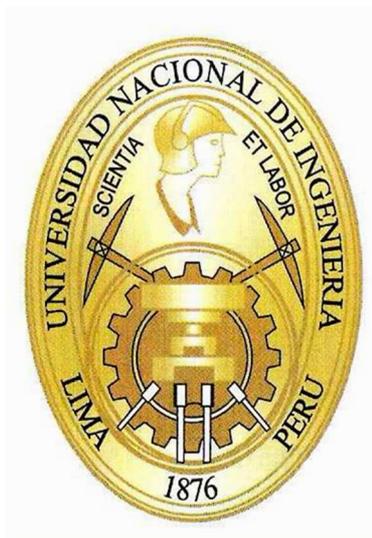


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**GESTIÓN ENERGÉTICA SOSTENIBLE DE EDIFICIOS
UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE MEDIDA Y
VERIFICACIÓN – ESTUDIO DE CASO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO – ELECTRICISTA**

KATHERYNE LIZBETH NUÑEZ BARDALES
Promoción 2001-2

LIMA – PERÚ

2015

DEDICATORIA

A mi abuelo Camilo Nuñez Medina (in memoriam), pilar de mi familia paterna, por toda la protección, el amor, las enseñanzas y vivencias desde que inicié mi jornada de vida, mi eterna gratitud.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por el don de vida.

A mis queridos padres y hermana, por su amor, confianza y apoyo durante toda mi vida.

A los Docentes Facultad de Ingeniería Mecánica FIM-UNI, por su contribución en mi formación académica y personal, especialmente al MSc. Reynaldo Villanueva Ure por la confianza, amistad y disposición para asesorar esta tesis.

Al personal del GIR Termotecnia UVA-España, en especial al Dr. Francisco Javier Rey por su dedicación, enseñanzas, apoyo y competencia para llevar a cabo este trabajo.

A mi amado Javier, por existir desde siempre en mi alma, por su amor e incentivo constante para mi realización personal y profesional.

A mi sobrino Enzo, por compartir la alegría e inquietud de ser niño.

A Evelyn, Melissa, Yuly, Sandra, Heidy, Mónica, Sally y Fanny; y a todos los que me brindan lo más valioso: su amistad.

Al personal del Posgrado FIM-UNI, especialmente al Dr. Javier Franco, Dr. Jaime Luyo, Elizabeth, Johnny A., Alberto, Mery, Olga, Doris, Alex y a los nuevos amigos desde mi retorno a Lima.

A mi Alma Mater, la Universidad Nacional de Ingeniería - UNI, en donde pasé momentos inolvidables, conocí amigos incomparables y aprendí lecciones para toda la vida.

A todos, que a lo largo de mi jornada contribuyeron para alcanzar esta meta.

GESTIÓN ENERGÉTICA SOSTENIBLE DE EDIFICIOS UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE MEDIDA Y VERIFICACIÓN – ESTUDIO DE CASO

RESUMEN

La situación socio-económica-ambiental actual y las tendencias mundiales plantean para el Perú nuevos desafíos, los cuales tienen que ser considerados y analizados a efectos de plantear políticas energéticas sostenibles que desacoplen el consumo energético del crecimiento económico.

Esta tesis presenta el estudio del estado del arte de la eficiencia energética en el sector edificación y las principales normativas, políticas y programas internacionales aplicados al sector, que sirven como base para mostrar el creciente consumo de los edificios, así como su relevancia y potencial de ahorro, todavía no reconocido ni explotado en el país. Asimismo, se sustenta que debido a las características propias del sector, el cálculo del ahorro real de un programa de gestión de la energía debe realizarse a través de metodologías confiables, probadas y reconocidas, tales como las descritas en los principales Protocolos Internacionales de Medida y Verificación de *ASHRAE* y de *Efficiency Valuation Organization*.

Finalmente, mediante un estudio de caso en un edificio público, donde se aplican medidas de mejora de la eficiencia energética, tanto en la parte térmica como en la eléctrica, se demuestra la importancia del uso de los protocolos dentro de la gestión energética para contabilizar, eficazmente, el ahorro energético y económico, que en este caso resulta en una economía aproximada de 15% anual.

PALABRAS CLAVE: consumo energético, desarrollo sostenible, confort térmico, iluminación, políticas energéticas

BUILDINGS SUSTAINABLE ENERGY MANAGEMENT USING MEASUREMENT AND VERIFICATION TOOLS - CASE STUDY

SUMMARY

The socio-economic and environmental situation and global trends pose new challenges for Peru, which have to be considered and analyzed in order to bring sustainable energy policies that decouple energy consumption from economic growth.

This thesis presents the study of the state of the art energy efficiency in the building and the main regulations, policies and programs implemented by sector, which serve as a basis to show the growing consumption of buildings, as well as its relevance and potential savings, not yet recognized or exploited in the country. It also builds due to the characteristics of the sector, the calculation of real savings of a program of energy management should be performed through reliable methodologies, proven and recognized, as described in the main international measurement protocols and Verification of ASHRAE and Efficiency Valuation Organization.

Finally, using a case study in a public building, where measures to improve energy efficiency are applied in both the thermal part as electricity, the importance of using protocols within the energy management to account is shown, effectively, the energy and cost savings, which in this case results in economy approximately 15%.

KEYWORDS: energy, sustainable development, thermal comfort, lighting, energy policies

PROLOGO

La presente Tesis titulada “Gestión Energética Sostenible de Edificios utilizando Herramientas de Medida y Verificación – Estudio de Caso” describe el estado del arte en el campo de la eficiencia energética en el sector edificación, mostrando su problemática, importancia, legislación y aplicación en el sector. Asimismo, estudia y detalla los protocolos internacionales de medida y verificación, que deben ser tomados en cuenta, para una efectiva contabilización de los ahorros energéticos y económicos resultantes de la implementación de medidas de mejoras de la eficiencia energética en edificios. Y finalmente, aplica el modelo en un estudio de caso.

La tesis consta de seis capítulos, los cuales están organizados de la siguiente manera:

El Capítulo I desarrolla los aspectos generales de la investigación, exponiendo los antecedentes, los objetivos, la justificación de la investigación, la formulación del problema, la hipótesis, la metodología de investigación, así como el alcance, los aportes y relevancia de la tesis.

El Capítulo II describe el crecimiento del consumo de energía en el Sector Edificación debido a los niveles actuales de confort, así como las etapas para una gestión energética sostenible en los edificios.

El Capítulo III presenta los conceptos sobre Protocolos de Medida y Verificación (M&V), detallando los Protocolos que serán utilizados para el estudio de caso: el Protocolo Internacional de Medida y Verificación del Ahorro Energético (IPMV) y el ASHRAE GUIDLINE 14-2002 Measurement of Energy and Demand Saving.

El Capítulo IV presenta el estado del arte de las Políticas, Programas y Normativas de Eficiencia Energética en Edificios a nivel internacional y nacional

El Capítulo V se describe el estudio de caso en un edificio público, para lo cual se utilizaron las instalaciones de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid en España, donde se implementaron medidas de mejora de la eficiencia energética en la parte térmica y eléctrica.

El Capítulo VI expone las conclusiones y recomendaciones de la tesis realizada.

INDICE

| | |
|-------------------|------|
| DEDICATORIA | ii |
| AGRADECIMIENTO | iii |
| RESUMEN | iv |
| ABSTRACT | v |
| PROLOGO | vi |
| INDICE DE FIGURAS | xiii |
| ABREVIATURAS | xvi |

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN

| | | |
|-------|-----------------------------------|----|
| 1.1 | INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.2 | ANTECEDENTES | 4 |
| 1.3 | OBJETIVOS | 7 |
| 1.3.1 | OBJETIVOS PRINCIPALES | 7 |
| 1.3.2 | OBJETIVOS SECUNDARIOS | 7 |
| 1.4 | JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN | 8 |
| 1.5 | FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 12 |
| 1.6 | PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN | 14 |
| 1.7 | HIPÓTESIS | 15 |
| 1.8 | METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN | 15 |
| 1.9 | ALCANCE DE LA TESIS | 16 |
| 1.10 | APORTES Y RELEVANCIA DE LA TESIS | 16 |

CAPITULO II

GESTIÓN ENERGÉTICA EN EL SECTOR EDIFICACIÓN

| | | |
|-----|---|----|
| 2.1 | ENERGIA EN LA EDIFICACIÓN | 18 |
| 2.2 | EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN | 21 |
| 2.3 | GESTIÓN ENERGÉTICA EN EDIFICIOS | 22 |
| 2.4 | CONSUMO ENERGÉTICO EN EL PERU | 27 |
| 2.5 | CONSUMO ELÉCTRICO EN EL PERU | 29 |

CAPITULO III

PROTOCOLOS DE MEDIDA Y VERIFICACIÓN

| | | |
|-------|--|----|
| 3.1 | LA MEDIDA Y VERIFICACIÓN (M&V) | 32 |
| 3.2 | PROTOCOLO INTERNACIONAL DE MEDIDA Y VERIFICACIÓN DEL AHORRO ENERGÉTICO (IPMPV) | 35 |
| 3.2.1 | GENERALIDADES | 35 |
| 3.2.2 | ENTORNO DEL IPMPV Y OPCIONES DE VERIFICACIÓN | 37 |
| 3.2.3 | SELECCIÓN DEL PERÍODO DE MEDIDA | 38 |
| 3.2.4 | PERÍODO DE REFERENCIA | 38 |
| 3.2.5 | PERÍODO DEMOSTRATIVO DE AHORRO | 39 |
| 3.2.6 | AJUSTES | 39 |
| 3.2.7 | VISIÓN GENERAL DE LAS OPCIONES DEL IPMPV | 40 |
| 3.2.8 | SELECCIÓN DE LA OPCIÓN C: VERIFICACIÓN DE TODA LA INSTALACIÓN | 44 |
| 3.3 | ASHRAE GUIDELINE 14-2002 MEASUREMENT OF ENERGY AND DEMAND SAVINGS | 48 |
| 3.3.1 | GENERALIDADES | 48 |
| 3.3.2 | ELECCIÓN DE LA OPCIÓN ASHRAE: CASO DEL EDIFICIO COMPLETO | 49 |
| 3.3.3 | METODOLOGÍA Y CÁLCULO | 51 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.3.4 | SELECCIÓN DEL PERIODO DE REFERENCIA Y DEL MODELO | 52 |
| 3.3.5 | CALCULO DEL AHORRO DE ENERGIA | 53 |
| 3.3.6 | CALCULO AHORRO DEMANDA | 53 |
| 3.3.7 | AJUSTES EN EL PERIODO DE REFERENCIA | 54 |
| 3.4 | GESTIÓN ENERGETICA VINCULADA AL USO DE PROTOCOLO DE M&V | 54 |
| 3.4.1 | CONTRIBUCIÓN DE LOS PROTOCOLOS DE M&V | 55 |
| 3.4.2 | UTILIZACIÓN DEL PROTOCOLO DE M&V PARA MOSTRAR EL POTENCIAL DE LOS PROYECTOS DE MMEE | 55 |
| 3.5 | PROTOCOLO DE M&V EN EL MODELO DE SISTEMA DE GESTIÓN ISO 50001:2011 | 56 |

CAPITULO IV

POLITICAS, PROGRAMAS Y NORMATIVAS DE EFICIENCIA ENERGETICA EN EDIFICIOS

| | | |
|--------|---|----|
| 4.1 | EXPERIENCIAS INTERNACIONALES: POLITICAS, PROGRAMAS Y NORMATIVAS DE EFICIENCIA ENERGETICA EN EDIFICIOS | 60 |
| 4.1.1 | ARGENTINA | 61 |
| 4.1.2 | BRASIL | 62 |
| 4.1.3 | CHILE | 64 |
| 4.1.4 | COLOMBIA | 64 |
| 4.1.5 | CUBA | 65 |
| 4.1.6 | ECUADOR | 66 |
| 4.1.7 | ESPAÑA | 66 |
| 4.1.8 | E.E.U.U | 68 |
| 4.1.9 | MEXICO | 68 |
| 4.1.10 | PANAMA | 69 |
| 4.1.11 | UNION EUROPEA | 69 |
| 4.1.12 | VENEZUELA | 73 |

| | | |
|-----|---|----|
| 4.2 | EXPERIENCIA NACIONAL: POLITICAS, PROGRAMAS Y NORMATIVAS DE EFICIENCIA ENERGETICA EN EDIFICIOS | 73 |
|-----|---|----|

CAPITULO V

ESTUDIO DE CASO: EDIFICIO PUBLICO ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES – UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

| | | |
|-------|---|-----|
| 5.1 | GENERALIDADES | 76 |
| 5.2 | ESTUDIO ENERGETICO DEL EDIFICIO DE EII-Uva | 78 |
| 5.3 | SELECCIÓN DE LA OPCION DE M&V A USAR | 79 |
| 5..4 | HISTORICOS DE CONSUMO DE LA EII-Uva | 80 |
| 5.4.1 | CONSUMO DE GAS NATURAL | 80 |
| 5.4.2 | CONSUMO DE ELECTRICIDAD | 82 |
| 5.4.3 | CONSUMO DE AGUA | 84 |
| 5.4.4 | EVALUACION DE COSTOS DEL EDIFICIO EII-Uva | 85 |
| 5.5 | MMEE TERMICA: EVALUACIÓN Y RESULTADOS | 86 |
| 5.5.1 | CONSUMO DE GAS Y TEMPERATURA EXTERIOR | 89 |
| 5.5.2 | RESULTADOS DEL AHORRO DE CONSUMO DE GAS | 97 |
| 5.6 | MMEE ELECTRICA: EVALUACIÓN Y RESULTADOS | 101 |
| 5.6.1 | SISTEMAS DE ILUMINACIÓN | 101 |
| 5.6.2 | COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN DEL EDIFICIO EII-Uva | 103 |
| 5.6.3 | RESULTADOS DE AHORRO POR CAMBIO DE LUMINARIAS | 109 |

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | | |
|-----|----------------------------------|-----|
| 6.1 | CONCLUSIONES GENERALES | 114 |
| 6.2 | CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE CASO | 117 |
| 6.3 | RECOMENDACIONES | 118 |

| | | |
|--|--------------|-----|
| | BIBLIOGRAFÍA | 119 |
|--|--------------|-----|

| | | |
|--|-----------------------|-----|
| | ANEXO A: DEFINICIONES | 124 |
|--|-----------------------|-----|

| | | |
|--|---|-----|
| | ANEXO B: PLANOS DE DISTRIBUCION EII-UVA | 133 |
|--|---|-----|

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Evolución de la población urbana por regiones, 1950-2050 (BID, 2013) | 2 |
| Figura 2: Potencial de reducción de CO2 adoptando los 25 lineamientos de Eficiencia Energética (IEA, 2011)..... | 5 |
| Figura 3: Evolución de la Demanda de Energía con o sin Programas de Eficiencia Energética en todos los Sectores (MINEM, 2009)..... | 6 |
| Figura 4: Perspectivas para 2050 – Crecimiento demográfico (WBCSD, 2010) | 8 |
| Figura 5: Perú: Porcentaje de Población Urbana, con Criterio Censal y Criterio Muestral, 1990 - 2025 (INEI, 2009) | 10 |
| Figura 6: Relación entre Tasa de Crecimiento del PBI y Consumo de Electricidad Vs Intensidad Energética (MINEM, 2013) | 11 |
| Figura 7: Análisis del ciclo de vida de un edificio comercial de oficinas | 19 |
| Figura 8: Tipología de consumo de energía en función del uso final del edificio . | 21 |
| Figura 9: Potencial de Eficiencia Energética utilizado por sectores (IEA, 2013) .. | 22 |
| Figura 10: Gráfico de evolución de una gestión energética sistemática. (MAPFRE, 2011) | 27 |
| Figura 11: Estructura del Consumo Final de Energía por Sectores Económicos: 2012 (MINEM, 2013) | 28 |
| Figura 12: Proyección del Consumo Final de Energía (TJ) (MINEM, 2014)..... | 29 |
| Figura 13: Estructura del Consumo Final de Energía Eléctrica por Sectores..... | 30 |
| Figura 14: Proyección de la Máxima Demanda 2014-2025 (MINEM, 2014) | 31 |
| Figura 15: Principales actividades que involucra un Proceso de Medida y Verificación (AChEE, 2012)..... | 34 |
| Figura 16: Consumo de energía antes y después de la implantación de una MMEE (EVO, 2009) | 37 |
| Figura 17: Principales actividades que involucra un Proceso de Medida y Verificación (EVO, 2009)..... | 43 |
| Figura 18: La Determinación de ahorros (ASHRAE, 2002)..... | 49 |

| | |
|--|-----|
| Figura 19: Camino perceptivo (ASHRAE, 2002). | 50 |
| Figura 20: Modelo de Sistema de Gestión (ISO, 2011)..... | 58 |
| Figura 21: Medida y Verificación dentro del modelo ISO 50001..... | 59 |
| Figura 22: Eficiencia Energética de Edificios en Europa | 72 |
| Figura 23: Fotografía del frontis de la Escuela de Ingenierías Industriales | 77 |
| Figura 24: Fotografía aérea de la Escuela de Ingenierías Industriales | 78 |
| Figura 25: Históricos de consumo de Gas Natural..... | 81 |
| Figura 26: Históricos de costo de Gas Natural..... | 81 |
| Figura 27: Evolución del precio del kWh de Gas Natural..... | 82 |
| Figura 28: Históricos de consumo de Electricidad..... | 83 |
| Figura 29: Históricos de costo de Electricidad..... | 84 |
| Figura 30: Evolución del precio del kWh Eléctrico..... | 84 |
| Figura 31: Evolución del costo de Agua..... | 85 |
| Figura 32: Incidencia en el consumo total del edificio EII - UVa..... | 85 |
| Figura 33: Ventajas de la cortina de aire activa (Airtècnics, 2014)..... | 87 |
| Figura 34: Cortina de aire pasiva y activa instalada en la EII - UVa..... | 87 |
| Figura 35: Ciclo de consumo de gas en 2011 | 89 |
| Figura 36: Históricos de temperatura de la Ciudad de Valladolid – España (2011-2012) | 91 |
| Figura 37: Consumo de Gas vs Temperatura Exterior..... | 92 |
| Figura 38: Primer modelo matemático | 93 |
| Figura 39: Primer Modelo matemático para el consumo diario..... | 94 |
| Figura 40: Segundo modelo matemático..... | 95 |
| Figura 41: Segundo modelo matemático para consumo diario..... | 96 |
| Figura 42: Comparación del Consumo de Energía estimado Vs el facturado | 99 |
| Figura 43: Analizador de redes CIRCUTOR..... | 104 |
| Figura 44: Luxómetro | 104 |
| Figura 45: Sistema de iluminación del Aula B1 | 105 |
| Figura 46: Nivel de iluminación en distintas partes del aula B8..... | 105 |
| Figura 47: Sistema de iluminación del Aula B8 | 106 |
| Figura 48: Nivel de iluminación en distintas partes del aula B8..... | 106 |
| Figura 49: Sistema de iluminación del Aula B5 | 107 |

| | |
|--|-----|
| Figura 50: Nivel de iluminación en distintas partes del aula B5..... | 107 |
| Figura 51: Calendario Académico del Curso 2012-2013..... | 112 |

ABREVIATURAS

AIE: Agencia Internacional de Energía (International Energy Agency - IEA).
ALC: América Latina y El Caribe
ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
BID: Banco Interamericano de Desarrollo.
BOE: Barril Equivalente de Petróleo (Barrel of Oil Equivalent).
CARELEC: Consejo de Administración de Recursos para la Capacitación en Electricidad - Ministerio de Energía y Minas.
CC: Cambio Climático.
CE: Comisión Europea
CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
CENERGIA: Centro de Conservación de la Energía y del Ambiente.
CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
COFIDE: Corporación Financiera de Desarrollo.
DOE: United States Department of Energy
EVO: Efficiency Valuation Organization
EE: Eficiencia Energética.
FENERCOM: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid
FES: Fundación Friedrich Ebert
GEI: Gases de Efecto Invernadero.
GEF: Global Environmental Fund.
GgCO₂eq: Giga gramos de dióxido de carbono equivalente.
IFC: Corporación Financiera Internacional (International Finance Corporation).
INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
IPCC: Panel Intergubernamental de Cambio Climático.
ISO: Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization).

M&V: Medida y Verificación

MINAM: Ministerio del Ambiente

MINEM: Ministerio de Energía y Minas.

MJ: Mega Joule.

MMEE: Medida de mejora de la eficiencia energética

NAMA: Medidas Nacionales Adecuadas de Mitigación (Nationally Appropriate Mitigation Actions).

PAE: Proyecto para Ahorro de Energía.

PBI: Producto Bruto Interno.

PNUMA: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

ppm: partes por millón.

PREE: Plan Referencial de Uso Eficiente de la Energía.

OECD: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.

RER: Recurso Energético Renovable.

SENCICO: Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.

SEIN: Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.

t: toneladas.

TJ: Tera Joule.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

En los últimos 60 años se experimentó un significativo avance de la urbanización en el mundo. En 1950, apenas 29% de la población mundial residía en zonas urbanas, en cuanto que en el año 2010, la población urbana alcanzó el 51%, con la tendencia de seguir creciendo de forma asimétrica. Mientras los países desarrollados lograron un grado de urbanización cercano al 75% en 2010, aquellos en desarrollo llegaron al 45%, sin embargo, una excepción dentro de este último grupo lo constituye América Latina y El Caribe (ALC), en donde se alcanzó un promedio de urbanización cercano al 80% (BID, 2013)¹. De acuerdo con las proyecciones de las Naciones Unidas, el proceso de urbanización continuará en alta en las próximas décadas, y en 2050 el promedio mundial ascenderá al 69% y en el caso de ALC alcanzará el 89% (Figura 1).

Una consecuencia del crecimiento urbano, ya sea planificado o no, es el aumento de la demanda por energía, pues el aumento de la población conlleva al uso cada vez más acentuado de los recursos energéticos para la satisfacción de las necesidades y confort humano, tales como: iluminación, calefacción, refrigeración, transporte, entre otras, lo cual trae consigo la escasez de los recursos naturales y el deterioro ambiental. A pesar de esta compleja realidad,

¹ BID: El Banco Interamericano para el Desarrollo es una sociedad global de 48 países miembros, que inició sus operaciones en 1961 y es la principal fuente de financiamiento multilateral para América Latina y el Caribe.

las ciudades cumplen un rol clave, pues en ALC, aproximadamente el 70% del Producto Interno Bruto² (PIB)³ se genera en ellas.

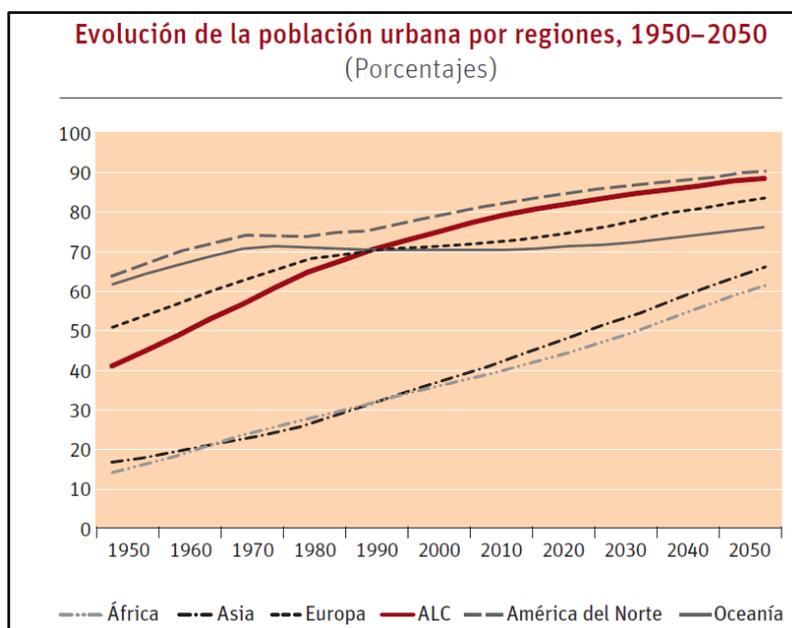


Figura 1: Evolución de la población urbana por regiones, 1950-2050 (BID, 2013)

Dentro de este contexto, un sector que presenta crecientes índices de consumo de energía en las últimas décadas y merece especial atención es el de edificaciones. Según la *International Energy Agency* (IEA - Agencia Internacional de Energía), los edificios residenciales, comerciales y de servicios fueron responsables por el 34% del consumo final de energía en 2012 (IEA, 2015). En diversos países desarrollados el consumo de los edificios sobrepasa los sectores de la industria y de transporte (Pérez-Lombard, et al., 2008).

Así, afirmamos que la energía no es sólo necesaria para asegurar la calidad de vida de la población en las ciudades, es además un factor de

² Producto Bruto Interno (PBI): se define como el valor total de los bienes y servicios generados en el territorio económico durante un período de tiempo, que generalmente es un año, libre de duplicaciones. Es decir, es el Valor Bruto de Producción menos el valor de los bienes y servicios (consumo intermedio) que ingresa nuevamente al proceso productivo para ser transformado en otros bienes. El PBI, también se puede definir como el valor añadido en el proceso de producción que mide la retribución a los factores de producción que intervienen en el proceso de producción. <http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/metodologias/pbi02.pdf>

³ Para estimar el PIB urbano se tomó el total y se descontaron las actividades del sector primario agropecuario y minería). Las tendencias del crecimiento económico muestran que las actividades manufacturera y de servicios se concentran en las ciudades.

producción de la economía. Por ello, la eficiencia energética (EE) cobra una importancia fundamental para asegurar el suministro eléctrico, reducir los gastos con electricidad y combustibles en todos los sectores, y, al mismo tiempo, contribuye a reducir los Gases de Efecto Invernadero (GEI) ⁴ debido al uso de combustibles fósiles, lo cual se refleja en la actual preocupación de implementar programas y políticas energéticas sustentables⁵.

El Perú no está ajeno a este panorama y actualmente se están llevando a cabo programas gubernamentales con vistas a realizar acciones en busca del mejor uso de la energía. En los últimos años, el gobierno y varias empresas peruanas han tomado una serie de medidas con el objetivo de aumentar el ahorro de recursos energéticos, sin embargo, aún se pone de manifiesto el incipiente nivel de gestión energética existente.

Para que el concepto de la gestión energética se lleve a cabo en todos los sectores productivos del país, es necesario implantar en cada organización, diversos sistemas y metodologías que permitan implementar medidas para evaluar la eficiencia en el uso y el control de la energía.

Por lo tanto, se hace necesario el desarrollo de un consenso nacional continuo y la adopción de herramientas que proporcionen un enfoque aceptado internacionalmente, confiable, que se pueda repetir y que sea efectivo para medir y verificar las reducciones en el uso de la energía, así como verificar los costos, y, por consiguiente, emisiones, incluyendo los gases causantes del efecto de

⁴ Gases de Efecto Invernadero (GEI): Gases integrantes de la atmósfera, de origen natural y antropogénico, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de ondas del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera, y las nubes. Esta propiedad causa el efecto invernadero. El vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), y ozono (O₃) son los principales gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre. Además existe en la atmósfera una serie de gases de efecto invernadero totalmente producidos por el hombre, como los halocarbonos y otras sustancias que contienen cloro y bromuro, de las que se ocupa el Protocolo de Montreal. Además del CO₂, N₂O, y CH₄, el Protocolo de Kyoto aborda otros gases de efecto invernadero, como el hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC), y los perfluorocarbonos (PFC). http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/mercury-in-cfl/es/mercurio-lamparas-bajo-consumo/glosario/ghi/gas-efecto-invernadero.htm

⁵ En cuanto a las emisiones causadas por el uso de combustibles fósiles, en 2008 ALC alcanzó 1.480 millones de toneladas de dióxido de carbono, el 35% de las cuales correspondía al transporte, el 34% a la industria, el 10% al consumo propio del sector energía, el 11% al sector residencial y el 10% restante a otros sectores (IEA, 2010).

invernadero. Los Protocolos de Medida y Verificación⁶ son herramientas que permiten tener un enfoque sencillo para medir y verificar los ahorros de energía en un amplio rango de sectores de consumo, incluyendo edificaciones, industrias y comercios.

Así, en esta tesis se presentará el Estado de Arte Internacional sobre Programas de Eficiencia Energética aplicados a Edificios y un Estudio de Caso realizado en la Universidad de Valladolid, donde se analizará y mostrará el potencial de eficiencia energética de un edificio del sector público, aplicando herramientas de Medida & Verificación.

1.2 ANTECEDENTES

La *International Energy Agency*⁷ (IEA - Agencia Internacional de Energía), elaboró en 2008 un documento para ayudar a sus países miembros a lograr los beneficios de la eficiencia energética en sus economías, este documento presenta un conjunto de 25 recomendaciones de políticas de eficiencia energética para siete áreas prioritarias: Intersectorial, Edificios, Electrodomésticos y equipos, Iluminación, Industria, Transporte y Servicios Públicos de Energía. En la Figura 2 se observa el potencial de reducción de emisiones de CO₂ por cada Sector al aplicarse los lineamientos recomendados, pudiéndose ahorrar hasta 7,6 Giga toneladas (Gt) de CO₂/año en 2030 (IEA, 2011).

De acuerdo con la IEA (2012), la evaluación de la aplicación de las recomendaciones en los países miembros, reveló que los gobiernos estaban aplicando una amplia gama de innovadoras medidas de eficiencia energética, que incluyen estrategias y planes de acción nacionales, estándares mínimos de eficiencia energética para aparatos y equipos, instrumentos financieros y otras

⁶ La Medida y Verificación (M&V) es un proceso que consiste en utilizar la medida para el establecimiento de forma fiable del ahorro real generado en una instalación dentro de un programa de gestión de la energía” Ref: IPMVP Vol I, 2010, Sección 9 (EVO, 2009)

⁷ La Agencia Internacional de la Energía o AIE (en inglés: International Energy Agency o IEA) es una organización internacional, creada en 1974 por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) tras la crisis del petróleo de 1973, que busca coordinar las políticas energéticas de sus Estados miembros, con la finalidad de asegurar energía confiable, asequible y limpia a sus respectivos habitantes.

políticas para mejorar la eficiencia energética en la construcción, la adopción de políticas de energía de reserva y la eliminación gradual de la iluminación ineficiente (IEA, 2012).

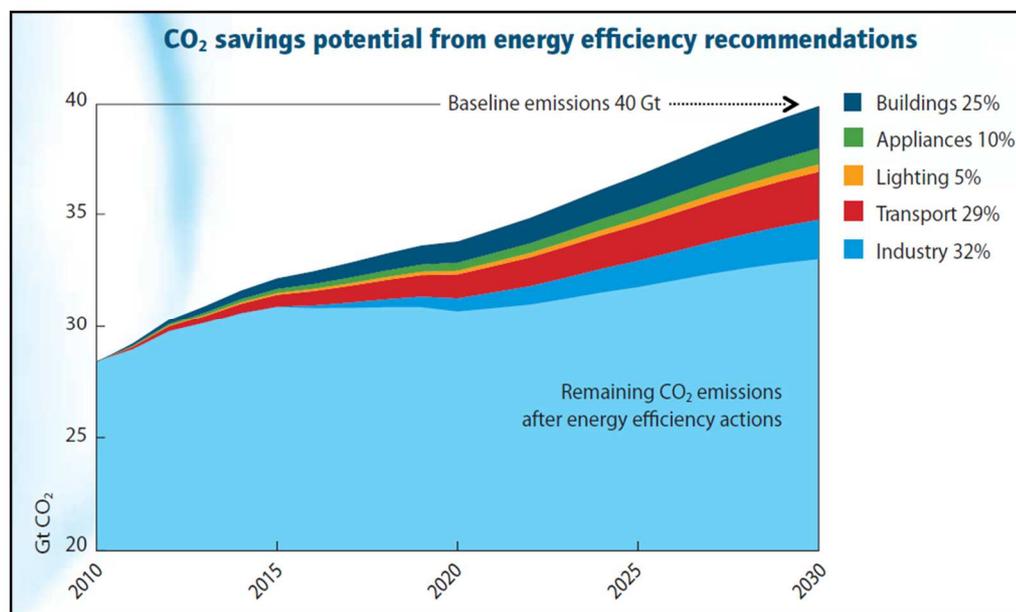


Figura 2: Potencial de reducción de CO₂ adoptando los 25 lineamientos de Eficiencia Energética (IEA, 2011)

Asimismo, dentro del Marco Energético Nacional, en octubre del año 2009 el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) aprobó oficialmente el Plan Referencial del Uso Eficiente de la Energía 2009 - 2018 (PREE 2009-2018), documento que comprende 125 acciones a desarrollar en los sectores: residencial, industrial, público, comercial y servicios, y que establece como meta total el ahorro del 15% anual de energía, en relación a las proyecciones base de la demanda de energía y a la cual se llegaría progresivamente el año 2018, sin afectar la producción/servicio de los diversos sectores económicos. De estas acciones, 106 están destinadas a reducir el consumo de energía y 19 son acciones referidas al establecimiento de la línea base, determinación de indicadores y mediciones periódicas de los resultados (FES, 2012). De acuerdo al PREE 2009-2018 (MINEM, 2009), el comportamiento de la demanda de energía, sería el que se muestra en la Figura 3.

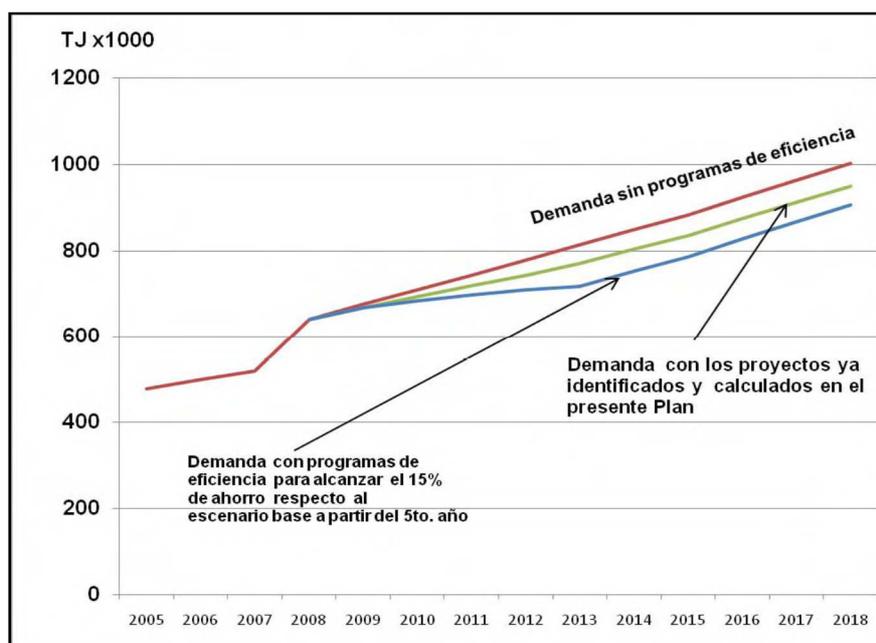


Figura 3: Evolución de la Demanda de Energía con o sin Programas de Eficiencia Energética en todos los Sectores (MINEM, 2009)

Sin embargo, las evaluaciones realizadas por la Fundación Friedrich Ebert (FES, 2012) sobre los avances del PREE 2009-2018, indican que las acciones han sido muy modestas ya que de las 125 acciones propuestas por el documento: 19 han registrado un avance de 1% al 25%, 2 entre el 25% y 50%, 2 entre el 51% y 100%, y las 102 restantes no han registrado avances.

De acuerdo con la Comisión Económica para América Latina (CEPAL, 2010)⁸ el potencial de incremento de la eficiencia energética en nuestro país es significativo y se puede concretar por medio de la adopción de patrones de uso más racionales y mejores tecnologías de conversión energética, traduciéndose en ventajas técnicas, económicas y ambientales. Es importante observar que la eficiencia energética se asocia a la eficiencia económica e incluye cambio tecnológicos, económicos, institucionales y de comportamiento, y se refiere a una reducción en la energía utilizada para un mismo nivel de satisfacción de un

⁸ La Comisión Económica para América Latina (CEPAL) fue establecida el 25 de febrero de 1948. La CEPAL es una de las cinco comisiones regionales de las Naciones Unidas y su sede está en Santiago de Chile. Se fundó para contribuir al desarrollo económico de América Latina, coordinar las acciones encaminadas a su promoción y reforzar las relaciones económicas de los países entre sí y con las demás naciones del mundo. Posteriormente, su labor se amplió a los países del Caribe y se incorporó el objetivo de promover el desarrollo social.

requerimiento energético final (en usos térmicos de alta, media y baja temperatura, iluminación, fuerza motriz, etc.).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Principal:

El objetivo principal es demostrar la importancia de la Gestión Energética en el Sector Edificación utilizando Protocolos de Medición y Verificación Internacionales, con base en los conceptos de desarrollo sostenible.

