



Madrid
Ahorra
con Energía



La Suma de Todos



CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA

Comunidad de Madrid

www.madrid.org

Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos



Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos

Madrid, 2011



Fundación de la Energía de
la Comunidad de Madrid



www.fenercom.com



La Suma de Todos



CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA

Comunidad de Madrid

www.madrid.org

Esta Guía se puede descargar en formato pdf desde la sección de publicaciones de las páginas web:

www.madrid.org

(Consejería de Economía y Hacienda, organización Dirección General de Industria, Energía y Minas)

www.fenercom.com

Si desea recibir ejemplares de esta publicación en formato papel puede contactar con:

Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid

dgtecnico@madrid.org

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid

fundacion@fenercom.com

La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, respetuosa con la libertad intelectual de sus colaboradores, reproduce los originales que se le entregan, pero no se identifica necesariamente con las ideas y opiniones que en ellos se exponen y, por tanto, no asume responsabilidad alguna de la información contenida en esta publicación.

La Comunidad de Madrid y la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, no se hacen responsables de las opiniones, imágenes, textos y trabajos de los autores de esta guía.

Depósito Legal: M. 14.351-2011

Impresión Gráfica: Gráficas Arias Montano, S. A.

28935 MÓSTOLES (Madrid)

Autor

D^a Margarida Plana i Turró
Directora General
EoEnergia.





Índice

PRESENTACIÓN	7
1. INTRODUCCIÓN	9
2. AHORROS ENERGÉTICOS: MEDICIÓN Y SEGUIMIENTO	13
2.1. ¿Por qué definir un plan de evaluación y seguimiento de los ahorros?	13
2.2. ¿Qué es un plan de medida y verificación?	14
2.3. Contenido de un plan de medida y verificación	16
2.3.1. Mejoras energéticas a implantar	17
2.3.2. Escenario base o de referencia	20
2.3.3. Escenario de medición	22
2.3.4. Metodología de evaluación y seguimiento	22
2.3.5. Planificación y definición de roles en cada fase del proceso	30
2.3.6. Presupuesto y recursos necesarios	31
2.4. Metodologías para la evaluación y el seguimiento de los ahorros	33
2.4.1. IPMVP	34
2.4.2. FEMP	39
2.4.3. ASHRAE	46
2.4.4. Diferencia entre los tres protocolos	47
2.5. Tecnologías y herramientas de medición y cuantificación de los ahorros	48
2.5.1. Equipos de medición	48
2.5.2. Precisión de los equipos	49
2.6. Posible papel del gestor energético	50
3. LA MEDICIÓN COMO BASE DE LAS GARANTÍAS CONTRACTUALES DE LOS SERVICIOS ENERGÉTICOS	53
3.1. Riesgos de un contrato de servicios energéticos	53
3.2. Garantías contractuales. Indicadores	58
3.3. Obligaciones y derechos de los agentes implicados	60
3.3.1. Prestador del servicio	60
3.3.2. Cliente	61
3.4. Previsión de indemnización, modificación y extinción del contrato	62



Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos

3.4.1. Régimen de penalizaciones	62
3.4.2. Modificación y extinción del contrato	63
4. EJEMPLOS DE APLICACIÓN	67
4.1. Ejemplos de límites de medición	67
4.1.1. Mejora parcial de la iluminación	67
4.1.2. Mejora parcial de un motor	67
4.1.3. Mejora parcial de un campus	68
4.1.4. Mejora de un hospital	68
4.2. Ejemplos de ajustes a realizar	69
4.2.1. Mejora de la iluminación	69
4.2.2. Construcción de un edificio adicional en un hospital	70
4.3. Ejemplo opción A – Mejora de la iluminación	70
4.4. Ejemplo opción B - Reducción de pérdidas en un compresor de aire de un hospital	71
4.5. Ejemplo opción C - Mejora de un edificio comercial	73
4.6. Ejemplo opción D - Implantación de diferentes medidas en un edificio de oficinas	75
5. REFERENCIAS	79



P RESENTACIÓN

Los contratos de Servicios Energéticos vinculan a las Empresas de Servicios Energéticos (ESEs) con las Administraciones, con las comunidades de propietarios, con las empresas industriales, etc... haciendo posible que estos deleguen la gestión energética de sus instalaciones y vean así potenciadas sus inversiones y rendimientos basándose en los ahorros que se consiguen.

Este tipo de contratos son de larga duración, por lo que conviene diseñarlos teniendo en cuenta los múltiples factores que pueden afectarlos a largo plazo. Hay bastante literatura sobre cómo redactar correctamente un contrato de SSEE, pero muy escasa sobre cómo evaluar y medir los ahorros a lo largo de su vida útil.

Asimismo, como consecuencia de este nexo creciente entre ESEs y Administraciones/colectivos/industrias... aumenta la necesidad de una formación más específica de los técnicos de ambos ámbitos.

En este contexto, la Consejería de Economía y Hacienda, en colaboración con la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid y la empresa EoEnergía, han elaborado esta guía como instrumento para dar a conocer las metodologías para evaluar y seguir los ahorros, así como contribuir a conseguir los fines que persigue la Comunidad de Madrid con la campaña **Madrid Ahorra con Energía**, a través de su extensa colección de publicaciones relacionadas con la eficiencia energética.

Esperamos que esta aportación de conocimientos sirva para mantener vivo el espíritu de la citada campaña y desde aquí animamos a consultar la serie de Guías de Ahorro y Eficiencia Energética enfocadas a diversos sectores.

Carlos López Jimeno

Director General de Industria, Energía y Minas
Consejería de Economía y Hacienda
Comunidad de Madrid

1

INTRODUCCIÓN



La eficiencia energética es en la actualidad de interés global. La energía económica y limpia es la base de todas las actividades económicas así como el ahorro de consumo de combustibles fósiles y la reducción de la dependencia de importación de recursos, con la implicación de una mejora del medio ambiente. Finalmente, también se persigue un beneficio económico en los diferentes sectores y un aumento de competitividad de la industria.

Todos los sectores consumidores de energía están inmersos en un proceso de búsqueda de soluciones para mejorar su comportamiento energético. En éste sentido, las organizaciones están diseñando programas de mejora de sus instalaciones consiguiendo que el vector energía aparezca en cualquier planteamiento estratégico.

No obstante, estos planes de mejora presentan barreras para su implantación, entre ellas, destacan dos aspectos:

- Implican inversiones, que en algunos casos pueden llegar a ser significativas.
- Incertidumbre respecto a los ahorros conseguidos.

En este escenario, se consolida el concepto «Servicio Energético».

Un servicio energético se define como un compromiso contractual con el cliente que se basa en la garantía de los ahorros a alcanzar mediante la implantación de medidas de ahorro energético. Por ello, incluye,

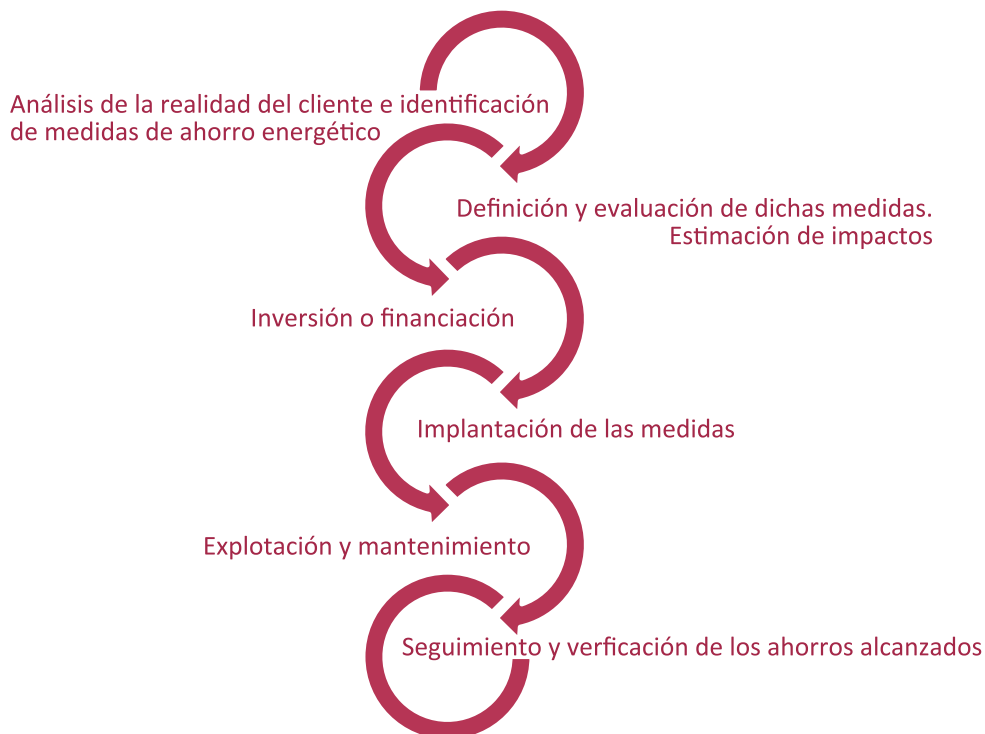


Figura 1. Alcance de un servicio energético. Fuente: EoEnergia.

De acuerdo a esta definición, una empresa de servicios energéticos aporta un servicio basado en resultados, ofreciendo una garantía de ahorro y planteando un nuevo modelo de gestión, información y comunicación que debe contribuir a la difusión de la cultura energética en los diferentes sectores.

En este sentido, la empresa de servicios energéticos permite salvar las dos barreras identificadas dado que:

- Acompaña al cliente en la inversión o financiación de las mejoras energéticas, reduciendo la carga económica por parte del cliente.
- Asegura el cumplimiento de los ahorros estimados puesto que supe- dita el pago, total o parcialmente, a los resultados alcanzados.

Por ello se considera que invertir en eficiencia energética a través de empresas de servicios energéticos ofrece una gran oportunidad a nivel coste-beneficio para las empresas y las Administraciones.

Debe recalcar que, cuando una organización contrata un servicio energético, contrata una garantía de ahorro que la empresa de ser-



vicios debe cumplir. Es por ello que aparece la necesidad de establecer metodologías a través de la cuales puedan evaluarse y hacerse el seguimiento de dichos ahorros, demostrando el cumplimiento de las condiciones de contrato.

La evaluación y seguimiento de los ahorros permite a las partes implicadas en un proyecto de ahorro energético cuantificar y verificar, de una manera definida, disciplinada, rigurosa y transparente, el ahorro de energía resultante de la aplicación de medidas de eficiencia energética.

Dichas metodologías de evaluación y seguimiento son conocidas como protocolos de medida y verificación. En la actualidad existen protocolos de medición y verificación internacionalmente aceptados que permiten definir una metodología adaptada a las necesidades de cada proyecto mejorando la gestión de los riesgos de la inversión.

No obstante, la flexibilidad que aporta el concepto de servicio energético también puede aplicarse a las metodologías de evaluación y seguimiento de los ahorros. En este sentido, dichos protocolos se presentan en esta guía como referencias y a modo de ejemplo, pudiéndose diseñar y adaptar metodologías propias considerando los aspectos básicos de rigurosidad requerida.

Estudios realizados en Estados Unidos concluyen que la implantación de medidas de eficiencia energética que se realizan bajo una metodología rigurosa de evaluación y seguimiento de los ahorros implican un ahorro de un 20-30% más energía que las inversiones sin ninguna metodología de medición y verificación. Así mismo, calcula que el coste añadido de implantar una metodología rigurosa normalmente se estima alrededor de un 5% del coste de inversión de las medidas. Esta inversión se recupera en un periodo corto de tiempo gracias a los ahorros conseguidos.

En concreto, para los contratos de servicios energéticos, el proceso de medida y verificación es una parte esencial y vinculante de los acuerdos contractuales puesto que proporciona certeza de que los resultados e información aportados son reales y verificables.

Así mismo, las metodologías de evaluación y seguimiento pueden utilizarse para cualquier otro tipo de proyectos de eficiencia energética. Para ellos, la medida y verificación de los ahorros puede ser menos



Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos

formal y vinculante, pero se recomienda en el marco conceptual y metodologías descritas en esta guía.

La presente guía es de carácter divulgativo presentando el marco conceptual de la evaluación y el seguimiento de los ahorros enfatizando su importancia en la implantación de servicios energéticos a partir de los planes de medida y verificación.

Para ello, la guía presenta una primera parte en la que se intentará resolver: qué medir, cómo medirlo y cuándo medirlo, mediante la explicación de qué es un plan de medida y verificación, qué metodologías son las más aceptadas a nivel internacional, las tecnologías que implica así como el papel de algunos agentes ya existentes en el sector.

La segunda parte de la guía se centrará en aspectos clave para incluir en cualquier contrato de servicios energéticos. En este sentido, se hará una introducción a indicadores y parámetros para definir las garantías contractuales así como la previsión de modificación o extinción del contrato. Finalmente, se abordarán las obligaciones y derechos respecto al plan de medida y verificación de las diferentes partes implicadas en un servicio energético.

Por consiguiente, esta guía se ha desarrollado con el objetivo de dar a conocer la importancia de la evaluación y seguimiento mediante la definición de un plan de medida y verificación como mecanismo de validación de los ahorros energéticos alcanzados en un proyecto.



2 AHORROS ENERGÉTICOS: MEDICIÓN Y SEGUIMIENTO

2.1. ¿Por qué definir un plan de evaluación y seguimiento de los ahorros?

La definición de un plan que permita la evaluación y seguimiento de los ahorros debe ser considerado por cualquiera que desee probar la obtención de ahorros de la implantación de una medida de eficiencia energética. Tiene la función de determinar los ahorros energéticos comparando el consumo energético antes y después de la implantación de la medida.

Su definición es una metodología recomendable para garantizar el éxito de cualquier proyecto de implantación de mejoras energéticas.

En el caso de los proyectos de servicios energéticos, la definición de un plan de medida y verificación es una de las actividades de evaluación y seguimiento más importantes. Es fundamental para la determinación de ahorros y es la base de la verificación de las garantías contractuales.

En un contrato de estas características, los beneficios exactos se conocen a posteriori, sumiendo elementos de riesgo con la incertidumbre de dichos beneficios. Es por ello que un plan que defina el proceso de evaluación es esencial para asegurar la transparencia de la metodología así como la calidad y credibilidad de los resultados alcanzados. Un plan que permite:

- Cuantificar los beneficios bajo una metodología y condicionantes acordados.
- Distribuir los riesgos entre las partes involucradas.
- Definir un seguimiento del proyecto de mejora energética así como de los ahorros alcanzados durante su duración.



- Mejorar el funcionamiento y mantenimiento de los equipos.
- Aumentar el valor de los créditos de emisión.
- Educar a los usuarios de las instalaciones sobre sus impactos en el consumo de energía.

2.2. ¿Qué es un plan de medida y verificación?

A continuación se presenta una figura en la que se muestra la variación de consumo durante el periodo anterior a la implantación de una medida de mejora energética, durante su aplicación y con posterioridad a ella.

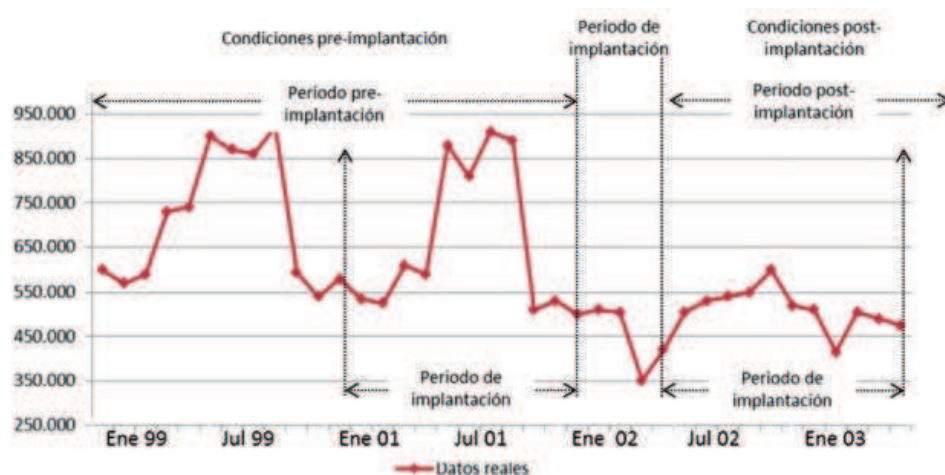


Figura 2. Variación en el consumo. Fuente: A best practice guide to measurement and verification of energy savings – AEPCA.

Las mediciones anteriores a la implantación de la mejora muestran alguna variación estacional en el consumo que podría atribuirse a la meteorología, aunque no se ha realizado ningún análisis de la relación entre la meteorología y el consumo.

