Ejemplo	Clasificación	Descripción	Unidad de medida
Indicadores globales	Consumo global de energía	Valor medido de la energía	Indica el total de la energía consumida en la PyME en un periodo determinado (usualmente un mes)	Joule/mes
	Consumo global de energía eléctrica	Valor medido de la energía	Indica el total de la energía eléctrica consumida en la PyME en un periodo determinado (usualmente un mes)	kWh/mes
	Consumo global de energía térmica	Valor medido de la energía	Indica el total de la energía térmica consumida en la PyME en un periodo determinado (usualmente un mes)	Joule/mes
	Consumo específico de producción global	Relación de valores medios	Relaciona el consumo global de energía con la unidad de producción o prestación del servicio	Joule/unidad
	Consumo eléctrico de producción global	Relación de valores medidos	Relaciona el consumo global de energía eléctrica con la unidad de producción o prestación del servicio	kWh/unidad
	Consumo térmico de producción global	Relación de valores medidos	Relaciona el consumo global de energía térmica con la unidad de producción o prestación del servicio	Joule/unidad
Indicadores específicos de sistema	Consumo total de energía del sistema	Valor medido de la energía	Indica el total de la energía consumida en el sistema en un periodo determinado (usualmente un mes)	Joule/mes
	Consumo de energía eléctrica del sistema	Valor medido de la energía	Indica el total de la energía eléctrica consumida en el sistema en un periodo determinado (usualmente un mes)	kWh/mes
	Consumo de energía térmica del sistema	Valor medido de la energía	Indica el total de la energía térmica consumida en el sistema en un periodo determinado (usualmente un mes)	Joule/mes
	Consumo específico de bombeo	Relación de valores medios	Relaciona el consumo de energía eléctrica en los equipos de bombeo con el volumen de líquido desplazado	kWh/m ³
	Consumo específico de compresión de aire	Relación de valores medios	Relaciona el consumo de energía eléctrica en los compresores de aire con el volumen de aire desplazado	kWh/m ³
	Consumo específico de aire comprimido por unidad de producción	Relación de valores medios	Relaciona el consumo de energía eléctrica en los compresores de aire con la unidad de producción o prestación de servicio	kWh/unidad
	Consumo específico de enfriamiento	Relación de valores medios	Relaciona el consumo de energía eléctrica en los equipos de acondicionamiento ambiental con los grados-día del periodo	kWh/CDD

	Densidad de potencia eléctrica de alumbrado	Relación de valores medios	Relaciona la potencia instalada en equipos de alumbrado con el área de la superficie a iluminar	kW/m ²
	Consumo específico de producción de vapor	Relación de valores medios	Relaciona el consumo de energía calorífica en los generadores de vapor con la producción de vapor	Joule/ton
Indicadores específicos de equipo	Consumo de combustible en la caldera	Valor medido de la energía	Indica el total de la energía térmica consumida por la caldera en un periodo determinado (usualmente un mes)	Joule/mes
	Consumo de energía eléctrica en el equipo de refrigeración	Valor medido de la energía	Indica el total de la energía eléctrica consumida por el equipo de refrigeración en un periodo determinado (usualmente un mes)	kWh/mes
	Consumo de energía eléctrica en el equipo de aire acondicionado	Valor medido de la energía	Indica el total de la energía eléctrica consumida por el equipo de aire acondicionado en un periodo determinado (usualmente un mes)	kWh/mes
	Eficiencia del motor	Relación de valores medios	Relaciona la potencia mecánica entregada por el motor con la potencia eléctrica demandada	%
	Eficiencia de la bomba	Relación de valores medios	Relaciona la potencia hidráulica entregada por la bomba con la potencia mecánica demandada	%
	Eficiencia de la caldera	Relación de valores medios	Relaciona el calor ganado por el vapor en la caldera con la energía térmica suministrada a la caldera	%
	Rendimiento del equipo de refrigeración	Relación de valores medios	Relaciona el calor removido por el equipo de refrigeración con la energía eléctrica suministrada	BTU/W-h

- ✓ En muchos casos, el valor del indicador energético se obtiene a partir de dos o más parámetros; tales como el caso de los consumos específicos, las eficiencias y los rendimientos, que están definidos como el cociente de dos parámetros o para su determinación intervienen dos o más parámetros.
- ✓ Por ejemplo, para el cálculo del valor mensual del consumo específico de producción global, se requieren los valores mensuales del consumo de cada uno de los energéticos que consume la PyME, así como el valor mensual de la producción.
- ✓ En este caso, durante el diseño del Plan de M&V, se deberá prever el monitoreo mensual del consumo de cada uno de los energéticos, así como el valor mensual de la producción.

4 Línea base energética

4.1 Descripción de la línea base energética

La línea base energética (LBE) es el consumo de energía registrado por una instalación, proceso o equipo bajo condiciones normales de operación durante un periodo determinado. Sirve como referencia para comparar el desempeño energético a lo largo del tiempo y evaluar los resultados de las acciones de mejora. Entre sus principales usos se encuentran: medir la reducción del consumo tras implementar medidas de eficiencia; dar seguimiento a las variaciones del consumo; planear proyectos y priorizar inversiones; así como cumplir con requisitos normativos relacionados con el ahorro de energía.

4.2 Clasificación de la línea base energética

La LBE puede clasificarse de diversas maneras dependiendo del enfoque y las necesidades específicas. Algunas clasificaciones comunes incluyen:

a) Por tipo de energía:

- **Eléctrica:** se enfoca en el consumo de electricidad.
- **Térmica:** se enfoca en el consumo de energía térmica (calor).
- **Combustibles:** considera el uso de combustibles fósiles como gas, petróleo, carbón, etc.

b) Por ámbito de aplicación:

- **Instalación:** LBE establecida para toda una instalación o edificio.
- **Proceso:** LBE para un proceso específico dentro de una instalación (por ejemplo, una línea de producción).
- **Equipo:** LBE para un equipo específico (por ejemplo, un motor o una caldera).

c) Por periodo de tiempo:

- **Histórica:** basada en datos de consumo energético de periodos anteriores.
- **Proyectada:** basada en estimaciones y proyecciones futuras del consumo energético.

d) Por nivel de detalle:

- **Global:** LBE que abarca el consumo total de energía.

- **Desglosada:** LBE detallada que descompone el consumo energético por áreas, departamentos, procesos o equipos específicos.

4.3 Establecimiento de la línea base energética

Los pasos clave para establecer una LBE son:

1. Definición del alcance y los límites

- **Identificación de las áreas relevantes.** Es importante definir qué instalaciones, procesos, equipos o sistemas estarán cubiertos por la LBE. Esto puede incluir toda una planta, un edificio, o solo ciertos equipos o procesos clave.
- **Determinación del periodo de tiempo.** Se debe seleccionar un periodo representativo para la recolección de datos que refleje las condiciones operativas normales. Este periodo suele ser de 12 meses, pero puede ajustarse según las necesidades específicas de la PyME.

2. Recolección de datos energéticos

- **Medición y registro de consumos.** Se recopilan los datos de consumo energético para el periodo seleccionado. Esto puede incluir electricidad, gas, agua caliente, combustibles, etc. Los datos pueden obtenerse de medidores existentes, facturas de servicios públicos o sistemas de monitoreo en tiempo real.
- **Recopilación y registro de variables relevantes.** Además del consumo de energía, se deben recopilar datos de las variables relevantes que puedan influir en el uso y consumo de energía, como producción, horas de operación, condiciones climáticas, etc.

3. Normalización de los datos

- **Ajuste de factores variables.** Es necesario ajustar los valores de los parámetros a monitorear para tener en cuenta factores externos que puedan influir en el valor del IDEn, tal como se comentó en el apartado 4.1.
- **Modelado estadístico.** Se pueden utilizar métodos estadísticos para establecer relaciones entre el consumo energético y las variables operativas. Esto permite crear una LBE ajustada a condiciones cambiantes, lo que mejora la precisión del seguimiento a lo largo del tiempo.

4. Cálculo de la línea base energética

- Análisis de los datos normalizados.** Con los datos normalizados, se calcula el consumo energético promedio para el periodo seleccionado. Este valor promedio representará la LBEn. En algunos casos, el valor del indicador energético se definirá en función de la variable relevante; por ejemplo, el consumo específico de producción global se puede representar mejor con una ecuación en función de la producción, ya que los factores estáticos tendrán más peso en el consumo global con producciones bajas que con producciones altas (ver la representación correlacional del IDEn en el Anexo E).
- Documentación de la metodología.** Es crucial documentar cómo se recopilaron y ajustaron los datos, así como los supuestos y métodos utilizados en el análisis. Esto asegura la transparencia y repetitividad del proceso.

5. Validación de la línea base energética

- Revisión y validación.** La LBEn debe ser revisada y validada por expertos en energía y aprobada por la Dirección. Esto asegura que la LBEn sea representativa y que las metodologías utilizadas sean aceptadas dentro de la organización.
- Ajustes necesarios.** Si se detectan discrepancias o si se introducen nuevos datos que alteren significativamente los resultados, puede ser necesario ajustar la LBEn antes de su aprobación final.

6. Implementación y seguimiento

- Establecimiento de IDEn:** Por medio de los IDEn, se podrá comparar el desempeño energético futuro contra la LBEn.
- Monitoreo continuo.** Después de establecer la LBEn, se debe realizar un monitoreo continuo del consumo energético para detectar desviaciones, medir mejoras y garantizar que los objetivos energéticos se están cumpliendo.

7. Revisión periódica

- Reevaluación de la LBEn:** La LBEn debe revisarse periódicamente, sobre todo si hay cambios significativos en las operaciones, la tecnología o las condiciones de producción. Esto asegura que la LBEn siga siendo relevante y precisa.

4.4 Ejemplo de establecimiento de la línea base energética

Consideremos el caso de un hotel cuyos datos mensuales de ocupación, consumo mensual y consumo promedio por día se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 4. Datos históricos de consumo y ocupación del hotel

Mes	Número de días	Ocupación (%)	Consumo (kWh)	Consumo (kWh/día)
enero	31	67	72,226	2,330
febrero	28	72	69,207	2,472
marzo	31	71	73,487	2,371
abril	30	83	82,122	2,737
mayo	31	77	81,249	2,621
junio	30	76	80,310	2,677
julio	31	88	86,210	2,781
agosto	31	91	87,982	2,838
septiembre	30	82	79,676	2,656
octubre	31	73	76,850	2,479
noviembre	30	70	73,145	2,438
diciembre	31	84	80,323	2,591
Promedio	77.83	78,566	2,583	

El IDEn que se ha seleccionado es el consumo específico promedio diario por punto de ocupación. Para calcularlo se debe dividir el consumo promedio diario del mes entre el porcentaje de ocupación de dicho mes. En la Tabla 5 se presenta la misma información de la Tabla 4, con una columna adicional en la que se ha colocado el valor del indicador. Adicionalmente, la tabla se ha reordenado en función de la ocupación, colocando en la primera posición al mes con la menor ocupación y en la última posición al mes con la mayor ocupación.

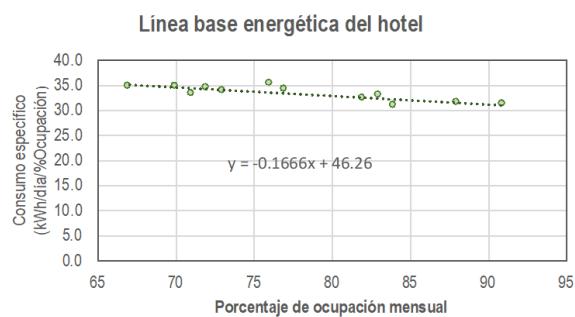
Tabla 5. Datos históricos de consumo y ocupación del hotel

Mes	Número de días	Ocupación (%)	Consumo (kWh)	Consumo (kWh/día)	Consumo específico kWh/día/%Oc
enero	31	67	72,226	2,330	34.8
noviembre	30	70	73,145	2,438	34.8
marzo	31	71	73,487	2,371	33.4
febrero	28	72	69,207	2,472	34.3
octubre	31	73	76,850	2,479	34.0
junio	30	76	80,310	2,677	35.2
mayo	31	77	81,249	2,621	34.0
septiembre	30	82	79,676	2,656	32.4
abril	30	83	82,122	2,737	33.0
diciembre	31	84	80,323	2,591	30.8
julio	31	88	86,210	2,781	31.6
agosto	31	91	87,982	2,838	31.2
Promedio	78	78,566	2,583	33.3	

Por último, graficamos el valor mensual del IDEn con base en la ocupación mensual, como se observa en el Gráfico 2. La LBEn queda definida en términos del IDEn “Consumo específico de ocupación del hotel (CE)”, como la línea de tendencia del conjunto de datos mensuales del año de referencia, y matemáticamente expresada por la ecuación:

$$CE = -0.166 \times \text{Ocupación} + 46.26$$

Figura 3. Ejemplo de establecimiento de la línea base energética



5 Objetivos energéticos

5.1 Descripción y beneficios de los objetivos energéticos

Los objetivos energéticos son metas cuantificables y alcanzables que guían los esfuerzos para mejorar la eficiencia en el consumo de energía y fomentan el uso de fuentes de energía renovables. Pueden ser de corto, mediano o largo plazo y abarcan diferentes áreas, tales como la reducción del consumo de energía, la mejora de la eficiencia energética, la implementación de tecnologías de energía limpia, la promoción de prácticas sostenibles y la disminución de emisiones de GEI.