1.3.2 Objetivos Secundarios:

- Demostrar la relevancia del consumo energético del Sector Edificación a nivel mundial y nacional.
- Realizar el Estudio del Estado del Arte en el campo de la eficiencia energética en el Sector Edificación.
- Justificar la elaboración de Políticas y Programas de promoción a la eficiencia energética en el sector edificios en nuestro país.
- Identificar las Normativas, Programas y Planes vigentes en materia de eficiencia energética en el Perú.
- Investigar sobre las herramientas de Medida & Verificación y su aplicación en la gestión energética de edificios.
- Familiarizarse con los conceptos y la utilización del Protocolo IPMPV y el ASHRAE GUIDLINE 14.
- Realizar un estudio comparativo de los principales Protocolos de Medición y Verificación Internacionales, sus alcances y aplicaciones.
- Demostrar el potencial económico de la gestión energética en los edificios, con un caso práctico.
- Contribuir de forma directa a aumentar la eficiencia en la gestión energética de un edificio, realizando el Estudio de Caso de una Institución

Educativa, la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid - España.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo con la previsión del World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 2010), hasta el 2050, la población mundial aumentará de los 6.900 millones actuales a más de 9.000 millones, y según las estimaciones de Naciones Unidas, el 98% de ese crecimiento se producirá en el mundo en desarrollo y emergente, tal como presentado en la Figura 4. La población urbana mundial se multiplicará por dos, lo cual llevará al crecimiento de las ciudades, y por consecuencia al aumento del Sector Edificación y de la energía para la construcción y uso de los mismos.

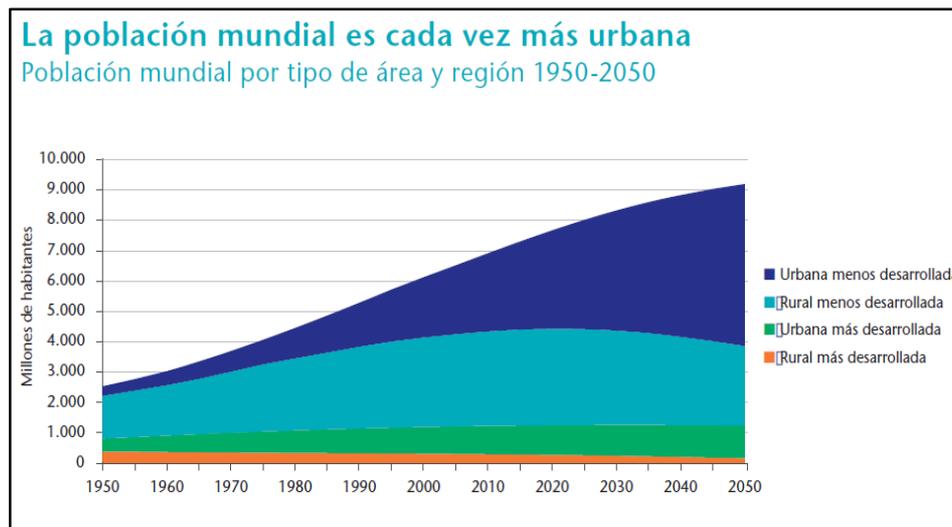


Figura 4: Perspectivas para 2050 – Crecimiento demográfico (WBCSD, 2010)

El uso de medidas de eficiencia energética y de fuentes renovables de energías, a partir de la década de 1970, surgieron por iniciativa de varios gobiernos como respuesta a las crisis internacionales del mercado de petróleo. Y en las últimas décadas, con la preocupación creciente con el medio ambiente, medidas de conservación de energía fueron implementadas para reducir los impactos ambientales (el calentamiento global, cambio climático, etc.). Así, los países desarrollados se han caracterizado por la constante búsqueda de eficacia

y eficiencia en la utilización de sus recursos energéticos. Bajo esta mirada, y otros como son, la sustentabilidad y la dependencia energética, diferentes países han impulsado innumerables planes y programas con vista a estos propósitos, planes que subyacen a los distintos sectores productivos de la economía.

También, en el último medio siglo, el Perú ha experimentado cambios sustantivos en su realidad demográfica, social y económica, dichos cambios, especialmente los experimentados en el último cuarto de siglo, han sido determinantes en la nueva configuración de la realidad nacional. Actualmente, el país se ha urbanizado plenamente, por las migraciones internas, en la actualidad tres cuartas partes de la población peruana viven en las ciudades, allí donde se desarrolla la industria, el comercio y los servicios (OIM, 2015).

El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)⁹ presenta el gráfico que muestra la tendencia de urbanización, con el criterio censal y el criterio muestral usados por el INEI. Del estudio realizado por el INEI se observa que el ritmo o velocidad de urbanización es mayor con criterio censal, y cuyas diferencias van disminuyendo sostenidamente en el horizonte de proyección, alcanzando finalmente en el año 2025 a niveles de urbanización muy cercanos, 82,03% y 81,48%, y mostrando que la población urbana seguirá creciendo (Figura 5).

Como resultado de la urbanización, la dinámica productiva de las grandes ciudades peruanas con importantes actividades primarias y secundarias, genera mayor consumo de energía eléctrica, por la actividad de la minería, la manufactura, el comercio, los servicios. La industria de la construcción, con obras de infraestructura, edificios no residenciales, centros comerciales, establecimientos públicos, colegios, establecimientos de salud, viviendas, etc., así como de las diversas actividades económicas que generan mayor consumo de energía eléctrica, la cual camina a la par del crecimiento económico (OIM, 2015).

⁹ El Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI, es un organismo técnico especializado, con personería jurídica de derecho público interno, con autonomía técnica y de gestión, dependiente del Presidente del Consejo de Ministros. Es el organismo central y rector del Sistema Estadístico Nacional, responsable de normar, planear, dirigir, coordinar y supervisar las actividades estadísticas oficiales del país.

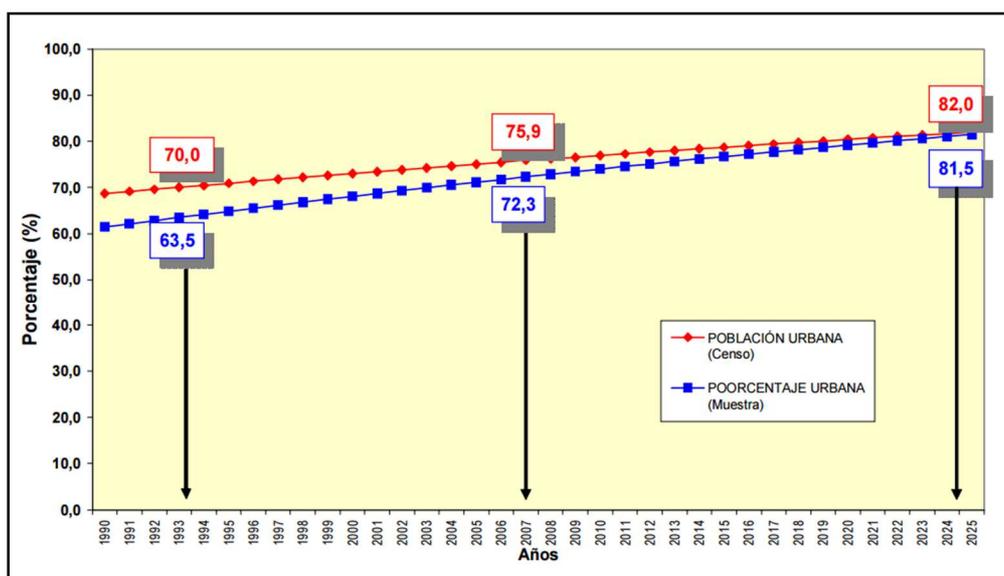


Figura 5: Perú: Porcentaje de Población Urbana, con Criterio Censal y Criterio Muestral, 1990 - 2025 (INEI, 2009)

Congruentemente, la industria de la construcción es uno de los sectores económicos más importantes a nivel mundial, constituyendo al menos un décimo de la economía global. Además, los edificios utilizan al menos el 40% de la energía mundial y son responsables por el 50% de las emisiones de CO₂ al ambiente (Pérez-Lombard, et al., 2008).

Y, el Perú no está ajeno a esta realidad, con el crecimiento económico registrado en los últimos años, tal como presentado en la Figura 6, donde se puede apreciar algunos indicadores que permiten monitorear la evolución de interacciones entre los sistemas energéticos con diferentes dimensiones del proceso de desarrollo son la Tasa de Crecimiento del Producto Bruto Interno (PBI), la Tasa de Crecimiento del Consumo de Electricidad y la Intensidad Energética. De la figura, podemos resaltar, que en los últimos años, el consumo de electricidad sigue en aumento, a pesar de la contracción del PBI.

A partir del estudio del Balance Nacional de Energía (MINEM, 2013), se puede observar que el Consumo de energía primaria aumenta directamente con el crecimiento del PBI Per cápita y con el Índice de Desarrollo Humano (IDH)¹⁰,

¹⁰ Índice de Desarrollo Humano (IDH), es un índice que puede ser útil para medir el grado de desarrollo económico y la calidad de vida ofrecida a la población en un país, éste índice es

siendo que en el año 2012, el consumo de energía por habitante fue de 23,6 TJ/103 Hab, con un IDH de 0.741. El aumento del consumo energético por habitante es consecuencia del crecimiento económico del país, lo cual produce el empoderamiento económico de la población, sobre todo del área urbana, dándole mayor poder de compra para satisfacer sus necesidades y aumentar su confort, y por lo tanto, consumir más energía en los edificios.

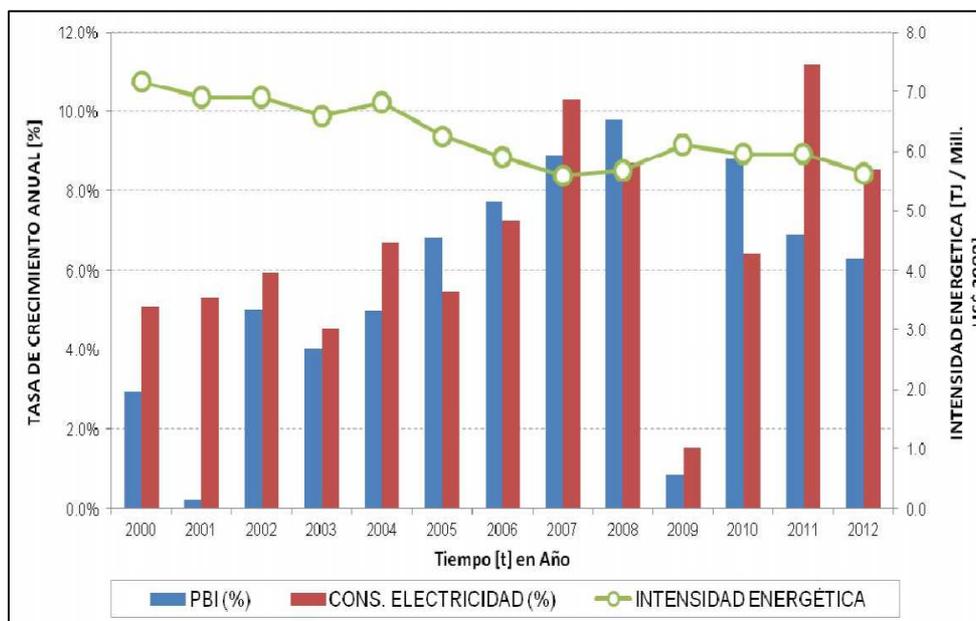


Figura 6: Relación entre Tasa de Crecimiento del PBI y Consumo de Electricidad Vs Intensidad Energética (MINEM, 2013)

Bajo esta perspectiva, es vital hacer a los edificios más eficientes en el uso de la energía, requerimiento que debe emanar de instrumentos normativos que propendan a la eficiencia en el uso de la energía y a la sustentabilidad de los edificios. Es en este contexto que se hace necesario la gestión energética de los edificios nacionales.

Los lineamientos para la eficiencia energética en el Perú ya existen, sin embargo, no todos los actores involucrados están dispuestos a enfrentar este desafío. Así, la realidad nacional presenta ciertas falencias para generar una

elaborado por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) a partir de esperanza de vida, educación y PBI.

metodología de gestión energética sostenible para edificios, que permita evidenciar los consumos de energía y las emisiones de dióxido de carbono.

Cabe resaltar que a pesar de la Legislación vigente y de los documentos elaborado en el Perú, al comparar con los 25 lineamientos recomendados por la IEA (2011), resulta en que se ha cumplido apenas con uno de ellos, que 7 están en proceso de implementación y sobre 17 no se ha ejecutado ninguna acción (FES, 2012).

De todos los sectores se escoge el Sector Edificios, porque no existen políticas ni acciones desarrolladas al respecto en el Perú, también, porque nuestro país se encuentra cada vez más urbanizado, se pasa casi el 90% del tiempo en el interior de edificaciones (viviendas, edificios, centros comerciales, escuelas, oficinas, etc.) y estas demandan un alto consumo de energía. Adicionalmente existe un importante potencial de ahorro de energía durante todo el ciclo de vida del edificio.

Cabe resaltar, que además, de todo lo descrito, este trabajo se justifica por estar en concordancia con:

- Los Objetivos de la Política Energética Nacional 2010 – 2040.
- Los lineamientos de la Política Nacional del Ambiente.
- Ley N° 27345 (08/09/200): Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía.
- D. S. 053-2007-EM (23/10/07): Reglamento de la Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía.
- R.M. 038-2009-MEM/DM: Indicadores de consumo energético y sistema de monitoreo.

1.5 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:

De acuerdo al Balance Nacional de Energía 2012 (MINEM, 2013), el Sector Residencial, Comercial y Público es responsable por el 44% del consumo final de energía eléctrica, lo cual equivale, casi en su totalidad al consumo energético del Sector Edificios.

En un edificio se observa que de todas las fases del ciclo de vida, la fase de uso y explotación es la de mayor consumo energético asociado, por lo cual

es necesario la Gestión Energética. Entendiendo que el uso de un edificio está referido no sólo al conjunto de actividades que se desarrollan en él, sino también a los recursos energéticos que se utilizan para realizar dichas actividades y, lo que es más importante, satisfacer las necesidades de confort de los usuarios, el consumo de energía de una edificación estará relacionado con los diferentes usos energéticos que posea (iluminación, climatización, etc.), y el consumo total final será la sumatoria de los consumos de cada uno de estos usos.

Se define que para cada uso energético el consumo debería estar relacionado con la energía que consumen los aparatos disponibles en el edificio. Sin embargo, para usos energéticos como la iluminación artificial o la climatización, existen algunos factores adicionales que influyen en el consumo, tales como el tipo de edificio, el lugar, el clima, el uso, las instalaciones, etc.

Así, para el caso del análisis de edificios existentes, juega un papel fundamental la gestión del edificio por lo que es necesario evaluar si el edificio funciona de acuerdo con las condiciones teóricas previstas, o si por el contrario, la realidad de funcionamiento del edificio difiere de lo previsto y los consumos energéticos que presenta son muy elevados.

La determinación de los ahorros reales de un proyecto de gestión energética puede ayudar a probar la eficacia del mismo. Debido a que no hay forma directa de medir el ahorro del consumo de energía, además que, la simple comparación del uso de energía antes y después de un retrofit¹¹ suelen ser insuficientes para estimar con precisión el ahorro de energía, ya que no tienen en cuenta los factores externos del edificio, tales como las fluctuaciones del clima y/o la ocupación del edificio. Existen diversos protocolos de Medida y Verificación

¹¹ Retrofit: la medida o medidas de conservación de energía instaladas y/o implementadas en un solo proyecto en un momento específico (ASHRAE, 2002)

Retrofit es una técnica de renovación de instalaciones, equipos, maquinaria e incluso vehículos, basada en la actualización de componentes o accesorios más modernos o eficaces que los disponibles, o donde estos no existían. Se utiliza especialmente en algunos sectores industriales donde la renovación completa de máquinas, sistemas y equipos tiene costos muy elevados. De esta forma, se efectúa un Retrofit o Retrofitting, modernizando los equipos, instalaciones eléctricas, etc dotándolas de más prestaciones, seguridad, versatilidad, etc.

(M&V) que sirven como guía para determinar de forma precisa el ahorro de energía, realizar contratos basados en el rendimiento energético.

Estrategias comprobadas de Medida y Verificación (M&V) proporcionan un medio para estimar con precisión el ahorro de energía haciendo ajustes para dar cuenta de estas fluctuaciones, lo que permite la comparación de la línea de base y el uso de energía posterior a la instalación en las mismas condiciones (DOE, 2011).

Actividades de M&V incluyen la realización de estudios de campo, medición del consumo de energía, el seguimiento de variables independientes tales como la temperatura del aire exterior, la ejecución de cálculos de ingeniería, y la presentación de informes. Los Protocolos más usados, y que serán estudiados en esta Tesis, son el Protocolo Internacional de Medida y Verificación del Ahorro Energético (EVO) y el Guía ASHRAE 14-2002 de Medidas de Ahorro de Energía y Demanda (ASHRAE).

Por lo tanto, debido al alto consumo energético atribuido al Sector de Edificios, es necesario realizar la Gestión Energética de los mismos, y para que ésta sea realizada de forma eficiente y confiable, se hace necesario el uso de Protocolos de Medida y Verificación.

1.6 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo del estudio de aplicación de las Herramientas de Medida & Verificación para la Gestión Energética Sostenible de Edificios, tenemos las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cuál es la relevancia del consumo energético del Sector Edificios?
2. ¿Cuáles son las herramientas utilizadas para la gestión energética de edificios existentes?
3. ¿Cuáles son los programas y/o legislación utilizados para la gestión energética de edificios a nivel Internacional?
4. ¿Qué son Protocolos de Medida & Verificación y cómo se usan?
5. ¿De qué orden son los ahorros energéticos y económicos proyectados/obtenidos?

1.7 HIPÓTESIS

La implementación de las Herramientas de Medida & Verificación contribuirán a mejorar la Gestión Energética de un edificio.

1.8 METODOLOGIA DE INVESTIGACION

La metodología de investigación implica un proceso metódico, concienzudo y especializado que sigue una serie de fases precisas, bien definidas y debidamente fundamentadas, para adaptarse a las condiciones y características especiales que demandan el tema elegido, el nivel de estudios y la disciplina específica.

De acuerdo a Muñoz Razo (2011) esta tesis presenta comprende los tipos de metodología de investigación documental, tecnológico y estudio de caso, que serán definidos a continuación de acuerdo con (Muñoz Razo, 2011).

- La investigación documental es aquella investigación científica que, mediante un proceso formal de recopilación, concentra datos e información incluida en libros, textos, apuntes, revistas, páginas Web o cualesquiera otros documentos confiables. Una vez recopilada esa información, el investigador debe reflexionar sobre ésta, analizarla e interpretarla, para encontrar los fundamentos científicos de su trabajo. En la presente tesis, se utilizó la investigación documental para la realización del Estado del Arte de los Programas de Eficiencia Energética en Edificios en el Perú y el Mundo, así como para el estudio de los Protocolos Internacionales de Medida & Verificación
- La investigación tecnológica es la aplicación de un conjunto de técnicas, conocimientos y procesos, generados por la ciencia (investigación pura). Su resultado es la producción de satisfactores para la sociedad, la transformación de la realidad y la innovación en la industria, el comercio, las áreas ingenieriles, las tecnologías de información, los equipos, programas y sistemas. En resumen, la investigación tecnológica pretende generar soluciones en beneficio de una comunidad específica, y la comodidad y el bienestar de la

población en general. La investigación tecnológica es usada en toda la tesis, pues el principal foco es la ingeniería y la gestión energética de edificios bajo el enfoque del desarrollo sostenible.

- La investigación para estudios de caso, por lo general, pretende hacer el análisis de un individuo, un fenómeno o evento en especial, una unidad de análisis específica, un objeto de estudio concreto o un caso de especial interés. En su mayoría, estas propuestas son de carácter empírico, pues se analizan directamente en el medio ambiente donde se desenvuelve el individuo o fenómeno a estudiar. Este tipo de investigación se aplicó al hacer el Estudio de Caso de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid, donde se realizaron las mediciones de los parámetros y variables necesarias para el desarrollo del estudio.

1.9 ALCANCES DE LA TESIS

La investigación tiene como base el Estudio del Estado del Arte correspondiente a la Gestión Energética de Edificios y de los Protocolos Internacionales de Medida & Verificación.

Se presenta la importancia que tiene el Sector Edificios en el consumo energético, así como el panorama internacional y nacional referente a los Programas, Políticas y Normativas del Sector.

También, fue realizada un Estudio de Caso en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid, donde se realizaron las mediciones de los parámetros, así como la evaluación y análisis de los diversos indicadores energéticos y económicos.

1.10 APORTES Y RELEVANCIA DE LA TESIS

El estudio servirá como base para aplicaciones futuras de Programas de Eficiencia Energética aplicados a los edificios, que pueden ser públicos, comerciales y/o residenciales.

El estudio de los Protocolos de Medida y Verificación reconocidos Internacionalmente brindará los conocimientos necesarios para el uso de los mismos, de acuerdo a la caso en evaluación

La realización del Estado del Arte, contribuirá para hacer un estudio comparativo y analizar la situación real de los Programas de Eficiencia Energética en Edificios que se desarrollan en Perú y compararlos con los establecidos internacionalmente.

También, se busca iniciar una base para desarrollar políticas y programas de gestión energética que servirán como un guía para el inicio de estudios sobre Certificación Energética en Edificios.

CAPÍTULO II

GESTIÓN ENERGÉTICA EN EL SECTOR EDIFICACIÓN

2.1 ENERGÍA EN LA EDIFICACIÓN

Cerca del 90% de la actividad humana urbana se desarrolla en el interior de edificios y casi todo el tiempo restante dentro de las ciudades, ya sea en los hogares, en el trabajo o en otras actividades. Los edificios tienen por objeto ser los intermediarios entre el hombre y el ambiente exterior, jugando el papel de amortiguadores para conseguir un ambiente interior seguro, saludable y confortable, independientemente de las condiciones exteriores.

El consumo mundial de energía de los edificios, tanto residenciales como comerciales, ha aumentado constantemente, con cifras que alcanzan entre el 20% y el 40% en los países desarrollados, y ha superado los sectores: industrial y el transporte. El crecimiento de la población, la creciente demanda de servicios de construcción y los niveles de confort, junto con el aumento en el tiempo dedicado dentro de los edificios, garantizar que la tendencia al alza en la demanda de energía continuará en el futuro (Rey Martínez, et al., 2006).

De acuerdo con Pérez-Lombard, et al. (2008), los edificios en las ciudades requieren cuantiosas cantidades de energía para iluminación, acondicionamiento térmico, transporte de personas, bombeo de agua y funcionamiento del equipamiento instalado en las diferentes áreas, y son responsables del 40 % de las emisiones de CO₂, del 60 % del consumo de materias primas, el 60% de la electricidad, el 50 % del consumo de agua y del 35% de la generación de residuos y de la ocupación del suelo. La construcción como actividad contribuye a emisiones de otro 10 % a 20 % de CO₂ adicional.

Asimismo, los edificios tienen un enorme impacto sobre el medio ambiente. Esos impactos ocurren durante todas las fases del ciclo de la vida de un edificio¹², donde se distinguen cuatro etapas: construcción (desde la extracción de los materiales hasta la edificación); uso (que incluye los años en que el edificio se ha mantenido operativo); remodelación (con el mantenimiento estructural y los procesos operativos); y, finalmente, la etapa de demolición (que abarca todos los procesos implicados en la demolición y el transporte de los escombros hasta los centros de tratamiento de residuos y vertederos).

En la Figura 7 se presenta el análisis del ciclo de vida de un edificio comercial, donde se puede apreciar que el mayor consumo energético y de emisiones de CO₂ se realiza en la Fase de Uso o de Operación del mismo.

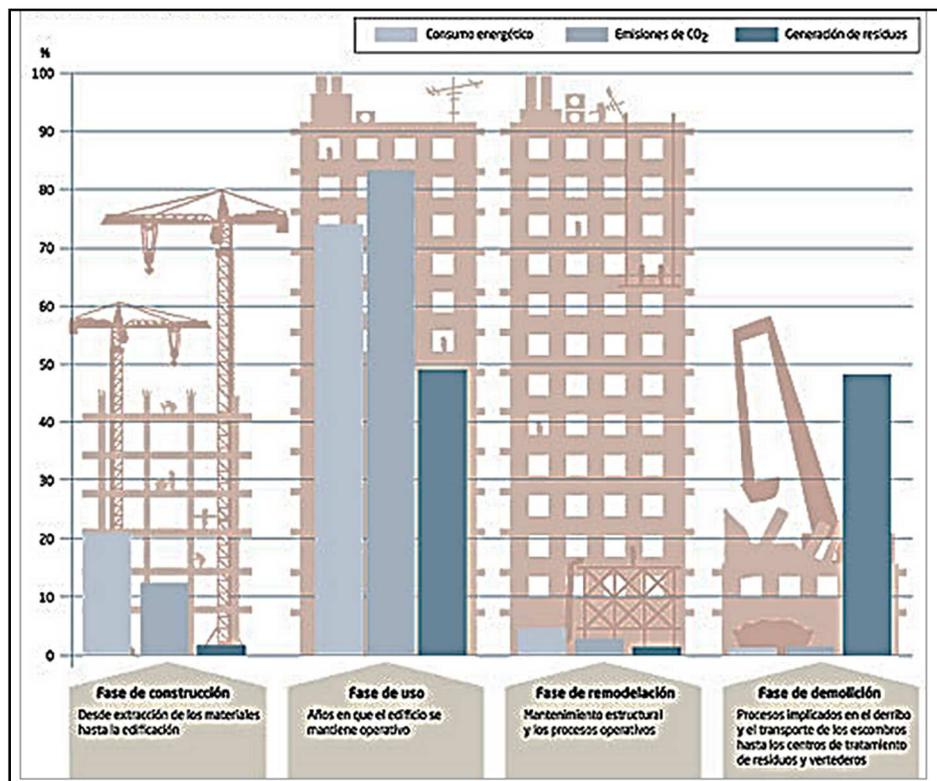


Figura 7: Análisis del ciclo de vida de un edificio comercial de oficinas

¹² El análisis de ciclo de vida es una herramienta que investiga y evalúa los impactos ambientales de un producto o servicio durante todo el periodo de su existencia (extracción, producción, distribución, uso y desecho) aportando una información objetiva y de base científica. «De la cuna a la tumba» es la expresión asociada a este método y que, aplicada a los edificios, es el estudio que abarca desde su etapa de prediseño y diseño –cuando el inmueble es concebido e imaginado– pasando por la construcción, ocupación, operación y mantenimiento, hasta el fin de su vida útil –cuando se deconstruye o derriba.

El uso de energía en un edificio está determinado fundamentalmente por:

- sus características constructivas y ubicación,
- el clima del lugar
- el perfil de uso
- los servicios energéticos que se presten,
- el comportamiento de los ocupantes,
- el equipamiento tecnológico,
- y por la gestión del edificio.

La tipología de consumo varía en función del uso final del edificio (Ver Figura 8), y puede corresponder éste a uso residencial o a sector servicios, presentando ambas tipologías una concentración superior al 75% de su consumo energético en los dos primeros apartados de la lista anterior (iluminación, climatización y agua caliente sanitaria).

Las tipologías de consumos analizadas en estas edificaciones son:

- Climatización (calefacción y refrigeración) y agua caliente sanitaria (incluye pequeños equipos de aire acondicionado)
- Iluminación
- Electrodomésticos y cocinas
- Equipos ofimáticos

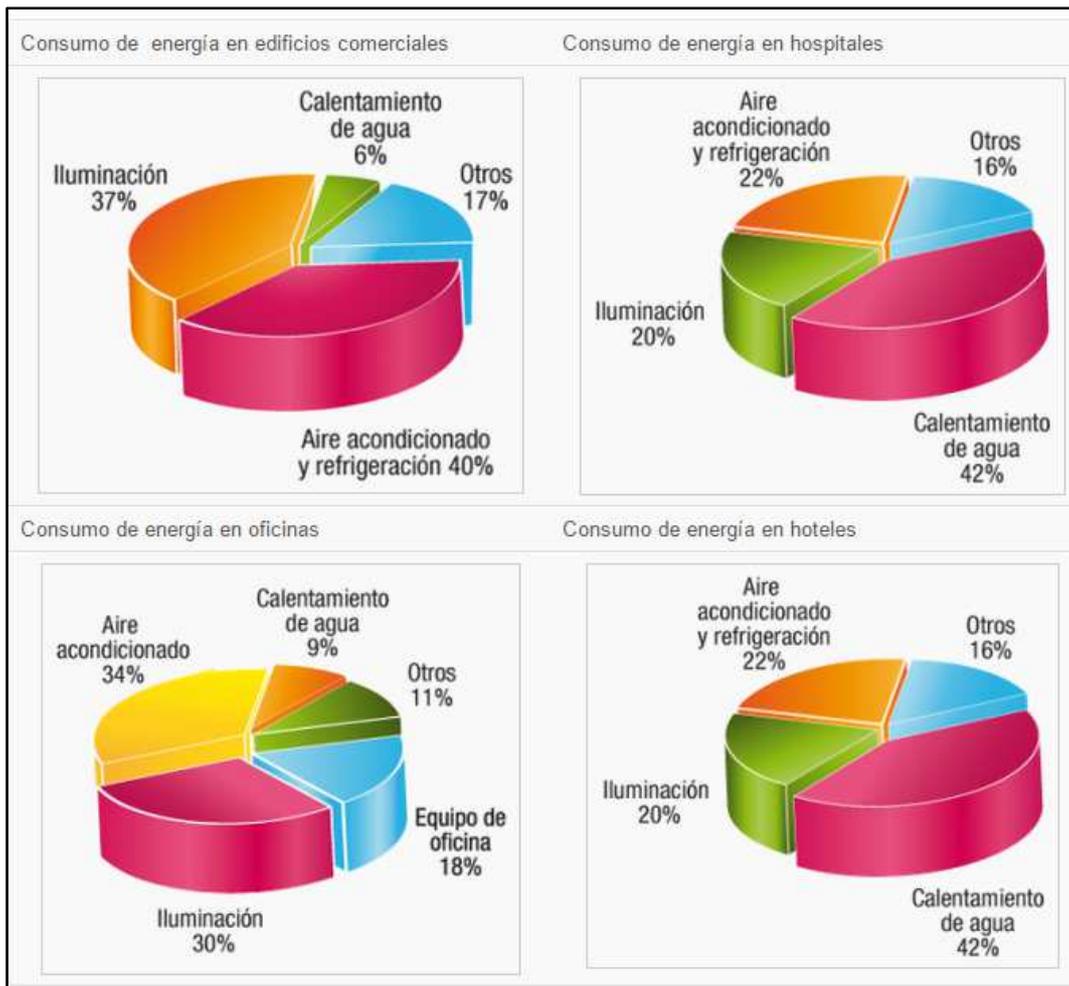


Figura 8: Tipología de consumo de energía en función del uso final del edificio

2.2 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN

En todos los países hay un enorme potencial para ahorrar energía en los edificios, tanto para la calefacción como para la refrigeración, reduciendo así el gasto energético de los propietarios y arrendatarios, las emisiones de CO₂ y la contaminación, y asegurando el suministro de energía para los próximos años.

Tal como lo presenta la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2013) en la Figura 9, existe un gran potencial para ahorrar energía y reducir el impacto negativo sobre el medio ambiente en el conjunto de viviendas y edificios. Por ejemplo, en España el ahorro potencial se ha estimado en un 28%, alcanzable principalmente a través de la reforma de los edificios y de las instalaciones que utilizan la energía, y la mejora en la gestión y operación del edificio.

Por esta razón, la eficiencia energética de los edificios es hoy un objetivo primordial de la política energética a nivel regional, nacional e internacional.

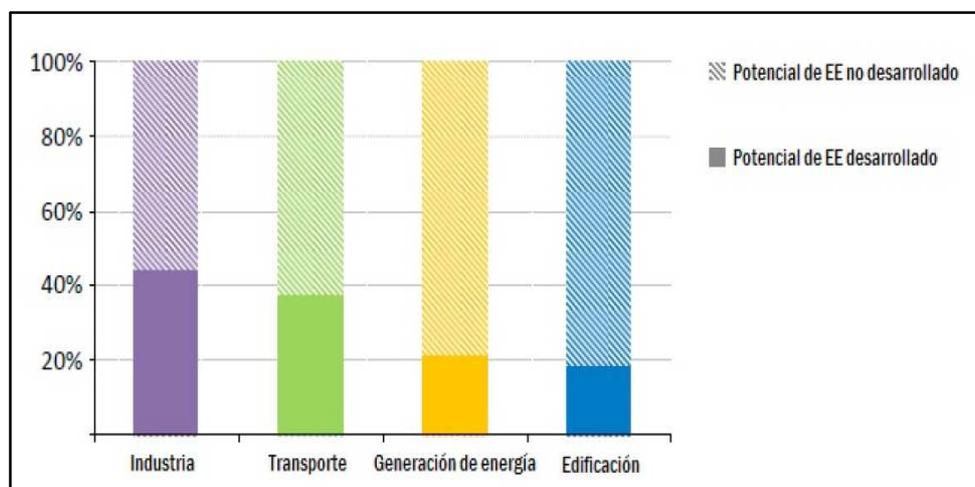


Figura 9: Potencial de Eficiencia Energética utilizado por sectores (IEA, 2013)

2.3 GESTION ENERGETICA EN EDIFICIOS

La Gestión Energética se puede definir como la suma de medidas planificadas y llevadas a cabo para conseguir el objetivo de utilizar la mínima cantidad posible de energía mientras se mantienen los niveles de confort (en oficinas y edificios) y los niveles de producción (en fábricas). Es, por tanto, un procedimiento organizado de previsión y control del consumo de energía, que tiene como fin obtener el mayor rendimiento energético posible sin disminuir el nivel de prestaciones obtenidas (MAPFRE, 2011).

La Gestión Energética en un edificio, pasa por una serie de etapas que constituyen un ciclo cerrado con el objetivo de la mejora continua. Este conjunto de fases, engloba el análisis energético, la detección de áreas de ahorro y las necesidades del área objeto, estableciendo un procedimiento adecuado para el control de las fuentes de energía consumida, el control de los puntos de consumo, la reducción de los mismos y el análisis de las mejores alternativas. El ciclo se cierra con revisiones periódicas y la mejora del sistema con el fin de obtener el máximo rendimiento energético sin disminuir el nivel de prestaciones.

Los objetivos buscados en un sistema de gestión energética son:

- Controlar y gestionar la energía
- Conseguir el mayor ahorro energético y por lo tanto un ahorro económico
- Controlar y optimizar la facturación
- Disminuir el impacto ambiental como consecuencia de la disminución de los consumos.

Lo cual, implica la medida de la energía consumida con el objetivo de establecer planes de ahorro y eficiencia además del seguimiento continuado, le evaluación del sistema y la mejora. De ésta forma, conseguimos optimizar los recursos energéticos y los costos de la energía.

Con la gestión energética se pretende alcanzar la máxima eficiencia en el suministro, la conversión y la utilización de la energía. Esto significa, lograr un uso más racional de la energía que permita reducir el consumo de la misma sin perjuicio del confort, la productividad de los ocupantes, calidad de vida y/o servicios prestados y de manera más general, sin disminuir el nivel de vida.

Asimismo, en toda Gestión Energética existirá una serie de etapas a seguir que constituirán un ciclo cerrado con el objetivo de garantizar la mejora continua del sistema. Las etapas fundamentales que se identifican en todos los sistemas de gestión energética son:

- Análisis Inicial del Sistema
 - Especificación cuantitativa de los objetivos que se persiguen
 - Elaboración del Plan de Acción
 - Implantación de las estrategias y planes de trabajo
 - Evaluación y progreso y mejora
-
- Planificación
- Implementación, revisión y mejora de la Planificación energética

De todas estas etapas, la Planificación Energética es la más importante pues engloba el análisis energético, la especificación de los objetivos perseguidos y la elaboración de un plan de actuación a seguir. Una vez implementado este plan de actuación el ciclo se cierra con la revisión y mejora

del sistema pasando de nuevo a una nueva planificación energética si fuera necesario corregirlo de acuerdo a los objetivos fijados.