Según la Fig. 2, cabría pensar que la medida de mejora energética ha sido efectiva reduciendo el consumo energético. No obstante, no se puede definir qué parte de la reducción es atribuible a dicha mejora y qué parte debe atribuirse a otros factores como la meteorología o un cambio en la ocupación o las horas de funcionamiento.



Con este sencillo ejemplo, se quiere recalcar que los ahorros energéticos atribuibles a una medida de mejora energética no pueden calcularse simplemente como diferencia entre el consumo medido en el periodo anterior y posterior a la implantación de la mejora. Deben considerarse otros factores que afectan las condiciones de medición de cada uno de los periodos.

Un plan de medida y verificación tiene el objetivo de identificar, cuantificar y contabilizar las variaciones en el consumo debidas a factores externos a los propios introducidos por la implantación de una medida de mejora energética.

El principio básico de cálculo de un plan de evaluación de ahorros es:

Ahorros energéticos = (Energía consumida en el periodo de referencia) – (Energía consumida después de la implantación de la/s medida/s de mejora energética) ± ajustes necesarios.

dónde:

- El periodo de referencia es el consumo medido en un periodo definido previo a la implantación de la medida.
- El periodo posterior a la implantación de la medida de mejora se determina en función del tipo de mejora y tecnología implantada.
- Los ajustes permiten asimilar las realidades de contorno, funcionamiento en ambos periodos.

Por consiguiente, el análisis que se deberá realizar en el cálculo de los ahorros, considerando esta ecuación, es el que se presenta en la figura siguiente, en la que el consumo medido posteriormente a la implantación de la mejora se ha ajustado a los parámetros que caracterizaban el escenario de referencia.

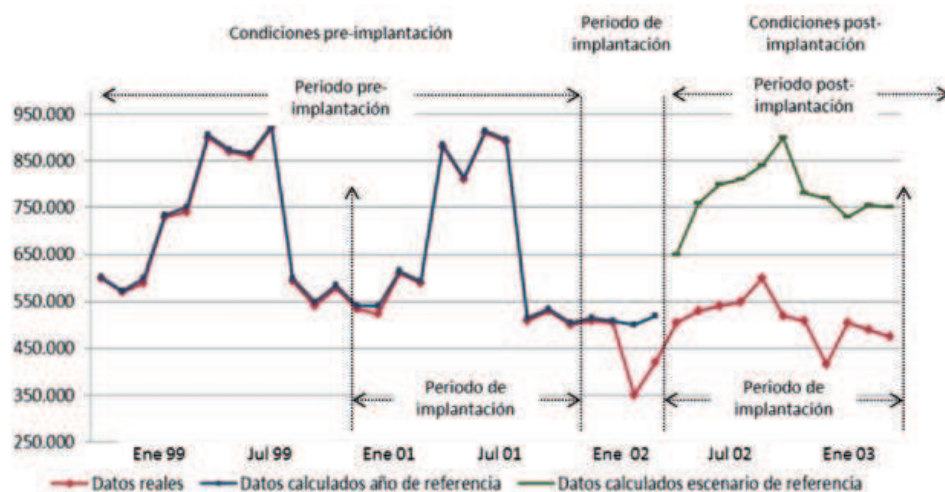


Figura 3. Referencia de cálculo de los ahorros. Fuente: A best practice guide to measurement and verification of energy savings – AEP-CA.

Es por ello que un plan de medida y verificación debe incluir la información necesaria para poder establecer los ahorros alcanzados mediante la comparación de la situación antes y después de la aplicación de una o varias medidas de mejora energética.

2.3. Contenido de un plan de medida y verificación

Un plan de evaluación y seguimiento de ahorros debe ser capaz de resolver las siguientes cuestiones:

- ¿Qué actividades se realizarán para la evaluación y seguimiento de los ahorros?
- ¿Quién desempeñará cada una de ellas?
- ¿Cuándo deben realizarse?
- ¿Cómo se verificarán los ahorros?
- ¿Qué ajustes se realizarán para considerar las diferentes condiciones de medición?

Con el objetivo de dar respuesta a estas cuestiones, se considera que un plan de evaluación y seguimiento de los ahorros debe contener la definición en detalle de:

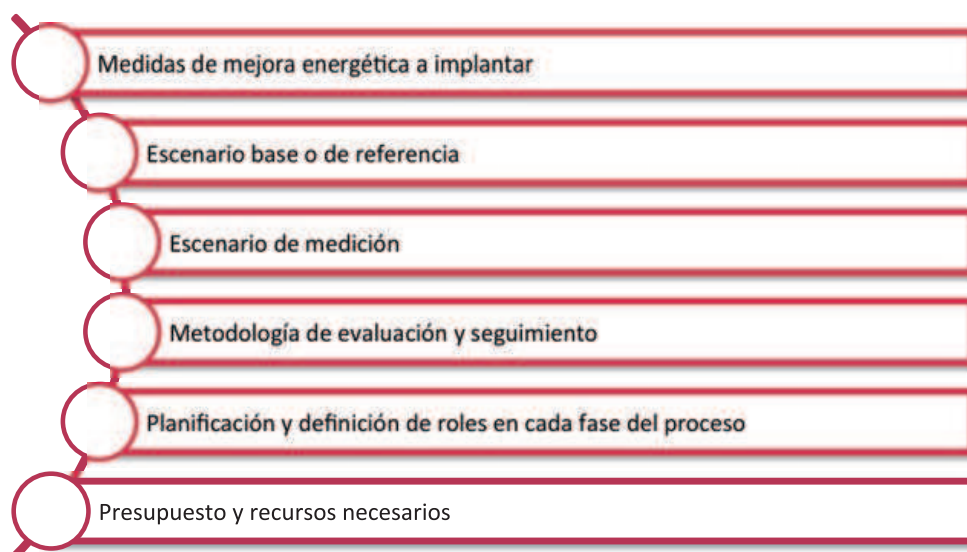


Figura 4. Contenidos de un plan de evaluación y seguimiento de los ahorros en un contrato de servicio energético. Fuente: EoEnergia.

2.3.1. Mejoras energéticas a implantar

El primer paso de cualquier plan de medición debe ser la descripción de todas las medidas de mejora energética que se implantarán a lo largo del periodo de contratación del servicio energético.

Para cada una de ellas, se debe incluir:

- el alcance,
- su objetivo,
- las características técnicas y energéticas,
- el fabricante o proveedor,
- los parámetros de funcionamiento, operación y mantenimiento,
- necesidades específicas de su implantación,
- cualquier otra información que se considere.

A continuación, deben identificarse los límites de medición para la evaluación del impacto para cada una de las mejoras definidas. Este



límite permitirá acotar el proceso de medición aislando la medida a analizar y reduciendo los parámetros de ajuste que deberán considerarse en cada caso.

Por ejemplo, en el caso de cambiar un equipo, pueden definirse dos límites de medición, uno del propio equipo que se sustituye o considerar la instalación en su totalidad.

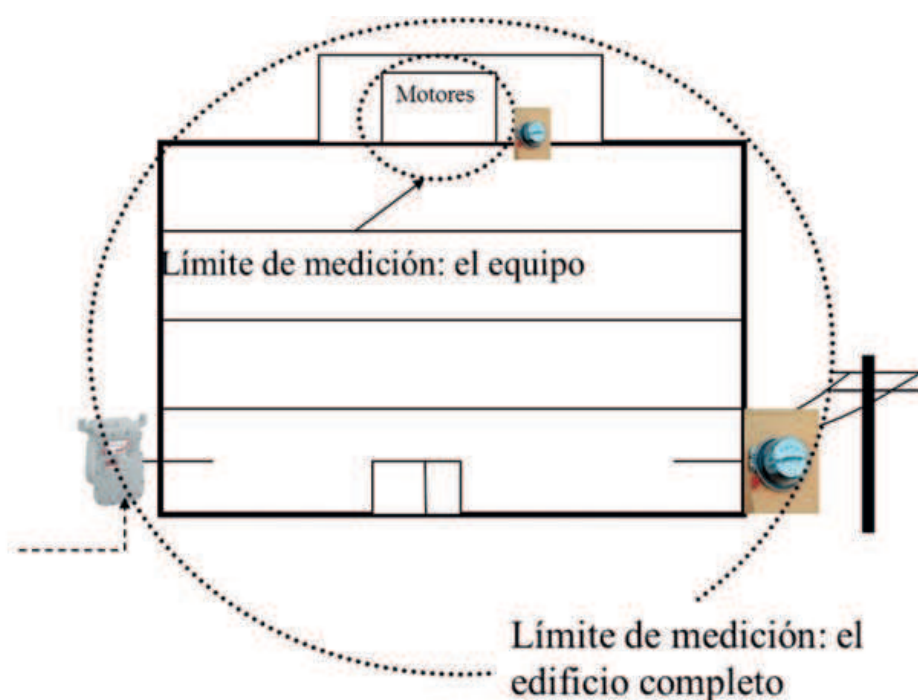


Figura 5. Límites de medición de las medidas de mejora energética.
Fuente: Curso de formación CMPV – EVO.

Comparativamente, la evaluación del cambio de equipo:

- Si se limita la medición al equipo sustituido, la evaluación se realizará sólo de la mejora implantada. Es decir, los cambios fuera de los límites de medición no afectarán al cálculo de los ahorros y los ajustes serán más sencillos.
- La opción de contemplar todo el edificio dentro del límite de medición implica que cualquier mejora o cambio (intencionado o no) en el edificio debe considerarse en el cálculo de los ahorros. Eso se deriva en ajustes más complejos y más equipos de medición, es decir, un incremento de los costes y de la complejidad de la evaluación.



La definición de los límites de medición vendrá condicionada por el tipo de mejora energética que se realice y de su interacción con otros equipos. Es decir, a priori, no se puede afirmar que una u otra opción sea la más aconsejable.

Pero en general, el marco en que se describe la evaluación de las medidas de mejora energética es el siguiente.

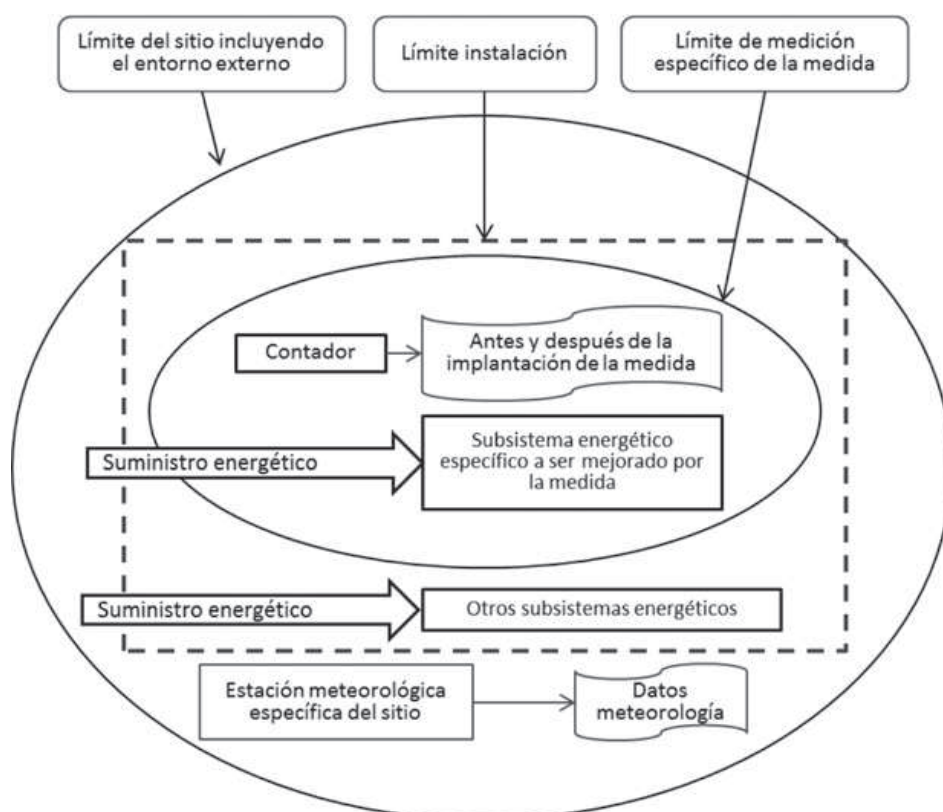


Figura 6. Marco conceptual de aplicación de un plan de evaluación y seguimiento de ahorros. Fuente: A best practice guide to measurement and verification of energy savings – AEP-CA.

En consecuencia, se considera que existen tres límites a definir en un proyecto:

- Límite del sitio: indica la ubicación o emplazamiento en la que se introduce la mejora. Habitualmente, indicando el sector y, en consecuencia, el tipo de consumo, equipos y comportamiento energético que se prevee tener.
- Límite de la instalación: indica la instalación en que se introduce la mejora, aportando información de equipos e interacciones a considerar.



- Límite de medición: identifica los parámetros a considerar en los cálculos de ahorro.

2.3.2. Escenario base o de referencia

El escenario de referencia se define como el periodo base a partir del cual se definen los ahorros energéticos alcanzados en el servicio. Es por ello que es un paso importante para dar solidez a los cálculos posteriores que se desarrollarán.

En cualquier proyecto de mejora energética, una auditoria energética permite caracterizar la realidad del cliente para poder realizar una propuesta de mejoras energéticas adhoc a sus necesidades.

En el caso de un servicio energético, esta auditoria se hace imprescindible, no sólo para determinar estas mejoras, sino también para definir una referencia a partir de la cual se evaluarán y se hará el seguimiento de los ahorros a lo largo del contrato.

Con el objetivo de asegurar una buena definición del escenario de referencia, es conveniente establecer la duración del periodo base de acuerdo a:

- El funcionamiento de las instalaciones: considerando, en la medida de lo posible, los ciclos de consumo de energía. Es decir, considerando los diferentes turnos, para diferentes temporadas, periodos de producción,...
- Los datos disponibles y la fiabilidad de los mismos.

La decisión de la duración del período base es compleja y debe realizarse adhoc a cada caso. No obstante, la recomendación es que el periodo de referencia no sea superior al último ciclo completo de consumo de energía. Es decir, considerando los puntos anteriores, definir el periodo más corto para evitar costes innecesarios y reducción de la fiabilidad.

Con el objetivo de dar rigurosidad a la metodología de cálculo, las condiciones del escenario de referencia se replicarán en la medición de los ahorros. Por esta razón, deben identificarse y documentarse en



detalle las condiciones de funcionamiento así como los datos energéticos necesarios con el objetivo de caracterizar los factores que afectan al proceso de medición para futuros ajustes de las mediciones del escenario de medición.

Los principales factores a considerar son:

- Condiciones de medición:
 - Equipos a utilizar indicando su calibrage y exactitud.
 - Definición del punto de medición así como la duración de cada una de las medidas.
 - Definición de la base de datos de almacenamiento de las mediciones así como los canales de transmisión de los datos.
- Condiciones de funcionamiento:
 - Periodo que define un ciclo de consumo energético.
 - Para cada periodo, definición de la carga de ocupación, la producción, definición del producto y de los materiales, las temperaturas de consigna, el horario de apertura, ventas,...
- Aspectos meteorológicos: temperatura, humedad,...
- Cualquier otro factor que pueda afectar a la evaluación de la mejora energética.

Identificados y caracterizados cada uno de los factores, deben preverse los futuros cambios o variaciones para cada uno de ellos. Es decir, definir ecuaciones o hipótesis que permitan ajustar las mediciones futuras a las condiciones de la situación de referencia.

Se entiende como cambio o variación, cualquier modificación, respecto al escenario de referencia, de un equipo o parámetro durante el periodo de medición.

A nivel de equipos, tanto si se trata de la propia mejora energética como de un equipo de medición, deben planificarse las acciones de mantenimiento, de actualización, de calibrage,...



En cuanto a las condiciones de funcionamiento, deben identificarse posibles cambios, por ejemplo, en la producción de los años de contratación del servicio energético.

2.3.3. Escenario de medición

El escenario de medición se define como el periodo establecido para la evaluación y el seguimiento de los ahorros. De acuerdo a lo explicado, el escenario de medición debe ajustarse a las condiciones del escenario de referencia.

En este sentido, los límites de medición se mantendrán de acuerdo a los establecidos inicialmente. Así mismo, en la medida de lo posible, se mantendrán los equipos de medición utilizados en la definición del escenario de referencia. En caso de no poder ser el mismo equipo, se utilizará un equipo del mismo modelo, adaptando los parámetros de calibrage y exactitud utilizados.

