

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA Y
ELECTRICA
CON MENCIÓN EN ENERGIA



TESIS

“Incidencia De Los Protocolos De Medición Y Verificación En La Implementación De Sistemas De Gestión De La Energía”

**Presentada para optar el Grado Académico de: DOCTOR EN CIENCIAS
DE LA INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA CON MENCIÓN EN
ENERGIA**

Autor:

M.Sc. Carlos Augusto Chambergo Larrea

M.Sc. Amado Aguinaga Paz

Asesor:

Dr. Jaime Collantes Santisteban.

Lambayeque, 2019

“Incidencia De Los Protocolos De Medición Y Verificación En La Implementación De
Sistemas De Gestión De La Energía”.

M.Sc. Carlos Augusto Chamberg Larrea
Autor

M.Sc. Amado Aguinaga Paz
Autor

Dr. Jaime Collantes Santisteban
Asesor

Tesis presentada a la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo para
optar el Grado de: DOCTOR EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA Y
ELECTRICA CON MENCIÓN EN ENERGIA

Aprobado por:

Dr. Johnny Nahui Ortiz
Presidente del jurado

Dr. Wilton Oswaldo Rojas Montoya
Secretario del jurado

Dr. Cesar Augusto Monteza Arbulú
Vocal del jurado

Lambayeque, 2019

Acta de sustentación (copia)

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS 789

Siendo las 12:30 PM horas del día lunes 16 de Diciembre del año Dos Mil Diecinueve, en la Sala de Sustentación de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque, se reunieron los miembros del Jurado, designados mediante Resolución N° 12-2019-EPG de fecha 18 de noviembre, conformado por:

<u>Dr. JOAQUÍN FLORENCIO OTEJA NAHUI</u>	PRESIDENTE (A)
<u>Dr. WILSON OSWALDO ROSAS HUAYTOYA</u>	SECRETARIO (A)
<u>Dr. CESAR AUGUSTO HERNÁNDEZ ARBOLU</u>	VOCAL
<u>Dr. LUIS JAIME COLLANTES SANTISTEBAN</u>	ASESOR (A)

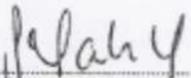
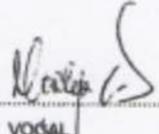
Con la finalidad de evaluar la tesis titulada "INCIDENCIA EN LOS PROTOCOLOS DE SUPERVISIÓN MENSAJERÍA Y VERIFICACIÓN EN LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD"

presentado por el (la) Tesisista MORAIMA VERA POZO / CORRIENTES CIVILIZADAS LAMPEDERA sustentación que es autorizada mediante Resolución N° 1027-2019-EPG de fecha 13-12-19

El Presidente del jurado autorizó del acto académico y después de la sustentación, los señores miembros del jurado formularon las observaciones y preguntas correspondientes, las mismas que fueron absueltas por el (la) sustentante, quien obtuvo 90 puntos que equivale al calificativo de MUY BUENO

En consecuencia el (la) sustentante queda apto (a) para obtener el Grado Académico de: DOCTOR EN CIENCIAS DE APLICACIONES MECANICA Y ELECTRICA CON MENCIÓN EN ENERGIA

Siendo las 13:15 horas del mismo día, se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta.

 PRESIDENTE	 SECRETARIO
 VOCAL	 ASESOR

L. 24/12/2019


Dr. LUIS JAIME COLLANTES SANTISTEBAN
Director Académico

NOTA: La existencia del acta en los libros de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo; ha sido verificada por la Sra. Moraima Vera Pozo, quien con su firma da fe de lo mencionado.


Sra. Moraima Vera Pozo

Declaración jurada de originalidad

Yo, **Carlos Augusto Chambergo Larrea** y **Amado Aguinaga Paz** investigadores principales, y **Jaime Collantes Santisteban**, asesor del trabajo de investigación “Incidencia De Los Protocolos De Medición Y Verificación En La Implementación De Sistemas De Gestión De La Energía”, declaramos bajo juramento que este trabajo no ha sido plagiado, ni contiene datos falsos. En caso se demuestre lo contrario, asumo responsablemente la anulación de este informe y por ende el proceso administrativo a que hubiere lugar. Que puede conducir a la anulación del título o grado emitido como consecuencia de este informe.

Lambayeque, Lambayeque, 18 de octubre 2019

Nombre de los investigadores **Carlos Augusto Chambergo Larrea**, y **Amado Aguinaga Paz**

Nombre del asesor Dr. **Jaime Collantes Santisteban**

DEDICATORIA

A Dios por su bondad y permitir llegar donde estoy.

A mis padres Amadeo y Demetria in memoria.

A mi esposa y mis Hijos por su apoyo y generosidad inculcado en mi persona para poder lograr el esfuerzo y desarrollar el presente trabajo.

M.Sc Ing. Carlos Augusto Chambergo Larrea

A mi madre, mi esposa y mis hijas, razón de ser de todo mi esfuerzo y dedicación.

M.Sc Ing. Amado Aguinaga Paz

AGRADECIMIENTO

Los autores expresan su agradecimiento al asesor del presente trabajo **Dr. Jaime Collantes Santisteban**, por su apoyo durante el tiempo de elaboración del presente trabajo, a los miembros jurado, **Dr. Johnny Nahui Ortiz**, **Dr. Wilton Oswaldo Rojas Montoya**, **Dr. Cesar Augusto Monteza Arbulú**; por sus acertados consejos en la etapa de elaboración y culminación de este trabajo.

A la Gerencia General de **DIVESA SERVICE S A**, por su invaluable apoyo durante la realización del presente trabajo.

A la Ingeniera **Ysabel Torres Guerrero**, Gerente General de **QPM. SAC**, su invaluable y desinteresado apoyo en la realización de este trabajo

A la facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica por el apoyo a este esfuerzo académico, a los condiscípulos en el doctorado, Oscar, Fredy, Robinson, Daniel, Héctor y Serafin.

A la memoria del Ing. Blas Gonzales, gran profesional y mejor amigo, que el supremo lo tenga en su gloria.

Finalmente, a la plana docente y personal administrativo FIME- UNPRG

INDICE

Acta de sustentación (copia).....	3
Declaración jurada de originalidad	4
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTO.....	6
Resumen	12
Abstract	14
1. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 Norma Internacional ISO 50001	16
1.2 Revisión Energética.....	22
1.3 Línea de base energética	23
1.4 Indicadores de desempeño energético	23
1.5 Metas energéticas y planes de acción.....	23
1.6 Definición y propósito de la medición y la verificación.....	24
1.6.1 Propósito de la Medida y Verificación.....	25
1.7 Principios de Medición y Verificación.....	27
2. MARCO TEÓRICO.....	29
2.1 Alcance y campo de aplicación.....	29
2.2 Referencias normativas.....	29
2.3 Términos y definiciones	29
2.4 Principios de medición y verificación	31
2.4.1 Principios generales.....	31
2.4.2 Exactitud adecuada y gestión de la incertidumbre	32
2.4.3 Transparencia y reproducibilidad del proceso de M&V	32
2.4.4 Gestión de datos y planificación de medición.....	32
2.4.5 Competencia del profesional de M&V.....	33
2.4.6 Imparcialidad.....	33
2.4.7 Confidencialidad.....	33
2.4.8 Uso de métodos apropiados	34
2.5 Plan de medición y verificación.....	34
2.5.1 Generalidades	34
2.5.2 Alcance y propósito	35

2.5.3	Acciones de mejora de desempeño energético	36
2.5.4	Límites de la M&V	37
2.5.5	Evaluación preliminar del plan de M&V	38
2.5.6	Caracterización y selección de métricas de desempeño energético incluyendo IDEs .	38
2.5.6.1	Generalidades	38
2.5.6.2	Caracterización de las métricas de desempeño energético	39
2.5.6.3	Selección de las métricas de desempeño energético.....	39
2.5.7	Caracterización y selección de variables relevantes y los factores estáticos.....	39
2.5.8	Selección del método de M & V y método de cálculo.....	40
2.5.9	Plan de recolección de datos.....	41
2.5.10	Establecimiento y mantenimiento de la línea base de energía	43
2.5.10.1	Establecimiento de la línea base de energía.....	43
2.5.10.2	Los ajustes a la línea base de energía	44
2.5.11	Recursos necesarios.....	44
2.5.12	Funciones y responsabilidades.....	44
2.5.13	Documentación del plan de medición y verificación	45
2.6	Implementación del plan de M & V.....	45
2.6.1	La recolección de datos	45
2.6.2	Verificación de la aplicación de la AMDE(s)	45
2.6.3	Observación de los cambios previstos o imprevistos	46
2.6.4	Análisis de M&V	46
2.6.5	Informes de M&V	47
2.6.6	Revisar la necesidad de repetir el proceso.....	48
2.7	Incertidumbre.....	49
2.8	Documentación de M&V	50
2.9	Incertidumbre en Medición y Verificación	50
2.9.1	Expresión de la Incertidumbre	52
2.9.2	Incertidumbre aceptable.....	53
2.9.3	Definiciones de los Términos Estadísticos	53
2.10	Modelización.....	57
2.10.1	Errores de Modelización	59

2.10.1.1	Uso de Datos fuera del Intervalo	59
2.10.1.2	Omisi3n de Variables Relevantes.....	59
2.10.1.3	Inclusi3n de Variables Irrelevantes.....	60
2.10.1.4	Forma Funcional	61
2.10.1.5	Carencia de Datos	62
2.10.2	Evaluaci3n de los Modelos de Regresi3n.....	62
2.10.2.1	Coefficiente de Correlaci3n (R ²).....	62
2.10.2.2	Error Est3ndar de la Estimaci3n	64
2.10.2.3	Estadístico - t	65
2.11	Muestreo	67
2.11.1	Determinaci3n del Tamaño de la Muestra	67
2.12	Medici3n del Equipo de Medida	71
2.13	Combinaci3n de Elementos de Incertidumbre	73
2.13.1	Evaluaci3n de las Interacciones entre los distintos Componentes de la incertidumbre	76
2.13.2	Establecimiento de Objetivos para la Cuantificaci3n de la Incertidumbre del Ahorro....	79
2.14	Ejemplo de An3lisis de Incertidumbre	81
3.	METODOLOGÍA	84
3.1	Introducci3n	84
3.2	Terminología relacionada con la Energía, el Agua y la Demanda	87
3.3	El Proceso de Diseño y Elaboraci3n de los Informes de Medida y Verificaci3n	87
3.4	Límite de Medida	89
3.5	Selecci3n del Periodo de Medida	90
3.5.1	Periodo de Referencia	90
3.5.2	Periodo Demostrativo de Ahorro.....	91
3.5.3	Periodos de Medida Consecutivos Test ON/OFF.....	92
3.6	Base para los Ajustes	93
3.6.1	Periodo Demostrativo de Ahorro o Consumo de Energía Evitado	94
3.6.2	Condiciones Fijas o Ahorro Normalizado.....	95
3.7	Visi3n General de las Opciones del IPMVP	96
3.8	Opciones A y B: Verificaci3n Aislada de la Medida de Mejora de Eficiencia Energética	101
3.8.1	Opci3n A. Verificaci3n Aislada de la MMEE: Medici3n del Parámetro Clave.....	105

3.8.1.1 Opción A: Cálculos.....	108
3.8.1.2 Opción A: Verificación de la Instalación.....	109
3.8.1.3 Opción A: Costo	109
3.8.1.4 Opción A: Mejores Aplicaciones	110
3.8.2 Opción B: Verificación Aislada de la MMEE: Medición de todos los Parámetros.....	110
3.8.2.1 Opción B: Cálculos.....	111
3.8.2.2 Opción B: Mejores Aplicaciones	111
3.8.3 Aspectos sobre la Medida para la Verificación Aislada de las MMEE.....	111
3.8.3.1 Medida del Consumo de Electricidad	112
3.8.3.2 Calibración	113
3.9 Opción C: Verificación de toda la Instalación	113
3.9.1 Opción C: Aspectos sobre los Consumos de Energía.....	115
3.9.2 Opción C: Aspectos sobre la Facturación de la Energía	116
3.9.3 Opción C: Variables Independientes	117
3.9.4 Opción C: Cálculos y Modelos Matemáticos	118
3.9.5 Opción C: Medida	119
3.9.6 Opción C: Costo	119
3.9.7 Opción C: Mejores Aplicaciones	120
3.10 Opción D: Simulación Calibrada.....	120
3.10.1 Opción D: Tipos de Programas de Simulación para Edificaciones	123
3.10.2 Opción D: Calibración	124
3.10.3 Opción D: Cálculos	126
3.10.4 Opción D: Elaboración de los Informes Demostrativos de Ahorros.....	127
3.10.5 Opción D: Mejores Aplicaciones	127
3.11 Guía para la Selección de las Opciones	128
4. CÁLCULOS Y RESULTADOS	131
4.1 Situación.....	131
4.2 Factores que influyen en el diseño de M&V	131
4.3 Plan de M&V	132
4.4 Resultados	133
4.5 Modificación del Horario de Funcionamiento del Conjunto Bomba / Motor. Opción_B	

.....	133
4.5.1 Situación	133
4.5.2 Plan de M&V	134
4.5.3 Resultados	135
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	136
5.1 CONCLUSIONES.....	136
5.2. RECOMENDACIONES	137
6. BIBLIOGRAFÍA.....	138

Resumen

El presente trabajo de investigación trata acerca de la incidencia de la medición y verificación en la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía (SGEn). Debido al creciente consumo de energía asociado con los diversos requerimientos de los sectores económicos, se hace necesario una adecuada gestión de la energía con el objetivo de disminuir los costos de operación para las organizaciones, así como las emisiones de carbono al ambiente, a fin de contribuir al desarrollo sostenible.

Los Sistemas de Gestión de la Energía (SGEn) tienen como fin primordial el mejoramiento sistemático del desempeño energético, en el contexto de la Norma Internacional ISO 50001 y de su familia de normas complementarias, incluida la ISO 50015 que trata del proceso de medición y verificación (M&V) del desempeño energético de una organización o de sus componentes.

La Medición y Verificación (M&V) es un proceso que consiste en utilizar la medición para establecer de forma fiable el ahorro real generado en una instalación dentro de un Programa de Gestión de la Energía. En ese contexto, el ahorro se tiene que determinar comparando el consumo antes y después de la implementación de un proyecto de eficiencia energética, a la vez que se realizan los ajustes oportunos según la variación de las condiciones iniciales.

La metodología aplicada considera una adaptación del Protocolo Internacional de Medición y Verificación del Desempeño (IPMVP), según el cual, para valorar de forma adecuada el impacto de una medida de mejora de la eficiencia energética, dicho impacto tiene que ser separado de otros efectos, como el aumento de la producción, para lo cual se requiere establecer una línea base energética en la cual se correlacione el consumo de energía con el volumen de producción y otros factores influyentes de naturaleza relevante.

A modo de ilustración, se analiza el caso relacionado con una mejora de la eficiencia energética de conjunto bomba-motor que opera con energía eléctrica. El plan de mediciones se realiza de manera conjunta entre el usuario y el proveedor de la energía eléctrica, considerando la opción A del protocolo internacional IPMVP con el objetivo de minimizar el costo de la medición y verificación (M&V). Seguidamente, se considera la opción B del protocolo internacional a fin de evaluar una mejora adicional asociada con la operación del conjunto bomba-motor.

Una de las barreras para la eficiencia energética es la comprobación de los ahorros obtenidos a partir de la implementación de un proyecto de mejora. En el análisis realizado, se obtiene como resultado una reducción en la demanda de potencia de 33,8 kW y una reducción del consumo de energía de 130 000 kW-h/año, utilizando la Opción A del protocolo IPMVP. En un análisis posterior realizado, se obtiene como resultado una reducción de potencia de 98,2 kW, utilizando la Opción B del protocolo IPMVP.

Es importante utilizar el método de medición y verificación que resulte más adecuado en cada caso. La naturaleza de la mejora de eficiencia energética, así como los montos de inversión involucrados, influyen directamente en el método más adecuado, procurando un balance óptimo entre el costo de la medición y verificación y el monto esperado de los ahorros que se requieren comprobar.

Abstract

This research work focuses on the incidence of measurement and verification (M&T) into the implementation of an Energy Management System (EnMS). Due to growing energy consumption associated with different requirements from the economic sectors, it becomes necessary an appropriate energy management aiming at reducing operational costs for organizations and carbon emissions to the environment in order to contribute to sustainable development.

Energy Management Systems (EnMS) have as a primary goal the systematic improvement of energy performance, within the context of the International Standard ISO 50001 and its related supplementary standards family, including ISO 50015, which deals with Measurement and Verification (M&V) procedures for energy performance at an organization or its components.

Measurement and Verification (M&V) is a process that consists in using measurement for establishing in a reliable way the actual achieved savings in an installation within an Energy Management Program. Within the above context, savings have to be determined by comparing the consumption before and after the implementation of an energy efficiency project, while carrying out the proper adjustments according to variation of initial conditions.

The applied methodology considers an adaptation of the International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP). According to IPMVP, in order to value adequately the impact of an energy efficiency improvement measure, such impact has to be separated from other effects, like production growth. Thus, it is required the establishment of an energy baseline in which energy consumption and production volume, as well as other relevant factors, are correlated.

For illustration purposes, a case related to an improvement of energy efficiency in a motor-pump set that runs on electricity is analyzed. The measurement plan is outlined jointly by the end user and the electric utility, considering option A from the IPMVP in order to minimize the cost of Measurement and Verification (M&V). Afterwards, option B is considered in order to evaluate an additional improvement associated with the operation of the motor-pump set.

One of the barriers for energy efficiency improvement is the validation of achieved savings based on implementation of an energy efficiency improvement project. As a result of the conducted analysis, a 33,4 kW reduction in power demand and 130 000 kW-h/yr reduction in energy consumption are obtained, using option A from the IPMVP. In a later analysis, a 98,2 kW reduction in power demand is obtained, using option B from the IPMVP.

It is important to use the measurement and verification method that becomes more adequate in each case. The nature of the energy efficiency improvement, as well as the involved investment amount, influence directly the most adequate method, looking for an optimal balance between the cost of measurement and verification, and the expected amount for the savings that requires validation.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Norma Internacional ISO 50001

Según INDECOPI (2012), el propósito de la Norma Internacional **ISO 50001** es facilitar a las organizaciones establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética y el uso y el consumo de la energía. La implementación de la Norma Internacional **ISO 50001** está destinada a conducir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y de otros impactos ambientales relacionados, así como de los costos de la energía a través de una gestión sistemática de la energía. Esta Norma Internacional es aplicable a organizaciones de todo tipo y tamaño, independientemente de sus condiciones geográficas, culturales o sociales. Su implementación exitosa depende del compromiso de todos los niveles y funciones de la organización y, especialmente, de la alta dirección.

la Norma Internacional **ISO 50001** especifica los requisitos de un **Sistema De Gestión De La Energía (SGEn)** a partir del cual, la organización puede desarrollar e implementar una política energética y establecer objetivos, metas, y planes de acción que tengan en cuenta los requisitos legales y la información relacionada con el uso significativo de la energía. Un SGEn permite a la organización alcanzar los compromisos derivados de su política, tomar acciones, según sea necesario, para mejorar su desempeño energético y demostrar la conformidad del sistema con los requisitos de esta Norma Internacional. La Norma Internacional **ISO 50001** se aplica a las actividades bajo el control de la organización y su utilización puede adecuarse a los requisitos específicos de la organización, incluyendo la complejidad del sistema, el grado de documentación y los recursos.

La Norma Internacional **ISO 50001** se basa en el ciclo de mejora continua **Planificar-Hacer-Verificar-Actuar** (PHVA) e incorpora la gestión de la energía a las prácticas habituales de la organización tal como se ilustra en la Fig. 1.

En el contexto de la gestión de la energía, el enfoque PHVA puede resumirse la manera siguiente:

- **Planificar:** llevar a cabo la revisión energética y establecer la línea de base, los indicadores de desempeño energético (IDEn), los objetivos, las metas y los planes de acción necesarios para lograr los resultados que mejorarán el desempeño energético de acuerdo con la política energética de la organización;
- **Hacer:** implementar los planes de acción de gestión de la energía;
- **Verificar:** realizar el seguimiento y la medición de los procesos y de las características clave de las operaciones que determinan el desempeño energético en relación a las políticas y objetivos energéticos e informar sobre los resultados;
- **Actuar:** tomar acciones para mejorar en forma continua el desempeño energético y el SGEEn.

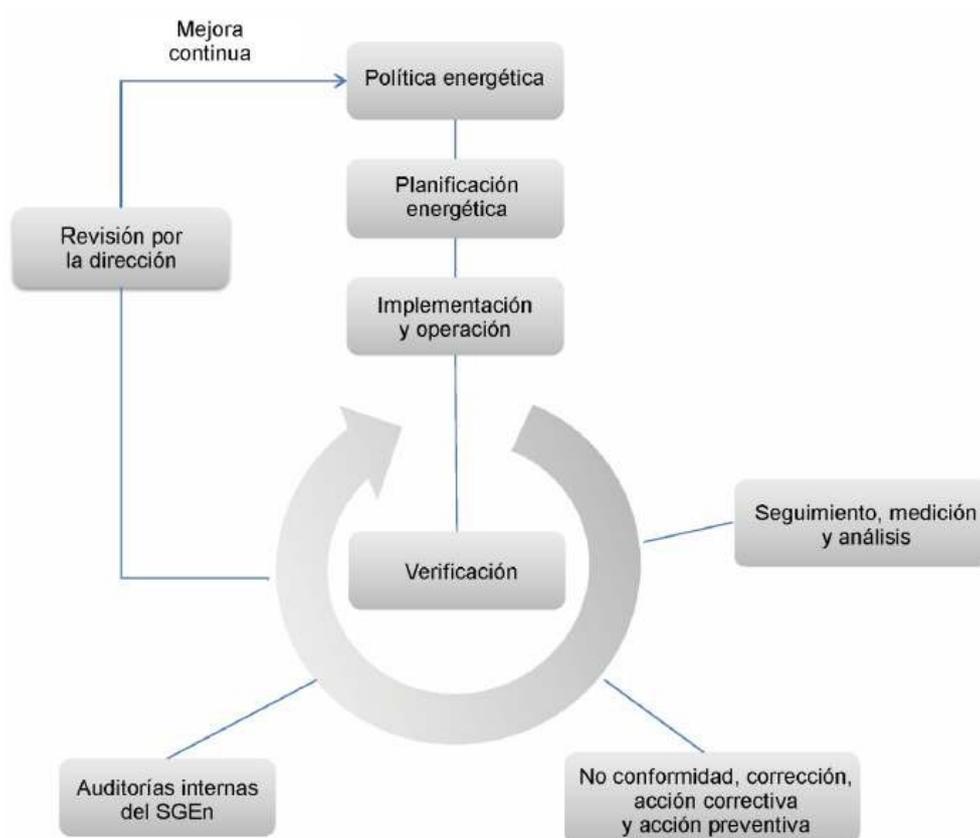


Figura 1. Modelo de sistema de gestión de la energía de acuerdo a ISO 50001

La aplicación global de la Norma Internacional **ISO 50001** contribuye a un uso más eficiente de las fuentes de energía disponibles, a mejorar la competitividad y a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y de otros impactos ambientales relacionados. Esta Norma Internacional es aplicable independientemente del tipo de energía utilizada.

La Norma Internacional **ISO 50001** puede utilizarse para la certificación, el registro y la auto-declaración del SGEEn de una organización. No establece requisitos absolutos del desempeño energético, más allá de los compromisos establecidos en la política energética de la organización y de su obligación de cumplir con los requisitos legales aplicables y otros requisitos. Por lo tanto, dos organizaciones que realicen actividades similares, pero que tengan desempeños energéticos diferentes, pueden ambas cumplir con sus requisitos.

Esta Norma Internacional está basada en los elementos comunes de las normas ISO de sistemas de gestión, asegurando un alto grado de compatibilidad principalmente con las Normas ISO 9001 e ISO 14001.

Una organización puede elegir integrar La Norma Internacional **ISO 50001** con otros sistemas de gestión, incluyendo aquellos relacionados con la calidad, el medio ambiente y la salud y seguridad ocupacional.

La implementación de un sistema de gestión de la energía, tal como se especifica en esta Norma Internacional, tiene por objeto la mejora del desempeño energético. Por lo tanto, esta norma se basa en la premisa de que la organización revisará y evaluará periódicamente su sistema de gestión de la energía para identificar oportunidades de mejora y su implementación. La organización dispone de flexibilidad para implementar su SGE, por ejemplo, la organización determina el ritmo de avance, la extensión y la duración del proceso de mejora continua.

La organización puede tener en cuenta consideraciones económicas y de otra índole cuando determine el ritmo de avance, la extensión y la duración del proceso de mejora continua.

Los conceptos de alcance y límites le dan flexibilidad a la organización para definir lo que se incluye en el SGE.

El concepto de desempeño energético incluye el uso de la energía, la eficiencia energética y el consumo energético. De esta manera, la organización puede elegir entre un amplio rango de actividades de desempeño energético. Por ejemplo, la organización puede reducir su demanda máxima, utilizar el excedente de energía o la energía desperdiciada o mejorar las operaciones de sus sistemas, sus procesos o su equipamiento; La Fig. 2. ilustra una representación del concepto de desempeño energético.

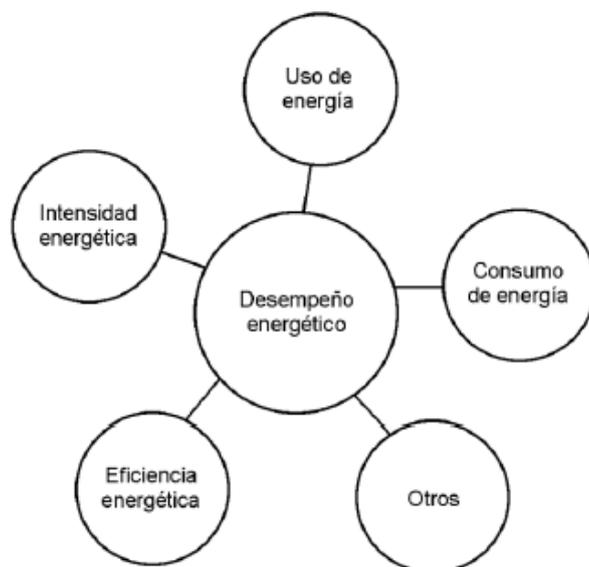


Figura 2. Concepto de Desempeño Energético de acuerdo a ISO 50001

La Fig. 3 muestra un diagrama conceptual que pretende ayudar a entender el proceso de planificación energética. Este diagrama no pretende representar los detalles de una organización específica. La información de este diagrama de planificación energética no es exhaustiva y puede haber otros detalles específicos o circunstancias particulares aplicables a la organización.