Análisis inicial del sistema

En ésta primera etapa, se realiza el análisis del sistema energético objeto con la evaluación cualitativa y cuantitativa de los consumos de energía en los diferentes centros de consumo. Para ello, es necesario establecer un sistema de contabilidad energética, que permita conocer los consumos de cada fuente de energía en cada centro de consumo.

Para conocer la situación energética de los diferentes equipos y operaciones básicas, es necesario realizar una auditoría energética en profundidad, que nos permita conocer los consumos instantáneos, pérdidas por radiación, por efluentes, despilfarros de energía, rendimientos energéticos, estado de los equipos y las posibles medidas para mejorarlas.

Especificación cuantitativa de los objetivos que se persiguen

Una vez se ha realizado la recogida de datos a través de la auditoría, y a través del informe establecido, se evaluará la información obtenida. En ésta etapa haremos uso de un sistema de indicadores energéticos adecuado a nuestro sistema energético, a partir de los datos recogidos, que nos permitirá establecer las metas y objetivos y posteriormente evaluar los logros obtenidos.

De ésta forma, determinaremos los potenciales de eficiencia y ahorro energético económicamente rentables, todo ello teniendo en cuenta los requisitos legales, definidos por las estrategias, directivas y la normativa vigente.

Se analizarán los posibles planes de ahorro que consideren en primer lugar las mejoras que no requieren apreciable inversión: mentalización del personal, mantenimiento de mejoras de operación y organización. En segundo lugar, aquellos que necesitan inversiones: modificación de equipos por otros más eficientes, innovaciones tecnológicas que cambien los procesos y la optimización e integración de los mismos.

Para cada posibilidad de ahorro, se calculará:

- Coste de la implantación

- Ahorros energéticos esperados
- Tiempo de retorno (dinero ahorrado en energía entre el coste de implantación)
- Mejoras de calidad, mejoras de eficiencia, inconvenientes y otros

Elaboración del plan de acción

Una vez se han establecido las medidas de mejora por orden de prioridad, a través del análisis de la auditoría, se determinará las estrategias a implantar, las mejores técnicas disponibles y el plan de acción a implantar para alcanzar los objetivos fijados inicialmente.

El plan de Acción constará de:

- Objetivos a alcanzar con la implantación del sistema.
- Acciones a desarrollar para alcanzar los objetivos.
- Recursos materiales, económicos y humanos para conseguir los objetivos fijados.
- Metodología de funcionamiento. Procedimientos.
- Control, seguimiento y evaluación.

Implantación de las estrategias y planes de trabajo

Una vez aprobado el programa de actuación, se realizará su ejecución y la implantación de las medidas y mejores técnicas disponibles.

Las medidas podrán ser de tipología y alcance diverso. Éstas podrán ir encaminadas a la disminución de los consumos, mayor eficiencia de equipamientos, sustitución de fuentes de energía convencionales por fuentes de energía renovable, modificación de hábitos de consumo de la instalación, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, etc.

Entre las Medidas de ahorro y eficiencia energética en la implantación de una Gestión Energética se pueden citar:

- Medidas de equipamiento de eficiencia energética:
 - Iluminación
 - Motores eléctricos
 - Procesos térmicos

- Equipamiento de producción de energía a partir de fuentes renovables
 - Energía solar
 - Energía eólica
 - Energía geotérmica
 - Biomasa
- Tarifación: optimización de la factura eléctrica
- Herramientas de cuantificación de ahorros

Evaluación del progreso y mejora

La planificación o gestión energética busca la mejora continua. Esta se logrará si existe la revisión periódica tanto de los objetivos fijados inicialmente como de los resultados obtenidos de forma que se pueda ver cuáles han sido las desviaciones y los ahorros y mejoras conseguidas.

A través de una evaluación y control de los resultados obtenidos se puede verificar si se han alcanzado los objetivos fijados o si se debe realizar los ajustes necesarios con la implantación de nuevas medidas para la mejora continua del sistema en su conjunto.

En ésta etapa, se utilizarán los indicadores previamente elegidos de acuerdo al sistema energético. A través de la comparación con los indicadores de referencia recogidos en el análisis inicial, se determinarán el éxito o fracaso de la planificación, y las acciones a implantar (modificación, mantenimiento o mejora).

Debe señalarse que en muchos casos la gestión de energía se limita a un plan de medidas de ahorro de energía, no garantizándose el mejoramiento continuo (AChEE, 2012). La Figura 10 presenta la evolución de un sistema de gestión energética sistemática.

Se prevé que en el futuro, muchos edificios sean exportadores netos de energía en lugar de importadores. Evidentemente, en el caso del parque existente de edificios, la implantación del primer grupo y la mejora del segundo factor serán decisivas para su subsistencia de los mismos, lo que implicara que

habrá que tener un conocimiento muy preciso de los elementos constructivos que los constituyen, así como de sus consumos.

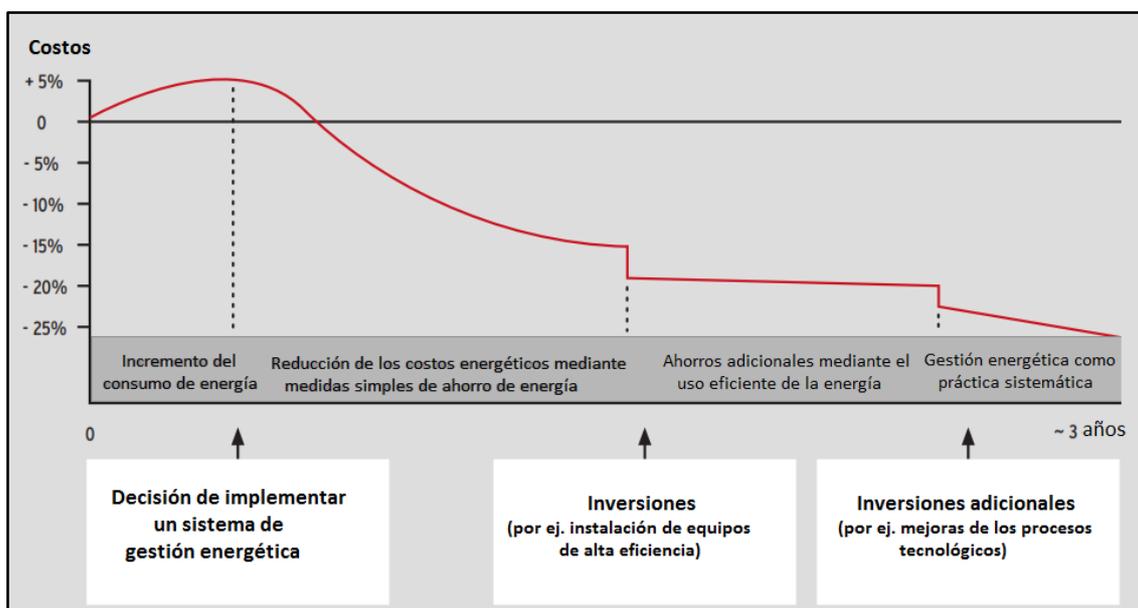


Figura 10: Gráfico de evolución de una gestión energética sistemática. (MAPFRE, 2011)

2.4 CONSUMO ENERGETICO EN EL PERU

Según el Balance Nacional de Energía (MINEM, 2013), en el año 2012 el consumo total de energía en el Perú fue de 712 072 TJ, de los cuales el Sector Residencial, Comercial y Público (28%) consumió 196 538 TJ, por encima del sector Industrial y Minero (25%) y debajo del sector Transporte (40%). Tal como presentado en la Figura 12.

Asimismo, al estudiar los Balances anteriores y los últimos boletines de energía, se puede concluir que la demanda nacional de energía, en las últimas décadas, se viene incrementado en forma exponencial, influenciado principalmente por el crecimiento económico y demográfico, las decisiones políticas, el desarrollo tecnológico y los hábitos de consumo o estilos de vida de la población. Frente a estos acontecimientos, el gobierno no ha tenido una política energética concertada en el que la sociedad representativa establezca un plan energético nacional que permita el desarrollo del sector energético a mediano y largo plazo.

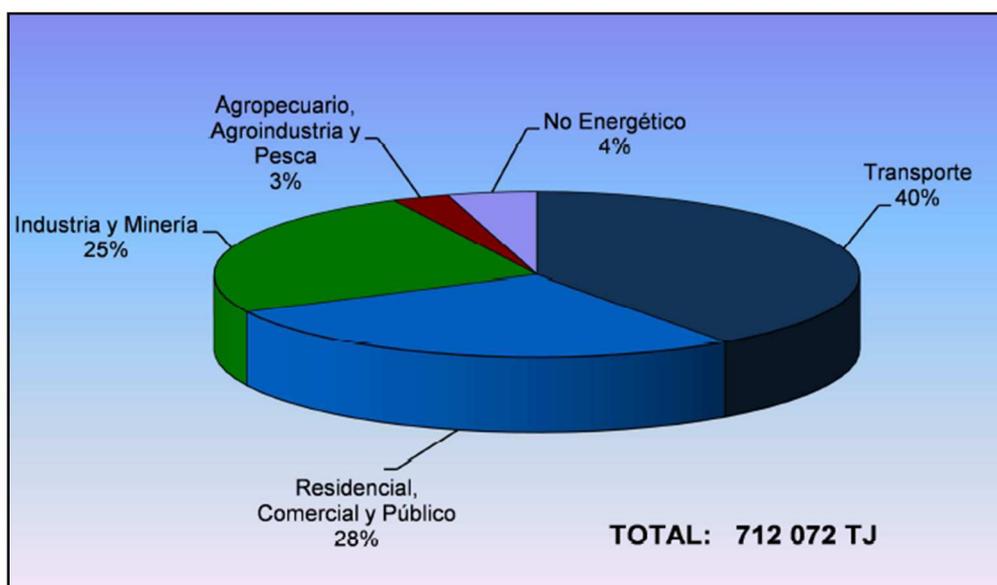


Figura 11: Estructura del Consumo Final de Energía por Sectores Económicos: 2012 (MINEM, 2013)

En el periodo del 2003 al 2013, el Producto Bruto Interno (PBI) se incrementó en 86% y la producción de electricidad aumentó en 92%, en tanto que la producción de hidrocarburos lo hizo en 260%. En el mismo período, el consumo final nacional de estos recursos energéticos se incrementó en 92% para la electricidad mientras que en 100% para los hidrocarburos líquidos y el gas natural agregados. Lo que significa el mayor crecimiento de la actividad económica y de la demanda de energía de las últimas décadas, en base a la creciente inversión privada en infraestructura, así como por la inversión social desarrollada por el Estado (MINEM, 2014).

El Plan 2014-2025 se basa en algunos supuestos; en particular propone tres hipótesis centrales. En primer lugar, se considera que la economía nacional crecerá en un promedio 4,5% anual y, en un escenario más optimista, 6,5% anual, situación que permitiría confirmar que las reservas e infraestructuras sean suficientes para seguir soportando altas tasas de crecimiento.

En el próximo periodo del 2014-2025, se espera que el consumo final de energía continúe creciendo en función al desarrollo de la economía interna, el aumento de la población urbana y la ampliación de la cobertura energética, a pesar de la aplicación de medidas de uso eficiente de la energía (EE) en los sectores residencial, servicios, industrial y transporte. Sin embargo, la

dependencia a los combustibles fósiles seguirá siendo determinante, y la contribución de los hidrocarburos líquidos y gaseosos en la matriz energética alcanzará el 76%, ligeramente menor a la actual contribución que alcanza el 80%.

De acuerdo con el MINEM (2014), continuará el creciente consumo final de energía, que se estima pase de 800 miles de Tera Joule (TJ) a la fecha, a un rango entre 1321 a 1612 miles de TJ en el 2025, según el escenario de crecimiento del PBI, será abastecido con recursos energéticos internos y con tecnologías de generación de energía a costos competitivos, donde el gas natural será el recurso más utilizado en el consumo final como en el sector transformación. Las otras fuentes relevantes continuarán siendo la electricidad, el diesel y el GLP.

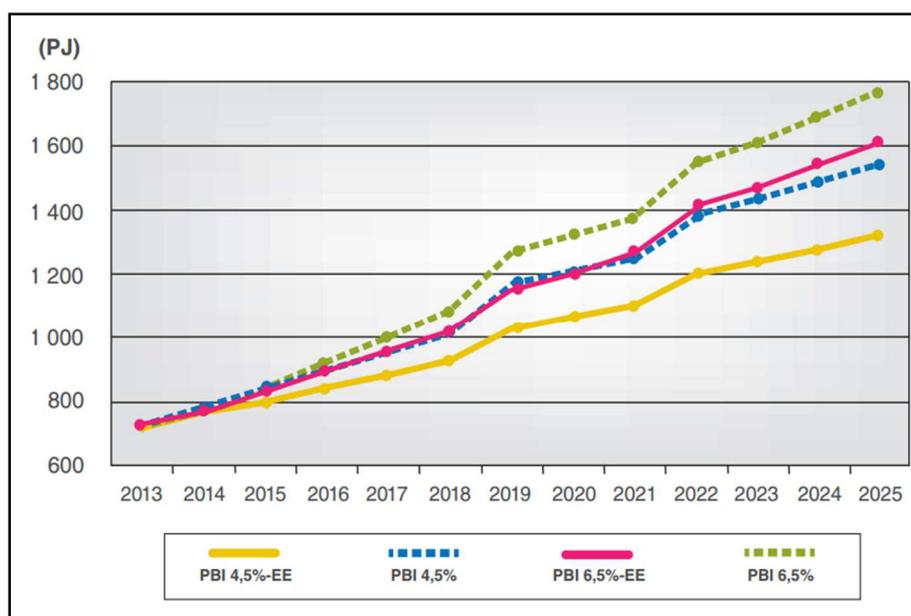


Figura 12: Proyección del Consumo Final de Energía (TJ) (MINEM, 2014)

2.5 CONSUMO ELÉCTRICO EN EL PERU

De acuerdo al Balance Nacional de Energía 2012, durante el año 2012, el consumo final de energía eléctrica o energía disponible al usuario final, fue de 35 988 GW-h, con un incremento de 2,4% respecto al año anterior (MINEM, 2013). Los sectores con mayor participación de consumo de electricidad lo

constituye el sector residencial, comercial y público 15 915 GW-h), industrial (10 085 GW-h), y el minero metalúrgico (8 951 GW-h), entre estos sectores acumulan el 97,1% del consumo total de energía eléctrica del país, tal como se puede apreciar en la Figura 13.

Así, de acuerdo al Balance Nacional de Energía 2012 (MINEM, 2013), el Sector Residencial, Comercial y Público es responsable por el 44% del consumo final de energía eléctrica, lo cual equivale, casi en su totalidad al consumo energético del Sector Edificios.

Se estima que la demanda de electricidad continuará con la tendencia creciente de los últimos veinte años. Se estima que su crecimiento estará basado principalmente en el desarrollo de los proyectos mineros e industriales, y en la facilitación de estas inversiones, así como en el desarrollo de las principales ciudades del país (MINEM, 2014).

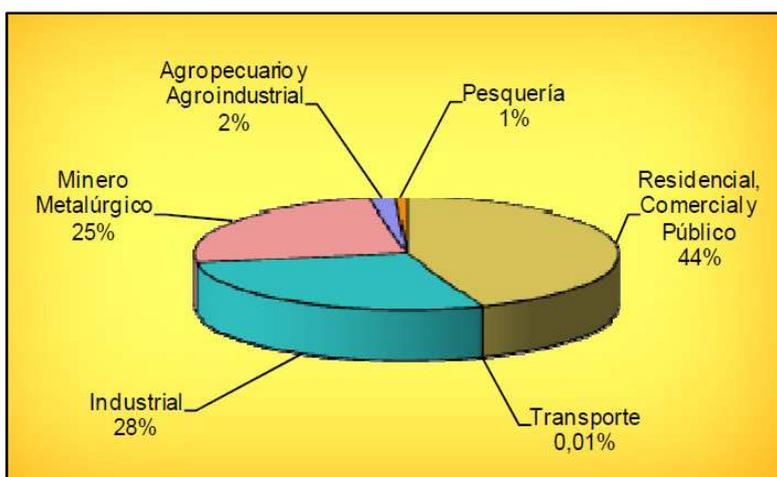


Figura 13: Estructura del Consumo Final de Energía Eléctrica por Sectores (MINEM, 2013)

De acuerdo al Plan 2014-2025, la demanda pasará de los actuales 5 800 megavatios (MW) a un rango entre 9 500 MW y 12 300 MW al 2025 según los escenarios de crecimiento del PBI de 4,5% y 6,5% respectivamente. En los primeros tres años, su crecimiento será mayor con tasas de 6,6%, y luego disminuirá en espera de nuevos proyectos. El mercado de electricidad cuenta con dos segmentos: el regulado que atiende a más de 6,5 millones de familias (55% del consumo total), y el segmento libre con 260 consumidores industriales y mineros principalmente (Ver Figura 10). Asimismo, en el ámbito de la cobertura

eléctrica, los niveles actuales de 91% de electrificación alcanzarán valores de cobertura cercanos al 100%.

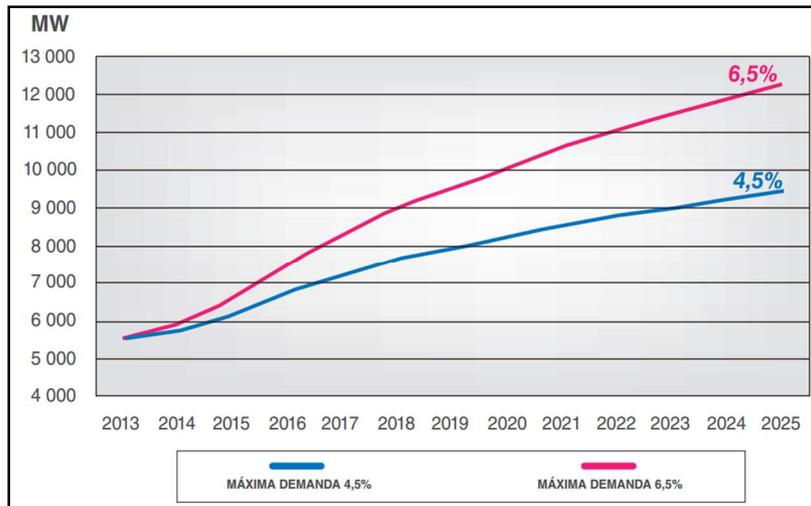


Figura 14: Proyección de la Máxima Demanda 2014-2025 (MINEM, 2014)

CAPITULO III

PROTOCOLOS DE MEDIDA Y VERIFICACION

3.1 LA MEDIDA Y VERIFICACIÓN (M&V)

La Medida y Verificación (M&V) es un proceso que consiste en utilizar la medida para establecer de forma fiable el “ahorro real” generado en una instalación dentro de un programa de gestión de la energía. El ahorro no se puede medir de forma directa, puesto que representa la ausencia del consumo de energía. (EVO, 2009). Por ese motivo, el ahorro se tiene que determinar comparando el consumo antes (línea base) y después de la implementación de un proyecto de Eficiencia Energética, a la vez que se realizan los ajustes oportunos según la variación de las condiciones iniciales (o de base) en las que se determinó el consumo energético. Lo anterior, por la sencilla razón de que, en la mayoría de los casos el consumo energético está vinculado a factores tales como la producción de una compañía o el uso de las instalaciones de una organización (edificios, luminarias, computadoras, etc.) siendo estos parámetros variables en el tiempo.

La Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE) complementa que la M&V es el término dado para el proceso de cuantificación de las disminuciones de consumo energético, que son atribuibles a la implementación de una o varias Medidas de Mejora de la Eficiencia Energética (MMEE). Asimismo, la M&V considera la validación de dicho proceso, tanto por la parte que implementa la o las MMEE como por el usuario final de la energía (AChEE, 2012).

Si bien el objetivo de la implementación de un proceso de M&V puede justificarse por el simple cumplimiento de indicadores de desempeño definidos por las partes interesadas, su uso más recurrente está ligado con el establecimiento de contratos de desempeño energético. En estos contratos, los términos de cumplimiento de los mismos se fundan por las condiciones en que se establece el proceso de M&V. Es decir, el propósito de utilizar la M&V varía según los propietarios del proyecto y los gestores de eficiencia energética.

Al desarrollar un adecuado proceso de Medición y Verificación se puede obtener los siguientes beneficios:

- Dar credibilidad a la solicitud de nuevas inversiones para mejorar la Eficiencia Energética en procesos de una organización.
- Cuantificar las variaciones del presupuesto en gasto energético y gestionar correctamente el costo en este ítem.
- Entender cuál es la relación entre el consumo de energía y los principales parámetros operativos de una instalación, y mejorar los futuros presupuestos de la organización, asociados al uso de la energía.

Un adecuado proceso de M&V garantiza al usuario final, el cumplimiento de los ahorros estimados antes de la implementación de una MMEE a través de metodologías probadas y especialistas certificados internacionalmente. Las principales actividades que involucra un Proceso de Medida y Verificación son presentadas en la Figura 15.

En relación a protocolos de M&V para proyectos de Eficiencia Energética, existen un número considerable, muchos de ellos son diseñados para un tipo específico de proyectos de Eficiencia Energética o se basan en el esquema más general para la aplicación de un proceso de M&V. A continuación se listan los Protocolos más conocidos:

- International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP). 2012.
- ASHRAE Guideline 14-2002, 2002.
- M&V Guidelines: Measurement and Verification for Federal Energy Projects, 2008.

- The California Evaluation Framework, 2004.
- A Framework for Planning and Assessing Publicly Funded Energy Efficiency, 2001.
- Protocols and procedures for the verification of costs, benefits, and shareholder earnings from demand-side management programs, 1999.
- California Energy Efficiency Evaluation Protocols: Technical, Methodological, and Reporting Requirements for Evaluation Professionals, 2006.
- Greenhouse Gas Protocol for Project Accounting (2005)
- EERE Guide for Managing General Program Evaluation Studies, 2006.
- Load Impact Estimation for Demand Response (DR): Protocols and Regulatory Guidance, 2008.



Figura 15: Principales actividades que involucra un Proceso de Medida y Verificación (AChEE, 2012)

Cabe resaltar que los Protocolos de Medida y Verificación pueden ser usados por:

- Empresas de Servicios Energéticos y sus clientes del sector terciario e industrial.
- Consumidores de energía que implementen sus propias mejoras y quieran cuantificar el ahorro conseguido.
- Gerentes de instalaciones que desean cuantificar las variaciones de su presupuesto energético.
- Arquitectos y promotores.
- Arquitectos y promotores que deseen obtener la calificación LEED.
- Gestores que deseen obtener la calificación LEED-Existing Building.
- Diseñadores y gestores de programas de gestión de la demanda.
- Promotores de proyectos de eficiencia en el consumo de agua.
- Diseñadores de programas de intercambio de derechos de emisiones.

3.2 PROTOCOLO INTERNACIONAL DE MEDIDA Y VERIFICACIÓN DEL AHORRO ENERGÉTICO (IPMPV)

3.2.1 Generalidades

A inicios de los años 90, la estandarización de la medida y verificación de la eficiencia energética se desarrolló para asistir a creadores, propietarios y financiadores de proyectos. Hoy, el International Performance Measurement & Verification Protocol (IPMVP), patente de EVO¹³, es el líder internacional en estándares de protocolos de Medida y Verificación (M&V). El IPMVP ha sido traducido en 10 idiomas (incluido en español) y es utilizado en más de 40 países.

¹³ EVO (Efficiency Valuation Organization): un comité de voluntarios que se unieron bajo una iniciativa del Departamento de Energía (DOE) de los EE.UU para desarrollar un protocolo Medida y Verificación que ayude a determinar el ahorro de energía a partir de proyectos de eficiencia energética de una manera consistente y confiable. La misión de EVO es promover y desarrollar el uso de estándares para cuantificar y gestionar el beneficio y riesgos asociado con las transacciones comerciales relacionadas con la eficiencia energética, las energías renovables y el uso eficiente del agua.

Actualmente es citado de forma habitual en usos federales, estatales y en otros protocolos de medida y verificación.

El IPMVP, junto con las herramientas que lo complementan, permite gestionar el beneficio y el riesgo asociado a las actuaciones de mejora de la eficiencia energética, las energías renovables y el uso eficiente del agua.

Los planes de medida y verificación desarrollados sobre este tipo de protocolos estándar son útiles en aplicaciones como:

- Incrementar los ahorros de energía.
- Documentar las transacciones financieras.
- Aumentar la financiación de proyectos de eficiencia.
- Mejorar el diseño, la operación y el mantenimiento.
- Pronosticar las variaciones en el presupuesto energético de la instalación.
- Apoyar la evaluación de los programas de eficiencia energética.
- Educar a los usuarios de las instalaciones sobre su impacto en el consumo de energía.
- Mejorar la calificación/puntuación a obtener en sistemas de certificación de edificios, tales como "LEED" (Leadership in Energy and Environmental Design).

El IPMVP presenta un marco de trabajo y define las terminologías utilizadas para determinar los ahorros después de la implementación del proyecto, especifica los aspectos clave que se deben abordar en el desarrollo de un plan de M&V para un proyecto específico. Sin embargo, permite flexibilidad a la hora de implementar los planes de M&V mientras se mantengan los principios de: precisión, amplitud, cautela, coherencia, pertinencia y transparencia (EVO, 2009)

La precisión dependerá del presupuesto asignado para esta M&V. Debe ser amplio ya que deberá tener en cuenta todos los aspectos de un proyecto. Tiene que ser conservador ya que tendremos que infravalorar el ahorro, sobre todo cuando se trabaje con estimaciones o con cantidades poco precisas. La relevancia vendrá de la determinación del ahorro y deberá medir los parámetros del rendimiento que son de interés, o al menos permitir que sean conocidos. Al

ser todas las actividades de Medida y Verificación documentadas con detalle y de forma se resalta la transparencia.

3.2.2 Entorno del IPMPV y Opciones de Verificación

El ahorro de energía no se puede medir de forma directa ya que representa la ausencia del consumo de energía. Por ese motivo, el ahorro se determina comparando el consumo, o la demanda, antes y después de la implementación de un proyecto de eficiencia energética o MMEE, al tiempo que se realizan los ajustes necesarios según la variación de las condiciones iniciales.

La comparación del consumo de energía antes y después se tiene que realizar de forma adecuada utilizando la siguiente ecuación.

$$\text{Ahorro de Energía} = E_{\text{periodo ref}} - E_{\text{periodo dem ahorro}} \pm \text{Ajuste} \dots \dots \text{Ecuación 1}$$

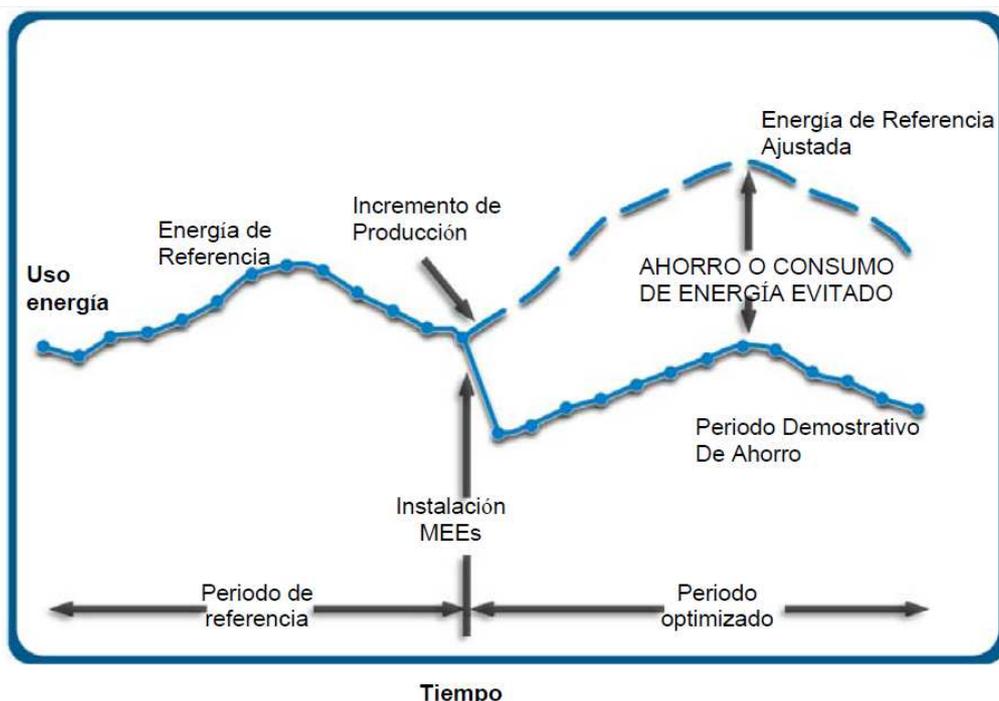


Figura 16: Consumo de energía antes y después de la implantación de una MMEE (EVO, 2009)

El elemento ajustes diferencia los informes demostrativos de ahorros veraces de lo que sería una simple comparación de consumo, antes y después

de la implementación de una MMEE. La simple comparación de costes sin ajustes sólo recogería la variación del costo y no lograría reflejar el rendimiento real del proyecto. Para mostrar de forma adecuada el ahorro, los ajustes deben tener en cuenta las diferencias entre las condiciones del periodo de referencia y del periodo demostrativo de ahorro (EVO, 2009).

3.2.3 Selección del periodo de medida

El proceso de M&V se realiza en dos etapas: 1) el Periodo de Referencia¹⁴, antes de la implementación de la medida; y 2) el Periodo Demostrativo de Ahorro¹⁵, cuando se monitorea el seguimiento después de la implementación de la MMEE. En la primera etapa se estudia la variabilidad de los datos, y según el nivel de confianza que se desea alcanzar, se calcula el número de mediciones a realizar en el periodo post implementación.

Un resultado importante en el Periodo de Referencia es la generación de la Línea Base de consumo. Si bien el protocolo IPMVP no lo especifica, es muy recomendable que el periodo de referencia surja de un proceso de Auditoría Energética que defina las oportunidades de Eficiencia Energética en el edificio, organización o industria a tratar.

La duración del Periodo Demostrativo de Ahorro puede depender de las condiciones o ciclo de operación del proceso involucrado a la MMEE, a la confiabilidad esperada y a los recursos disponibles, lo cual debe ser determinado por el responsable de la Medición y la Verificación.

Así, es necesario tomar dos periodos de tiempo, uno de referencia y otro como periodo demostrativo de ahorro (Definiciones en el Anexo A).

3.2.4 Periodo de referencia

Este periodo se establece con el fin de: representar todos los modos de operación de la instalación y tiene que abarcar un ciclo operativo completo,

¹⁴ Tiempo seleccionado que representa el funcionamiento de la instalación, o del sistema, antes de la implementación de una MMEE.

¹⁵ Periodo que sigue a la implementación de una MMEE *cuando los informes de ahorro se adhieren al IPMVP.

desde el consumo de energía máximo al mínimo. Además de presentar de forma clara todas las condiciones de operación de un ciclo normal de funcionamiento. Sin embargo, se debe incluir sólo periodos de tiempo de los que se conozcan todas las condiciones, fijas y variables, que afectan a la energía dentro de la instalación.

3.2.5 Periodo demostrativo de ahorro

Este periodo tiene que abarcar al menos un ciclo operativo normal de la instalación o de los equipos que están bajo estudio, para comprobar el ahorro en todas las condiciones normales de operación. Esta duración se determinará en función de la vida útil de la MMEE, ya que el ahorro inicial se podría ver deteriorado con el paso del tiempo.

3.2.6 Ajustes

El parámetro Ajustes de la Ecuación 1, se tiene que calcular a partir de los hechos físicos identificados que afectan al consumo de energía de los equipos que están dentro del límite de medida. Existen dos tipos de Ajustes:

- Ajustes Rutinarios: debidos a parámetros que influyen en la energía y que experimentan variaciones durante el periodo demostrativo de ahorro, como pueden ser las condiciones climatológicas (temperatura exterior) o el nivel de producción de la planta. Hay que utilizar las técnicas matemáticas adecuadas para seleccionar el método de ajuste más apropiado.
- Ajustes No-Rutinarios: debidos a parámetros que influyen en la energía y que no se prevee que cambien en el tiempo: tamaño de la instalación, diseño y funcionamiento de los equipos existentes, número de turnos de trabajo o tipo de ocupantes. Los posibles cambios que experimenten estas variables estáticas tienen que ser monitorizados durante todo el periodo demostrativo de ahorro.

Ejemplo: Las características del edificio: aislamiento nuevo, ventanas, puertas e infiltraciones de aire.

Con todo esto podemos expresar la Ecuación 1 de forma más completa:

$$\text{Ahorro de energía} = (E_{\text{periodo ref}} - E_{\text{periodo dem ahorro}}) \pm \text{Ajustes}_{rut} \pm \text{Ajustes}_{no rut} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2}$$

Dependiendo los mecanismos de ajuste que utilicemos, esto es, si lo referenciamos a las condiciones del periodo demostrativo de ahorro o si las ajustamos a un conjunto de condiciones fijas, se hablará de Consumo de energía o coste Evitado o de Ahorro Normalizado.

3.2.7 Visión General de las Opciones del IPMPV

Según EVO (2009), el consumo de energía, en las diferentes posibilidades de la Ecuación 1, se puede medir con una o varias de las siguientes técnicas:

- Facturas de la empresa suministradora, lectura del equipo de medida, realizando los mismos ajustes a las lecturas que aplica la empresa.
- Equipos de medida que aíslan una MMEE, o parte de la instalación. Las lecturas se pueden realizar de forma periódica en intervalos breves, o de forma continua, durante el periodo de referencia o el periodo demostrativo de ahorro.
- Lecturas por separado de los parámetros empleados para el cálculo del consumo. Por ejemplo: los parámetros operativos de los equipos, potencia y horas de operación se pueden medir por separado y luego ser multiplicados para calcular el consumo de energía de los equipos.
- Uso de patrones contrastados del consumo para medir dicho consumo de energía. Por ejemplo, si el consumo de energía de un motor está relacionado con la señal de salida de un variador de frecuencia que

controla el motor, se puede considerar que esta señal es una representación del consumo de energía.

- Simulación calibrada con algunos datos del rendimiento real del sistema, o de la instalación que va a ser modelizar. Por ejemplo el análisis DOE-2 en edificios, sólo con la Opción D.

El IPMVP ofrece cuatro opciones técnicas para determinar el ahorro energético: A, B, C y D. Para seleccionar una de ellas, se deben tener en cuenta diversos aspectos, tantos técnicos como económicos, debido a que cada tipo de medición no aplica en todos los proyectos, e implica un presupuesto distinto tanto a nivel de horas-hombre como en la inversión en equipos de medición.

La Tabla 1 resume las cuatro opciones detalladas en EVO (2009), así como la Figura 10 representa una descripción lógica utilizada de forma habitual para la selección de las opciones.