El periodo de medición debe establecerse de acuerdo a las condiciones de funcionamiento y complejidad de las mejoras energéticas a analizar. En este sentido, al definir la metodología, se definirá el periodo necesario para la obtención de resultados rigurosos sin incrementar innecesariamente los costes.

Así mismo, deberá definirse el seguimiento de los ahorros a lo largo del periodo de contratación que se realizará. Es decir, existen mejoras energéticas que, por sus características, deberán ser evaluadas, por ejemplo, anualmente; mientras que existirán otras, como el cambio de luminarias, que con una única medición se asumirá que los ahorros se han alcanzado.

En cualquier caso, estos parámetros se fijarán en el momento de definir la metodología de cálculo propiamente.

2.3.4. Metodología de evaluación y seguimiento

Las metodologías de evaluación y seguimiento no son un concepto novedoso y, sin denominarse con dicha nomenclatura, sus metodologías se han utilizado a lo largo de los años, aunque, normalmente, estaban más enfocadas a verificar el funcionamiento del servicio y no el análisis de sus resultados.



A continuación se presenta la evolución de algunas de las principales metodologías desarrolladas entre 1983 y 2007:

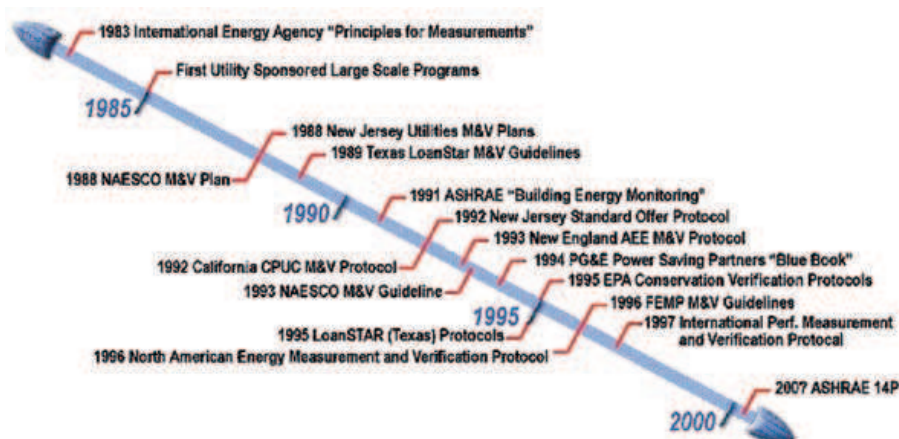


Figura 7. Evolución del desarrollo y publicación de metodologías de evaluación de ahorros. Fuente: A best practice guide to measurement and verification of energy savings – AEEPCA.

Un plan de verificación debe incluir la metodología de cálculo que se utilizará para verificar los ahorros alcanzados. En concreto, destacar que la metodología debe incluir los siguientes puntos.

Especificación de la opción de medida y verificación que se utilizará para verificar los ahorros

En general, existen dos enfoques de cálculo de los ahorros:

- Mediante el análisis de la reducción del consumo energético global de la instalación.
- A través de la evaluación del impacto de la medida de mejora energética de forma individual.

Normalmente, si se gestiona el consumo total de energía, se seleccionará un método de verificación de toda la instalación. No obstante, si se quiere evaluar el impacto de una mejora en particular, se seleccionará un método de verificación aislada de la medida de mejora.

En el apartado 2.4 de esta guía, se presentan los aspectos clave de una metodología de medida y verificación a través de tres de las principales metodologías existentes en el mercado. Dichas metodologías



Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos

permiten establecer de una forma estructurada, rigurosa y transparente los cálculos de los ahorros alcanzados.

Su presentación en esta guía es a nivel informativo, sin excluir otras metodologías existentes en el mercado o propias que puedan desarrollar las empresas o los clientes.

Especificación de los datos a analizar para cada una de las mejoras energéticas

Los parámetros a analizar se seleccionarán en función de los objetivos de la medida de mejora energética así como de los riesgos que desee asumir la empresa de servicios energéticos.

Para cada uno de los datos, se debe especificar su fuente, indicando si provienen de una medición, estimación, modelo matemático,...

- Para las mediciones, se determinarán los equipos así como las características del proceso de medición.
- En caso de estimaciones o modelos matemáticos, deben incluirse los datos, hipótesis y fuentes necesarios para dar solidez a los datos escogidos.

Existen diferentes tipos de datos a considerar en la evaluación de ahorros de la implantación de una mejora energética:

- Constantes: es un parámetro físico que no varía durante el periodo de análisis. Pequeñas variaciones observadas en el parámetro no impiden seguir considerando el parámetro como constante, aunque deben indicarse en el plan de evaluación de los ahorros.
- Variables independientes: parámetros que se espera que cambien con regularidad durante el periodo de contratación y que tienen un impacto medible en el consumo de energía del equipo, sistema o instalación objeto de análisis. Por ejemplo, la producción de una línea, la temperatura externa o las horas de funcionamiento.
- Factores estáticos: las características de un establecimiento que afectan al consumo energético dentro del límite de medición pero que no se utilizan como base de los ajustes rutinarios. Incluyen ca-

racterísticas del medioambiente de operaciones y de mantenimiento. Pueden ser constantes o variables, por ejemplo, las áreas o espacios cubiertos por sistemas de calefacción, las características térmicas de un edificio o su calendario de ocupación.



Definición de la muestra a analizar considerando la variabilidad de las mediciones a realizar

La posibilidad de realizar las mediciones sobre una muestra se considera debido a que los costes de medición pueden reducirse midiendo sólo parte del tiempo, o parte de las mejoras.

El tamaño de la muestra correcto depende, principalmente, de:

- Cuanta variabilidad existe entre las medidas tomadas.
- Cuanta variabilidad se aceptará (equilibrio entre costes y precisión de los resultados).

Se trata de un trabajo estadístico que debe permitir dar representatividad a los valores utilizados en el cálculo de los ahorros. Las metodologías descritas en el apartado 2.4 abordan en detalle este punto dando herramientas estadísticas para su definición.

En cada proyecto deberá definirse el tamaño de la muestra necesario y justificado.

Detalles de los procedimientos, ecuaciones e hipótesis de la medición, justificando su incorporación

El plan de evaluación debe contener el procedimiento concreto de análisis de los datos, los algoritmos y las suposiciones que se utilizarán en cada cálculo. Así mismo, deben contener todos los elementos que se han utilizado en modelos matemáticos, así como el rango de las variables independientes para las que los modelos sean válidos.

En la opción A, a parte, deben:

- Justificarse las estimaciones, documentando los valores utilizados en todos los parámetros que se estimen, indicando su origen.



Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos

- Indicarse las inspecciones periódicas que se desarrollarán en el periodo de medición para verificar que los equipos siguen instalados y funcionando como se esperaba en el momento de determinar los valores estimados.

En el caso de la opción D, también debe incluirse:

- El software utilizado, incluyendo nombre y versión de la aplicación.
- Identificación de los inputs y outputs del programa de simulación.
- En cuanto a los inputs, diferenciar entre los parámetros obtenidos con mediciones de los parámetros estimados.
 - Datos procedentes de mediciones: describir el proceso de obtención.
 - Datos estimados: justificarlos documentando los valores utilizados.
- Incluir información sobre los datos energéticos y operativos utilizados para el calibrage de la herramienta. Así mismo, indicar la precisión de los resultados de la herramienta respecto a los datos energéticos de calibrage.

Finalmente, deben especificarse los precios de la energía actuales y su procedimiento de ajuste en el futuro.

- En caso de referenciarse a una fuente oficial, se citará y documentará.
- Debe indicarse el calendario de actualizaciones de precios previsto para cada fuente energética.

No obstante, recordar que las garantías contractuales deben ser referenciadas a los ahorros energéticos, no económicos.

Metodología para solventar los huecos/errores de información a lo largo del proceso de medición

La falta de datos y los errores en los datos que se han recopilado puede darse tanto en el escenario base como en el periodo de medición.



En cualquiera de los dos casos, el objetivo es garantizar la rigurosidad de la metodología de cálculo minimizando el impacto de estos datos y predefiniendo cómo se solucionará su falta.

- Si la omisión se da en el escenario de referencia, debe:
 - Intentar resolver el cálculo con menos información si la incertidumbre es correcta.
 - Utilizar la información de otro periodo comparable, fuera de este.
 - Considerar utilizar un periodo diferente (o más largo) para las mediciones (considerando que puede que ello implique necesitar más información para los factores estáticos).
 - Registrar la naturaleza de los cambios hechos para lidiar con la información perdida.

Lo más importante es que no deben modificarse los datos de referencia, es decir, no debe solventarse la información que falte mediante tendencias calculadas.

- En caso de que la omisión se dé en el escenario de medición, deben establecerse los modelos matemáticos que permitirán obtener los datos que falten o que contengan errores.

Así mismo, deben establecerse límites sobre estos huecos de información y su interacción con los ahorros estimados. Un exceso de estimaciones frente a los datos procedentes de la medición pueden implicar cambios en la opción de cálculo de los ahorros.

Es por ello que pueden limitarse el número de datos a obtener mediante dichos modelos y no mediante la obtención de datos medidos sin implicar un cambio de opción de cálculo de los ahorros.

Exactitud esperada en la medición así como en los datos recogidos y en el análisis

Incluir la evaluación de la precisión esperada de la medida, la toma de datos, el muestreo y el análisis de los datos. Así mismo, las valoraciones cualitativas y medidas cuantitativas factibles con el nivel de



Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos

incertidumbre de las mediciones y ajustes que se utilizarán en el cálculo de ahorros.

La exactitud de cualquier resultado se define como la cantidad que indica el desvío del valor presentado respecto al valor objetivo. Se expresa como «+/-» un error.

Toda información relativa a la exactitud de un valor debe incluir un nivel e intervalo de confianza.

Con el objetivo de que un plan de evaluación y seguimiento de ahorros tenga éxito, los equipos de medición deben cumplir con los requerimientos de precisión mínimos establecidos y ser calibrados de acuerdo a ellos.

Los protocolos existentes en el mercado desarrollan extensamente este capítulo para minimizar la propagación de errores en los cálculos. En caso de proyectos complejos, puede necesitarse la participación de un estadista experto en establecer los parámetros adecuados a la incertidumbre solicitada.

Documentación y datos disponibles por terceras partes para verificar los ahorros energéticos aportados

Deben documentarse todos los datos obtenidos por terceras partes, indicando su fuente así como las referencias necesarias para dar fiabilidad a los datos incluidos en los cálculos.

Si los datos proporcionados por terceros son parte importante de un cálculo, se recomienda su verificación con alguna medición.

Metodología para realizar los ajustes pertinentes en caso de cambios imprevistos en el escenario de referencia

La complejidad del ajuste depende de la necesidad de precisión, la complejidad de los factores que condicionan el consumo de energía, y la cantidad de equipos dentro del límite de medición.

En general, los presupuestos de los planes de evaluación de ahorros determinan cómo de simple o complejo es el ajuste.



Los ajustes son cálculos realizados para explicar:

- Los cambios en las variables independientes, seleccionadas dentro del límite de medición, del escenario de referencia (ajustes de rutina).

Por ejemplo, variaciones en las condiciones meteorológicas o en el nivel de producción.

Existen diferentes técnicas para definir la metodología de ajuste. Debe seleccionarse el método más apropiado a cada plan de evaluación en función de la opción de cálculo seleccionada.

- Los cambios en los factores estáticos dentro de los límites de medición, desde el periodo de referencia (ajustes no rutinarios).

Por ejemplo, modificaciones en el número de turnos de trabajo o el tipo de producto fabricado.

Los posibles cambios que experimenten estas variables deben ser monitorizados durante el periodo de medición.

Formato de los diferentes informes periódicos que se realizarán para presentar los ahorros energéticos evaluados

Dichos informes deben incluir, como mínimo, la descripción del proyecto, los parámetros que se medirán, los ahorros alcanzados y su comparación con las garantías contractuales establecidas.

En la definición del plan de medida y verificación se anexaran los formatos de los informes que se aprobarán conjuntamente. Pueden definirse diferentes tipologías de informe para diferenciar entre los que son informativos y los que son contractualmente vinculantes. No obstante, se recomienda que los informes tipo que se aprueben, se consideren un patrón fijo para los diferentes informes a emitir durante el período de contrato.

Los informes deben definirse con el doble objetivo de permitir:



Evaluación

Presentar los resultados obtenidos mediante la implantación de las medidas de mejora energética así como su comparativa con los objetivos marcados, es decir, con las garantías contractuales establecidas.

Seguimiento

Ofrecer un seguimiento del proyecto, aportando datos de su funcionamiento y de los hitos alcanzados en cada fase. Esto permite que ambas partes puedan realizar un seguimiento identificando, en su caso, posibles desviaciones.

2.3.5. Planificación y definición de roles en cada fase del proceso

Cualquier Plan debe ir acompañado de una planificación asociada que permita definir el momento en que se realizarán cada una de las acciones descritas. Dicha planificación, puede considerarse contractualmente vinculante, o definirla a nivel informativo entre las partes. En el primer caso, deben describirse las causas que provocarán incumplimiento de la planificación así como sus posibles implicaciones en el contrato (penalización, modificación del contrato, extinción del mismo).

En cualquiera de los dos casos, una vez definido el contenido de la metodología de captación de datos y de verificación de los ahorros, debe especificarse su distribución durante el período de contratación del servicio energético.

La planificación de cada fase debe ir acompañada de los roles que deben tener cada una de las partes implicadas en el servicio energético, definiendo la persona responsable de cada paso de la metodología.

En el capítulo 3 se presenta cómo definir una matriz de riesgos y responsabilidades para facilitar y orientar en la distribución de los roles.



Finalmente, la planificación deberá incluir la entrega de los informes periódicos que deberán presentarse para validar el cumplimiento de las garantías contractuales de ahorro energético.

2.3.6. Presupuesto y recursos necesarios

Un plan de medida y verificación debe definirse durante la fase de análisis de viabilidad del proyecto. En la fase de definición del ahorro estimado de una medida se dispone de suficiente información para establecer los requisitos de la medida y verificación. Una medida de ahorro energético no debe implantarse hasta que no se haya establecido que existe una forma viable y práctica de medida y verificación de los resultados de ahorro esperado.

Uno de los objetivos de un plan de medida y verificación es diseñar una metodología que no incremente más de lo necesario los costes proporcionando la máxima fiabilidad a los ahorros reportados. En este sentido, la cuestión que uno debe plantearse es:

¿Qué grado de fiabilidad es suficiente, y qué coste es razonable?

Los factores clave que afectan al coste de desarrollar un plan de evaluación y seguimiento de ahorros son:

- La calidad de la medición.
- El número de variables independientes a ser monitorizadas.
- La frecuencia de medida y la elaboración de informes.
- La longitud del periodo de referencia y de los periodos demostrativos de ahorro.
- El tamaño de la muestra si no todos los equipos se miden.
- Otros usos para la información obtenida, para compartir costes.

En la mayoría de los casos, la magnitud de los ahorros estimados en un proyecto son los que marcan los límites en el coste que puede soportar el plan de medida y verificación.



No obstante, en la realidad existen otros parámetros que afectan al límite de costes. Por ejemplo, la complejidad de la medida de ahorro energético implementada. Es evidente, que un proyecto con un proceso y unas horas de funcionamiento constante es más sencillo de evaluar y, por lo tanto, más económico. Por lo contrario, un proyecto en el que existan tres fases de ocupación, con horas de funcionamiento, ocupación y equipos en funcionamiento diferenciados, comportará un incremento de los costes del proceso.

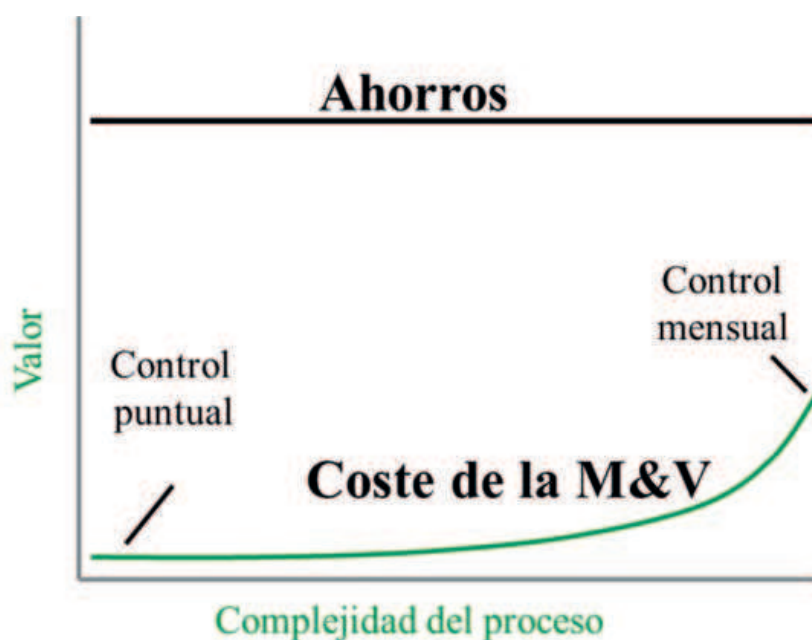


Figura 8. Costes de la evaluación de ahorros versus la complejidad del proceso de definición. Fuente: formación CMPV – EVO.