Estos objetivos se establecen en distintos niveles, desde individuales, por áreas o procesos, hasta empresariales, tanto nacionales como internacionales, con el propósito de promover la sostenibilidad y combatir el cambio climático.

Una de las principales aplicaciones del Plan de M&V consiste en verificar el cumplimiento de los objetivos fijados.

5.2 Metodología para establecer y verificar los objetivos energéticos

Establecer objetivos energéticos y verificar su cumplimiento implica una serie de pasos y metodologías que aseguran su viabilidad. A continuación, se describe la metodología comúnmente utilizada:

1. **Establecimiento de la LBE**. Determinar el consumo energético actual y las emisiones de GEI a partir de datos históricos y auditorías energéticas. Esto proporciona un punto de referencia para medir el progreso.
2. **Identificación de oportunidades de mejora**. Realizar análisis detallados para identificar áreas donde se pueden implementar medidas de eficiencia energética y tecnologías limpias.

Esto incluye la evaluación de procesos, equipos y comportamientos.

3. **Definición de objetivos**. Establecer objetivos específicos, medibles, alcanzables, relevantes y con un tiempo definido. Por ejemplo: reducir el consumo energético en un 20% en cinco años.
4. **Desarrollo de un plan de acción**. Al establecer objetivos energéticos se debe establecer un plan de acción para alcanzarlos. Dicho plan deberá describir las acciones a implementar, los recursos necesarios, los responsables y los plazos. Esto incluye inversiones en tecnologías, capacitación y cambios en los procesos.
5. **Implementación de medidas**. Llevar a cabo las acciones planificadas, tales como la instalación de equipos eficientes, la mejora de procesos y la adopción de nuevas tecnologías.
6. **Seguimiento de objetivos energéticos**. Establecer sistemas de seguimiento para evaluar el progreso hacia las metas. Esto incluye la recolección de datos continuos y la comparación con la LBE en forma periódica.
7. **Ajustes y mejoras continuas**. Con ayuda del monitoreo y la evaluación, realizar ajustes en las estrategias y medidas para asegurar el logro de los objetivos energéticos.

6 Guía de implementación del Plan de Monitoreo y Verificación

Con un enfoque sistemático, adaptado a las capacidades de la empresa, cualquier PyME puede avanzar hacia una gestión energética más inteligente y sostenible con un Plan de M&V adecuado a sus características.

Elaborar e implementar un Plan de M&V de manera efectiva requiere una estructura clara, recursos adecuados y el compromiso de la organización.

6.1 Pasos para la elaboración del Plan de Monitoreo y Verificación

- 1. Analizar el consumo de energía, identificar los Usos Significativos de Energía (USEn) y comprender el perfil de consumo de la PyME.** Esta etapa incluye el levantamiento de información sobre equipos, procesos y facturación energética, así como los puntos críticos donde el consumo es más alto o ineficiente. Este primer paso se suele realizar mediante un diagnóstico energético a las instalaciones de la PyME.
- 2. Definir los objetivos del Plan de M&V.** Una vez identificado el consumo energético, se deben definir objetivos claros. Estos pueden ser la reducción de un porcentaje del consumo total, el seguimiento de una medida específica de eficiencia energética, la validación de ahorros tras la implementación de un nuevo equipo o tecnología, o bien, darle seguimiento al comportamiento del desempeño energético.
- 3. Seleccionar los parámetros energéticos y las variables relevantes a monitorear,** así como los puntos específicos de medición de cada uno de los parámetros. Los parámetros seleccionados deben estar alineados con los objetivos. Pueden incluir consumo eléctrico (kWh), demanda máxima (kW), temperatura

de operación, presión, producción, entre otros. Es crucial que los datos a monitorear sean representativos del rendimiento energético del proceso o sistema evaluado.

- 4. Elegir el método de medición.** Se debe elegir el tipo de medición (continua o puntual) y los instrumentos adecuados, ya sean fijos o portátiles. Esto dependerá del tipo de parámetro, su variabilidad y el nivel de precisión requerido. La calidad de los datos es fundamental para la credibilidad del proceso.

6.2 Pasos para la implementación del Plan de Monitoreo y Verificación

- 1. Instalación de medidores.** Los medidores deben instalarse en los puntos previamente identificados. Es recomendable utilizar sistemas automatizados con registro continuo para facilitar el análisis. La integración de software de monitoreo ayuda a centralizar la información y reducir errores humanos en la lectura de medidores y captura de la información, pero se requiere hacer una inversión importante para adquirir, instalar, programar y poner en marcha el sistema. Nota: En aquellos casos donde la PyME no esté en condiciones de instalar los medidores requeridos para calcular los IDEn a monitorear, lo que se recomienda es buscar otros indicadores que sí puedan ser medidos.
- 2. Recolección.** Con los datos obtenidos, ya sea de manera manual o automatizada, se procede a sistematizar la información en una base de datos, para su posterior validación y análisis.
- 3. Verificación y validación de la información.** El objetivo es comprobar que los datos recolectados sean coherentes y reflejen fielmente el consumo real. Esto implica revisar la calibración de equipos, la calidad de las conexiones y posibles errores de medición, así como detectar posibles errores en la lectura y/o captura, cuando los datos se hayan recolectado manualmente.

- 4. Análisis de la información.** Mediante el análisis de la información se puede analizar el comportamiento energético en distintos momentos o condiciones de operación, así como tendencias en el consumo de la energía. Esto permite detectar desviaciones, implementar acciones correctivas de manera oportuna, así como evaluar y demostrar la mejora del desempeño energético de la PyME.
- 5. Elaboración de informes y toma de decisiones.** Finalmente, se elabora un informe con los resultados del monitoreo y las recomendaciones derivadas del análisis. Esta información es clave para justificar inversiones, priorizar acciones y mantener un enfoque de mejora continua.

6.3 Recursos requeridos por el Plan de Monitoreo y Verificación

Para implementar un Plan de M&V en una PyME se requieren recursos humanos, económicos y materiales. Dentro de los principales recursos que serán requeridos se encuentran:

- **Equipos de medición:** medidores de energía, sensores, registradores de datos, etc.
- **Software de monitoreo:** plataformas de gestión energética.
- **Capital humano:** personal capacitado en eficiencia energética, técnicos para instalación de equipos y analistas de datos.
- **Tiempo y compromiso directivo:** es fundamental que la dirección apoye el proceso para asegurar su idoneidad, continuidad y éxito.

6.4 Recomendaciones para un Plan de Monitoreo y Verificación exitoso en una PyME

- 1. Iniciar con un piloto.** Implementar el plan en una sección o área específica de la PyME permite evaluar los resultados y ajustar el enfoque antes de escalar el sistema.

- 2. Capacitar al personal.** Desarrollar competencias específicas en el personal encargado de la operación, mantenimiento y supervisión del sistema de M&V asegura que todo el personal involucrado comprenda la importancia del monitoreo y sepa interpretar los datos.
- 3. Apostar por soluciones simples y escalables.** Elegir tecnologías simples y asequibles, pero compatibles con una futura ampliación del sistema, brindará mayor flexibilidad y autonomía al Plan de M&V.
- 4. Documentar el proceso.** Mantener registros claros facilita auditorías y verificaciones de la mejora del desempeño energético, así como elementos de fácil acceso para analizar condiciones que pongan en riesgo dicha mejora continua en la PyME.

7 Bibliografía

- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers), 2023. Guideline 14: Measurement of Energy, Demand and Water Savings.
- EVO (Efficiency Valuation Organization), 2022 Protocolo IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol).
- ISO (International Organization for Standardization), 2018. ISO 50001: Sistemas de gestión de energía.
- ISO (International Organization for Standardization), 2020. ISO 50015: Medición y verificación del desempeño energético de las organizaciones.
- ISO (International Organization for Standardization), 2020. ISO 50004: Guía para la implementación, mantenimiento y mejora de un sistema de gestión de la energía.
- ISO (International Organization for Standardization), 2023. ISO 50006: Medición del desempeño energético a partir de una línea base energética e indicadores de desempeño energético.

8 Anexos

Anexo A. Medidas de ahorro de energía eléctrica

En este anexo se presenta por tecnología de uso de la energía:

- Una relación de las medidas de ahorro de energía eléctrica más frecuentes en las PyMES, en la que además de describir la medida, se menciona la situación observada que da pie a dicha medida.
- Una descripción de los principales indicadores energéticos aplicables, tanto a nivel global como a nivel individual.
- Las variables a monitorear para darle seguimiento a los indicadores energéticos.

A.1. Iluminación

Medidas de Ahorro Energético (MAEs)

En esta sección se describen las principales MAEs en iluminación encontradas en las PyMEs, junto con las situaciones observadas en cada caso que justifican su implementación. Para identificarlas, a cada medida se le asigna una clave que inicia con

las letras SI y un número consecutivo que inicia en 01.

Indicadores energéticos aplicables (para iluminación)

Indicadores globales

- **Consumo mensual de energía (kWh/mes).** Es un indicador muy sencillo de usar, pues no requiere hacer mediciones, ya que el consumo se obtiene de la facturación energética. No es un indicador muy preciso para esta aplicación, pero podría funcionar en aquellos casos donde la iluminación es el principal consumidor de energía eléctrica y la actividad del inmueble sea muy estable. Si se ha de usar este indicador, se recomienda hacer el comparativo del consumo promedio diario de cada mes, para lo cual únicamente hay que dividir el consumo del mes, entre el número de días del mes, o bien entre el número de días de operación del inmueble.
- **Consumo específico de energía por unidad de producción (kWh/unidad).** Tampoco es un indicador muy preciso, pero podría funcionar en aplicaciones en las que la iluminación se use en las áreas de producción y el consumo en iluminación esté asociado a la producción.

Medida		Situación observada
Clave	Descripción	
SI-01	Remplazo de lámparas o luminarias por equipos con tecnología LED	<ul style="list-style-type: none">• El sistema de iluminación no es LED
SI-02	Instalación de sensores de presencia para controlar el sistema de iluminación	<ul style="list-style-type: none">• El sistema de iluminación se encuentra en un área de poco uso o tránsito, como pasillos, salas de reuniones o servicios sanitarios
SI-03	Automatizar el encendido y apagado del sistema de iluminación con control horario	<ul style="list-style-type: none">• El sistema de iluminación de un área permanece encendido cuando no se está usando
SI-04	Automatizar el encendido y apagado del sistema de iluminación con fotoceldas	<ul style="list-style-type: none">• El sistema de iluminación únicamente debe estar encendido en horarios nocturnos cuando no hay luz natural

Indicadores individuales

- **Consumo individual mensual de energía (kWh/mes).** Es un indicador que podría funcionar muy bien en aplicaciones estables en las que la iluminación opere todos los días de la misma manera. Para su uso se requiere una medición individual del consumo de energía del sistema de iluminación. Si se ha de usar este indicador, se recomienda hacer el comparativo del consumo promedio diario de cada mes, para lo cual únicamente hay que dividir el consumo del mes, entre el número de días del mes, o bien entre el número de días de operación del inmueble.
- **Densidad de potencia eléctrica de alumbrado, DPEA¹ (W/m²).** Es un índice que mide la carga conectada para alumbrado por unidad de superficie de construcción expresada en watts por m². Es un buen índice para evaluar las bondades de las MAEs relacionadas con cambio de tecnología en iluminación, y también funciona muy bien para comparar el consumo de energía entre diferentes inmuebles.