Tabla 1: Opciones del IPMVP (EVO, 2009)

| Opciones del IPMVP | ¿Cómo se determina el ahorro? | Aplicaciones comunes |
|---|---|--|
| <p>A. Verificación Aislada de la MMEE: medición del parámetro clave</p> <p>El <i>ahorro</i> se determina midiendo en la <i>instalación</i> el parámetro clave que determina el consumo de <i>energía</i> del sistema donde se ha implementado la <i>MMEE</i> y/o el éxito del proyecto.</p> <p>La medición se puede realizar de forma continua o puntual, en función de la variación que se espere del parámetro a medir y de la duración del <i>periodo demostrativo de ahorro</i>.</p> <p>Se realiza una <i>estimación</i> del parámetro que no ha sido seleccionado para ser medido en la <i>instalación</i>. La <i>estimación</i> se puede realizar con datos históricos, especificaciones del fabricante o supuestos técnicos. Sería necesario disponer de la documentación que se ha utilizado como fuentes o la justificación del parámetro que se está estimando. El error admisible obtenido al determinar el <i>ahorro</i> de <i>energía</i> por usar estimaciones en lugar de mediciones es estimado.</p> | <p>Calculo, por parte de la ingeniería, de la <i>energía de referencia</i> y de la <i>energía del periodo demostrativo de ahorro</i> a partir de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lecturas continuas o puntuales del parámetro clave operativo. • Valores estimados. <p>Será necesario aplicar <i>Ajustes rutinarios</i> y <i>ajustes no-rutinarios</i> como correspondan.</p> | <p>Una MMEE en iluminación donde la potencia es el parámetro clave que se mide de forma periódica. Se estimarán las horas de funcionamiento de los puntos de luz según los horarios del edificio y el comportamiento de sus ocupantes.</p> |

| | | |
|---|--|--|
| <p>B. Verificación aislada de la MMEE: medición de todos los parámetros</p> <p>El <i>ahorro</i> se determina midiendo en la <i>instalación</i> el consumo de <i>energía</i> del sistema en el que se ha implementado la <i>MMEE</i>.</p> <p>La medición se realiza de forma continua o puntual, en función de la variación esperada del <i>ahorro</i> y la duración del <i>periodo demostrativo de ahorro</i>.</p> | <p>Mediciones continuas o puntuales de la <i>energía</i> del <i>periodo de referencia</i> y de la <i>energía</i> del <i>periodo demostrativo de ahorro</i>; y/o cálculos que utilicen patrones de consumo.</p> <p>Será necesario aplicar <i>ajustes rutinarios</i> y <i>ajustes no-rutinarios</i> como correspondan.</p> | <p><i>Instalación</i> de un variador de frecuencia en un motor para regular el caudal de la bomba. Medir la potencia (kW) con un equipo de medida instalado en el propio motor que toma la lectura de la potencia cada minuto. En el <i>periodo de referencia</i> se instala el equipo de medida durante una semana para verificar la carga de trabajo del motor. El equipo de medida sigue instalado durante el <i>periodo demostrativo de ahorro</i> para hacer un seguimiento de la variación de la potencia de la bomba.</p> |
|---|--|--|

| | | |
|--|---|---|
| <p>C. Verificación de toda la Instalación</p> <p>El <i>ahorro</i> se determina midiendo el consumo de <i>energía</i> de toda la <i>instalación</i>, o de una parte de ella.</p> <p>La medición de todo el consumo de <i>energía</i> de la <i>instalación</i> se realiza de forma continua durante el <i>periodo demostrativo de ahorro</i>.</p> | <p>Análisis de toda la información de los equipos de medida de la empresa de suministro durante todo el <i>periodo de referencia</i> y todo el <i>periodo demostrativo de ahorro</i>.</p> <p><i>Ajustes rutinarios</i> según sean necesarios utilizando comparaciones simples y <i>análisis de regresión</i>.</p> <p>Serán necesarios aplicar <i>Ajustes no-rutinarios</i> según sean convenientes.</p> | <p>Proyectos de eficiencia en los que las <i>MMEE</i> implementadas afecten a varios equipos de la <i>instalación</i>. Medición del consumo con equipos de medida de <i>energía</i> eléctrica, de combustibles y agua durante un <i>periodo de referencia</i> de doce meses y durante el <i>periodo demostrativo de ahorro</i>.</p> |
|--|---|---|

| | | |
|---|--|--|
| <p>D. Simulación Calibrada</p> <p>El <i>ahorro</i> se determina simulando el consumo de <i>energía</i> de toda la <i>instalación</i>, o de una parte de ella.</p> <p>La simulación tiene que ser capaz de modelar el rendimiento energético actual de la <i>instalación</i>.</p> <p>Esta opción suele requerir habilidades especiales para realizar simulaciones calibradas.</p> | <p>La simulación del consumo de <i>energía</i> calibrado con la información de las facturas de suministro, horarias o mensuales. (La lectura del consumo en un equipo puede servir para mejorar los datos de entrada.)</p> | <p>Proyectos de eficiencia donde las <i>MMEE</i> implementadas afecten a varios equipos de la <i>instalación</i> y no existen equipos de medida en el <i>periodo de referencia</i>.</p> <p>Después de la <i>instalación</i> de los equipos de medida de <i>energía</i> eléctrica y de combustibles se utilizan sus lecturas para calibrar la simulación.</p> <p>El consumo de <i>energía de referencia</i>, que se ha determinado con la simulación calibrada, es comparado con la simulación del consumo de la <i>energía</i> durante el <i>periodo demostrativo de ahorro</i>.</p> |
|---|--|--|

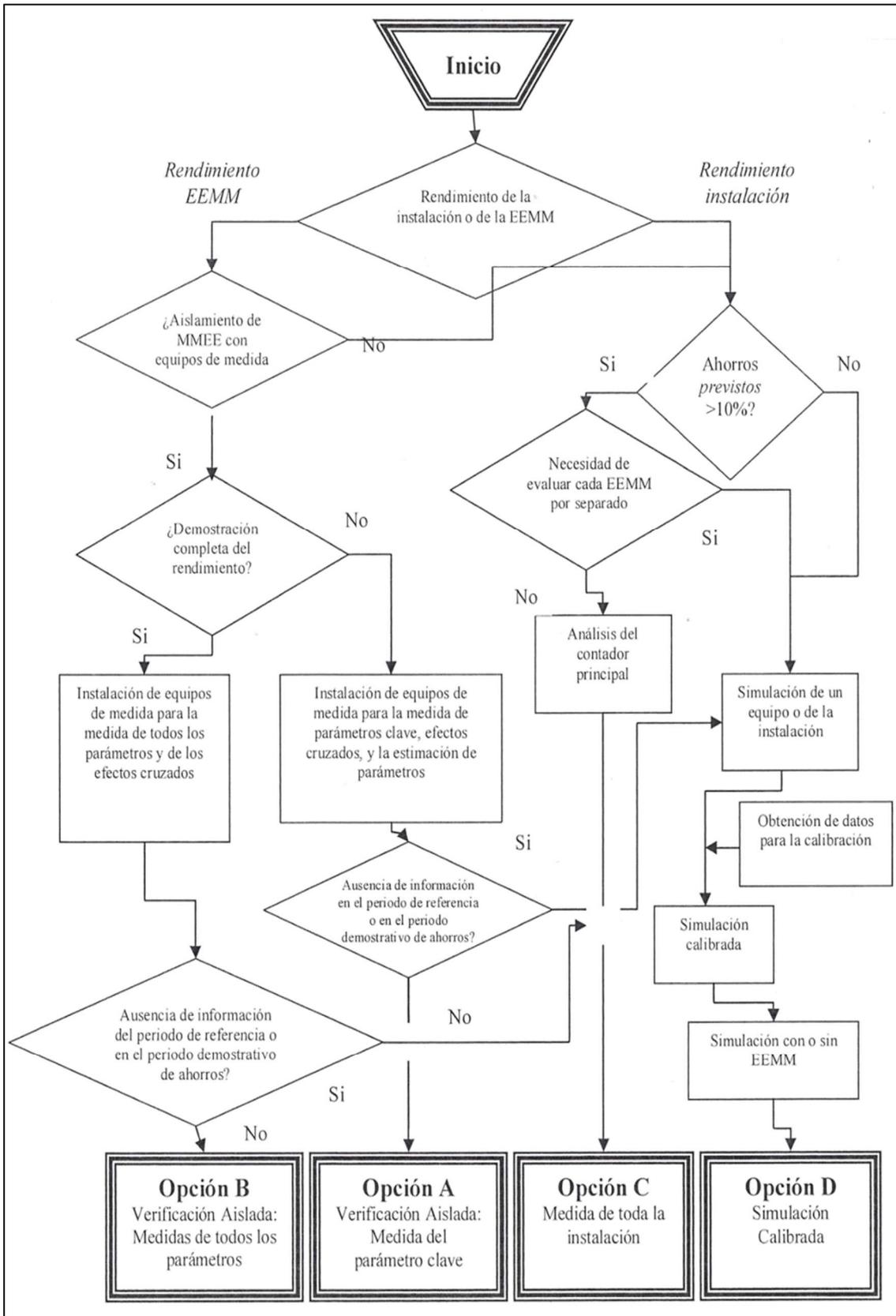


Figura 17: Principales actividades que involucra un Proceso de Medida y Verificación (EVO, 2009)

3.2.8 Selección de la Opción C: Verificación de toda la Instalación

De acuerdo con la EVO (2009) la Opción C. Verificación de toda la Instalación implica el uso del equipo de medida de la empresa de suministro, de equipos que miden toda la instalación o de equipos parciales, para determinar el rendimiento energético de toda la instalación. En ese caso, el límite de medida abarca toda la instalación, o gran parte de la misma. Esta opción establece el ahorro de energía conseguido por un conjunto de MMEE implementadas en parte de la instalación que está monitorizada por el equipo de medida. Del mismo modo, dado que se emplean los equipos de medida de toda la instalación, el ahorro que refleja la Opción C incluye todos los efectos, positivos o negativos, de cualquier modificación que ocurra dentro de la instalación y que no sean atribuibles a las MMEE implementadas.

La Opción C está pensada para proyectos donde el ahorro que se esperan es superior a las variaciones aleatorias de la energía o que no tengan explicación y que ocurran dentro de la instalación. En general, el ahorro estimado tiene que ser superior al 10% de la energía de referencia si se quiere hacer una distinción precisa del ahorro a partir de los datos de referencia cuando el periodo demostrativo de ahorro es inferior a dos años.

a. Aspectos sobre los Consumos de Energía

En una sola instalación se utilizarán siempre varios equipos de medida para medir el consumo de cada uno de los consumos. Se pueden ignorar aquellos equipos de medida que no interaccionan con otros sistemas, y cuyo ahorro no se va a determinar. Un ejemplo puede ser una instalación de alumbrado exterior que disponga de un equipo de medida independiente.

Hay que determinar el ahorro por cada equipo de medida, o equipo de medida parcial, de forma que se pueda evaluar separadamente la variación del rendimiento en cada parte de la instalación.

b. Aspectos sobre la Facturación de la Energía

El consumo de energía suele obtener del equipo de medida de la empresa de suministro, por la lectura directa del equipo o por las propias facturas. Si se utilizan las facturas hay que tener en cuenta que las prestaciones del equipo de medida de la empresa de suministro no suelen ser tan altos como los de la Medida y Verificación. En ocasiones las facturas suelen tener datos estimados, sobre todo en el caso de pequeñas empresas. A veces, no se puede saber con las facturas si los datos son estimados o son reales. También el suministro de energía se puede realizar de forma indirecta a la instalación, por almacenamientos propios, como puede ser el caso de fuel, propano o carbón. En estos casos, las facturas de la empresa de suministro no reflejan el consumo real de la instalación durante el periodo que transcurre entre una factura y otra. De forma ideal, equipo de medida aguas abajo del sistema de almacenamiento permitirá medir el consumo. Si no se dispone de ese equipo de medida habrá que incluir en las facturas un ajuste por el nivel de existencias en cada periodo de facturación.

c. VARIABLES INDEPENDIENTES

Las variables independientes habituales son las condiciones climatológicas, el nivel de producción y de ocupación de un edificio.

Las condiciones climatológicas tienen varios aspectos pero para analizar el comportamiento global de la instalación, se suele medir la temperatura exterior por medio de un termómetro externo. La ocupación del edificio se puede expresar de muchas formas: habitaciones ocupadas en el hotel, horas de ocupación de un edificio de oficinas, número de días ocupados (relación entre días entre semana y fines de semana) o comidas de un restaurante.

Un modelo matemático puede ser capaz de evaluar las variables independientes siempre que éstas tengan un comportamiento cíclico. Los análisis de regresión, así como el uso de otros modelos matemáticos, pueden ayudar a determinar el número de variables independientes que hay que considerar en los datos de referencia.

d. Cálculos y Modelos Matemáticos

El elemento de ajustes rutinarios de la ecuación XX se calcula por medio de un modelo matemático que se corresponde con el patrón de consumo de cada uno de los equipos de medida. A menudo el modelo incluyen factores obtenidos de un análisis de regresión, que correlaciona la energía con una o más variables independientes, tales como temperatura exterior, grados-día, duración del periodo de medida, producción, ocupación o modo de operación. El modelo también puede incluir un conjunto de parámetros de regresión diferentes para condiciones diferentes, como el verano o el invierno, o para edificios cuyo consumo cambia en función de la estación del año. La Opción C utiliza años completos con información continua de 12, 24 ó 36 meses, tanto durante el periodo de referencia como en el periodo demostrativo de ahorro. La lectura de datos de toda la instalación puede ser horaria, diaria o mensual. Muchos modelos matemáticos son adecuados para la Opción C, para seleccionar en cada aplicación el más adecuado hay que considerar índices estadísticos, como R^2 y t. Que son parámetros que indican lo bien que se ajusta el modelo matemático a los puntos.

e. Medida

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

f. Costo

El costo de la Opción C depende de dónde provengan los datos de la energía y de la dificultad para conseguir los datos de las variables estáticas, dentro del límite de medida, para poder realizar los ajustes no-rutinarios durante el periodo demostrativo de ahorro. El coste de seguir la variación de las variables estáticas depende del tamaño de la instalación, de su probabilidad de cambio,

de la dificultad de detectar sus cambios y de los procedimientos de seguimiento ya implantados.

g. Mejores Aplicaciones

La Opción C resulta útil cuando:

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

3.3 ASHRAE GUIDLINE 14-2002 MEASUREMENT OF ENERGY AND DEMAND SAVINGS

3.3.1 Generalidades

GUIDLINE 14-2002 fue desarrollado por ASHRAE¹⁶ para llenar una necesidad de un conjunto estandarizado procedimientos de cálculo de ahorro de energía (y demanda). La intención es proporcionar orientación sobre los niveles mínimos aceptables de desempeño para determinar el ahorro de energía y demanda, utilizando mediciones, en las operaciones comerciales. Así como, proporcionar directrices para medir de forma fiable el ahorro de energía proyectos de gestión de energía en los edificios (ASHRAE, 2002).

Esta guía se dirige a la determinación del ahorro de energía mediante la comparación de antes y después del uso de la energía y hacer ajustes para cambios en la MMEE que afectan el uso de energía. El método básico de esta guía se muestra en la Figura 18. Se trata de la proyección de uso de la energía o de los patrones del período de demanda pre-retrofit (línea de base) con el período posterior a la modificación. Tal proyección requiere un ajuste del consumo de energía de línea de base o de la demanda a las diferentes condiciones de clima, ocupación u otras variables de gobierno energía. Los ahorros se determinan entonces como:

Ahorro = (uso de energía de línea de base o de la demanda proyectada a las condiciones post-retrofit) - (Post-retrofit del uso o de la demanda de energía) **Ecuación 3**

¹⁶ American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) es una sociedad internacional técnica dedicada a mejorar la calidad de vida a través de los avances tecnológicos relacionados a la calefacción, refrigeración, aire acondicionado y ventilación (HVACR). El ASHRAE está compuesto por más de 55,000 miembros voluntarios en más de 130 países formando 165 capítulos. Los miembros de la sociedad participan en el desarrollo de tecnología en HVACR creando estándares, recomendando procedimientos y guías, investigando y publicando artículos técnicos. La historia de ASHRAE se remonta a 1894 cuando 75 Ingenieros de Calefacción y Ventilación se reunieron en Nueva York y formaron la Sociedad de Ingenieros de Calefacción y Ventilación (ASHVE). En 1904 un segundo grupo de Ingenieros se reúnen también para formar la Sociedad de Ingenieros en Refrigeración (ASRE). Posteriormente en el año de 1959 ambas sociedades se unen para dar origen al ASHRAE.
<https://www.ashrae.org/about-ashrae>

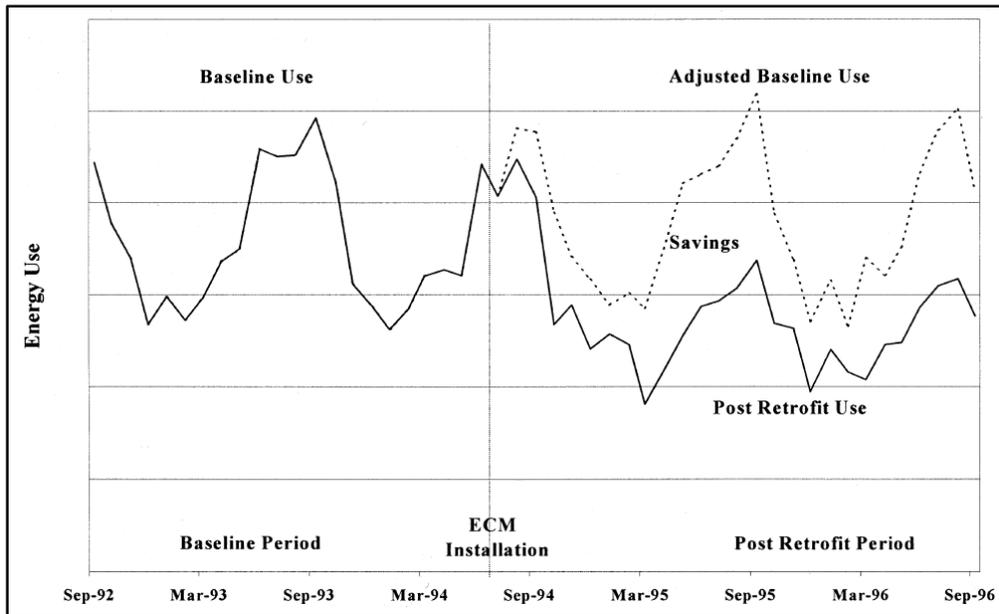


Figura 18: La Determinación de ahorros (ASHRAE, 2002).

3.3.2 Elección de la Opción ASHRAE: Caso del Edificio Completo

Cabe recordar que, la variable que se tendrá en cuenta para el desarrollo de este trabajo será la climatología exterior al edificio, ya que otras variables independientes típicas como: la ocupación del edificio, o la producción de una planta industrial no son de relevancia para este caso.

ASHRAE (2002) presenta dos caminos a seguir:

- Prescriptive Path (Camino preceptivo): es el camino más apropiado cuando el ahorro esperado es del 10% o mayor.
- Performance path (Camino funcional): adecuado cuando tenemos huecos en la medida de energía, es decir los datos no son tomados de manera continua, tanto en el periodo de referencia como en el periodo demostrativo de ahorro.

El camino que debemos escoger para cada caso se explica gráficamente en la Figura 19.

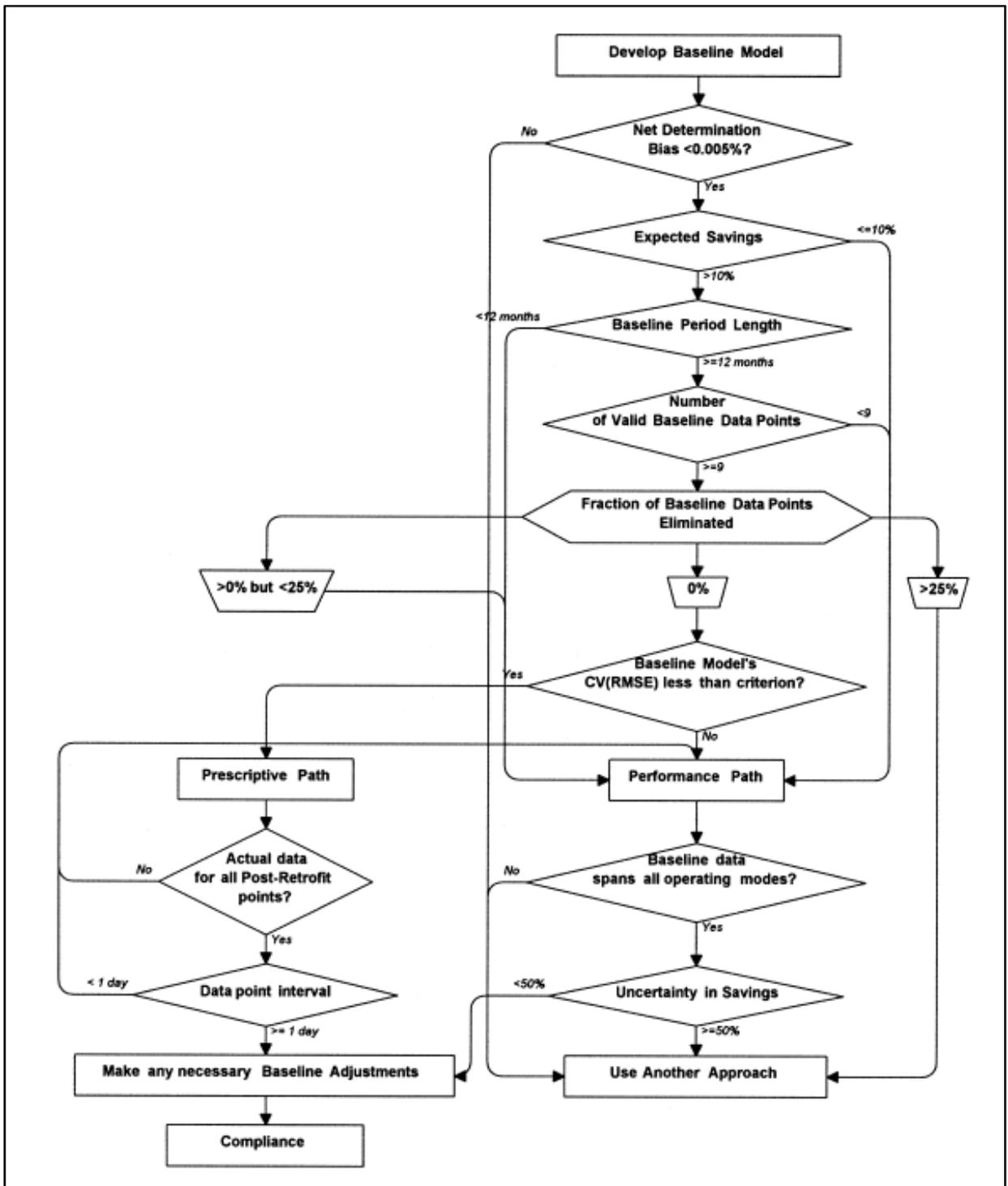


Figura 19: Camino perceptivo (ASHRAE, 2002).

3.3.3 Metodología y cálculo

Aunque existen 2 caminos diferentes y cada uno con requerimientos específicos en cuanto a los datos, ambos siguen la misma metodología:

- Recoger datos del consumo de energía, demanda y variables independientes.
- Determinar el camino y el mejor modelo estadístico.
- Calcular ahorros de consumo y demanda.

a. Recoger datos

Recursos de energía no almacenados. Electricidad, vapor, gas u otras energías no almacenadas, se debe de obtener la siguiente información: Fecha de las lecturas, Cantidad de energía medida por facturación.

Recursos almacenados de energía: carbón, gas natural líquido, gasolina u otros combustibles almacenados in situ, dos tipos de datos son aplicables. Lecturas de inventario e información de entregas. Como las lecturas de inventario son complicadas, solo la información de entrega es necesaria.

b. Variables independientes

En muchos casos, el consumo o demanda de energía dependerá de la variación de una variable independiente. El ejemplo más común es la temperatura exterior, la cual afectará a la hora de administrar calor (calefacción) o frío (aire acondicionado) al edificio.

Otras variables típicas es el número de ocupantes en un hotel.

Para recoger datos sobre el clima la mejor opción es recurrir a la estación meteorológica más cercana. Si se utiliza medidas realizadas in situ, estos datos deben ser recolectados tanto en el periodo de referencia, como en el periodo demostrativo usando la misma instrumentación, en la misma localización.

3.3.4 Selección del Periodo de Referencia y del Modelo

La técnica más utilizada es usar una regresión lineal para relacionar el consumo o demanda de energía como variable dependiente, con los datos climatológicos como variable independiente.

El modelo elegido debe contener lo siguiente:

- La fórmula de la ecuación lineal que describe el consumo de energía como una función de las variables independientes.
- Los coeficientes de cada término en la ecuación.
- El valor de CV(RMSE), que nos indica la incertidumbre inherente en el modelo.

En muchos casos el modelo tomara la forma de una expresión lineal de variables múltiples.

$$E = C + B_1V_1 + B_2V_2 + B_3V_3 \dots \dots \dots \text{Ecuación 4}$$

Donde:

E = Consumo o demanda de energía estimado por la ecuación.

C = Término constante en [unidades de energía/ día] o [unidades de demanda/ periodo de facturación].

B_n = Coeficiente de la variable independiente V_n en [unidades de energía/unidades variable conductora/día] o [unidades de demanda /unidades variable conductora/día].

V_n = Variables conductoras.

Por lo general en el proceso de selección del modelo, nos quedaremos con aquel que se aplique fácilmente y con el que obtengamos resultados consistentes y repetibles. Lo normal es hacer el cálculo usando varios modelos y luego quedarnos con el mejor modelo fijándonos en los valores de R² y CV (RMSE).

3.3.5 Cálculo del ahorro de energía

Luego de elegir el modelo apropiado, la metodología a seguir para el cálculo del ahorro es la siguiente.

1) Calcular el consumo de energía en el periodo de referencia proyectado. Este consumo de energía sería el que tendríamos si no hubiésemos instalado ninguna MMEE, dado un periodo de facturación actual, condiciones climáticas y/u otras variables independientes. A esto lo llamamos el periodo de referencia proyectado y se determina sustituyendo los datos actuales que vienen en las facturas en el modelo de energía del periodo de referencia.

2) Calculo del ahorro de energía.

Ahorro = Consumo en el periodo de referencia proyectado (sin MMEE)
– Consumo real actual (con MMEE)

$$E_{ahorrada} = E_{proyectada} - E_{actual} \dots\dots\dots\text{Ecuación 5}$$

3.3.6 Cálculo ahorro demanda.

1) *Calcular demanda de energía en el periodo de referencia proyectado.*

Esta demanda de energía sería la que tendríamos si no hubiésemos instalado ninguna MMEE, dado un periodo de facturación actual, condiciones climáticas y/u otras variables independientes. A esto se llama demanda del periodo de referencia proyectado y se determina sustituyendo los datos actuales que vienen en las facturas en el modelo de demanda del periodo de referencia.

2) *Calculo del ahorro de demanda.*

Ahorro =Demanda en el periodo de referencia proyectado (sin MMEE) –
Demanda real actual (con MMEE)

$$D_{ahorrada} = D_{proyectada} - D_{actual} \dots\dots\dots\text{Ecuación 6}$$

3.3.7 Ajustes en el periodo de referencia

Frecuentemente ocurren cambios en la estructura, operación o uso del edificio durante el periodo demostrativo. Siempre que sea posible, el método debe calcular estos efectos. Un método para estimar el efecto de las propias modificaciones en el periodo de referencia proyectado, es incluir otro término en la ecuación del modelo.

$$E = C + B_1V_1 + B_2V_2 + B_3V_3 + A_1V_n + \dots \dots\dots\text{Ecuación 7}$$

Donde:

A_1 = Coeficiente de la variable independiente para el ajuste.

V_n = Variable independiente para el ajuste.

En muchos casos este ajuste dependerá de una de las variables independientes ya existentes. En otros casos, la variable independiente deberá ser un nuevo término añadido a la ecuación.

El proceso por el cual se determina el ajuste es el siguiente:

- Realización por separado del cálculo o la simulación del efecto de la modificación.
- La dependencia temporal de las modificaciones debe ser representada, tanto para cambios producidos en el periodo de referencia como en el periodo demostrativo de ahorro.

3.4 GESTION ENERGÉTICA VINCULADA AL USO DE PROTOCOLOS DE MEDIDA Y VERIFICACIÓN

La gestión de energética, además de estar relacionado con la política energética de un país, está cada más conectada con la competitividad del sector donde se desarrolla.

Actualmente, la gestión energética pasa por un proceso de desarrollo, debido a la necesidad de gestionar varias unidades y a la disponibilidad de

mejores computadores, utilizando herramientas computacionales que auxilian en la padronización de controles y la disponibilización de datos.

Vinea & Hamrin (2008) discuten sobre la utilización de certificados de eficiencia energética como una herramienta que puede ser utilizada por órganos reguladores para reducir emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, afirman que los programas relacionados a reducir los gases de efecto invernadero por sí solos no estimulan la eficiencia energética o el uso de energías renovables. Una solución para superar algunos de estos problemas es instituir una metodología consistente de medida y verificación de eficiencia energética junto a un sistema de monitoreo confiable (Vinea, et al., 2008).

De esa forma, sea para la propia gestión de insumos o para atender metas ambientales como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero o políticas energéticas nacionales, los protocolos de M&V entran en la agenda de políticas y proyectos de eficiencia energética con importancia impar por su capacidad de dar credibilidad a los números mostrados en los estudios.

3.4.1 Contribución de los Protocolos de Medida y Verificación

Los protocolos de M&V padronizan la forma de calcular la energía economizada. Ellos confieren credibilidad en la apuración de los resultados tornando posible el real acompañamiento del desempeño de las MMEEs y dan más seguridad para el inversionista de que su inversión será recuperada.

La primera contribución de los protocolos de M&V es enfocar en la gestión, sustentabilidad y confiabilidad de la economía atingida, buscando la perpetuidad de las mejoras obtenidas a través de los proyectos de MMEE.

3.4.2 Utilización de Protocolos de M&V para mostrar el potencial de los Proyectos de MMEE

Los protocolos de Medida y Verificación (M&V) tienen en común el objetivo de proponer una metodología para medir confiablemente la energía

economizada en una instalación, pero como esa medida no puede ser realizada directamente, una serie de consideraciones deben ser hechas.

Tanto el IPMVP (EVO, 2009), cuanto el ASHRAE 14 (ASHRAE, 2002) tienen en común la estratificación de los tipos de instalación y proyectos y/o MMEEs. El IPMVP (EVO, 2009) es dividido en 4 estrategias de implementación: reforma parcial aislada, reforma aislada, medición de toda la instalación y simulación calibrada. Esas se asemejan a los 3 abordajes del ASHRAE 14 (ASHRAE, 2002): abordaje para toda la instalación, abordaje para instalación reformada y abordaje de simulación calibrada. La Tabla 2 a continuación presenta una comparación entre las estrategias usadas por los dos protocolos.

3.5 PROTOCOLOS DE M&V EN EL MODELO DE SISTEMA DE GESTION ISO 50001:2011

La Norma ISO 50001:2011, Sistemas de Gestión de la Energía, es una Norma Internacional voluntaria desarrollada por ISO (Organización Internacional de Normalización)¹⁷ que brinda a las organizaciones los requisitos para los Sistemas de Gestión de Energía (SGEn).

El propósito de esta Norma es facilitar a las organizaciones para establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética, el uso y el consumo de la energía. La implementación de la esta ISO está destinada a conducir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y de otros impactos ambientales relacionados, así como de los costos de la energía a través de una gestión sistemática de la energía. Esta Norma Internacional es aplicable a organizaciones de todo tipo y tamaño, independientemente de sus condiciones geográficas, culturales o sociales (ISO, 2011).

¹⁷ La Organización Internacional de Normalización o ISO, nacida tras la Segunda Guerra Mundial (1947), es el organismo encargado de promover el desarrollo de normas de fabricación (tanto de productos como de servicios), comercio y comunicación para todas las ramas industriales. Su función principal es la de buscar la estandarización de normas de productos y seguridad para las empresas u organizaciones (públicas o privadas) a nivel internacional. La ISO es una red de los institutos de normas de 163 países, sobre la base de un miembro por país, con una Secretaría Central en Ginebra (Suiza). Las normas desarrolladas por ISO son voluntarias.

Tabla 2: Comparación entre las estrategias usadas por los protocolos IPMPV y ASHRAE

| Protocolo | IPMVP | ASHRAE 14 | Comparación |
|----------------------|----------------------------------|---|--|
| ESTRATIFICACION | Reforma parcialmente aislada | Abordaje para instalación reformada | Las estrategias previstas en el IPMVP son menos rigurosas y detalladas que el abordaje del ASHRAE 14. El IPMVP prevé que, para situaciones donde los costos de M&V sean mayores que el retorno, la estimativa pueda ser hecha a partir de parámetros claves. |
| | Reforma aislada | | |
| | Medición de toda la instalación | Abordaje para toda la instalación: prescriptiva y desempeño | Son modelos parecidos. La estrategia prevista en el IPMVP es menos rigurosa y detallada, pues permite, por ejemplo, que sean hechas comparaciones directas simples sin modelos de regresión. |
| Simulación calibrada | Abordaje de simulación calibrada | Modelos parecidos, pero su utilización no es bien ejemplificada. El ASHRAE 14 no tienen ejemplo de la aplicación de esta abordaje y el IPMVP tiene un ejemplo simplificado de su aplicación | |

Elaboración propia

En particular, la norma ISO 50001 sigue el proceso Planificar-Hacer-Verificar-Actuar de mejora continua del sistema de gestión de la energía, tal

como presentado en la Figura 20. La ISO 50001 proporciona un marco de requisitos que permite a las organizaciones: desarrollar una política para un uso más eficiente de la energía; fijar metas y objetivos para cumplir con la política; utilizar los datos para entender mejor y tomar decisiones sobre el uso y consumo de energía; medir los resultados; revisar la eficacia de la política; mejorar continuamente la gestión de la energía. Además, la ISO 50001 puede ser implementada de forma individual o integrada con otras normas de sistemas de gestión.

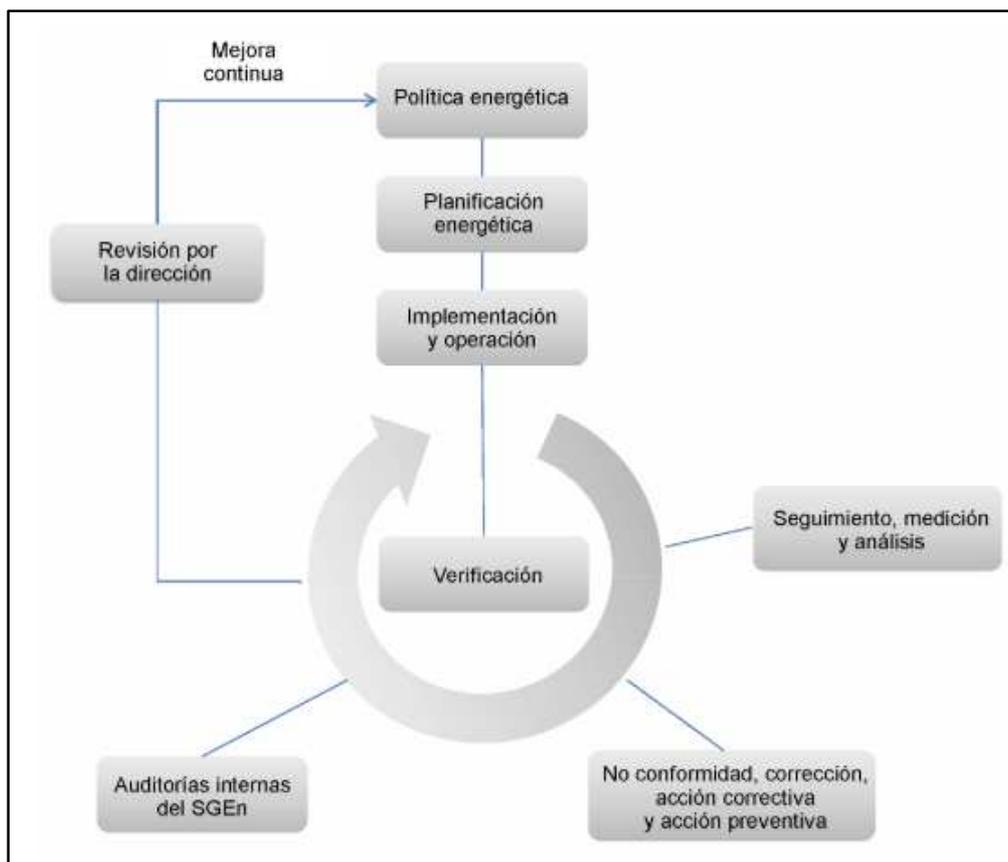


Figura 20: Modelo de Sistema de Gestión (ISO, 2011)

Uno de los puntos fundamentales de esta norma es la Verificación de las implementaciones que realicen las empresas en busca del uso eficiente de energía. En el caso de la ISO 50.001, esta etapa se entiende como el conjunto de actividades que agrupa la medida y verificación de los procesos así como la

producción de la organización, tomando como base las políticas, objetivos y características claves de las operaciones (AChEE, 2012)

En la Figura 21 se muestra el modelo de un Sistema de Gestión de la Energía indicado en la norma internacional ISO 50.001, en el cual se aprecia que el Plan de M&V es una etapa clave del proceso de implementación de mejora energética, para la cual es indispensable la M&V de los consumos energéticos así como las variables que lo afectan, para los procesos y actividades más relevantes de cada organización.