En cuanto al grado de fiabilidad, el nivel aceptable de incertidumbre en un cálculo de ahorro se establece en función del valor de los ahorros previstos y de la rentabilidad de la disminución de la incertidumbre a través del tiempo adicional, el esfuerzo y el coste que implican.

En general, el coste de un plan de medida y verificación puede establecerse como el 3-5% del coste del proyecto. Costes superiores al 10% se consideran excesivos.

- Por lo general, los costes asociados a la opción A pueden resultar inferiores al de otras opciones. Sin embargo, en algunos casos, realizar una buena estimación puede ser más costoso que tomar las medidas de forma directa.

A la hora de presupuestar el coste de la opción A deben considerarse todas las variables: análisis, estimaciones, instalación de equipos de medida, coste de lectura de los contadores y registro de datos.

- Generalmente, la opción B es más complicada y costosa que la opción A, pero aporta resultados más precisos cuando la demanda energética y/o los ahorros son variables.
- En el caso de la opción C, el coste depende de la fuente de los datos y de la dificultad de conseguir las variables estáticas dentro del límite de medición, para poder realizar los ajustes no rutinarios durante el periodo de medición.
- Los costes de la opción D aumentan en función de la complejidad del programa de simulación. No obstante, en ocasiones, dichos costes pueden llegar a ser inferiores a los de medición de todas las variables a considerar.

En el plan de evaluación y seguimiento de los ahorros debe definirse el presupuesto y los recursos necesarios para determinar el ahorro, tanto los costes de implementación iniciales como los costes del periodo de medición.

2.4. Metodologías para la evaluación y el seguimiento de los ahorros

El mercado de los servicios energéticos a nivel europeo e internacional es una realidad con una amplia experiencia.

Estados Unidos y Canadá son dos de los países destacados en la implantación de este mecanismo. El sector de los servicios energéticos se originó en ellos a finales de los años 70 e inicios de los 80. Desde entonces, han liderado su implantación a nivel internacional tejiendo un mercado maduro.

A nivel europeo, las empresas de servicios energéticos se iniciaron en Francia a principios de los 80 evolucionando de los contratos de operativa y mantenimiento. Así mismo, existen otros países como el Reino Unido, Finlandia y Alemania que le están siguiendo en la aplicación de servicios energéticos.





Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos

No obstante, los países norteamericanos siguen siendo el referente del sector.

Además de liderar su implantación, los países norteamericanos destacan como motor de generación de herramientas y guías basadas en su larga y probada experiencia. Entre ellas, se encuentra el desarrollo y mejora continua de los sistemas de evaluación y seguimiento de los ahorros alcanzados en su aplicación.

El presente capítulo se centrará en la presentación de las principales metodologías de medida y verificación existentes a nivel internacional con el objetivo de ofrecer pautas sobre los contenidos y los aspectos clave que destacan cada una de ellas.

Estas principales metodologías que se están utilizando e incorporando a nivel internacional provienen de los países norteamericanos debido, principalmente, a dos razones:

- A nivel europeo, no se ha definido un protocolo ni existe una normativa que marque la metodología a través de la cual deben definirse y calcularse los ahorros.
- Tal como se ha explicado, dada la relevancia de los países norteamericanos en el sector de los servicios energéticos durante su evolución, sus metodologías se consideran un referente.

Cabe destacar que su presentación en esta guía es a nivel informativo, sin excluir otras metodologías existentes en el mercado o propias que puedan desarrollar las empresas o los clientes. Es, por lo tanto, una presentación de recomendaciones a considerar por cualquiera que quiera desarrollar un plan de medida y verificación.

2.4.1. I PMVP

El *International Performance Measurement and Verification Protocol* IPMVP (Protocolo Internacional de Medida y Verificación) ha sido desarrollado por la *Efficiency Valuation Organization* EVO (Organización para la Valoración de la Energía).

El IPMVP es un documento de orientación que proporciona un marco conceptual para medir, calcular y reportar los ahorros alcanzados en



proyectos de mejora energética. El IPMVP define términos clave y esboza cuestiones que deben ser consideradas en la elaboración de un plan de medida y verificación, aunque no proporciona detalles de las medidas o tecnologías específicas.

El IPMVP se ha desarrollado a través de un esfuerzo de colaboración entre industria, gobierno, sector financiero, y otras organizaciones.

El IPMVP se basa en la comparación entre el escenario de referencia y la situación después de la implantación de una o varias medidas de mejora energética.

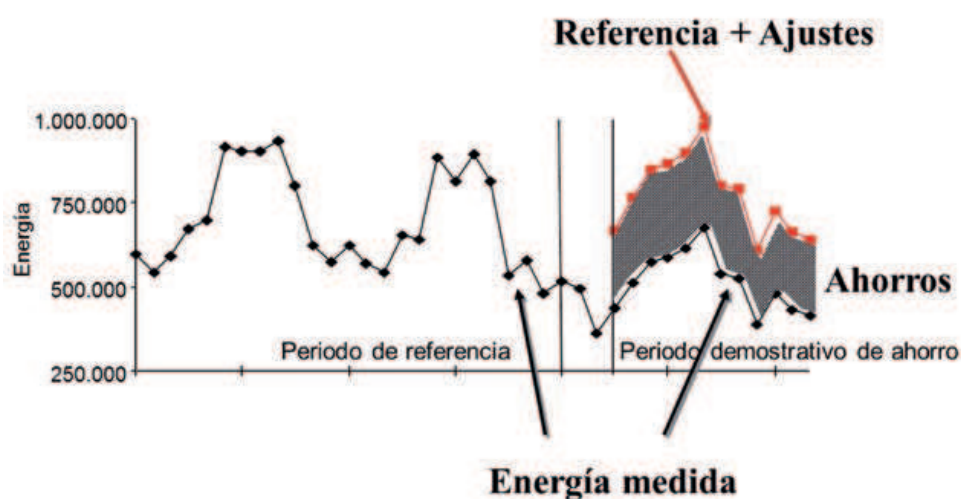


Figura 9. Referencia de cálculo de los ahorros. Fuente: Curso formación CMVP – EVO.

Para conseguirlo, el IPMVP define cuatro opciones de cálculo para la medición y verificación de los ahorros. De una forma general, el enfoque de las cuatro opciones se basa en el escenario de referencia acordado antes de la implantación de la medida de mejora energética. Es por ello que, el IPMVP destaca la importancia de definir con precisión la caracterización del escenario base.

Las cuatro opciones o métodos de cálculo que define el IPMVP son:

- Opción A: análisis parcial aislando una medida de mejora energética.
- Opción B: análisis aislando una medida de mejora energética.



Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos

- Opción C: análisis de una instalación completa.
- Opción D: simulación calibrada.

A continuación se presentan en detalle cada una de las cuatro opciones presentadas en el IPMVP.

opClón a

- Análisis aislado de la medida de mejora energética.
- Medición de parámetros clave en el cálculo de ahorro de consumo y estimación del resto.
- En general, su aplicación se centra en medidas de sustitución de equipos en los que se varía alguno de los parámetros clave (por ejemplo la potencia) asumiendo que no hay ningún otro cambio de funcionamiento y que no tiene interacción con ningún otro consumo.

El primer paso en esta opción es decidir qué parámetros se desean medir y qué parámetros se desean estimar.

Los parámetros a medir se seleccionarán en función de los objetivos de la medida de mejora energética. En caso de que un parámetro sea importante para determinar el rendimiento de la mejora implantada, éste debe ser medido.

Las estimaciones deben ser utilizadas únicamente cuando se pueda demostrar que el error de la suma de todas las estimaciones que se realizan, no afecta de forma significativamente al ahorro total de la mejora.

Las estimaciones se pueden realizar a partir de datos históricos, tales como las horas de funcionamiento, las prestaciones establecidas por el fabricante del equipo, pruebas de laboratorio o datos climatológicos registrados.

opClón b

- Análisis aislado de la medida de mejora energética.
- Medición de todos los parámetros, dentro del límite de medición, necesarios para obtener el ahorro energético alcanzado.
- En general, su aplicación se centra en medidas de sustitución de equipos en los que se haya definido el límite de medición alrededor del equipo a analizar.

La opción B se basa en la medición de todos los parámetros necesarios para el cálculo de los ahorros alcanzados.



Por lo general, el ahorro generado por la mayoría de medidas de mejora energética puede ser determinado mediante esta opción. No obstante, la complejidad de la mejora dificulta y aumenta los costes asociados a esta opción pudiendo hacerla inviable.

Generalmente es más complicada y costosa que la opción A pero la opción B aporta resultados más precisos cuando la demanda energética y/o los ahorros son variables.

Dado que todos los parámetros para determinar los ahorros energéticos son medidos y se aísla la mejora para su análisis, en la opción B no es necesario realizar ajustes.

opción C

- Análisis de la instalación completa.
- Medición continua de todos los parámetros, dentro del límite de medición, necesarios para obtener el ahorro energético alcanzado.
- En general, su aplicación se centra en casos en los que se implementen diferentes medidas de mejora energética interrelacionadas entre sí.

La opción C implica el uso de equipos de medición de las empresas de suministro energético, de equipos que midan toda la instalación o de equipos parciales.

En esta opción, el límite de medición concuerda con el límite de la instalación.

Esta opción está pensada para proyectos donde el ahorro estimado:

- es superior a las variaciones del consumo,
- no tenga explicación y ocurra dentro de la instalación.

En la opción C, los ajustes rutinarios se calculan por medio de modelos matemáticos que se corresponden con el patrón de consumo de cada uno de los equipos de medida.

El coste de la opción C depende de la fuente de los datos y de la dificultad de conseguir las variables estáticas dentro del límite de medición, para poder realizar los ajustes no rutinarios durante el periodo de medición.



opClón D

- Simulación calibrada.
- Programa de simulación para predecir el consumo energético y/o el consumo del escenario de referencia.
- En general, se utiliza cuando no existen, o no están disponibles, los datos del escenario de referencia. También se utiliza en caso de que el consumo del escenario de medición quede encubierto por factores que son difíciles de cuantificar. Así mismo, también se utiliza en caso de que las opciones anteriores (A, B y C) sean demasiado complejas y costosas.

La opción D implica el uso de un programa de simulación por ordenador para predecir el consumo de la instalación tanto antes como después de la implantación de la mejora.

Puede servir para evaluar el rendimiento de cualquier medida de mejora de una instalación de una forma parecida al enfoque de la opción C utilizando el programa de simulación para estimar el ahorro de la mejora de una instalación como suma de diferentes medidas implantadas.

Asimismo, puede servir para la evaluación del rendimiento de sistemas independientes, de forma parecida a las opciones A y B.

Presentadas las cuatro opciones definidas en el IPMVP, debe mencionarse que la opción debe seleccionarse en cada caso adhoc a la complejidad de la/s medida/s a evaluar así como la fiabilidad requerida y los costes a destinar al plan de medida y verificación.

En general, si se gestiona el consumo total de energía, se seleccionará un método de verificación de toda la instalación.

No obstante, si se quiere evaluar el impacto de una mejora en particular, se seleccionará un método de verificación aislada de la medida de mejora.

A modo de orientación, a continuación se presenta un diagrama de flujo con el objetivo de facilitar la selección de la opción a escoger en cada caso.

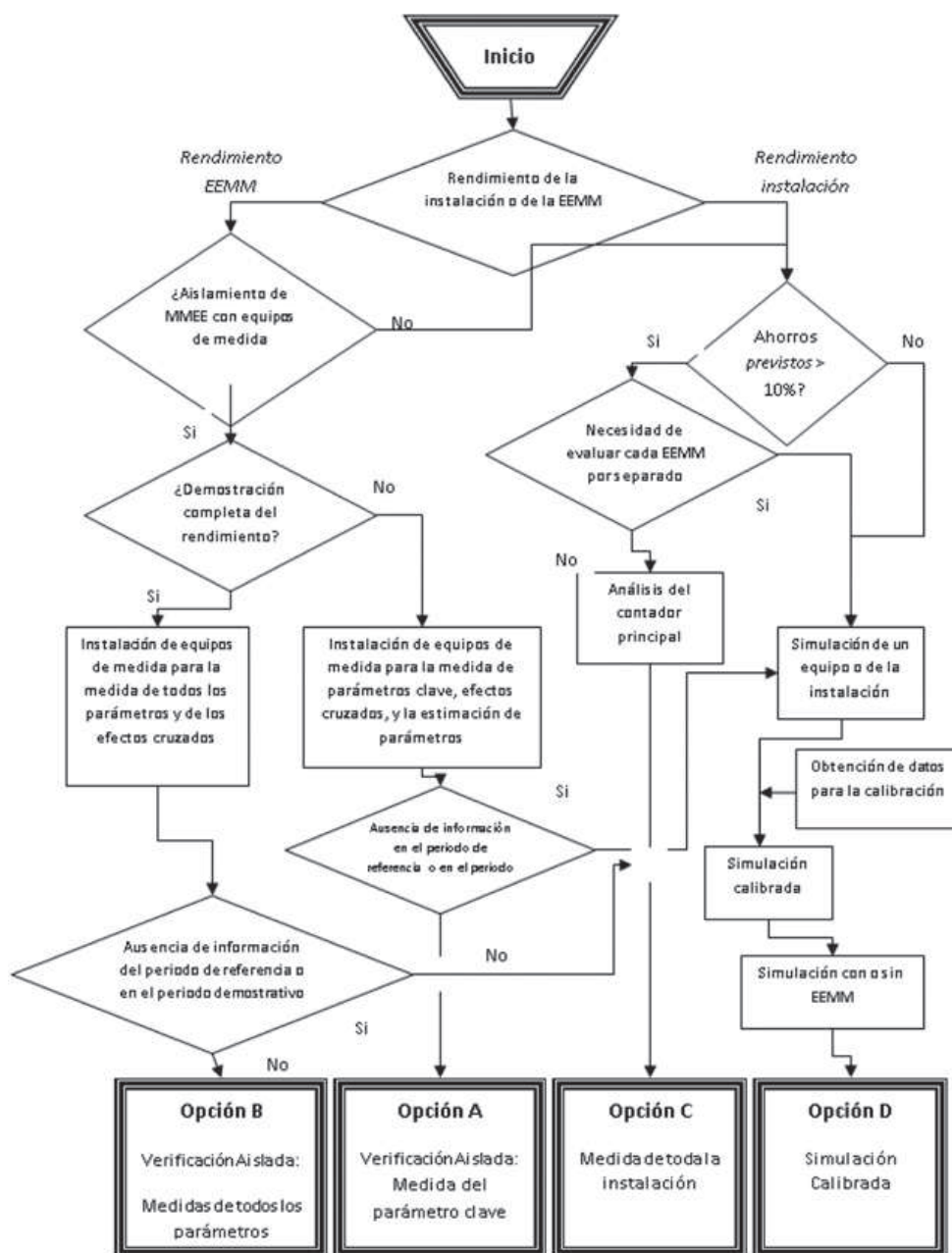


Figura 10. Proceso de selección de la opción de medición de la metodología IPMVP.

Fuente: Protocolo Internacional de Medida y Verificación, Volumen 1 – Evo - Septiembre 2009.

El texto completo del protocolo puede adquirirse registrándose en www.evo-world.org

2.4.2. F EMP

El *Federal Energy Management Program FEMP* (Programa Federal de Gestión Energética) tiene publicadas las *M&V Guidelines: Measurement and Verification for Federal Energy Projects* (Directrices para



Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos

Medida y Verificación: Medición y Verificación para proyectos energéticos federales).

Las directrices para M&V del FEMP contienen procedimientos específicos para la aplicación de conceptos descritos en el IPMVP. Es decir, representan una aplicación específica de la IPMVP para proyectos con la Administración. Por ello, lo establecido en las directrices para M&V del FEMP se ha definido completamente compatible y coherente con el IPMVP.

En las directrices para M&V del FEMP se esbozan los procedimientos para la determinación de las opciones de medida y verificación, la evaluación de los planes de validación de ahorros y los informes a desarrollar. Así mismo, se establecen bases para la distribución y el pago de los ahorros energéticos a lo largo del período del contrato.