Variables a monitorear 1

Indicador			Variables a monitorear	Fuente de datos
Tipo	Nombre	Unidad de medida		
Global	Consumo mensual de energía	kWh/mes	Consumo global de energía eléctrica en el mes (kWh)	Medidor del distribuidor de energía / facturación eléctrica
	Consumo específico de energía	kWh/unidad	Consumo global de energía eléctrica en el mes (kWh)	Medidor del distribuidor de energía / facturación eléctrica
			Unidad de producción de la PyME	Dato del área de operación o producción de la PyME
Individual	Consumo individual mensual de energía	kWh/mes	Consumo individual de energía eléctrica del sistema de iluminación en el mes (kWh)	Lectura del kilowathorímetro instalado en la alimentación al sistema de iluminación
	Densidad de potencia eléctrica alumbrado	W/m ²	Carga de alumbrado	Potencia individual demandada por cada uno de los equipos (lámparas, balastros y dispositivos de control) del sistema de iluminación
			Superficie del área cubierta por el sistema de iluminación	Área en m ² de la superficie cubierta por el sistema de iluminación

¹ En México la NOM-007-ENER establece los niveles de eficiencia energética en términos de DPEA para sistemas de

alumbrado en edificios no residenciales y, la NOM-013-ENER, para alumbrado de vialidades.

A.2. Aire acondicionado

Medidas de Ahorro Energético (MAEs)

En esta sección se describen las principales MAEs en aire acondicionado encontradas en las PyMEs,

junto con las situaciones observadas en cada caso que justifican su implementación. Para identificarlas, a cada medida se le asigna una clave que inicia con las letras AA y un número consecutivo que inicia en 01.

Medida		Situación observada
Clave	Descripción	
AA-01	Remplazo del equipo o algún componente (condensadora, evaporador, compresor, manejadora, etc.) por un equipo más eficiente	<ul style="list-style-type: none">• El rendimiento fue evaluado a partir de mediciones en campo y resultó bajo• El equipo tiene un rendimiento nominal bajo y opera muchas horas al año• El equipo tiene muchos años en operación con bajo mantenimiento• El componente a remplazar se encuentra en mal estado y/o con una operación deficiente
AA-02	Aislamiento de la envolvente	<ul style="list-style-type: none">• Se identificaron algunas zonas de la envolvente con altas ganancias de calor, mismo que tiene que ser removido por los equipos de aire acondicionado
AA-03	Instalación de elementos sombreadores en el exterior de la envolvente	<ul style="list-style-type: none">• Se identificaron ganancias de calor significativas por radiación solar entrante al inmueble a través de superficies acristaladas y existe la posibilidad de instalar elementos sombreadores en el exterior de dichos elementos
AA-04	Instalación de elementos sombreadores en el interior de la envolvente	<ul style="list-style-type: none">• Se identificaron ganancias de calor significativas por radiación solar entrante al inmueble a través de superficies acristaladas y no existe la posibilidad de instalar elementos sombreadores en el exterior de dichos elementos
AA-05	Instalación de cortinas de aire o puertas dobles o puertas giratorias en accesos de alto tráfico	<ul style="list-style-type: none">• Se identificaron accesos (puertas) a espacios con acondicionamiento ambiental con alto tránsito de personas, lo que provoca la entrada de aire caliente y/o húmedo al interior del inmueble
AA-06	Mejorar la ventilación de las unidades condensadoras	<ul style="list-style-type: none">• El lugar en donde está instalada la condensadora es muy caliente y se podría mejorar moviendo la condensadora a otra zona• Existen algunos elementos que dificultan la ventilación de la condensadora y se podría mejorar despejando la zona de dichos elementos

AA-07	Instalación de variador de velocidad en el sistema de bombeo de agua helada de chillers	<ul style="list-style-type: none"> La bomba de agua helada del chiller no cuenta con variador de velocidad y la demanda de agua helada es variable
AA-08	Instalación de variador de velocidad en manejadoras de volumen variable	<ul style="list-style-type: none"> La manejadora de aire le da servicio a un espacio con volumen variable y no cuenta con variador de velocidad

Indicadores energéticos aplicables (para aire acondicionado)

Indicadores globales

- Consumo mensual de energía (kWh/mes).** Es un indicador muy sencillo de usar que no requiere hacer mediciones, ya que el consumo se obtiene de la facturación energética. No es un indicador muy preciso para esta aplicación, pero podría funcionar en aquellos casos donde el aire acondicionado es el principal consumidor y la actividad del inmueble sea muy estable. Si se ha de usar este indicador, se recomienda hacer el comparativo del consumo mensual contra el consumo del mismo mes del año anterior.
- Consumo específico de energía por unidad de producción (kWh/unidad).** Tampoco es un indicador muy preciso, pero podría funcionar en aplicaciones industriales en las que el aire acondicionado se usa en las áreas de producción. En aplicaciones de hotelería e instituciones educativas en las que el consumo en aire acondicionado está muy relacionado con la ocupación, sí podría funcionar bastante bien este indicador, usando la ocupación como unidad de producción. Si se ha de usar este indicador, se recomienda hacer el comparativo del consumo mensual contra el consumo del mismo mes del año anterior.
- Consumo específico de enfriamiento (kWh/CDD).** De los indicadores globales es el que mejor aplicará en la mayoría de los casos, ya que el consumo de energía en aire acondicionado está muy relacionado

con la temperatura ambiente. Se podría mejorar el indicador utilizando el valor de la sensación térmica en lugar de la temperatura ambiente, ya que la sensación térmica también incluye el efecto de la humedad relativa. En el Anexo F se describe la metodología para determinar los grados-día de enfriamiento y en el Anexo G se presenta una tabla para determinar la sensación térmica a partir de los datos de temperatura y humedad relativa. Con este indicador sí se pueden hacer comparaciones mes a mes o entre inmuebles distintos.

Indicadores individuales

- Consumo individual mensual de energía (kWh/mes).** Es un indicador que podría funcionar muy bien en aplicaciones estables donde el equipo opera todos los días de la misma manera. Para su uso se requiere una medición individual del consumo de energía del equipo. Si se ha de usar este indicador, se recomienda hacer el comparativo del consumo mensual contra el consumo del mismo mes del año anterior.
- Consumo específico individual de enfriamiento (kWh/CDD).** Es el indicador que mejor podría funcionar para monitorear el desempeño energético de los equipos de aire de acondicionado. Se requiere la instalación de kilowathorímetros individuales en cada equipo. Como en el caso global, se podría mejorar el indicador utilizando el valor de la sensación térmica en lugar de la temperatura ambiente, para determinar

los grados día de enfriamiento. (ver Anexos F y G)

Variables a monitorear 2

Indicador			Variables a monitorear	Fuente de datos
Tipo	Nombre	Unidad de medida		
Global	Consumo global de energía eléctrica	kWh/mes	Consumo global de energía eléctrica en el mes (kWh)	Medidor del distribuidor de energía / facturación eléctrica
	Consumo específico de producción	kWh/unidad	Consumo global de energía eléctrica en el mes (kWh)	Medidor del distribuidor de energía / facturación eléctrica
	Consumo específico global de enfriamiento		Unidad de producción de la PyME	Dato del área de operación o producción de la PyME
Individual	Consumo individual de energía eléctrica	kWh/mes	Consumo global de energía eléctrica en el mes (kWh)	Medidor del distribuidor de energía / facturación eléctrica
	Consumo específico individual de enfriamiento		Temperatura y humedad relativa promedio por día	Estación meteorológica

A.3. Refrigeración

Medidas de Ahorro Energético (MAEs)

En esta sección se describen las principales MAEs en refrigeración encontradas en las PyMEs, junto

con las situaciones observadas en cada caso que justifican su implementación. Con la finalidad de identificación, a cada medida se le asigna una clave que inicia con las letras SR y un número consecutivo que inicia en 01.

Medida		Situación observada
Clave	Descripción	
SR-01	Remplazo del equipo o algún componente (condensadora, evaporador, compresor, manejadora, etc.) por un equipo más eficiente	<ul style="list-style-type: none">• El rendimiento fue evaluado a partir de mediciones en campo y resultó bajo• El equipo tiene un rendimiento nominal bajo y opera muchas horas al año• El equipo tiene muchos años en operación con bajo mantenimiento• El componente a remplazar se encuentra en mal estado y/o con una operación deficiente
SR-02	Aislamiento de la envolvente de la cámara o tubería con fluido frío	<ul style="list-style-type: none">• Se identificaron algunas zonas de la envolvente u otros componentes del sistema con altas ganancias de calor por falta o deficiencia en el aislamiento
SR-03	Instalación de elementos sombreadores en el exterior de la envolvente	<ul style="list-style-type: none">• Se identificaron ganancias de calor significativas por radiación solar incidente sobre la estructura de la envolvente del equipo o cámara de refrigeración
SR-04	Instalación o rehabilitación de cortinas hawaianas	<ul style="list-style-type: none">• Se identificaron accesos de alto tránsito a cámaras de refrigeración sin cortinas hawaianas o con estas en mal estado
SR-05	Mejorar la ventilación de las unidades condensadoras	<ul style="list-style-type: none">• El lugar en donde está instalada la condensadora es muy caliente y se podría mejorar moviendo la condensadora a otra zona• La condensadora está expuesta a la radiación solar y se calienta mucho por ello, lo que se podría evitar colocando una techumbre que le dé sombra sin reducir la circulación de aire.• Existen algunos elementos que dificultan la ventilación de la condensadora y se podría mejorar despejando la zona de dichos elementos

Indicadores energéticos aplicables (para refrigeración)

Indicadores globales

- Consumo mensual de energía (kWh/mes).** Es un indicador muy sencillo de usar, pues no requiere hacer mediciones, ya que el consumo se obtiene de la facturación energética. No es un indicador muy preciso para esta aplicación, pero podría funcionar en aquellos casos donde la refrigeración sea el principal consumidor de energía y la actividad del inmueble sea muy estable. Si se ha de usar este indicador, se recomienda hacer el comparativo del consumo mensual contra el consumo del mismo mes del año anterior.
- Consumo específico de energía por unidad de producción (kWh/unidad).** Es un indicador que funciona muy bien en aplicaciones donde la refrigeración es la

actividad preponderante, como en cámaras frigoríficas o en agroindustria. Hay que tener cuidado con el manejo de las unidades de producción en cámaras de refrigeración de almacenamiento; en este tipo de aplicaciones lo más conveniente es medir la producción en términos de unidades-día de almacenamiento.

Indicadores individuales

- Consumo individual mensual de energía (kWh/mes).** Es un indicador que podría funcionar muy bien en aplicaciones estables donde el equipo y la cámara o refrigerador opere todos los días de la misma manera. Para su uso se requiere una medición individual del consumo de energía del equipo o cámara. Si se ha de usar este indicador, se recomienda hacer el comparativo del consumo mensual contra el consumo del mismo mes del año anterior.

Variables a monitorear 3

Indicador			Variables a monitorear	Fuente de datos
Tipo	Nombre	Unidad de medida		
Global	Consumo global de energía eléctrica	kWh/mes	Consumo global de energía eléctrica en el mes (kWh)	Medidor del distribuidor de energía / facturación eléctrica
	Consumo específico de producción	kWh/unidad	Consumo global de energía eléctrica en el mes (kWh)	Medidor del distribuidor de energía / facturación eléctrica
			Unidad de producción de la PyME	Dato del área de operación o producción de la PyME
Individual	Consumo individual de energía eléctrica	kWh/mes	Consumo individual de energía eléctrica en el mes (kWh)	Lectura del kilowathorímetro instalado en el equipo
	Consumo específico individual de producción	kWh/unidad	Consumo individual de energía eléctrica en el mes (kWh)	Lectura del kilowathorímetro instalado en el equipo
			Unidad de producción de la cámara o equipo	Dato del área de operación o producción de la PyME

- **Consumo específico individual de producción(kWh/unidad).** Es un indicador que funciona muy bien y en la mayoría de los casos es el más recomendado. Hay que tener cuidado con el manejo de las unidades de producción en cámaras de refrigeración de almacenamiento; en este tipo de aplicaciones

lo más conveniente es medir la producción en términos de unidades-día de almacenamiento. Para su uso se requiere una medición individual del consumo de energía del equipo o cámara.

A.4. Motores eléctricos

Medidas de Ahorro Energético (MAEs)

En esta sección se describen las principales MAEs en motores eléctricos encontradas en las PyMEs,

junto con las situaciones observadas en cada caso que justifican su implementación. Para identificarlas, a cada medida se le asigna una clave que inicia con las letras ME y un número consecutivo que inicia en 01.