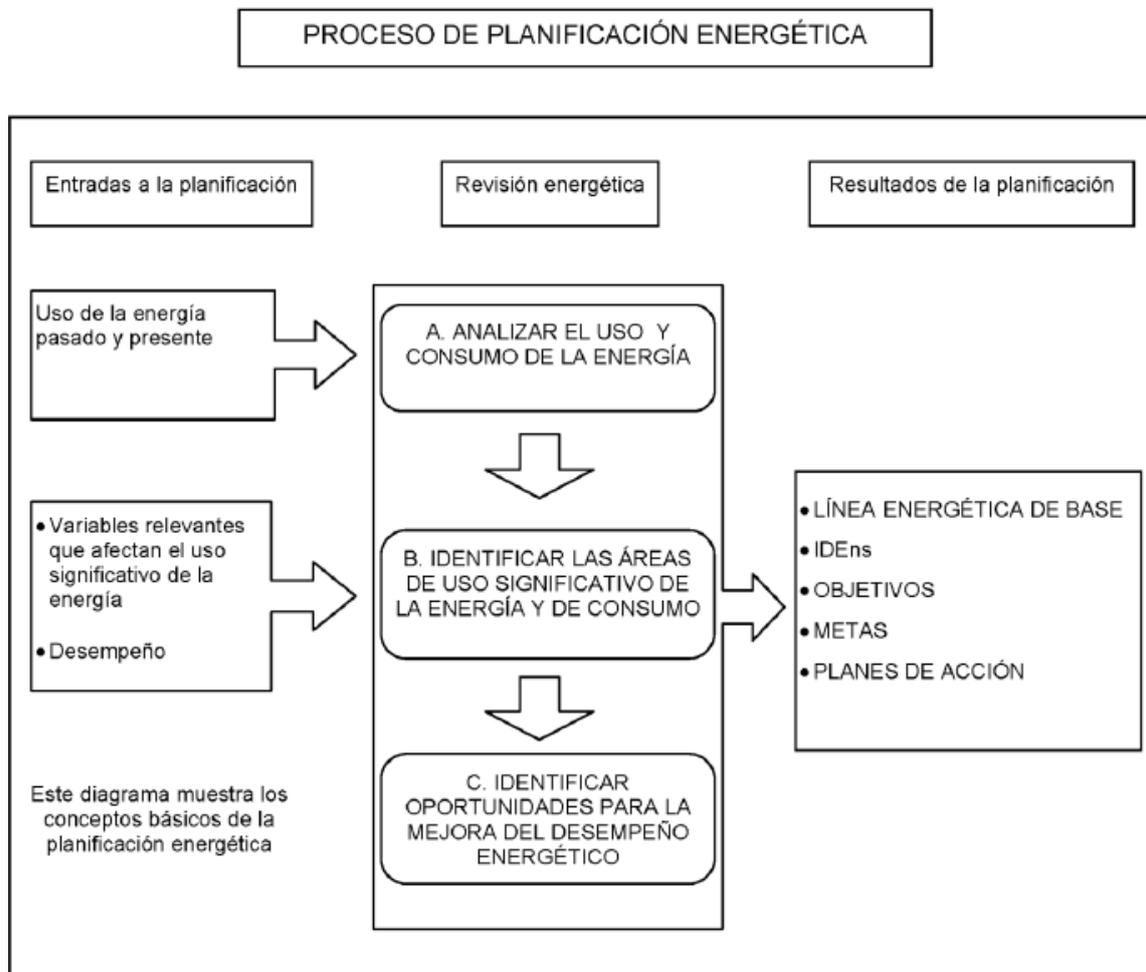


Figura 3. Proceso de Planificación Energética

Esta parte se enfoca en el desempeño energético de la organización y en los instrumentos para mantener y mejorar continuamente el desempeño energético.

El estudio comparativo (benchmarking) es el proceso de reunir, analizar y relacionar información del desempeño energético de actividades comparables con el propósito de evaluar y comparar el desempeño entre, o dentro de, entidades. Existen diferentes tipos de estudios comparativos que van desde un estudio comparativo interno, con el propósito de resaltar las buenas prácticas dentro de una organización, hasta estudios comparativos externos, con el propósito de determinar el mejor en la industria/sector en lo que respecta al desempeño energético de una instalación o de un producto/servicio en el mismo campo o sector. El estudio

comparativo puede ser aplicable a uno o a todos estos elementos. Siempre que se disponga de la información pertinente y precisa, el estudio comparativo es un elemento de entrada valioso para una revisión energética objetiva, y para el consiguiente establecimiento de los objetivos y metas energéticas.

1.2 Revisión Energética

De acuerdo con INDECOPI (2012), el proceso de identificación y evaluación del uso de la energía debería conducir a la organización a definir las áreas de usos significativos de la energía e identificar oportunidades para mejorar el desempeño energético.

Ejemplos de personal que trabaja en nombre de la organización incluyen a los subcontratistas, al personal a tiempo parcial y al personal temporal.

Las fuentes potenciales de energía pueden incluir fuentes convencionales que no hayan sido previamente utilizadas por la organización. Las fuentes de energías alternativas pueden incluir combustibles fósiles o no fósiles.

La actualización de la revisión energética significa la actualización de la información relacionada con el análisis, determinación de la significación y determinación de las oportunidades de mejora del desempeño energético.

Una auditoría o evaluación energética comprende una revisión detallada del desempeño energético de una organización, de un proceso o de ambos. Se basa generalmente en una apropiada medición y observación del desempeño energético real. Los resultados de la auditoría generalmente incluyen información sobre el consumo y el desempeño actuales y pueden ser acompañadas de una serie de recomendaciones categorizadas para la mejora del desempeño energético. Las auditorías energéticas se planifican y se realizan como parte de la identificación y priorización de las oportunidades de mejora del desempeño energético.

1.3 Línea de base energética

Según INDECOPI (2012), un período adecuado para los datos significa que la organización tiene en cuenta los requisitos reglamentarios o las variables que afectan al uso y al consumo de la energía. Las variables pueden incluir el clima, las estaciones, los ciclos de actividades del negocio y otras condiciones.

La línea de base energética se mantiene y registra como un medio para que la organización determine el período de mantenimiento de los registros. Los ajustes en la línea de base energética también se consideran como mantenimiento y los requisitos están definidos en la Norma Internacional **ISO 50001**.

1.4 Indicadores de desempeño energético

De acuerdo con INDECOPI (2012), los IDEns pueden ser un simple parámetro, un simple cociente o un modelo complejo. Ejemplos de IDEns pueden incluir consumo de energía por unidad de tiempo, consumo de energía por unidad de producción y modelos multi-variables. La organización puede elegir los IDEns que informen del desempeño energético de su operación y puede actualizar los IDEns cuando se produzcan cambios en las actividades del negocio o en las líneas de base que afecten a la pertinencia del IDEn, según sea aplicable.

1.5 Metas energéticas y planes de acción

Según INDECOPI (2012), además de los planes de acción enfocados en alcanzar mejoras específicas en el desempeño energético, una organización puede tener planes de acción que se focalicen en alcanzar mejoras en la gestión global de la energía o en la mejora de los procesos del propio SGen. Los planes de acción para estas mejoras también pueden establecer la forma en que la organización verificará los resultados alcanzados mediante el plan de acción. Por ejemplo, una organización puede tener un plan de acción diseñado para

lograr una mayor toma de conciencia entre sus empleados y contratistas respecto al comportamiento relacionado con la gestión de la energía. El grado en que este plan de acción logra una mayor toma de conciencia y otros resultados debería verificarse mediante el método determinado por la organización y documentado en el plan de acción.

1.6 Definición y propósito de la medición y la verificación

Según EVO (2010), la Medida y Verificación (M&V) es un proceso que consiste en utilizar la medida para establecer de forma fiable el ahorro real generado en una instalación dentro de un programa de gestión de la energía. El ahorro no se puede medir de forma directa, puesto que representa la ausencia del consumo de energía. Por ese motivo, el ahorro se tiene que determinar comparando el consumo antes y después de la implementación de un proyecto de eficiencia energética, a la vez que se realizan los ajustes oportunos según la variación de las condiciones iniciales.

La tarea de Medida y Verificación constan, de todas o parte, de las siguientes actividades:

- Instalación, calibración y mantenimiento de los equipos de medida.
- Recopilación y análisis de los datos.
- Desarrollo de un método de cálculo del ahorro y de las estimaciones adecuadas.
- Realización de los cálculos con las lecturas obtenidas, y
- Elaboración de informes, garantizando su calidad, y verificación de los informes por terceras partes.

En caso de no existir demasiadas dudas sobre el resultado de un proyecto, o que no se necesite demostrar el resultado a otra parte, es posible que no se tenga que realizar un Plan de Medida y Verificación. Sin embargo, es conveniente verificar que los equipos instalados son capaces de generar el ahorro esperado. Comprobar el potencial de ahorro implica realizar

inspecciones regulares e inspecciones durante la puesta en marcha de los equipos. En cualquier caso, comprobar ese potencial de ahorro no se tiene que confundir con las tareas de Medida y Verificación. Comprobar el potencial para generar ahorro no significa cumplir con el IPMVP, ya que no precisa ningún consumo de energía de la instalación.

1.6.1 Propósito de la Medida y Verificación

De acuerdo con EVO (2010), los promotores de proyectos de eficiencia energética, o los propietarios de instalaciones, pueden utilizar las técnicas de Medida y Verificación con los siguientes fines:

a) Incrementar el ahorro de energía

Determinar de forma precisa el ahorro de energía que proporciona a los propietarios, y a los responsables de las instalaciones, una valiosa retroalimentación sobre las MMEE implementadas. Esta realimentación ayuda a ajustar la operación o el diseño de las MMEE para aumentar el ahorro, conseguir una mayor duración en el tiempo y disminuir las fluctuaciones del ahorro.

b) Referencia para la realización de los pagos

En algunos proyectos el ahorro de energía, es la base para realizar el pago basado en el rendimiento y/o la garantía de un contrato de rendimiento energético. Un Plan de Medida y Verificación bien definido e implementado puede ser la base para documentar el rendimiento de forma transparente y permite someterlo a una verificación independiente.

c) Mejorar la financiación del proyecto de eficiencia

Un buen Plan de Medida y Verificación, incrementa la credibilidad y transparencia de los informes de ahorros sobre el resultado de las inversiones en eficiencia. Asimismo, aumenta la proyección de los resultados obtenidos por realizar inversiones en eficiencia

energética. Esta credibilidad puede aumentar la confianza de los inversores y promotores de proyectos de eficiencia energética, lo cual mejora sus posibilidades de financiación.

d) Mejora del diseño, explotación y mantenimiento de las instalaciones

La preparación de un buen Plan de Medida y Verificación fomenta el diseño del proyecto al incluir todos los costes de Medida y Verificación en los parámetros económicos del mismo. Una buena estrategia de Medida y Verificación también ayuda a los responsables a detectar y reducir problemas operativos y de mantenimiento, lo que les permite operar la instalación de forma más eficiente. Asimismo, un buen plan de M&V genera conocimiento para el diseño de proyectos futuros.

e) Gestión de los presupuestos de gasto energético

Incluso en los casos en los que no se ha planificado un ahorro, las técnicas de Medida y Verificación permiten a los responsables evaluar y gestionar el uso de la energía para explicar los cambios en el presupuesto. Las técnicas de Medida y Verificación se emplean para ajustar los cambios en las condiciones de operación de la instalación y poder elaborar presupuestos adecuados y explicar las variaciones producidas.

f) Mejora el valor de los créditos de la reducción de emisiones

La contabilidad de la reducción de las emisiones ofrece un valor adicional a los proyectos de eficiencia. La inclusión de un Plan de Medida y Verificación para determinar el ahorro de energía supone una ventaja para los informes de reducción de emisiones en comparación con informes que no dispongan de ello.

g) Mejora el valor de los créditos de la reducción de emisiones

Los programas puestos en marcha por los gobiernos, o por empresas energéticas, para gestionar el uso de un sistema de suministro de energía pueden emplear técnicas de Medida y Verificación para evaluar el ahorro en determinadas instalaciones de consumidores. La aplicación de técnicas estadísticas y otras hipótesis, al ahorro determinado con las técnicas de

Medida y Verificación en las instalaciones seleccionadas puede ayudar a predecir el ahorro de energía del conjunto de la instalación, donde no se han realizado mediciones, con el fin de mostrar los resultados del programa aplicado de eficiencia.

h) Hacer comprender a la sociedad que la gestión de la energía es una herramienta pública prioritaria

Gracias a que los proyectos de gestión de la energía ganan credibilidad, la Medida y Verificación hace que la sociedad acepte aún más la reducción de las emisiones que van asociada a ella. Esta aceptación de la opinión pública fomenta las inversiones en proyectos de eficiencia energética, o el comercio de los derechos de emisión, que éstos pueden generar.

Gracias a la generación de ahorros, una buena práctica de Medida y Verificación destaca las ventajas sociales que aporta una buena gestión de la energía, como por ejemplo la mejora de la salud comunitaria, la reducción de la degradación medioambiental y un aumento del empleo.

1.7 Principios de Medición y Verificación

Según EVO (2010), los principios fundamentales para utilizar correctamente la Medida y Verificación son:

Preciso: Los informes de Medida y Verificación tienen que ser tan precisos como permita el presupuesto asignado. En general, el presupuesto de la Medida y Verificación tiene que ser pequeño en relación con el valor económico del ahorro que se está evaluando. El costo de la Medida y Verificación tienen que estar acorde con el impacto financiero que pueda involucrar un informe sobrevalorado o infravalorado sobre el rendimiento de un proyecto. Las variaciones en la exactitud deben ser acompañados de una mayor cautela en el momento de realizar cualquier estimación o valoración.

Amplio: Un informe demostrativo de ahorros de energía debe tener en cuenta todos los aspectos de un proyecto. Las actividades de Medida y Verificación tienen que realizar mediciones para cuantificar los efectos relevantes, a la vez que realizar estimaciones del resto. Conservador: Cuando se realizan estimaciones con cantidades poco precisas, el diseño de la Medida y Verificación debe infravalorar el ahorro.

Coherente: Un informe de un proyecto de eficiencia energética debe mantener su coherencia con:

- Los diferentes proyectos de eficiencia energética
- Los diferentes profesionales relacionados con la gestión energética que participan en cualquier proyecto.
- Los diferentes periodos de tiempo en un mismo proyecto.
- Los proyectos de eficiencia energética y los proyectos para los nuevos suministros de energía.

Coherente no quiere decir idéntico ya que cualquier informe basado en datos empíricos implica valoraciones que no son formuladas de la misma forma. Al identificar los puntos clave, el IPMVP evita las incoherencias que puedan surgir por la falta de consideración de las cuestiones importantes.

Relevante: La determinación del ahorro deberá medir los parámetros del rendimiento que son de interés o, al menos permitir que sean conocidos. Los parámetros menos importantes o predecibles pueden ser estimados.

Transparente: Todas las actividades de Medida y Verificación deben ser documentadas con detalle y de forma clara. El detalle debe incluir todos los elementos de un Plan de Medida y Verificación y un informe demostrativo de ahorro, respectivamente.

2. MARCO TEÓRICO

En esta sección se proporciona el marco teórico a considerar para el presente trabajo de investigación, el cual se basa en las directrices de la Norma Internacional ISO 50015, acerca de medición y verificación del desempeño energético de organizaciones

2.1 Alcance y campo de aplicación

Según INN (2015), esta norma, establece los principios generales y orientación para el proceso de medición y verificación (M&V) del desempeño energético de una organización o de sus componentes y se puede utilizar independientemente, o en combinación con otras normas o protocolos y además se puede aplicar a todos los tipos de energía.

2.2 Referencias normativas

De acuerdo con INN (2015), no se citan referencias normativas. Esta cláusula se incluye con el fin de mantener idéntica la numeración de las cláusulas con otras normas.

2.3 Términos y definiciones

Según INN (2015), para los propósitos de esta norma, se aplican los términos y definiciones siguientes:

Período de referencia: Período específico de tiempo utilizado como referencia para comparar con el período a informar.

Efecto consecucional: Efecto indirecto de energía o efecto no energético.

Efecto indirecto de energía: Efecto sobre el desempeño energético de la organización más allá del efecto directo de la acción de mejora de desempeño energético.

Efecto no energético: efecto de la implementación de acciones de mejora de desempeño energético que es adicional al impacto energético.

Acción de mejora de desempeño energético: Acción o medida o grupo de acción o medidas implementadas o planeadas dentro de una organización destinadas a lograr la mejora del desempeño energético a través de cambios tecnológicos, de gestión u operacionales, conductuales, económicos u otros cambios.

Energía: electricidad, combustibles, vapor, calor, aire comprimido y otros medios similares.

Línea base de energía: referencia(s) cuantitativa(s) que proporciona(n) una base para la comparación del desempeño energético.

Consumo de energía: cantidad de energía aplicada.

Desempeño energético: Resultados medibles relacionados con el desempeño energético, el uso de energía y el consumo de energía.

Mejora del desempeño energético: Mejora en resultados medibles relacionados con el desempeño energético, el uso de energía.

Indicador de desempeño energético: valor o medida cuantitativa del desempeño energético así definido por la organización.

Uso de energía: forma o tipo de aplicación de la energía.

Medición y verificación: proceso de planificación, medición, recolección de datos, análisis, verificación e informe del desempeño energético o de la mejora del desempeño energético para los límites de M&V definidos.

Límites de M&V: límites organizacionales, físicos, sitios, instalaciones, equipos, sistemas, procesos o de actividades dentro de los cuales se mide y verifica el desempeño energético o la mejora del desempeño energético.

Profesional de M&V: persona o equipo que lleva a cabo la medición y verificación.

Ajuste no rutinario: ajuste realizado a la línea base de energía para dar cuenta de cambios inusuales en las variables relevantes o factores estáticos, fuera de los cambios explicados por ajuste de rutina.

Organización: compañía, corporación, firma, empresa, autoridad o institución, o parte o combinación de ellas, ya sea sociedad o no, pública o privada, que tiene sus propias funciones y administración y que tiene la autoridad para controlar su uso de energía y consumo de energía

Variable relevante: factor cuantificable que impacta el desempeño energético y cambia de forma rutinaria.

Período del informe: período definido de tiempo seleccionado para el cálculo e informe del desempeño energético

Ajuste de rutina: ajustes realizados a la línea base de energía para dar cuenta de los cambios en las variables relevantes de acuerdo con un método predeterminado.

Uso significativo de energía: uso de energía calculada para el consumo de energía sustancial y/o que ofrece un considerable potencial para mejorar el desempeño energético.

Factores estáticos: factor identificado que impacta el desempeño energético y no cambia de manera rutinaria.

2.4 Principios de medición y verificación

2.4.1 Principios generales

De acuerdo con INN (2015), estos principios son la base para la orientación posterior de M&V del desempeño energético de la organización y de la mejora del desempeño energético. Los principios no son requisitos, más bien estos principios deberían guiar las decisiones que se toman en las situaciones previstas y no previstas.

El propósito de M&V es proporcionar confianza a las partes interesadas de que los resultados informados son creíbles.

Los siguientes principios se deberían seguir:

- exactitud adecuada y gestión de la incertidumbre;
- transparencia y reproducibilidad de (los) proceso(s) de M&V;
- gestión de datos y la planificación de medición;
- competencia del profesional M&V;
- imparcialidad;
- confidencialidad;
- uso de métodos apropiados.

2.4.2 Exactitud adecuada y gestión de la incertidumbre

Según norma INN (2015), la incertidumbre de los resultados, incluyendo la precisión de medición, se deberían administrar a un nivel adecuado para el propósito de M&V. Una declaración clara con respecto a la exactitud de los resultados y en consecuencia se debería incluir, las medidas adoptadas para mitigar la incertidumbre, en los resultados reportados.

2.4.3 Transparencia y reproducibilidad del proceso de M&V

De acuerdo con INN (2015), se debería documentar un proceso de M&V para garantizar la transparencia y la trazabilidad del proceso y de igual manera que asegure la reproducibilidad, lo que contribuye a la confianza en el resultado de M&V.

2.4.4 Gestión de datos y planificación de medición

Según INN (2015), el proceso de M&V debería incluir información sobre *cómo se gestionarán los datos* durante las actividades de M&V. La gestión de datos incluye (*pero no se limita a*) los medios para almacenar, las copias de seguridad, y las acciones para mantener

y asegurar los datos. De la misma forma también debe incluir información sobre la *planificación de medición*, tales como ubicación, frecuencia e instalación de medidores o sensores. Estos detalles deben incluirse en la documentación.

2.4.5 Competencia del profesional de M&V

De acuerdo con INN (2015), la competencia del profesional M&V contribuye a la confianza en los resultados informados. El profesional de M&V debe cumplir relevantes requisitos legales, regulatorios, certificaciones u otros, para el proceso de M&V. La organización solicitante del M&V definirá los requisitos de competencia. En todos los casos, el profesional de M&V debe declarar su competencia con respecto a los servicios de M&V provistos. Los profesionales de M&V deben trabajar dentro de su campo de experiencia y cumplir con el código ético apropiado.

2.4.6 Imparcialidad

Según INN (2015), la imparcialidad contribuye a la confianza en los resultados informados. La imparcialidad no requiere independencia de una tercera parte. El plan de M&V, así como los informes de M&V deben contener una declaración sobre la imparcialidad del profesional de M&V. Las partes interesadas deben revelar formalmente cualquier conflicto de interés antes de iniciar las actividades o que puedan surgir durante el desarrollo de estas.

2.4.7 Confidencialidad

De acuerdo con INN (2015), cualquier información confidencial necesaria para realizar la M&V debería ser accesible para el profesional de M&V. Si la información necesaria para realizar la M&V no se pueden poner a disposición del profesional de M&V debido a los requisitos de confidencialidad, el profesional de M&V debería destacar esto en el plan de

M&V y detallar las restricciones que puedan afectar el resultado de M&V. El profesional de M&V debe asegurar que la confidencialidad se ha mantenido.

2.4.8 Uso de métodos apropiados

Según INN (2015), el método de M&V, así como los métodos de cálculo seleccionados deben seguir las buenas prácticas establecidas. Las razones para la selección de los métodos de M&V y los métodos de cálculos deberían estar claramente descritos en el plan de M&V.

2.5 Plan de medición y verificación.

2.5.1 Generalidades

De acuerdo con INN (2015), hay seis pasos fundamentales en el proceso de M & V los cuales están especificados en el plan de M & V:

- 1) *Establecer y documentar un plan de M & V*: El plan de M & V es el documento que describe cómo se debería realizar cada fase de M & V.
- 2) *Recolección de datos*
- 3) *Verificar la implementación de AMDE(s) si las hay*
- 4) *Desarrollo de análisis de M & V*
- 5) *Informar la M & V y emitir documentación*
- 6) *Revisar la necesidad de repetir el proceso, según sea necesario*

Repetir los pasos 1 a 5 del proceso de M & V, tal como se determina en el paso 6. La secuencia de estos seis pasos básicos se ilustra en Figura 4.

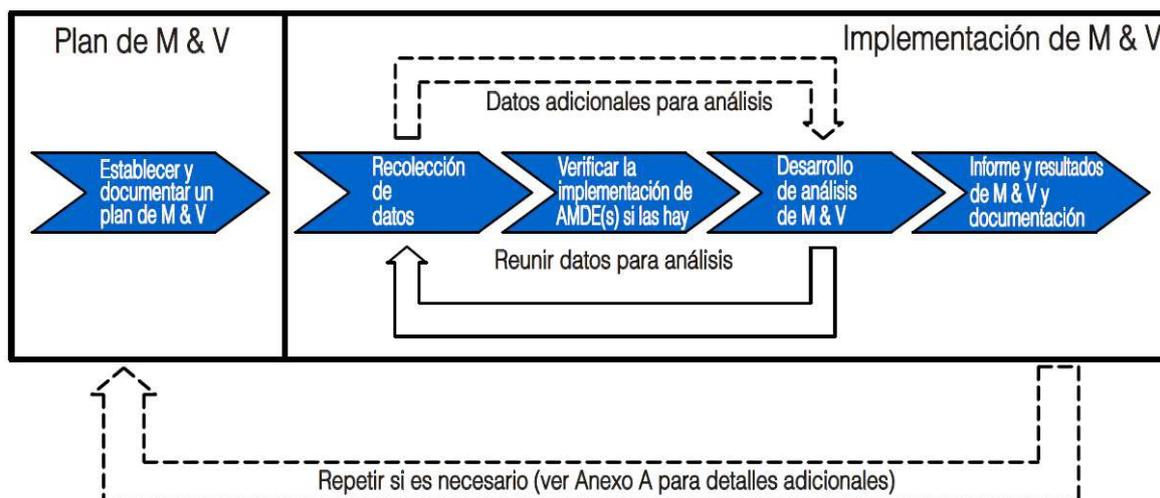


Figura 4 – Pasos fundamentales en el proceso de M & V

2.5.2 Alcance y propósito

Según INN (2015), el alcance y el propósito del plan de M&V deberían describir:

- a) La organización para la cual se lleva a cabo la M&V;
- b) Razón(es) para la realización de la M&V;
- c) Partes responsables de la M&V, sus roles y la relación con la organización, coherente con el principio de imparcialidad;
- d) Requisitos de confidencialidad
- e) Partes que recibirán los resultados;
- f) Cualquier requisito legal o de otro tipo que haya sido identificado, incluidas las normas adicionales con las que el proceso de M&V debería cumplir;
- g) Resumen del alcance físico de la M&V, incluyendo si la M&V en cuestión es aplicable a toda o parte de la organización: si se aplica a una parte de la organización, el alcance debería especificar a cuáles partes de la organización;
- h) Lo que está siendo medido y verificado, incluyendo métricas de desempeño energético, IDE(s) o AMDE(s);
- i) Efectos consecuenciales potenciales;
- j) Método de M&V utilizado;

- k) Resumen de los datos que serán recolectados y analizados, incluyendo el tipo y frecuencia;
- l) Requisitos de precisión o de incertidumbre replicables que se deberían cumplir;
- m) Frecuencia (por ejemplo, mensual, trimestral, anual) y el formato de informes de M&V;
- n) Proceso para la actualización del plan de M&V, si corresponde;
- o) Confirmación de que el alcance de M&V está dentro de la capacidad del profesional de M&V, conforme con el principio de competencia del profesional de M&V

2.5.3 Acciones de mejora de desempeño energético

De acuerdo con INN (2015), en esta cláusula el plan de M&V debe describir varias AMDEs, si las hay, las cuales tienen un impacto y plazo en el ámbito definido de M&V, y por lo tanto se debe medir y verificar, incluso se debe describir con suficiente detalle, para asegurar que cualquier otro profesional competente de M&V sería capaz de evaluar que el proceso de M&V utilizado fue adecuado:

- Descripción de cada AMDE(s), incluyendo la(s) línea(s) de base(s) para la M&V;
- Cómo o por qué, se espera que la implementación de AMDE(s) contribuyan a mantener o mejorar el desempeño energético;
- Mejora o mantenimiento del desempeño energético esperado, resultante de la aplicación de AMDE(s);
- Asignación de responsabilidades para la aplicación de AMDE(s);
- Cómo serán implementadas las AMDE(s);
- Plazos y secuencia de implementación para cada AMDE;

- Ubicación donde la(s) AMDE(s) será(n) implementadas(s);
- Costos de las AMDE(s) si es relevante para los objetivos de la M&V;
- Cómo la implementación de la(s) AMDE(s) se verificará físicamente;
- Descripción de efectos consecuenciales;
- Identificación de los efectos consecuenciales que serán o no serán cuantificados en la M&V;
- Descripción de la implicación potencial de los efectos consecuenciales no cuantificados.

2.5.4 Límites de la M&V

Según INN (2015), la elección de los límites de la M&V es a menudo determinada por una serie de consideraciones, incluyendo (pero no limitado a:) el alcance y el propósito de la M&V, la naturaleza de AMDE(s) que se han de medir, la elección de cálculo y el método de M&V.

La M&V se puede aplicar a la organización en todo o en una parte de la organización. En consecuencia, los límites de M&V se deben fijar en torno a la organización como un todo o a una parte de esta.