Las directrices del FEMP definen cuatro opciones de cálculo para los ahorros (opciones A, B, C y D) que están en línea con las definidas en el IPMVP descrito en el apartado anterior, presentado algunas variaciones en su alcance.

La selección de la opción debe realizarse en función de las características de las medidas de mejora energética que se están implantando así como el equilibrio entre la precisión en las estimaciones de ahorro energético y el coste de realización del plan de evaluación y seguimiento de los ahorros.

Las opciones descritas en las directrices del FEMP se dividen en dos tipos según el límite de medición que establezcan:

- Medida de mejora energética aislada. Los métodos de cálculo se centran solo en el equipo o sistema afectado con independencia del resto de la instalación.
- Mejora de la instalación en general. Los métodos de cálculo consideran el consumo de energía total, sin fijarse en el equipo de forma específica.

Las opciones A y B son los métodos que se aplican a la evaluación de medidas de mejora energética de forma aislada.



La opción C es un método a aplicar para la evaluación de una mejora de la instalación en general.

La opción D se puede utilizar en ambas opciones aunque generalmente se aplica en medidas de mejora a nivel global de toda la instalación.

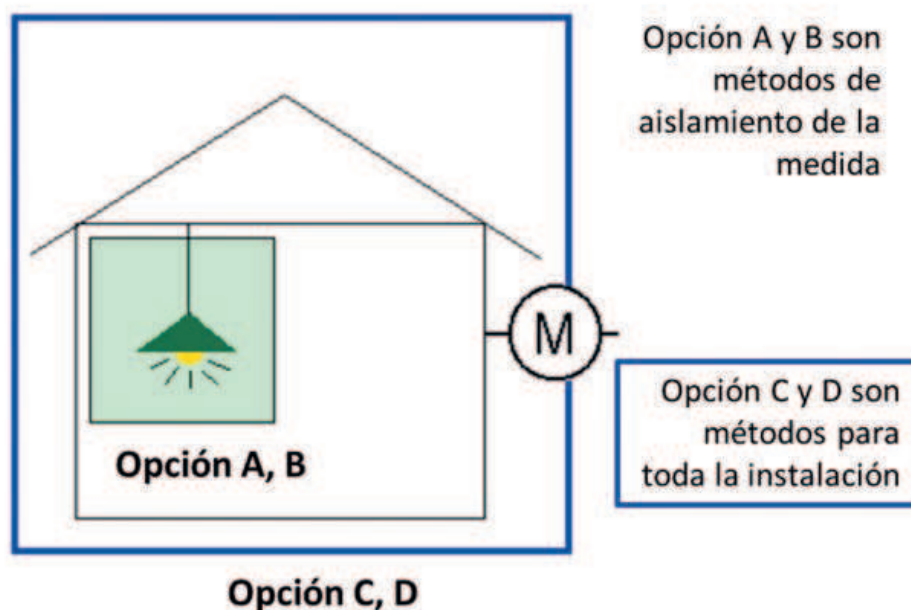


Figura 11. Métodos de evaluación aislando la medida (opciones A y B) versus métodos de evaluación de la instalación global (opciones C y D).
Fuente: Introduction to Measurement & Verification for DOE Super ESPC Projects del FEMP.

El FEMP identifica dos factores que afectan al ahorro de energía: el rendimiento y el uso. El rendimiento describe cuánta energía se utiliza para desarrollar una tarea específica. El uso describe qué cantidad de la tarea se necesita, por ejemplo, las horas de funcionamiento de un equipo.

Considerando el caso de la iluminación, el rendimiento son los vatios necesarios para proporcionar una cantidad específica de luz mientras que el uso son las horas de funcionamiento al año.

Los ahorros energéticos se definirán en base a estos dos factores, los de rendimiento y de uso.

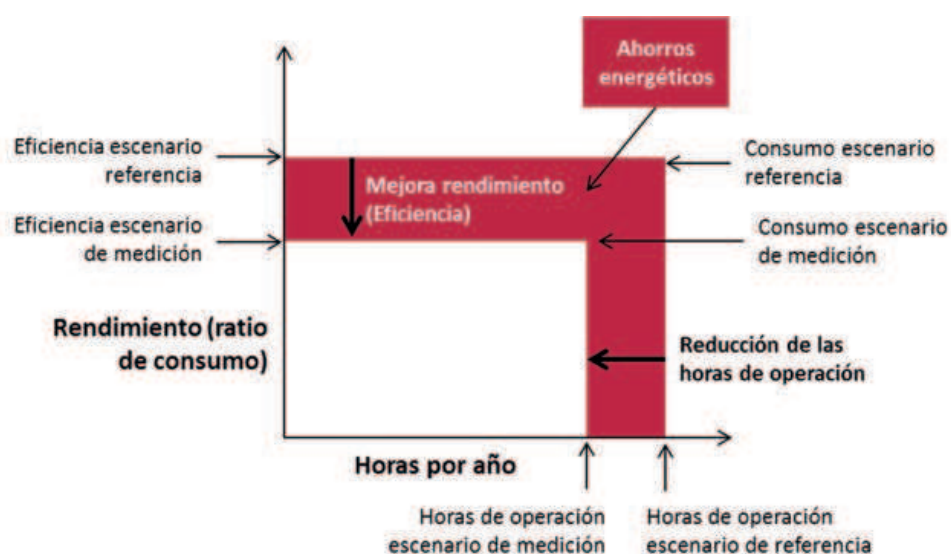


Figura 12. Relación entre los ahorros energéticos y el rendimiento y el uso.
Fuente: Introduction to Measurement & Verification for DOE Super ESPC Projects del FEMP.

Se considera que el ahorro energético es la diferencia entre ambos rectángulos (área sombreada) considerando las variaciones en el rendimiento y el uso.

OPCIÓN A – PARÁMETROS ESTIMADOS U OBTENIDOS CON MEDICIONES PUNTUALES	
Tipo de datos a analizar	Basado en una combinación de parámetros estimados y que provienen de mediciones. <ul style="list-style-type: none"> Las mediciones se realizan puntualmente aislando el equipo o sistema a analizar. Los factores estimados se basarán en datos del fabricante.
Cálculos de los ahorros	En función de la fuente de los factores a analizar (mediciones o estimaciones). <ul style="list-style-type: none"> Cálculos ingenieriles. Modelos de los equipos o sistemas a analizar.

La opción A es un método de cálculo por aislamiento del equipo o sistema a analizar. Se recomienda en proyectos en los que deba verificarse el potencial de obtención de ahorros así como determinar los ahorros reales a partir de mediciones puntuales, cálculos ingenieriles y factores estimados.

Con posterioridad a la implantación de la medida de mejora energética y durante la vigencia del contrato, no se mide ni el consumo de energía, ni el rendimiento del equipo ni su uso. El consumo energético, tanto del escenario de referencia como del escenario posterior a la



implantación de la medida de mejora energética, se estima utilizando análisis ingenieriles de la información que no implica mediciones prolongadas.

El objetivo de la opción A es verificar el comportamiento a través de mediciones antes y después de la implantación de la medida de mejora energética. Los parámetros que afectan al consumo energético pueden ser medidos o estimados en base a cálculos ingenieriles y experiencia, los horarios de funcionamiento, datos registrados por el operador, datos meteorológicos promedios u otra fuente de información documentada.

OPCIÓN B – FACTORES ESTIMADOS U OBTENIDOS CON MEDICIONES PERIÓDICAS O CONTINUAS	
Tipo de datos a analizar	<ul style="list-style-type: none"> • En caso de variaciones de los factores previstas: cálculo basado en mediciones periódicas o continuas tomadas aislando el equipo o sistema a analizar. • En caso de variaciones no previstas: se realizan mediciones puntuales que complementen la información.
Cálculos de los ahorros	<p>En función de la fuente de los factores a analizar (mediciones o estimaciones).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cálculos ingenieriles. • Modelos de los equipos o sistemas a analizar.

La opción B es una adaptación del enfoque de medición aislando el equipo o sistema a analizar descrita en la opción A. Por lo que la opción B es similar a la opción A, pero utiliza la medición periódica o continua durante el escenario de medición posterior a la implantación de la medida de mejora energética.

La medición continua de los parámetros de rendimiento y operación permite la recopilación de datos de consumo energético de los equipos y sistemas a analizar durante un período prolongado. Así mismo, permite verificar la persistencia de los ahorros a lo largo del período de contrato del servicio energético.

En este sentido, el objetivo de la opción B es verificar el rendimiento de forma periódica o continua con las mediciones prolongadas, lo que garantiza la persistencia de ahorro.

La opción B se recomienda para medidas de mejora que impliquen variaciones en factores de rendimiento y de funcionamiento que puedan ser medidos en el equipo o sistema afectado así como en pro-



Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos

yectos en los que se deban verificar los rendimientos en un periodo prolongado.

Las mediciones periódicas que se realizan de forma puntual, pueden ser utilizadas cuando las variaciones en los factores analizados son pequeñas, y asegurándose que los datos obtenidos son suficientes para caracterizar el escenario de referencia.

La monitorización continua de datos puede ser utilizada para mejorar u optimizar el funcionamiento del equipo a lo largo del tiempo, mejorando así el rendimiento de la mejora implantada. Este enfoque proporciona mayor precisión en el cálculo de los ahorros, pero aumenta el coste del plan de evaluación de los ahorros.

OPCIÓN C – ANÁLISIS DE LOS DATOS DE FACTURACIÓN DE LA EMPRESA DE SUMINISTRO ENERGÉTICO	
Tipo de datos a analizar	<ul style="list-style-type: none">• Basado en mediciones a largo plazo considerando todo el edificio en su globalidad.• Las mediciones se realizan a nivel del contador de la empresa de suministro energético.
Cálculos de los ahorros	Basados en análisis de regresión de los datos obtenidos del contador de la empresa de suministro energético para explicar los factores que comportan consumo energético.

Opción C es un método de evaluación de los ahorros que considera todo el edificio en su globalidad. El cálculo de los ahorros se basa en el consumo real de energía, a través de mediciones en el/los contador/es de la empresa de suministro energético.

La opción C se recomienda para determinar ahorros mediante el estudio del consumo global de una instalación. La evaluación de los datos del contador de todo el edificio o instalación se complementa utilizando otras técnicas, desde la simple comparación de facturas hasta análisis de regresiones entre diferentes factores objeto de estudio.

En general, la opción C debe tenerse en cuenta cuando el nivel de ahorro es un 10% superior al consumo de energía que se está midiendo.

Debe recalcar que la opción C no puede verificar el cumplimiento de los objetivos de ahorro de las medidas de mejora energética de una forma individual, sino que se utiliza para comprobar el rendimiento total de todas las medidas de mejora energética, incluidas sus interacciones.



OPCIÓN D – SIMULACIÓN INFORMÁTICA CALIBRADA	
Tipo de datos a analizar	<p>Los inputs de las simulaciones pueden basarse en alguna de las siguientes fuentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hipótesis justificadas basadas en la base de datos recopilados de las instalaciones. • Especificaciones del funcionamiento y rendimiento del equipo o sistema a analizar. • Mediciones puntuales o a largo plazo de los componentes del sistema. • Mediciones a nivel de edificio realizadas con el contador general.
Cálculos de los ahorros	<p>Basados en el modelo de simulación calibrado con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El edificio en su global. • Los datos obtenidos por medición en el medidor de consumo de energía final.

La opción D, al igual que la opción C, se presenta como un método de análisis de todo el edificio. No obstante, ofrece también la posibilidad de ser utilizado para un análisis aislado de una medida de mejora en concreto.

Utiliza modelos de simulación del consumo energético, de los equipos o sistemas a analizar o del edificio a nivel global, para determinar los ahorros energéticos alcanzados.

Los modelos se calibran mediante la relación de los inputs de los modelos con el escenario base y el posterior a la implantación de la medida de mejora energética.

La caracterización de ambos escenarios puede comportar la necesidad de realizar mediciones de rendimientos o parámetros de funcionamiento antes y después de la modificación. Pueden utilizarse:

- Datos de consumo energético del edificio de un periodo de tiempo prolongado así como mediciones periódicas y puntuales del rendimiento del sistema.
- Los modelos más elaborados, en general, obtienen datos mediante la monitorización de los componentes del edificio. Dichos métodos, mejoran la precisión del cálculo de los ahorros pero aumentan significativamente los costes.

La opción D se recomienda en especial cuando no existe el escenario de referencia (por ejemplo en caso de una nueva construcción o una modificación significativa de un edificio). Así mismo, también se



Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos

recomienda cuando los factores identificados como responsables de los ahorros, no son fácilmente medibles (por ejemplo, la evaluación de la reducción de la ganancia solar y la pérdida de calor a través de nuevas ventanas).

El texto completo de las directrices para M&V del FEMP puede obtenerse en www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/mv_guidelines.pdf

2.4.3. ASHRAE

La *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* ASHRAE (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Climatización) tiene publicada la *Guideline 14-2002 Measurement of Energy and Demand Savings* (Directiva 14-2002). La publicación proporciona detalles complementarios al IPMVP, aportando detalles técnicos sobre muchos de los conceptos del IPMVP.

La Directiva 14-2002 es una referencia para el cálculo de ahorros energéticos y de demanda asociados a contratos de servicios energéticos con la implantación de medidas de mejora energética.

Establece directrices sobre la instrumentación a utilizar así como la gestión de los datos disponibles. También describe metodologías para analizar y contabilizar la incertidumbre asociada a los modelos y mediciones desarrollados.

La Directiva 14-2002 se centra en estos cálculos sin analizar otros aspectos de un contrato de servicios energéticos.

En caso de desarrollar un plan de medida y verificación a través de la opción D, puede encontrarse información sobre distintos modelos de simulación de edificios en el Capítulo 32 del Manual ASHRAE (2005) y en el Capítulo 6.3 de la ASHRAE (2002).

Aunque pueden utilizarse otros programas de simulación, el *United States Department of Energy* DOE (Departamento de Energía de los EE.UU.) publica un listado actualizado de los programas informáticos públicos y privados que se utilizan para la simulación energética de edificios.

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.

Así mismo, la ASHRAE ofrece modelos para el cálculo a nivel industrial de componentes de HVAC en su HVAC02 Toolkit (Brandemuehl 1993) y para calderas y enfriadores en el HVAC01 Toolkit (Bourdouxhe 1994^a, 1994b, 1995).

La Directiva 14-2002 puede adquirirse en la librería de la ASHRAE en www.ashrae.org

2.4.4. Diferencia entre los tres protocolos

Los tres protocolos presentados son documentos complementarios que ofrecen orientación y directrices para la cuantificación de los ahorros energéticos. A modo de resumen, a continuación se presentan las principales diferencias entre los tres protocolos presentados, con el objetivo de orientar al lector en su consulta.

El IPMVP y las directrices para M&V del FEMP se diferencian en los siguientes puntos clave:

- El IPMVP presenta un marco de definiciones y enfoques amplios mientras que el documento de las directrices para M&V del FEMP es un documento aplicativo, basado inicialmente en la versión de 1997 del IPMVP. Se diseñó específicamente para las Agencias Federales de los Estados Unidos.
- Las directrices para M&V del FEMP también incluyen más detalles sobre la aplicación de las diferentes opciones de cálculo en medidas de mejora energética específicas.
- El IPMVP requiere el uso de mediciones limitadas bajo la opción A, mientras que las directrices para M&V del FEMP permiten una estimación completa bajo circunstancias especiales.

Por otro lado, la IPMVP y la Directiva 14 de ASHRAE se diferencian en los siguientes puntos clave:

- El IPMVP presenta un marco de definiciones y enfoques amplios mientras que la Directiva 14 de ASHRAE proporciona detalles de la



preparación y ejecución de planes de medida y verificación dentro de un marco similar.

- El IPMVP permite la estimación de parámetros en la opción A, mientras que la Directiva 14 de ASHRAE exige la medición de todos los parámetros en todas las opciones de cálculo.
- La búsqueda del equilibrio entre incertidumbre y costes presentada en el IPMVP se mejora en la Directiva 14 de ASHRAE mediante las definiciones sobre las maneras de cuantificar la incertidumbre, por lo que las decisiones de diseño pueden considerar los costes con menor peso que los mejores métodos disponibles para la cuantificación de la incertidumbre.

Con el objetivo de tener una visión general del alcance de los planes de evaluación y seguimiento de los ahorros, se recomienda la lectura de los tres protocolos presentados.

Posteriormente, el lector puede definir su propia metodología o extraer los factores más desarrollados de cada uno de ellos o que mejor se adaptan al proyecto objeto de análisis.