Medida		Situación observada
Clave	Descripción	
ME-01	Remplazo del motor	<ul style="list-style-type: none"> • El rendimiento fue evaluado a partir de mediciones en campo y resultó bajo y, el motor opera muchas horas al año
ME-02	Mejorar la eficiencia de operación del motor al ajustar el voltaje de alimentación	<ul style="list-style-type: none"> • El voltaje de alimentación al motor se encuentra desbalanceado o presenta una variación significativa respecto al voltaje nominal, lo que ocasiona que el motor opere con la eficiencia depreciada
ME-03	Mejorar la eficiencia de operación del motor vía la reducción de la distorsión armónica	<ul style="list-style-type: none"> • En la alimentación eléctrica al motor, se encontró un alto contenido de distorsión armónica, lo que ocasiona que el motor opere con la eficiencia depreciada

Indicadores energéticos aplicables (para motores eléctricos)

Indicadores globales

- **Consumo global de energía eléctrica (kWh/mes).** Es un indicador muy sencillo de usar, pues no requiere hacer mediciones, ya que el consumo se obtiene de la facturación energética. No es un indicador muy preciso para esta aplicación, pero podría funcionar en aquellos casos donde se plantee la implementación de un programa masivo de sustitución de motores eléctricos. Si se ha de usar este indicador, se recomienda hacer una

corrección por el número de días del mes (ver Anexo I).

- **Consumo específico de energía por unidad de producción (kWh/unidad).** Funciona muy bien en aplicaciones industriales donde los motores eléctricos juegan un papel clave en las actividades productivas.

Indicadores individuales

- **Consumo individual de energía eléctrica (kWh/día).** Es un indicador que podría funcionar muy bien en aplicaciones estables donde el equipo opera todos los días de la misma manera. Para su uso se requiere una medición individual del consumo de energía

- del equipo. Si se ha de usar este indicador, se recomienda hacer la corrección por número de días del mes (ver Anexo I).
- **Potencia promedio demandada en el mes (kWh/h).** Es quizá el indicador más adecuado para evaluar este tipo de MAE. Para su aplicación se requiere, además de la medición individual del consumo de energía del equipo, la medición del número de horas de operación al mes.
 - **Potencia instantánea demandada (kW).** Es una variante del indicador anterior, en la que únicamente se hace la medición puntual de la potencia demandada por el motor. Tiene la ventaja de que la medición se puede realizar con un equipo portátil una vez al mes. Funciona muy bien en aplicaciones donde el motor no se vea afectado por variaciones en la carga mecánica que se le esté demandando.

Indicador			Variables a monitorear	Fuente de datos
Tipo	Nombre	Unidad de medida		
Global	Consumo global de energía eléctrica	kWh/mes	Consumo global de energía eléctrica en el mes (kWh)	Medidor del distribuidor de energía / facturación eléctrica
	Consumo específico de producción	kWh/unidad	Consumo global de energía eléctrica en el mes (kWh)	Medidor del distribuidor de energía / facturación eléctrica
			Unidad de producción de la PyME	Dato del área de operación o producción de la PyME
Individual	Consumo individual de energía eléctrica	kWh/mes	Consumo individual de energía eléctrica en el mes (kWh)	Lectura del kilowathorímetro instalado en el equipo
	Potencia promedio demandada en el mes	kWh/h	Consumo individual de energía eléctrica en el mes (kWh)	Lectura del kilowathorímetro instalado en el equipo
	Potencia instantánea instalada		Número de horas de operación del motor en el mes	Horómetro instalado en el equipo
		kW	Potencia demandada por el motor	Medidor de potencia eléctrica

A.5. Aire comprimido

Medidas de Ahorro Energético (MAEs)

En esta sección se describen las principales MAEs en aire comprimido encontradas en las PyMEs,

junto con las situaciones observadas en cada caso que justifican su implementación. Para identificarlas, a cada medida se le asigna una clave que inicia con las letras AC y un número consecutivo que inicia en 01.

Medida		Situación observada
Clave	Descripción	
AC-01	Sustitución del o los compresores actuales por equipos más eficientes	<ul style="list-style-type: none"> • El rendimiento fue evaluado a partir de mediciones en campo y resultó bajo • El equipo tiene un rendimiento nominal bajo y opera muchas horas al año • El equipo tiene muchos años en operación con bajo mantenimiento • El equipo a remplazar se encuentra en mal estado y/o con una operación deficiente
AC-02	Mantener en niveles más bajos a los actuales las fugas de aire en el sistema de distribución	<ul style="list-style-type: none"> • Se realizaron mediciones en campo para determinar a nivel global el volumen de aire fugado y este resultó alto. • Después de un recorrido por todo el sistema de distribución de aire comprimido, se detectaron varias fugas o usos dispendiosos del aire comprimido
AC-03	Generar aire comprimido a diferentes presiones y crear circuitos de distribución independientes por nivel de presión	<ul style="list-style-type: none"> • El consumo de aire comprimido se realiza a diferentes presiones, pero la generación es únicamente a la presión más alta, por lo que se han instalado válvulas reductoras de presión para los circuitos de presión más baja.
AC-04	Remplazar algún tramo de tubería de distribución de aire comprimido, por tubería de mayor diámetro	<ul style="list-style-type: none"> • En algunos tramos de la tubería de distribución de aire se presentan altas caídas de presión y no llega una presión adecuada a los usuarios aguas abajo.

Indicadores energéticos aplicables (para aire comprimido)

Indicadores globales

- **Consumo global de energía eléctrica (kWh/mes).** Es un indicador muy sencillo de usar, pues no requiere hacer mediciones, ya que el consumo se obtiene

de la facturación energética. No es un indicador muy preciso para esta aplicación, pero podría funcionar en aquellos casos donde el aire comprimido sea uno de los principales usos de la energía. Si se ha de usar este indicador, se recomienda hacer una corrección por el número de días del mes (ver Anexo I).

- **Consumo específico por unidad de producción (kWh/unidad).** Funciona muy bien en aplicaciones industriales donde el aire comprimido juega un papel clave en las actividades productivas.

Indicadores individuales

- **Consumo individual de energía eléctrica (kWh/mes).** Es un indicador que podría funcionar muy bien en aplicaciones estables donde el equipo opera todos los días de la misma manera. Para su uso se requiere una medición individual del consumo de energía del sistema de generación de aire comprimido. Si se ha de usar este indicador, se recomienda hacer la corrección por número de días del mes (ver Anexo I).

- **Consumo específico de aire comprimido (kWh/m³).** Es un indicador que funciona muy bien para evaluar el desempeño energético de los compresores de aire. Para su aplicación se requiere medir tanto el consumo de energía individual del compresor como el volumen de aire desplazado.
- **Consumo específico en aire comprimido por unidad de producción (kWh consumidos en aire comprimido/unidad).** Es el indicador que mejor funciona en las aplicaciones industriales donde el aire comprimido juega un papel clave en las actividades productivas.

Variables a monitorear 4

Indicador			Variables a monitorear	Fuente de datos
Tipo	Nombre	Unidad de medida		
Global	Consumo global de energía eléctrica	kWh/mes	Consumo global de energía eléctrica en el mes (kWh)	Medidor del distribuidor de energía / facturación eléctrica
	Consumo específico por unidad de producción	kWh/unidad	Consumo global de energía eléctrica en el mes (kWh)	Medidor del distribuidor de energía / facturación eléctrica
			Unidad de producción de la PyME	Dato del área de operación o producción de la PyME
Individual	Consumo individual de energía eléctrica	kWh/mes	Consumo individual de energía eléctrica en el mes (kWh)	Lectura del kilowathorímetro instalado en el equipo
	Consumo específico en aire comprimido	kWh/m ³	Consumo individual de energía eléctrica en el mes (kWh)	Lectura del kilowathorímetro instalado en el equipo
			Volumen de aire desplazado por el compresor	Flujómetro instalado en el equipo
	Consumo específico en aire comprimido por unidad de producción	kWh/unidad	Consumo individual de energía eléctrica en el mes (kWh)	Lectura del kilowathorímetro instalado en el equipo

			Unidad de producción de la PyME	Dato del área de operación o producción de la PyME
--	--	--	---------------------------------	--

A.6. Sistemas de bombeo

Medidas de Ahorro Energético (MAEs)

En esta sección se describen las principales MAEs en sistemas de bombeo encontradas en las PyMEs, junto con las situaciones observadas en cada caso

que justifican su implementación. Para identificarlas, a cada medida se le asigna una clave que inicia con las letras SB y un número consecutivo que inicia en 01.

Variables a monitorear 5

Medida		Situación observada
Clave	Descripción	
SB-01	Sustitución del equipo de bombeo	<ul style="list-style-type: none"> El rendimiento fue evaluado a partir de mediciones en campo y resultó bajo El equipo tiene un rendimiento nominal bajo y opera muchas horas al año El equipo está sobredimensionado para los requerimientos de operación
SB-02	Instalación de un variador de velocidad al motor de la bomba, que regule la presión o el caudal entregado	<ul style="list-style-type: none"> La demanda de agua es variable y la bomba se encuentra trabajando a plena capacidad, por lo que en los horarios de baja demanda de agua la presión se eleva La carga hidráulica sobre la bomba es variable, por lo que en los horarios de baja carga se incrementa el caudal, sacando a la bomba de su zona óptima de operación Para regular la presión o el caudal se mantiene abierta una válvula de retorno, con lo que parte del agua bombeada se retorna al depósito de succión
SB-03	Remplazar algún tramo de tubería de la red de conducción del fluido	<ul style="list-style-type: none"> La velocidad del fluido en dicho tramo de tubería es muy alta, lo que ocasiona una alta pérdida de carga por fricción

Indicadores energéticos aplicables (para sistemas de bombeo)

Indicadores globales

- Consumo global de energía eléctrica (kWh/mes). Es un indicador muy sencillo

de usar, pues no requiere hacer mediciones, ya que el consumo se obtiene de la facturación energética. No es un indicador muy preciso para esta aplicación, pero podría funcionar en aquellos casos donde el o los equipos de bombeo involucrados tengan un consumo de

energía significativo dentro de la PyME. Si se ha de usar este indicador, se recomienda hacer la corrección por el número de días del mes (ver Anexo I).

- **Consumo específico por unidad de producción (kWh/unidad).** Funciona muy bien en aplicaciones industriales donde los equipos de bombeo involucrados en la MAE juegan un papel clave en las actividades productivas.

Indicadores individuales

- **Consumo individual de energía eléctrica (kWh/mes).** Es un indicador que podría funcionar muy bien en aplicaciones estables donde el equipo opera todos los días de la misma manera. Para su uso se requiere una medición individual del consumo de energía del equipo de bombeo. Si se ha de usar este indicador,

se recomienda hacer la corrección por número de días del mes (ver Anexo I).

- **Consumo específico de bombeo (kWh/m³).** Es un indicador que relaciona al consumo de energía del equipo de bombeo con el volumen de agua bombeada. Es un indicador que en general va a funcionar muy bien para esta aplicación. Para usarlo se requiere medir no solo la energía consumida en el equipo de bombeo, sino también el volumen de agua desplazada por este.
- **Consumo específico en bombeo por unidad de producción (kWh consumidos en bombeo/unidad).** Este indicador funciona bastante bien en aplicaciones industriales donde el bombeo juega un papel clave en las actividades productivas.

Variables a monitorear 6

Indicador			Variables a monitorear	Fuente de datos
Tipo	Nombre	Unidad de medida		
Global	Consumo global de energía eléctrica	kWh/mes	Consumo global de energía eléctrica en el mes (kWh)	Medidor del distribuidor de energía / facturación eléctrica
	Consumo específico por unidad de producción	kWh/unidad	Consumo global de energía eléctrica en el mes (kWh)	Medidor del distribuidor de energía / facturación eléctrica
			Unidad de producción de la PyME	Dato del área de operación o producción de la PyME
Individual	Consumo individual de energía eléctrica	kWh/mes	Consumo individual de energía eléctrica en el mes (kWh)	Lectura del kilowathorímetro instalado en el equipo
	Consumo específico de bombeo	kWh/m ³	Consumo individual de energía eléctrica en el mes (kWh)	Lectura del kilowathorímetro instalado en el equipo
			Volumen de agua desplazada por el equipo	Caudalímetro instalado en el equipo

	Consumo específico en bombeo por unidad de producción	kWh/unidad	Consumo individual de energía eléctrica en el mes (kWh)	Lectura del kilowathorímetro instalado en el equipo
			Unidad de producción de la PyME	Dato del área de operación o producción de la PyME

A.7. Calentadores eléctricos

Medidas de Ahorro Energético (MAEs)

En esta sección se describen las principales MAEs en calentadores eléctricos encontradas en las PyMEs, junto con las situaciones observadas en

cada caso que justifican su implementación. Para identificarlas, a cada medida se le asigna una clave que inicia con las letras CE y un número consecutivo que inicia en 01.