En situaciones en las que se necesita establecer una línea base de energía, los sistemas, procesos o equipos con usos significativos dentro del alcance de M&V se debe determinar e incluir como parte de la línea base de energía y en cualquier cuantificación posterior del desempeño energético. En caso de que cualquier uso de energía significativa no haya sido incluida, el profesional de M&V debe tomar nota de las razones de esta omisión.

El plan de M&V debe describir claramente y documentar los límites de M&V, incluidos los sistemas, procesos o equipos relevantes. Se debe realizar una declaración por

parte del profesional de M&V describiendo las razones de la elección de los límites de M&V y el impacto de estas elecciones en la incertidumbre.

2.5.5 Evaluación preliminar del plan de M&V

De acuerdo con INN (2015), la **evaluación preliminar del plan de M&V** es una identificación de alto nivel de los sistemas, datos y materiales que se utilizarán en el proceso de M&V. La evaluación preliminar del plan de M&V debe incluir lo siguiente:

- a) Desarrollar y documentar los actuales usos de energía, instalaciones y las características de los equipos, así como los patrones de consumo de energía dentro de los límites de M&V: esta actividad debería ser suficiente para que el profesional de M&V seleccione un método de M&V y un método de cálculo apropiados;
- b) Identificar y documentar un período de tiempo adecuado y representativo para la realización de M & V que capture el rango de condiciones de operación;
- c) Identificar los datos necesarios para el plan de recolección de datos;
- d) Identificar los datos necesarios para las líneas bases de la energía y su mantenimiento;
- e) Identificar la disponibilidad y la cantidad de datos de energía y si es necesario la necesidad de datos adicionales;
- f) Identificar el equipamiento y otros recursos necesarios para llevar a cabo la M&V.

2.5.6 Caracterización y selección de métricas de desempeño energético incluyendo IDEs

2.5.6.1 Generalidades

Según la norma INN (2015), el desempeño energético de la organización se mide por las métricas de desempeño energético. La cuantificación de estas métricas es a veces el propósito de la M&V. Las métricas de desempeño de energético se pueden utilizar para apoyar

a otros objetivos de la M&V. Las métricas de desempeño energético definidos por la organización se denominan IDEs.

2.5.6.2 Caracterización de las métricas de desempeño energético

De acuerdo con INN (2015), la caracterización de cada métrica de desempeño energético o IDE debe incluir *una definición, su descripción y la unidad de medida*. La caracterización de las métricas de desempeño energético basados en una razón o modelos más complejos, deben incluir *ecuación(es) matemática(s) o pasos específicos para determinar la métrica de desempeño energético*. Cuando la M&V se lleva a cabo para un IDE, la caracterización se debería obtener de la organización.

Basándose en los resultados de la evaluación preliminar del plan de M & V, el profesional de M & V debe reportar y documentar las variables relevantes y los factores estáticos, así como las condiciones que influyen en el valor del (de los) IDE(s) y las métricas de desempeño energético.

2.5.6.3 Selección de las métricas de desempeño energético

Según INN (2015), el profesional de M&V debe identificar las métricas de desempeño energético necesarias para la M&V. Dado que los IDEs pueden no ser suficiente para los fines de M&V, puede ser necesario definir métricas adicionales de desempeño energético por el profesional de M&V. El profesional de M&V documentará la razón de las métricas de desempeño energético adicionales. Las métricas de desempeño energético adicionales pueden o no ser adoptadas como IDE(s).

2.5.7 Caracterización y selección de variables relevantes y los factores estáticos

De acuerdo con INN (2015), para la caracterización de las variables relevantes y factores estáticos: Se necesitan los pasos siguientes

- Establecer los criterios para la selección de variables relevantes y los factores estáticos que afectan al desempeño energético dentro de los límites de M&V;
- Identificar las variables relevantes, así como los factores estáticos;
- Determinar el rango típico de operación de las variables relevantes identificadas y de los factores estáticos;
- Determinar un período de tiempo representativo;
- Identificar y especificar las características de los datos y la(s) fuente(s) de datos para cada variable relevante o factor estático de acuerdo con las directrices del plan de recolección de datos;
- Identificar y describir los efectos consecuenciales que puedan ocurrir;
- Determinar qué efectos consecuenciales serán cuantificados y cuales no en la M&V;
- Describir la aplicación potencial de efectos consecuenciales no cuantificados; y
- Una lista de variables o factores estáticos considerados y los determinados que no son relevantes, junto con las razones de su omisión.

2.5.8 Selección del método de M & V y método de cálculo

INN (2015), existen numerosos métodos, normas, protocolos y métodos de cálculo disponibles en todo el mundo para cuantificar el desempeño energético y la mejora del desempeño energético. El profesional de M&V debe seleccionar un método de M&V apropiado. La selección se basa típicamente en un número de factores, incluyendo (pero no limitados a):

- Propósito de la M&V;
- Requisitos de precisión;
- Experiencia relevante del profesional de M&V;

- Naturaleza de la(s) AMDE(s) o las métricas de desempeño de energía a medir y verificar;
- Naturaleza y el tamaño de la organización, así como la elección de los límites de M&V;
- La información recolectada durante la evaluación preliminar de planificación de M&V;
- Requisitos legales, reglamentarios o de otro tipo, incluidas otras normas o protocolos;
- Costos de los métodos considerados.

Independientemente de las decisiones tomadas por el profesional de M&V, esta sección del plan de M&V debería contener:

- a) Una descripción paso a paso del método de M&V y el método de cálculo, así como una referencia a cualquiera de los protocolos seleccionados;
- b) Descripción que es suficientemente detallada para garantizar que otro profesional competente de M&V sería capaz de poner en práctica el proceso de M&V; y
- c) La justificación de la selección del método de M&V y el método de cálculo, incluyendo las ventajas y desventajas.

2.5.9 Plan de recolección de datos

De acuerdo con la norma INN (2015), los datos que se necesitarán para ser recolectados, se basan en las métricas de desempeño energético, incluyendo los IDEs o AMDEs, el método de M&V y el método de cálculo seleccionados. Para cada elemento de los datos necesarios, se debe describir:

- Nombre de la variable;
- Fuente de datos, existente o nueva;

- Calidad de los datos;
- Identificación y disposición de datos atípicos o de vacíos en los datos con la justificación;
- Frecuencia en la que se recolectarán los datos (es decir, cada hora, diaria, mensual, otro);
- Tipo de medición
- Método de recolección.
- Persona(s) responsable(s) de la realización de las mediciones, por ejemplo, la organización, profesional de M&V o contratistas;
- Preparación de, y el acceso a los, puntos de medición;
- Restricciones de operación que son restricciones a la implementación;
- Tipo de medidor o sensor a utilizar.

La elección del medidor o sensor debe considerar el rango, exactitud, precisión, capacidad, condiciones de uso y los objetivos de la M&V.

Esta sección del plan de M&V proporcionará el razonamiento detrás de las decisiones tomadas para obtener los datos, y cómo estas decisiones afectan la exactitud y la incertidumbre de los resultados, según sea apropiado, a los objetivos de la M&V. Esta sección también debe especificar cómo se registran y conservan los datos. El plan debe tratar, incluso, la contingencia de pérdida de datos o la copia de seguridad de datos.

En los casos en que se informa la mejora del desempeño energético, se necesitara establecer una línea base de energía. En tales casos, puede haber diferencias entre el plan de recolección de datos durante el período de línea base y el plan de recolección de datos durante el período de informe, en ese caso, se deben documentar dos planes de recolección de datos (uno para cada período). La descripción del plan de recolección de datos debe ser lo

suficientemente claro como para garantizar el proceso de obtención de los datos y debe ser tanto repetible como reproducible.

2.5.10 Establecimiento y mantenimiento de la línea base de energía

2.5.10.1 Establecimiento de la línea base de energía

Según INN (2015), en los casos en que se está por determinar la mejora del desempeño energético, se debe establecer una línea base de energía de acuerdo con los requisitos y directrices del método de M&V y del método de cálculo seleccionado.

Los datos utilizados para establecer la línea base de energía se recolectarán de acuerdo con la orientación del plan de recolección de datos y serán analizados de acuerdo con el plan de M&V. La línea base de energía se debe establecer, si es posible, antes de la implementación de cualquier AMDE(s). Sin embargo, el profesional de M&V puede establecer la línea base de energía después de la implementación de AMDE(s) con la condición de que los datos necesarios para establecer la línea base de energía estén disponibles. Si se establece la línea base de energía después de AMDE(s), la(s) razón(es) para esto se debe(n) documentar en el plan de M&V.

En esta cláusula del plan de M&V se debe documentar cómo se establece la línea base de energía y debe incluir:

- a) Los datos en bruto utilizados para desarrollar la línea base de energía determinada durante el proceso de recolección de datos;
- b) El período de tiempo específico para la línea base de energía y las condiciones relacionadas;
- c) El proceso seguido para establecer la línea base de energía;
- d) Datos procesados donde sea aplicable, el modelo de consumo de energía que representa la línea base de energía.

2.5.10.2 Los ajustes a la línea base de energía

De acuerdo con la norma INN (2015), el método de M&V y el método de cálculo elegido puede requerir que se ajuste la línea base de energía a las condiciones del período de informe.

En esta sección del plan de M&V se proporcionarán las condiciones y razones bajo las cuales se requerirán ajustes de rutina a la línea base y explicar el (los) método(s) utilizados para realizar dichos ajustes.

El plan de M&V también especificará los ajustes no rutinarios de la línea base de energía, incluyendo:

- Medios para el monitoreo de la necesidad de ajustes no rutinarios de la línea base de energía;
- El procedimiento a seguir cuando se requieren ajustes no rutinarios a la línea base de energía; y
- El método específico, y las razones, para cualquier ajuste no rutinario esperado o conocido a la línea base de energía.

2.5.11 Recursos necesarios

Según INN (2015), los recursos para la M&V deberían ser apropiados para el objetivo de M&V. La sección de recursos del plan de M&V debería documentar lo siguiente:

- a) los recursos necesarios para llevar a cabo la M&V;
- b) declaración del profesional de M&V confirmando que los recursos disponibles son adecuados para el alcance y propósito del objetivo de la M&V.

2.5.12 Funciones y responsabilidades

De acuerdo con la norma INN (2015), las funciones y responsabilidades de las partes involucradas en la M&V se deben documentar junto con la siguiente información:

- métodos para la comunicación entre las diferentes partes;

- cambios en el personal clave, sus datos de contacto y cómo esta información se actualizará en el plan;
- competencias determinadas según el principio de competencia del profesional de M&V.

2.5.13 Documentación del plan de medición y verificación

Según la norma INN (2015), los elementos del plan de M&V, se deben documentar de manera de promover la confianza, trazabilidad, repetitividad, reproducibilidad y consistencia. Asimismo, el plan de M&V se debe registrar y mantener para asegurar que la información está fácilmente disponible y fácil de localizar.

Debe haber también registros apropiados soportando las razones de las decisiones tomadas con el fin de establecer un registro de auditoría. Esto puede incluir el registro de la correspondencia electrónica entre las partes relevantes.

El resto de la norma describe brevemente los pasos recomendados después de que el plan de M&V se ha establecido con el fin de aplicar el proceso de M&V para el informe de los resultados de desempeño energético.

2.6 Implementación del plan de M & V

2.6.1 La recolección de datos

De acuerdo con INN (2015), el profesional de M&V debe recolectar y registrar los datos de acuerdo con los requisitos del plan de recolección de datos

2.6.2 Verificación de la aplicación de la AMDE(s)

Según norma INN (2015), el profesional de M&V debe verificar que la(s) AMDE(s) como se describen en el plan de M&V se han aplicado adecuadamente. Luego, en relación con el plan de M&V ejecutado, se debe registrar:

- a) acciones implementadas;
- b) acciones no implementadas y la(s) razón(es);
- c) acciones que difieren del plan de M&V ejecutado y su(s) razón(es).

Si una AMDE(s) implementada(s) difiere(n) de su descripción en el plan de M&V de una manera que requiere un ajuste al plan de M&V, se debe hacer el ajuste, documentar e incluir en la presentación del informe periódico de M & V. Los elementos del plan de M&V que pueden requerir un ajuste incluyen (pero no se limitan a): método de selección, selección del límite de M & V, variables relevantes y factores estáticos.

2.6.3 Observación de los cambios previstos o imprevistos

De acuerdo con INN (2015), el profesional de M&V es responsable de asegurar que los resultados de M&V informados, cumplan con los requisitos y objetivos del plan de M&V. Las situaciones que requieren ajustes no rutinarios se deben tener en cuenta y registrar por el profesional de M&V o la organización. Estas situaciones pueden incluir cambios en el alcance, cambios en la implementación, ejecución o en las partes que componen la(s) AMDE(s), así como los cambios internos o externos a los límites de M&V.

El profesional de M&V debe:

- registrar esta situación como parte del informe de M&V periódicos;
- consultar y actualizar el plan de M&V para incorporar el cambio no rutinario en el plan de M&V.

2.6.4 Análisis de M&V

Según INN (2015), durante esta etapa de M&V, el desempeño energético o la mejora del desempeño energético se determina con base en el análisis y los resultados de la recolección de datos. El análisis de M&V debería seguir el alcance, períodos de tiempo, frecuencia de datos y el método especificado en el plan de M&V.

Si el objetivo de la M&V incluye la determinación de las mejoras del desempeño energético, el profesional de M&V debe calcular la base de acuerdo con el plan de M&V. Se

debe registrar cualquier ajuste no rutinario o cambios en los métodos utilizados. La salida de esta etapa es el resultado del desempeño energético medido y verificado. Estos resultados se deben informar de acuerdo con los requisitos del plan de M&V.

Si dos o más AMDE(s) se implementan durante los mismos períodos de tiempo o que se superponen, el resultado de la M & V de su efecto combinado puede ser diferente de la suma de que ocurriera cada AMDE (s) de forma individual. El análisis de M & V debe garantizar que el resultado de la M & V determinada para la combinación de la(s) AMDE(s), aborda adecuadamente cualquier diferencia.

- a) mejorar la eficiencia de combustión del sistema de calefacción; y
- b) mejorar el aislamiento del edificio.

Los ahorros de solo la mejora de la eficiencia de combustión podrían haber sido determinados en base a los cambios de eficiencia respecto del nivel de aislamiento inicial. Los ahorros de solamente la mejora del aislamiento se podrían haber determinado en base a la diferencia en aislamiento respecto del nivel inicial de eficiencia. El efecto combinado es determinado basándose en la diferencia entre el estado inicial y el consumo, tanto en la mejora de la eficiencia como en la mejora de nivel de aislamiento.

2.6.5 Informes de M&V

De acuerdo con la norma INN (2015), la M&V se debería documentar y reportar a intervalos como establece el plan de M&V. Los informes pueden ser un único informe anual, informes trimestrales, informes mensuales, u otra frecuencia adecuada.

Los informes deben resumir el alcance y el objetivo de la M&V.

Los informes asimismo deben especificar la persona responsable que realiza la M&V y su relación con la organización. Con el fin de proporcionar confianza en los resultados, los

informes deben incluir una declaración clara en cuanto a la exactitud o la incertidumbre de la medición.

Normalmente los informes de medida y verificación deben tener los siguientes elementos:

- a) Lista de AMDE(s) implementadas;
- b) Lista de AMDE(s) planeada(s) para implementación que no fueron implementadas, especificando por qué no se llevaron a cabo;
- c) Proporcionar detalles de la implementación de cualquier AMDE que difiera del plan original;
- d) Identificar los cambios que han ocurrido y si el cambio requiere ajuste(s) no rutinario(s);
- e) Proporcionar resultados del desempeño energético o de la mejora del desempeño energético de acuerdo con los requisitos del plan de M&V, así como los requisitos legales, regulatorios u otros requisitos que pueden ser aplicables.

El profesional de M&V debe informar cualquier desafío experimentado y cómo éstos fueron abordados como parte del proceso de M&V. Estos desafíos pueden incluir:

- La calidad de los datos o la disponibilidad de los datos que no cumplan con los requisitos del plan de M&V;
- Cambios operacionales.

2.6.6 Revisar la necesidad de repetir el proceso

Según la norma INN (2015), el profesional de M&V debe revisar la necesidad de repetir la totalidad o parte del proceso de M&V basado en cualquiera de varios factores, tales como:

- Frecuencia según lo determinado en el plan de M & V;
- Resultados alcanzados;
- Oportunidades o AMDE(s) a ser implementadas;

- Otros requisitos identificados en el plan de M & V; o
- Efectos de los problemas o desafíos encontrados.

2.7 Incertidumbre

De acuerdo con la norma INN (2015), la comprensión de la incertidumbre es necesaria con el fin de interpretar y comunicar los resultados de la M&V con eficacia y garantizar la credibilidad de los resultados de la M&V reportados. Las fuentes de incertidumbre se deben identificar cuando sea posible y se deben cuantificar en cuanto sea practico y útil para los objetivos de la M&V.

Existe una contraposición entre los niveles de incertidumbre y los costos de la M&V. Una cuantificación completa de la incertidumbre puede no ser necesaria si se trata de un costo prohibitivo en relación con los objetivos de la M&V. Cuando una evaluación de incertidumbre rigurosa, meteorológica y estadísticamente válida no es factible, los potenciales contribuidores a la incertidumbre se deberían identificar con estimaciones razonables de la magnitud de la incertidumbre de cada componente.

Las fuentes de incertidumbre a considerar incluyen (pero no se limitan a) lo siguiente:

- a) Método de M&V elegido;
- b) Método de cálculo elegido;
- c) Límites de M&V elegidos;
- d) Selección/elección del uso significativo de energía dentro de los límites;
- e) Los tipos de energía excluidos;
- f) Frecuencia de recolección de datos;
- g) Intervalos de datos;
- h) Uso de la metodología de medición;
- i) Modelos para diagnosticar consumo de energía y tendencias;

- j) Competencias del profesional de M&V;
- k) Tamaño de la muestra y si el tamaño de la muestra se considera representativa;
- l) Incertidumbre del equipo de medición;
- m) Posibles efectos indirectos no incluidos en el resultado de M&V.

2.8 Documentación de M&V

Según la norma INN (2015), toda la actividad de M&V se debe documentar, incluyendo:

- a) Plan de M&V;
- b) Informe de M&V; y
- c) Material necesario para reproducir los resultados de M&V especificados en el plan de M&V.

La documentación debe estar sujeta a los procesos de control de cambios para asegurar que las versiones emitidas de un documento y sus cambios relacionados permanecen disponibles para el acceso de acuerdo al plan de M&V por el período que las partes interesadas podrían especificar.

2.9 Incertidumbre en Medición y Verificación

Según EVO (2010), el objetivo de la Medida y Verificación (M&V) consiste en *determinar el ahorro de energía de forma fiable*. Para que los informes de ahorro resulten fiables se debe tener un nivel de incertidumbre razonable. La incertidumbre en un informe demostrativo de ahorro se puede tratar controlando los errores aleatorios y el sesgo de los datos. En los errores aleatorios influyen la calidad de equipos de medida, técnicas de medida y diseño del procedimiento de muestreo. En el sesgo de los datos influyen la calidad de datos, supuestos y análisis de la medida. La reducción del error suele incrementar el costo de la

M&V, así que el valor que tiene una mejor información tiene que demostrar la necesidad de una mejora de la incertidumbre.

El cálculo del ahorro de energía implica una comparación de los datos de energía medidos y la realización de unos ajustes para comparar ambas mediciones bajo el mismo grupo de condiciones operativas. Tanto las mediciones como los ajustes introducen errores.

Estos errores pueden aparecer, por ejemplo, debido a una imprecisión de los equipos de medida, a los procedimientos de muestreo o a los procedimientos de ajuste. Estos procesos generan estimaciones estadísticas con valores reportados o esperados y un cierto nivel de variación. En otras palabras, no se conocen valores verdaderos, sólo estimaciones con un cierto nivel de incertidumbre. Todas las mediciones físicas y los análisis estadísticos se basan en estimaciones de tendencias centrales, tales como los valores medios, y en la cuantificación de variaciones, tales como el intervalo, la desviación estándar, el error estándar y la varianza.

La estadística es el elemento principal de los métodos matemáticos que se pueden aplicar a los datos para ayudar a tomar decisiones ante la incertidumbre. Por ejemplo, con la estadística se pueden comprobar resultados para ver si el ahorro obtenido es significativo, es decir, si es probable que sea un efecto real de la MMEE y no un fenómeno aleatorio.

Los errores se pueden producir debido a: modelización, muestreo y medida:

- Modelización. Los errores de modelización matemática pueden ser debidos a una forma funcional inadecuada, a la inclusión de variables irrelevantes, o a la exclusión de variables relevantes, etc.
- Muestreo. Los errores de muestreo ocurren cuando sólo se mide una parte del conjunto de valores reales o cuando se utiliza un enfoque con muestras sesgadas. La representación de sólo una parte del conjunto puede ocurrir tanto en el sentido físico (i.e., sólo se miden 20 de los 1.000 dispositivos de iluminación) o en el sentido temporal (cuando se mide sólo durante diez minutos cada hora).

- Medida. Los errores de medida proceden de la precisión de los sensores, de los errores de rastreo de los datos, de la pérdida de precisión desde que se realizó la calibración, de mediciones imprecisas, etc. La magnitud de tales errores suele aparecer en las especificaciones del fabricante y es gestionada por calibraciones periódicas.

Algunas fuentes de error son desconocidas y no son cuantificables. Algunos ejemplos de estas fuentes de error son seleccionar o colocar los equipos de medida de forma inadecuada, hacer estimaciones imprecisas en la Opción A o no hacer suficientes estimaciones de los efectos cruzados en las Opciones A o B. Las incertidumbres desconocidas o no cuantificables sólo pueden ser gestionadas siguiendo las mejores prácticas de la industria.

2.9.1 Expresión de la Incertidumbre

De acuerdo con EVO (2010), para transmitir el ahorro de forma estadísticamente válida, este se tiene que expresar junto con el nivel de confianza y precisión que lleva asociado. La confianza se refiere a la probabilidad que existe de que el ahorro estimado caiga dentro del intervalo de precisión. Por ejemplo, el proceso de estimación del ahorro puede conducir a declaraciones del tipo: la mejor estimación del ahorro es de 1.000 kWh/año (estimación puntual) con un 90% de probabilidad (confianza) de que el valor medio verdadero de ahorro caiga dentro del $\pm 20\%$ de 1.000. En la Fig. 5 se ofrece una presentación gráfica de esta relación.

No tiene sentido plantear una precisión estadística (la parte de $\pm 20\%$) sin un nivel de confianza (la parte del 90%). El proceso de Medida y Verificación puede obtener una precisión muy elevada con una confianza baja. Por ejemplo, puede declararse un ahorro con una precisión de $\pm 1\%$, pero el nivel de confianza asociado caerá del 95% al 35%.

2.9.2 Incertidumbre aceptable

Según EVO (2010), el ahorro se considera estadísticamente válido si se trata de una cantidad grande en relación con las variaciones estadísticas. Más concretamente, el ahorro debe ser superior al doble del error estándar del valor de referencia. Si la varianza de los datos de referencia es excesiva, el comportamiento aleatorio no explicado en el consumo de energía de la instalación o sistema será elevado y cualquier determinación del ahorro será poco fiable.

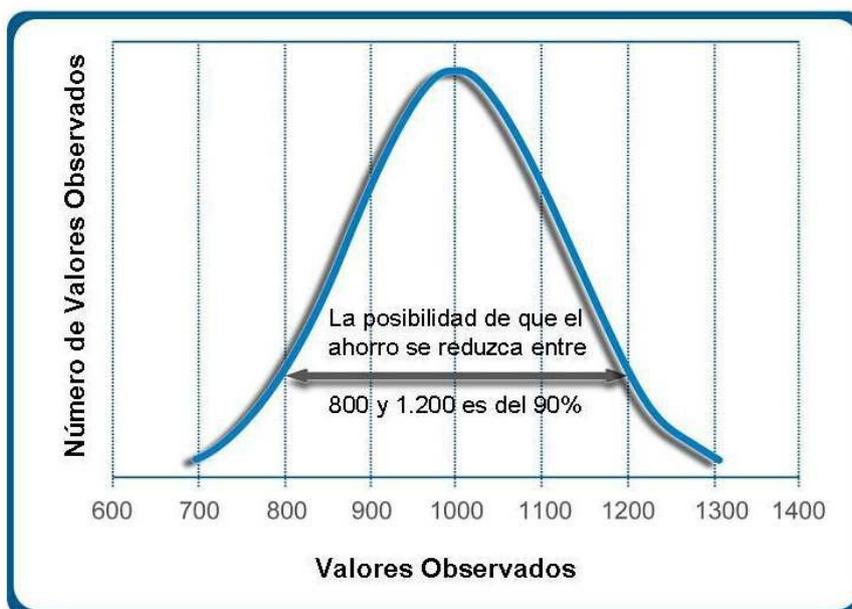


Figura 5. Población con distribución normal

Cuando no se pueda cumplir este criterio, considere el uso de:

- Equipos de medida más precisos,
- Más variables independientes en cualquier modelo matemático,
- Tamaños de muestras más grandes o
- Una opción del IPMVP en la que influyan menos las variables desconocidas.

2.9.3 Definiciones de los Términos Estadísticos

De acuerdo con EVO (2010), se establecen las siguientes definiciones:

Media (\bar{Y}): La medida más utilizada de la tendencia central de una serie de observaciones. La media se determina añadiendo puntos de datos individuales (Y_i) y dividiendo por el número total de estos puntos de datos (n):

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n}$$

Varianza (S^2): La **varianza mide cuánto difieren uno de otro**, los valores observados, por ejemplo, la variabilidad o dispersión. *Cuanto mayor sea la variabilidad, mayor será la incertidumbre de la media.*

La varianza, la medida más importante de la variabilidad, se obtiene haciendo una media de los cuadrados de cada desviación que se produce con respecto de la media. La razón por la que se elevan al cuadrado estas desviaciones con respecto a la media es sólo para eliminar los valores negativos (cuando un valor es inferior a la media), de manera que no cancelen los valores positivos (cuando un valor es superior a la media). La varianza se calcula de la manera siguiente:

$$S^2 = \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n - 1}$$

Desviación estándar (s): Se trata simplemente de la raíz cuadrada de la varianza. Esto devuelve la medida de la variabilidad a las unidades de los datos (p. ej. las unidades de varianza están en kWh^2 , mientras que las unidades de desviación estándar están en kWh).

$$s = \sqrt{S^2}$$

Error estándar (SE): Se trata de la desviación estándar dividida entre \sqrt{n} . Esta medida sirve para estimar la precisión.

$$SE = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Precisión: La precisión es la medida del intervalo absoluto o relativo dentro del cual se espera que estén los valores verdaderos, con un nivel determinado de confianza. El nivel

de confianza se refiere a la probabilidad de que el intervalo planteado contenga el parámetro que se ha estimado.