2.5. Tecnologías y herramientas de medición y cuantificación de los ahorros

2.5.1. Equipos de medición

Para la selección de equipos de medición adecuados al proyecto a evaluar, se propone que éstos:

- Se dimensionen de acuerdo al rango de las mediciones a realizar.
- Permitan una repetitividad.
- Aporten fiabilidad y capacidad de autodiagnóstico.
- Tengan velocidad de respuesta y facilidad de calibrado.
- Permitan el envío de datos vía conexión inalámbrica/bluetooth.

Los equipos de medida tienen que ser calibrados según las recomendaciones del fabricante y según los procedimientos fijados por la le-



gislación vigente sobre medición. 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 autocalibrar.

Finalmente debe considerarse la posibilidad de compartir el coste de los contadores utilizados con otros propósitos, como por ejemplo:

- Procesos de control, optimización o envío de alertas.
- Subcontratación de inquilinos.
- Asignación de costes de responsabilidad por departamentos.
- Confirmación de las facturas de la empresa de suministro energético.

Existen diferentes tipos de equipos de medición, entre los que destacan los contadores eléctricos, contadores de energía térmica, medidores de caudal, sensores de humedad,...

En el protocolo de la ASHRAE se presentan en detalle las características de los principales equipos de medición así como su adecuación a cada tipo de medida de mejora. También incluye información sobre su proceso de calibraje.

2.5.2. Precisión de los equipos

Con el objetivo de que un plan de evaluación y seguimiento de ahorros tenga éxito, los equipos de medición deben cumplir con los requerimientos de precisión mínimos establecidos y ser calibrados de acuerdo a ellos.

En caso de que la precisión de cualquier instrumento sea menor que el indicado, las mediciones podrían no ser adecuadas, ya que introducirá los niveles inaceptables de error en los cálculos.



Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos

A parte, los equipos de medición utilizados en el escenario de referencia y el de medición deben cumplir los mismos requerimientos de precisión.

En concreto, se recomienda el uso del mismo equipo exactamente o, en su defecto, un equipo de las mismas características calibrado de acuerdo a lo establecido en el escenario de referencia.

Los requerimientos de precisión de la instrumentación se diseñan para asegurar que las mediciones y sus costes asociados sean razonables.

Si la precisión, más allá de la que ofrece el contador es importante, usar dos contadores en cascada: aguas arriba y aguas abajo del elemento a medir.

Así mismo, debe controlarse la pérdida de precisión por «truncado» de los datos en comunicaciones o traducciones del software.

Es importante tener cuenta que la inexactitudes introducidas por la instrumentación serán una de las fuentes de incertidumbre de los ahorros calculados.

El plan de medida y verificación debe recoger las especificaciones reales y la precisión de las mediciones de cualquier equipamiento utilizado.

2.6. Posible papel del gestor energético

Con el objetivo de mantener las características de transparencia de un plan de medida y verificación, se considera recomendable la verificación a través de una persona/s independiente al equipo que ha planificado e implementa el plan de evaluación de ahorros. Es decir, externa al equipo de la empresa de servicios energéticos y del cliente.

Normalmente, se recomienda que:

- El prestador del servicio planifique y ejecute el plan de evaluación de ahorros, con el acuerdo del cliente.
- El cliente verifique los ahorros energéticos reportados.

- Una tercera parte asesore de forma independiente a ambas partes en la verificación de los resultados de ahorro y del plan de evaluación y seguimiento de los ahorros en su conjunto.

Destacar que, se está aprobando un marco normativo alrededor de la figura del gestor energético cómo profesional encargado del seguimiento de los consumos energéticos de un edificio así como de propuesta de mejoras, que persigue la potenciación de su figura profesional.

Una empresa de servicios energéticos ofrece el perfil de este profesional internalizando dentro del alcance del servicio que presta.

Así mismo, los equipos de mantenimiento de algunos clientes, desarrollan también las funciones de seguimiento energético y de propuesta de mejoras en sus tareas habituales de trabajo.

No obstante, en ambos casos, la figura del gestor energético queda incluida en sus estructuras y equipos y, por lo tanto, forma parte de alguna de las partes implicadas en el plan de medida y verificación, no ejerciendo como figura externa e independiente.

Es por ello que, aun teniendo la figura de gestor energético internalizada en las organizaciones implicadas, se recomienda la contratación de esta figura de profesional con la intención de tener una tercera parte implicada que verifique los resultados y evolución del plan de evaluación de ahorros.



3

LA MEDICIÓN COMO BASE DE LAS GARANTÍAS CONTRACTUALES DE LOS SERVICIOS ENERGÉTICOS



3.1. Riesgos de un contrato de servicios energéticos

Un contrato de servicios energéticos permite al usuario transferir una serie de riesgos al prestador del servicio. Riesgos:

- de planificación,
- económico (incluido el riesgo de los intereses),
- de ahorros,
- técnico.

Asimismo, el prestador asume otros riesgos externos como pueden ser:

- cambios meteorológicos,
- cambios de precios (energía, equipos, tasas medioambientales o de valor añadido, ...),
- marco legal,
- cambios en el uso de las dependencias objeto del contrato.

Es por ello que el contrato debe intentar cubrir los riesgos que se asumen, cuantificando, siempre que sea posible, sus efectos sobre lo establecido en el contrato y acordando con el cliente las implicaciones de posibles desviaciones.

De acuerdo a lo que se ha expuesto en ésta guía, la evaluación y seguimiento de los ahorros se hace imprescindible en este tipo de con-



Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos

tratos puesto que es la base de las garantías contractuales que dan sentido al mecanismo del servicio energético.

Es por ello que es importante identificar los riesgos específicos y asociados al plan de medida y verificación que afectan a éstas garantías de ahorro energético establecidas en el contrato y, por lo tanto, relacionadas con el plan de evaluación y seguimiento de los ahorros.

Destacar que las directrices para M&V del FEMP (descritas en el punto 2.4.2) definen una matriz de riesgos y responsabilidades asociada a un contrato de servicios energéticos. Esta matriz detalla a nivel financiero, operacional y de rendimiento, los riesgos y responsabilidades que deben considerarse en el momento de definir un contrato de proyectos de servicios energéticos.

Las directrices para M&V del FEMP presentan esta matriz como ayuda para identificar los principales riesgos de los proyectos, evaluar sus posibles impactos, y aclarar la parte responsable de la gestión del riesgo. Es decir, presenta aspectos que considera clave con la intención de provocar una reflexión en el lector en el momento de definir el contrato.

En su texto recomienda que el primer paso en el desarrollo de un plan de medida y verificación en proyectos de contratos energéticos sea la cumplimentación de una matriz de responsabilidad específica para el proyecto a analizar.

A partir de dicha matriz, ambas partes deberán evaluar cómo asignar las responsabilidades clave y solventar los riesgos que se identifiquen en ella.

A continuación se presenta la matriz de responsabilidades publicada en las directrices M&V del FEMP en la que se describen los principales problemas financieros y operativos así como su influencia en contratos de servicios energéticos.

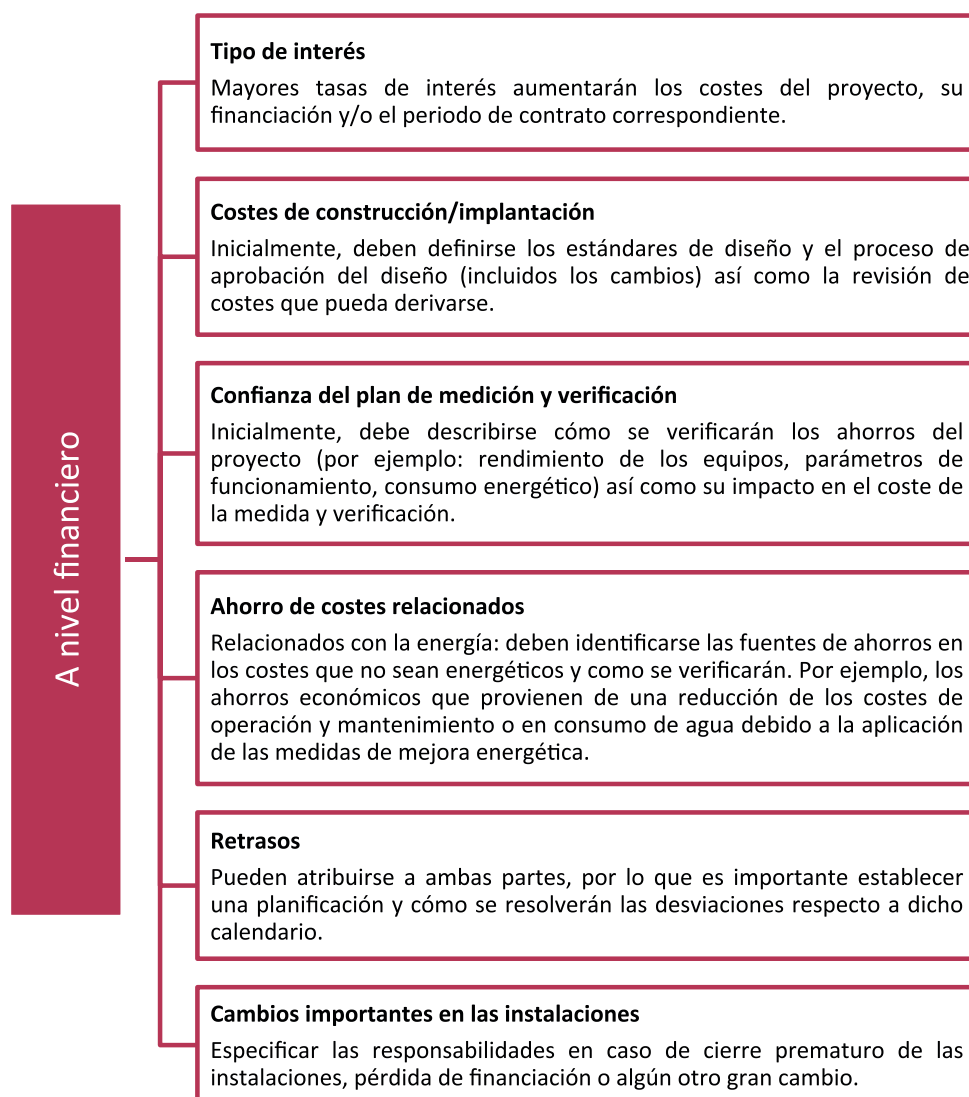


Figura 13. Matriz de riesgos a nivel financiero. Fuente: FEMP M&V Guidelines.

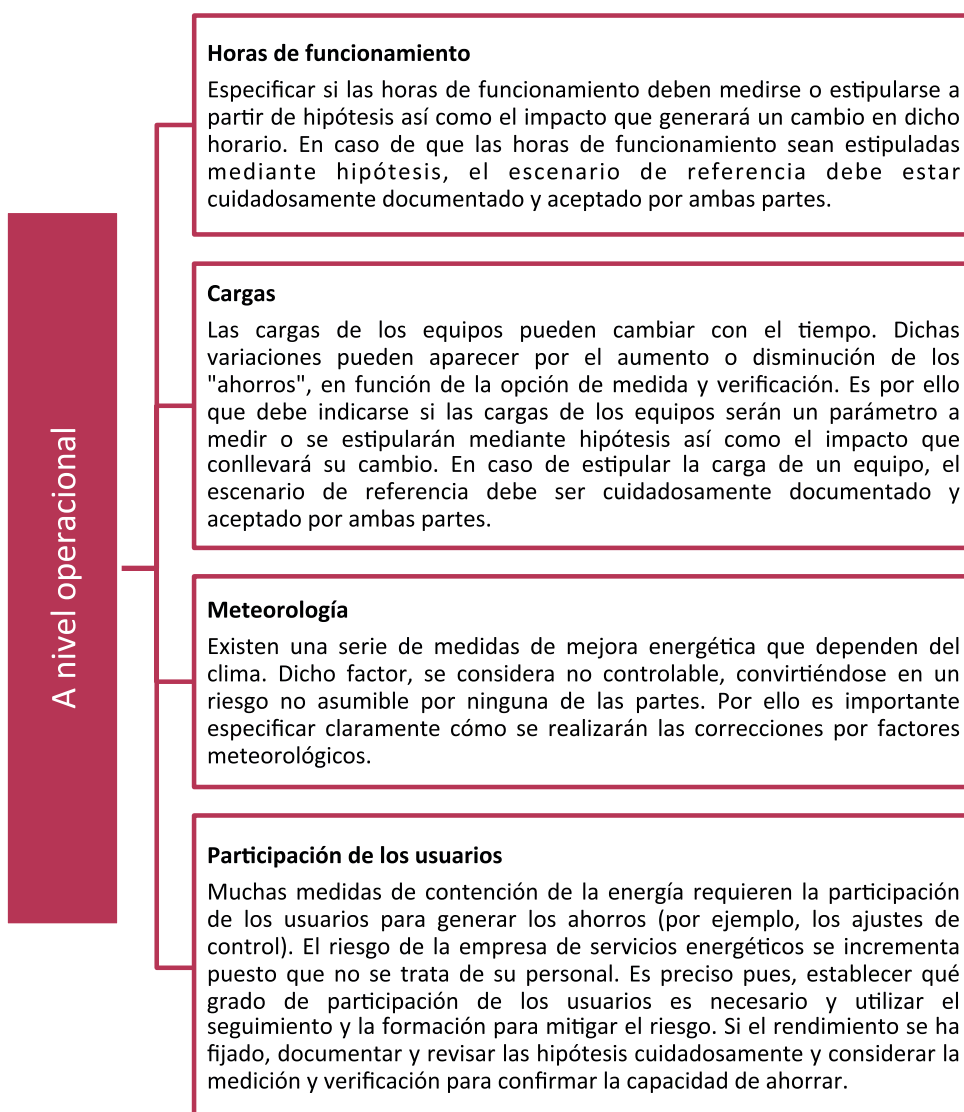


Figura 14. Matriz de riesgos a nivel operacional. Fuente: FEMP M&V Guidelines.

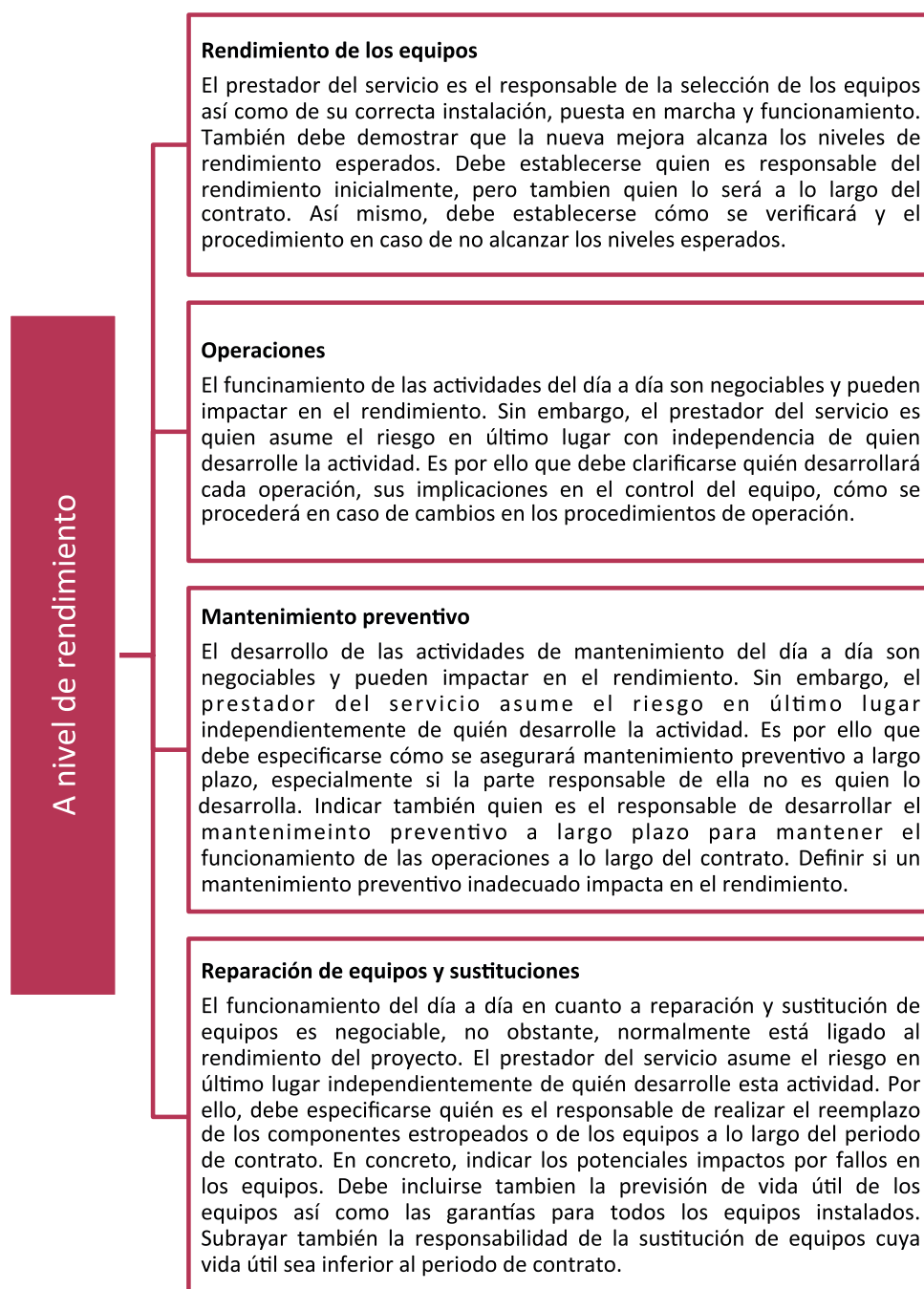


Figura 15. Matriz de riesgos del rendimiento. Fuente: FEMP M&V Guidelines.