Variables a monitorear 7

Medida		Situación observada
Clave		
CE-01	Sustitución del calentador por otro calentador eléctrico más eficiente	<ul style="list-style-type: none"> El equipo ya tiene varios años en operación y se encuentra en mal estado con el aislamiento de la envolvente dañado
CE-02	Sustitución del calentador por uno solar	<ul style="list-style-type: none"> Existe espacio suficiente para la instalación de un sistema solar fototérmico de calentamiento de agua que satisface el 100% de la demanda de agua todos los días del año
CE-03	Instalar un calentador solar antes del calentador eléctrico, para precalentar el agua de alimentación al calentador eléctrico y reducir su consumo de energía	<ul style="list-style-type: none"> Se quiere introducir la tecnología de los calentadores solares fototérmicos, pero manteniendo los calentadores eléctricos para garantizar el abasto de agua caliente

Indicadores energéticos aplicables (para calentadores eléctricos)

Indicadores globales

- Consumo global de energía eléctrica (kWh/mes).** Es un indicador muy sencillo de usar, pues no requiere hacer mediciones, ya que el consumo se obtiene de la facturación energética. No es un indicador muy preciso para esta aplicación, pero podría funcionar en aquellos casos donde los calentadores eléctricos

involucrados tengan un consumo de energía significativo dentro de la PyME. Si se ha de usar este indicador, se recomienda hacer la corrección por el número de días del mes (ver Anexo I).

- Consumo específico por unidad de producción (kWh/unidad).** Funciona muy bien en aplicaciones industriales y en hotelería, donde la demanda de agua caliente está directamente relacionada con las actividades productivas (la

producción para la industria; y la ocupación para la hotelería).

Indicadores individuales

- **Consumo individual de energía eléctrica (kWh/mes).** Es un indicador que podría funcionar muy bien en aplicaciones estables donde los calentadores eléctricos operan todos los días de la misma manera. Para su uso se requiere una medición individual del consumo de energía del calentador. Si se ha de usar este indicador, se recomienda hacer la corrección por número de días del mes (ver Anexo I).
- **Consumo específico de caleamiento (kWh/m³).** Es un indicador que relaciona al consumo de energía de los calentadores

eléctricos con el volumen de agua calentada. Es un indicador que en general funciona muy bien para esta aplicación. Para usarlo se requiere medir no solo la energía consumida en el calentador eléctrico, sino también el volumen de agua que este calienta.

- **Consumo específico en caleamiento por unidad de producción (kWh consumidos en el calentador eléctrico/unidad).** Es un indicador que funciona bastante bien en aplicaciones industriales o en hotelería, donde el caleamiento juega un papel clave en las actividades productivas.

Variables a monitorear 8

Indicador			Variables a monitorear	Fuente de datos
Tipo	Nombre	Unidad de medida		
Global	Consumo global de energía eléctrica	kWh/mes	Consumo global de energía eléctrica en el mes (kWh)	Medidor del distribuidor de energía / facturación eléctrica
	Consumo específico por unidad de producción	kWh/unidad	Consumo global de energía eléctrica en el mes (kWh)	Medidor del distribuidor de energía / facturación eléctrica
			Unidad de producción de la PyME	Dato del área de operación o producción de la PyME
Individual	Consumo individual de energía eléctrica	kWh/mes	Consumo individual de energía eléctrica en el mes (kWh)	Lectura del kilowathorímetro instalado en el calentador
	Consumo específico de caleamiento	kWh/m ³	Consumo individual de energía eléctrica en el mes (kWh)	Lectura del kilowathorímetro instalado en el calentador
	Consumo específico de caleamiento por unidad de producción		Volumen de agua calentada	Caudalímetro instalado en el calentador

			Unidad de producción de la PyME	Dato del área de operación o producción de la PyME
--	--	--	---------------------------------	--

A.8. Autogeneración con Sistemas Solares Fotovoltaicos (SFV)

Medidas de Ahorro Energético (MAEs)

En esta sección se describe la medida de autogeneración con paneles SFV para las PyMES,

junto con la situación observada que justifica su implementación.

Medida		Situación observada
Clave	Descripción	
FV-01	Instalar paneles SFV para autogenerar energía eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> El costo de la energía es alto y los ahorros a obtener con la medida justifican plenamente la inversión necesaria para su implementación

Indicadores energéticos aplicables

- Generación eléctrica anual (kWh/año).** Es un indicador muy sencillo de usar, ya que las instalaciones de generación de energía SFV en general cuentan con medición de la energía que se está generando. Para poder hacer comparaciones, se recomienda que estas sean anuales, ya que la generación varía de mes a mes, en función del número de horas de insolación.
- Generación específica (kWh/h-sol).** Este indicador es el que mejor describe el comportamiento del sistema. Para calcularlo se debe dividir el consumo de energía del periodo de análisis (día, semana, mes, etc.) entre el número de horas-sol promedio de dicho periodo.

Variables a monitorear 9

Indicador			Variables a monitorear	Fuente de datos
Tipo	Nombre	Unidad de medida		
Global	Generación eléctrica anual	kWh/año	Energía generada en el año (kWh)	Medidor del propio sistema FV
	Generación específica	kWh/h-sol	Energía generada en el periodo (kWh)	Medidor del propio sistema FV

			Horas-sol promedio del periodo	Datos del servicio meteorológico
--	--	--	--------------------------------	----------------------------------

Anexo B. Medidas de ahorro de energía térmica

su implementación. Para identificarlas, a cada medida se le asigna una clave que inicia con las letras GV y un número consecutivo que inicia en 01.

B.1. Sistemas de generación de vapor

Medidas de Ahorro Energético (MAEs)

En esta sección se describen las principales medidas de ahorro de energía en sistemas de generación de vapor encontradas en las PyMEs, junto con las situaciones observadas que justifican

Medida		Situación observada
Clave	Descripción	
GV-01	Sustitución de la caldera	<ul style="list-style-type: none">• La caldera es antigua y se encuentra en mal estado general• La caldera está sobredimensionada y por lo tanto trabaja con un rendimiento bajo
GV-02	Recuperación de calor de gases de combustión	<ul style="list-style-type: none">• La caldera no cuenta con un economizador y la temperatura de los gases de chimenea es alta (mayor a 180°C en caso de combustibles gaseosos, mayor a 200°C en caso de diésel o mayor a 220°C en caso de combustóleo)
GV-03	Mejorar el control de la combustión	<ul style="list-style-type: none">• Como resultado del análisis de los gases de combustión, el exceso de aire es alto; al igual que la concentración de CO y/o combustible no quemado• El sistema de control es muy deficiente y no asegura una combustión óptima con un bajo exceso de aire
GV-04	Sustitución de quemadores	<ul style="list-style-type: none">• Los quemadores actuales no son de alta eficiencia y/o no garantizan una óptima mezcla del combustible con el oxígeno, dando como resultado una combustión incompleta del combustible y/o la necesidad de manejar mantener un exceso de aire alto
GV-05	Reducción de purgas de caldera	<ul style="list-style-type: none">• El agua de alimentación a la caldera presenta una alta concentración de sólidos disueltos totales (SDT), por lo que la caldera se tiene que drenar con demasiada frecuencia para mantener la concentración de SDT dentro de rango. Se recomienda mejorar el tratamiento del agua para reducir la concentración de SDT en la caldera a menos de 10 ppm• La concentración de SDT en la caldera se encuentra muy por debajo de los valores mínimos recomendados, debido a un exceso de purgado. Se recomienda reducir la frecuencia y el tiempo de purgado

GV-06	Rehabilitar el aislamiento térmico de la caldera	<ul style="list-style-type: none"> La temperatura del cuerpo de la caldera es muy alta
GV-07	Mantener limpias las superficies de intercambio de calor	<ul style="list-style-type: none"> Las superficies de intercambio de calor del lado humos presentan mucho hollín, lo que limita la transferencia de calor al agua

Indicadores energéticos aplicables (para sistemas de generación de vapor)

Indicadores globales

- Consumo global de energía térmica (GJ/mes).** Es un indicador muy sencillo de usar, pues no requiere hacer mediciones, ya que el consumo se obtiene de la facturación energética. Puede ser un indicador útil en aquellas aplicaciones donde el principal consumidor de energía térmica sea la caldera. Si se ha de usar este indicador, se recomienda hacer la corrección por el número de días del mes (ver Anexo I).
- Consumo específico por unidad de producción (GJ/unidad).** Funciona muy bien en aplicaciones industriales, hotelería y hospitales, donde el consumo de vapor está directamente relacionado con las actividades productivas (la producción para la industria, la ocupación para la hotelería, las noches-cama en hospitales).

Indicadores individuales

- Rendimiento de la caldera (GJ/tonelada de vapor).** En muchas aplicaciones es el mejor indicador para evaluar el desempeño energético del sistema de generación de vapor. Puede determinarse de manera puntual periódicamente o calcularse como el cociente entre la energía suministrada en un determinado periodo por el combustible y las toneladas de vapor producidas en dicho periodo. Se requiere medir tanto el consumo de
- combustible en la caldera como la producción de vapor.
- Consumo individual de energía térmica (GJ/mes).** Se refiere al consumo mensual de energía térmica (combustible) de la caldera. Puede ser un buen indicador en aplicaciones donde la generación de vapor sea muy estable, pero no recomendado en aplicaciones donde la demanda de vapor presente variaciones significativas de un mes a otro. Si se ha de usar este indicador, se recomienda hacer la corrección por el número de días del mes (ver Anexo I).
- SDT en el agua de alimentación de la caldera (SDT).** Este es un indicador muy relevante para conocer la calidad del agua de alimentación a la caldera. Se determina en laboratorio a partir de una muestra del agua de alimentación a la caldera. Se recomienda monitorearlo al menos una vez por semana.
- Temperatura de las paredes de la caldera (°C).** Este indicador permitirá evaluar las condiciones del aislamiento de la caldera. Se recomienda hacer mediciones en varios puntos del cuerpo de la caldera al menos una vez por mes.
- Temperatura de los gases de combustión (°C).** Este indicador permitirá evaluar la efectividad de los procesos de intercambio de vapor dentro de la caldera. Se recomienda medirlo una vez al mes.
- Exceso de aire y concentración de CO en los gases.** Estos indicadores permitirán evaluar la eficiencia de la combustión. Lo ideal es tener un monitoreo continuo de

estos parámetros, pero si no es posible, se recomienda hacer estas mediciones una

vez al mes en las condiciones más habituales de carga de la caldera.

Variables a monitorear 10

Indicador			Variables a monitorear	Fuente de datos
Tipo	Nombre	Unidad de medida		
Global	Consumo global de energía térmica	GJ/mes	Consumo de combustible mensual en unidades convencionales (m ³ , kg, lt)	Medidor general de consumo de combustible (puede ser la misma facturación del energético)
			Poder calorífico inferior (PCI) del combustible en GJ por unidad convencional	Dato del proveedor del combustible
	Consumo específico unidad producción	GJ/unidad	Consumo de combustible mensual en unidades convencionales (m ³ , kg, lt)	Medidor general de consumo de combustible (puede ser la misma facturación del energético)
			Poder calorífico inferior (PCI) del combustible en GJ por unidad convencional	Dato del proveedor del combustible
			Unidad de producción de la PyME	Dato del área de operación o producción de la PyME
Individual	Rendimiento de la caldera	GJ/tonelada de vapor	Consumo de combustible mensual de la caldera en unidades convencionales (m ³ , kg, lt)	Medidor de consumo a la caldera
			Poder calorífico inferior (PCI) del combustible en GJ por unidad convencional	Dato del proveedor del combustible
			Producción mensual de vapor	Medidor de flujo de vapor a la salida de la caldera
	Consumo individual de energía térmica	GJ/mes	Consumo de combustible mensual de la caldera en unidades convencionales (m ³ , kg, lt)	Medidor de consumo de combustible de la caldera
			Poder calorífico inferior (PCI) del combustible en GJ por unidad convencional	Dato del proveedor del combustible

	SDT en el agua de alimentación a la caldera	Partes por millón (ppm) o mg/l	Conductividad del agua ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Conductímetro
	Temperatura de las paredes de la caldera	°C	Temperatura	Termómetro infrarrojo o cámara termográfica
	Temperatura de los gases de combustión	°C	Temperatura	Termopar, termómetro bimetálico, termómetro de dilatación o termómetro de resistencia
Exceso de aire y concentración de CO ₂	% de exceso de aire	Exceso de aire	Analizador de gases de combustión	
	ppm de CO	Concentración de CO		

B.2. Sistemas de distribución de vapor

Medidas de Ahorro Energético (MAEs)

En esta sección se describen las principales MAEs en sistemas de distribución de vapor encontradas

en las PyMEs, junto con las situaciones observadas en cada caso que justifican su implementación y dan pie a la medida. Para identificarlas, a cada medida se le asigna una clave que inicia con las letras DV y un número consecutivo que inicia en 01.