Precisión absoluta: La precisión absoluta se calcula respecto al error estándar usando un valor t de la distribución de t (Tabla 1): $t \times SE$

Tabla 1. Tabla de valores t

N° de Lecturas (Tamaño muestra)	Nivel de confianza				N° de lecturas (Tamaño muestra)	Nivel de confianza			
	95%	90%	80%	50%		95%	90%	80%	50%
2	12.71	6.31	3.08	1.00	17	2.12	1.75	1.34	0.69
3	4.30	2.92	1.89	0.82	18	2.11	1.74	1.33	0.69
4	3.18	2.35	1.64	0.76	19	2.10	1.73	1.33	0.69
5	2.78	2.13	1.53	0.74	20	2.09	1.73	1.33	0.69
6	2.57	2.02	1.48	0.73	21	2.09	1.72	1.33	0.69
7	2.45	1.94	1.44	0.72	22	2.08	1.72	1.32	0.69
8	2.36	1.89	1.41	0.71	23	2.07	1.72	1.32	0.69
9	2.31	1.86	1.40	0.71	24	2.07	1.71	1.32	0.69
10	2.26	1.83	1.38	0.70	25	2.06	1.71	1.32	0.68
11	2.23	1.81	1.37	0.70	26	2.06	1.71	1.32	0.68
12	2.20	1.80	1.36	0.70	27	2.06	1.71	1.31	0.68
13	2.18	1.78	1.36	0.70	28	2.05	1.70	1.31	0.68
14	2.16	1.77	1.35	0.69	29	2.05	1.70	1.31	0.68
15	2.14	1.76	1.35	0.69	30	2.05	1.70	1.31	0.68
16	2.13	1.75	1.34	0.69	?	1.96	1.64	1.28	0.67

En general, se espera que el valor verdadero de cualquier estimación estadística, con un nivel de confianza concreto, caiga en el intervalo definido por

$$\text{Intervalo} = \text{estimación} \pm \text{precisión absoluta}$$

Donde estimación es cualquier valor derivado empíricamente de un parámetro de interés (por ejemplo, consumo total, media de unidades producidas).

La precisión relativa es la precisión absoluta dividida entre la estimada:

$$\text{Precisión Relativa} = \frac{t * SE}{\text{Precisión Estimada}}$$

Tabla 2. Datos de ejemplo y análisis

	Real	Diferencias calculadas Respecto a la media	
	Lectura	Simple	Al cuadrado
1	950	-50	2,500
2	1,090	90	8,100
3	850	-150	22,500
4	920	-80	6,400
5	1,120	120	14,400
6	820	-180	32,400
7	760	-240	57,600
8	1,210	210	44,100
9	1,040	40	1,600
10	930	-70	4,900
11	1,110	110	12,100
12	1,200	200	40,000
Total	12,000		246,600

El valor medio es:

$$= \frac{\sum}{n} = \frac{12,000}{12} = 1,000$$

La Varianza (S^2) es:

$$S^2 = \frac{\sum -}{n - 1} = \frac{246,600}{12 - 1} = 22,418$$

La Desviación estándar (s) es:

$$s = \sqrt{S^2} = \sqrt{22,418} = 150$$

El Error estándar:

$$SE = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{150}{\sqrt{12}} = 43$$

La Tabla y muestra que t es 1,80 para 12 toma de datos y tiene un nivel de confianza del 90%. Por lo tanto:

La precisión absoluta es:

$$\text{Precision Absoluta} = t \times SE = 1.80 \times 43 = 77$$

Y la precisión relativa es:

$$\text{Precision Relativa} = \frac{t \times SE}{\text{estimado}} = \frac{77}{1,000} = 7.7\%$$

Así pues, hay un 90% de confianza de que la media mensual verdadera de consumo caiga dentro de un intervalo de 923 kWh y 1.077 kWh. Se puede decir con el 90% de confianza que el valor medio de las 12 observaciones es de $1.000 \pm 7,7\%$. De igual manera, podemos decir que:

- con el 95% de confianza que el valor medio de las 12 observaciones es de $1.000 \pm 9,5\%$ o
- con el 80% de confianza que el valor medio de las 12 observaciones es de $1.000 \pm 5.8\%$ o
- con el 50% de confianza que el valor medio de las 12 observaciones es de $1.000 \pm 3,0\%$.

2.10 Modelización

Según EVO (2010), los modelos matemáticos se utilizan en la Medida y Verificación (M&V) para preparar los ajustes rutinarios en las distintas versiones de la ecuación. La modelización implica encontrar una relación matemática entre las variables independientes y las dependientes. La variable dependiente, normalmente la energía, es modelada como dependiente por una o más variables independientes X_i , (denominadas también variables explicativas). Este tipo de modelización se denomina análisis de regresión.

En el análisis de regresión, el modelo intenta explicar la variación en la energía que resulta de las variaciones de las distintas variables independientes (X_i). Por ejemplo, si una de las X 's es el nivel de producción, el modelo evaluará si la variación de la energía respecto a

su media es causada por los cambios en el nivel de producción. El modelo cuantifica la causalidad. Por ejemplo, cuando la producción aumenta en una unidad, el consumo energético aumenta en b unidades, donde b es denominado el coeficiente de regresión.

Los modelos más habituales son regresiones lineales del tipo:

$$= b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_pX_p + e$$

En la que:

- Y es la variable dependiente, normalmente el consumo de energía durante un periodo de tiempo concreto (p.e., 30 días, 1 semana, 1 día, 1 hora, etc.)
- X_{it} ($i = 1, 2, 3, \dots, p$) representa las variables independientes p como puedan ser el clima, la producción, la ocupación, la duración del periodo de medida, etc.
- b_i ($i = 0, 1, 2, \dots, p$) representa los coeficientes derivados de para cada variable independiente y un coeficiente fijo (b_0) no relacionado con las variables independientes
- e representa los errores residuales que siguen sin explicación después de contar el impacto de las distintas variables independientes. El análisis de regresión encuentra el conjunto de valores b_i que consiguen que la suma de los elementos de error residual al cuadrado sea lo más cercano posible a cero (así, los modelos de regresión también se denominan modelos de mínimos cuadrados).

Un ejemplo del modelo anterior para el consumo de energía de un edificio es:

$$\text{Consumo de energía mensual} = 342,000 + (63 \times \text{HDD}) + (103 \times \text{CDD}) + (222 \times \text{Ocupación})$$

HDD y CDD son grados-día de calefacción y de refrigeración, respectivamente. La ocupación es una medida del porcentaje de ocupación del edificio. En este modelo, 342.000 es una estimación de la consumo base en kWh, 63 mide el cambio en el consumo que provoca un grado-día de calefacción adicional, 103 mide el cambio en el consumo que provoca un grado-

día de refrigeración adicional y 222 mide el cambio en el consumo por cada cambio del 1% en la ocupación.

2.10.1 Errores de Modelización

De acuerdo a EVO (2010), cuando se utilizan modelos de regresión, pueden aparecer diversos tipos de error como los que se relacionan a continuación.

1. El modelo ha sido construido sobre valores que quedan fuera del intervalo probable de las variables que se van a usar. El modelo matemático se construirá utilizando valores razonables de las variables dependientes e independientes.
2. El modelo matemático deja fuera variables independientes relevantes, lo cual introduce la posibilidad de que haya relaciones parciales (sesgo de variable omitida).
3. El modelo incluye algunas variables irrelevantes.
4. El modelo utiliza una forma funcional inadecuada.
5. El modelo se basa en datos poco representativos o insuficientes.

Cada uno de estos tipos de errores de modelización son tratados a continuación.

2.10.1.1 Uso de Datos fuera del Intervalo

Según EVO (2010), si se construye el modelo sobre datos que no son representativos del comportamiento habitual de la energía en la instalación, no se podrá confiar en la simulación. Existe la posibilidad de que aparezcan datos atípicos o datos que se encuentran fuera del rango de valores normales por lo que habrá que cribar los datos antes de utilizarlos para construir el modelo.

2.10.1.2 Omisión de Variables Relevantes

De acuerdo a EVO (2010), en Medida y Verificación el análisis de regresión sirve para reflejar los cambios en el consumo de energía. Los sistemas más complejos que consumen energía se ven afectados por muchas variables independientes. Los modelos de

regresión no pueden incluir todas las variables independientes. Y aunque esto fuera posible, el modelo sería demasiado complejo como para ser de utilidad y la tarea de recogida de datos sería enorme. El enfoque práctico consiste en incluir sólo las variables independientes que se consideren que tienen un impacto significativo sobre la energía.

Omitir una variable independiente relevante podría provocar un grave error. Si falta una variable independiente relevante (p.e., grados-día de calefacción), el modelo no tendrá en cuenta una parte significativa de la variación de los consumos de energía. Este modelo deficiente también atribuirá una parte de la variación provocada por la variable omitida a otras variables que sí han sido incluidas. Por lo tanto, este modelo no proporcionará unas estimaciones exactas del impacto que tienen sobre X las variables Y.

No existen indicaciones obvias de este problema en las pruebas estadísticas estándar. En este caso, nos será más útil la experiencia y el conocimiento de la ingeniería del sistema cuyo rendimiento estamos midiendo.

Puede haber casos en los que se sabe que existe una relación con una variable registrada durante el periodo de referencia. Sin embargo, esa variable no ha sido incluida en el modelo porque falta presupuesto para recopilar información durante el periodo demostrativo de ahorro. Esta omisión de una variable relevante deberá hacerse constar y ser justificada en el Plan de Medida y Verificación.

2.10.1.3 Inclusión de Variables Irrelevantes

Según EVO (2010), algunas veces los modelos incluyen variables independientes irrelevantes. Si la variable irrelevante no tiene relación (correlación) con las variables relevantes incluidas, el impacto sobre el modelo será mínimo. Sin embargo, si la variable irrelevante está relacionada con otras variables relevantes del modelo, hará que el impacto de las variables relevantes esté sesgado.

Hay que tener precaución en lo que respecta a añadir más variables independientes a un análisis de regresión por el simple hecho de que estén disponibles. Para juzgar la relevancia de las variables independientes se requiere tanto experiencia como intuición. No obstante, el estadístico t es una manera de confirmar la relevancia de las distintas variables independientes incluidas en un modelo. Es necesario tener cierta experiencia en el análisis de energía del tipo de instalación implicada en cualquier programa de Medida y Verificación para determinar la relevancia de las variables independientes.

2.10.1.4 Forma Funcional

De acuerdo a EVO (2010), es posible modelar una relación utilizando una forma funcional incorrecta. Por ejemplo, una relación lineal podría utilizarse de forma incorrecta al modelar una relación física subyacente que no es lineal. Como el consumo de electricidad y la temperatura ambiente tienen tendencia hacia una relación no lineal (a menudo con forma de U) con la temperatura exterior durante un periodo de un año en edificios con calefacción y refrigeración eléctrica. (El uso de electricidad es elevado tanto para temperaturas ambiente bajas como altas, y relativamente bajo a mitad de temporada.) Modelar esta relación no lineal con un único modelo lineal introduciría errores innecesarios. Por el contrario, habrá que derivar modelos lineales distintos para cada estación.

También puede resultar adecuado probar con relaciones de orden más elevado, p.e.,

$$= f X, X^2, X^3$$

El diseñador del modelo necesita evaluar distintas formas funcionales y seleccionar la más adecuada a ellas.

2.10.1.5 Carencia de Datos

Según EVO (2010), los errores también pueden ser debidos a la falta de suficientes datos tanto en términos de cantidad (es decir, pocos puntos de datos) como de tiempo (p.ej. utilizar los meses de verano del modelo e intentar extrapolarlos a los meses de invierno). Los datos utilizados en la modelización deberán ser representativos de la variedad de operaciones que se realizan en la instalación.

El periodo temporal cubierto por el modelo tiene que incluir varias estaciones del año, tipos de utilización, etc. Esto podría implicar la ampliación de los periodos temporales utilizados o el aumento de los tamaños de muestras.

2.10.2 Evaluación de los Modelos de Regresión

De acuerdo con EVO (2010), con el fin de evaluar qué precisión define un modelo de regresión concreto la relación entre consumo de energía y variables independientes, se puede realizar cualquiera de las tres pruebas que se explican a continuación.

2.10.2.1 Coeficiente de Correlación (R²)

Según EVO (2010), el primer paso para evaluar la precisión de un modelo consiste en examinar el coeficiente de correlación, R², que refleja la medida en que un modelo de regresión explica las variaciones observadas en la variable dependiente Y respecto a su valor medio. Expresado matemáticamente, R² es:

$$R^2 = \frac{\text{Variación explicada en}}{\text{Variación total en}}$$

O de forma más explícita:

$$R^2 = \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{\sum Y_i^2}$$

En la que:

= media de los n valores de energía medidos

Y_i = valor real observado (p. ej., medido con un equipo de medida) de energía

= el valor de la energía proyectado por el modelo para un punto de datos en particular utilizando el valor medido de la variable independiente (es decir, obtenido al introducir los valores de X en el modelo de regresión)

Todos los paquetes estadísticos y herramientas de análisis de regresión calculan el valor de R^2 .

El intervalo de valores posibles para R^2 es de 0,0 a 1,0. Un R^2 de 0,0 significa que el modelo no explica ninguna de las variaciones, por lo tanto, el modelo no ofrece ninguna pista para comprender las variaciones en Y (es decir, las variables independientes seleccionadas no ofrecen ninguna explicación sobre cuál es el origen de las variaciones observadas en Y). Por otro lado, un R^2 de 1,0 significa que el modelo explica el 100% de las variaciones observadas en Y, (es decir, el modelo predice Y con una certidumbre total para cualquier conjunto de valores de las variables independientes). Estos valores límites de R^2 no son posibles con datos reales.

En general, cuanto mayor sea el coeficiente de determinación, más posibilidades tendrá el modelo de describir la relación de las variables independientes y la variable dependiente. Aunque no existe ningún estándar universal para un valor mínimo aceptable de R^2 , 0,75 se suele considerar como un indicador razonable de una buena relación causal entre la energía y las variables independientes.

La prueba de R^2 sólo se utilizará a modo de comprobación inicial. Los modelos no tienen que ser aceptados o rechazados basándose únicamente en R^2 . Finalmente, un R^2 bajo indica que una o más variables relevantes no han sido incluidas en el modelo o que su forma funcional (p.e., lineal) no es la adecuada. En este caso, sería lógico considerar otras variables independientes adicionales o una forma funcional distinta.

2.10.2.2 Error Estándar de la Estimación

De acuerdo a EVO (2010), cuando se utiliza un modelo para predecir un valor de la energía (Y) para unas variables independientes dadas, la precisión es medida por el error estándar de la estimación (SE). Esta medida de precisión está incluida en todos los programas de estadística y en las hojas de cálculo estándar.

Una vez que los valores de las variables independientes han sido introducidos en el modelo de regresión para estimar un valor de energía (), se puede calcular una aproximación del intervalo de valores posibles para r como:

$$\hat{Y} \pm t \times SE_{\hat{Y}}$$

En la que:

- \hat{Y} es el valor proyectado de energía (Y) a partir del modelo de regresión
- t es el valor obtenido de las tablas t
- $SE_{\hat{Y}}$ es el error estándar de la estimación (predicción). Se calcula como:

$$SE_{\hat{Y}} = \frac{\sqrt{\sum \hat{Y}^2 - \frac{(\sum \hat{Y})^2}{n}}}{n - p - 1}$$

Donde p es el número de variables independientes de la ecuación de regresión

Esta estadística suele denominarse raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE).

Al dividir el RMSE por el consumo medio de energía se obtiene el coeficiente de variación de RMSE o el CV (RMSE).

$$CV \text{ RMSE} = \frac{SE_{\hat{Y}}}{\bar{Y}}$$

Una medida parecida es el error medio de sesgo (MBE) que se define como:

$$M \ E = \frac{\sum \hat{Y} - \sum Y}{n}$$

El MBE es un buen indicador del sesgo global en la estimación de regresión. Un MBE positivo indica que las estimaciones de la regresión tienden a sobrevalorar los valores

reales. Un sesgo global positivo tiende a cancelar el sesgo negativo. El RMSE no presenta este problema de cancelación.

Las tres medidas son susceptibles de ser utilizadas al evaluar la calibración de los modelos de simulación utilizados con la Opción D.

2.10.2.3 Estadístico - t

Según EVO (2010), dado que los coeficientes de los modelos de regresión (b_k) son estimaciones estadísticas de la verdadera relación que existe entre una variable X e Y, están sujetos a la variación. La precisión de la estimación es medida por el error estándar del coeficiente y el valor asociado del estadístico t.

Un estadístico t es una prueba estadística que sirve para determinar si una estimación es estadísticamente significativa. Cuando ya se ha estimado un valor con la prueba, puede compararse con los valores críticos respecto a una tabla t.

El error estándar de cada coeficiente es calculado con un programa informático de regresión. La siguiente ecuación se aplica en el caso de una variable independiente.

$$SE_b = \frac{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{n - 2}}{\sum (X - \bar{X})^2}$$

Cuando hay más de una variable independiente, la ecuación ofrece una aproximación razonable cuando las variables independientes son realmente independientes (es decir, no están correlacionadas). De lo contrario, la ecuación será demasiado compleja y el analista de Medida y Verificación tendrá que utilizar un programa para calcular los errores estándar de los coeficientes.

El intervalo dentro del cual cae el valor verdadero del coeficiente b se encuentra con la ecuación:

$$b \pm t \times SE_b$$

El error estándar del coeficiente, b , también lleva al cálculo del estadístico t . Esta prueba determina, en último término, si el coeficiente calculado es estadísticamente significativo o si se trata simplemente de un cálculo aleatorio. El estadístico t se calcula con programas estadísticos con la siguiente ecuación:

$$t_{\text{estatico}} = \frac{b}{SE_b}$$

Cuando ya está estimado el estadístico t , se puede comparar con los valores críticos de t de la Tabla. Si el valor absoluto del estadístico t supera el número adecuado de la Tabla, entonces deberá concluirse que la estimación es estadísticamente válida.

Por regla general, el valor absoluto de un resultado del estadístico t igual a 2 o más implica que el coeficiente estimado es significativo respecto a su error estándar y que, por lo tanto, existe una relación entre Y y una X concreta relacionada con el coeficiente. Puede concluirse entonces que el valor de b estimado no es igual a cero. Sin embargo, con un estadístico t de casi 2, la precisión en el valor del coeficiente es de alrededor de $\pm 100\%$: demasiado impreciso como para confiar en el valor de b . Para obtener una mejor precisión de, por ejemplo, el $\pm 10\%$, los valores del estadístico t deberán rondar el 10 o el error estándar de b no puede ser superior al 0,1 de b .

Para mejorar el resultado del estadístico t :

- Seleccione las variables independientes que tengan una relación más estrecha con la energía;
- Seleccione las variables independientes cuyos valores abarcan el intervalo más amplio posible (si X no varía en absoluto en el modelo de regresión, b no podrá ser estimado y el estadístico t será malo);
- Reúna y utilice más puntos de datos para desarrollar el modelo; o

- Seleccione una forma funcional distinta para el modelo; por ejemplo, escoja una que determine por separado los coeficientes para cada estación del año si se trata de un edificio al que los cambios climáticos de cada estación le afectan de forma importante.

2.11 Muestreo

De acuerdo a EVO (2010), el muestreo genera errores porque no se miden todas las unidades en estudio. La situación de muestreo más sencilla es aquella en la que se seleccionan aleatoriamente n unidades de un conjunto total de N unidades. En una muestra aleatoria, cada unidad tiene la misma probabilidad (n/N) de ser incluida en la muestra.

En general, el error estándar es inversamente proporcional a \sqrt{n} . Esto es, un incremento del tamaño de muestra equivalente a un factor “ f ” reducirá el error estándar (mejora de la precisión de la estimación) en un factor de \sqrt{f} .

2.11.1 Determinación del Tamaño de la Muestra

Según EVO (2010), se puede minimizar el error de muestreo incrementando la fracción de la población de la que se toma la muestra (n/N), aunque aumentar el tamaño de muestra supone, por supuesto, un incremento de los costos. Hay varias cuestiones clave a la hora de optimizar los tamaños de muestra.

Para configurar el tamaño de muestra, hay que seguir los pasos siguientes.

1. **Seleccione una población homogénea.** Para que el muestreo resulte costo-efectivo, las unidades medidas deberían ser las mismas que la población al completo. Si existen dos tipos distintos de unidades en la población, deberán agruparse por separado y distinguir entre ellos al tomar la muestra. Por ejemplo, cuando se diseña un programa de muestreo para medir los periodos operativos de la iluminación de salas controladas por

sensores de presencia, la muestra de las salas que estén ocupadas más o menos continuamente (e. g., oficinas con muchas personas) deberá tomarse aparte de la muestra de las salas que sólo están ocupadas de vez en cuando (e. g., salas de reuniones).

2. Determinar la precisión deseada y los niveles de confianza de la estimación (p. ej., horas de uso) que se incluirán en el informe. La precisión se refiere al error que va ligado a la estimación verdadera (es decir, $\pm x\%$ de intervalo respecto a la estimación).

Una mayor precisión requiere una muestra más grande. La confianza se refiere a la probabilidad de que la estimación caiga dentro del intervalo de precisión (es decir, la probabilidad de que la estimación caiga realmente en el intervalo $\pm x\%$ definido por la declaración de precisión). Una probabilidad más elevada requiere también muestras más grandes. Por ejemplo, si quiere tener un 90% de confianza y un $\pm 10\%$ de precisión, quiere decir que el intervalo definido para la estimación ($\pm 10\%$) contendrá el verdadero valor para todo el grupo (que no es observado) con una probabilidad del 90%. A modo de ejemplo, al estimar las horas de iluminación de una instalación, se decidió utilizar un muestreo porque resultaba demasiado caro medir las horas de funcionamiento de todos los circuitos de iluminación. La medida de una muestra de los circuitos proporcionó una estimación de las horas reales de funcionamiento. Para satisfacer un criterio de incertidumbre de 90/10 (confianza y precisión) el tamaño de muestra se determina de tal manera que, una vez que se han estimado las horas de funcionamiento mediante el muestreo, el intervalo de la estimación de muestra ($\pm 10\%$) debe tener un 90% de posibilidades de capturar las horas de uso verdaderas. El enfoque convencional es diseñar una muestra que logre un nivel de confianza del 90% y una precisión de $\pm 10\%$.

Sin embargo, el Plan de Medida y Verificación tiene que considerar los límites que establece el presupuesto. Mejorar la precisión de, digamos, un $\pm 20\%$ a un $\pm 10\%$ incrementará 4 veces el tamaño de muestra, y mejorarla hasta un $\pm 2\%$, lo incrementará 100 veces. (Esto es

una consecuencia de que el error de la muestra es inversamente proporcional a \sqrt{n}). La selección de unos criterios de muestreo adecuados requiere mantener un equilibrio entre los requisitos de precisión y los costos de Medida y Verificación.

3. Decidir el nivel de desagregación. Establecer si hay que aplicar a la medida de todos los componentes o a diversos subgrupos de componentes los criterios de nivel de confianza y precisión.

4. Calcular el tamaño de muestra inicial. Basándonos en la información anterior, con la siguiente ecuación se puede determinar una estimación inicial del tamaño de la muestra respecto al total:

$$n_0 = \frac{z^2 * cv^2}{e^2}$$

En la que:

- n_0 es la estimación inicial del tamaño de muestra necesario, antes de comenzar el muestreo
- cv es el coeficiente de varianza, que se define como la desviación estándar de las lecturas dividida por la media. Hasta que pueda estimarse la media real y la desviación estándar de la población a partir de las muestras reales, se utilizará 0,5 como estimación inicial para el cv .
- e es el nivel deseado de precisión.
- z es el valor de distribución normal estándar respecto a la Tabla anterior, con un número infinito de lecturas y para el nivel de confianza deseado. Por ejemplo, z es 1,96 para un nivel de confianza del 95% (1,64 para el 90%, 1,28 para el 80% y 0,67 para el 50% de confianza).

Por ejemplo, para un 90% de confianza con el 10% de precisión y un cv de 0,5, la estimación inicial del tamaño de muestra necesario (n_0) es:

$$n_0 = \frac{1.64^2 \times 0.5^2}{0.1^2} = 67$$

En algunos casos (p.ej., la medida de las horas de iluminación o consumo), sería aconsejable tomar primero una pequeña muestra con el único propósito de estimar un valor de cv para ayudar a planificar el programa de muestreo. Asimismo, pueden utilizarse valores de un trabajo de Medida y Verificación anterior como estimaciones iniciales del cv.

5. Ajustar la estimación inicial del tamaño de muestra para grupos de datos pequeños. El tamaño de muestra necesario puede reducirse si el grupo de datos completo del que se va a tomar la muestra no es 20 veces superior al tamaño de muestra. En el ejemplo del tamaño de muestra inicial, más arriba, ($n_0 = 67$), si el grupo de datos (N) del que se extraerá la muestra es sólo de 200, el grupo de datos tiene sólo 3 veces el tamaño de la muestra.

Por lo tanto, puede aplicarse el Ajuste de población finita. Este ajuste reduce el tamaño de muestra (n) como sigue:

$$n = \frac{n_0 N}{n_0 + N}$$

Aplicar este ajuste de población finita al ejemplo de arriba provoca una reducción del tamaño de muestra (n) que es necesario para satisfacer el criterio de 90%/±10% a 50.

Dado que el tamaño de muestra inicial (n_0) se determina mediante un cv supuesto, es crucial recordar que el cv real de la población de la que se extrae la muestra podría ser distinto. Así pues, se necesitaría un tamaño de muestra real distinto para cumplir el criterio de precisión. Si el cv real acaba siendo inferior al supuesto inicial del paso 4, el tamaño de muestra requerido será innecesariamente grande como para cumplir

los objetivos de precisión. Si el *cv* acaba siendo más grande de lo que se había supuesto, no se logrará el objetivo de precisión si el tamaño de muestra no aumenta por encima del valor calculado en las ecuaciones.

A medida que continúa el muestreo, deberá calcularse la media y la desviación estándar de las lecturas. Deberá volverse a calcular el *cv* real y el tamaño de muestra requerido.

Este nuevo cálculo podría permitir un cese temprano del proceso de muestreo. También podría conducir a la necesidad de realizar un muestreo más grande de lo que se había planeado en un principio. Para mantener los costos de Medida y Verificación dentro del presupuesto, sería adecuado establecer un tamaño de muestra máximo. Si este máximo se alcanza después de volver a realizar los cálculos, el (los) informe(s) de *ahorro* deberá(n) recoger la precisión real lograda por el muestreo.

2.12 Medición del Equipo de Medida

De acuerdo a EVO (2010), las cantidades de energía y las variables independientes suelen ser medidas por medio de los equipos de medida como parte de un programa de Medida y Verificación. Ningún equipo de medida ofrece una precisión del 100%, aunque los más sofisticados podrían acercarse mucho a este porcentaje. La precisión de los equipos de medida seleccionados la indica el propio fabricante y ha sido establecida mediante pruebas de laboratorio. Elegir una cantidad en el equipo de medida adecuado, para el intervalo de cantidades a medir, garantiza que los datos recogidos entran dentro de unos límites de error conocidos y razonables (o precisión).

Los fabricantes ofrecen una clasificación de la precisión que consiste bien en una fracción de la lectura actual o también en una fracción de la lectura máxima de la escala del equipo de medida. En este último caso, es importante tener en cuenta los casos en que las

lecturas típicas caen dentro de la escala del equipo de medida antes de calcular la precisión de las lecturas típicas. Colocar demasiados equipos de medida cuya precisión se indique en relación con la lectura máxima reducirá significativamente la precisión de la medida real.

Las lecturas de muchos equipos de medida van perdiendo precisión a medida que pasa el tiempo debido al desgaste de los equipos. Es necesario calibrarlos periódicamente empleando algún estándar conocido. Es importante mantener la precisión de los equipos de medida instalados mediante un proceso rutinario de mantenimiento y calibración que utilice estándares conocidos.

Además de la precisión del elemento equipo de medida, existen otros efectos desconocidos que pueden reducir la precisión del sistema:

- Una ubicación inadecuada del equipo de medida no permite obtener una visión representativa de la cantidad a medir (p.ej. la lectura realizada con un caudalímetro se ve influenciada por la proximidad de un codo en la tubería)
- Errores en la tele-medida de los datos recortando los datos de medidas de forma aleatoria o sistemática.