Se recomienda que los aspectos presentados en este apartado así como en el resto del capítulo sean contemplados en el contrato. No obstante, para no complicar excesivamente el texto del documento contractual, se propone crear anexos específicos para cada proyecto que estén perfectamente adaptados e incorporados al contenido del contrato así como sus modificaciones posteriores acordadas por las partes. Dichos anexos deben regir el contrato al igual que el documento contractual «*strictu sensu*».



3.2. Garantías contractuales. Indicadores

Tanto si se trata de un contrato de ahorros compartidos como de ahorros garantizados, los ahorros que se han establecido como objetivo del servicio energético deben incluirse en el contrato:

- En el caso de los contratos de ahorros garantizados, forman parte de las garantías contractuales, por lo que las cláusulas de modificación y extinción así como las posibles penalizaciones deben relacionarse con los ahorros alcanzados.
- En el caso de los contratos de ahorros compartidos, además se incluirá la ecuación que permita establecer, para cada periodo establecido, la distribución de dichos ahorros.

Es por ello que el plan de medida y verificación debe formar parte del contrato puesto que establece los parámetros que determinarán los ahorros conseguidos así como las condiciones, metodologías y planificaciones que se aplicarán para evaluarlos.

En este sentido, es importante definir para cada una de las garantías de ahorro, un indicador que permita evaluarlo y que sea resultado del plan de medida y verificación.

Para cada indicador, se recomienda indicar en el contrato los siguientes puntos:

Concepto del indicador

Un indicador se define con la finalidad de expresar un resultado fruto de una o varias mediciones, hipótesis,...

Con el objetivo de que un indicador aporte información sobre el valor que se está presentando, se recomienda que un indicador de garantía contractual no coincida con el valor absoluto de una medición de consumo, sino que se referencie a unidades disponibles en cada proyecto.

Por ejemplo, para la presentación de diferencias entre consumo entre los escenarios pre y post implantación de una mejora, se recomienda que el indicador de garantías contractuales se describa como un porcentaje de lo que representa esta diferencia respecto al escenario de referencia.



Así mismo, se recomienda que los valores absolutos se referencien a unidades disponibles en cada proyecto que permitan asimilar, por ejemplo, el consumo energético por m² o por trabajador de una oficina.

La definición de conceptos relativos permiten comparar resultados a lo largo del periodo de contrato.

Valor del indicador que se garantiza

Es decir, la garantía contractual propiamente dicha.

Esta garantía puede definirse para diferentes periodos, de acuerdo al plan de inversiones y la planificación de la implantación de las medidas de mejora energética.

El valor a garantizar debe basarse en los cálculos realizados a partir de la auditoría realizada al inicio del proyecto considerando:

- el escenario de referencia,
- los cambios en equipamientos funcionamiento,... previstos durante el periodo de contrato,
- la interacción con otras medidas de mejora energética planificadas,
- el margen de seguridad en función del análisis de los riesgos.

Se recomienda relacionar el valor garantizado con los resultados del plan de medida y verificación.

No es recomendable establecer el valor de las garantías contractuales basándose exclusivamente en datos bibliográficos o de mercado.

Unidades en las que se presentará cada uno de los indicadores

Debe definirse una unidad adecuada a los valores que se prevén para cada indicador, es decir, unidades que concuerden con el orden de magnitud de los valores a presentar.



Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos

Con el objetivo de facilitar la interpretación de los resultados por parte del cliente, se recomienda:

- En la medida de lo posible, medir un mismo concepto, por ejemplo consumo de gas natural, con una misma unidad en todas las medidas de mejora energética en las que deba utilizarse.
- Que las unidades establecidas permitan presentar el indicador de una forma que sea fácil de interpretar por el cliente.

Finalmente, se recomienda que cada indicador tenga una unidad asociada, manteniendo dicha unidad a lo largo del periodo del contrato.

Metodología de obtención del indicador

Siguiendo con la filosofía de transparencia y rigurosidad del plan de medida y verificación, se recomienda presentar la metodología de obtención de cada indicador.

En concreto, se recomienda referenciar su obtención a los cálculos definidos en el plan de evaluación de los ahorros.

Periodicidad de obtención del indicador

En la planificación del proyecto, y más en concreto del plan de evaluación de ahorros, debe establecerse la periodicidad de obtención de cada indicador.

Así mismo, deberá establecerse en qué caso se considerará resultado vinculante en el contrato. Por ejemplo, puede definirse un indicador que se presente en los informes trimestrales pero que se establezca que sólo sea vinculante a las garantías contractuales su valor promedio anual.

3.3. Obligaciones y derechos de los agentes implicados

3.3.1. Prestador del servicio

El prestador del servicio, debe definir en el contrato el alcance del servicio que ofrecerá, incluyendo:



- Memoria técnica y económica de las medidas a implantar.
- Planificación del calendario previsto.
- El plan de ahorro energético anual.

El plan de ahorro energético anual concretará las garantías mínimas que debe cumplir el prestador del servicio, cuyos datos están condicionados y derivan directamente del escenario base que se ha definido.

Para ello, incluirá el plan de medida y verificación con el objetivo de acordar con el cliente las condiciones bajo las cuales se calcularán los ahorros alcanzados. El plan de evaluación y seguimiento de los ahorros permite, de una forma rigurosa:

- Definir una metodología de cálculo de los ahorros acordado entre ambas partes.
- Obtener periódicamente la justificación de las garantías.
- Facilitar el control y verificación de los resultados obtenidos por ambas partes.

El prestador del servicio debe aportar los recursos materiales y personales para realizar el proceso de medición de los impactos de las mejoras energéticas implantadas. Es por tanto, el responsable de la obtención de los datos y de su posterior análisis.

Finalmente, el prestador del servicio, en caso de subcontratar alguna actuación incluida como objeto del contrato, será responsable e interlocutor final con el cliente de las acciones y servicios que realice la empresa subcontratada. Por consiguiente, es un riesgo que deberá cubrir en el contrato de subcontratación con dicha empresa y no en el contrato de servicios energéticos con el cliente final. No será motivo de justificación del incumplimiento de las garantías de ahorro y, por lo tanto, no debe incluirse como factor de riesgo en el plan de medida y verificación.

3.3.2. Cliente

El cliente debe informar de cualquier cambio que pueda afectar a las características del escenario base.



Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos

- Funcionamiento: cambio en el horario de funcionamiento, ampliación/reducción de los turnos, modificación de la carga o de la producción, modificación de las características de ocupación,...
- Equipos: cambio o incorporación de nuevos equipos, cambios en su mantenimiento,...
- Ampliación o reducción de las instalaciones.
- Uso de los espacios: cambios en la distribución de uso de los espacios,...

Así mismo, las instalaciones sujetas al contrato que estén afectadas por el servicio así como los equipos de medida y evaluación de los ahorros instalados no podrán ser objeto de modificación alguna por parte del personal del usuario sin conocimiento expreso del prestador del servicio.

3.4. Previsión de indemnización, modificación y extinción del contrato

3.4.1. Régimen de penalizaciones

Tal y como se ha comentado en capítulos anteriores, un plan de medida y verificación aporta transparencia y rigurosidad a los cálculos de los ahorros alcanzados mediante un servicio energético.

Aprovechando dichas características, se propone crear un régimen de penalizaciones en función de los incumplimientos del plan de ahorro que puedan surgir. Para ello, se sugiere crear, por ejemplo, dos grados de incumplimiento de los ahorros con una sanción asociada que represente un X% del importe total anual del contrato.

Dicho régimen de penalizaciones debe incluirse en el contrato parametrizando sus condiciones a los indicadores y objetivos descritos en el plan de medida y verificación.

Por lo tanto debe definirse, en el contrato, un anexo en el que se especifique un régimen de penalizaciones como por ejemplo el siguiente:



- Si los ahorros alcanzados son un $X_1\%$ inferiores a los acordados
 - Si es la primera vez que se incumplen \rightarrow el prestador del servicio será sancionado con un $S_1\%$ del importe total anual del contrato.
 - En caso de reiteración del incumplimiento en un periodo $T \rightarrow$ el prestador del servicio será sancionado con un $S_2\%$ del importe total anual del contrato.
- Si los ahorros alcanzados son un $X_2\%$ inferiores a los acordados:
 - Si es la primera vez que se incumplen \rightarrow el prestador del servicio será sancionado con un $S_3\%$ del importe total anual del contrato.
 - En caso de reiteración del incumplimiento en un período $T \rightarrow$ el prestador del servicio será sancionado con un $S_4\%$ del importe total anual del contrato.

Indicando, en su caso, las condiciones bajo las que es de aplicación e identificando las posibles excepciones a dicho régimen.

3.4.2. Modificación y extinción del contrato

El objetivo del régimen de penalizaciones es salvar posibles desviaciones de las garantías contractuales mediante un acuerdo de sanciones, sin necesidad de modificar el contrato.

No obstante, existen situaciones en las que un régimen de penalizaciones no es suficiente considerando su impacto en el plan de evaluación y seguimiento de los ahorros. Es por ello que pueden causar modificaciones o extinción del contrato.

A continuación se muestran algunas de las principales causas identificadas:

Cambios, por parte del cliente, de las características de funcionamiento definidas en el escenario base afectando en un $X\%$ del año en curso

En este caso, se considera que el escenario base se ha modificado y, por consiguiente, el cliente debe permitir la modificación del contrato, realizando una revisión de los indicadores del plan de medida y verificación.



Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos

El incumplimiento de garantías, consecuencia de dichos cambios por parte del cliente, no será causa de extinción del contrato durante el primer año de vigencia de los mismos.

Por ejemplo, en caso de que el cliente disminuya las horas de funcionamiento de un sistema de climatización de un edificio de oficinas por una reducción del horario de apertura de la empresa.

Modificación de instalaciones sujetas al contrato y/o de equipos de medición

En caso de que el cliente modifique alguno de los equipos afectados por el servicio y/o equipos instalados para la medición, y esta modificación afecte en más de un X% al plan de ahorro energético o a las garantías mínimas, el cliente está obligado a permitir al prestador del servicio a realizar las modificaciones pertinentes en sus garantías contractuales así como en el plan de evaluación de los ahorros.

Por ejemplo, en caso de que el cliente desconecte un equipo de la línea de producción por cambios en las características de una partida de producción.

Cambios normativos

En caso de que se aprueben cambios normativos que puedan alterar al plan de evaluación de los ahorros afectando en más de un X% a las garantías de ahorros o de un Y% a los costes requeridos, el prestador del servicio puede solicitar una modificación de contrato revisando el plan de medida y verificación de acuerdo a los nuevos requerimientos normativos.

Por ejemplo, en caso de que sea aprobada una normativa que implique una renovación de un equipo interrelacionado con un equipo objeto de análisis por el plan de medida y verificación.

Cambios en la planificación energética

Se contempla la posibilidad de realizar un cambio en el plan de medida y verificación cuando surjan retrasos o problemas de la infraes-

estructura energética que impidan la implantación de alguna de las mejoras energéticas.

Por ejemplo, considerar el caso de que el contrato incluya una garantía de ahorro a alcanzar mediante la sustitución de una caldera de gasóleo a gas natural, cuando el equipamiento/municipio no está conectado a la red. La implantación de la medida se incluye en el contrato de acuerdo a la planificación oficial de desarrollo de infraestructuras. En caso de sufrir alteraciones en el desarrollo de dicha infraestructura por parte de la empresa de suministro energético, se permitirá la modificación del contrato así como el plan de medida y verificación asociado.

Incumplimiento de las garantías de ahorro

Se considera que el cliente puede extinguir el contrato en caso de que el prestador del servicio incumpla las garantías de ahorro en más de un X%. En caso de que el incumplimiento sea imputable al cliente o a terceros, no se podrá considerar causa de extinción.

Por ejemplo, en caso de que el personal del cliente exceda la carga de un equipo por encima de sus posibilidades y que éste sufra una avería que paralice la producción durante dos días, el cliente no podrá extinguir el contrato por incumplimiento de garantías.





4

EJEMPLOS DE APLICACIÓN

4.1. Ejemplos de límites de medición

La publicación «*A best practice guide to measurement and verification of energy savings*» de AEPCA presenta unos ejemplos para mostrar cómo se realiza la definición de los límites de medición.

4.1.1. Mejora parcial de la iluminación

Para un proyecto de mejora de la iluminación de un inquilino que ocupa dos plantas de un edificio de varios pisos:

- El límite de la instalación sería las dos plantas.
- El límite de medición sería el circuito de iluminación del inquilino, excluyendo el consumo de otros aparatos conectados al cableado de potencia y luz.

Los equipos de medición de datos se utilizarán para registrar el consumo en los circuitos de iluminación específica.

Normalmente, los datos se registrarían durante dos semanas antes y después de la implantación de la mejora, para incluir las posibles variaciones entre los días laborables y los fines de semana.

En este caso, la interacción entre la iluminación y el aire acondicionado puede ser ignorada. Así mismo, los límites de la instalación y los datos meteorológicos, en este caso, carecen de importancia dada su poca influencia en la iluminación.

4.1.2. Mejora parcial de un motor

Para un proyecto de mejora de un motor para una línea de montaje específica de una fábrica:



Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos

- El límite de la instalación sería la parte de la fábrica ocupada por la línea de montaje.
- El límite de medición se definiría para cada motor de forma individual.

Los datos se registrarían durante un periodo antes y después de la implantación de la mejora a especificar en función de los ciclos de producción y funcionamiento de la línea de montaje. Por ejemplo, en caso de que la fábrica produzca papel higiénico, un período corto (2 semanas) podría ser suficiente dado que su producción es constante en el tiempo. No obstante, en una fábrica de producción de helados, debería ampliarse dicho periodo de medición puesto que deben cubrir las variaciones de producción respecto a cada temporada.

4.1.3. Mejora parcial de un campus

En el caso de que la medida de mejora sea para un edificio específico dentro de un campus:

- El límite del sitio sería el límite del campus.
- El límite de la instalación sería el propio edificio a mejorar.
- El límite de la medición:
 - coincidiría con el límite de la instalación, si existe un contador disponible para todo el edificio.
 - en caso contrario, el límite de medición se definiría específicamente para la medida de mejora.

Los datos se registrarán mediante una medición del consumo si se puede disponer de datos continuos de consumo/demanda a partir de contadores.

4.1.4. Mejora de un hospital

Un proyecto de mejora energética en un hospital, normalmente se compone de diferentes medidas de mejora energética que



afecta a los diferentes sistemas energéticos (electricidad, gas, agua,...).

Debido a las interacciones energéticas entre los diferentes sistemas, es prácticamente imposible definir un límite de medición para cada una de las medidas de mejora implantados.

El límite de medición incluirá todas las medidas de mejora implantadas y coincidirá con el límite de la instalación.

Los datos de facturación continua obtenidos de los contadores de las empresas energéticas serán utilizados como datos de medición. Asimismo, se utilizarán datos meteorológicos de alguna fuente oficial.

4.2. Ejemplos de ajustes a realizar

La publicación «*A best practice guide to measurement and verification of energy savings*» de AEP-CA también presenta unos ejemplos para ajustes a considerar para asimilar los escenarios pre y post implantación de medidas de mejora energética.

4.2.1. Mejora de la iluminación

Los ahorros energéticos garantizados en un proyecto de mejora de la iluminación se basaron en el funcionamiento de dos turnos en días laborables. Para ello, se instaló un contador específico para los circuitos de iluminación.

Seis meses después de finalizar la mejora, el call center amplió sus servicios y cambió a un funcionamiento en tres turnos los siete días de la semana.