Medida		Situación observada
Clave	Descripción	
DV-01	Instalar o rehabilitar el aislamiento de las tuberías de vapor	<ul style="list-style-type: none"> Se observan tramos de tubería y/o accesorios sin aislamiento térmico o con el aislamiento térmico deteriorado
DV-02	Eliminar fugas de vapor	<ul style="list-style-type: none"> Se observan fugas de vapor en las tuberías de distribución de vapor, accesorios o equipos consumidores de vapor
DV-03	Implementar un programa de mantenimiento predictivo a trampas para vapor	<ul style="list-style-type: none"> No se cuenta en la PyME con un programa de mantenimiento predictivo para trampas para vapor Se observa flujo de vapor saliendo de las trampas para vapor al sistema de drenes de condensado Se observa llegada de vapor vivo al tanque de condensados
DV-04	Mejorar las prácticas de operación de equipos que consumen vapor en el proceso	<ul style="list-style-type: none"> El personal de operación que utiliza vapor en intercambiadores de calor, marmitas, calentadores, autoclaves, etc., en las áreas de producción, no hace un uso racional del vapor o abre el bypass de las trampas de vapor, provocando la llegada de vapor vivo al tanque de condensados

DV-05	Incrementar la tasa de retorno de condensados	<ul style="list-style-type: none"> • La tasa de retorno de condensados es baja y existen condensados que se están tirando al drenaje y se podrían retornar
-------	---	---

Indicadores energéticos aplicables (para sistemas de distribución de vapor)

Indicadores globales

- **Consumo global de energía térmica (GJ/mes).** Es un indicador muy sencillo de usar, pues no requiere hacer mediciones, ya que el consumo se obtiene de la facturación energética. Puede ser un buen indicador para aquellas aplicaciones donde el principal consumidor de energía térmica es la caldera. Si se ha de usar este indicador, se recomienda hacer la corrección por el número de días del mes (ver Anexo I).
- **Consumo específico por unidad de producción (GJ/unidad).** Funciona muy bien en aplicaciones industriales, hotelería y hospitales, donde el consumo de vapor está directamente relacionado con las actividades productivas (la producción para la industria, la ocupación para la hotelería, las noches-cama en hospitales). Se calcula dividiendo el consumo total de la energía térmica suministrada a la planta por medio del combustible, entre la producción global.

Indicadores individuales

- **Consumo individual de energía térmica (GJ/mes).** Se refiere al consumo mensual de energía térmica (combustible) de la caldera. Puede ser un buen indicador en aplicaciones donde la generación de vapor sea muy estable, pero no se recomienda en aplicaciones donde la demanda de vapor presente variaciones significativas de un mes a otro. Si se ha de usar este indicador, se recomienda hacer la corrección por el número de días del mes (ver Anexo I).
- **Consumo específico en la generación de vapor por unidad de producción (GJ/unidad).** Funciona muy bien en aplicaciones industriales, hotelería y hospitales donde el consumo de vapor esté directamente relacionado con las actividades productivas (la producción para la industria, la ocupación para la hotelería, las noches-cama en hospitales). Se calcula dividiendo el consumo total de la energía térmica suministrada a las calderas por medio del combustible, entre la producción global.

Variables a monitorear 11

Indicador			Variables a monitorear	Fuente de datos
Tipo	Nombre	Unidad de medida		
Global	Consumo global de energía térmica	GJ/mes	Consumo de combustible mensual en unidades convencionales (m ³ , kg, lt)	Medidor general de consumo de combustible (puede ser la misma facturación del energético)

			Poder calorífico inferior (PCI) del combustible en GJ por unidad convencional	Dato del proveedor del combustible
Consumo específico por unidad de producción	GJ/unidad	Consumo de combustible mensual en unidades convencionales (m^3 , kg, lt)	Medidor general de consumo de combustible (puede ser la misma facturación del energético)	
			Poder calorífico inferior (PCI) del combustible en GJ por unidad convencional	Dato del proveedor del combustible
		Unidad de producción de la PyME	Dato del área de operación o producción de la PyME	
Individual	Consumo individual de energía térmica	GJ/mes	Consumo de combustible mensual de la caldera en unidades convencionales (m^3 , kg, lt)	Medidor de consumo a la caldera
			Poder calorífico inferior (PCI) del combustible en GJ por unidad convencional	Dato del proveedor del combustible
	Consumo específico del sistema de generación de vapor por unidad de producción	GJ/unidad	Consumo de combustible mensual de la caldera en unidades convencionales (m^3 , kg, lt)	Medidor de consumo a la caldera
			Poder calorífico inferior (PCI) del combustible en GJ por unidad convencional	Dato del proveedor del combustible
			Unidad de producción de la PyME	Dato del área de operación o producción de la PyME

B.3. Intercambiadores de calor

Medidas de Ahorro Energético (MAEs)

En esta sección se describen las principales MAEs en intercambiadores de calor encontradas en las PyMEs, junto con las situaciones observadas en

cada caso que justifican su implementación. Para identificarlas, a cada medida se le asigna una clave que inicia con las letras IC y un número consecutivo que inicia en 01.

Medida		Situación observada
Clave	Descripción	
IC-01	Mantenimiento preventivo regular	<ul style="list-style-type: none">Las superficies de intercambio de calor presentan suciedad, incrustaciones o daños que reducen la capacidad de transferir calor
IC-02	Eliminación de fugas	<ul style="list-style-type: none">Se observan fugas de vapor o fluidos del intercambiador de calor
IC-03	Aislamiento térmico del equipo y tuberías	<ul style="list-style-type: none">Se observan superficies, ya sea calientes o frías, sin aislamiento o con aislamiento deficiente
IC-04	Implementar sistemas de monitoreo y control	<ul style="list-style-type: none">El caudal o la temperatura de entrada, ya sea del fluido caliente o del fluido frío, presentan variaciones inherentes al proceso, pero no se cuenta con un buen sistema de control que permita ajustar los demás parámetros para una óptima eficiencia de operación

Indicadores energéticos aplicables (para intercambiadores de calor)

Indicadores globales

- Consumo global de energía térmica (GJ/mes).** Es un indicador muy sencillo de usar, pues no requiere hacer mediciones, ya que el consumo se obtiene de la facturación energética. Puede ser un buen indicador en aquellas aplicaciones donde el o los intercambiadores de calor representen un porcentaje significativo del uso de la energía térmica. Si se ha de usar este indicador, se recomienda hacer la corrección por el número de días del mes (ver Anexo I).
- Consumo específico por unidad de producción (GJ/unidad).** Funciona muy bien en aquellas aplicaciones donde los

procesos de intercambio de calor están directamente relacionados con la actividad productiva de la PyME. Se calcula dividiendo el consumo total de la energía térmica suministrada a la PyME por medio del combustible, entre la producción global.

Indicadores individuales

- Eficiencia del intercambiador de calor (%).** Es un muy buen indicador para darle seguimiento al desempeño energético de intercambiadores de calor. Se refiere al cociente entre el calor intercambiado y la cantidad máxima de calor que se puede intercambiar, mediante la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{F_f \times \Delta h_f}{F_c \times \Delta h_c}$$

Donde:

F_c Es el caudal del fluido caliente

F_f Es el caudal del fluido frío

Δh_f Es la variación de la entalpía del fluido

Δh_f Es la variación de la entalpía del fluido frío

caliente

Variables a monitorear 12

Indicador			Variables a monitorear	Fuente de datos
Tipo	Nombre	Unidad de medida		
Global	Consumo global de energía térmica	GJ/mes	Consumo de combustible mensual en unidades convencionales (m^3 , kg, lt)	Medidor general de consumo de combustible (puede ser la misma facturación del energético)
			Poder calorífico inferior (PCI) del combustible en GJ por unidad convencional	Dato del proveedor del combustible
	Consumo específico por unidad de producción	GJ/unidad	Consumo de combustible mensual en unidades convencionales (m^3 , kg, lt)	Medidor general de consumo de combustible (puede ser la misma facturación del energético)
			Poder calorífico inferior (PCI) del combustible en GJ por unidad convencional	Dato del proveedor del combustible
			Unidad de producción de la PyME	Dato del área de operación o producción de la PyME
Individual	Eficiencia del intercambiador	%	Caudal del fluido caliente (kg/s)	Flujómetro de entrada o salida del fluido caliente
			Caudal del fluido frío (kg/s)	Flujómetro de entrada o salida del fluido frío
			Temperatura de entrada del fluido caliente*	Termómetro localizado a la entrada del fluido caliente
			Temperatura de salida del fluido caliente*	Termómetro localizado a la salida del fluido caliente
			Temperatura de entrada del fluido frío*	Termómetro localizado a la entrada del fluido frío
			Temperatura de salida del fluido frío*	Termómetro localizado a la salida del fluido frío

* En caso de tratarse de la fase gaseosa de algún fluido, también se requerirá la presión del fluido.

B.4. Calentadores

Medidas de Ahorro Energético (MAEs)

En esta sección se describen las principales MAEs en calentadores encontradas en las PyMEs, junto con las situaciones observadas en cada caso que

justifican su implementación. Para identificarlas, a cada medida se le asigna una clave que inicia con las letras CL y un número consecutivo que inicia en 01.

Medida		Situación observada
Clave	Descripción	
CL-01	Mantenimiento preventivo regular	<ul style="list-style-type: none">Las superficies de intercambio de calor presentan suciedad, incrustaciones o daños que reducen la capacidad de transferir calor
CL-02	Mejorar el aislamiento térmico	<ul style="list-style-type: none">El aislamiento térmico se encuentra en mal estado o es inexistente en algunas partes del calentador
CL-03	Sustituir el calentador por uno más eficiente o por un calentador solar	<ul style="list-style-type: none">El calentador es antiguo y/o se encuentra en mal estado y presenta un bajo desempeño energético

Indicadores energéticos aplicables (para calentadores)

Indicadores globales

- Consumo global de energía térmica (GJ/mes).** Es un indicador muy sencillo de usar, pues no requiere hacer mediciones, ya que el consumo se obtiene de la facturación energética. Puede ser un buen indicador para las aplicaciones donde el o los calentadores representen un porcentaje significativo del uso de la energía térmica. Si se ha de usar este indicador, se recomienda hacer la corrección por el número de días del mes (ver Anexo I).
- Consumo específico por unidad de producción (GJ/unidad).** Funciona muy bien en las aplicaciones donde los procesos de intercambio de calor están directamente relacionados con la actividad productiva de la PyME. Se calcula dividiendo el consumo total de la energía térmica suministrada a la PyME por medio del combustible, entre la producción global.

de energía térmica (combustible) del calentador. Puede ser un buen indicador en aplicaciones donde el proceso de calentamiento sea muy estable, pero no se recomienda en aplicaciones donde la demanda de calentamiento presente variaciones significativas de un mes a otro. Si se ha de usar este indicador, se recomienda hacer la corrección por el número de días del mes (ver Anexo I).

- Consumo específico de energía térmica (GJ/kg).** Es un muy buen indicador para darle seguimiento al desempeño energético de calentadores usados para calentar piezas sólidas de diferentes tamaños y/o morfologías. También funciona muy bien para calentadores de líquidos como los calentadores de agua. Se refiere al cociente entre la energía calorífica suministrada al calentador por kilogramo de material calentado.
- Eficiencia del calentador (%).** Para el caso de calentadores de líquidos es uno de los mejores indicadores para darle seguimiento al desempeño energético del calentador. Se calcula como el cociente de la energía térmica aprovechada por el líquido, entre la energía térmica suministrada al calentador.