Como resultado de estos errores no cuantificables, es importante tener en cuenta que, probablemente, la precisión declarada por el fabricante es superior a la precisión de las lecturas reales efectuadas sobre el terreno. En cualquier caso, no existe ninguna forma de cuantificar estos efectos.

La precisión declarada por el fabricante debe cumplir con el estándar vigente para ese producto. Habrá que prestar atención a la determinación del grado de confianza empleado para declarar la precisión de un equipo de medida. A menos que se especifique lo contrario, es probable que la confianza sea del 95%.

Cuando al calcular el ahorro se utiliza sólo una medida en lugar de la media de varias mediciones, se utilizarán los métodos del Apéndice B-5 para combinar las incertidumbres de varios componentes. El error estándar del valor medido es de:

$$SE = \frac{\text{precisión relativa del medidor} \times \text{valor medido}}{t}$$

Donde t se basa en el gran muestreo realizado por el fabricante del equipo de medida al formular la precisión relativa del mismo. Por lo tanto, el valor de t de la Tabla deberá ser para infinitos tamaños de muestra.

Cuando se realizan varias lecturas con un equipo de medida, los valores observados contienen tanto errores del equipo de medida como variaciones en el fenómeno que va a ser medido. La media de las lecturas asimismo contiene ambos efectos. El error estándar del valor medio estimado de las mediciones se obtiene con la ecuación.

2.13 Combinación de Elementos de Incertidumbre

Según EVO (2010), tanto los componentes de medida como los de ajuste de la ecuación pueden introducir incertidumbre a la hora de informar sobre el ahorro. Pueden combinarse las incertidumbres de los componentes individuales para poder hacer declaraciones generales de la incertidumbre del ahorro. Esta combinación puede realizarse mediante la expresión de la incertidumbre de cada componente en términos de su error estándar.

Los componentes deben ser independientes con el fin de utilizar los siguientes métodos para combinar las incertidumbres. La independencia significa que sean cuales sean los errores aleatorios que afectan a uno de los componentes no estarán relacionados con los errores que afectan a otros componentes.

Si el ahorro reportado es la suma o diferencia de varios componentes determinados de forma independiente (C) (es decir $Ahorro = C_1 \pm C_2 \pm \dots \pm C_p$), entonces el error estándar del ahorro reportado puede estimarse mediante:

$$SE \text{ Ahorro} = \sqrt{SE C_1^2 + SE C_2^2 + \dots + SE C_p^2}$$

Por ejemplo, si el ahorro se calcula utilizando la ecuación como la diferencia entre la energía de referencia ajustada y la energía medida en el periodo cubierto por el informe, el error estándar de la diferencia (ahorro) se calcula como:

$$SE \text{ Ahorro} = \sqrt{SE \text{ curva base ajustada}^2 + SE \text{ período demostrativo}^2}$$

SE (referencia ajustada) procede del error estándar de la estimación derivada de la ecuación (energía del periodo cubierto por el informe) procede de la precisión del equipo de medida utilizando la ecuación.

Si la estimación del ahorro reportado es el producto de varios componentes determinados de forma independiente (C_i) (p.ej., $Ahorro = C_1 * C_2 * \dots * C_p$), entonces el error estándar relativo del ahorro se obtiene aproximadamente de:

$$\frac{SE \text{ Ahorro}}{\text{Ahorro}} \approx \frac{SE C_1^2}{C_1^2} + \frac{SE C_2^2}{C_2^2} + \dots + \frac{SE C_p^2}{C_p^2}$$

Un buen ejemplo de esta situación es la determinación del ahorro en iluminación como:

$$\text{Ahorros} = \Delta \text{ Potencia} \times \text{horas}$$

Si el Plan de Medida y Verificación requiere la medida de las horas de uso, entonces horas será un valor con un error estándar. Si el Plan de Medida y Verificación incluye también la medida del cambio de vatios, entonces vatios también será un valor con un error

estándar. El error estándar relativo del ahorro será calculado empleando la fórmula anterior de la manera siguiente:

$$\frac{SE \text{ Ahorro}}{\text{Ahorro}} = \frac{\frac{SE \Delta \text{Potencia}}{\Delta \text{Potencia}}^2 + \frac{SE h}{h}^2}{}$$

Cuando se suma el total de unos resultados de ahorro y todos presentan el mismo error estándar, el ahorro total reportado tendrá un error estándar calculado con la ecuación:

$$\begin{aligned} \text{total SE Ahorro} &= \sqrt{SE \text{ ahorro}_1^2 + SE \text{ ahorro}_2^2 + \dots + SE \text{ ahorro}_N^2} \\ &= \sqrt{N} \times SE \text{ Ahorro} \end{aligned}$$

Donde N es el número de resultados de ahorro con el mismo error estándar que se añaden conjuntamente.

Una vez que el error estándar del ahorro ha sido determinado mediante los procedimientos anteriores, es posible realizar declaraciones adecuadas y concluyentes sobre la cantidad relativa de incertidumbre inherente en el ahorro, utilizando las fórmulas matemáticas de la curva de distribución normal estándar. Por ejemplo, se pueden calcular tres valores:

1. la precisión absoluta o relativa del ahorro total, para un nivel dado de confianza (p. ej., 90%), calculado con el valor correspondiente de t de la Tabla 1 y la ecuación, respectivamente.
2. Error probable (PE), definido como el intervalo de confianza del 50%. El error probable representa la cantidad de error que es más probable que ocurra. Es decir, es igualmente probable que el error sea más grande o más pequeño que el PE. La Tabla 1 muestra que un nivel de confianza del 50% se consigue cuando $t = 0,67$ para tamaños de muestra superiores a 30 o 0,67 errores estándar respecto al valor medio.

De modo que el intervalo de *error probable* en el *ahorro* reportado utilizando la ecuación es de $\pm 0,67 \times SE (Ahorro)$.

3. El límite de confianza del 90% (CL), definido como el intervalo donde tenemos una certeza del 90% de que los efectos aleatorios no produjeron la diferencia observada. Con la Tabla 1 y utilizando la ecuación, CL es $\pm 1,64 * SE(Ahorro)$ para tamaños de muestra superiores a 30.

2.13.1 Evaluación de las Interacciones entre los distintos Componentes de la incertidumbre

De acuerdo a EVO (2010), las ecuaciones para combinar componentes de incertidumbre sirven para estimar cómo los errores que registre uno de ellos afectarán al informe demostrativos de ahorro total.

Los recursos de Medida y Verificación pueden ser diseñados para reducir de forma costo-efectiva el error de ahorro reportado. Se trataría de tener en cuenta los costos y los efectos que tiene sobre la precisión del ahorro las mejoras introducidas en la precisión de cada componente.

Los programas informáticos de hojas de cálculo más habituales permiten evaluar de forma sencilla el error neto que va asociado con la combinación de los diversos componentes de la incertidumbre, empleando para ello las técnicas Monte Carlo. El análisis Monte Carlo permite evaluar diversos escenarios del tipo qué pasa si y revelar una serie de resultados posibles, la probabilidad de que sucedan y qué componente tiene más efecto sobre el resultado final. Este análisis identifica dónde deben situarse los recursos para controlar el error.

El análisis “qué pasa si” que se muestra a continuación es un ejemplo sencillo en el que se utiliza una medida de eficiencia energética de iluminación. Un dispositivo de

iluminación de 96 W nominales es sustituido por otro de 64. Si el dispositivo funciona durante 10 h al día, el ahorro anual se calcularía de la manera siguiente:

$$\text{Ahorros Anuales} = \frac{96 - 64 \times 10 \times 365}{1,000} = 117\text{kWh.}$$

El nuevo dispositivo de 64 W es coherente y puede medirse con precisión. Sin embargo, hay bastante variación entre los vatios de los dispositivos antiguos y entre las horas de uso en lugares distintos. Los vatios de los dispositivos antiguos y las horas de uso no pueden medirse con total certeza.

Por lo tanto, tampoco se podrá estar completamente seguro del ahorro. El reto para el diseño de la Medida y Verificación consiste en determinar el impacto en el ahorro reportado si la medida de cualquiera de estas cantidades inciertas es errónea mediante cantidades probables.

En la Figura 6 se muestra un análisis de sensibilidad del ahorro para los dos parámetros: vatios de los dispositivos antiguos y horas de uso. Se ha variado cada uno hasta un 30% y se muestra el impacto que esto tiene sobre el ahorro. Se puede ver que el ahorro es significativamente más sensible a la variación en el vatios de los dispositivos antiguos que a la variación de las horas de uso.

Un error del 30% en el vatios provoca un error de ahorro del 90%, mientras que un error del 30% en las horas de funcionamiento causa solamente un error de ahorro del 30%.



Figura 6. Ejemplo de análisis de sensibilidad – Ahorro de energía en iluminación

Si el método propuesto de Medida y Verificación va a obtener lecturas de la potencia de los dispositivos antiguos con un intervalo de incertidumbre de $\pm 5\%$, el intervalo de la incertidumbre del ahorro de electricidad será del $\pm 15\%$. En otras palabras, si la potencia del dispositivo antiguo estuviera entre 91 W y 101 W, el ahorro podría estar entre 99 kWh/año y 135 kWh/año. El intervalo de incertidumbre sobre el ahorro es de 36 kWh (135 - 99) kWh/año. Si el valor marginal de la electricidad es de 10 cent/kWh, el intervalo de incertidumbre es de alrededor de 3,60 \$/año. Si se pudiera estimar con más precisión la potencia del dispositivo antiguo para un valor significativamente inferior a 3,60 \$, entonces merecería la pena hacer un esfuerzo por mejorar las mediciones, dependiendo del número de años de ahorro que se considere.

La Figura 6 muestra que el elemento de las horas de uso tiene menos impacto sobre el ahorro final en este ejemplo (la línea de horas de uso es más plana, lo que indica una menor sensibilidad). Es probable que el error en la medida de las horas de funcionamiento sea de

$\pm 20\%$, de modo que el intervalo de incertidumbre del ahorro energético será también de $\pm 20\%$ o ± 23 kWh (= 20% de 117 kWh). El intervalo en el ahorro es de aproximadamente 46 kWh (= $2 * 23$ kWh), que equivale a 4,60 \$/año. De nuevo, podría garantizarse un incremento de la precisión de medida de las horas de uso si puede lograrse con mucho menos de 4,60 \$, dependiendo del número de años de ahorro a considerar.

El intervalo de posibles errores de ahorro provocados por errores de medida de las horas de funcionamiento (46 kWh) es mayor que el provocado por los errores de medida de la potencia de los dispositivos antiguos (36 kWh). Se trata del efecto contrario que podría esperarse si nos basamos en la mayor sensibilidad del ahorro respecto a la potencia que respecto a las horas de uso, como se muestra en la *Figura 06*. Esta diferencia surge del hecho de que el error probable de la medida de las horas de funcionamiento ($\pm 20\%$) es mucho mayor que el error probable de medir la potencia de los dispositivos antiguos ($\pm 5\%$).

Un análisis de sensibilidad como el anterior puede adoptar diversas formas. El sencillo ejemplo anterior nos sirve para enseñar los principios básicos. La simulación Monte Carlo permite hacer una consideración compleja de varios parámetros distintos, lo que permite al diseño de Medida y Verificación concentrarse en los puntos que necesitan una inversión mayor si se quiere mejorar la precisión general de los informes demostrativos de ahorro.

2.13.2 Establecimiento de Objetivos para la Cuantificación de la Incertidumbre del Ahorro

Según EVO (2010), Como ya se discutió, no todas las incertidumbres pueden ser cuantificadas. Sin embargo, las que sí pueden serlo dentro del Plan de Medida y Verificación ofrecen un guía para su cuantificación. Considerando el costo de Medida y Verificación de las distintas opciones de determinación de la incertidumbre, el Plan de Medida y Verificación puede producir una información entendible para cualquier lector de los informes

demostrativos de ahorros, incluido para aquellos para los que tienen que pagar por informes de Medida y Verificación. En última instancia, cualquier Plan de Medida y Verificación deberá informar del nivel esperado de incertidumbre cuantificable.

La determinación del ahorro de energía requiere estimar una diferencia en los niveles de energía, en lugar de simplemente medir el nivel de energía en sí mismo. En general, calcular una diferencia para que encaje con un criterio objetivo de precisión relativa requiere una mejor precisión absoluta en las mediciones de los componentes que la precisión absoluta requerida para la diferencia. Por ejemplo, supongamos que la potencia media demandada es de alrededor de 500 kW y que la reducción de la potencia se encuentra en torno a los 100 kW. Se puede aplicar un criterio de error de $\pm 10\%$ con el 90% de confianza (90/10) de dos formas:

- Si se aplica, a las mediciones de la potencia, la precisión absoluta debe ser de 50 kW (el 10% de 500 kW) con una confianza del 90%.

- Si se aplica al ahorro reportado, la precisión absoluta en el ahorro deberá ser de 10 kW (el 10% de 100 kW) con el mismo nivel de confianza del 90%. Para conseguir estos 10 kW de precisión absoluta en el ahorro reportado se necesitan unas precisiones absolutas de los componentes de medida de 7 kW (con la ecuación B-14, si ambos componentes tienen que tener la misma precisión).

Queda claro, pues, que la aplicación del criterio 90/10 confianza/precisión en el nivel de ahorro requiere mucha más precisión en la medida de la potencia que un requisito de 90/10 al nivel de la potencia.

El criterio de precisión podría aplicarse no sólo al ahorro de energía, sino también a los parámetros que determinan el ahorro. Por ejemplo, suponga que la cantidad de ahorro es el producto del número (N) de unidades, de horas (h) de funcionamiento y la reducción de potencia (C) en vatios:

$$\text{Ahorro} = N * h * C$$

El criterio 90/10 podría aplicarse por separado a cada uno de estos parámetros. No obstante, lograr una precisión 90/10 para cada uno de estos parámetros por separado no implica que se consiga el 90/10 para el ahorro, que es el parámetro de más importancia. De hecho, con la ecuación, la precisión con el 90% de confianza sería solamente de $\pm 17\%$. Por otra parte, si se supone que conocemos el número de unidades y la reducción de potencia en vatios, la precisión 90/10 para horas implica el 90/10 de precisión para el ahorro.

El estándar de precisión podría imponerse en varios niveles. La elección del nivel de desagregación afecta mucho al diseño de Medida y Verificación y a los costos asociados. En general, los requisitos de la recogida de datos aumentarán si se imponen requisitos de precisión a cada componente. Si el objetivo principal es controlar la precisión del ahorro para un proyecto en conjunto, no es necesario imponer el mismo requisito de precisión en cada componente.

2.14 Ejemplo de Análisis de Incertidumbre

De acuerdo con EVO (2010), para ilustrar el uso de varias herramientas estadísticas en el análisis de incertidumbre, a continuación, se muestra un ejemplo del resultado de un modelo de regresión elaborado con una hoja de cálculo. Se trata de una regresión de los valores de consumo eléctrico medidos con el equipo de medida de la empresa de suministro durante 12 meses en un edificio, así como de los valores de *grados-día* (CDD) de refrigeración durante un periodo de un año. Se trata de una parte del resultado obtenido con una hoja de cálculo. Los valores de interés aparecen resaltados en cursiva.

RESUMEN DE RENDIMIENTO

Estadísticas de Regresión

R. Múltiple 0.97

<i>R. Cuadrado</i>	0.93
R. Cuadrado Ajustado	0.92
<i>Error Estándar</i>	367.50
Observaciones	12.00

	Coefficientes	Error Estándar	Estadístico t	Inferior al 95%	Superior al 95%
Intercepción	5,634.15	151.96	37.08	5,295.56	5,972.74
CDD	7.94	0.68	11.64	6.42	9.45

Para una referencia de 12 puntos de datos mensuales de kW.h y CDD, el modelo de regresión derivado es:

$$\text{Consumo de electricidad mensual} = 5,634.15 + (7.94 \times \text{CDD})$$

El valor del coeficiente de regresión, R^2 , es bastante elevado, 0,93, lo que indica que el 93% de la variación en los 12 puntos de datos de energía es explicado por el modelo que utiliza los datos de CDD. Este hecho implica una relación muy estrecha y que el modelo podría servir para estimar los elementos de ajuste en la forma adecuada de la ecuación.

El coeficiente estimado de 7,94 kWh por CDD tiene un error estándar de 0,68. Este SE conduce a un estadístico t de 11,64. Luego, este estadístico t es comparado con el valor de t crítico adecuado en la Tabla B-1 ($t = 2,2$ para 12 puntos de datos y un 95% de confianza).

Debido a que 11,64 es mayor que 2,2, el CDD es una variable independiente muy significativa. La hoja de cálculo muestra también que el intervalo para el coeficiente en el

95% de nivel de confianza es de entre 6,42 y 9,45, e implica una precisión relativa de $\pm 19\%$ ($= (7,94 - 6,42) / 7,94$).

En otras palabras, tenemos un 95% de confianza en que cada CDD adicional incrementa el consumo de kWh entre 6,42 kWh y 9,45 kWh.

El error estándar de la estimación utilizando la fórmula de regresión es de 367,5. La media mensual de CDD es de 162 (no aparece en los resultados). Para predecir el consumo eléctrico que se hubiera producido en unas condiciones medias de refrigeración, por ejemplo, se introduce este valor de CDD en el modelo de regresión:

$$\begin{aligned} \text{Consumo proyectado} &= 5,634 + (7,94 \times 162) \\ &= 6,920 \text{ kWh por la media de grados-día de refrigeración al mes} \end{aligned}$$

Con un valor de t de 2,2, para 12 puntos de datos y un 95% de confianza, el intervalo de las posibles predicciones es de:

$$\text{Intervalo de predicciones} = 6,920 \pm (2,2 \times 367,5) = 6,112 \text{ to } 7,729 \text{ kWh.}$$

La precisión absoluta es de aproximadamente ± 809 kWh ($= 2,2 * 367,5$) y la precisión relativa es de $\pm 12\%$ ($= 809 / 6.920$). El valor descrito por la hoja de cálculo para el error estándar de la estimación proporcionó la información necesaria para calcular la precisión relativa esperada respecto del consumo del modelo de regresión para cualquier mes, en este caso del 12%.

Si el consumo del periodo demostrativo de ahorro fue de 4.300 kWh, el ahorro calculado será de:

$$\text{Ahorro} = 6,920 - 4,300 = 2,620 \text{ kWh}$$

Dado que el equipo de medida de la empresa de suministro se utilizó para obtener el valor de la electricidad del periodo demostrativo de ahorro, sus valores reportados podrían considerarse como precisos al 100% (SE = 0%), ya que el equipo de medida define las cantidades pagadas, independientemente del error del equipo de medida. El SE del ahorro será:

$$SE(\text{ahorro mensual}) = \sqrt{SE(\text{curva de referencia ajustada})^2 + SE(\text{informe de consumo periodico})^2}$$

$$SE \text{ ahorro mensual} = \sqrt{367.5^2 + 0^2} = 367.5$$

Empleando una t de 2,2, el intervalo del posible ahorro mensual es de:

$$\begin{aligned} \text{Intervalo de ahorro} &= 2,620 \pm (2.2 \times 367.5) \\ &= 2,620 \pm 809 = 1,811 \text{ to } 3,429 \end{aligned}$$

Para determinar la precisión del total anual del ahorro mensual, se supone que el error estándar del ahorro de cada mes será el mismo. El ahorro anual reportado tiene un error estándar de:

$$SE \text{ ahorro anual} = \sqrt{2 \times 367.5^2} = 1,273 \text{ kWh}$$

Dado que t se deriva del modelo de la referencia, sigue teniendo el mismo valor de 2,2 que tiene arriba.

Así pues, la precisión absoluta del ahorro anual es de $2,2 * 1.273 = 2.801$ kWh/año. Suponiendo un ahorro igual en todos los meses de 2.620 kWh, el ahorro anual será de 31.440 kWh y la precisión relativa del informe de ahorro anual es.

$$\left(\frac{\text{precisión relativa del informe de ahorro anual}}{\text{informe de ahorro anual}} \right) = \frac{2.801}{31.440} \times 100 = 9\%$$

3. METODOLOGÍA

La metodología a seguir considera una adaptación del protocolo internacional de medición y verificación del desempeño (IPMVP).

3.1 Introducción

Según EVO (2010), el ahorro de energía no se puede medir de forma directa ya que representa la ausencia del consumo de energía. Por ese motivo, el ahorro se determina comparando el consumo, o la demanda, antes y después de la implementación de un proyecto

de eficiencia energética, al tiempo que se realizan los ajustes necesarios según la variación de las condiciones iniciales.

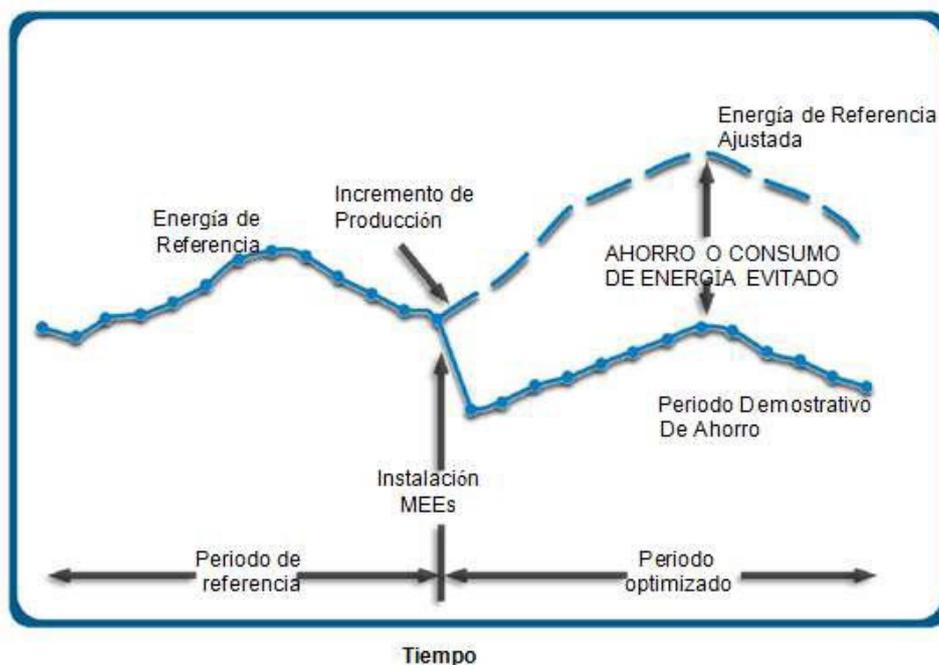


Figura 7. Uso de Energía y Ahorro de Energía

Como ejemplo del proceso para determinar el ahorro, la Fig. 7 presenta el histórico del consumo de energía de una caldera industrial antes y después de la implantación de una medida de mejora de la eficiencia energética (MMEE) para recuperar el calor de los gases de escape. Justo en el momento de la implantación de la MMEE la producción de la planta aumentó.

Para valorar de forma adecuada el impacto de la MMEE, su impacto energético tiene que ser separado del efecto provocado por el aumento de la producción. Para ello se realizó un estudio del patrón de consumo, la energía de referencia, antes de implantar la MMEE, para determinar la relación existente entre el consumo de energía y la producción. Tras implantar la MMEE esta relación de referencia se utilizó para estimar la cantidad mensual de energía que habría consumido la caldera si no se hubiera implementado la MMEE, denominada energía de referencia ajustada. El ahorro o el consumo de energía evitado es la diferencia entre

la energía de referencia ajustada y la energía que realmente se midió durante el periodo demostrativo de ahorro.

Si no se realizan ajustes en función de las variaciones de la producción, la diferencia entre la energía de referencia y la energía del periodo demostrativo de ahorro sería mucho menor, lo que supondría que en el informe no se reflejaría todo el efecto provocado por la recuperación de calor.

Es necesario separar el efecto que tienen sobre el consumo de energía un proyecto de eficiencia energética, del efecto que generan otros cambios que se producen de manera simultánea, y que repercuten en los equipos que consumen energía. La comparación del consumo de energía antes y después se tiene que realizar de forma adecuada utilizando la siguiente ecuación:

$$\left(\begin{array}{c} \text{ahorro de} \\ \text{energía} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Energía Periodo} \\ \text{de Referencia} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Energía Periodo} \\ \text{Demostrativo} \end{array} \right) \pm \text{Ajustes}$$

En esta ecuación el elemento ajustes se emplea para reformular el consumo del periodo de referencia y del periodo demostrativo de ahorro bajo un conjunto de condiciones similares. El elemento ajustes diferencia los informes demostrativos de ahorros veraces de lo que sería una simple comparación de consumo, antes y después de la implementación de una MMEE. La simple comparación de costos sin ajustes sólo recogería la variación del costo y no lograría reflejar el rendimiento real del proyecto. Para mostrar de forma adecuada el ahorro, los ajustes deben tener en cuenta las diferencias entre las condiciones del periodo de referencia y del periodo demostrativo de ahorro.

En resumen, este capítulo define la metodología básica para realizar la actividad de medida y ajustes. Si esta información no resulta suficiente para aclarar todas las cuestiones que puedan surgir en su proyecto, habrá que consultar los principios de Medida y Verificación para obtener más información.

3.2 Terminología relacionada con la Energía, el Agua y la Demanda

De acuerdo a EVO (2010), el proceso para determinar el ahorro de energía es similar al utilizado para determinar el ahorro de agua o de reducción de la demanda. Para simplificar las descripciones, en este documento las palabras en cursiva se utilizarán en el sentido de consumo de energía, agua o demanda. De forma parecida, el término medida de mejora de la eficiencia energética (*MMEE*) se referirá, en general, a las medidas implantadas para mejorar la eficiencia o el ahorro de la energía, agua, o reducción de la demanda.

3.3 El Proceso de Diseño y Elaboración de los Informes de Medida y Verificación

Según EVO (2010), el proceso de elaboración y diseño de los Planes de Medida y Verificación es paralelo al proceso de diseño e implementación de las *MMEE*.

El proceso de Medida y *Verificación* tiene que tener en cuenta los siguientes pasos:

1. Necesidades por parte del usuario de los informes de Medida y *Verificación planificados*. Si el usuario quiere controlar el costo total de la instalación, los métodos más adecuados son los de *Toda la Instalación*. Si el usuario se centra en una *MMEE* concreta, las técnicas más adecuadas serán las de *Verificación* aislada de la *MMEE*.

2. Al desarrollar las *MMEE* hay que seleccionar la Opción del IPMVP que resulte más adecuada, en función del alcance de la *MMEE*, la *precisión* requerida y el presupuesto de la Medida y *Verificación*. Hay que decidir si se realizarán ajustes de todos los consumos de energía en base a las condiciones del *periodo demostrativo de ahorro* o respecto a algún otro conjunto de condiciones. También hay que decidir la duración del *periodo de referencia* y del *periodo demostrativo de ahorro*. (Estas decisiones fundamentales se tienen que plasmar por escrito en el contrato de rendimiento energético).

3. Recopilar toda la información correspondiente a los consumos de energía y a las operaciones del *periodo de referencia* y registrarlos de forma que puedan ser consultados en el futuro.

4. Preparar un *Plan de Medida y Verificación* que contenga el resultado de los anteriores pasos del 1 al 3. Se tienen que definir también los pasos siguientes del 5 al 9.

5. Como parte del diseño e implantación de la *MMEE*, también se tiene que diseñar, instalar, calibrar y poner en servicio cualquier equipo de medida que sea necesario para el desarrollo del Plan de Medida y Verificación.