El primer cálculo de ahorro energético anual, ignorando el aumento de horas de funcionamiento, mostró que no se habían alcanzado los ahorros energéticos garantizados.

Las metodologías consideran que el cálculo de ahorros debe utilizar los ajustes necesarios para asimilar las horas de funcionamiento del escenario post implantación de la mejora a las del escenario base.



4.2.2. Construcción de un edificio adicional en un hospital

Los ahorros energéticos en un proyecto de mejora en un hospital se basaron en la utilización de datos de las facturas mensuales de los contadores generales de las empresas energéticas que contabilizan el consumo global del complejo del hospital.

Durante la segunda parte del periodo posterior a la aplicación de las mejoras (12 meses), se puso en marcha un nuevo edificio en el hospital.

El consumo energético adicional de este nuevo edificio no permitió alcanzar los ahorros energéticos garantizados.

Las metodologías de cálculos de ahorros proponen ajustar el consumo del escenario post que se obtenía del contador general del complejo hospitalario (que ahora incluía el consumo del nuevo edificio) mediante los registros de consumo identificados en el contador instalado en el edificio nuevo.

4.3. Ejemplo opción A – Mejora de la iluminación

Ejemplo extraído del IPMVP, volumen I.

El ejemplo se basa en la implantación de dispositivos de iluminación de bajo consumo sin cambiar las horas de iluminación.

Su ahorro se puede evaluar mediante la opción A midiendo la potencia eléctrica en el circuito de iluminación afectado antes y después de implantar la mejora.

Al no variar las horas de iluminación, éstas pueden estimarse de acuerdo al funcionamiento en el escenario de referencia.

No obstante, en caso de introducir cambios en el funcionamiento del sistema de iluminación, deben analizarse los parámetros estimados que pueden adherirse a la opción A. Es probable que alguno de ellos tenga que ser medido debido a su variación.

Situación		Estrategia de Medida frente a la Estimación		¿Se aplica la opción A?
		horas de funcionamiento	potencia eléctrica	
La medida de mejora energética disminuye las horas de funcionamiento		Medidas	Estimada	Sí
		Estimadas	Medida	No
La medida de mejora energética disminuye la potencia eléctrica instalada		Estimadas	Medida	Sí
		Medidas	Estimada	No
La medida de mejora energética disminuye las horas de funcionamiento y la potencia eléctrica instalada	no se conoce el consumo de referencia y se conoce sólo las horas de operación	Estimadas	Medida	Sí
		Medidas	Estimada	No
	Se conoce el consumo pero no las horas de operación	Medidas	Estimada	Sí
		Estimadas	Medida	No
	Se conoce muy poco la potencia instalada y las horas de operación	Medidas	Estimada	No – debe usar la opción B
		Estimadas	Medida	

Figura 16. Medición versus estimación en la opción A. Fuente: IPMVP, volumen I.

4.4. Ejemplo opción B - Reducción de pérdidas en un compresor de aire de un hospital

Ejemplo extraído de la formación CMVP realizada por el EVO sobre el IPMVP.

El proyecto de mejora incluye las siguientes medidas de mejora energética:

MEDIDAS DE MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA	PERÍODO DE RETORNO O PAYBACK SIMPLE (años)
Reducción de pérdidas en el compresor de aire	3,3
Precalentamiento en cámara de aire	2,2
Reducción de la potencia de bombeo	2,8
Optimización de la aireación de aguas residuales	3,3
Optimización del vapor condensado	2,2
Actualización de la potencia de generación in situ	2,9



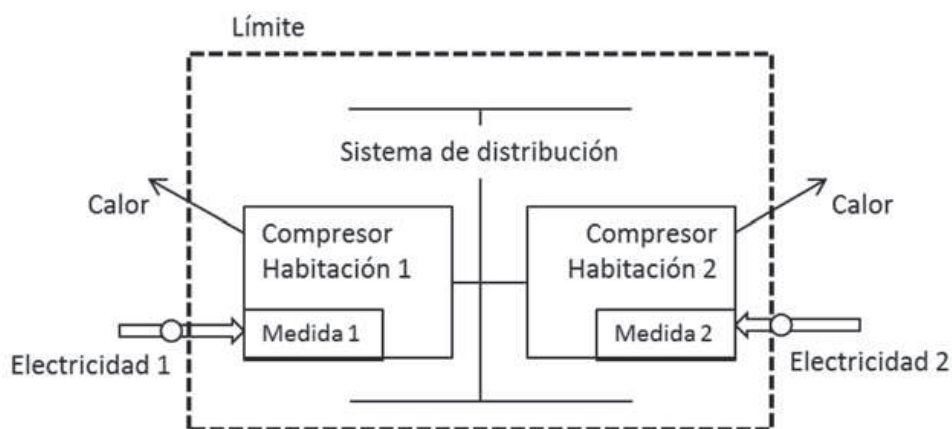
Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos

En concreto, se desea evaluar, de forma aislada, la medida de reducción de pérdidas en el compresor de aire. Para ello se selecciona la opción B de cálculo de ahorros.

Para ello, se considera que el parámetro clave a medir es el consumo energético del compresor en kWh. Su medición se plantea sobre el 100% de la muestra.

Se desea tener un control continuo de las pérdidas por lo que la medición se realizará de forma continua durante la duración del escenario de medición.

Para ello, se define el límite de medición de acuerdo a la figura siguiente:



Dicho límite de medición se ha definido considerando:

- ¿Qué afecta al consumo dentro de los límites?:
 - Horas de producción (sea la producción constante o intermitente).
 - Eficiencia del compresor.
 - Pérdida de aire comprimido en el sistema de distribución.
- ¿Qué afecta al consumo fuera de ellos?:
 - Menos calor expulsado de la sala de compresor – valor que puede ignorarse.

En el plan de evaluación de los ahorros se define la metodología de medición a seguir:



Durante el escenario de referencia

Medir el consumo (kWh) de electricidad del compresor de la planta continuamente durante un mes.

Determinar el consumo medio de energía, por hora de funcionamiento y por hora de "no funcionamiento".

Durante el escenario de medición

Determinar el consumo medio de energía, por hora de funcionamiento y por hora de "no funcionamiento".

Calcular la proyección del periodo de referencia a partir de los datos recopilados para el periodo base definido en el escenario base.

Medir mensualmente el consumo de electricidad del compresor de la planta.

El cálculo de la energía evitada, es decir, los ahorros, se determina como diferencia entre los resultados obtenidos en los dos últimos puntos de la metodología durante el periodo de medición.

4.5. Ejemplo opción C - Mejora de un edificio comercial

Ejemplo extraído de la formación CMVP realizada por el EVO sobre el IPMVP.

El proyecto de mejora incluye las siguientes medidas de mejora energética:

Medidas de Mejora de la eficiencia energética	Periodo de retorno o Payback simple (años)
Mejora de la iluminación	4,5
Motores energéticamente eficientes	5,6
Mejora de la climatización	5,4
Sistema de control	3,4
Reducción de pérdidas en el edificio	2,1
Formación y concienciación	0,5



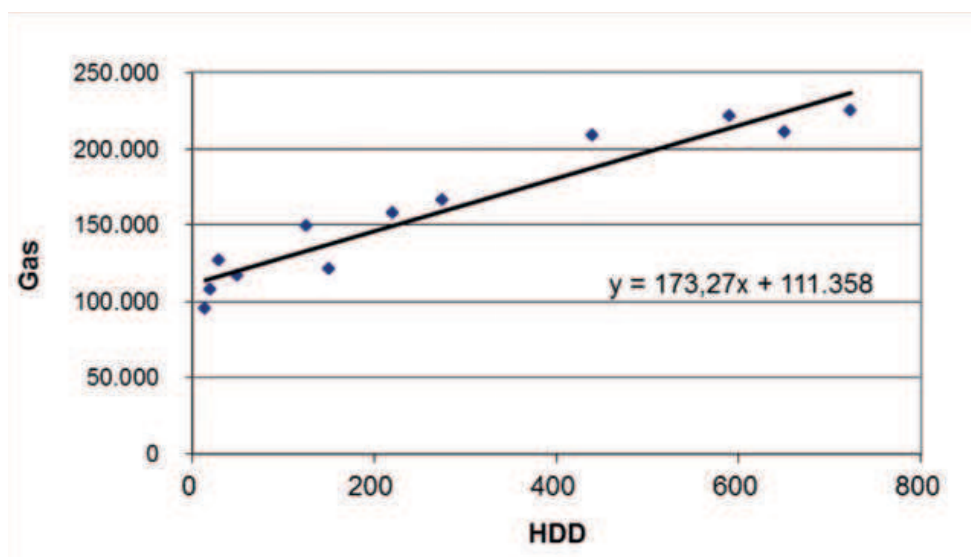
Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos

A través de la opción C se evalúan los ahorros energéticos a nivel global. Para ello, se utilizan datos de los contadores generales de gas y electricidad.

En concreto, los datos del contador de gas se analizan en función de la meteorología en el escenario de referencia con el objetivo de determinar los ajustes meteorológicos posteriores. Estos datos se expresan en grados-día de calefacción (HDD).

La duración del escenario de medición es de dos meses.

A partir de los datos del escenario de referencia se calcula el modelo de referencia, es decir, la relación entre el consumo de gas y los grados-día de calefacción se obtiene mediante el análisis de la regresión:



$$\text{Gas} = 173,27 \times \text{HDD} + 111.358$$

La metodología de cálculo que se seguirá es la siguiente:

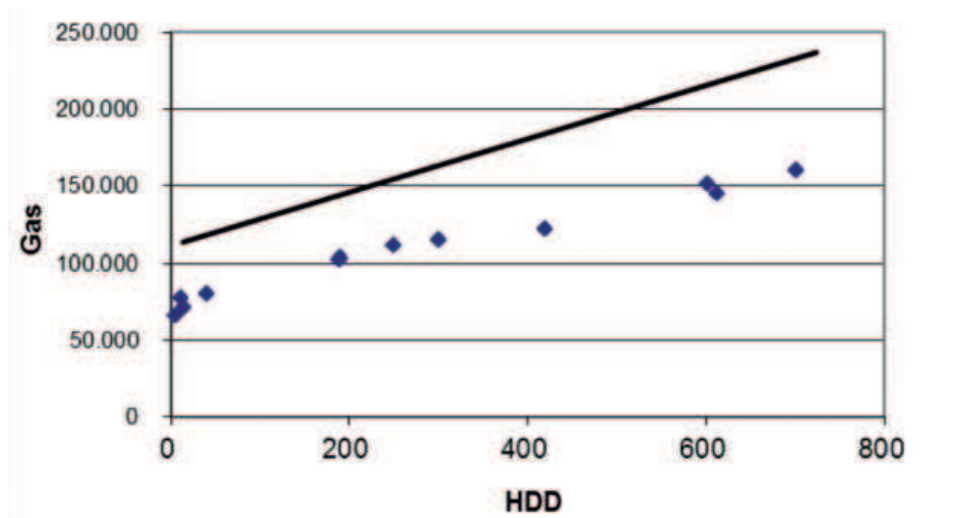
1. Registrar la climatología real (HDD).
2. Para cada mes posterior a la mejora, calcular el consumo de referencia de gas corregido con los grados-día (HDD) e introducirlo en el modelo:

$$\text{Gas} = 173,27 \times \text{HDD} + 111.358$$



3. Comparar el cálculo del consumo de referencia con el consumo en el periodo actual para determinar el consumo de gas que se ha «evitado».
4. Aplicar el precio actual del gas tanto al periodo de referencia como al periodo actual para calcular el coste «evitado».

El gráfico de los ahorros obtenidos mediante la implantación de las medidas de mejora indicadas es:



4.6. Ejemplo opción D - Implantación de diferentes medidas en un edificio de oficinas

Ejemplo extraído de la formación CMVP realizada por el EVO sobre el IPMVP.

El proyecto se sitúa en un edificio de oficinas en un campus universitario, el cual se sometió a múltiples mejoras energéticas incluyendo la climatización y nuevos procedimientos de operación.

Inicialmente existe un sistema de distribución de vapor y un contador central del campus. El edificio tiene su propia enfriadora eléctrica.

No se dispone de mediciones del comportamiento energético del edificio durante el periodo de referencia. Los equipos de medición se añadieron como parte de las mejoras.

Se decide realizar los cálculos de los ahorros bajo las condiciones del periodo de referencia (un conjunto fijo de condiciones).



Guía de evaluación y seguimiento de ahorros en contratos de Servicios Energéticos

Primeramente, se debe seleccionar el programa de simulación con el que se trabajará:

- Selección del personal para desarrollar la simulación.
- Selección del programa de acuerdo a las características del proyecto.
- Documentar el nombre y la versión del programa.

A continuación, se define la información del modelo de simulación:

- Recopilación de información para la simulación del edificio en el modelo:
 - Tamaño y forma del edificio.
 - Características de la envolvente.
 - Tamaño de los equipos y eficiencia.
- Registro de las condiciones del periodo de referencia:
 - Temperaturas en varias temporadas.
 - Horas de operación de los equipos, consignas.
 - Horarios de ocupación.
 - Equipos de ofimática.

Seguidamente, se construirá un modelo de simulación del equipo y de las condiciones del periodo de referencia. Así mismo, se verificará que este modelo simule adecuadamente las condiciones actuales en el interior del edificio.

Esta simulación se suele utilizar para predecir los ahorros de las mejoras, antes de la implantación de las medidas de mejora energética.

Tras la implantación de las mejoras, se obtendrá la información que servirá para calibrar el modelo:

- Recopilación de información energética durante 12 meses.
- Recopilación de datos climáticos para los mismos 12 meses.



- Comprobación de la pauta de ocupación y las condiciones del espacio.

Debe realizarse de nuevo la simulación, esta vez con las condiciones del escenario posterior a la implantación de medidas, y los equipos mejorados, para predecir el consumo energético en el escenario de medición.

Debe verificarse que el modelo simula correctamente las condiciones interiores reales.

Así mismo, deben comprobarse las previsiones mensuales que realiza el programa de simulación respecto al consumo energético para todos los tipos de energía, revisando la simulación para reducir las diferencias mensuales a un nivel aceptable.

Puede que sea necesario obtener más información del lugar para conseguir un mejor calibrado (por ejemplo, determinar qué ocurre realmente en la instalación en medio de la noche, comparado con lo que los operarios creen que ocurre).

Una vez que las diferencias son aceptables, la simulación se llama «simulación calibrada» del escenario de medición.

Finalmente, volver a realizar la simulación calibrada dos veces más, con:

- Los datos meteorológicos en el escenario de referencia, sin considerar la implantación de medidas de mejora energética.
- Los datos meteorológicos en el escenario de medición, considerando la implantación de medidas de mejora energética.

Se definirán los ahorros normalizados como la diferencia entre ambas simulaciones.



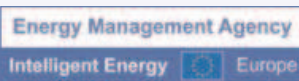
5

REFERENCIAS

- AEP-CA: «A Best Practice Guide to Energy Performance Contracts», 2001.
<http://www.eec.org.au/Best%20Practice%20Guides>
- ASHRAE Guideline 14-2002: «Measurement of Energy and Demand Savings», final release, Junio 2002.
<http://www.ashrae.org/>
- COWAN, J: «Fundamentals of Measurement & Verification: Applying the New IPMVP», Lecturer course documentation for Certified Measurement and Verification Professional (CMVP) program, IPMVP and Association of Energy Engineers (AEE) Certification Program.
<https://www.aeeprograms.com/>
- FEMP Draft M&V Plan Outline, «Draft M&V Plan Outline», Octubre 2003.
www1.eere.energy.gov/femp/docs/mv_plan_outline.doc
- FEMP M&V Guidelines, «The M&V Guidelines: Measurement and Verification for Federal Energy Management Projects», Version 3.0, 2008.
www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/mv_guidelines.pdf
- FEMP M&V Planning Tool, «M&V Planning Tool», Junio 2003.
www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/2_7_mvplantool.pdf
- FEMP Sample M&V Plans, «FEMP Sample M&V Plans for Super ESPC Projects» Draft, Enero 2001.
www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/sample_mv_plan.pdf
- IPMVP Volume I: «Concepts and Options for Determining Energy Savings», edición revisada 2009.
www.evo-world.org
- Curso de CMVP, IPMVP, EVO, Marzo 2010.
- Club S2E Energy Efficiency Service Club.



Fundación de la Energía de
la Comunidad de Madrid



www.fenercom.com



MINISTERIO
DE INDUSTRIA, TURISMO
Y COMERCIO

IDAE Instituto para la
Diversificación y
Ahorro de la Energía



Medida de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética para España (2004/2012) puesta en marcha por la Comunidad de Madrid, el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).