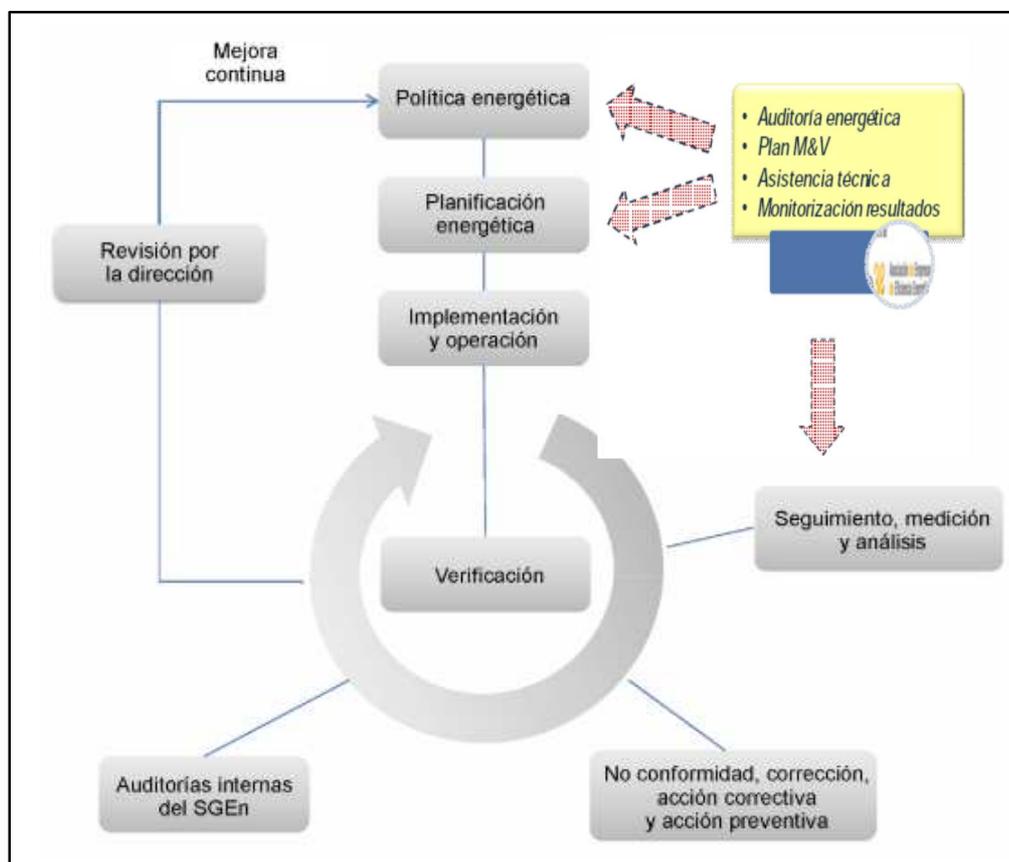


Figura 21: Medida y Verificación dentro del modelo ISO 50001

CAPITULO IV

POLITICAS, PROGRAMAS Y NORMATIVAS DE EFICIENCIA ENERGETICA EN EDIFICIOS

4.1 EXPERIENCIAS INTERNACIONALES: POLITICAS, PROGRAMAS Y NORMATIVAS PARA EFICIENCIA ENERGETICA EN EDIFICIOS

La planificación energética supone un esquema de trabajo a seguir durante un periodo determinado para alcanzar unos objetivos previamente fijados en materia de ahorro, eficiencia energética e introducción de energías renovables para cualquier organización, ya sea empresa o industria, edificio, municipio o una determinada región que desee mejorar su modelo de consumo energético. De acuerdo a dicha planificación, se podrá cuantificar el ahorro conseguido, tanto energético como económico y la reducción en emisiones de CO₂, en un horizonte temporal determinado.

Actualmente, la mayoría de los países están impulsando actuaciones dirigidas al ahorro, la mejora de la eficiencia energética y la lucha contra el cambio climático, mediante medidas y herramientas tanto técnicas como económicas y administrativas. Sin embargo, la legislación sobre ahorro y eficiencia energética en edificaciones suele ser dispersa y tiene aún potencial de desarrollo. A continuación se presenta algunos ejemplos de experiencias internacionales en este sentido.

4.1.1 Argentina

- Programa de Ahorro y Eficiencia Energética en Edificios Públicos (PROUREE): Promueve la incorporación de tecnologías adaptables a las distintas zonas climáticas y reglamentaciones específicas, además de procedimientos para el análisis de la eficiencia energética en edificios públicos.

Objetivos:

- Ahorrar y controlar el consumo de energía eléctrica y gas.
 - Capacitar al personal de la administración pública.
 - Conocer las instalaciones, equipos y modalidades de uso.
 - Normalizar los sistemas de gestión
 - Formular recomendaciones estandarizadas.
 - Implementar eficiencia energética en edificios.
- Programa Federal de Construcción Viviendas: Obliga la aplicación de las Normas IRAM (Instituto de Racionalización Argentino de Materiales) de acondicionamiento higrotérmico, incorporando el capítulo 5 de “Habitabilidad higrotérmica” en su manual de normas técnicas.
 - Ley 13059/03 (Provincia Buenos Aires). Establece las condiciones de acondicionamiento térmico en la construcción de edificaciones de uso humano. Con el fin de elevar la calidad de vida de la población y obtener una economía de energía para su acondicionamiento establece que la construcción de edificios debe garantizar condiciones de habitabilidad higrotérmica, de higiene y de salubridad, que permitan obtener una reducción de costos en los consumos de energía de calefacción y refrigeración y mejoras en la salud de sus habitantes y en la preservación del patrimonio edilicio y sus bienes. Para el resto del país las normas siguen siendo de uso voluntario.

4.1.2 Brasil

- Ley N° 10.295, de 17 de Octubre de 2001 (Ley de Eficiencia Energética) que dispone sobre la Política Nacional de Conservación y Uso Racional de Energía.

Objetivo: desarrollar la eficiencia energética en el Brasil. Comprende la creación de un Comité Gestor de Indicadores y Niveles de Eficiencia Energética – CGIEE, el establecimiento de niveles mínimos de eficiencia energética y la creación de un “Grupo Técnico para Eficientización de Energía en las Edificaciones en el País” para elaborar los procedimientos y normas para evaluar la eficiencia energética en las edificaciones.

- El Programa Nacional de Eficiencia Energética en Edificios (PROCEL Edifica) establecido en 2003 por Eletrobrás/Procel. Promueve condiciones para el uso eficiente de la electricidad en los edificios, reduciendo el desperdicio de energía, materiales, y los impactos sobre el medio ambiente. El programa tiene como objetivos el desarrollo de un conjunto de proyectos destinados a invertir en tecnología y formación profesional, fomento de la investigación y el desarrollo de soluciones adaptadas a la realidad brasileña con el fin de reducir el consumo energético en los edificios; atraer a un número creciente de socios con los diferentes sectores de la construcción, la mejora de la calidad y la eficiencia de los edificios en Brasil; difusión de los conceptos y prácticas de bioclimática, mediante la inserción del conceptos del confort térmico y la eficiencia energética en la arquitectura y los cursos de ingeniería, la formación de una nueva generación de profesionales comprometidos con el desarrollo sostenible del país; y apoyar la implementación del Reglamento de la Ley de Eficiencia Energética (Ley 10.295/2001) con respecto a los edificios de Brasil.
- La certificación de eficiencia energética fue lanzada en el Brasil, de forma voluntaria para edificios comerciales, públicos y de servicios en 2009, y para edificios residenciales, en 2010. La certificación de edificios está incluida en el Programa Brasileiro de Etiquetado (PBE),

el cual evalúa el nivel de eficiencia energética de diversos tipos de equipos consumidores de energía, tales como lámparas, refrigeradores, maquinas lavadoras de ropas, aire acondicionado y bombas centrifugas.

- La clasificación del nivel de eficiencia energética de edificios es definida con base en las metodologías presentadas en el Reglamento Técnico de la Calidad para el nivel de Eficiencia Energética de Edificios Comerciales, de Servicios y Públicos – RTQ-C (INMETRO, 2010) y en el Reglamento Técnico de la Calidad para el Nivel de Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales RTQ-R (INMETRO, 2012). Por lo tanto, los edificios comerciales, públicos y de servicios son evaluados de la misma forma, en cuanto que los edificios residenciales poseen una metodología propia.
- La certificación brasilera de edificios considera cinco niveles de eficiencia energética de A (más eficiente) a E (menos eficiente). Para cada edificio es calculado un nivel global y niveles parciales de eficiencia. Los niveles parciales son referentes al desempeño de la envoltura y de las instalaciones del edificio.
- El proceso de certificación de eficiencia energética es destinado a los edificios nuevos, y existentes, y debe ser realizado por medio de dos etapas consecutivas: Etapa de Proyecto y Etapa de Edificio Construido.
- En 2014, la Certificación de Eficiencia energética de edificios pasó a ser obligatoria para edificios públicos federales nuevos con área superior a 500 m² o edificios existentes que pasen por intervención tipo retrofit (Brasil, 2014). Se entiende como intervención retrofit a cualquier reforma que altera la envoltura y los sistemas de iluminación, de sistema de aire acondicionado. Se espera que en los próximos años el proceso de certificación de eficiencia energética se vuelva obligatorio para todos los tipos de edificios, siguiendo la tendencia de otros países. La evaluación de eficiencia energética de edificios en el Brasil es realizada por un Organismo de Inspección Acreditado, siendo que actualmente, hay apenas un Organismo de

Inspección Acreditado en el Brasil, el OI3E. El certificado brasilero de eficiencia energética de edificios posee validez de cinco años.

4.1.3 Chile

- Programa País de Eficiencia Energética (PPEE, 2005). Objetivo: consolidar el uso eficiente como una fuente de energía, contribuyendo así al desarrollo energético sustentable de Chile. Funciones: Establecer las bases institucionales y el marco regulatorio para la eficiencia energética, desarrollar incentivos y herramientas de apoyo y posicionar el tema de la eficiencia energética.
- Programa de Eficiencia Energética en Edificios Públicos: Permite postular a instituciones públicas a la implementación de medidas de mejoras de eficiencia energética. Durante el año 2011 se seleccionarán 3 edificios públicos, a partir de auditorías energéticas realizadas anteriormente (<http://www.peeep.cl>).
- Programa de Diseño de Nuevos Hospitales con Eficiencia Energética: Contempla la realización de diagnósticos y simulaciones para definir las medidas de mejora en la eficiencia energética de nuevos hospitales. Se implementarán proyectos piloto para medir y verificar los resultados.

4.1.4 Colombia

- La eficiencia energética se reguló como una prioridad nacional a través de la “Ley de la Promoción de la Eficiencia Energética y las Energías Renovables”. Provee de un marco regulatorio para diseñar e implementar el “Programa Nacional para el Uso Racional y Eficiente de la Energía y para las Energías Renovables”(PROURE)”. Exige al Estado: establecer condiciones legales, técnicas, económicas y financieras, incluyendo incentivos financieros; promover proyectos de Eficiencia Energética y Energías Renovables; promover la investigación en EE y desarrollar

estrategias para sensibilizar a los ciudadanos y ciudadanas en relación a la Eficiencia Energética.

- Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía no Convencionales (PROURE). Estructurado en cuatro etapas fundamentales cuyos ejes temáticos están orientados a la consolidación de una cultura para el manejo sostenible y eficiente de los recursos naturales a lo largo de toda la cadena energética, construir las condiciones económicas, técnicas, regulatorias y de información para impulsar un mercado de bienes y servicios energéticos eficientes, fortalecer las instituciones e impulsar la iniciativa empresarial de carácter mixto o de capital social para el desarrollo de subprogramas y proyectos de Eficiencia Energética, y finalmente facilitar la aplicación de normas relacionadas con los incentivos, incluyendo los tributarios, que impulsen el desarrollo de proyectos que hagan parte del PROURE.
- Subprogramas Edificaciones arquitectónicas y equipamiento asociado para el URE y Normalización, Acreditación, Certificación y Etiquetado de Equipos de Uso Final de Energía implementado por el Ministerio de Minas y Energía, la Unidad de Planeación Minera Energética y el Ministerio de Industria y Comercio.

4.1.5 Cuba

- Programa de Uso Racional de la Energía en el Sector Residencial: Comprende la sustitución de iluminación con bombillos incandescentes, cambio de electrodomésticos ineficientes, modificación de la tarifa eléctrica y sustitución de módulos de cocción de alimentos.
- Programa de Uso Racional de la Energía en Edificios No Residenciales: Comprende el cambio de bombas de suministro de agua, sustitución de lámparas de 40 W por 32 W, ejecución de supervisiones energéticas y planificación y control del consumo de electricidad según índices de consumo.

- Norma Cubana 220 Edificaciones: Requisitos de diseño para la eficiencia energética. Norma de uso obligatorio para todos los nuevos proyectos de edificaciones que integra aspectos como la envolvente del edificio, potencia eléctrica y alumbrado, ventilación y aire acondicionado, suministro de agua caliente y administración de energía.
- Reglamento Técnico de Eficiencia Energética para los equipos de uso final de energía eléctrica importados o fabricados en el país.

4.1.6 Ecuador

- El Plan Nacional del Buen Vivir (2009-2013) establece dentro de sus estrategias “La producción, transferencia y consumo de energía debe orientarse radicalmente a ser ambientalmente sostenible a través del fomento de energías renovables y eficiencia energética”.
- Plan de Acción de Energía Sostenible para el Ecuador PROYECTO PAES: Comprende actuaciones como establecimiento de metodología y software para elaborar y actualizar la matriz de usos de energía en los sectores residencial e industrial, definición de un Plan de Ahorro de Energía para los Sectores Residencial, Público e Industrial basado en experiencias exitosas, el estudio de barreras e instrumentos para promoción de la eficiencia energética, energía renovable y bioenergía y la capacitación en reducción de emisiones de efecto invernadero y mercados de carbono.

4.1.7 España

- La gestión de la eficiencia energética en España está coordinada y guiada a través del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), en coordinación con las comunidades autónomas. El IDAE es una agencia gubernamental dependiente del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, cuya responsabilidad es la gestión la política energética en general.
- El cambio en el marco normativo producido por la aprobación de la Directiva Europea de Eficiencia Energética en Edificación,

2002/91/CE y su traslado a la legislación española se ha expresado en la aprobación del Código Técnico de Edificación, la modificación Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) y la introducción de la Certificación Energética de Edificios (CE, 2002).

- El Código Técnico de la Edificación es el marco normativo que fija las exigencias básicas de calidad de los edificios y sus instalaciones, que permiten el cumplimiento de los requisitos básicos de la edificación establecidos en la Ley de Ordenación de la Edificación con el fin de garantizar la seguridad de las personas, el bienestar de la sociedad y la protección del medio ambiente. Dentro del apartado de habitabilidad, el Código Técnico de la Edificación incluye el Documento básico del Ahorro de Energía (DB HE) que tiene como objetivo conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo su consumo energético y utilizando para ello fuentes de energía renovable. En él se establecen las exigencias en eficiencia energética y energías renovables que deberán cumplir los nuevos edificios y los que sufran una rehabilitación significativa.
- El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) constituye el marco normativo básico en el que se regulan las exigencias de eficiencia energética y de seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas (aparatos de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria) en los edificios para atender la demanda de bienestar e higiene de las personas.
- El Real Decreto 47/2007 implementa la Certificación Energética de Edificios. Esta certificación permite medir de manera global la demanda y eficiencia energética de los edificios de nueva construcción, así como, a ciertos tipos de reformas en edificios. El Certificado se emite tanto en el momento de ser proyectados los edificios como después de ser construidos, e irá acompañado de una "Etiqueta de Eficiencia Energética", similar a las utilizadas en otros

productos de consumo doméstico, como electrodomésticos, lámparas y vehículos.

a. 4.1.8 E.E.U.U.

- Energy Star es un programa de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos creado en 1992 para promover los productos eléctricos con consumo eficiente de electricidad, reduciendo de esta forma la emisión de gas de efecto invernadero por parte de las centrales eléctricas.
- La aplicación para edificaciones denominada ENERGY STAR Qualified Homes ha tenido varias versiones 1 (1995-2005), 2 (2006-2011) y 3 (2011-2012).
- Utiliza metodologías para crear índices de eficiencia energética y establece una calificación de 1 a 100 para los tipos de espacios disponibles mediante la introducción de características de construcción, tales como metros cuadrados y las horas semanales de operación y los datos mensuales de consumo de energía. Este proceso se conoce como benchmarking, y revela cómo el consumo energético de los edificios se compara con la de otros edificios similares del mismo tipo de espacio, en base a un promedio nacional. La obtención de una calificación de 75 o más es el primer paso para lograr la calificación ENERGY STAR para un edificio.

4.1.9 México

- Norma de Eficiencia Energética en Edificaciones.- Envoltente de Edificios para uso habitacional (NOM-020-ENER-2011). Esta norma aplica a todas las edificaciones nuevas para uso habitacional y las ampliaciones de las edificaciones existentes. Regula la construcción de edificaciones y persigue reducir el consumo de energía de las viviendas un 25% promedio por concepto de acondicionamiento de aire. Tiene como objetivo limitar la ganancia de calor de los edificios para uso habitacional a través de su envoltente, racionalizando con ello el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento. Requiere

para las edificaciones de uso habitacional un aislamiento térmico apropiado e incluye un tratamiento especial de las ventanas y los tragaluces. Con esto, se obliga a diseñar las nuevas edificaciones con un componente de eficiencia energética, utilizando los materiales adecuados y tomando en cuenta los efectos de la temperatura e insolación.

- Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE) 2009-2012: establece como uno de sus objetivos el reducir el consumo de energía por acondicionamiento de ambientes en las edificaciones.

4.1.10 Panamá

- Programa de Eficiencia Energética. Misión: Apoyar la transformación del mercado de equipos, servicios y financiamiento hacia una condición sostenible en el campo de la eficiencia energética y concientizar a los usuarios sobre las ventajas y beneficios de hacer un uso eficiente de la energía.
- Algunas de las principales líneas de acción de eficiencia energética contempladas en el Programa anterior son la adopción de normas para la fabricación/ importación de equipos eficientes y para edificación eficiente.

4.1.11 Unión Europea

- Desde 1993, a raíz de la puesta en marcha de la Directiva SAVE 93/76/CEE todos los países de la UE deben llevar a cabo acciones específicas destinadas a conseguir un ahorro energético en el sector de la edificación. Entre ellas destacan las actuaciones dirigidas hacia la certificación de edificios, que al no especificarse el procedimiento con exactitud, cada país realiza diferentes interpretaciones del procedimiento de certificación. Cabe señalar que SAVE no impone la obligatoriedad de implantar la certificación energética, pero si

indica la necesidad de definir mecanismos que permitirán su progresiva aplicación en el sector de edificación.

- Inicialmente, la UE contaba con dos directivas clave para hacer frente al reto del consumo energético en las edificaciones: la Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios (2002/91/CE) y la Directiva de Eficiencia Energética del Uso Final y Servicios Energéticos (2006/32/CE).
- La Directiva 2002/91/CE, obligatoria para todos los Estados miembros de la UE a partir de enero de 2006, pretende reducir al mínimo el consumo de energía en los estándares de los edificios europeos.
- Algunas de las medidas estipuladas en la EPBD - 2002/91/CE son: una metodología común para calcular el rendimiento energético de un edificio, unos estándares mínimos para los edificios nuevos y las rehabilitaciones importantes, una inspección regular de los sistemas de aire acondicionado y calefacción y un sistema de certificación de edificios que manifieste los niveles de consumo de energía para los dueños y arrendatarios. Además, según dicha normativa, la certificación energética es de obligado cumplimiento para edificios de nueva construcción y para las modificaciones, reformas o rehabilitaciones de edificios existentes, con una superficie útil superior a 1.000 m² donde se renueve más del 25 % del total de sus cerramientos. En este certificado, y mediante una etiqueta de eficiencia energética, se asigna a cada edificio una Clase Energética de eficiencia con diferentes denominaciones.
- En enero de 2007, la Comisión Europea propuso un conjunto global de medidas de política energética y climática que estipulaba unos objetivos de reducción para el 2020 del consumo de energía (20%), de las emisiones de efecto invernadero (20%), así como un aumento de la parte correspondiente a las energías renovables (20%), lo cual se denominó como Política Europea del 20-20-20.
- Sin embargo esta Directiva de Eficiencia Energética en Edificios (EPBD - 2002/91/CE) no fue traspuesta de forma completa en

muchos Estados miembros, antes del 2008 (cuando estaba requerido hacerlo en 2006) por lo que la Comisión Europea propuso una modificación de la legislación, adoptada en mayo de 2010.

- La nueva Directiva modificada 2010/31/ EU, de 19 de mayo de 2010, señaló que su implementación reduciría el consumo total de energía de la UE en un 5,6% y crearía entre 280.000 y 450.000 nuevos puestos de trabajo gracias a medidas implementadas para el año 2020.
- La Metodología común de la Directiva 2010/31/EU contempla:
 - El rendimiento energético de los edificios;
 - Las normas mínimas de eficiencia energética de los edificios nuevos y
 - rehabilitaciones importantes;
 - Los sistemas de certificación energética de los edificios;
 - Los requisitos para las inspecciones periódicas de las calderas;
 - Los sistemas centrales de aire acondicionado.
- La versión nueva de la EPBD (2010) insta a los Estados miembros a:
 - Que para finales de 2018 sus edificios públicos de nueva construcción sean “de consumo energético casi cero” y que para finales del 2020 este requerimiento sea obligatorio también para los nuevos edificios del sector privado.
 - Disponer de un sistema de referencia de los estándares nacionales de eficiencia energética que verifiquen los niveles óptimos de coste usados en los Estados miembros, para comparar esos estándares y supervisar su evolución.
 - Los certificados de eficiencia energética también serán obligatorios para el alquiler y venta de cualquier propiedad. Sin embargo, no existen propuestas para poner en marcha

estándares firmes respecto a la eficiencia energética de los edificios existentes.

- Elaborar planes nacionales para incentivar a los propietarios a que realicen mejoras de eficiencia energética en dichos edificios.
- Los edificios son responsables del 40% del consumo final de la energía y del 36% de las emisiones de CO₂ de la Unión Europea, y son claves para alcanzar los objetivos de eficiencia, reducciones del CO₂ y de ahorro de energía para 2020. El comportamiento energético ineficiente puede mejorarse de una manera considerable y rentable utilizando tecnologías actuales, que pueden llegar a reducirlo en un 20%-50% dependiendo de la ubicación geográfica del edificio, de su tipología, de su fecha de construcción y de su uso.
- En la hoja de ruta hacia una economía baja en carbono para el año 2050, adoptada en marzo del 2011, la Comisión Europea fija el objetivo de reducir las emisiones de edificios en la Unión Europea entre un 88 y un 91% antes del 2050.



Figura 22: Eficiencia Energética de Edificios en Europa

4.1.12 Venezuela

- Ordenanza sobre Calidad Térmica de Edificaciones en el Municipio Maracaibo. Define un límite del Valor de Transferencia Térmica Global (VTTG) de techo y paredes con el fin de procurar condiciones térmicas confortables y reducir el consumo de energía eléctrica por uso de aire acondicionado.

4.2 EXPERIENCIA NACIONAL: POLITICAS, PROGRAMAS Y NORMATIVAS PARA EFICIENCIA ENERGETICA EN EDIFICIOS

- Ley N° 27345 (01/06/2000) - Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía: que declara de interés nacional la promoción del Uso Eficiente de la Energía (UEE) para asegurar el suministro de energía, proteger al consumidor, fomentar la competitividad de la economía nacional y reducir el impacto ambiental negativo del uso y consumo de los energéticos.
- Decreto Supremo N°053-2007-EM (22/10/2007) - Reglamento de la Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía (UEE): cuyos objetivos son a) Promover la creación de una cultura orientada al empleo racional de los recursos energéticos para impulsar el desarrollo sostenible del país buscando un equilibrio entre la conservación del medio ambiente y el desarrollo económico; b) Promover la mayor transparencia del mercado de la energía, mediante el diagnóstico permanente de la problemática de la eficiencia energética y de la formulación y ejecución de programas, divulgando los procesos, tecnologías y sistemas informativos compatibles con el UEE; c) Diseñar, auspiciar, coordinar y ejecutar programas y proyectos de cooperación internacional para el desarrollo del UEE; d) La elaboración y ejecución de planes y programas referenciales de eficiencia energética; e) Promover la constitución de Empresas de Servicios Energéticos (EMSES), así como la asistencia técnica a instituciones públicas y privadas, y la

concertación con organizaciones de consumidores y entidades empresariales; f) Coordinar con los demás sectores y las entidades públicas y privadas el desarrollo de políticas de uso eficiente de la energía; y g) Promover el consumo eficiente de energéticos en zonas aisladas y remotas.

- Decreto Supremo N° 011-2006 – VIVIENDA (05/05/2006) - Reglamento Nacional de Edificaciones (66 Normas Técnicas).
- Decreto Supremo N° 006-2014-VIVIENDA (12/05/2014): que incorpora la Norma Técnica EM.110 "Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética" al numeral III.4 Instalaciones Eléctricas y Mecánicas, del Título III Edificaciones al Reglamento Nacional de Edificaciones-RNE.
- Decreto Supremo N° 034-2008-EM (19/06/2008) - Medidas de ahorro de energía en el sector público.
- Resolución Ministerial N°038 - 2009-MEM/DM (21/01/2009) – Indicadores de consumo energético y metodología de monitoreo.
- Decreto Supremo N° 009-2009-MINAM (14/05/2009) - Medidas de Eco Eficiencia para el Sector Público.
- Resolución Ministerial N°469 - 2009-MEM/DM (26/10/2009) - Plan Referencial de Uso Eficiente de Energía 2009-2018: en este Plan se ha desarrollado para los 4 sectores que señala el reglamento: residencial, productivo y de servicios, público y transportes. Se han calculado las mejoras de eficiencia desde el punto de vista de la demanda. También establece como objetivo principal el ahorro del 15% de energía, que se alcanzaría progresivamente al año 2018.
- Decreto Supremo N° 026 – 2010 – EM (28/05/2010) - Creación de la Dirección General de Eficiencia Energética.
- Decreto Supremo N° 064 – 2010 – EM (24/11/2010) – Aprueban la Política Energética Nacional del Perú 2010-2040: con la visión de tener un sistema energético que satisface la demanda nacional de energía de manera confiable, regular, continua y eficiente, que promueve el desarrollo sostenible y se soporta en la planificación y en la investigación e innovación tecnológica continua. Son

objetivos de esta política: 1) Contar con una matriz energética diversificada, con énfasis en las fuentes renovables y la eficiencia energética; 2) Contar con un abastecimiento energético competitivo; 3) Acceso universal al suministro energético; 4) Contar con la mayor eficiencia en la cadena productiva y de uso de la energía; 5) Lograr la autosuficiencia en la producción de energéticos; 6) Desarrollar un sector energético con mínimo impacto ambiental y bajas emisiones de carbono en un marco de Desarrollo Sostenible; 7) Desarrollar la industria del gas natural, y su uso en actividades domiciliarias, transporte, comercio e industria así como la generación eléctrica eficiente; 8) Fortalecer la institucionalidad del sector energético; 9) Integrarse con los mercados energéticos de la región, que permita el logro de la visión de largo plazo.

- Resolución Ministerial N° 185-2014-MEM/DM (04/04/2014): Constituyen la Comisión Consultiva del Ministerio de Energía y Minas
- Plan Energético Nacional 2014-2025 (Noviembre/2014): el documento analiza las medidas de política sectorial a implementar, además, destaca los proyectos de inversión que se relacionan con los objetivos sectoriales básicos; es decir contar con un abastecimiento energético competitivo, lograr la seguridad y el acceso universal al suministro energético, y desarrollar los proyectos energéticos con mínimo impacto ambiental y bajas emisiones de carbono en un marco de desarrollo sostenible. El Plan 2014-2025 se basa en algunos supuestos; en particular propone tres hipótesis centrales. En primer lugar, se considera que la economía nacional crecerá en un promedio 4,5% anual y, en un escenario más optimista, 6,5% anual, situación que permitiría confirmar que las reservas e infraestructuras sean suficientes para seguir soportando altas tasas de crecimiento.

CAPITULO V

ESTUDIO DE CASO: EDIFICIO PÚBLICO ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES - UVa

5.1 GENERALIDADES

La realización de esta tesis es fruto de una pasantía realizada en el 2013, como parte de los trabajos de la Red Iberoamericana de Gestión de la Energía y Eficiencia Energética para el Desarrollo Sostenible (GEESOS) y financiada por el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED)¹⁸, para completar el estudio de un trabajo en conjunto con el Grupo de Investigación Reconocido de Termotecnia de la Universidad de Valladolid (UVa), liderado por el Dr. Javier Rey Martínez.

La Universidad de Valladolid (UVa) es una universidad pública española, situada en la ciudad de Valladolid. Fue creada en 1346, una de las primeras universidades de España, gracias a la bula otorgada por el Papa Clemente VI.

¹⁸ El Programa CYTED es una plataforma que promueve y da soporte a la cooperación multilateral en ciencia y tecnología, orientada a la transferencia de conocimientos, experiencias, información, resultados y tecnologías entre los países de la Región Iberoamericana. CYTED constituye un instrumento común de los sistemas de ciencia y tecnología nacionales para fomentar la cooperación en Investigación e Innovación, y promover acciones de transferencia de tecnología al sector empresarial y la creación de incubadoras de empresas en la Región Iberoamericana. CYTED fue creado en 1984 mediante un Acuerdo Marco Interinstitucional firmado por 21 países de lengua hispano-portuguesa (Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, España, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Portugal, República Dominicana, Uruguay y Venezuela). Desde 1995, el Programa CYTED se encuentra formalmente incluido entre los Programas de Cooperación de las Cumbres Iberoamericanas de Jefes de Estado y de Gobierno.

Desde su creación CYTED ha financiado 504 Redes Temáticas y 700 Proyectos de Innovación, con la participación de más de 8.500 grupos de investigación 301, y la implicación de más de 28.700 científicos y tecnólogos iberoamericanos.

<http://www.cytmed.org/>

Imparte estudios de pregrado y postgrado en distintas áreas de conocimiento. Posee siete campus distribuidos por cuatro ciudades de la Región de Castilla y León: Valladolid, Palencia, Soria y Segovia

El Estudio de Caso se realizó en el edificio de la Escuela de Ingenierías Industriales (EII) de dicha Universidad, localizado en Paseo del Cauce - Valladolid – España (Ver Figura 23 y 24), debido a sus altos consumos energéticos. El edificio consta de cuatro plantas: sótano, planta baja, primera planta y segunda planta (Los planos de la distribución de cada planta están en el Anexo B). La particularidad de este edificio es que los laboratorios están situados en el sótano, mientras que en el resto de plantas hay salas aulas, oficinas administrativas y de profesores.

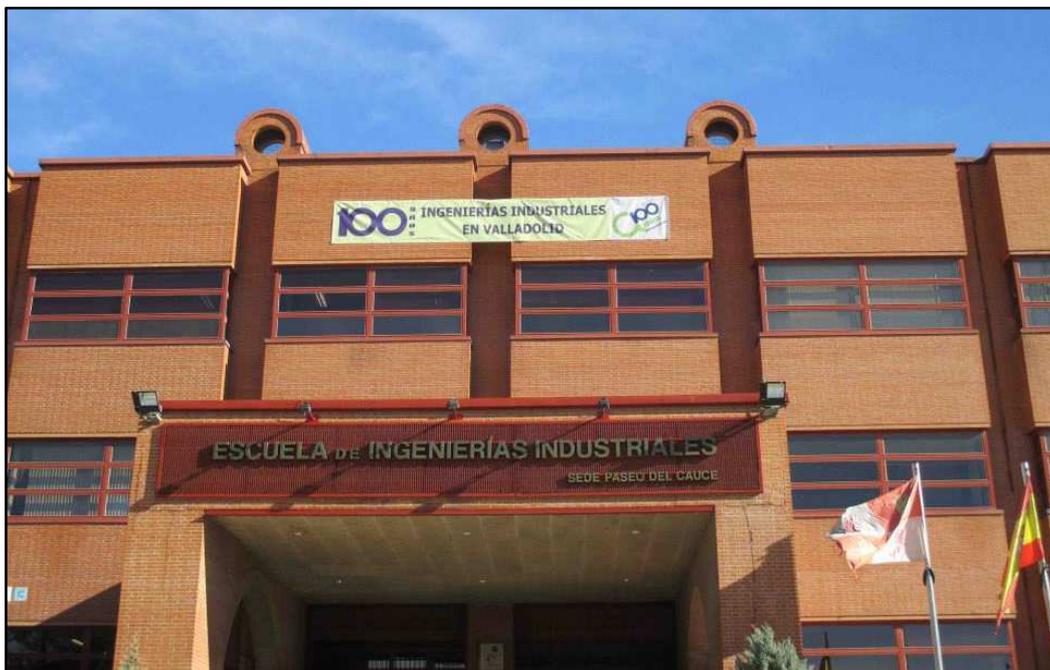


Figura 23: Fotografía del frontis de la Escuela de Ingenierías Industriales

Tal como descrito en los capítulos anteriores, el presente trabajo se enfocará en realizar una Gestión Energética Eficiente del Edificio utilizando los Protocolos de Medida y Verificación (M&V) presentados, al aplicar algunas Medidas de Mejora de la Eficiencia Energética (MEEs) dentro del edificio. Así pues, el resultado que se espera es la disminución de los consumos energéticos

y por consiguiente de la reducción de los gastos operativos del edificio y de emisiones de CO₂.



Figura 24: Fotografía aérea de la Escuela de Ingenierías Industriales

5.2 Estudio Energético del Edificio de EII - UVa

El estudio energético del Edificio de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid realizado en esta tesis se basa en contrastar la hipótesis propuesta en el primer capítulo.

Con base en el IPMPV (EVO, 2009) y el ASHRAE GUIDLINE 14:2002 (ASHRAE, 2002) serán calculados los ahorros producidos debido a la introducción de las siguientes medidas de mejora de la eficiencia energética, que serán de realizadas en 2 partes: térmica y eléctrica.

- a. MMEE TERMICA:
 - Instalación de una cámara de aire activa en la entrada principal del edificio. El objetivo de esta MMEE es de calentar el aire que entra al

hall cada vez que se abre la puerta principal así como disminuir el efecto de la corriente que se crea en el hall.

- Instalación de una cámara de aire pasiva en el sótano. El objetivo de ésta MMEE será amortiguar las corrientes de aire que se crean al abrir el portón del sótano, el cual se abre a diario en una ocasión como mínimo. Evitando con esto que se cree una corriente de aire frío que circule a través del edificio, enfriándolo y disminuyendo la sensación de confort térmico debido a la corriente citada.

b. MMEE ELÉCTRICA

- Cambio de parte de las luminarias de Edificio de EII-UVa: Principalmente los fluorescentes de una parte del edificio, tarea prevista para el año 2014. Para este se utilizará el inventario del edificio cedido por la oficina de calidad ambiental de la UVa, así como de las características técnicas de las nuevas luminarias que se van a instalar. En el inventario se tiene un recuento del número de luminarias que hay por cada planta así como la potencia de estas.

Cabe resaltar que, el edificio no utiliza calefacción eléctrica ni climatización eléctrica, y que actualmente, en el EII- UVa se está implementando un gran proyecto de monitorización on-line, razón por la cual se dispone de los datos de consumo de energía eléctrica desacoplados.

5.3 SELECCIÓN DE LA OPCIÓN DE MEDIDA Y VERIFICACIÓN A USAR

Después del estudio criterioso de los Protocolos IPMPV (EVO, 2009) y ASHRAE (ASHRAE, 2002) fue seleccionada la Opción de Verificación de toda la Instalación, que implica el uso del equipo de medida de la empresa de suministro, o de equipos parciales para determinar el rendimiento energético de toda la instalación. Esta opción incluye todos los efectos positivos y negativos de

cualquier modificación que ocurra dentro de la instalación y que no sean atribuibles a las MMEEs implementadas

La dificultad al realizar esta opción reside en identificar los cambios que se produce en la instalación, los cuales necesitan ajustes no- rutinarios. Así como, la realización de inspecciones periódicas de los equipos y de la operación de la instalación durante el periodo demostrativo de ahorro.

El detalle de la opción seleccionada en ambos protocolos, así como los ítems que entran a tallar en el estudio de caso, se describieron en el Capítulo 3.

5.4 HISTÓRICOS DE CONSUMOS DE LA EII - UVa

La construcción del histórico se consumos fue realizada a partir de los datos de las facturas otorgados por las concesionarias durante el período 2006-2012. Con el fin de evaluar y comparar los datos de consumo energético con factores externos (climatológico), los consumos de energía: gas y electricidad serán desagregados.