6. Después de implantar las *MMEE* hay que comprobar los equipos instalados, y revisar los procedimientos operativos, con el objeto de garantizar que se adaptan al propósito de la *MMEE* diseñadas. Este proceso se denomina puesta en servicio.

7. Recopilar toda la información sobre la energía y las operaciones del *periodo demostrativo de ahorro*, como se defina en el *Plan de Medida y Verificación*.

8. Calcular el *ahorro* en términos de *energía* y en términos monetarios, de acuerdo con el *Plan de Medida y Verificación*.

9. Elaborar el informe demostrativo de *ahorro* acordado en el *Plan de Medida y Verificación*.

Los pasos del 7 al 9 se repetirán cada vez que se necesite un informe de ahorro. Un verificador independiente puede comprobar que el *Plan de Medida y Verificación* está basado en el IPMVP, y posiblemente, un Contrato de Rendimiento Energético. Este verificador independiente además puede verificar que los informes demostrativos de *ahorro* cumplen también con lo dispuesto en el *Plan de Medida y Verificación* que se ha aprobado.

En el resto del documento se facilitan todos los detalles para determinar e informar sobre el *ahorro*.

3.4 Límite de Medida

De acuerdo a EVO (2010), el *ahorro* se puede determinar en toda la instalación o solamente en una parte de ella, en función del propósito del informe.

- Si el propósito del informe es gestionar sólo el equipo implicado en el proyecto de eficiencia energética, el límite de medida se establece alrededor de ese equipo. Entonces se podrá determinar toda la información relevante relacionada sobre el consumo de energía de los equipos dentro del límite de medida. Este enfoque se utiliza en las Opciones de Verificación Aislada de la MMEE.
- Si la finalidad del informe es gestionar la eficiencia energética de toda la instalación, para evaluar el ahorro y el rendimiento se puede utilizar el equipo de medida que determine el consumo de toda la instalación. En este caso el límite de medida abarca toda la instalación.
- Si los datos del periodo de referencia o del periodo demostrativo de ahorro son poco fiables, o no están disponibles, cualquier dato sobre el consumo de energía obtenido con un programa de simulación calibrado puede sustituir los datos que faltan, tanto en una parte de la instalación como en toda ella. El límite de medida se puede establecer conforme a cada situación.

Puede suceder que alguna necesidad energética de los sistemas o equipos a evaluar quede fuera de un límite de medida práctico. En cualquier caso, se considerarán todos los efectos sobre los consumos de la energía de las MMEE. Con las mediciones se determinará qué efectos energéticos son significativos, y el resto serán estimados o ignorados.

Cualquier efecto energético que se produzca fuera del límite de medida se denomina efecto cruzado. Hay que intentar buscar la forma de estimar la magnitud de tales efectos cruzados para poder determinar el ahorro. Otra posibilidad consiste en no tenerlos en cuenta,

siempre que el Plan de Medida y Verificación incluya un razonamiento sobre cada uno de los efectos y la magnitud de su posible impacto.

3.5 Selección del Periodo de Medida

Hay que prestar especial atención a la selección del periodo de tiempo que se va a tomar como periodo de referencia y como periodo demostrativo de ahorro. A continuación se plantean diferentes estrategias para definir cada uno de ellos.

3.5.1 Periodo de Referencia

El periodo de referencia se establece con el fin de:

- Representar todos los modos de operación de la instalación. Este periodo tiene que abarcar un ciclo operativo completo, desde el consumo de energía máximo al mínimo.
- Presentar de forma clara todas las condiciones de operación de un ciclo normal de funcionamiento. Por ejemplo: aunque se escoja un año como periodo de referencia, si faltan los datos de un mes, se tiene que incluir los datos de ese mismo mes, pero de un año diferente, para que el periodo de referencia no contenga una carencia de las condiciones de funcionamiento por la falta de un mes.
- Incluir sólo los periodos de tiempo de los que se conozcan todas las condiciones, fijas y variables, que afectan a la energía dentro de la instalación. Ampliar hacia el pasado el periodo de referencia para incluir algún ciclo operativo, requiere tener un conocimiento similar de todas las condiciones que influyen sobre la energía a lo largo de ese periodo de referencia más prolongado, con el fin de deducir los ajustes rutinarios y no-rutinarios a aplicar después de la implantación de las MMEE.
- Intentar utilizar el periodo inmediatamente anterior a la implantación de la MMEE. Un periodo lejano en el tiempo no reflejaría las condiciones existentes justo antes de

la implementación de la MMEE y, por lo tanto, no proporcionaría una referencia correcta para medir los efectos de la misma.

La planificación de las MMEE puede requerir el estudio de un periodo de tiempo más prolongado que el elegido como periodo de referencia. El estudio de un periodo más prolongado ayuda a comprender mejor el funcionamiento de la instalación y determinar cuál es realmente la duración de un ciclo normal.

3.5.2 Periodo Demostrativo de Ahorro

El usuario de los informes de ahorro puede determinar la duración del periodo demostrativo de ahorro. Y dicho periodo tiene que abarcar al menos un ciclo operativo normal de la instalación o de los equipos, para conseguir una completa caracterización de la efectividad del ahorro en todas las condiciones normales de operación.

Es posible que en algún proyecto se deje de elaborar informes de ahorro después de un periodo de prueba definido, que puede comprender desde una simple lectura instantánea a lecturas durante uno o dos años.

La duración de cualquier periodo demostrativo de ahorro se tiene que determinar en función de la vida útil de la MMEE y el posible deterioro del ahorro inicial con el paso del tiempo.

Independientemente de la duración del periodo demostrativo de ahorro, se tienen que dejar instalados los equipos de medida para poder proporcionar, en tiempo real, los datos operativos al personal de mantenimiento.

Si tras la prueba inicial del rendimiento disminuimos la frecuencia de la medida del ahorro, se pueden intensificar otras actividades de monitorización para comprobar que el ahorro se sigue produciendo en la instalación.

El ahorro basado en el IPMVP sólo se puede mostrar en el periodo demostrativo de ahorro que utilice el IPMVP. Si un ahorro basado en el IPMVP sirve de base para estimar un futuro ahorro, los informes del ahorro posterior no quedarán adheridos al IPMVP.

3.5.3 Periodos de Medida Consecutivos Test ON/OFF

Cuando una MMEE se pueda activar o desactivar con facilidad se puede hacer que el periodo de referencia y el periodo demostrativo de ahorro sean correlativos en el tiempo. Un cambio de la lógica de control puede ser un ejemplo de una MMEE que puede ser eliminada y reactivada fácilmente sin que afecte a las instalaciones.

Este tipo de Test On/Off conlleva medir la energía con la MMEE activada, y a continuación, medir con la MMEE desactivada para volver a las condiciones anteriores a la implantación de la MMEE (referencia). La diferencia del consumo de energía entre los dos periodos es el ahorro generado por la MMEE.

Esta técnica se puede aplicar tanto en la opción Verificación Aislada de la MMEE como en la opción Verificación de toda la Instalación. Sin embargo, se tiene que definir el límite de medida para que se pueda detectar cualquier diferencia significativa de la energía consumida cuando los equipos o los sistemas son encendidos y apagados posteriormente.

Los periodos consecutivos en los que es utilizado el Test On/Off tienen que ser lo suficientemente largos como para que sean representativos de un funcionamiento estable. De la misma forma, los periodos tienen que cubrir toda la operación normal de la instalación. Para poder abarcarla, es posible que sea necesario repetir el Test On/Off bajo modos de operación diferentes como por ejemplo, en las distintas estaciones del año o con diferentes niveles de producción.

Hay que tener en cuenta que las MMEE que pueden ser desactivadas para realizar las pruebas, también son susceptibles de poder ser desactivadas por algún descuido o de forma intencionada.

3.6 Base para los Ajustes

El parámetro Ajustes se tiene que calcular a partir de los hechos físicos identificados que afectan al consumo de energía de los equipos que están dentro del límite de medida. Existen dos tipos de Ajustes:

- Ajustes Rutinarios: debidos a parámetros que influyen en la energía y que experimentan variaciones durante el periodo demostrativo de ahorro, como puede ser las condiciones climatológicas o el nivel de producción de la planta. Existe una serie de técnicas para definir la metodología del ajuste que se va a realizar. Estas técnicas pueden ser tan sencillas como aplicar un valor constante (sin ajuste), o tan complejas como utilizar ecuaciones no lineales de múltiples variables, donde cada una de ellas correlaciona la energía con una variable independiente. Hay que utilizar las técnicas matemáticas adecuadas para seleccionar el método de ajuste más apropiado en cada Plan de Medida y Verificación.

- Ajustes No-Rutinarios: debidos a parámetros que influyen en la energía y que no se prevé que cambien en el tiempo: tamaño de la instalación, diseño y funcionamiento de los equipos existentes, número de turnos de trabajo o tipo de ocupantes. Los posibles cambios que experimenten estas variables estáticas tienen que ser monitorizados durante todo el periodo demostrativo de ahorro.

Así pues, la ecuación anterior se puede expresar de forma más completa como:

$$\text{Ahorro de Energía} = \left(\frac{\text{Energía Periodo de Referencia}}{\text{Energía Demostrativo}} - \text{Energía Periodo} \right) \pm \left(\text{Ajustes Rutinarios} \right) \pm \left(\frac{\text{Ajustes No - Rutinarios}}{\text{No - Rutinarios}} \right)$$

El elemento ajustes de la ecuación expresa las dos partes de la energía medidas bajo las mismas condiciones. El mecanismo de ajustes depende de si el ahorro se debe reflejar en el informe según las condiciones del periodo demostrativo de ahorro o si se tiene que normalizar respecto a un conjunto de condiciones fijas.

3.6.1 Periodo Demostrativo de Ahorro o Consumo de Energía Evitado

Cuando el ahorro se obtiene bajo las condiciones del periodo demostrativo de ahorro se puede denominar también consumo de energía evitado del periodo demostrativo de ahorro. El consumo de energía evitado cuantifica el ahorro en el periodo demostrativo de ahorro relativo al consumo de energía que se ha producido si no se hubiera implantado la MMEE.

Cuando se informa sobre el ahorro bajo las condiciones del periodo demostrativo de ahorro la energía del periodo de referencia se tiene que ajustar a las condiciones del periodo demostrativo de ahorro.

Esta manera de informar sobre el ahorro de la ecuación se puede reformular de la siguiente forma:

$$\text{Consumo de Energía Evitado} = \text{Energía Referencia} - \text{Energía} - \text{Periodo Demostrativo de Ahorro} \pm \text{Ajuste Rutinario Periodo Demostrativo de ahorro} \pm \text{Ajustes No Rutinarios Periodo Demostrativo de Ahorro}$$

Esta ecuación se suele simplificar de la siguiente forma:

$$\text{Consumo de Energía Evitado} = \text{Energía Referencia Ajustada} - \text{Energía} - \text{Periodo Demostrativo de ahorro} \pm \text{Ajustes No Rutinarios Energía Referencia en las condiciones del periodo demostrativo de Ahorro}$$

Donde la energía de referencia ajustada se define como la energía de referencia más cualquier otro ajuste rutinario necesario para ajustarla a las condiciones del periodo demostrativo de ahorro.

La energía de referencia ajustada se calcula normalmente desarrollando un modelo matemático que correlaciona los datos reales de la energía de referencia con las variables independientes adecuadas del periodo de referencia. A continuación, cada variable independiente del periodo demostrativo de ahorro se introduce en ese modelo matemático de referencia para obtener la energía de referencia ajustada.

3.6.2 Condiciones Fijas o Ahorro Normalizado

Como base para el ajuste se pueden utilizar otras condiciones diferentes a las del periodo demostrativo de ahorro. Las condiciones pueden ser las del periodo de referencia, la de otro periodo elegido arbitrariamente, o simplemente, un conjunto de condiciones normales, típicas o habituales.

El ajuste según el conjunto de condiciones fijas refleja un estilo de ahorro que se puede denominar ahorro normalizado del periodo demostrativo de ahorro. Con este método, la energía del periodo demostrativo de ahorro y, posiblemente, la del periodo de referencia, se ajusta a partir de sus condiciones reales a un conjunto seleccionado de condiciones fijas habituales (o normales).

La nueva ecuación reformula la ecuación original para este tipo de informes de ahorro normalizado:

$$\begin{aligned}
 & \left[\begin{array}{c} \text{Ahorro} \\ \text{Normalizado} \end{array} \right] \\
 & = \begin{array}{c} \text{Energía} \\ \text{Referencia} \end{array} \pm \begin{array}{c} \text{Ajustes} \\ \text{Rutinarios} \\ \text{Condiciones} \\ \text{fijas} \end{array} \pm \begin{array}{c} \text{Ajustes} \\ \text{No – Rutinarios} \\ \text{Condiciones} \\ \text{fijas} \end{array} \\
 & - \begin{array}{c} \text{Energía} \\ \text{Periodo} \\ \text{Demostrativo} \end{array} \pm \begin{array}{c} \text{Ajustes} \\ \text{Rutinarios} \\ \text{Condiciones} \\ \text{fijas} \end{array} \pm \begin{array}{c} \text{Ajustes} \\ \text{No – Rutinarios} \\ \text{Condiciones} \\ \text{establecidas} \end{array}
 \end{aligned}$$

El cálculo de los ajustes rutinarios del periodo demostrativo de ahorro suele implicar el desarrollo de un modelo matemático que correlaciona la energía del periodo demostrativo de ahorro con las variables independientes del periodo demostrativo de ahorro. Luego, este modelo sirve para ajustar la energía del periodo demostrativo de ahorro a las condiciones fijas elegidas. Y lo que es más importante, si el conjunto de las condiciones fijas no son del periodo de referencia también se utilizará un modelo matemático de la energía de referencia para ajustar la energía de referencia a las condiciones fijas elegidas

3.7 Visión General de las Opciones del IPMVP

El consumo de energía, en las diferentes posibilidades de la ecuación, se puede medir con una o varias de las siguientes técnicas:

- Facturas de la empresa suministradora, lectura del equipo de medida, realizando los mismos ajustes a las lecturas que aplica la empresa de suministro.
- Equipos de medida que aíslan una MMEE, o parte de la instalación. Las lecturas se pueden realizar de forma periódica en intervalos breves, o de forma continua, durante el periodo de referencia o el periodo demostrativo de ahorro.
- Lecturas por separado de los parámetros empleados para el cálculo del consumo. Por ejemplo: los parámetros operativos de los equipos, potencia y horas de operación se

pueden medir por separado y luego ser multiplicados para calcular el consumo de energía de los equipos.

- Uso de patrones contrastados del consumo para medir dicho consumo de energía. Por ejemplo, si el consumo de energía de un motor está relacionado con la señal de salida que procede de un variador de frecuencia que controla el motor, se puede considerar que esta señal de salida es una representación del consumo de energía.
- Simulación calibrada con algunos datos del rendimiento real del sistema, o de la instalación que va a ser modelada. Un ejemplo de simulación por ordenador es el análisis DOE-2 en edificios, sólo con la Opción D.

Si se puede conocer el valor de la energía con precisión, o si medir resulta más caro de lo necesario; medir la energía puede no ser lo más apropiado. En ese caso, se estimarán algunos parámetros de las MMEE pero se tienen que medir otros (sólo Opción A).

El IPMVP ofrece cuatro opciones para determinar el ahorro: A, B, C y D. Para seleccionar una de ellas hay que tener en cuenta diversos aspectos, como por ejemplo, dónde se establece el límite de medida. Si queremos determinar el ahorro de toda la instalación las Opciones C o D son las más adecuadas. Sin embargo, si sólo se quiere medir el rendimiento de la MMEE lo mejor es utilizar una técnica de verificación aislada de la medida de eficiencia energética, Opción A, B o D.

Opciones del IPMVP

A. Verificación Aislada de la MMEE: medición del parámetro clave

El ahorro se determina midiendo en la instalación el parámetro clave que determina el consumo de energía del sistema donde se ha implementado la MMEE y/o el éxito del proyecto.

La medición se puede realizar de forma continua o puntual, en función de la variación que se espere del parámetro a medir y de la duración del periodo demostrativo de ahorro.

Se realiza una estimación del parámetro que no ha sido seleccionado para ser medido en la instalación. La estimación se puede realizar con datos históricos, especificaciones del fabricante o supuestos técnicos. Sería necesario disponer de la documentación que se ha utilizado como fuentes o la justificación del parámetro que se está estimando. El error admisible obtenido al determinar el ahorro de energía por usar estimaciones en lugar de mediciones es estimado.

¿Cómo se determina el ahorro?

Cálculo, por parte de la ingeniería, de la energía de referencia y de la energía del periodo demostrativo de ahorro a partir de:

- Lecturas continuas o puntuales del parámetro clave operativo.
- Valores estimados.

Será necesario aplicar Ajustes rutinarios y ajustes no-rutinarios como correspondan.

Aplicaciones comunes

Una MMEE en iluminación donde la potencia es el parámetro clave que se mide de forma periódica. Se estimarán las horas de funcionamiento de los puntos de luz según los horarios del edificio y el comportamiento de sus ocupantes.

B. Verificación aislada de la MMEE: medición de todos los parámetros

El ahorro se determina midiendo en la instalación el consumo de energía del sistema en el que se ha implementado la MMEE.

La medición se realiza de forma continua o puntual, en función de la variación esperada del ahorro y la duración del periodo demostrativo de ahorro.

¿Cómo se determina el ahorro?

Mediciones continuas o puntuales de la energía del periodo de referencia y de la energía del periodo demostrativo de ahorro; y/o cálculos que utilicen patrones de consumo.

Será necesario aplicar ajustes rutinarios y ajustes no-rutinarios como correspondan.

Aplicaciones comunes

Instalación de un variador de frecuencia en un motor para regular el caudal de la bomba. Medir la potencia (kW) con un equipo de medida instalado en el propio motor que toma la lectura de la potencia cada minuto. En el periodo de referencia se instala el equipo de medida durante una semana para verificar la carga de trabajo del motor. El equipo de medida sigue instalado durante el periodo demostrativo de ahorro para hacer un seguimiento de la variación de la potencia de la bomba.

C. Verificación de toda la Instalación

El ahorro se determina midiendo el consumo de energía de toda la instalación, o de una parte de ella.

La medición de todo el consumo de energía de la instalación se realiza de forma continua durante el periodo demostrativo de ahorro.

¿Cómo se determina el ahorro?

Análisis de toda la información de los equipos de medida de la empresa de suministro durante todo el periodo de referencia y todo el periodo demostrativo de ahorro.

Ajustes rutinarios según sean necesarios utilizando comparaciones simples y análisis de regresión.

Serán necesarios aplicar Ajustes no-rutinarios según sean convenientes.

Aplicaciones comunes

Proyectos de eficiencia en los que las MMEE implementadas afecten a varios equipos de la instalación. Medición del consumo con equipos de medida de energía eléctrica, de

combustibles y agua durante un periodo de referencia de doce meses y durante el periodo demostrativo de ahorro.

D. Simulación Calibrada

El ahorro se determina simulando el consumo de energía de toda la instalación, o de una parte de ella.

La simulación tiene que ser capaz de modelar el rendimiento energético actual de la instalación.

Esta opción suele requerir habilidades especiales para realizar simulaciones calibradas.

¿Cómo se determina el ahorro?

La simulación del consumo de energía calibrado con la información de las facturas de suministro, horarias o mensuales. (La lectura del consumo en un equipo puede servir para mejorar los datos de entrada.)

Aplicaciones comunes

Proyectos de eficiencia donde las MMEE implementadas afecten a varios equipos de la instalación y no existen equipos de medida en el periodo de referencia.

Después de la instalación de los equipos de medida de energía eléctrica y de combustibles se utilizan sus lecturas para calibrar la simulación.

El consumo de energía de referencia, que se ha determinado con la simulación calibrada, es comparado con la simulación del consumo de la energía durante el periodo demostrativo de ahorro.

3.8 Opciones A y B: Verificación Aislada de la Medida de Mejora de Eficiencia

Energética

El aislamiento de la verificación de la medida de eficiencia energética permite estrechar el límite de medida para reducir el esfuerzo necesario para monitorizar las variables independientes y las variables estáticas, cuando las mejoras afectan solo a una parte de la instalación. Sin embargo, cuando el límite de medida no abarca toda la instalación suele ser necesario instalar equipos de medida adicionales en el propio límite de medida. En un límite de medida reducido existe también la posibilidad de que se produzcan filtraciones de efectos cruzados que no han sido medidos.

Dado que no se mide toda la instalación, el resultado de las técnicas de verificación aislada de la medida de eficiencia energética no se puede correlacionar con el consumo de toda la instalación que aparece en las facturas de suministro. Los cambios realizados en la instalación fuera del límite de medida, que no tienen relación con la MMEE implementada, no son recogidos por las técnicas de verificación aislada de la MMEE, pero si son incluidos en el consumo de la instalación.

Hay dos opciones para diferenciar el consumo de energía de los equipos afectados por una MMEE del consumo de energía del resto de la instalación:

- Opción A: Verificación aislada de la MMEE: Medición del parámetro clave
- Opción B: Verificación aislada de la MMEE: medición de todos los parámetros

El equipo de medida se instalará en el límite de medida entre el equipo renovado por la MMEE y los equipos que no lo están.

Al establecer el límite de medida se tiene que prestar especial atención a los flujos de energía que se ven afectados por la MMEE pero que quedan fuera del límite de medida. Se tiene que utilizar un método para estimar estos efectos cruzados. Por ejemplo: reducir la carga de iluminación implica aumentar el consumo del sistema de calefacción y reducir el de aire

acondicionado, pero un límite de medida más razonable abarcaría sólo el consumo de energía eléctrica de iluminación, y no el impacto energético sobre la calefacción y el aire acondicionado. En ese caso, el efecto de la MMEE sobre el sistema de calefacción y de aire acondicionado es un efecto cruzado que tiene que ser evaluado. Si se espera un efecto importante se puede estimar el mismo como parte del ahorro de energía medido en iluminación. Determinar la demanda de calefacción y refrigeración serviría para determinar la proporción adecuada de cada estación. Sin embargo, si se puede ampliar el límite de medida y abarcar los efectos cruzados no serán necesarios estimarlos.

Además de los pequeños efectos cruzados estimados, el límite de medida define los puntos donde se debe medir con los equipos de medida y el alcance de cualquier ajuste que pueda ser realizado en las distintas versiones de la ecuación. Sólo será necesario monitorizar los cambios en los sistemas que consuman energía y en las variables operativas, dentro del límite de medida, para preparar los ajustes de la ecuación.

Los parámetros se pueden medir de forma continua, o de forma puntual durante breves periodos de tiempo. Según la variación que se espera del parámetro clave se decidirá si la medición se realiza de forma continua o puntual. Cuando no se espera que un parámetro vaya a cambiar de forma significativa se puede medir justo después de implantar la MMEE, y comprobarse de forma ocasional durante el periodo demostrativo de ahorro. Esta comprobación se puede determinar empezando por mediciones frecuentes para verificar que el parámetro es constante. Una vez que se ha comprobado que es constante se puede disminuir la frecuencia de las mediciones. Para mantener el control sobre el ahorro a medida que disminuye la frecuencia de las mediciones se llevarán a cabo inspecciones u otro tipo de comprobaciones de forma periódica para verificar que el funcionamiento es el adecuado.

La medición continua ofrece una gran precisión del ahorro obtenido y mucha información del funcionamiento de los equipos. Estos datos pueden servir para optimizar o

mejorar el funcionamiento de los equipos en tiempo real, lo que supone una ventaja adicional sobre el ahorro provocado por la MMEE. Los resultados de diversos estudios han demostrado que por el registro continuo de datos se puede generar un ahorro energético anual entre un 5% y un 15%.

Si la medida no es continua, y se desinstalan los equipos de medida entre la toma de lecturas, hay que detallar en el Plan de Medida y Verificación la ubicación y las especificaciones de los equipos de medida, junto con su procedimiento de calibración del equipo utilizado. Si se espera un parámetro constante, los intervalos de toma de lecturas pueden ser puntuales y breves. Los motores eléctricos en industria suelen ser un ejemplo típico de consumo constante de electricidad, suponiendo que trabajan a carga constante. Sin embargo, el periodo de funcionamiento de un motor puede variar de un día a otro en función del tipo de producto que se fabrica. En caso de que los parámetros puedan cambiar con cierta periodicidad, la medición ocasional de estos parámetros, ej. las horas de funcionamiento del motor, se tiene que realizar en el momento más representativo del comportamiento nominal del sistema.

En caso de que los parámetros varíen día a día, o cada hora, como sucede en la mayoría de los sistemas de calefacción y refrigeración de edificios, lo más sencillo es medir de forma continua. Cuando el consumo depende de las condiciones climatológicas se tiene que medir durante un periodo que sea lo suficientemente largo para caracterizar adecuadamente el patrón de consumo en todas las estaciones de un ciclo anual, i.e., en cada estación y por día laborable, fin de semana y festivo, y repetirlas cuantas veces sea necesario a lo largo del periodo demostrativo de ahorro.

Cuando se incluyen varias versiones de una misma MMEE, en el límite de medida se puede utilizar una muestra estadística válida como media del conjunto. Este caso se puede dar, por ejemplo, cuando el consumo total de iluminación no se pueda leer en un sólo cuadro

eléctrico, ya que en el mismo hay más cargas que no son de iluminación. En ese caso, se mide una muestra estadísticamente significativa de las luminarias, antes y después, para evaluar la variación de la potencia eléctrica. Esta muestra se puede utilizar como la media de la potencia eléctrica total de la iluminación.

Sólo si se necesitan realizar lecturas de corta duración se pueden utilizar equipos de medida portátiles. El costo de los equipos portátiles se puede compartir con otros propósitos. Sin embargo, los equipos de medida instalados de forma permanente también pueden proporcionar al personal de operación y mantenimiento una retroalimentación, para poder optimizar sus sistemas. Es posible que los equipos adicionales de medida puedan permitir facturar individualmente a cada usuario o departamento en concreto.

Las técnicas de verificación aislada de la MMEE son apropiados en los siguientes casos cuando:

- Sólo hay que determinar el rendimiento del sistema que está afectados por la MMEE, ya sea por la responsabilidad asignada a cada parte en un contrato de rendimiento energético, o sea porque el ahorro de la MMEE es demasiado pequeño como para que se pueda detectar usando la Opción C.
- Se pueden estimar, dentro de un límite razonable, los efectos cruzados de las MMEE sobre el consumo de otros equipos de la instalación, o se pueden considerar insignificantes.
- Los posibles cambios introducidos en la instalación, más allá del límite de medida, son muy difíciles de identificar o de evaluar.
- No es difícil ni costoso monitorizar las variables independientes que afectan al consumo de energía.
- Ya existan equipos de medida para aislar el consumo de energía de los equipos.

- Los equipos de medida adicionales, dentro del límite de medida, pueden tener otros usos, como proporcionar una retroalimentación de operación o para facturar los consumos a los arrendatarios.
- La medida de los parámetros clave es menos costosa que las simulaciones de la Opción D, o que los ajustes no-rutinarios de la Opción C.
- Las pruebas de larga duración no están garantizadas.
- No se necesitan cuadrar los informes demostrativos de ahorros con la variación del pago a los suministradores energéticos.
-

3.8.1 Opción A. Verificación Aislada de la MMEE: Medición del Parámetro Clave

En la Opción A. Verificación aislada de la MMEE: medición del parámetro clave la energía de la ecuación se puede dividir en un cómputo de mediciones de algunos parámetros y estimaciones de otros. Las estimaciones se tienen que utilizar sólo cuando se pueda demostrar que el error de todas las estimaciones no afecta de forma significativa al ahorro total del informe. Hay que decidir qué parámetros se desean medir y qué parámetros se desean estimar, según la aportación de cada parámetro al error total del informe de ahorros. Los valores estimados, y el análisis de su importancia, se tienen que incluir en el Plan de Medida y Verificación. Las estimaciones se pueden realizar a partir de datos históricos, tales como las horas de funcionamiento obtenidas a partir del consumo de la curva de referencia, las prestaciones del fabricante del equipo, pruebas de laboratorio o datos climatológicos conocidos.