Indicadores individuales

- Consumo individual de energía térmica (GJ/mes).** Se refiere al consumo mensual

Variables a monitorear 13

Indicador			Variables a monitorear	Fuente de datos
Tipo	Nombre	Unidad de medida		
Global	Consumo global de energía térmica	GJ/mes	Consumo de combustible mensual en unidades convencionales (m ³ , kg, lt)	Medidor general de consumo de combustible (puede ser la misma facturación del energético)
			Poder calorífico inferior (PCI) del combustible en GJ por unidad convencional	Dato del proveedor del combustible
	Consumo específico por unidad de producción	GJ/unidad	Consumo de combustible mensual en unidades convencionales (m ³ , kg, lt)	Medidor general de consumo de combustible (puede ser la misma facturación del energético)
			Poder calorífico inferior (PCI) del combustible en GJ por unidad convencional	Dato del proveedor del combustible
			Unidad de producción de la PyME	Dato del área de operación o producción de la PyME
Individual	Consumo individual de energía térmica	GJ/mes	Consumo de combustible mensual de la caldera en unidades convencionales (m ³ , kg, lt)	Medidor de flujo de combustible al calentador
			Poder calorífico inferior (PCI) del combustible en GJ por unidad convencional	Dato del proveedor del combustible
	Consumo específico del sistema de generación de vapor por unidad de producción	GJ/kg	Consumo de combustible mensual del calentador en unidades convencionales (m ³ , kg, lt)	Medidor de flujo de combustible al calentador
			Poder calorífico inferior (PCI) del combustible en GJ por unidad convencional	Dato del proveedor del combustible
			Cantidad de kilogramos de material calentado	Dato del área de operación o producción de la PyME

Eficiencia del calentador	%	Consumo de combustible mensual del calentador (m ³ , kg, lt)	Medidor de consumo a la caldera
		Poder calorífico inferior (PCI) del combustible en GJ por unidad convencional	Dato del proveedor del combustible
		Temperatura del fluido a la entrada del calentador	Termómetro a la entrada del calentador
		Temperatura del fluido a la salida del calentador	Termómetro a la salida del calentador

Anexo C. Factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional

El factor de emisiones del sistema eléctrico nacional varía año con año en función de la composición de las fuentes de energía primaria utilizadas para la generación eléctrica en México. La secretaría del Medio Ambiente publica

anualmente el valor del factor en los primeros meses del año siguiente. La liga para obtener el valor más actualizado es la siguiente:

<https://www.gob.mx/inecc/documentos/factor-de-emision-del-sistema-electrico-nacional>

Ejemplo: Publicación correspondiente al factor de emisiones del año 2024.



Medio Ambiente

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales



Ciudad de México, a 28 DE FEBRERO DE 2025

AVISO

FACTOR DE EMISIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL 2024

A todos los Establecimientos Sujetos a Reporte, (ESR), Organismos de Certificación, Validación y Verificación de Gases de Efecto Invernadero, OC-VV-GEI, público en general.

Por este medio, se hace de su conocimiento que la Comisión Reguladora de Energía ha notificado a esta Secretaría que el factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional para el cálculo de las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero por consumo de electricidad correspondiente al año 2024, es:

0.444 tCO₂e / MWh

Dicho factor se deberá emplear para fines del reporte al Registro Nacional de Emisiones, tomando en cuenta que este factor considera la generación de las centrales eléctricas que entregan energía a la red eléctrica nacional, de acuerdo con lo estipulado en la fracción XLIV del Artículo 3 de la Ley de la Industria Eléctrica.

ATENTAMENTE



Medio Ambiente

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales



Registro Nacional de Emisiones

Av. Ejército Nacional 223 Col. Anáhuac I Sección
CP. 11320, Alcaldía Miguel Hidalgo, Ciudad de México
Teléfono: (55) 54900 900 Ext. 12052

Subsecretaría de Planeación y Recursos Naturales
Dirección Gen. Delegada para la Acción Climática
Dirección de Políticas de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Avenida Ejército Nacional No. 223, Col. Anáhuac I Sección C.P. 11320, Alcaldía Miguel Hidalgo, Ciudad de México

Tel: (55) 5628 0600 www.oob.mx/semarnat

Anexo D. Indicador de grados-día

Descripción

El indicador de grados-día es una herramienta poderosa en la gestión de la eficiencia energética, especialmente en sistemas de aire acondicionado y refrigeración. Proporciona estimaciones precisas de la demanda energética, facilita la planificación y el dimensionamiento de sistemas, y permite el monitoreo y la verificación del cumplimiento de los objetivos energéticos de la empresa. Se basa en la diferencia entre la temperatura exterior y una temperatura de referencia o base, considerada como la temperatura de confort. Existen dos tipos principales de grados-día: grados-día de calefacción (HDD, Heating Degree Days) y grados-día de refrigeración (CDD, Cooling Degree Days). Los grados-día de calefacción se utilizan para estimar la energía necesaria para calentar un espacio cuando la temperatura exterior está por debajo de la temperatura de referencia. Por otro lado, los grados-día de refrigeración se utilizan para estimar la energía necesaria para enfriar un espacio cuando la temperatura exterior está por encima de la temperatura de referencia.

Beneficios del indicador de grados-día

- 1. Estimación precisa de la demanda energética.** Los grados-día permiten una estimación más precisa de la energía necesaria para calefacción y refrigeración, considerando las variaciones climáticas diarias y estacionales.
- 2. Planeación y dimensionamiento de sistemas.** Ayuda en la planeación y el dimensionamiento de sistemas de aire acondicionado y refrigeración, asegurando que los equipos sean adecuados para las necesidades específicas del lugar.
- 3. Monitoreo y comparación de rendimiento.** Facilita el monitoreo del rendimiento energético a lo largo del tiempo y la

comparación entre diferentes períodos o localidades.

- 4. Identificación de oportunidades de mejora.** Al analizar los grados-día, se pueden identificar oportunidades de mejora en la eficiencia energética y desarrollar estrategias para reducir el consumo de energía.

Aplicaciones del indicador de grados-día

- 1. Diseño de sistemas de climatización.** En el diseño de sistemas de aire acondicionado y refrigeración, los grados-día se utilizan para determinar la capacidad que requieren los equipos para mantener condiciones confortables en diferentes condiciones climáticas.
- 2. Evaluación de eficiencia energética.** Los grados-día permiten evaluar la eficiencia energética de edificios y sistemas de climatización, comparando el consumo de energía real con el estimado en función de los grados-día.
- 3. Optimización de operaciones.** En la operación y mantenimiento de sistemas de climatización, los grados-día se utilizan para optimizar el uso de energía, ajustando los sistemas en función de las condiciones climáticas reales.
- 4. Modelado y simulación.** En proyectos de eficiencia energética, los grados-día son fundamentales en el modelado y la simulación de sistemas de climatización, pues permiten prever el impacto de diferentes estrategias de eficiencia.

Metodología de cálculo del indicador de grados-día

El cálculo de los grados-día es relativamente sencillo, pero requiere datos precisos de temperatura. La metodología básica es la siguiente:

- 1. Definición de la temperatura de referencia.** Se establece una temperatura base de confort. Comúnmente, se utilizan

18°C para grados-día de calefacción y 22°C para grados-día de refrigeración.

2. **Recolección de datos de temperatura.** Se recopilan datos diarios de temperatura exterior, generados por la estación meteorológica más cercana.
3. **Cálculo diario de grados-día:**

- **Grados-día de calefacción (HDD).** Si la temperatura media diaria es menor que la temperatura de referencia, se calcula la diferencia y se suma al total de grados-día de calefacción.

HDD=Temperatura de referencia–temperatura media diaria

- **Grados-día de refrigeración (CDD).** Si la temperatura media diaria es mayor que la temperatura de referencia, se calcula la diferencia y se suma al total de grados-día de refrigeración.

CDD=Temperatura media diaria–temperatura de referencia

Si el equipo de calefacción o aire acondicionado no trabaja las 24 horas, se podría mejorar el indicador utilizando en lugar de la temperatura media diaria, la temperatura media durante el horario de operación. Si el equipo no trabaja los siete días de la semana (por ejemplo, permanece apagado los domingos y/o días festivos) entonces conviene utilizar únicamente el dato de los días de trabajo.

4. **Sumatoria mensual o anual.** Se suman los grados-día diarios para obtener el total mensual o anual. El signo “+” indica que únicamente se suman los términos positivos:

$$CDD_{mensual} \sum_{i=1}^N (CDD_i)^+$$

Donde:

CDD_{mensual}	grados-día del mes
CDD_i	grados-día del día “i”
N	Número de días del mes o número de días laborados en el mes

También se suele usar un promedio mensual de grados-día, que se obtiene dividiendo el valor mensual entre el número de días del mes. Por ejemplo, si los grados-día del mes de enero suman 190, para obtener el promedio, dividimos el valor de los CDD entre 31 días que tiene el mes de enero y obtenemos el promedio, que en este ejemplo equivale a 6.13.

Ejemplo de cálculo. En la tabla siguiente se presentan los datos mensuales de temperatura promedio diaria y la diferencia entre la temperatura promedio y el valor de la temperatura de referencia, que en este ejemplo es de 18°C. Como se puede observar el CDD del mes es de 201°C y el valor promedio diario es de 6.69°C.

Día	Temperatura (°C)	CDD. (°C)	Día	Temperatura (°C)	CDD. (°C)
1	24.6	6.6	16	25.2	7.2
2	24.8	6.8	17	24.8	6.8
3	25.2	7.2	18	24.2	6.2
4	24.9	6.9	19	23.9	5.9
5	23.8	5.8	20	24.8	6.8
6	22.5	4.5	21	24.4	6.4
7	20.9	2.9	22	25.3	7.3
8	21.7	3.7	23	25.8	7.8
9	23.8	5.8	24	26.1	8.1
10	24.6	6.6	25	25.7	7.7
11	24.4	6.4	26	26.2	8.2
12	25.7	7.7	27	25.9	7.9
13	25.5	7.5	28	25.3	7.3
14	24.9	6.9	29	24.9	6.9
15	25.9	7.9	30	25.1	7.1
Total:			201		
Promedio:			6.69		

Anexo E. Tabla de sensación térmica

El índice de calor o sensación térmica es una medida sobre el nivel de calor que se siente en el exterior a la sombra. Es una medida de la temperatura del aire en relación a la humedad relativa para un día en particular. En la tabla siguiente se presentan los valores de la sensación térmica en función de la temperatura y la humedad relativa.

Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
20	15	17	17	18	19	19	20	20	21	21	21
22	19	19	20	20	21	21	22	22	23	23	24
24	21	22	22	23	23	24	24	25	25	26	26
26	24	24	25	25	26	26	27	27	28	29	30
28	26	26	27	27	28	29	29	31	32	34	36
30	27	28	28	29	30	31	33	35	37	40	45
32	29	29	30	31	33	35	37	40	44	51	55
34	30	31	32	34	36	38	42	47	50	55	
36	32	33	35	37	39	45	49	54			
38	33	35	37	40	44	49	55				
40	35	37	40	46	49	55					
42	36	39	42	47	52						
44	33	41	45	52							
46	39	43	49	55							
48	41	45	53								
50	42	48	55								

Día	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Sensación térmica (°C)	CDD de la sensación térmica (°C)
1	24.6	55%	25	7
2	24.8	52%	25	7
3	25.2	48%	25	7
4	24.9	56%	26	8
5	23.8	64%	24	6
6	22.5	68%	23	5
7	20.9	74%	22	4
8	21.7	66%	22	4
9	23.8	65%	24	6
10	24.6	57%	25	7
11	24.4	52%	25	7
12	25.7	47%	26	8
13	25.5	48%	26	8
14	24.9	46%	25	7
15	25.9	44%	26	8
16	25.2	48%	25	7
17	24.8	51%	25	7
18	24.2	52%	25	7
19	23.9	58%	24	6
20	24.8	56%	25	7
21	24.4	54%	25	7
22	25.3	51%	26	8
23	25.8	49%	26	8
24	26.1	51%	26	8
25	25.7	48%	26	8
26	26.2	48%	26	8
27	25.9	49%	26	8
28	25.3	48%	25	7
29	24.9	48%	25	7
30	25.1	47%	25	7
Total:				209
Promedio:				6.97

Ejemplo de cálculo. En la tabla siguiente se presentan los datos del ejemplo anterior, a los que se ha agregado la humedad relativa de cada día, y usando la tabla anterior, a partir de la temperatura y la humedad relativa de cada día, se ha determinado la sensación térmica de cada día. Por último, se ha calculado el CDD a partir de la sensación térmica de cada día, tanto el valor total del mes, como el promedio diario. Como se puede observar, el CDD del mes es de 209°C y el valor promedio diario es de 6.97°C.

Anexo F. Corrección del indicador energético por el número de días.