5.4.1 Consumo de gas natural:

En el Edificio de la EII de la UVa, el gas natural es utilizado exclusivamente para el sistema de calefacción. Así, la Figura 25 presenta el histórico del consumo de gas natural, expresado en kWh Vs año, realizado con base en los datos de las facturas de gas, de donde se puede observar la tendencia creciente del edificio en el quesito gas, que alcanza su máximo valor en el año 2010, donde prácticamente duplicó el consumo del año 2006, posiblemente por bajas temperaturas externas, ya que el gas es utilizado para la calefacción.

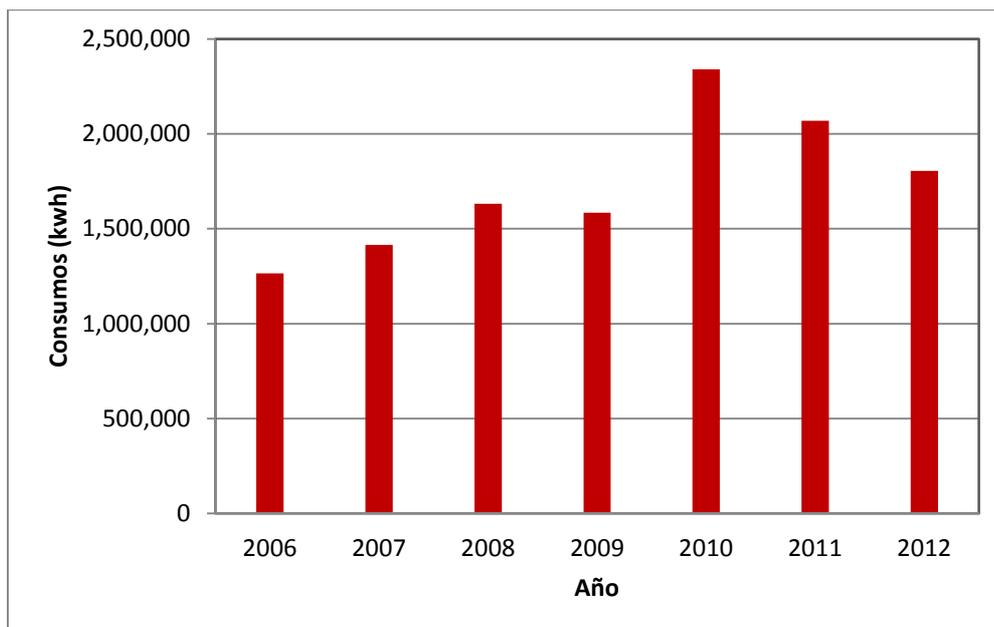


Figura 25: Históricos de consumo de Gas Natural.

El histórico del costo total del consumo de gas natural, es representado en la Figura 26, donde se puede observar que los costos se han ido incrementando con el paso de los años, sobre todo por el aumento del consumo y de la tarifa de gas.

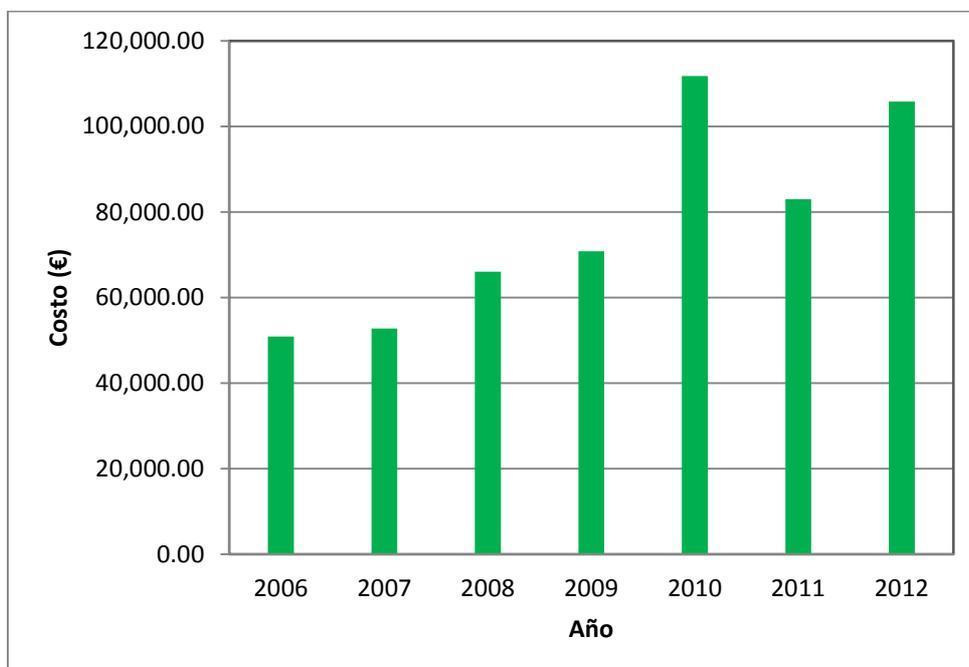


Figura 26: Históricos de costo de Gas Natural.

La evolución de la tarifa de gas natural (Euro/kWh) se presenta en la Figura 27, donde se comprueba que se ha producido a lo largo de los años existe un aumento en el costo del kWh de gas. Este efecto se puede observar en la siguiente gráfica.

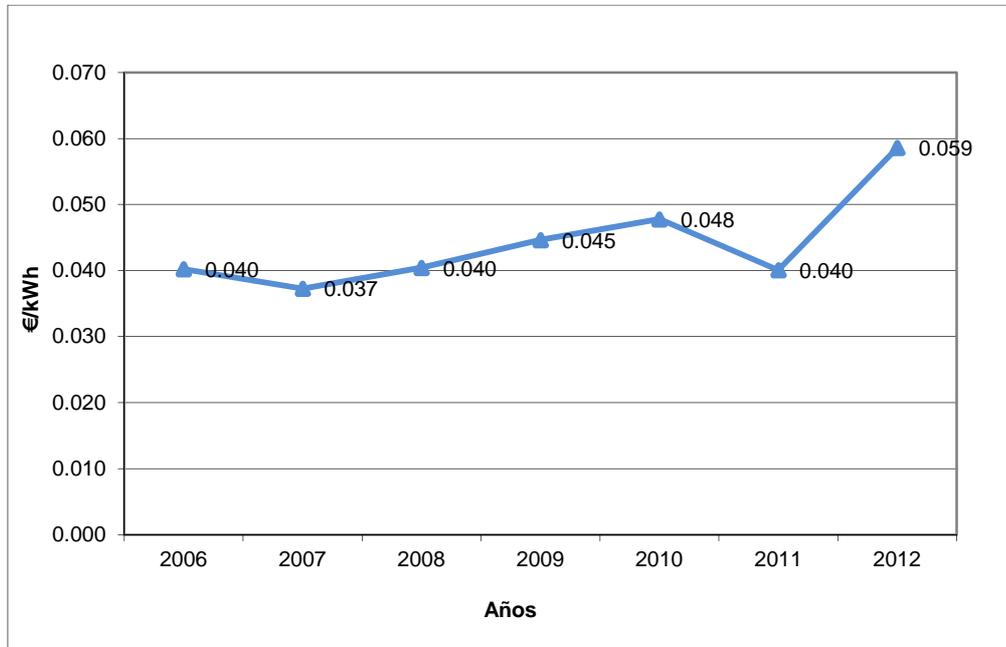


Figura 27: Evolución del precio del kWh de Gas Natural.

5.4.2 Consumo de electricidad:

El histórico del consumo de electricidad, a partir de los datos de las facturas de electricidad, se presenta en la Figura 28, donde se observa una gran variabilidad en la tendencia del consumo eléctrico, seguramente debido a

estimaciones que la empresa hace de los consumos y posteriores ajustes al hacer las lecturas de los contadores.

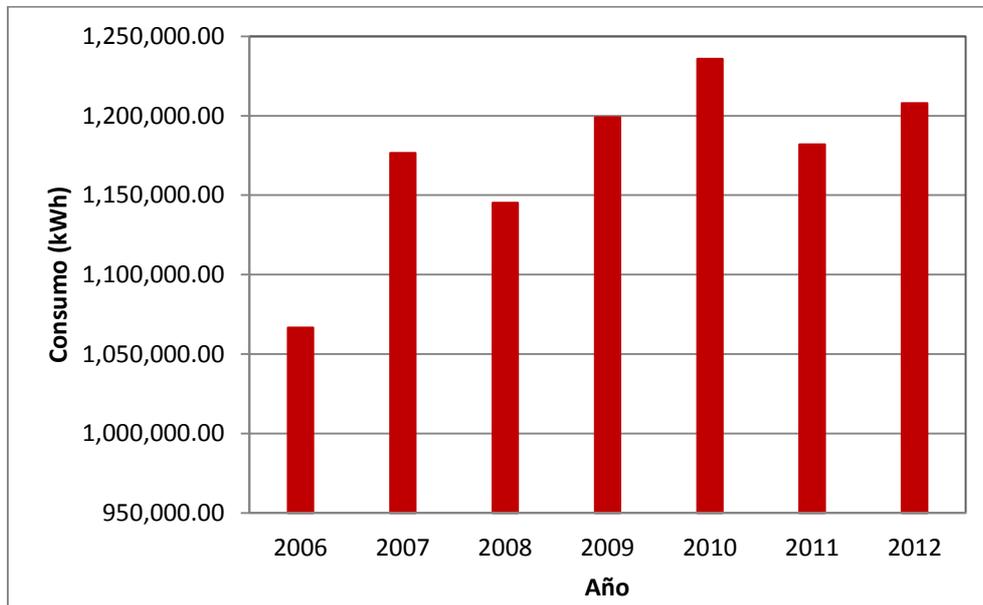


Figura 28: Históricos de consumo de Electricidad.

Sin embargo en la Figura 29, que representa el histórico de los costos totales de electricidad en el edificio, se observa que el aumento progresivo en el costo eléctrico del edificio, incluso para el año 2008 donde se aprecia una baja notable del consumo, pero que sin embargo no se refleja en el costo de la electricidad, incluso se observa que la tendencia es de que este costo continúe aumentando. Lo cual es reflejo, del gran incremento en el costo de la tarifa eléctrica (Euro/kWh), tal como se presenta en la Figura 30.

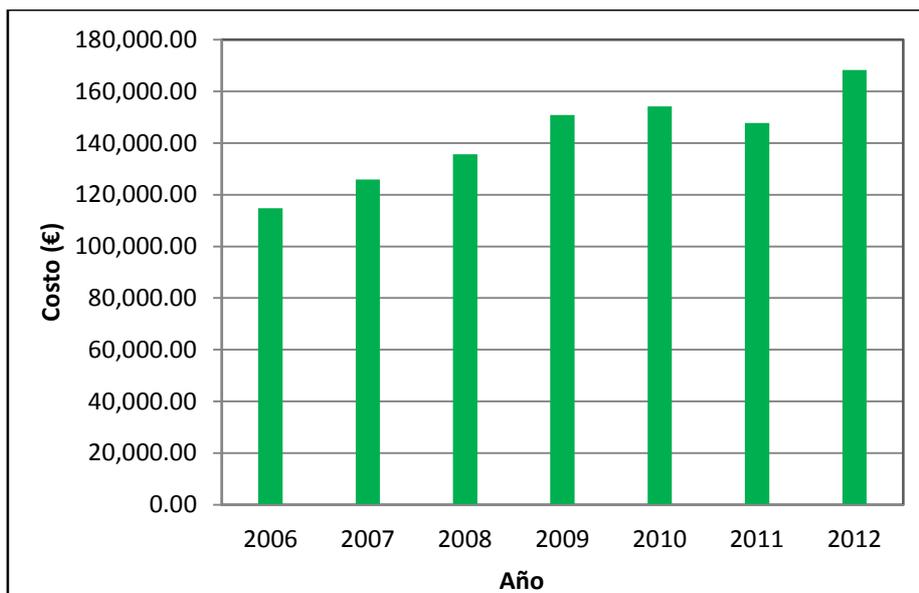


Figura 29: Históricos de costo de Electricidad.

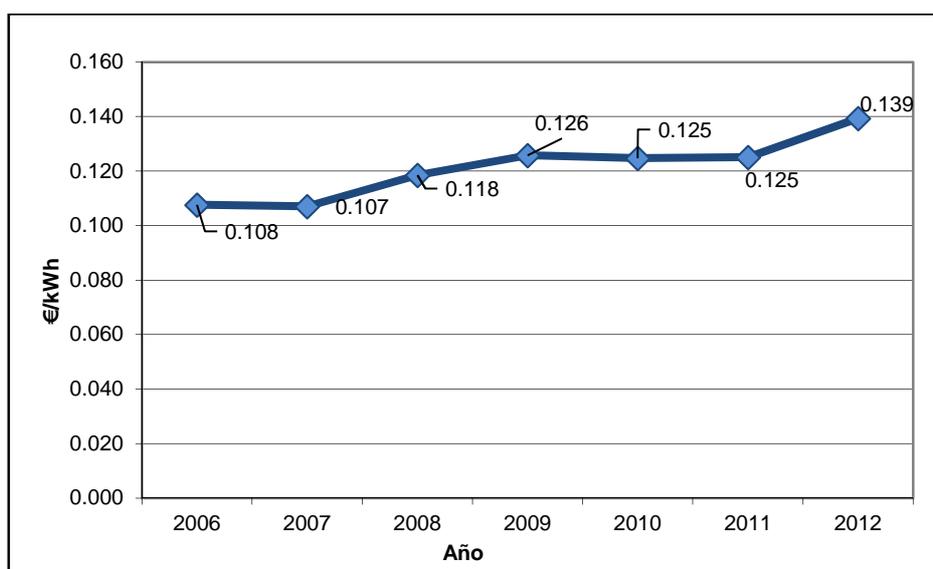


Figura 30: Evolución del precio del kWh Eléctrico.

5.4.3 Consumo de agua:

Al respecto de las facturas de agua, apenas será representado el costo de este servicio (Ver Figura 31), para realizar una evaluación final de todos los gastos del edificio. Nótese que la tendencia en el costo del agua es decreciente, y bastante estable en los últimos cuatro años en comparación con los costos anteriormente representados.

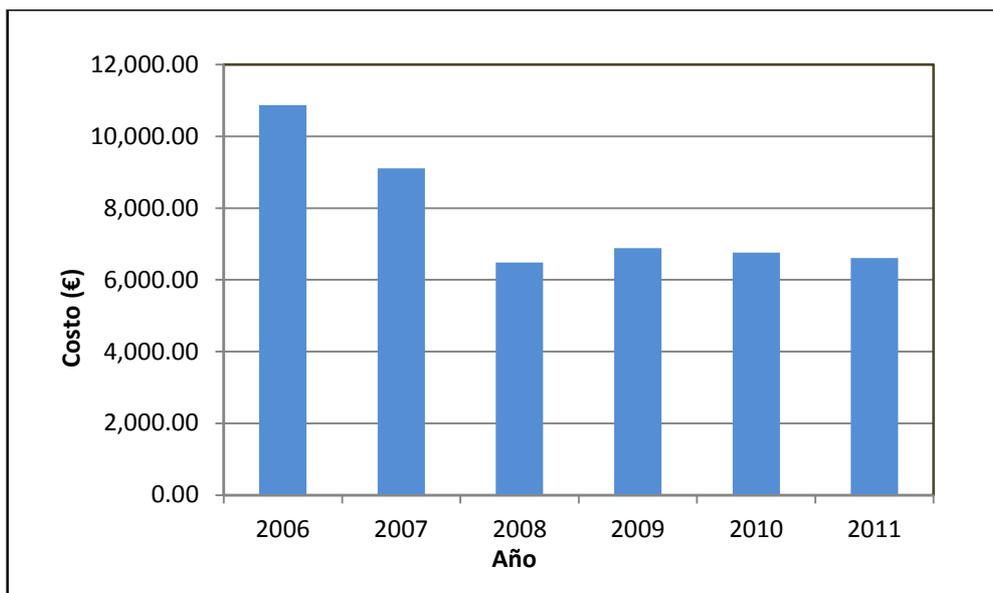


Figura 31: Evolución del costo de Agua.

5.4.4 Evaluación de Costos del Edificio EII-UVa:

Por último, se procede a evaluar la proporción con la que cada consumo contribuye al costo total del edificio y se representa en la Figura 32. Tal como se ve en los gráficos anteriores, la mayor incidencia en el costo del edificio es el consumo de electricidad (64%), seguido del consumo del gas (32%), aunque el gasto que se hace en electricidad duplica casi el gasto que se realiza en gas natural. El desembolso en agua es prácticamente irrelevante en comparación con los otros dos.

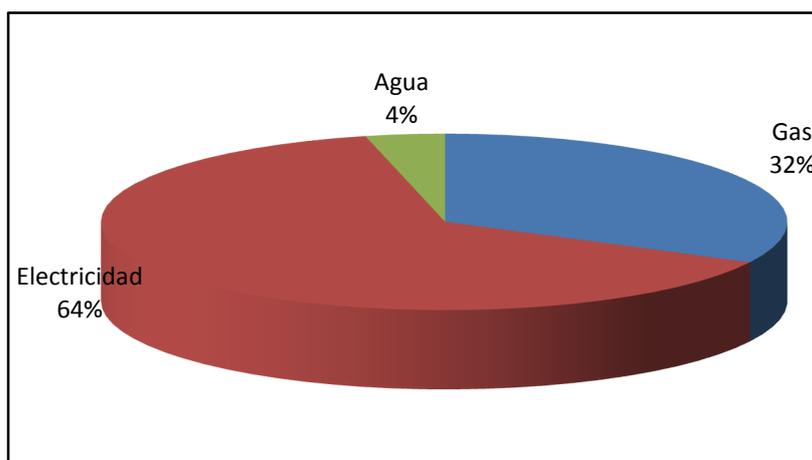


Figura 32: Incidencia en el consumo total del edificio EII - UVa

5.5 MMEE TERMICA: EVALUACIÓN Y RESULTADOS

Actualmente, la legislación internacional vigente tiene como principal objetivo el diseño y construcción de instalaciones que reduzcan el consumo de energía y mejoren las condiciones de higrotérmicos interiores. Una solución para reducir infiltraciones de aire no climatizado es instalar una cortina de aire que crea una barrera invisible para separar dos ambientes diferentes de manera eficiente y sin limitar el acceso de las personas. Además de detener las corrientes de aire frío y caliente las cortinas de aire mantienen el ambiente del interior de los locales limpio de insectos, polvo, partículas en suspensión, contaminación y olores. Diferentes estudios demuestran que el ahorro de energía en edificios comerciales tras la implantación de estos sistemas supera el 30% (Gil-Lopez, et al., 2013).

Es decir, las cortinas de aire son equipos que crean una barrera invisible entre el interior y el exterior consiguiendo que se puedan mantener las condiciones térmicas o ambientes diferentes sin que se pierda energía y permitiendo el paso o el acceso a un determinado local de personas y vehículos. Se trata por tanto de una pantalla cuyo objetivo es evitar pérdidas energéticas en locales en los que se produce un continuo tránsito de personas, que están completamente abiertos o en los que se realiza una apertura continuada de las puertas de acceso, lo que provocaría que la pérdida del calor aportado por los equipos de climatización. Por tanto contribuyen a mantener la temperatura y las condiciones de confort en el interior del mismo, consiguiéndose importantes ahorros en los consumos de calefacción y refrigeración con el consiguiente ahorro económico (Airtècnics, 2014).

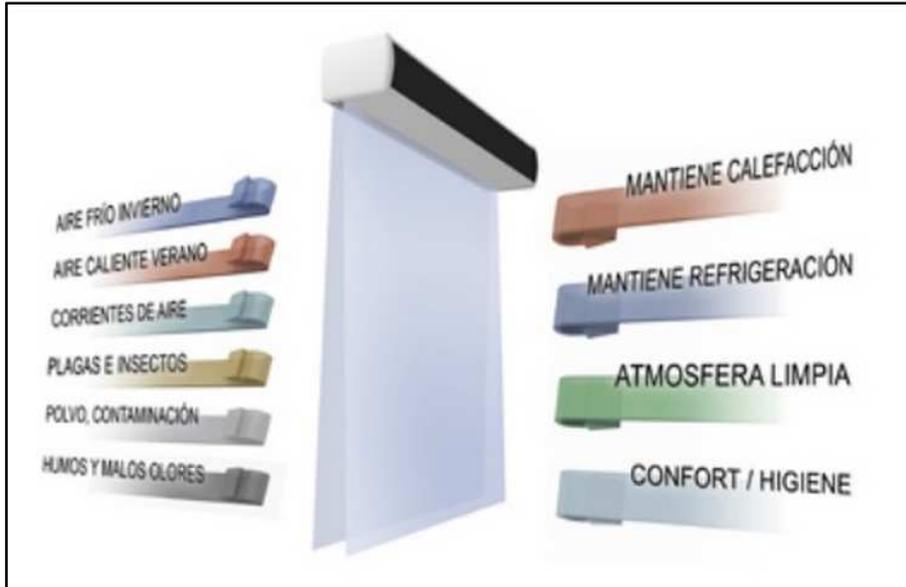


Figura 33: Ventajas de la cortina de aire activa (Airtècnics, 2014)

Las MMEEs Térmica, la cortina de aire pasiva y la activa, instaladas en la Escuela de Ingenieros Industriales de la Universidad de Valladolid (EII-UVa) se muestran en la Figura 34, y para evaluar el ahorro energético se tomará como referencia los Protocolos IPMPV y el ASHRAE GUIDLINE 14: 2002.



Figura 34: Cortina de aire pasiva y activa instalada en la EII - UVa.

Para elaborar la línea base, se definirá como periodo de referencia los meses del invierno 2011-2012, periodo en el que no estaban instaladas las MEE. Para los cálculos serán necesarios: datos de facturación, proporcionados en este caso por la empresa suministradora de energía, y un registro de temperatura exterior al edificio de EII-UVa.

Inicialmente, se buscará una relación entre el consumo de gas (cuyo uso principal en este edificio es para calefacción) y la temperatura exterior al edificio. Con esto lo que perseguimos es estimar el consumo de gas que tendríamos en el invierno 2012-2013 si no se hubiesen instalado las medidas mencionadas. Esto se calculará a partir de las temperaturas en los meses de invierno del periodo demostrativo de ahorro, invierno 2011-2012, y luego se obtendrá por regresión el periodo de referencia. Como se conocen los datos de consumo reales de gas, podremos comparar ambas magnitudes y así determinar el ahorro en el consumo que se ha conseguido.

Tabla 3: Datos del periodo de referencia (Invierno 2011-2012)

| Mes | Consumo kWh |
|----------------|--------------------|
| Octubre 2011 | 189 617,00 kWh |
| Noviembre 2011 | 282 756,00 kWh |
| Diciembre 2011 | 398 906,00 kWh |
| Enero 2012 | 453 127,00 kWh |
| Febrero 2012 | 189 617,00 kWh |

Para ilustrar el consumo de un período completo (1 año), se representará el consumo de gas durante un año cualquiera para ver la evolución del consumo en el ciclo de funcionamiento de un año natural, para lo cual fue seleccionado el año 2011 (Figura 35).

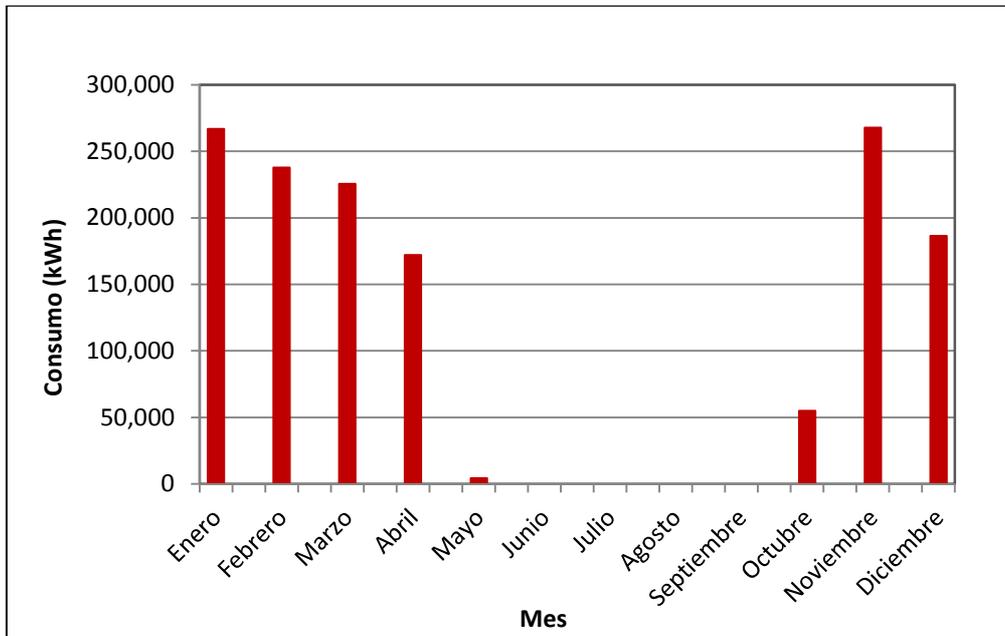


Figura 35: Ciclo de consumo de gas en 2011

De la Figura 35, se puede observar que los consumos de gas son elevados en meses de invierno y meses fríos (octubre a abril), mientras que son nulos en verano, esto se debe a dos motivos principalmente, uno que no se usa la calefacción y el otro que el mes de agosto el edificio EII permanece cerrado debido a las vacaciones de verano de la Universidad UVA.

5.5.1 Consumo de gas y Temperatura Exterior

Para buscar la relación entre el consumo de gas y la temperatura exterior a la escuela EII, se analizaron los datos climatológicos de la ciudad de Valladolid, los cuales se obtienen de la siguiente estación meteorológica de la ciudad:

Estación 81410.

Latitud 41°65.

Longitud -4°76.

Altura 735 m.

A continuación se presenta los datos climatológicos mensuales del año 2011 (Tabla 4) y 2012 (Tabla 5) obtenidos en la estación, presentando el histórico de las Temperaturas máxima, mínima y la media de la ciudad de Valladolid – España.

Tabla 4: Datos climatológicos del 2011.

| Mes | T_{média}(°C) | T_{MAXIMA} (°C) | T_{MINIMA} (°C) |
|------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Enero | 4,6 | 14,3 | -5,2 |
| Febrero | 5,6 | 18,3 | -1,9 |
| Marzo | 8,1 | 19,7 | -1,7 |
| Abril | 14,1 | 28,5 | 4,2 |
| Mayo | 16,9 | 30,6 | 5,3 |
| Junio | 19,1 | 38,1 | 6,3 |
| Julio | 20,6 | 33,9 | 9,3 |
| Agosto | 22,2 | 37,1 | 8,7 |
| Septiembre | 20 | 34,1 | 5,6 |
| Octubre | 14,1 | 29,3 | 1,3 |
| Noviembre | 8,7 | 21,5 | 0 |
| Diciembre | 4,2 | 12,4 | -3,3 |

Tabla 5: Datos climatológicos del 2012.

| Mes | T_{média}(°C) | T_{MAXIMA} (°C) | T_{MINIMA} (°C) |
|------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Enero | 2,6 | 11,9 | -3,9 |
| Febrero | 3 | 19,9 | -5,7 |
| Marzo | 9 | 23,2 | -1,9 |
| Abril | 8,3 | 22 | 0,7 |
| Mayo | 16,4 | 33,5 | 3,3 |
| Junio | 20,3 | 38,7 | 6,7 |
| Julio | 21,4 | 36,9 | 7,7 |
| Agosto | 22,8 | 39,3 | 9,6 |
| Septiembre | 17,9 | 32,8 | 5,9 |
| Octubre | 12,3 | 27,9 | -0,6 |
| Noviembre | 7,3 | 18,4 | -0,9 |
| Diciembre | 5,1 | 14,8 | -2,7 |

Al representar los históricos de la temperatura media en la ciudad de Valladolid para el año 2011 y 2012, se obtiene la siguiente Figura 36.

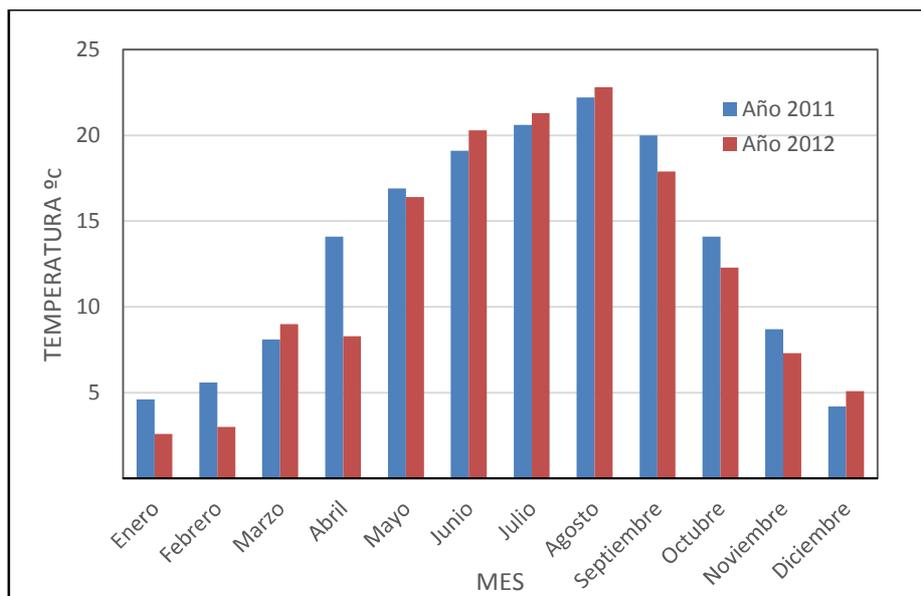


Figura 36: Históricos de temperatura de la Ciudad de Valladolid – España (2011-2012)

De la Figura 36, se puede observar que el ciclo de temperaturas se sucede año tras año en la ciudad. Si ahora se superpone para cada uno de estos años considerados, el consumo de gas en el edificio, ya se puede intuir que existe alguna entre el consumo de gas y la temperatura. Evidentemente a priori se puede pensar que así es, ya que en los meses de invierno y frío es cuando funciona la calefacción en el edificio. Y puesto que el principal uso del gas en el edificio es la calefacción se espera ver que en los meses donde la temperatura es inferior, el consumo de gas será superior.

Al comparar las tendencias de las Figuras 35 y 36 se observa que el mayor consumo de gas ocurre en los meses más fríos, los cuales serán tomados como periodo de referencia, y se extrae la siguiente tabla.

Tabla 6: Datos climatológicos del periodo de referencia

| Mes | T _{média} (°C) |
|--------|-------------------------|
| oct-11 | 14,1 |
| nov-11 | 8,7 |
| dic-11 | 4,2 |
| ene-12 | 2,6 |
| feb-12 | 3 |
| mar-12 | 9 |

Iniciando el análisis para encontrar la relación existente entre la temperatura exterior y el consumo de gas, con base el periodo de referencia, se presenta la Figura 37 donde se grafica la temperatura como variable independiente y el consumo como variable dependiente. Los meses evaluados serán los meses de invierno, que típicamente son: Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero.

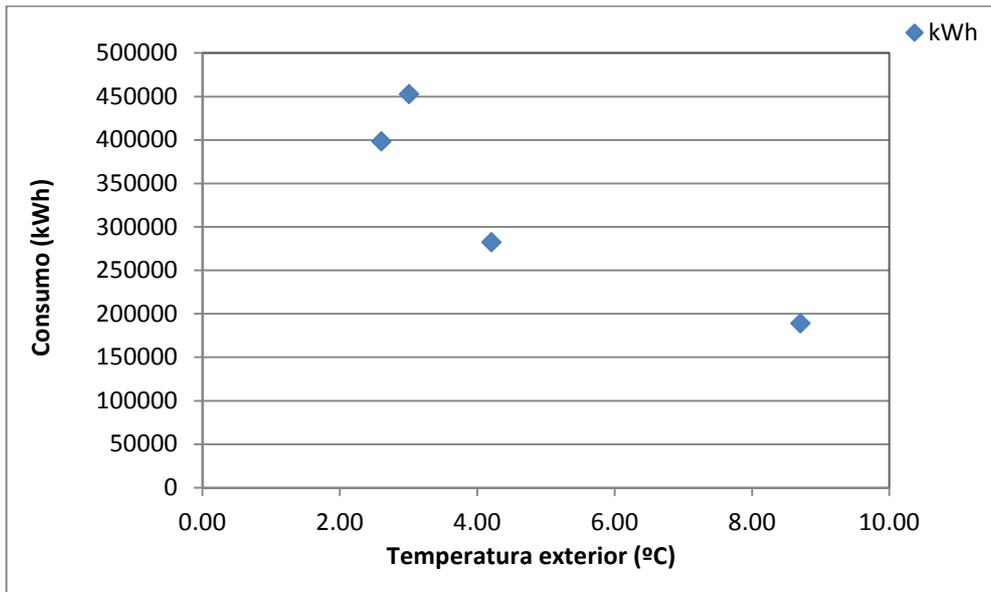


Figura 37: Consumo de Gas vs Temperatura Exterior.

Para entender la relación se hace una recta de regresión, donde se observa que hay tres puntos bastante alineados y uno que presenta un desvío. Este desvío es durante el mes de Enero, y esto puede ser debido a las vacaciones de Navidad ya que hay días que el edificio permanece cerrado, con lo que el consumo en esos días se espera que sea mínimo. Ya que es de esperar que el mes en el que se da la menor temperatura exterior, sea el mes en el que el consumo de gas sea el más elevado.

La Figura 38 muestra el Primer modelo matemático, así como la recta de regresión del Consumo de gas natural (kWh) Vs la T^o exterior en los meses más fríos.

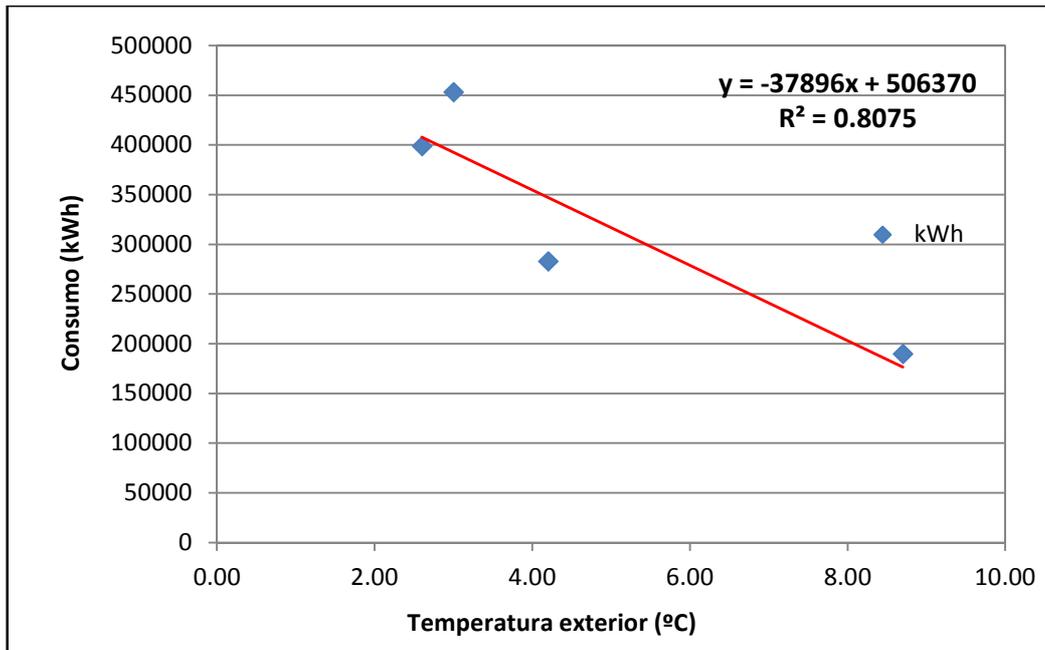


Figura 38: Primer modelo matemático

Se obtiene la siguiente ecuación de recta:

$$E_{consumida} = -37896 T_{ext} + 506370 \quad \text{..... Ecuación 8}$$

Con un valor de $R^2 = 0.8075$ que indica una clara relación entre la temperatura exterior y el consumo de gas, lo cual es un indicativo de que hay relación entre los datos representados.

Sin embargo, buscando mejorar este factor, se dividirá el consumo entre los días de facturación típicos de cada mes, este dato lo obtenemos de las fechas de emisión de las facturas. Lo cual es mostrado en la Tabla 7

Tabla 7: Consumo de gas diario en el periodo de referencia.

| Mes | Tª(°C) | Consumo (kWh) | Días de facturación | kWh/día |
|--------|--------|---------------|---------------------|----------|
| nov-11 | 8,70 | 282 756,00 | 30 | 9425,20 |
| dic-11 | 4,20 | 418 529,00 | 31 | 13500,94 |
| ene-12 | 2,60 | 398 906,00 | 31 | 12867,94 |
| feb-12 | 3,00 | 453 127,00 | 29 | 15625,07 |

En la Figura 39 se gráfica el consumo de gas/día (kWh/día) en función de la temperatura, así como la recta de regresión correspondiente.