Si se conoce que un parámetro, como las horas de funcionamiento, se mantiene constante y que la MMEE no influirá sobre él, entonces basta con medirlo en el periodo

demostrativo de ahorro. La medida del periodo demostrativo de ahorro de este parámetro constante se puede considerar también una medida de su valor de referencia.

Siempre que se conozca que un parámetro varía de forma independiente, no se puede medir en la instalación ni durante el periodo de referencia ni durante el periodo demostrativo de ahorro, el parámetro debe ser tratado como una estimación.

Los cálculos de ingeniería, o los modelos matemáticos, pueden servir para evaluar la importancia de los errores al estimar cualquier parámetro incluido en el informe de ahorros. Por ejemplo, si hay que estimar parte de las horas de funcionamiento de los equipos, que pueden estar entre 2100 h/año y 2300 h/año, se tiene que calcular el ahorro con 2100 h/año y 2300 h/año y la diferencia será evaluada según su importancia respecto al ahorro esperado. El efecto combinado de todas esas estimaciones se tiene que evaluar antes de determinar si se han realizado suficientes mediciones o no en la instalación.

Los parámetros a medir se seleccionarán en función de los objetivos del proyecto o de la ESE que asuma el riesgo en obtener los resultados de alguna MMEE. Cuando un parámetro es importante para determinar el rendimiento éste tiene que ser medido. También se pueden estimar otros parámetros que puedan estar fuera del control del contratista.

Si se calcula el ahorro restando un parámetro medido de uno estimado el resultado es un parámetro estimado. Por ejemplo, si se mide un parámetro en el periodo demostrativo de ahorro y se resta de un valor del mismo parámetro que no se ha medido en el periodo de referencia la diferencia resultante solamente será una estimación.

Un ejemplo de aplicación de la Opción A es una MMEE que implique instalar dispositivos de iluminación de bajo consumo sin cambiar las horas de iluminación. El ahorro se puede determinar con la Opción A midiendo en el circuito de iluminación la potencia eléctrica antes y después de implantar la MMEE, al mismo tiempo que se estima el tiempo de

operación. Otras variaciones de este tipo de MMEE, mostradas en la Tabla 3, muestran los casos en que las estimaciones se adhieren a la Opción A.

Tabla 3. Ejemplo para el caso de un sistema de iluminación

Situación	Estrategia de Medida frente a la Estimación		¿Se adhiere a la Opción A?
	Horas operativas	Potencia eléctrica	
La MMEE disminuye las horas de operación	Medidas	<i>Estimada</i>	Si
	<i>Estimadas</i>	Medida	No
La MMEE disminuye la potencia eléctrica instalada	<i>Estimadas</i>	Medida	Si
	Medidas	<i>Estimada</i>	No
La MMEE disminuye la potencia eléctrica instalada y las horas de operación:			
No se conoce el consumo de referencia y se conoce sólo las horas de operación	<i>Estimada</i>	Medida	Si
	Medida	<i>Estimada</i>	No
Se conoce el consumo pero no las horas de operación	Medidas	<i>Estimadas</i>	Si
	<i>Estimadas</i>	Medida	No
Se conoce muy poco la potencia instalada y las horas de operación	Medida	<i>Estimadas</i>	No – Usar Opción B
	<i>Estimadas</i>	Medidas	

Cuando se planifica el procedimiento de la Opción A, antes de establecer los parámetros que se van a medir, hay que considerar tanto la variación de la energía de referencia como el impacto energético de la MMEE. A continuación se muestran tres posibles situaciones:

- La MMEE disminuye la carga constante, sin cambiar las horas de funcionamiento.
Ejemplo: se reemplazan los dispositivos de iluminación en una planta por otros más eficientes pero no se alteran las horas de funcionamiento. Para medir el impacto del proyecto hay que medir la potencia de los dispositivos durante el periodo de referencia y durante el periodo demostrativo de ahorro, mientras que las horas de funcionamiento son estimadas a la hora de calcular el consumo de energía.
- La MMEE disminuye las horas de funcionamiento, aunque la carga sigue siendo la misma.

Ejemplo: un dispositivo automático cierra los compresores de aire durante los periodos de inactividad. Para medir el impacto del proyecto hay que medir el tiempo de

funcionamiento de los compresores durante el periodo de referencia y durante el periodo demostrativo de ahorro, mientras que la potencia de los compresores puede ser estimada para el cálculo del consumo de energía.

- La MMEE disminuye tanto la carga de los equipos como las horas de funcionamiento. Ejemplo: Reajustar la temperatura de consigna en un sistema de calefacción disminuye el agua sobrecalentada provocando que los ocupantes tengan que cerrar las ventanas, con lo que se consigue disminuir la carga de la caldera y su tiempo de funcionamiento. Si tanto la carga como los periodos de funcionamiento son variables no se puede utilizar la Opción A.

En general, cuando la carga y las horas de funcionamiento son variables se necesita medir y calcular de forma mucho más precisa.

3.8.1.1 Opción A: Cálculos

La ecuación general se utiliza en todos los cálculos basados en el IPMVP. Sin embargo, en la Opción A no se necesita hacer ningún ajuste, ni rutinarios ni no-rutinarios, en función de la ubicación del límite de medida, de la naturaleza de los valores estimados, de la duración del periodo demostrativo de ahorro o del tiempo que transcurre entre la toma de las lecturas del periodo de referencia y las mediciones del periodo demostrativo de ahorro.

Del mismo modo, en la Opción A, la medición de la energía durante el periodo de referencia, o el periodo demostrativo de ahorro, implica medir un único parámetro y estimar el resto. La ecuación se puede simplificar de la siguiente forma:

Ahorro Opción A = (Parámetro Medido Periodo de Referencia – Parámetro Medido Periodo Demostrativo de Ahorro) – Valor Estimado

$$\text{Ahorro Opción A} = \frac{\text{Parametro Medido Periodo de Referencia}}{\text{Parametro Medido Periodo demostrativo de ahorro}} - \text{Valor Estimado}$$

3.8.1.2 Opción A: Verificación de la Instalación

Dado que algunos valores en la Opción A son estimados, hay que comprobar detenidamente la instalación para garantizar que las estimaciones realizadas son realistas, se pueden lograr y están basadas en medidas que pueden conseguir el ahorro esperado.

Durante el periodo demostrativo de ahorro se volverá a inspeccionar la instalación cada cierto tiempo para comprobar que los equipos siguen instalados, y que su funcionamiento y mantenimiento son los adecuados. Estas inspecciones garantizarán que el potencial para generar el ahorro previsto no ha cambiado y también para validar los parámetros que se estimaron. La frecuencia de las inspecciones está determinada en función de la probabilidad de que se produzcan variaciones en el rendimiento. Tal probabilidad se puede establecer mediante inspecciones frecuentes al comienzo del periodo para determinar la estabilidad y el rendimiento del equipo existente.

Un ejemplo que necesita inspecciones rutinarias son las MMEE en iluminación. Se puede determinar el ahorro mediante un muestreo del rendimiento de los dispositivos de iluminación y con un recuento de la cantidad de ellos que están funcionando. En ese caso, el funcionamiento de las lámparas es crucial para determinar el ahorro. De igual forma, cuando se asume una configuración concreta de control de equipos, existe la posibilidad de que sean manipulados, con lo que revisiones regulares de los sistemas de control puede reducir la incertidumbre sobre los valores estimados.

3.8.1.3 Opción A: Costo

Determinar el ahorro con la Opción A puede resultar menos costoso que utilizar otras opciones, ya que el costo de estimar un parámetro suele ser menor que el de tomar lecturas. Sin embargo, en algunos casos en los que la única solución posible es estimar, una buena estimación puede ser más costosa que tomar las medidas de forma directa. En el momento de

presupuestar el costo de la Opción A hay que considerar todas las variables: análisis, estimaciones, instalación de equipos de medida, costo de lectura y registro de datos.

3.8.1.4 Opción A: Mejores Aplicaciones

Junto con las mejores aplicaciones de verificación aislada de la MMEE la Opción A resulta apropiada cuando:

- Estimar parámetros clave puede evitar dificultades a la hora de realizar ajustes no-rutinarios, en caso de que se produzcan futuros cambios dentro del límite de medida.
- La incertidumbre de las estimaciones es aceptable.
- La continua efectividad de la MMEE puede ser evaluada mediante una inspección rutinaria de los parámetros estimados.
- La estimación de algunos parámetros es menos costosa que su medición con la Opción B, o con su simulación con la Opción D.
- Se conoce bien el parámetro clave que se utiliza para calcular el ahorro. Los parámetros clave sirven para valorar el rendimiento de un proyecto o de una ESE.

3.8.2 Opción B: Verificación Aislada de la MMEE: Medición de todos los Parámetros

La Opción B. Verificación Aislada de la MMEE: medición de todos los parámetros necesita medir todos los consumos de energía de la ecuación, o todos los parámetros necesarios para su cálculo.

El ahorro generado con la mayoría de las MMEE se puede determinar con la Opción B. Sin embargo, la dificultad y el costo aumentan a medida que crece la complejidad de la medida. La verificación de ahorros con la Opción B es, en general, más complicada y costosa que la Opción A. No obstante, con la Opción B se consiguen resultados más precisos cuando la demanda o el ahorro son variables. Este costo adicional se justifica si la ESE es responsable de todas las variables que afectan al ahorro de energía.

3.8.2.1 Opción B: Cálculos

La ecuación general se utiliza en todos los cálculos basados en el IPMVP. Sin embargo, con la Opción B no es necesario hacer ajustes ni rutinarios ni no-rutinarios en función de la ubicación del límite de medida, de la duración del periodo demostrativo de ahorro o del tiempo que transcurre entre las mediciones del período de referencia y las mediciones del periodo demostrativo de ahorro. Así pues, la ecuación se puede simplificar de la forma siguiente:

$$\text{Ahorro Opcion} = \frac{\text{Energía de Referencia} - \text{Energía demostrativo de ahorro}}{\text{Periodo}}$$

3.8.2.2 Opción B: Mejores Aplicaciones

Junto a los métodos de verificación aislada de las MMEE la Opción B resulta apropiada cuando:

- Los equipos de medida instalados para lograr la verificación aislada del ahorro van a ser utilizados para otros fines, como puede ser tener una retroalimentación operativa o facturar consumos a inquilinos.
- La medición de todos los parámetros cuesta menos que su simulación con la Opción D.
- El ahorro o las operaciones dentro del límite de medida son variables.

3.8.3 Aspectos sobre la Medida para la Verificación Aislada de las MMEE

Aislar una MMEE suele requerir instalar equipos de medida especiales, ya sea de forma permanente o durante un breve periodo de tiempo. Estos equipos de medida se pueden instalar durante la auditoría energética con el propósito de definir el consumo antes del diseño de la MMEE. O bien se pueden instalar para medir el rendimiento obtenido durante el periodo de referencia que será incluido en el Plan de Medida y Verificación.

Se puede medir en el límite de medida, por ejemplo, temperatura, humedad, caudal, presión, tiempo de operación de equipos, consumo de energía eléctrica o térmica. Hay que tener habilidades en medida para poder determinar el ahorro con una precisión razonable y que se pueda aplicar en el tiempo. De forma permanente la medida está evolucionando debido a la mejora de los equipos utilizados. Así pues, hay que utilizar los equipos más actualizados para determinar el ahorro.

Los puntos siguientes describen algunas consideraciones que se utiliza sobre la medida cuando se utilizan técnicas de verificación aislada de las MMEE.

3.8.3.1 Medida del Consumo de Electricidad

Para medir con precisión el consumo de electricidad hay que medir con un solo equipo de medida la tensión, el amperaje y el factor de potencia, o el voltaje RMS real. No obstante, solo con medir tensión y amperaje se puede determinar adecuadamente la potencia de las cargas puramente resistivas, tal y como ocurre en lámparas incandescentes o calentadores eléctricos (que cuente con un equipo de ventilación asociado). Cuando se mide la potencia hay que asegurarse de que la forma de la onda eléctrica de una carga resistiva no es distorsionada por otros dispositivos de la instalación.

Hay que medir la punta de demanda de la misma forma que lo hace la compañía eléctrica en la facturación. Para lo cual, puede ser necesario registrar en continuo la demanda con un equipo de medida parcial. Con este registro, se puede comparar los datos del equipo con el período en el que se ha producido la punta de demanda según la empresa eléctrica. La compañía eléctrica puede facilitar la información de los periodos en los que se produjo la punta de demanda en las facturas o en la curva de carga.

La forma de medir el consumo de electricidad varía según la empresa eléctrica. El método de medida del consumo en un equipo de medida parcial tiene que reproducir el método que utiliza el equipo de medida de la empresa eléctrica para facturar al cliente. Por ejemplo:

si la compañía eléctrica calcula el consumo cada 15 min, entonces, el equipo de medida se tiene que configurar para registrar los datos cada 15 min. Si, por el contrario, la compañía eléctrica cambia el intervalo del registro del consumo, el registro de los datos del dispositivo instalado tiene que tener la misma capacidad de registro. La capacidad de cambiar el intervalo de lectura se puede simular registrando los datos a intervalos fijos de un minuto y luego reproducir el intervalo de la compañía eléctrica con un programa. Sin embargo, hay que asegurarse de que en las instalaciones no se producen con frecuencia combinaciones de equipos que puedan provocar picos de demanda puntuales (de un minuto), los cuales aparecerían de forma diferente en un intervalo cambiante que en uno fijo. Después de procesar los datos y simular el intervalo de la compañía eléctrica, hay que convertir la información a datos horarios para archivarlos y poder analizarlos en el futuro.

3.8.3.2 Calibración

Los equipos de medida tienen que ser calibrados según las recomendaciones del fabricante y según los procedimientos fijados por la legislación vigente sobre medida. Siempre que sea posible, hay que utilizar estándar de primer orden y equipos de calibración con precisión no inferior a un estándar de tercer grado.

Los equipos de medida y los sensores se tienen que seleccionar por su facilidad de calibración y capacidad para mantener estable dicha calibración. Una buena opción es seleccionar equipos que se pueden auto-calibrar.

3.9 Opción C: Verificación de toda la Instalación

La Opción C. Verificación de toda la Instalación implica el uso del equipo de medida de la empresa de suministro, de equipos que miden toda la instalación o de equipos parciales, para determinar el rendimiento energético de toda la instalación. En ese caso, el límite de medida abarca toda la instalación, o gran parte de la misma. Esta opción establece el ahorro

de energía conseguido por un conjunto de MMEE implementadas en parte de la instalación que está monitorizada por el equipo de medida. Del mismo modo, dado que se emplean los equipos de medida de toda la instalación, el ahorro que refleja la Opción C incluye todos los efectos, positivos o negativos, de cualquier modificación que ocurra dentro de la instalación y que no sean atribuibles a las MMEE implementadas.

La Opción C está pensada para proyectos donde el ahorro que se esperan es superior a las variaciones aleatorias de la energía o que no tengan explicación y que ocurran dentro de la instalación. Si el ahorro es grande, en comparación con las variaciones no justificadas de los consumos de referencia, será sencillo identificar el ahorro. Además, cuanto más largo es el periodo de análisis del ahorro tras la implementación de las MMEE menos significativo será el impacto de las variaciones de corta duración que no tengan explicación. En general, el ahorro estimado tiene que ser superior al 10% de la energía de referencia si se quiere hacer una distinción precisa del ahorro a partir de los datos de referencia cuando el periodo demostrativo de ahorro es inferior a dos años.

Identificar los cambios que se producen en la instalación y que precisan de ajustes no-rutinarios es el principal reto asociado a la Opción C, sobre todo cuando el ahorro se monitoriza durante periodos prolongados de tiempo. Así pues, se deben realizar inspecciones periódicas de los equipos y de la operación de la instalación durante el periodo demostrativo de ahorro. Estas inspecciones mostrarán las variaciones de las variables estáticas respecto a las condiciones de referencia. Tales inspecciones pueden formar parte del proceso de monitorización que garantizará que se siguen manteniendo los métodos operativos establecidos.

3.9.1 Opción C: Aspectos sobre los Consumos de Energía

Cuando en un complejo de instalaciones sólo hay un punto de medida se necesitan varios equipos de medida parcial en cada una de las instalaciones para evaluar el rendimiento por separado.

En una sola instalación se utilizarán siempre varios equipos de medida para medir el consumo de cada uno de los consumos. Si un equipo de medida suministra energía a un sistema que interacciona con otros sistemas que consumen energía, ya sea directa o indirectamente, los datos de ese equipo de medida se tienen que incluir en determinar el ahorro de toda la instalación.

Se pueden ignorar aquellos equipos de medida que no interaccionan con otros sistemas, y cuyo ahorro no se va a determinar. Un ejemplo puede ser una instalación de alumbrado exterior que disponga de un equipo de medida independiente.

Hay que determinar el ahorro por cada equipo de medida, o equipo de medida parcial, de forma que se pueda evaluar separadamente la variación del rendimiento en cada parte de la instalación. Sin embargo, si un equipo mide sólo una pequeña parte del consumo total, se puede contabilizar con el total de los equipos de medida más grandes para reducir la gestión de datos. Cuando se combinan de esta forma los equipos de medida eléctricos, habrá que tener en cuenta que, con frecuencia, los equipos de medida de consumos pequeños no llevan asociados los datos de demanda, de forma que los datos totales de consumo no ofrecen ninguna información significativa sobre el factor de carga.

Si se leen varios equipos en días diferentes, los equipos que tengan un único periodo de facturación tienen que ser analizados por separado. Después de analizar cada equipo de medida de forma individual se podrá sumar el ahorro resultante si se han recogido las fechas en el informe.

Si faltan datos sobre el consumo de energía en el periodo demostrativo de ahorro se puede crear un modelo matemático del periodo demostrativo de ahorro para obtener los datos que faltan. Sin embargo, el ahorro del periodo en el que falta información se tiene que identificar como datos no disponibles.

3.9.2 Opción C: Aspectos sobre la Facturación de la Energía

El consumo de energía en la Opción C se suele obtener del equipo de medida de la empresa de suministro, por la lectura directa del equipo o por las propias facturas. Si se utilizan las facturas hay que tener en cuenta que las prestaciones de equipos de medida de la empresa de suministro no suelen ser tan altos como los de la Medida y Verificación. En ocasiones las facturas suelen tener datos estimados, sobre todo en el caso de pequeñas empresas. A veces, no se puede saber con las facturas si los datos son estimados o son reales. Las lecturas estimadas que no están registradas generan errores en los meses estimados y en el mes siguiente en el que se registre una la lectura real. No obstante, la primera factura con datos reales, después de una o varias estimaciones, corregirá los errores anteriores en cuanto al consumo de energía. Los informes de ahorro tienen que reflejar si hay estimaciones en los datos provenientes de las empresas de suministro.

Cuando una compañía eléctrica hace una estimación de la lectura del equipo de medida, no existirán datos válidos sobre la demanda de energía eléctrica en ese periodo.

También el suministro de energía se puede realizar de forma indirecta a la instalación, por almacenamientos propios, como puede ser el caso de fuel, propano o carbón. En estos casos, las facturas de la empresa de suministro no reflejan el consumo real de la instalación durante el periodo que transcurre entre una factura y otra. De forma ideal, equipo de medida aguas abajo del sistema de almacenamiento permitirá medir el consumo. Si no se dispone de ese equipo de medida habrá que incluir en las facturas un ajuste por el nivel de existencias en cada periodo de facturación.

3.9.3 Opción C: Variables Independientes

Los parámetros que cambian con regularidad y que afectan al consumo de la instalación se denominan variables independientes. Las variables independientes habituales son las condiciones climatológicas, el nivel de producción y de ocupación de un edificio. Las condiciones climatológicas tienen varios aspectos pero para analizar el comportamiento global de la instalación, se suele medir la temperatura exterior por medio de un termómetro externo. La producción tiene diferentes aspectos que dependen de la propia naturaleza del proceso industrial. La producción se puede expresar normalmente en unidades de producción o volumen de cada producto. La ocupación del edificio se puede expresar de muchas formas: habitaciones ocupadas en el hotel, horas de ocupación de un edificio de oficinas, número de días ocupados (relación entre días entre semana y fines de semana) o comidas de un restaurante.

Un modelo matemático puede ser capaz de evaluar las variables independientes siempre que éstas tengan un comportamiento cíclico. Los análisis de regresión, así como el uso de otros modelos matemáticos, pueden ayudar a determinar el número de variables independientes que hay que considerar en los datos de referencia. Los parámetros que tienen un efecto significativo en el consumo de referencia tienen que ser incluidos en ajustes rutinarios cuando se determine el ahorro utilizando la ecuación.

Las variables independientes se tienen que medir y registrar al mismo tiempo que el consumo de energía. Por ejemplo, se tiene que disponer de un registro diario de los datos climatológicos para que los datos correspondan con el periodo exacto de la medida mensual de la energía, el cual puede ser diferente del mes natural. Utilizar la temperatura media mensual como único dato, para un periodo de medida de los consumos de energía que no sea el mes del calendario, introduce un error innecesario en el análisis.

3.9.4 Opción C: Cálculos y Modelos Matemáticos

Para la Opción C el elemento de ajustes rutinarios de la ecuación 1a se calcula por medio de un modelo matemático que se corresponde con el patrón de consumo de cada uno de los equipos de medida. Un modelo puede ser algo tan sencillo como una lista ordenada de doce cantidades de energía medidas mes a mes, sin realizar ningún tipo de ajuste. No obstante, a menudo el modelo incluyen factores obtenidos de un análisis de regresión, que correlaciona la energía con una o más variables independientes, tales como temperatura exterior, grados-día, duración del periodo de medida, producción, ocupación o modo de operación. El modelo también puede incluir un conjunto de parámetros de regresión diferentes para condiciones diferentes, como el verano o el invierno, o para edificios cuyo consumo cambia en función de la estación del año. Por ejemplo, en las escuelas el consumo es diferente en el curso escolar y en el periodo de vacaciones, pueden ser necesarios varios modelos de regresión para los distintos periodos de consumo.

La Opción C utiliza años completos con información continua de 12, 24 ó 36 meses, tanto durante el periodo de referencia como en el periodo demostrativo de ahorro. Los modelos que utilizan un número diferente de meses, por ejemplo, 9, 10, 13 ó 18 meses, pueden provocar un sesgo estadístico debido a un exceso, o un defecto, respecto al promedio de operación anual.

La lectura de datos de toda la instalación puede ser horaria, diaria o mensual. Los datos horarios se tienen que pasar a datos diarios para limitar el número de variables independientes necesarias para crear un modelo razonable de referencia, sin aumentar de forma significativa la incertidumbre en el ahorro calculado. Con frecuencia, la variación de datos diarios tiene su origen en el ciclo semanal de la mayoría de las instalaciones.

Muchos modelos matemáticos son adecuados para la Opción C. Para seleccionar en cada aplicación el más adecuado hay que considerar índices estadísticos.

3.9.5 Opción C: Medida

Para medir la energía de toda la instalación se pueden utilizar el equipo de medida de la empresa de suministro. Los datos de los equipos de medida de la empresa de suministro se consideran 100% fiables para el cálculo del ahorro ya que se trata de datos que se utilizan para realizar la facturación del consumo. En general, los equipos de medida de la empresa de suministro están sujetos a una regulación, relacionada con su precisión para la facturación de energía.

El equipo de medida de la empresa de suministro puede equiparse, o puede ser modificado, para poder emitir un impulso eléctrico que pueda ser registrado por los equipos que monitorizan la instalación. El impulso eléctrico tiene que ser calibrado con una referencia conocida, como pueden ser los datos registrados por el equipo de medida de la empresa de suministro.

Utilizando los equipos de medida instalados por el propietario de la instalación se pueden medir los consumos de energía del total de la instalación. La precisión de estos equipos de medida se tiene que valorar en el Plan de Medida y Verificación, junto con la forma de comparar sus lecturas con las lecturas de los equipos de medida de la empresa de suministro.

3.9.6 Opción C: Costo

El costo de la Opción C depende de dónde provengan los datos de la energía y de la dificultad para conseguir los datos de las variables estáticas, dentro del límite de medida, para poder realizar los ajustes no-rutinarios durante el periodo demostrativo de ahorro. Los equipos de medida de la empresa de suministro, o los equipos de medida parcial existentes, funcionan bien si los datos del equipo de medida se guardan correctamente. Esto no supone un costo adicional en la realización de la medida.

El costo de seguir la variación de las variables estáticas depende del tamaño de la instalación, de su probabilidad de cambio, de la dificultad de detectar sus cambios y de los procedimientos de seguimiento ya implantados.

3.9.7 Opción C: Mejores Aplicaciones

La Opción C resulta útil cuando:

- Se tiene que evaluar el rendimiento energético de toda la instalación y no sólo el de las MMEE implantadas.
- Existen muchas clases de MMEE implementadas en una sola instalación.
- Las MMEE afectan a actividades cuyo consumo de energía individual es difícil de medir de forma independiente (formación de operarios, mejoras en paredes o ventanas).
- El ahorro es elevado, comparado con la variación de los datos de referencia durante el periodo demostrativo de ahorro.
- Cuando las técnicas de verificación aislada de la MMEE, Opciones A o B, son excesivamente complejas. Por ejemplo, cuando los efectos cruzados o las interacciones entre las MMEE son importantes.
- No se espera que se produzcan cambios significativos durante el periodo demostrativo de ahorro.
- Se puede implantar un sistema para seguir las variables estáticas que permitan introducir los posibles ajustes no-rutinarios.
- Se puede encontrar una correlación razonable entre consumo de energía y otras variables independientes.

3.10 Opción D: Simulación Calibrada

La Opción D. Simulación Calibrada implica el uso de un programa de simulación por ordenador para predecir el consumo de la instalación en uno o ambos términos de la ecuación

El modelo de simulación debe ser calibrado para que pueda predecir un patrón de consumo que coincida de forma aproximada con los datos registrados realmente por el equipo de medida.

La Opción D puede servir para evaluar el rendimiento de todas las MMEE de una instalación de forma parecida a la Opción C. En cualquier caso, la herramienta de simulación de la Opción D permite estimar el ahorro atribuible a cada una de las MMEE en aquellos proyectos en los que se incluyan varias de ellas.

La Opción D también puede servir para evaluar el rendimiento de sistemas independientes dentro de una instalación, de forma parecida a la Opciones A y B. En ese caso, el consumo de energía del sistema se tiene que separar del consumo del resto de la instalación por medio de los equipos de medida adecuados.

La Opción D resulta útil cuando:

No existen, o no están disponibles, los datos de la energía de referencia. Este caso se pueda dar en:

a. Nuevas instalaciones que tengan MMEE que tengan que ser evaluadas de forma separada al resto de la instalación.

b. Un complejo de instalaciones donde no hay un equipo de medida individual para cada parte de la instalación durante el periodo de referencia, pero donde sí hay equipos de medida individual después de la implementación de las MMEE.

c. No están disponibles los datos de la energía del periodo demostrativo de ahorro, o están encubiertos por factores que son difíciles de cuantificar. En determinados casos resulta difícil predecir cómo afectarán en el consumo los futuros cambios en la instalación. Los cambios en el proceso industrial, o en los nuevos equipos, hacen que el cálculo de los ajustes no-rutinarios sean tan inexactos que las Opciones A, B o C generarían demasiados errores a la hora de determinar el ahorro.

d. Lo que se necesita es determinar el ahorro asociado a cada MMEE, pero las mediciones que implican las Opciones A o B son demasiado complejas o costosas.