Los indicadores energéticos que involucran el consumo de energía mensual (kWh/mes), tienen el inconveniente de que como los meses no tienen el mismo número de días, los meses con pocos días tendrán un consumo de energía inferior que los meses con más días. Eso no necesariamente significa que el desempeño energético del mes con menor consumo haya sido mejor que el de un mes con mayor consumo.

Para corregir esa desviación, lo que se propone es utilizar el **consumo promedio diario del mes** (kWh/día), dividiendo el consumo mensual entre el número de días del mes. Así podremos comparar el consumo promedio diario de un mes con el consumo promedio diario de otro mes, sin el error de tener períodos de tiempo diferentes, porque con esta corrección, todos los períodos tienen una duración de un día.

Ejemplo: Considerense los siguientes consumos mensuales:

Consumo de energía en febrero:

352,400 kWh/mes

Consumo de energía en marzo:

369,750 kWh/mes

El consumo de energía mensual de marzo resulta 4.92% mayor que el de febrero, lo que da la idea de que en marzo “empeoró el desempeño energético”. Sin embargo, cuando analizamos la situación considerando el consumo promedio diario de cada mes, vemos una realidad distinta.

Consumo promedio diario en febrero:

12,585.71 kWh/día

Consumo promedio diario en marzo:

11,927.42 kWh/día

Una vez hecha la corrección, el consumo de energía promedio diario en marzo resultó ser 5.23% menos que el consumo promedio diario de febrero, por lo que, en realidad, el desempeño energético mejoró (no empeoró) de febrero a marzo.

Anexo G. Plantillas de la herramienta

G.1. Plantilla de registro de objetivos energéticos

G.2. Plantilla de registro de planes de acción

G.3. Plantilla de Plan de Monitoreo y Verificación

G.4. Plantilla de registro de mediciones

G.5. Plantilla de verificación de cumplimiento de objetivos

G.6. Plantilla de cálculo de ahorros

Anexo H. Información complementaria sobre el Plan de Monitoreo y Verificación

Definición y objetivos de Monitoreo y Verificación

Un Plan de Monitoreo y Verificación (M&V) de parámetros energéticos busca cuantificar y validar los ahorros de energía obtenidos a través de proyectos de eficiencia energética. Los objetivos principales de M&V son:

- Cuantificar los ahorros de energía de manera precisa y confiable.
- Validar los beneficios económicos y ambientales de los proyectos de eficiencia energética.
- Proporcionar datos para la toma de decisiones y la mejora continua de la gestión energética.

Principios de Monitoreo y Verificación

Con el fin de garantizar que los resultados del Plan de M&V sean confiables, este debe diseñarse e implementarse según los siguientes principios:

1. **Relevancia y precisión de los datos.** La calidad de los datos es crucial en M&V. Es necesario recopilar datos precisos y relevantes que reflejen el consumo energético real antes y después de la implementación del proyecto. Esto incluye el uso de equipos de medición calibrados y técnicas de muestreo adecuadas.
2. **Consistencia y comparabilidad.** Para evaluar los ahorros energéticos, es fundamental que los datos sean consistentes y comparables. Esto implica establecer una línea base que represente el consumo energético antes de la intervención; y utilizar métodos consistentes para medir el consumo posterior.
3. **Gestión de datos y planificación de la medición.** El proceso de M&V debe incluir información suficiente de cómo los datos se gestionan durante las actividades de M&V. La gestión de los datos incluye (pero no se limita a) los medios para el almacenamiento, resguardo, mantenimiento y seguridad de los datos.
4. **Competencia del personal.** La competencia del personal encargado de las tareas de M&V contribuye a la confianza en los resultados que se presentan. El personal encargado de M&V debe cumplir con los requisitos legales, regulatorios, de certificación u otros requisitos que la organización establezca para el proceso de M&V. En todos los casos el personal involucrado debe declarar su competencia con respecto al servicio de M&V que brinda y cumplir con el código de ética de la organización.
5. **Transparencia y documentación.** La transparencia en los métodos y procedimientos utilizados en M&V es esencial para garantizar la credibilidad de los resultados. Toda la información, desde la recopilación de datos hasta el análisis, debe estar bien documentada y disponible para su revisión.
6. **Adaptabilidad y flexibilidad.** Los proyectos de eficiencia energética pueden variar ampliamente en su naturaleza y alcance. Por lo tanto, los métodos de M&V deben ser

adaptables y flexibles para ajustarse a las características específicas de cada proyecto.

7. Uso de los métodos apropiados.

El método de M&V que la organización elija, así como el método de cálculo seleccionado deben seguir las buenas prácticas establecidas. Las razones para seleccionar el método de M&V y los métodos de cálculo deben describirse claramente en el Plan de M&V.

Métodos y Protocolos de Monitoreo y Verificación

Existen varios métodos y protocolos reconocidos internacionalmente para M&V, que proporcionan guías detalladas sobre cómo planificar, ejecutar y documentar el proceso de manera efectiva. Uno de los más destacados, que proporciona un marco general para M&V, es el **Protocolo Internacional de Medición y Verificación del Desempeño** (IPMVP: International Performance Measurement and Verification Protocol), desarrollado por la Efficiency Valuation Organization (EVO).

El IPMVP establece cuatro metodologías de M&V:

- **Opción A: Medición aislada de parámetros clave.** En este método se miden directamente uno o más parámetros clave que tienen un impacto significativo en el consumo energético del sistema. Los otros parámetros pueden estimarse basándose en datos históricos, cálculos de ingeniería o suposiciones razonables.

Ejemplo: Medir el consumo eléctrico de un nuevo motor más eficiente, mientras se estima el tiempo de operación basado en datos históricos.

- **Opción B: Medición completa de parámetros clave.** Este método implica la medición directa de todos los parámetros que afectan el consumo energético del sistema. Se utiliza cuando se requiere una mayor precisión y todos los parámetros

pueden ser medidos con facilidad y a un costo razonable.

Ejemplo: Medir el consumo energético total de un edificio antes y después de implementar medidas de eficiencia energética, como la instalación de sistemas de iluminación y climatización más eficientes.

- **Opción C: Medición del consumo total.** En esta opción se mide el consumo total de energía del sitio o sistema durante un periodo determinado. Por lo general se utiliza en instalaciones donde es difícil medir individualmente cada componente del sistema.

Ejemplo: Medir el consumo eléctrico total de un edificio durante un mes completo, antes y después de la implementación de un proyecto de ahorro de energía.

- **Opción D: Simulación y modelado.** Este método se basa en el uso de simulaciones y modelos informáticos para estimar los ahorros energéticos. Es útil en situaciones donde no es posible o práctico medir directamente el consumo energético.

Ejemplo: Utilizar software de simulación energética para modelar el rendimiento energético de un edificio y estimar los ahorros obtenidos mediante la instalación de nuevas ventanas de alta eficiencia.

Existen diversos programas de *software* en el mercado para esta aplicación. Entre los más usuales se encuentran los siguientes:

- **EnergyPlus:** Motor de simulación gratuito y robusto, ampliamente usado en arquitectura e ingeniería para estimar consumos de calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación y cargas de equipos, así como el uso del agua en edificaciones.
- **OpenStudio:** Plataforma del DOE que actúa como interfaz gráfica para EnergyPlus. Permite modelar en SketchUp, gestionar

- simulaciones, visualizar resultados y comparar múltiples escenarios.
- **DesignBuilder:** Interfaz avanzada y fácil de usar para EnergyPlus, enfocada en evaluar el rendimiento energético y ambiental de edificios. Es ideal si prefieres trabajar con modelos BIM o de diseño gráfico.
- **ESP-r:** Software open-source de larga trayectoria (más de 50 años) para simulaciones holísticas de edificaciones: calor, fluidos, energía eléctrica, humedad, acústica, confort visual... La versión más reciente al cierre de esta edición era de mayo 2025.
- Existen también otros protocolos y normas reconocidos a nivel internacional que proporcionan guías y estándares para M&V:
- **ASHRAE Guideline 14.** Desarrollada por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE), esta guía proporciona métodos detallados para la evaluación del rendimiento energético y la verificación de los ahorros.
 - **ISO 50001.** La norma ISO 50001 establece un marco para los sistemas de gestión de energía (SGEn) y promueve las mejores prácticas en la gestión del uso de energía. Aunque no se centra exclusivamente en M&V, incluye requisitos relacionados con la medición, análisis y mejora del rendimiento energético.
 - **ISO 50015.** La norma ISO 50015 establece los principios generales y directrices para el proceso de medición y verificación del desempeño energético de una organización o de sus elementos.
 - **Protocolo de Verificación del Desempeño de Edificios (BPVP).** Este protocolo, desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos de América, se centra en la verificación del rendimiento de los edificios y proporciona guías específicas para M&V en el contexto de los edificios comerciales e industriales.
- La PyME tendrá que elegir la opción o protocolo más adecuado para llevar a cabo el proceso de M&V en sus instalaciones, dependiendo de sus características.
- La implementación exitosa de un Plan de M&V requiere una planificación cuidadosa y una metodología bien definida:
1. **Planificación del proyecto.** Se debe definir claramente el alcance del proyecto, los objetivos de M&V, los métodos seleccionados y los parámetros a medir. Es crucial identificar los puntos de medición y los equipos necesarios.
 2. **Establecimiento de la línea base (LBN).** La LBN representa el consumo energético antes de la implementación del proyecto. Se deben recopilar datos históricos y ajustar para factores externos que puedan influir en el consumo, como cambios en la producción, el clima o las condiciones operativas.
 3. **Medición y análisis de datos.** Durante y después de la implementación del proyecto, se deben recopilar y analizar los datos de consumo energético. Es fundamental utilizar técnicas estadísticas y herramientas de análisis para evaluar los ahorros energéticos y ajustarlos según sea necesario.
 4. **Documentación y reporte.** Todo el proceso de M&V debe estar bien documentado, incluyendo los métodos utilizados, los datos recopilados y los resultados obtenidos. Los informes deben ser claros y comprensibles, de modo que proporcionen evidencia de los ahorros energéticos logrados.

Anexo I. Documentación de respaldo del Plan de Monitoreo y Verificación

La implementación de un Plan de Monitoreo y Verificación (M&V) de parámetros energéticos en una PyME debe estar respaldada por documentación técnica y administrativa que garantice la trazabilidad, transparencia y eficacia del proceso. Estos documentos permiten estructurar adecuadamente las acciones, justificar decisiones y evaluar los resultados de manera objetiva.

Contar con una documentación completa y organizada facilita:

- La toma de decisiones basada en datos reales.
- La identificación de fallas o ineficiencias.
- La mejora continua del desempeño energético.
- La preparación ante auditorías o programas de certificación.

Los documentos que se deben gestionar como parte del Plan de M&V son los siguientes:

Plan de M&V

- **Documento del Plan de M&V.** Describe objetivos, parámetros a monitorear, metodología de medición, frecuencia, responsables, ubicación de los sensores y criterios de verificación.
- **Definición de la línea base energética (LBE).** Establece los valores de referencia contra los cuales se medirán los ahorros o mejoras.
- **Mapa de puntos de medición.** Representación visual o esquemática de los puntos donde se ubicarán los dispositivos de medición.

Equipos de medición y tecnología

- Fichas técnicas de los instrumentos de medición. Incluyen información técnica, precisiones, calibraciones y manuales de uso.
- Protocolos de instalación y configuración de equipos. Procedimientos seguidos para asegurar la correcta instalación y funcionamiento de sensores y medidores.

Gestión de datos

- **Procedimientos de recolección y almacenamiento de datos.** Definen cómo se recopila, almacena y respalda la información energética.
- **Formatos o plantillas de registro.** Para la captura manual o digital de datos energéticos en caso de no contar con sistemas automatizados.

Verificación y validación

- **Procedimiento de verificación de datos.** Indica cómo se revisa la calidad, consistencia y confiabilidad de los datos.
- **Informe de resultados y análisis energético.** Resumen periódico con la interpretación de los datos, comparación con la LBE y cumplimiento de objetivos.

Revisión y mejora

- **Plan de acción para mejoras energéticas.** Con base en los datos, se proponen acciones correctivas o nuevas medidas de eficiencia.
- **Registros de mantenimiento y calibración.** Aseguran la precisión continua de los

instrumentos y evitan desviaciones en los datos.

- **Cumplimiento normativo o de programas externos (si aplica).**

En caso de que el Plan de M&V sea parte de un programa gubernamental o estándar internacional.

Soporte administrativo y normativo

- **Autorizaciones internas o directivas.** Documentos que validan el compromiso de la Dirección con el Plan de M&V.