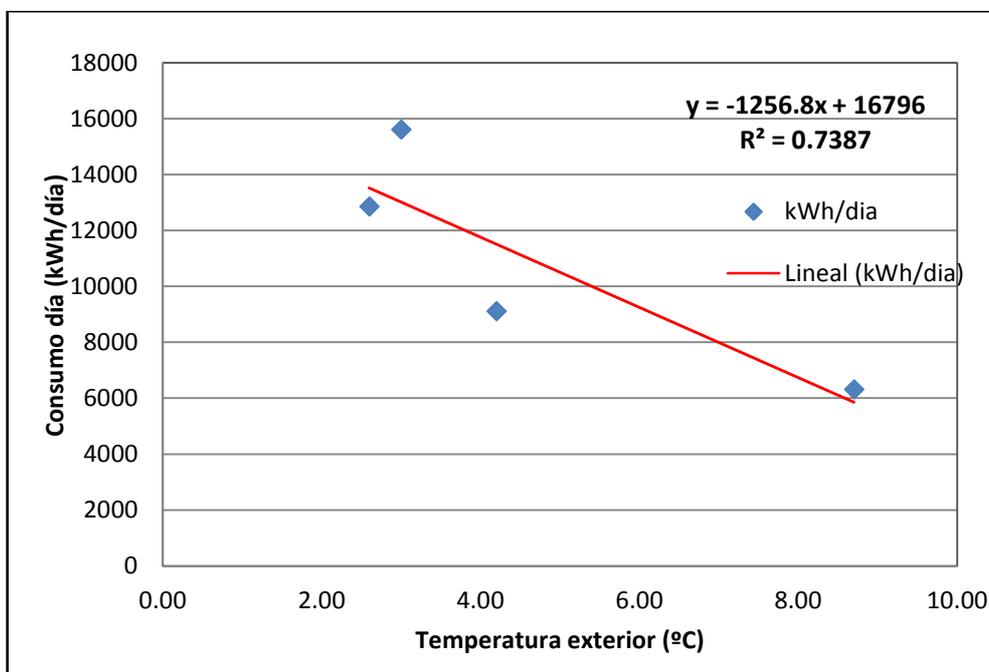


Figura 39: Primer Modelo matemático para el consumo diario.

Se observa que en este caso, denominado Primer Modelo matemático para el consumo diario, el valor de R^2 es de 0,7387, resultado peor que en la representación anterior. Esto puede ser debido a que en este periodo se dan las vacaciones de Navidad y el centro permanece cerrado los días festivos. Con lo cual en estos días se espera un consumo nulo o prácticamente nulo de gas. Además el tiempo de apertura del resto de días, es solo con horario de mañana. Por ello se deberían descontar también esos días festivos al periodo de facturación de los meses en que se producen. El aspecto de que el edificio de EII – UVa permanezca abierto durante los días laborales del periodo vacacional con horario de mañana, es muy complejo de representar, ya que no existe ningún dato del que partir para ver la implicación que esto tendría en la facturación.

En este caso, la ecuación de la recta será:

$$E_{consumida} = -1256,8 T_{ext} + 16796 \quad \text{.....Ecuación 9}$$

También, se puede realizar un segundo análisis aumentando el rango del periodo de referencia, con datos de los meses de Octubre y Marzo, con lo cual se obtendría el gráfico presentando en la Figura 40.

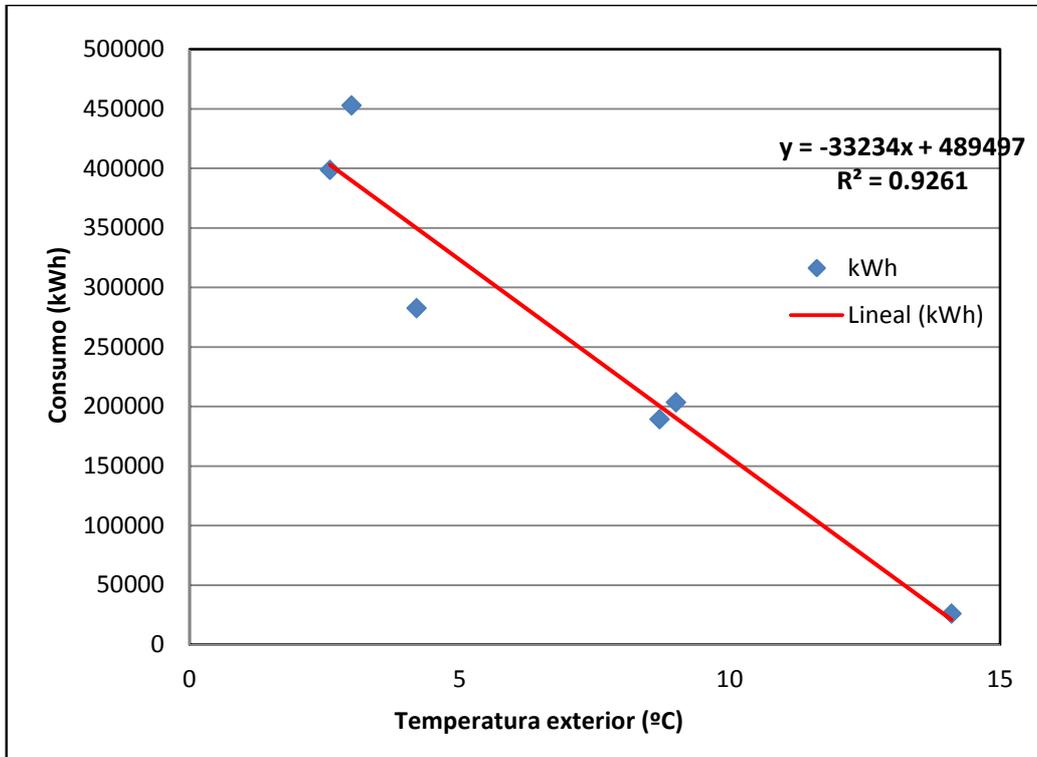


Figura 40: Segundo modelo matemático.

La recta obtenida sería:

$$E_{consumida} = -33234 T_{ext} + 489497 \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 10}$$

En este caso, denominado segundo modelo matemático, al ampliar el periodo de referencia, el valor de $R^2 = 0,926$ mejora.

Siguiendo el mismo procedimiento usado para el primer análisis, se dividirá el consumo entre los días de facturación típicos de cada mes, este dato lo obtenemos de las fechas de emisión de las facturas. Lo cual es mostrado en la Tabla 8

Tabla 8: Consumo de gas diario en el periodo de referencia.

| Mes | T ^a (°C) | Consumo (kWh) | Días de facturación | kWh/día |
|--------|---------------------|---------------|---------------------|----------|
| oct-11 | 14,1 | 26 317,00 | 31 | 848,93 |
| nov-11 | 8,7 | 189 617,00 | 30 | 6320,56 |
| dic-11 | 4,2 | 282 756,00 | 31 | 9121,16 |
| ene-12 | 2,6 | 398 906,00 | 31 | 12867,93 |
| feb-12 | 3 | 453 127,00 | 29 | 15625,06 |
| mar-12 | 9 | 203 709,00 | 31 | 6571,25 |

La Figura 41 presenta el Segundo Modelo matemático para consumo diario con base en los datos de la Tabla 8.

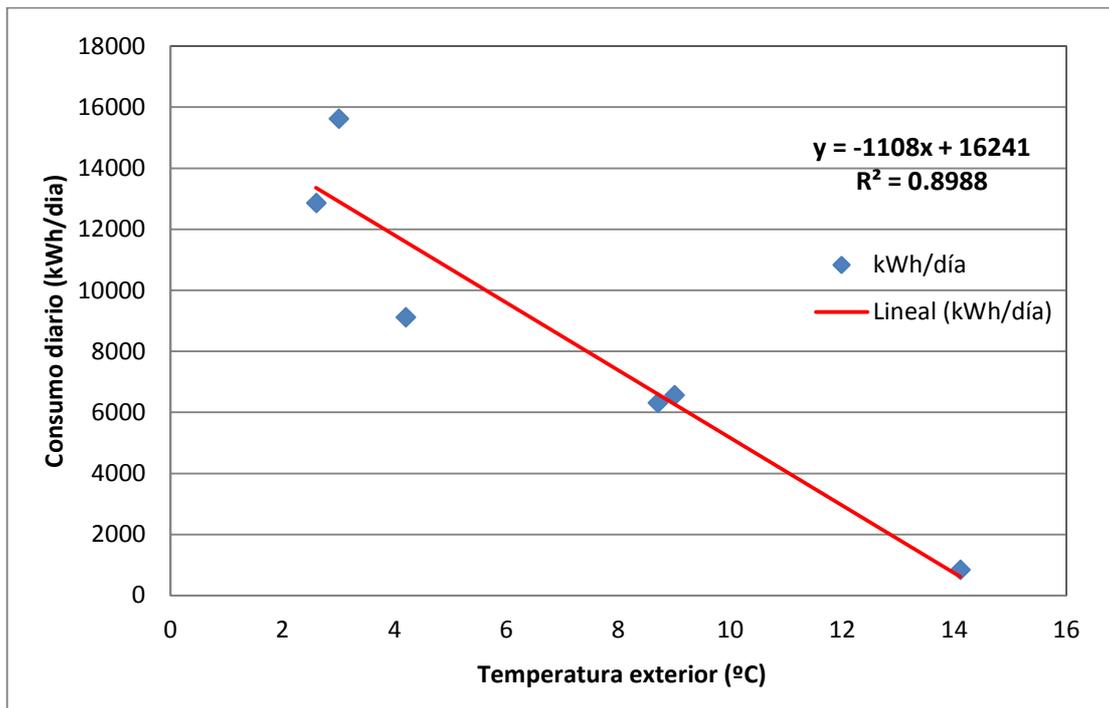


Figura 41: Segundo modelo matemático para consumo diario.

La ecuación para el segundo modelo matemático es la siguiente:

$$E_{consumida} = -1108 T_{ext} + 16241 \quad \text{..... Ecuación 11}$$

En el segundo modelo para el consumo diario, se obtiene el valor de $R^2 = 0.834$ que mejora el valor del R^2 encontrado en el primer modelo matemático, sin embargo, el mismo no es superior al valor de R^2 (0.926) obtenido al representar solo el consumo en kWh.

5.5.2 Resultados del Ahorro de Consumo de Gas

Al analizar todos los modelos matemáticos presentados, y sus valores respectivos de R^2 , se opta por el Segundo Modelo matemático, representado por la Ecuación 10 para estimar el consumo de gas que se obtendría si no se hubiesen instalado las MMEE.

A continuación, se procederá a realizar el cálculo del consumo estimado en el periodo demostrativo, introduciendo el valor de la temperatura exterior al edificio en el modelo matemático. Una vez más estos datos climatológicos, fueron obtenidos en la misma estación climatológica.

El periodo demostrativo de ahorro corresponderá a los meses de invierno del año 2012 -2013, esto es: Octubre, Noviembre y Diciembre de 2012, y Enero, Febrero de 2013, cuyos datos climatológicos se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9: Datos climatológicos del periodo demostrativo de ahorro

| Mes | $T_{\text{media}}(^{\circ}\text{C})$ | $T_{\text{MAXIMA}} (^{\circ}\text{C})$ | $T_{\text{MINIMA}} (^{\circ}\text{C})$ |
|--------|--------------------------------------|--|--|
| oct-12 | 12,3 | 27,9 | -0,6 |
| nov-12 | 7,3 | 18,4 | -0,9 |
| dic-12 | 5,1 | 14,8 | -2,7 |
| ene-13 | 4,5 | 14,2 | -2,6 |
| feb-13 | 3,9 | 14,7 | -3,3 |

Al introducir los valores de Temperatura en el modelo seleccionado, representado por la Ecuación 10, se obtiene como resultado la Tabla 10.

$$E_{\text{consumida}} = -33234 T_{\text{ext}} + 489497$$

$$R^2 = 0,926$$

Tabla 10: Consumos estimados para el periodo demostrativo sin MMEE

| Mes | T_{média}(°C) | Consumo estimado (kWh) |
|------------|------------------------------|-------------------------------|
| oct-12 | 12,3 | 80 718,8 |
| nov-12 | 7,3 | 246 888,8 |
| dic-12 | 5,1 | 320 003,6 |
| ene-13 | 4,5 | 339 944,0 |
| feb-13 | 3,9 | 359 884,4 |

En la Tabla 11 se presentan los datos de consumo y costos facturados por la concesionaria de energía durante el periodo demostrativo de ahorro.

Tabla 11: Consumos y costos facturados por la concesionaria para el periodo demostrativo

| Mes | T_{média}(°C) | Consumo facturado (kWh) | Costo facturado (Euros) |
|------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| oct-12 | 12,3 | 14 487,00 | 1.024,33 |
| nov-12 | 7,3 | 211 446,00 | 13.160,07 |
| dic-12 | 5,1 | 285 072,00 | 17.696,58 |
| ene-13 | 4,5 | 254 609,00 | 16.084,55 |
| feb-13 | 3,9 | 231 133,00 | 14.638,66 |

Con estos datos, se puede calcular la diferencia de consumo de gas natural, antes y después de la implementación de la MMEE, comparando los datos estimados (obtenidos por la Ecuación 10) con los datos que han sido facturados por la concesionaria de energía, y cuyos resultados se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12: Ahorro de Energía producido por las MMEE instaladas

| Mes | T _{média} (°C) | Consumo estimado (kWh) | Consumo facturado (kWh) | Ahorro de Energía estimado (kWh) | % Ahorro estimado |
|--------|-------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------------|
| oct-12 | 12,3 | 80 718,80 | 14 487,00 | 66 231,80 | 82,05% |
| nov-12 | 7,3 | 246 888,80 | 211 446,00 | 35 442,80 | 14,36% |
| dic-12 | 5,1 | 320 003,60 | 285 072,00 | 34 931,60 | 10,92% |
| ene-13 | 4,5 | 339 944,00 | 254 609,00 | 85 335,00 | 25,10% |
| feb-13 | 3,9 | 359 884,40 | 231 133,00 | 128 751,40 | 35,78% |

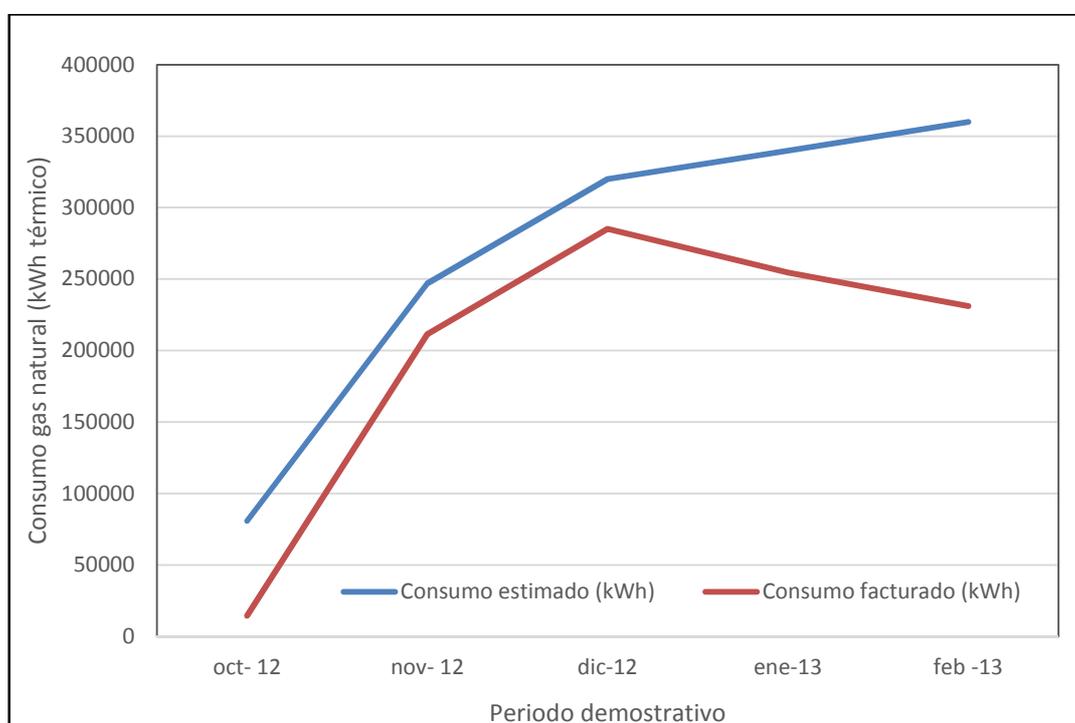


Figura 42: Comparación del Consumo de Energía estimado Vs el facturado

Estos cálculos reflejan un ahorro de consumo de energía y por tanto, habrá un ahorro económico. Por consiguiente, el siguiente paso será calcular cual es el ahorro económico esperado. Para lo cual, se tomará el valor actual del precio que se está pagando por el kWh térmico, cuyo valor es 0,059 €/kWh. Y los resultados son presentados en la Tabla 13.

Tabla 13: Ahorro Económico estimado

| Mes | Ahorro de Energía estimado (kWh) | Ahorro económico estimado (€) |
|--|---|--------------------------------------|
| oct-12 | 66 231,80 | 3907,68 |
| nov-12 | 35 442,80 | 2091,13 |
| dic-12 | 34 931,60 | 2060,96 |
| ene-13 | 85 335,00 | 5034,77 |
| feb-13 | 128 751,40 | 7596,33 |
| TOTAL AHORRO ECONOMICO ESTIMADO | | 20.690,86 |

De la Tabla 13 se puede extraer que el ahorro económico estimado en el periodo demostrativo es de 20.690,86 €. Un ahorro considerable, teniendo en cuenta que el gasto anual en gas del edificio en el año 2012 fue de 105.805,92 € en el año 2012. Con lo cual estamos obteniendo un ahorro total del 19,55%.

Sin embargo, para encontrar el ahorro real del periodo demostrativo, serán comparados los datos reales en cuanto a costo se refiere entre el periodo de referencia y el periodo demostrativo de ahorro. Esta comparación se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14: Ahorro económico real

| Mes | Costo facturado Periodo de Referencia (Euros) | Costo facturado Periodo Demostrativo (Euros) | Ahorro Real (€) |
|------------------------------------|--|---|------------------------|
| oct-12 | 1.532,49 | 1.024,33 | 508,16 |
| nov-12 | 10.349,24 | 13.160,07 | -2.810,83 |
| dic-12 | 15.374,16 | 17.696,58 | -2.322,42 |
| ene-13 | 22.229,64 | 16.084,55 | 6.145,09 |
| feb-13 | 25.464,59 | 14.638,66 | 10.825,93 |
| TOTAL AHORRO ECONOMICO REAL | | | 12.345,93 |

Tal como se puede observar en la Tabla 14, se comprueba que realmente se ha producido un ahorro económico, pero menor que el ahorro estimado. Finalmente, el ahorro real obtenido por la implementación de las MMEEs es de 12.345,93 €, correspondiente a un 11,67 % del gasto anual en gas del edificio.

5.6 MMEE ELECTRICA: EVALUACIÓN Y RESULTADOS

En este ítem será calculado el ahorro del consumo eléctrico por cambio de parte de las luminarias. Principalmente los fluorescentes de una parte del edificio, tarea prevista para el año 2014, para lo cual se utilizará el inventario del edificio EII cedido por la Oficina de Calidad Ambiental de la UVa (UVA, 2012), así como de las características técnicas de las nuevas luminarias que se van a instalar. En el inventario se tiene un recuento del número de luminarias que hay por cada planta así como la potencia de estas.

Primero se explicarán los principios de funcionamiento de cada tipo de luminaria, siendo todas ellas fluorescentes, así como de una descripción de las lámparas fluorescentes.

5.6.1 Sistemas de iluminación

a. Las lámparas fluorescentes

Son lámparas de descarga de vapor de mercurio a baja presión. La descarga genera radiación ultravioleta que es convertida en luz visible mediante sustancias fluorescentes que recubren la pared interior de la lámpara. La mayoría de las lámparas fluorescentes funcionan en serie con un dispositivo que limita la corriente.

Una lámpara fluorescente presenta una impedancia negativa en su región de operación. Conforme el gas interno de la lámpara se ioniza al paso del tiempo, la impedancia de la lámpara se reduce. Si no existe control de flujo de corriente a través de la lámpara, esta puede llegar a dañarse a causa de una corriente muy elevada. Por lo tanto, la mayoría de las lámparas fluorescentes funcionan en serie con un dispositivo que limita la corriente. Este circuito auxiliar llamado normalmente balastro limita la corriente a un valor determinado para cada lámpara. El balastro, en otras palabras, será el encargado de proporcionar la tensión de arranque y funcionamiento en régimen permanente de la lámpara (FENERCOM, 2006).

b. Balastro electromagnético o convencional

Consiste básicamente de un núcleo de láminas de acero rodeadas por dos bobinas de cobre o aluminio. Este arreglo transforma potencia eléctrica en

una forma apropiada para arrancar y regular la corriente en la lámpara fluorescente. El tercer componente principal de la mayoría de los balastos electromagnéticos es el capacitador. El capacitador en dichos balastos optimiza el factor de potencia, de tal forma que puede utilizar la energía de manera más eficiente. Los balastos electromagnéticos que están equipados con el capacitador son considerados balastos de alto factor de potencia.

c. Balastro electrónico.

La revolución electrónica ha dado lugar a mejoras drásticas en el funcionamiento de los balastos. El balastro electrónico está basado en una tecnología enteramente diferente a la del balastro electromagnético. Enciende y regula las lámparas fluorescentes en altas frecuencias, generalmente mayores a 20KHz, usando componentes electrónicos en vez del tradicional transformador.

Un aspecto muy importante en la evolución que han tenido los balastos electrónicos dentro de los sistemas de iluminación fluorescente, son las ventajas que presentan con respecto a los balastos electromagnéticos tradicionales, tales como la eliminación del parpadeo de la lámpara en el encendido, el ruido audible, la habilidad para ajustar la salida de la luz de la lámpara a casi cualquier nivel cuando es usado un control de intensidad luminosa (FENERCOM, 2008).

Aunque los balastro electromagnéticos presentan gran simplicidad y bajo costo, estos tienen que trabajar a frecuencias de red lo cual, trae como consecuencia un elevado peso y gran volumen así como bajo rendimiento. Por ello los balastos electrónicos de alta frecuencia son utilizados hoy en día para la alimentación de lámparas fluorescentes.

Comparado el balastro tradicional electromagnético con el electrónico, este puede proporcionar mayor rendimiento (pues no tiene pérdidas debidas a la inducción ni al núcleo), control de la potencia de salida, larga vida y reducido volumen, sin embargo a un costo más alto de inversión, por lo que se recomienda la sustitución en aquellas luminarias que tengan un número elevado de horas de funcionamiento.

La Tabla 15 presenta un ejemplo de comparación entre balastro convencional o electromagnético y balastro electrónico (FENERCOM, 2008).

Tabla 15: Comparación entre balastro convencional y balastro electrónico

| Luminaria con tubos fluorescentes 2x58W con balastro convencional | | Luminaria con tubos fluorescentes 2x58W con balastro electrónico | |
|--|-------|---|-------|
| POTENCIA ABSORBIDA | | POTENCIA ABSORBIDA | |
| Lámparas (2 x 58 W) | 116 W | Lámparas (2 x 51 W) | 102 W |
| Balasto Convencional | 30 W | Balasto electrónico | 11 W |
| TOTAL | 146 W | TOTAL | 113 W |
| DISMINUCIÓN CONSUMO ENERGÉTICO | | 22,60% | |

d. Balastos Eco-Tubo (www.eco-tubo.com)

Un Eco-Tubo es un adaptador que permite utilizar tubos fluorescentes de nueva tecnología (T5) en luminarias existentes (T8/T12). El tubo T5 es mas corto que los T8/T12, por lo que es necesario el adaptador. El conjunto adaptador + tubo hace la misma función en tubos fluorescentes que la conocida bombilla de bajo consumo.

Alguna de las ventajas del Eco-Tubo son:

- Reduce el consumo eléctrico en iluminación a la mitad.
- Reduce las emisiones de CO₂ a la mitad.
- Da mejor calidad de luz, con encendido instantáneo y sin parpadeos.

5.6.2 Comparación de los sistemas de iluminación del Edificio EII -UVa

Después de la introducción teórica de los diferentes sistemas de alumbrado que serán comparados, con los datos obtenidos de la medida directa realizada en el Edificio de la Escuela de Ingenierías Industriales - UVa.

Las aulas consideradas para este estudio y sus distintos sistemas de alumbrado son presentadas en la Tabla 16.

Tabla 16: Comparación entre balastro convencional y balastro electrónico

| Aula | Tipo de Sistema |
|---------|-----------------------|
| Aula B1 | Sistema Ecotubo |
| Aula B8 | Balastro Electrónico |
| Aula B5 | Balastro Convencional |

Para la realización de las medidas de energía fue utilizado un analizador de redes CIRCUTOR, como el que se muestra en la Figura 43.



Figura 43: Analizador de redes CIRCUTOR

También se realizaron medidas de los lúxeles en varios puntos de las aulas, con un luxómetro (Figura 44). La finalidad de medir los lúxeles es evaluar la calidad de iluminación que se tiene en cada aula, ya que no solo es importante el consumo de los diferentes sistemas de iluminación, sino también la intensidad lumínica se tiene en cada zona del aula.



Figura 44: Luxómetro

a. **Sistema de iluminación del Aula B1: Ecotubo**



Figura 45: Sistema de iluminación del Aula B1

Las medidas que se obtuvieron fueron las siguientes:

Tensión: 227 V.

Intensidad: 11.26 A.

Luminarias: 32 Ligthing T5.

También se realizaron medidas de los lúxeles en varios puntos del aula, tal y como se muestra en la Figura 46.

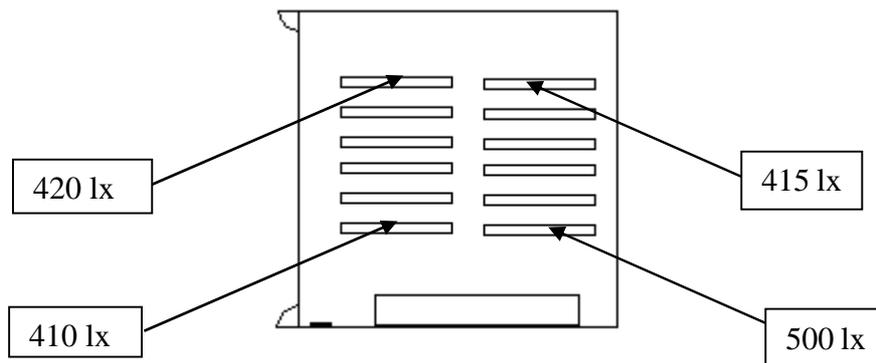


Figura 46: Nivel de iluminación en distintas partes del aula B8

b. Sistema de iluminación del Aula B8: Balastro electrónico

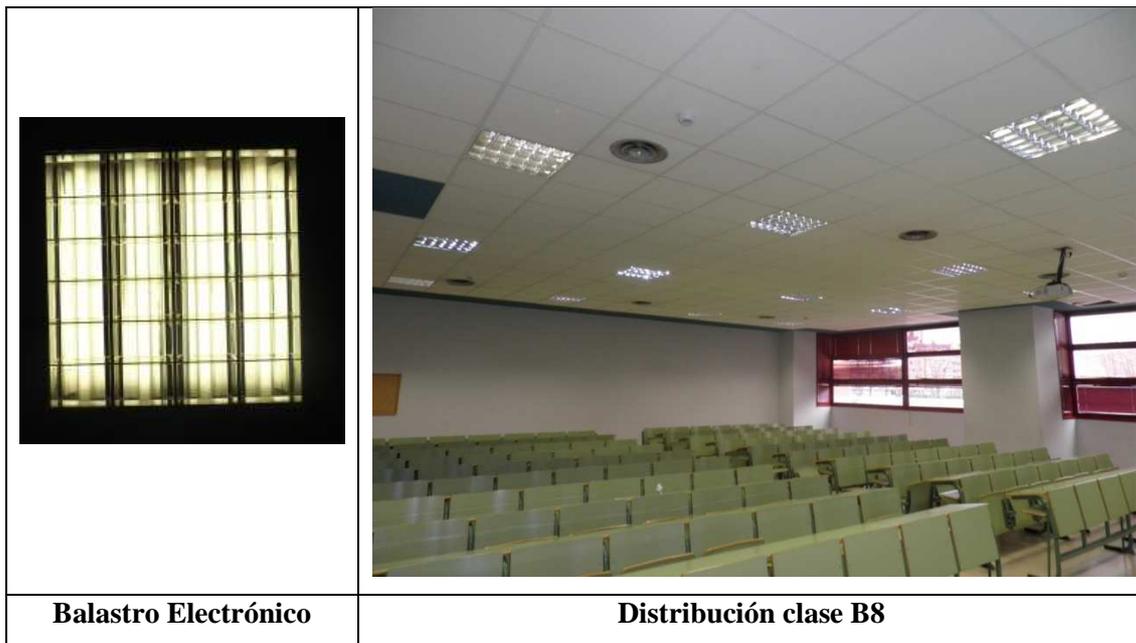


Figura 47: Sistema de iluminación del Aula B8

Las medidas que se obtuvieron fueron las siguientes:

Tensión: 227 V.

Intensidad: 4,7 A

Luminarias 60.

En este aula también se realizaron medidas de los lúxeles que en varias zonas del aula. Las zonas donde se realizaron las mediciones se muestran en la Figura 48.

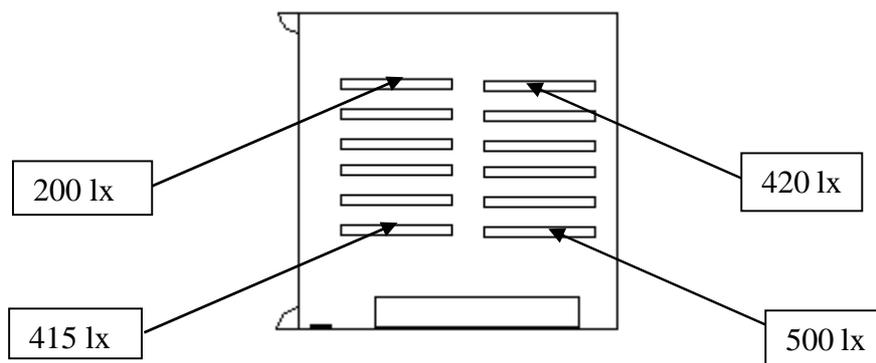


Figura 48: Nivel de iluminación en distintas partes del aula B8

c. Sistema de iluminación del Aula B5: Balastro Convencional

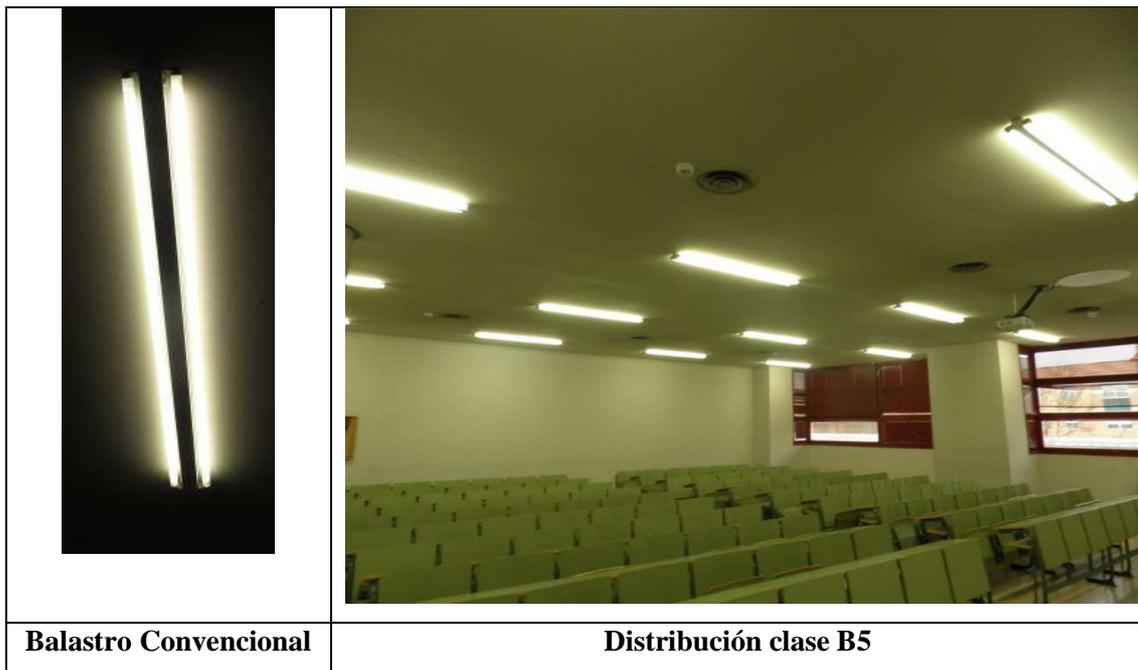


Figura 49: Sistema de iluminación del Aula B5

Las medidas que se obtuvieron fueron las siguientes:

Tensión: 227 V.

Intensidad: 12.85 A

Luminarias: 32.

En este aula también se realizaron medidas de los lúxeles que en varias zonas del aula, y se presentan en la Figura 50.

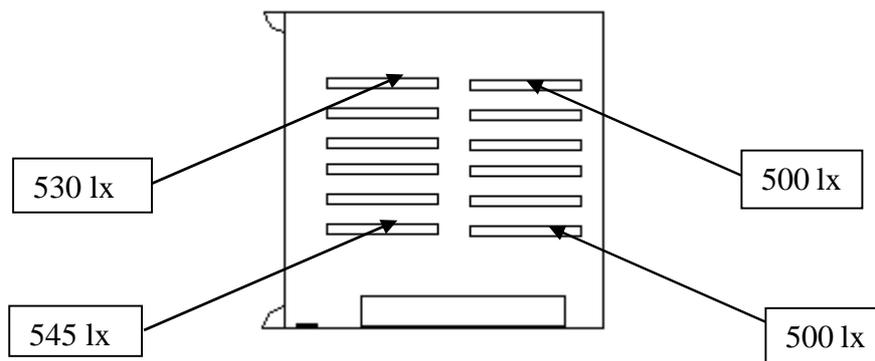


Figura 50: Nivel de iluminación en distintas partes del aula B5

Cabe resaltar, que de acuerdo a la Norma Europea sobre la iluminación para interiores, Norma UNE-EN 12464-1:2003, la intensidad luminosa que se tiene que dar en las salas de aula es la siguiente:

- Para aulas dedicadas a tutorías: la intensidad luminosa requerida es de 300 lx.
- Para aulas dedicadas a las enseñanzas de mayores, y clases nocturnas: la intensidad luminosa requerida es de 500 lx.

Con lo cual, comparando con los datos medidos en las aulas, se observa que en el caso de balastro convencional se cumplen los requisitos dictados por la norma, mientras que para el caso del balastro electromagnético no se llega a los lúxeles que la norma exige.

Sin embargo, al revisar la luminaria del dato medido en el caso del balastro electromagnético, de 200 lx, se constató que este punto fue tomado en un punto, en el cual las luminarias más próximas estaban fundidas. Los demás valores de intensidad lumínica aunque no llegan a 500 lx, están bastante próximos.

Por último, para la comparación de consumos entre los diferentes sistemas de iluminación, lo que tenemos que obtener es la potencia consumida, a partir de la siguiente ecuación:

$$P = VI\cos\varphi \dots\dots\dots \text{Ecuación 12}$$

Para este estudio de caso, la tensión y el factor de potencia medidos en las tres aulas son los mismos:

$$\text{Tensión} = 227 \text{ V}$$

$$\text{Cos}\varphi = 0,98$$

Para fines de cálculo, se asumirá un funcionamiento de 10 horas diarias, y que el precio del kWh es de 0.16 €/kWh, se elabora la siguiente tabla, con la cual se podrá hacer la comparación entre los tres sistemas de alumbrado.