Si el programa de simulación predice la energía del periodo demostrativo de ahorro, el ahorro determinado persistirá sólo si se mantienen los modos de operación simulados. En inspecciones periódicas se identificarán los cambios respecto a las condiciones de referencia y el rendimiento modelado de los equipos. Habrá que ajustar las simulaciones como corresponda.

La Opción D se utiliza como la principal opción de Medida y Verificación para evaluar la inclusión de medidas de eficiencia energética en el diseño de nuevas instalaciones. El principal reto de la Opción D es realizar informáticamente una modelización y calibración precisa de los datos de energía medidos. Para controlar el costo de este método, a la vez de que se mantiene una precisión razonable, se tienen que tener en cuenta los siguientes aspectos cuando se utilice la Opción D:

- Se tiene que realizar un análisis de la simulación por parte del personal formado para ello, y con suficiente experiencia en programas y técnicas de calibración.
- Los datos de entrada representarán la mejor información disponible e incluirán todos los datos disponibles sobre el rendimiento real de los elementos clave de la instalación.
- Los datos de partida de la simulación necesitan ajustes para que los resultados coincidan con los datos del consumo obtenidos de las facturas de suministro, con una tolerancia aceptable, es decir, calibrada. Si la coincidencia es alta entre la energía proyectada y la real, esto no demuestra de forma suficiente que la simulación es capaz de predecir correctamente el comportamiento energético de la instalación.
- La Opción D requiere de un detenido proceso de documentación. Se tiene que guardar copia en papel y en soporte informático de las impresiones de la simulación,

de los datos de los estudios y de los datos de los equipos de medida, o de monitorización, utilizados para definir los valores de partida y de calibración del modelo de simulación. Se tiene que indicar la versión del programa disponible públicamente, con el fin de que otra persona pueda revisar los cálculos.

Existen diferentes tipos edificios donde no resulta fácil realizar la simulación:

- Edificios con patios grandes.
- Con una superficie importante en subsuelo, o a ras de suelo.
- Con una envolvente exterior atípica.
- Con complejas configuraciones de sombras.
- Con un gran número de zonas con distinto control de temperatura. Hay MMEE que en algunos edificios resultan difíciles de simular como:
 - La instalación de materiales aislantes en áticos.
 - Complejas modificaciones del sistema de calefacción, ventilación o aire acondicionado.

3.10.1 Opción D: Tipos de Programas de Simulación para Edificaciones

Los programas de simulación de edificios suelen emplear técnicas de cálculo horario. No obstante, también se puede utilizar el procedimiento simplificado de análisis energético de la ASHRAE si las pérdidas y ganancias de calor, cargas internas y sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado son simples. Las características de los procedimientos de ASHRAE contienen métodos bien y modelos simplificados de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado.

También se utilizan otros tipos de programas con fines especiales para simular el consumo de energía y el funcionamiento de dispositivos o procesos industriales.

La aplicación informática utilizada debe estar bien documentada y el usuario tiene que ser capaz de comprender perfectamente su funcionamiento.

3.10.2 Opción D: Calibración

El ahorro calculado con la Opción D se basa en una o varias estimaciones complejas del consumo de energía. La precisión del ahorro depende de una buena simulación que modele el rendimiento real de los equipos y de una buena calibración de los equipos de medida del rendimiento energético.

La calibración se realiza verificando que el modelo de simulación predice, dentro de unos límites razonables, los patrones de energía de la instalación, comparando los resultados del modelo con un grupo de datos de calibración. Estos datos de calibración incluyen datos de energía reales ya medidos, variables independientes y variables estáticas.

La calibración de simulaciones de edificios se suele realizar con las facturas de los últimos 12 meses de la empresa de suministros. Estas facturas se tienen que corresponder con un periodo estable de funcionamiento. En un edificio nuevo se suele tardar varios meses en llegar a su máxima ocupación y en comprender, por parte del personal de mantenimiento, cuál es la mejor forma de operar las instalaciones. Los datos de calibración tienen que aparecer en el Plan de Medida y Verificación junto con una descripción de su fuente.

Los datos detallados de operación de la instalación ayudan al desarrollo de la información necesaria para la calibración. Esta información puede ser de las características de operación, ocupación, datos climatológicos, cargas y eficiencia de los equipos. Algunas variables se pueden medir en intervalos breves (día, semana, mes) o se pueden obtener de los registros de operación existentes. Se comprobará la precisión de los equipos de medida cuando haya que hacer mediciones importantes. Si los medios lo permiten hay que medir los niveles de ventilación e infiltración, ya que se trata de cantidades que, con frecuencia, son diferentes de las esperadas. Las mediciones que se realizan en un momento concreto mejoran la precisión

de la simulación, sin suponer demasiado costo adicional. Las pruebas on/off pueden medir iluminación, cargas y centros de control de motores. Estas pruebas se pueden realizar durante un fin de semana utilizando un dispositivo de registro de datos o un sistema de control del edificio para registrar el consumo de energía en toda la instalación, normalmente, a intervalos de un minuto. En la medición con intervalos breves, en algunas ocasiones, también resulta eficaz sincronizados entre sí los dispositivos de registros móviles y económicos.

Tras recoger todos los posibles datos de calibración, hay que seguir los pasos para calibrar la simulación que aparece a continuación:

1. Hay que considerar todos los parámetros de partida necesarios y recopilar la documentación.
2. Siempre que sea posible, hay que recopilar los datos climatológicos reales del periodo de calibración, sobre todo si las condiciones climatológicas han cambiado mucho respecto a las condiciones climatológicas de un año estándar que se utilizó las simulaciones básicas. Sin embargo, obtener y preparar los datos reales sobre clima para usarlos en una simulación, puede necesitar más tiempo y dinero¹⁴. Si crear un archivo con datos climáticos reales resulta demasiado complicado, se puede utilizar un archivo que contenga valores medios y se pueden ajustar con métodos estadísticamente válidos para simular los datos reales.
3. Hay que realizar la simulación y comprobar que predicen los parámetros operativos, como la temperatura y la humedad.
4. También hay que comparar los resultados simulados de energía con los datos medidos de energía del periodo de calibración, hora a hora o mes a mes.
5. Se pueden buscar patrones de la diferencia de los resultados de la simulación y de los datos de calibración. Las gráficas de barras, las series temporales con

diferencias porcentuales mensuales y los diagramas mensuales de puntos X-Y ayudan a identificar los patrones del error.

6. Hay que revisar los datos de partida en el paso 1 y repetir los pasos 3 y 4 para poner los resultados proyectados dentro de las especificaciones de calibración del paso 5. Si fuera necesario, habría que recopilar más datos operativos reales de la instalación para cumplir con las especificaciones de la calibración.

Crear y calibrar una simulación puede requerir mucho tiempo. Con objeto de reducir el esfuerzo necesario para hacer la calibración se pueden utilizar los datos mensuales de energía en lugar de los datos horarios.

3.10.3 Opción D: Cálculos

Después de calibrar el modelo de simulación, se puede aplicar la ecuación empleando dos versiones del modelo calibrado: uno con las MMEE y otro sin ellas. Ambas versiones se basarán en el mismo conjunto de condiciones operativas. La ecuación queda como sigue:

$$\text{Ahorro Opcion} = \frac{\text{Energía de Referencia del Modelo Calibrado sin las MMEE}}{\text{Energía del Periodo demostrativo de ahorro del Modelo calibrado con las MMEE}}$$

Esta versión de la ecuación de la Opción D supone que el error de calibración afecta por igual a ambos modelos.

Si existen datos reales disponibles sobre la energía, tanto en el periodo de referencia como en el periodo demostrativo de ahorro, el modelo calibrado asociado a la ecuación será sustituido por la energía medida real. En cualquier caso, hay que ajustar los cálculos con el error de calibración en cada mes del periodo de calibración. La ecuación queda como sigue, en caso de utilizar datos reales del periodo de calibración correspondiente al periodo demostrativo de ahorro:

$$\text{Ahorro Opcion D} = \frac{\text{Energía de Referencia del Modelo Calibrado sin las MMEE}}{\text{Energía real del Periodo de calibración con las MMEE}} - \text{Error de calibración en la lectura de calibración correspondientes} \pm$$

3.10.4 Opción D: Elaboración de los Informes Demostrativos de Ahorros

Si se necesita evaluar el rendimiento durante varios años la Opción D sirve para el primer año de implementación de las MMEE. En posteriores años, la Opción C es más económica que la Opción D si se utiliza como referencia los datos del equipo de medida del primer año de funcionamiento estable tras la implementación. Luego, con la Opción C se determinará si el consumo de energía varía respecto al primer año de funcionamiento tras la implementación de las MMEE. En este caso, se utilizará el consumo de energía del primer año de funcionamiento estable para: a) calibrar el modelo de la simulación de la Opción D y b) establecer una referencia de la Opción C para medir el ahorro (o la pérdida) adicional a partir del segundo año, inclusive.

3.10.5 Opción D: Mejores Aplicaciones

La Opción D se suele utilizar en los casos en los que no es viable utilizar otra opción.

La Opción D resulta apropiada cuando:

- O bien los datos de la energía de referencia, o bien los datos de la energía del periodo demostrativo de ahorro, pero no ambos, no están disponibles o no resultan fiables.
- Hay demasiadas MMEE implantadas como para evaluarlas si se utilizan las Opciones A o B.
- Las MMEE implican actividades difusas que no resultan sencillas de separar del resto de la instalación, tal como la formación de operarios o la reforma de paredes y ventanas.

- Se va a estimar por separado el rendimiento de cada MMEE, dentro de un proyecto con varias MMEE, pero el costo de la Opción A o B son excesivos.
- Las interacciones entre las MMEE, o los efectos cruzados de las MMEE son complejos, lo que hace imposible aplicar las técnicas de verificación aislada con las Opciones A y B.
- Se tienen previsto que se produzcan importantes cambios en la instalación durante el periodo demostrativo de ahorro y no existe forma de hacer un seguimiento de dichos cambios, o de cuantificar su impacto en el consumo de energía.
- Un profesional con experiencia en simulación de energía es capaz de reunir información de partida necesaria para calibrar el modelo de simulación.
- La instalación y las MMEE pueden ser modeladas por un programa informático bien documentado.
- El programa informático de simulación es capaz de predecir los datos de calibración medidos con una precisión aceptable.
- Sólo se va a medir el rendimiento de un año, inmediatamente después de la implementación y de la puesta en marcha del programa de gestión de la demanda.

3.11 Guía para la Selección de las Opciones

La elección de una opción del IPMVP es una decisión que corresponde a la persona que va a diseñar el Plan de Medida y Verificación en cada proyecto, basándose en las condiciones del proyecto, de los estudios, del presupuesto y de su experiencia profesional. La Figura 8 representa una descripción lógica utilizada de forma habitual para la selección de las opciones.

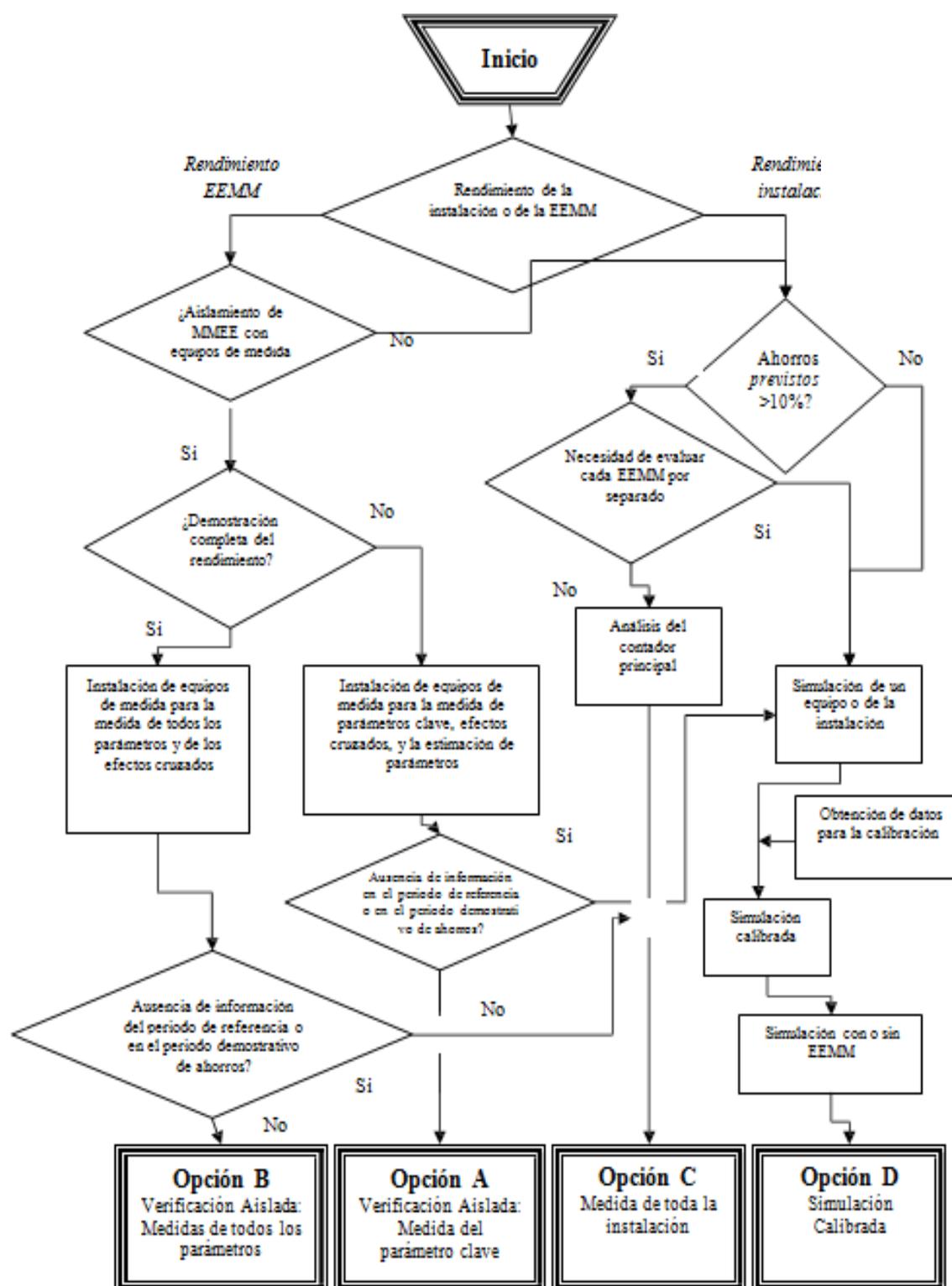


Figura 8. Proceso de selección de las opciones IPMVP

No se puede generalizar cuál es la mejor opción del IPMVP en cada situación concreta. No obstante, como muestra la Tabla 4, algunas características principales del proyecto pueden dar una idea sobre cuál es la opción más adecuada.

Tabla 4. Sugerencia de Opciones IPMPV.

Características del Proyecto de Implantación de las MMEE	Opciones Recomendadas			
Hay que evaluar cada una de las MMEE de forma independiente		X		
Sólo se necesita evaluar el rendimiento de toda la instalación			X	
El ahorro estimado está por debajo del 10% respecto del consumo del equipo de medida de la empresa de suministro		X		X
Hay varias MMEE implementadas			X	X
No está claro cuál es el significado de algunas variables que influyen sobre la energía		X	X	X
Los efectos cruzados de las MMEE son significativos y no se pueden medir			X	X
Se esperan muchos cambios dentro del límite de medida				X
Hay que evaluar el rendimiento en un periodo de tiempo largo			X	
No se disponen de datos de referencia				X
Hay que preparar los informes para que sean entendidos por personas que no tienen formación técnica	X	X	X	
Habilidades sobre medida	X	X		
Habilidades sobre simulación por ordenador				X
Se posee experiencia en la lectura de las facturas de la empresa de suministro y en realizar análisis de regresión			X	

4. CÁLCULOS Y RESULTADOS

En el presente análisis, se considerará el caso de la mejora de la eficiencia de un conjunto bomba / motor que opera con energía eléctrica.

4.1 Situación

En una explotación agrícola hay diez bombas de riego que bombea agua desde pozos subterráneos. Normalmente las bombas funcionan de forma continua durante los seis meses de la estación seca, aunque también se encienden y apagan de forma manual si es necesario. La empresa de suministro de energía local ofreció una subvención parcial para sustituir esas bombas por unos nuevos conjuntos de bomba y motor de alta eficiencia. Para proceder al pago final de la ayuda, la empresa de suministro exigía una demostración a corto plazo del consumo de energía evitado utilizando un método conforme con los IPMVP. El propietario estaba interesado en sustituir sus viejas bombas y reducir sus los costos energéticos, así que pagó la diferencia del costo de instalación y está de acuerdo en proporcionar información a la empresa de suministro tras realizar la mejora de eficiencia.

4.2 Factores que influyen en el diseño de M&V

El consumo de electricidad de las bombas se realiza con 5 equipos de medida propiedad de la empresa de suministro. Estos equipos de medida sólo tienen conectadas las 10 bombas. Antes de implementar el proyecto, se tuvo en cuenta que las nuevas bombas podrían aumentar la cantidad de agua bombeada en alguno de los pozos, de tal forma que se podría reducir las horas de bombeo. El propietario y la empresa de suministro saben que las horas de funcionamiento y, por lo tanto, el ahorro, depende de las condiciones de la explotación y del nivel de lluvias de cada año. Ninguna de las partes puede controlar estas variables que inciden de forma directa en el consumo de energía.

El propietario buscó la forma de incurrir en el menor gasto posible para recopilar y enviar la información a la empresa de suministro. El propietario contrató con un proveedor la

selección e instalación de unas bombas que cumplieran con sus especificaciones y con las de la empresa de suministro.

El caudal de las bombas es constante cuando están funcionando, ya que no hay ninguna válvula de regulación y la profundidad del pozo tampoco se ve afectada por el bombeo.

4.3 Plan de M&V

El Plan de M&V fue diseñado conjuntamente entre el propietario y la empresa de suministro, siguiendo un modelo proporcionado por la empresa de suministro. Se seleccionó la Opción A del IPMVP, con el objetivo de minimizar el costo de M&V. La Opción A acordada consiste en estimar las horas de funcionamiento de la bomba en un año normal, y su multiplicación por la potencia reducida que se haya medido.

Se acordó que los equipos de medida del proveedor serían capaces de medir con precisión la potencia demandada del motor (kW). Antes de retirar los motores antiguos, el proveedor midió la potencia demanda por cada motor tras haber estado funcionando un mínimo de tres horas.

La empresa de suministro tenía el derecho de presenciar las medidas realizadas. Dado que las bombas trabajan con una carga constante, las horas medias anuales de funcionamiento se calcularon teniendo en cuenta el consumo de electricidad facturado en el último año en kWh y dividiéndolo entre la potencia media demandada de los motores antiguos (kW). Este cálculo demostró que antes de la mejora de eficiencia energética las bombas funcionaban una media de 4.321 h en la estación seca.

La empresa de suministro aportó información que demostraba que la cantidad de lluvia caída durante esa estación seca estaba un 9% por debajo de lo normal. Así, el propietario y la empresa de suministro acordaron que el funcionamiento de las bombas durante ese año

había sido un 9% superior a lo habitual. De esta forma las horas normales de utilización serían del 91% de 4.321 h/año ó 3.932 26 h/año.

4.4 Resultados

El ahorro de la energía se determinó utilizando la ecuación 1d de la Opción A del IPMVP:

Potencia demanda por las bombas antes de la mejora: 132,0 kW

Potencia demanda por las bombas después a la mejora: 98,2 kW

Reducción de potencia: 33,8 kW

Ahorro de energía: 34 kW x 3.932 h/año = 130.000 kWh/año

La subvención aportada por la empresa de suministro se basó en un ahorro de energía de 130.000 kWh.

Utilizando los mismos periodos de funcionamiento estimados, el ahorro del propietario en condiciones de lluvia normal y con los precios actuales de la electricidad se determinó que sería de 132.902 kWh/año x S/ 0,2566 /kWh = S/.34.102 al año. No se modificaron ni los precios ni el costo de los peajes de la empresa de suministro.

4.5 Modificación del Horario de Funcionamiento del Conjunto Bomba / Motor.

Opción B

4.5.1 Situación

El sistema de riego descrito en el caso anterior podía además recibir un importante incentivo de la empresa de suministro si las bombas eran apagadas durante las horas punta, de 7:00 h a 10:00 h y de 18:00 h a 20:00 h, de lunes a viernes no festivos. Para ello el propietario instaló un sistema de control en las bombas para controlar de forma remota y automática el desplazamiento de su funcionamiento. El propietario podrá configurar anualmente el sistema de control de las bombas en función del calendario de días festivos.

Factores que influyen en el diseño de la M&V: El propietario consideró que reducir el bombeo y dejarlo en un máximo de 25 h a la semana (15%) no afectaría de forma significativa a su funcionamiento durante la estación seca. (También esperaba que las nuevas bombas sufrieran menos averías, de tal forma que no tendrán impacto en el crecimiento de los cultivos en la estación seca).

La empresa de suministro reconoce que el propietario puede decidir apagar el bombeo en función de sus necesidades. Por lo tanto, la empresa de suministro requiere la selección de la Opción B del IPMVP para cuantificar el rendimiento de cada año, antes de realizar el pago de las ayudas.

El propietario consideraba que el periodo de retorno del control y monitorización de los equipos ya era demasiado largo. Por lo tanto, no quería gastar parte importante de la ayuda en proporcionar las pruebas que exigía la empresa de suministro.

4.5.2 Plan de M&V

La empresa de suministro y el propietario acordaron que el registro continuo de una variable proxy proporcionaría la prueba diaria de que las bombas estaban realmente apagadas en las horas punta del año. La variable proxy es la corriente eléctrica (por encima de 500 mA que necesita el equipo de control) en cualquiera de las 5 líneas de alimentación de las 10 bombas. Para ello se colocaron unos amperímetros no calibrados y unos registradores de datos en cada línea de energía próximos a los 5 contadores. Los amperímetros y registradores disponen de un sistema de alimentación auxiliar con una batería recargable.

El propietario encarga al proveedor de los dispositivos de control y monitorización la lectura anual de los datos, comprobar los relojes e informar a la empresa de suministro sobre las fechas y tiempos de funcionamiento de las operaciones realizadas durante los periodos de punta de los días de la semana.

4.5.3 Resultados

Durante el primer año posterior a la implementación del sistema de control y monitorización, el responsable de la monitorización informó a la empresa de suministro que se había consumido energía entre las 18:00 h y las 20:00 h en 5 días concretos. La empresa de suministro comprobó que se trataban de días festivos, de tal forma que no hubo consumo durante las horas punta definidas. Se determinó que el desplazamiento de la demanda era de 98,2 kW, a partir de la medida de las bombas nuevas. El incentivo anual de la empresa de suministro se calculó y pagó en base a este desplazamiento de la demanda de 98,2 kW registrados con la Opción B.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Una de las barreras para la eficiencia energética es la comprobación de los ahorros obtenidos a partir de la implementación de un proyecto de mejora. En vista que no es posible medir directamente el ahorro de energía atribuible a una mejora, luego de ser implementada, se requiere de *establecer una línea de base energética inicial contra la cual se podrá comparar una nueva línea de base energética*, y establecer así el ahorro energético obtenido, además, la Norma Internacional ISO 50001 destaca que es necesario *asegurar que las características clave de sus operaciones que determinan el desempeño energético se midan y se analicen a intervalos planificados*.

La Norma Internacional ISO 50015 señala que sus lineamientos para el *proceso de medición y verificación del desempeño energético de una organización o de sus componentes, se pueden utilizar independientemente, o en combinación con otras normas o protocolos y se puede aplicar a todos los tipos de energía*.

- Es importante utilizar el método de medición y verificación que resulte más adecuado en cada caso. La naturaleza de la *mejora de eficiencia energética*, así como *los montos de inversión involucrados* influyen directamente el método más adecuado, procurando un *balance óptimo entre el costo de la medición y verificación y el monto esperado de los ahorros* que se requieren comprobar.

- En el análisis realizado, se obtiene como resultado una **reducción en la demanda de potencia** de 33,8 kW y una **reducción del consumo de energía** de 130000 kWh/año, utilizando la Opción A del protocolo IPMVP.

En el análisis posterior realizado, se obtiene como resultado una **reducción de potencia** de 98,2 kW, utilizando la Opción B del protocolo IPMVP.

De acuerdo al protocolo internacional IPMVP, es **posible combinar más de una opción A, B, C o D, en la medida que una mayor precisión conlleve a un mayor beneficio económico proveniente de la comprobación de los ahorros esperados.**

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda introducir en el medio, el análisis y estudio de la implementación de las empresas ESCOs, a fin de contribuir a dinamizar el mercado de eficiencia energética, requieren de procedimientos de medición y verificación de la mejora del desempeño energético de un sistema que sea satisfactorio para todas las partes involucradas. El rol principal de una ESCOs, en el caso de un proyecto de mejora de la eficiencia energética, es trasladar el riesgo involucrado en el proyecto, del cliente hacia la ESCO.
- Se recomienda profundizar en el estudio del protocolo internacional IPMPV establece que la medición y verificación es el proceso de utilizar las mediciones para de manera confiable determinar los ahorros reales que se producen en una instalación debido a un programa de gestión energética.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [01] Balance Nacional de Energía Útil. Ministerio de Energía y Minas. 1988. Lima-Perú.
- [02] Balance Nacional de Energía 2012. Ministerio de Energía y Minas. 2013. Lima-Perú.
- [03] Guía de Eficiencia Energética. Ministerio de Energía y Minas. 2009. Lima-Perú.
- [04] Proyectos de Reglamento de Etiquetado de Eficiencia Energética. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Ministerio de Energía y Minas. 2015. Lima-Perú.
- [05] International Performance Measurement and Verification Protocol. EVO. 2012. Estados Unidos.
- [06] Norma Técnica Peruana ISO 50001 Energy Management Systems. INDECOPI. 2012. Lima-Perú.
- [07] Indicadores de Rendimiento Energético. Ministerio de Energía y Minas. 2009. Lima-Perú.
- [08] Energy Management Handbook. Wayne C. Turner. 2004. Estados Unidos.
- [09] Industrial Assessment Centers. US DOE Program. 2014. Estados Unidos.
- [10] Norma Internacional ISO 50001. Energy Management Systems. 2011. Ginebra, Suiza.
- [11] Norma Internacional ISO 50015. Measurement and Verification. 2015. Ginebra, Suiza.
- [12] INDECOPI (2012). Norma Técnica Peruana. Sistemas de Gestión de la Energía. NTP-ISO 50001:2012. Requisitos con orientación para su uso.
- [13] EVO (2010). Efficiency Valuation Organization. Protocolo Internacional de Medida y Verificación. Conceptos y Opciones para Determinar el Ahorro de Energía y Agua. Volumen 1.

- [14] INN (2015). Instituto Nacional de Normalización. Sistemas de Gestión de la Energía – Medición y verificación del desempeño energético de organizaciones – Principios generales y orientaciones. Norma Chilena NCh ISO 50015.