Tabla 17: Comparación entre los sistemas de iluminación

| | Aula B1 | Aula B8 | Aula B5 |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Sistema de Iluminación | Eco-Tubo | Balastro Electrónico | Balastro electromagnético |
| Tensión(V) | 227 | 227 | 227 |
| f.d.p | 0,98 | 0,98 | 0,98 |
| Intensidad(A) | 11,26 | 4,7 | 12,85 |
| Energía Consumida diaria (kWh) | 25,05 | 10,46 | 28,59 |
| Costo diario €/día | 4,01 | 1,67 | 4,57 |
| Costo mensual €/mes | 120,24 | 50,19 | 137,21 |

Analizando los resultados plasmados en la Tabla 17, es indiscutible que la mejor opción de sistema de iluminación es la que presenta el balastro electrónico, que brinda una economía del 58,2% al ser comparado con el eco-tubo y de 63,4% al compararse con el balastro electromagnético o convencional.

5.6.3 Resultados de Ahorro por Cambio de Luminarias

En este ítem se estimará el ahorro eléctrico producido al cambiar ciertas luminarias del edificio. Puesto que el cambio está planificado para un futuro, pero sin fecha exacta, no se podrá contrastar el ahorro estimado con el ahorro real que se produce. Por lo cual será realizada la estimación, para ser usada como referencia cuando se realice el proyecto de cambio de luminarias.

Las luminarias que constan en el inventario del Edificio de la Escuela de Ingenierías Industriales realizado por la Oficina de Oficina de Calidad Ambiental y Sostenibilidad de la Universidad de Valladolid (UVA, 2012), son las que se presentan a continuación en las tablas. Cabe resaltar, que del inventario se tomará como referencia, aquellas luminarias susceptibles de cambio, las luminarias pertenecientes a los servicios higiénicos (SS.HH.), pasillos y zonas comunes.

Tabla 18: Inventario de luminarias susceptibles de cambio en el Sótano

| Nombre | Elemento | Cantidad | Potencia (W) | Potencia total (W) |
|---------|--------------|----------|--------------|--------------------|
| SS.HH. | Fluorescente | 3 | 36 | 108 |
| Pasillo | Fluorescente | 116 | 36 | 4.176 |
| SS.HH. | Fluorescente | 6 | 36 | 216 |

Tabla 19: Inventario de luminarias susceptibles de cambio en la Primera Planta

| Nombre | Elemento | Cantidad | Potencia (W) | Potencia total (W) |
|---------|--------------|----------|--------------|--------------------|
| Pasillo | Fluorescente | 167 | 58 | 9.686 |
| SS.HH. | Fluorescente | 2 | 58 | 116 |
| SS.HH. | Fluorescente | 1 | 58 | 58 |
| SS.HH. | Fluorescente | 1 | 36 | 36 |
| SS.HH. | Fluorescente | 1 | 36 | 36 |

Tabla 20: Inventario de luminarias susceptibles de cambio en la Segunda Planta el Sótano

| Nombre | Elemento | Cantidad | Potencia (W) | Potencia total (W) |
|---------|--------------|----------|--------------|--------------------|
| SS.HH. | Fluorescente | 1 | 36 | 36 |
| SS.HH. | Fluorescente | 1 | 36 | 36 |
| Pasillo | Fluorescente | 6 | 58 | 348 |
| Pasillo | Fluorescente | 10 | 36 | 360 |
| SS.HH. | Fluorescente | 1 | 36 | 36 |
| SS.HH. | Fluorescente | 1 | 58 | 58 |
| SS.HH. | Fluorescente | 2 | 58 | 116 |
| Pasillo | Fluorescente | 167 | 58 | 9.686 |

Sin embargo, todas las luminarias no serán sustituidas de una sola vez. De acuerdo a lo programado por la Oficina de Calidad Ambiental y Sostenibilidad de la UVa, el primer grupo de luminarias que serán sustituidas se muestran en la Tabla 21 y 22.

Tabla 21: Luminarias y características de las luminarias a sustituir en los Servicios Higiénicos (SS.HH.)

| Planta | # Luminarias a sustituir | Pot. Luminaria antigua (W) | Pot. Luminaria nueva (W) | ΔPot(W) |
|---|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Sótano | 14 | 60 | 26 | 476 |
| Planta baja | 11 | 60 | 26 | 374 |
| Primera Planta | 18 | 60 | 26 | 612 |
| Segunda Planta | 15 | 60 | 26 | 510 |
| Δ Pot(W) Total Servicios Higiénicos (SS.HH.) | | | | 1972 |

Tabla 22: Luminarias y características de las luminarias a sustituir en los Pasillos

| Planta | # Luminarias a sustituir | Pot. Luminaria antigua (W) | Pot. Luminaria nueva (W) | ΔPot(W) |
|--|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Sótano | 16 | 58 | 49 | 144 |
| | 35 | 58 | 35 | 805 |
| Planta baja | 47 | 36 | 28 | 376 |
| Primera Planta | 8 | 58 | 35 | 184 |
| | 64 | 58 | 28 | 1920 |
| Segunda Planta | 8 | 58 | 35 | 184 |
| | 64 | 58 | 28 | 1920 |
| Δ Pot(W) Total Pasillos | | | | 5533 |

Las tablas anteriores presentan las luminarias de cada planta que serán sustituidas, así como la potencia de las luminarias antiguas y las nuevas. Datos con los que se procede a calcular la diferencia de potencia instalada para cada planta.

Por otro lado, para el cálculo del ahorro de la energía consumida, es necesario calcular el número de horas típicas de funcionamiento de estas luminarias en un año. Puesto que son luminarias en zonas comunes, las horas de funcionamiento de estas luminarias serán iguales a las horas de apertura del edificio, es decir, de 8 a 22 de lunes a viernes y de 9 a 14 los sábados. Así, revisando el calendario académico del Curso 2012/2013, se obtendrá el número de horas de funcionamiento anual de las luminarias referidas.

CALENDARIO ACADÉMICO - CURSO 2012/2013

Aprobado en Comisión Permanente de Consejo de Gobierno el 30 de marzo de 2012

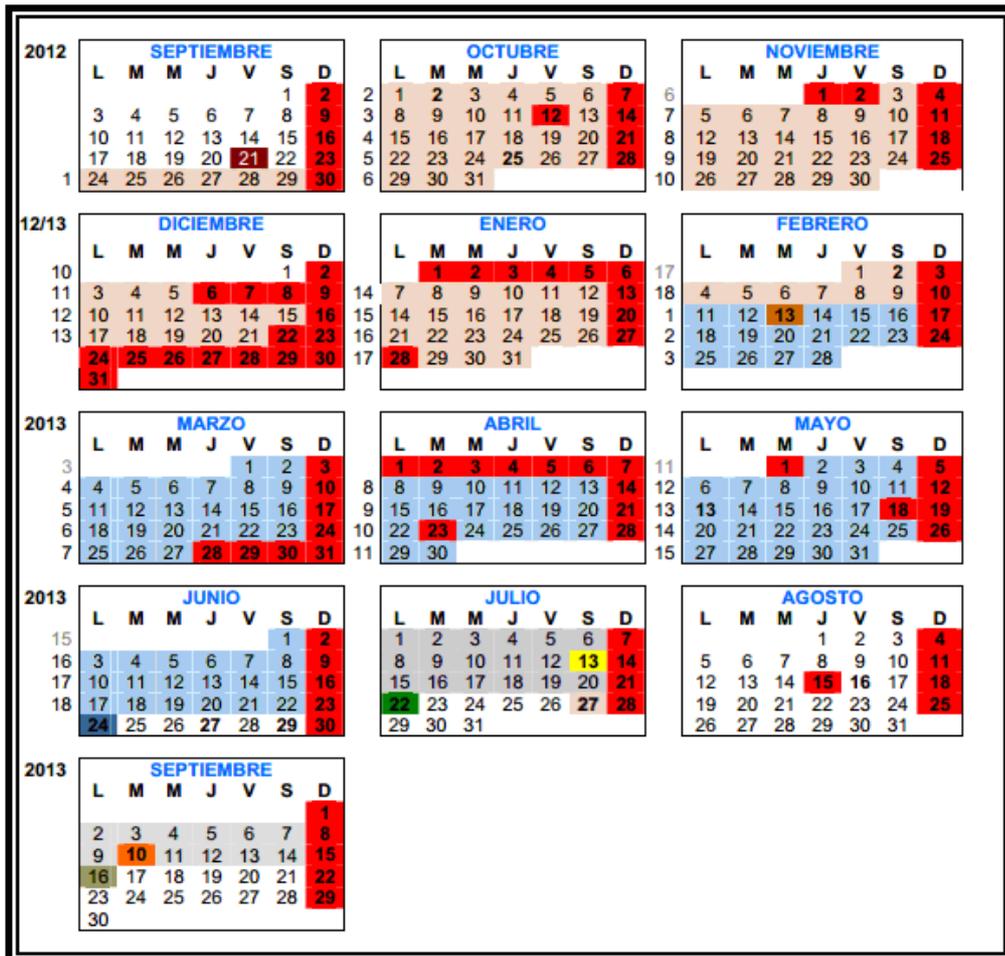


Figura 51: Calendario Académico del Curso 2012-2013

A partir del Calendario, se extrae los siguientes datos:

- Días lectivos (funcionamiento 14 h) --> 179 días.
- Sábados (funcionamiento 5h) --> 37 días.

Con lo cual el número de horas de funcionamiento en un año lectivo será:

$$N^{\circ}_{dehoras} = (179 \times 14) + (37 \times 5) = 2506 + 185 = 2691horas$$

Para el cálculo del consumo de energía de las luminarias, se usa la Ecuación 13.

$$E_{luminarias} = P_{luminarias} \times N^{\circ}_{horas} \dots\dots\dots \text{Ecuación 13}$$

De la Tabla 21 y 22 se extraen los siguientes resultados para el cálculo de la energía ahorrada:

| | |
|---|-------------|
| Δ Pot(W) Total Servicios Higiénicos (SS.HH.) | 1972 |
| Δ Pot(W) Total Pasillos | 5533 |
| Δ Pot(W) Total (SS.HH.+ Pasillos) | 7505 |

Y reemplazando los valores en la Ecuación 13, se obtiene la energía ahorrada por el cambio de luminarias:

$$\text{Energía ahorrada} = 7\,505 \text{ kW} * 2\,691 \text{ horas} = 20\,196 \text{ kWh}$$

Asimismo, se calculará el ahorro económico estimado producido por la sustitución de luminarias, para el cual se usará la tarifa actual de electricidad (0.16 €/kWh), obteniendo el siguiente resultado:

$$\text{Ahorro Económico} = 20196 \text{ kWh} * 0.16 \text{ €/kWh} = 3231,35 \text{ €}$$

Por lo tanto, se estima que la implementación de la MMEE Eléctrica (cambio de parte de las luminarias) tendría un efecto de ahorro de 3% del total anual gasto con electricidad.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES GENERALES

- La creciente urbanización y la sociedad actual necesita, para mantener su nivel de vida, un alto consumo energético. Por tanto, el reto consiste en buscar el desarrollo sostenible, manteniendo el nivel de actividad, de transformación y de proceso, pero ajustando las necesidades a los recursos existentes y evitando el derroche energético.
- Las nuevas necesidades de confort consecuencia de la mejora en la calidad de vida en las grandes ciudades y de los nuevos desarrollos tecnológicos, ya se incluyen en las legislaciones de muchos países, donde se recogen como obligatorias. Conceptos como ergonomía, impacto medioambiental, calidad del aire interior, ventilación, confort térmico, etc., son aspectos que tradicionalmente no se han tenido en consideración en el sector edificios, pero que en los últimos tiempos están en continuo desarrollo tanto por la nueva legislación, como por la necesidad de la población, que pasa la mayor parte del tiempo dentro de los edificios.

- Al revisar el estado del arte queda demostrado el importante potencial de ahorro energético del Sector de Edificaciones, debido al crecimiento del sector y al alto consumo energético del mismo, que en algunos países asciende al 40% del consumo total de energía.
- Las acciones que debe tomar el Estado Peruano como actor principal en la conducción del vínculo entre la energía y el desarrollo sostenible del país, y para el sector energético en particular, que debe seguir las mejores prácticas internacionales para establecer políticas, programas y normativas con el objetivo de contar con una matriz energética diversificada que se sustente en el uso de las energías renovables y la eficiencia energética en toda la cadena productiva y de consumo.
- Algunos de los instrumentos internacionales que se están utilizando actualmente para el fomento de la eficiencia en el sector edificación, son:
 - Legislativos: Leyes, Códigos de Edificación, Programas y Políticas de Eficiencia Energética, Reglamentos de Instalaciones, Certificación, etc.
 - Apoyo económico: Ayudas para la realización de estudios energéticos, adopción de soluciones técnicas probadas, incentivos económicos por el uso de tecnologías más limpias y eficientes, etc.
 - Formación, información y concienciación.
- En el sector de las edificaciones debido a sus características propias (forma de uso, larga vida de sus instalaciones, elevado número y dispersión de equipos y pequeños consumos individuales), la rentabilidad de implantar medidas de mejora de eficiencia energética puede ser baja y su implantación complicada en edificios existentes, por lo cual queda demostrada la importancia de realizar estudios previos utilizando herramientas reconocidas internacionalmente, tal como los Protocolos de Medida y Verificación, para hacer la evaluación técnica-económica pertinente y justificar la inversión.

- El uso de tecnologías más eficientes disponibles en el mercado para el sector edificios, cabe destacar que existe una gran variedad con el suficiente grado de madurez y a costos cada vez más accesibles como para permitir su implantación, entre las que se puede citar:
 - Lámparas de bajo consumo, con ahorros de hasta el 80% utilizando tecnología LED.
 - Equipamientos eficientes para el acondicionamiento del aire y confort térmico.
 - Calderas eficientes, con un ahorro de consumo estimado en sector residencial del 10%.

- Desde el punto de vista energético, el Perú no cuenta con una caracterización detallada de los diversos sistemas consumidores de energía al interior de los edificios.

- El crecimiento económico experimentado por el Perú, en los últimos 10 años, presenta una tendencia exponencial; y el consumo energético, uno de los pilares de la bonanza económica peruana, presenta un incremento perfectamente acoplado con el Producto Interior Bruto. Sin embargo, de acuerdo con la literatura internacional, existen evidencias de que la gestión energética es una de las herramientas que conducen a desacoplar el crecimiento económico del energético, buscando un crecimiento sostenible.

- Mediante el estudio de caso queda demostrada la importancia del uso de procedimientos encontrados en los protocolos de Medida y Verificación para evaluar los proyectos de implementación de medidas de mejoras de eficiencia energética. Asimismo, que la importancia de realizar una gestión energética sostenible en el tiempo, con el fin de evaluar las MMEE y su real repercusión en el consumo energético del edificio.

- Cabe resaltar que cada kWh de energía consumido lleva asociado una cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Con lo cual al reducir el consumo de energía, también se reducen las emisiones de CO₂.

6.2 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE CASO

- Se ha demostrado en el Estudio de Caso de la Escuela de Ingenieros Industriales de la Universidad de Valladolid, como las MMEE instaladas en el edificio están teniendo los resultados esperados, con menores consumos de gas natural y electricidad, lo cual se refleja en un ahorro económico considerable.
- En el caso del ahorro económico con la implementación de la MMEE Térmica (cortina de aire pasiva y activa) resulta en un ahorro económico de aproximadamente el 12%, es decir, alrededor de 12.500 €/anuales.
- Es importante destacar en este punto que, la cortina de aire activa situada en la entrada principal del edificio, lleva asociada un consumo eléctrico, puesto que el equipo que la crea tiene una potencia de 4 kW. Por ello, se debería estudiar qué parte del ahorro térmico que se produce es consecuencia de la cortina de aire activa, ver el número de horas de funcionamiento de ésta y así poder compararlo con el consumo eléctrico que se está invirtiendo. Con la finalidad de comprobar que se está produciendo un mayor ahorro térmico que el consumo eléctrico que supone tenerla funcionando.
- Al comparar los diferentes sistemas de iluminación, se observa que el mejor sistema entre los tres comparados es el de balastro electrónico, que consume prácticamente un 60% menos que los otros dos sistemas, en los que se observa consumos muy similares. Por lo cual, la propuesta en este caso sería el cambio a fluorescentes de balastro electrónico en todas aquellas zonas donde sea posible: aulas, laboratorios, sala de profesores...etc.

- El cambio de luminarias proyectado, que incluye el cambio de los balastos electromagnéticos por balastos electrónicos de SS.HH.s y pasillos, tendrá una repercusión positiva en el consumo eléctrico del edificio, el ahorro se estimó en un 3% del gasto anual. Ya que con la sustitución pasaremos de unas luminarias de mayor potencia a unas con menor potencia. Por ello, la actuación en este caso sería comprobar si es posible hacer futuras sustituciones en las luminarias de otras zonas del edificio.
- Abordar una MMEE siempre supone una inversión inicial, que dependiendo de lo ambiciosa que sea, será mayor o menor. Debido a esto, un análisis técnico de los resultados esperados llevará a un análisis económico, con el cual se podrá comprobar la viabilidad del proyecto.

6.3 RECOMENDACIONES

- Establecer una metodología y definir la línea base en relación a los hábitos de consumo y equipos utilizados en el sector estatal, para determinar canastas energéticas típicas, según la naturaleza de la institución y la región en la que se encuentren.
- Caracterizar la carga del sector estatal en horas punta y fuera de horas punta, a nivel nacional, según tipos de uso.

BIBLIOGRAFIA

1. **ACHEE, Agencia Chilena de Eficiencia Energética -.** 2012. *M&V una herramienta de validación y optimización de los Proyectos de Eficiencia Energética.* Chile : s.n., 2012.
2. **AGENEX, Agencia Extremeña de la Energía.** 2014. *Eficiencia Energética y Energías Renovables en la Frontera Hispano-Lusa.* Extremadura : s.n., 2014.
3. **Airtècnics.** 2014. *Catálogo: Cortinas de Aire 2014.* http://www.airtecnicos.com/intranet_files/docs/es/catalogos/CORTINAS_DE_AIRE_CATALOGO_AIRTECNICS.pdf : s.n., 2014.
4. **ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.** 2002. *ASHRAE Guideline 14-2002: Measurement of Energy and Demand Saving.* Atlanta : s.n., 2002.
5. **BID, Banco Interamericano de Desarrollo.** 2013. *Sostenibilidad Urbana en América y el Caribe.* s.l. : BID, 2013.
6. **Brasil.** 2014. *Instrução Normativa nº 2, de 4 de junho de 2014.* . Brasília: Diário Oficial da União. : s.n., 2014.
7. **CE, COMISSÃO EUROPEIA.** 2002. *CE - COMISSÃO EUROPEIA. Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios.* Bruselas : CE, 2002.
8. **CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe.** 2010. *Indicadores de políticas públicas en materia de eficiencia energética en América Latina y el Caribe.* Santiago de Chile : Naciones Unidas, 2010.
9. **DOE, United States Department of Energy.** 2011. *Advanced Energy Retrofit Guides: Office Buildings.* http://apps1.eere.energy.gov/tribalenergy/pdfs/doe_eere_aerg_office_buildings.pdf : DOE, 2011.

10. **EVO, Efficiency Valuation Organization. 2009.** *Protocolo Internacional de Medida y Verificación: Conceptos y Opciones para Determinar el Ahorro de Energía y Agua. Volumen 1.* Disponible en www.evo-world.org : EVO, 2009.
11. **FENERCOM, Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. 2008.** *Guía de Ahorro Energético en Estaciones de Servicio.* Madrid : <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-ahorro-energetico-en-estaciones-de-servicio-fenercom.pdf>, 2008.
12. **FENERCOM, Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. 2006.** *Guía Técnica de Iluminación Eficiente.* Madrid : <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-tecnica-de-iluminacion-eficiente-sector-residencial-y-terciario-fenercom.pdf>, 2006.
13. **FES, Fundación Friedrich Ebert. 2012.** Eficiencia Energética: políticas públicas y acciones pendientes en el Perú. [aut. libro] J.C. Romaní y V. Arroyo. *Matriz Energética en el Perú y Energías Renovables.* Lima : FES, 2012.
14. **Gil-Lopez, T., y otros. 2013.** Experimental analysis of energy savings and hygrothermal conditions improvement by means of air curtains in stores with intensive pedestrian traffic. *Energy and Buildings.* December 2013, 2013, Vol. Volume 67, Pages 608–615.
15. **IEA, International Energy Agency. 2011.** *25 Energy Efficiency Policy Recommendations.* s.l. : www.iea.org/efficiency, 2011.
- 16.—. **2015.** *Estatísticas: Consumo final.* Acceso: 08 de janeiro de 2015. : Disponível:<<http://www.iea.org>>, 2015.
- 17.—. **2012.** *Progress Implementing the IEA 25 Energy Efficiency Policy Recommendations. 2011 Evaluation.* OECD/IEA : IEA: Insigh Series, 2012.
- 18.—. **2013.** *World Energy Outlook 2012.* www.iea.org : s.n., 2013.
19. **INEI, Instituto Nacional de Estadística e Informática -. 2009.** *Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población Urbana y Rural por Sexo y Grupos Quinquenales de Edad, Según Departamentos, 2000-2015.* Lima : INEI, 2009.

20. **ISO, International Organization for Standardization. 2011.** *ISO 50001:2011 – Energy Management System.* 2011.
21. **López Plazas, Fabián. 2006.** *Sobre el uso y la gestión como los factores principales que determinan el Consumo de Energía.* Barcelona : Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, 2006.
22. **MAPFRE, Fundación MAPFRE. 2011.** *Guía Práctica para la Implantación de Sistemas de Gestión Energética.* http://www.mapfre.com/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1064391 : MAPFRE, 2011.
23. **MINEM, Ministerio de Energía y Minas. 2009.** *Plan Referencial del Uso Eficiente de la Energía 2009 - 2018.* Lima : s.n., 2009.
24. **MINEM, Ministerio de Energía y Minas. 2013.** *Balance Nacional de Energía 2012.* Lima : MINEM, 2013.
25. —. **2010.** *Decreto Supremo Nº 064-2010 EM: Política Energética Nacional del Perú 2010-2040.* Lima : s.n., 2010.
26. —. **2014.** *Plan Energético Nacional 2014 - 2025.* Lima : DGEE, MINEM, 2014.
27. **Muñoz Razo, Carlos. 2011.** *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis.* México : PEARSON EDUCACIÓN, 2011.
28. **OIM, Organización Internacional para las Migraciones. 2015.** *Migraciones Internas en el Perú.* Lima : Disponible en: <http://www.oimperu.org/>, 2015.
29. **Pérez-Lombard, P., Ortiz, J. y Pout, C. 2008.** *A review on buildings energy consumption information.* 2008. págs. v. 40, n. 3, p. 394- 398.
30. **Rey Martinez, Francisco Javier y Ceña Callejo, Rafael. 2006.** *Edificios saludables para trabajadores sanos: calidad de ambientes interiores.* s.l. : Junta de Castilla y León, 2006.
31. **Rey Martinez, J. y Velasco Gómez, E. 2006.** *Eficiencia Energética en Edificios: Certificación y Auditorías Energéticas.* Valladolid : Thompson, 2006.
32. **UVA, Oficina de Calidad Ambiental y Sostenibilidad de la Universidad de Valladolid. 2012.** *Guía práctica de Calidad y Sostenibilidad.* Valladolid : UVA, 2012.

33. **Vinea, E. y Hamrin, J. 2008.** *Energy savings certificates: A market-based tool for reducing greenhouse gas emissions.* 2008. págs. n.36, p. 467-476.
34. **WBCSD, World Business Council for Sustainable Development. 2010.** *Visión 2050: Una nueva agenda para los negocios.* s.l. : WBCSD, 2010. Vol. Disponible en: <http://www.wbcsd.org/vision2050.aspx>.

ANEXOS

ANEXO A

DEFINICIONES

Con base en (ASHRAE, 2002), (EVO, 2009) e (ISO, 2011), para los fines de esta tesis, se aplican los términos y definiciones siguientes:

- Límites: Límites físicos o de emplazamiento y/o límites organizacionales tal y como los define la organización. Ejemplo: un proceso; un grupo de procesos; unas instalaciones; una organización completa; múltiples emplazamientos bajo el control de una organización.
- Mejora continua: Proceso recurrente que tiene como resultado una mejora en el desempeño energético y en el sistema de gestión de la energía.
- Energía: Electricidad, combustibles, vapor, calor, aire comprimido y otros similares. La energía se refiere a varias formas de energía, incluyendo la renovable, la que puede ser comprada, almacenada, tratada, utilizada en equipos o en un proceso o recuperada.
- Línea de base energética: Referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético. Una línea de base energética refleja un período especificado. Una línea de base energética puede normalizarse utilizando variables que afecten al uso y/o al consumo de la energía, por ejemplo, nivel de producción, grados-día (temperatura exterior), etc. También se utiliza para calcular los ahorros energéticos, como una referencia antes y después de implementar las acciones de mejora del desempeño energético.
- Consumo de energía: Cantidad de energía utilizada.
- Eficiencia energética: Proporción u otra relación cuantitativa entre el resultado en términos de desempeño, de servicios, de bienes o de energía y la entrada de energía. Es necesario que, tanto la entrada como la salida, se especifiquen claramente en cantidad y calidad y sean medibles. Ejemplo:

Eficiencia de conversión; energía requerida/energía utilizada; salida/entrada; valor teórico de la energía utilizada/energía real utilizada.

- Sistema de gestión de la energía, SGE_n: Conjunto de elementos interrelacionados mutuamente o que interactúan para establecer una política y objetivos energéticos, y los procesos y procedimientos necesarios para alcanzar dichos objetivos.
- Equipo de gestión de la energía: Persona(s) responsable(s) de la implementación eficaz de las actividades del sistema de gestión de la energía y de la realización de las mejoras en el desempeño energético. El tamaño y naturaleza de la organización y los recursos disponibles determinarán el tamaño del equipo. El equipo puede ser una sola persona como por ejemplo el representante de la dirección.
- Objetivo energético: Resultado o logro especificado para cumplir con la política energética de la organización y relacionado con la mejora del desempeño energético.
- Desempeño energético: Resultados medibles relacionados con la energía. En el contexto de los sistemas de gestión de la energía los resultados pueden medirse respecto a la política, objetivos y metas energéticas y a otros requisitos de desempeño energético.
- Indicador de desempeño energético, IDE_n: Valor cuantitativo o medida del desempeño energético tal como lo defina la organización. Los IDE_ns pueden expresarse como una simple medición, un cociente o un modelo más complejo.
- Política energética: Declaración por parte de la organización de sus intenciones y dirección globales en relación con su desempeño energético, formalmente expresada por la alta dirección. La política energética brinda un marco para la acción y para el establecimiento de los objetivos energéticos y de las metas energéticas.
- Revisión energética: Determinación del desempeño energético de la organización basada en datos y otro tipo de información, orientada a la identificación de oportunidades de mejora.

- Servicios energéticos: Actividades y sus resultados relacionados con el suministro y/o uso de la energía.
- Meta energética: Requisito detallado y cuantificable del desempeño energético, aplicable a la organización o parte de ella, que tiene origen en los objetivos energéticos y que es necesario establecer y cumplir para alcanzar dichos objetivos.
- Uso de la energía: Forma o tipo de aplicación de la energía. Ejemplo: Ventilación; iluminación; calefacción; refrigeración; transporte; procesos; líneas de producción.
- Parte interesada: Persona o grupo que tiene interés, o está afectado por, el desempeño energético de la organización.
- Auditoría interna: Proceso sistemático, independiente y documentado para obtener evidencia y evaluarla de manera objetiva con el fin de determinar el grado en que se cumplen los requisitos.
- No conformidad: Incumplimiento de un requisito.
- Organización: Compañía, corporación, firma, empresa, autoridad o institución, o parte o combinación de ellas, sean o no sociedades, pública o privada, que tiene sus propias funciones y administración y que tiene autoridad para controlar su uso y su consumo de la energía.
- Procedimiento: Forma especificada de llevar a cabo una actividad o proceso. Los procedimientos pueden estar documentados o no; cuando un procedimiento está documentado, se utilizan con frecuencia los términos “procedimiento escrito” o “procedimiento documentado”.
- Registro: Documento que presenta resultados obtenidos o proporciona evidencia de actividades desempeñadas. Los registros pueden utilizarse, por ejemplo, para documentar la trazabilidad y para proporcionar evidencia de verificaciones, acciones preventivas y acciones correctivas.
- Alcance: Extensión de actividades, instalaciones y decisiones cubiertas por la organización a través del SGE, que puede incluir varios límites. El alcance puede incluir la energía relacionada con el transporte.

- Uso significativo de la energía: Uso de la energía que ocasiona un consumo sustancial de energía y/o que ofrece un potencial considerable para la mejora del desempeño energético.
- Alta dirección: Persona o grupo de personas que dirige y controla una organización al más alto nivel. La alta dirección controla la organización definida dentro del alcance y los límites del sistema de gestión de la energía.
- Energía de referencia ajustada: Consumo del periodo de referencia ajustado con las distintas condiciones operativas.
- Consumo de energía evitado: Reducción del consumo en el periodo demostrativo de ahorro respecto a lo que habría consumido si la instalación hubiera estado trabajando de la misma forma y con los mismos equipos que en el periodo de referencia pero con las condiciones de funcionamiento del periodo demostrativo de ahorro.
- Ajustes de referencia: Ajustes no-rutinarios que se producen durante el periodo demostrativo de ahorro respecto a los cambios de cualquier característica principal de la instalación que inciden sobre la energía dentro del límite de medida, excepto las denominadas variables independientes que se utilizan para realizar los ajustes rutinarios.
- Energía de referencia: Consumo que se produce durante el periodo de referencia sin ajustes.
- Periodo de referencia: Tiempo seleccionado que representa el funcionamiento de la instalación, o del sistema, antes de la implementación de una MMEE. Este periodo puede ser tan breve como el tiempo que se tarda en realizar una medida instantánea de una cantidad constante, o tan prolongado como para reflejar todo un complejo ciclo operativo completo de un sistema, o de una instalación, con operación variable.
- Grado / nivel de confianza: Probabilidad de que cualquier valor medido caiga dentro de un intervalo de precisión establecido.
- Constante: Término utilizado para describir un parámetro físico que no cambia en un periodo de tiempo. Aunque se observen pequeños cambios se sigue describiendo como constante. En el Plan de Medida y Verificación se especificará qué es lo que se considera una variación pequeña.

- Inspección de puesta en marcha: El proceso para lograr, verificar y documentar que el funcionamiento de los equipos cumple con las necesidades operativas de la instalación, dentro de la capacidad de diseño y con los criterios funcionales de la documentación del diseño y del propietario, incluida la preparación del personal de operación.
- Ciclo: Tiempo entre el inicio de una serie de modos de operación similar de una instalación, o de parte de los equipos, cuyo consumo varía en respuesta a procedimientos operativos o las variables independientes. Por ejemplo, el ciclo de la mayoría de los edificios es de 12 meses, ya que su consumo está relacionado con las condiciones climatológicas, que varían de forma anual. Otro ejemplo es el ciclo semanal de un proceso industrial que funciona de forma distinta entre el fin de semana y el resto de la semana.
- Grados-día: Un grado-día es una medida que relaciona la carga de calefacción y refrigeración de una instalación con la temperatura exterior. Cuando la temperatura media exterior diaria está un grado por debajo de una temperatura establecida de referencia, por ejemplo 18°C, se define que ese día tiene un grado-día de calefacción. Si esa diferencia de temperatura se mantiene durante diez días, serían diez grados-día de calefacción durante todo el periodo. Si la diferencia de temperatura fuera de 12°C durante 10 días se contarían 120 grados-día de calefacción. Cuando la temperatura ambiente cae por debajo de la diferencia de la temperatura, se cuentan los grados-día de calefacción. Cuando la temperatura ambiente está por encima de la de referencia se cuentan los grados-día de refrigeración.
- Cualquier temperatura de referencia se puede emplear para registrar grados-día, aunque se suele utilizar la temperatura en la que un edificio en particular no necesita calefacción o refrigeración.
- Demanda Ratchet: Se trata de un método utilizado por la empresa de suministro para establecer el consumo por el que factura a los clientes cuando esta cantidad es distinta del consumo que se ha medido en el equipo de medida. La empresa de suministro tiene en cuenta los máximos o mínimos estacionales, el factor de potencia o las cantidades contratadas para

establecer el consumo sobre la factura (denominado consumo de facturación).

- Energía: Consumo o demanda de energía o agua.
- Medida de mejora de eficiencia energética (MMEE): Una actividad, o un conjunto de actividades, que han sido diseñadas para incrementar la eficiencia energética de una instalación, de un sistema o de parte de un equipo. Las MMEE también pueden conservar la energía sin cambiar la eficiencia. En una misma instalación pueden implantarse varias MMEE a la vez que cada una de ellas con un objetivo distinto. Una MMEE puede implicar uno o más: cambios físicos en los equipos de la instalación, revisión de los procedimientos operativos y de mantenimiento, cambios del software o de nuevos medios de formación y gestión de los usuarios de la instalación o del personal de operación y mantenimiento. Una MMEE puede consistir en una medida de eficiencia energética de un sistema, o de una instalación existente, o en una modificación del diseño antes de la construcción de un nuevo sistema o de una nueva instalación.
- Contrato de Eficiencia Energética: Contrato entre dos o más partes dónde el pago se basa en conseguir unos resultados concretos, tales como reducir el coste de la energía o recuperar la inversión dentro de un tiempo determinado.
- Empresa de Servicios Energéticos (ESE, ESCo en nomenclatura anglosajona): Empresa que proporciona servicios de diseño y construcción de MMEE bajo un contrato de eficiencia energética.
- Estimación: Proceso para determinar el parámetro utilizado en un cálculo de ahorro mediante métodos que no sean realizar mediciones durante el periodo de referencia y el periodo demostrativo de ahorro. Estos métodos pueden consistir en suposiciones arbitrarias, o incluso estimaciones de ingeniería, que se derivan de la clasificación que hace el fabricante sobre el rendimiento de los equipos. Según el IPMVP, las pruebas de rendimiento de los equipos que no se han realizado en el lugar donde éstos son utilizados durante el periodo demostrativo de ahorro se consideran estimaciones.
- Instalación: Un edificio, o una planta industrial, que tiene varios sistemas o equipos que consumen energía. Una parte o una sección, dentro de una instalación más grande, pueden ser tratadas como una instalación

independiente si dispone de un equipo de medida independiente que mide toda su energía.

- Variable Independiente: Parámetro que se espera que cambie de forma regular en el tiempo y que tenga un impacto medible sobre el consumo de energía de un sistema o de una instalación.
- Efectos Cruzados: Efectos sobre la energía creados por una MMEE pero que no son medidos dentro del límite de medida.
- Precio Marginal: El coste de una unidad adicional de un producto facturado con un complejo esquema de tarifas.
- Medida y Verificación: Proceso coherente de mediciones para determinar de forma fiable el ahorro conseguido en un programa de gestión de la energía dentro de una instalación particular. El ahorro no se puede medir de forma directa, ya que representa la ausencia del consumo. El ahorro se determina comparando el consumo antes y después de la implementación de un proyecto, realizando los ajustes necesarios según los cambios de las condiciones.
- Límite de Medida: Un límite conceptual que se establece alrededor de los equipos, o sistemas, para separar los hechos que son relevantes en la determinación del ahorro de los que no lo son. Todo el consumo de los equipos, o sistemas, que quede dentro del límite de medida debe ser medido o estimado, independientemente de que el consumo esté dentro o no de ese límite.
- Medición con equipos de medida: Toma de datos de energía de una instalación en un período de tiempo mediante el uso de dispositivos de medida.
- Ajustes No-Rutinarios: Los cálculos reflejados en la ecuación 1 del Capítulo 4 que compensan los cambios en los factores estáticos, dentro del límite de medida, desde el periodo de referencia. Cuando se realizan ajustes no-rutinarios en la energía de referencia, a veces se denominan simplemente ajustes de referencia.
- Ahorro Normalizado: Reducción del consumo o del coste de la energía que se produce en el periodo demostrativo de ahorro respecto a lo que habría sucedido si la instalación hubiera estado equipada y hubiera funcionado

como en el periodo de referencia, pero bajo un conjunto de condiciones normales. Estas condiciones normales pueden ser las medias de un periodo prolongado o de cualquier otro periodo que no sea el periodo demostrativo de ahorro. Las condiciones normales también pueden ser las que prevalecen durante el periodo de referencia, especialmente si fueron utilizadas como base para predecir el ahorro. Si las condiciones son las del periodo demostrativo de ahorro, en lugar del ahorro normalizado, se utiliza el término consumo de energía evitado o simplemente ahorro.

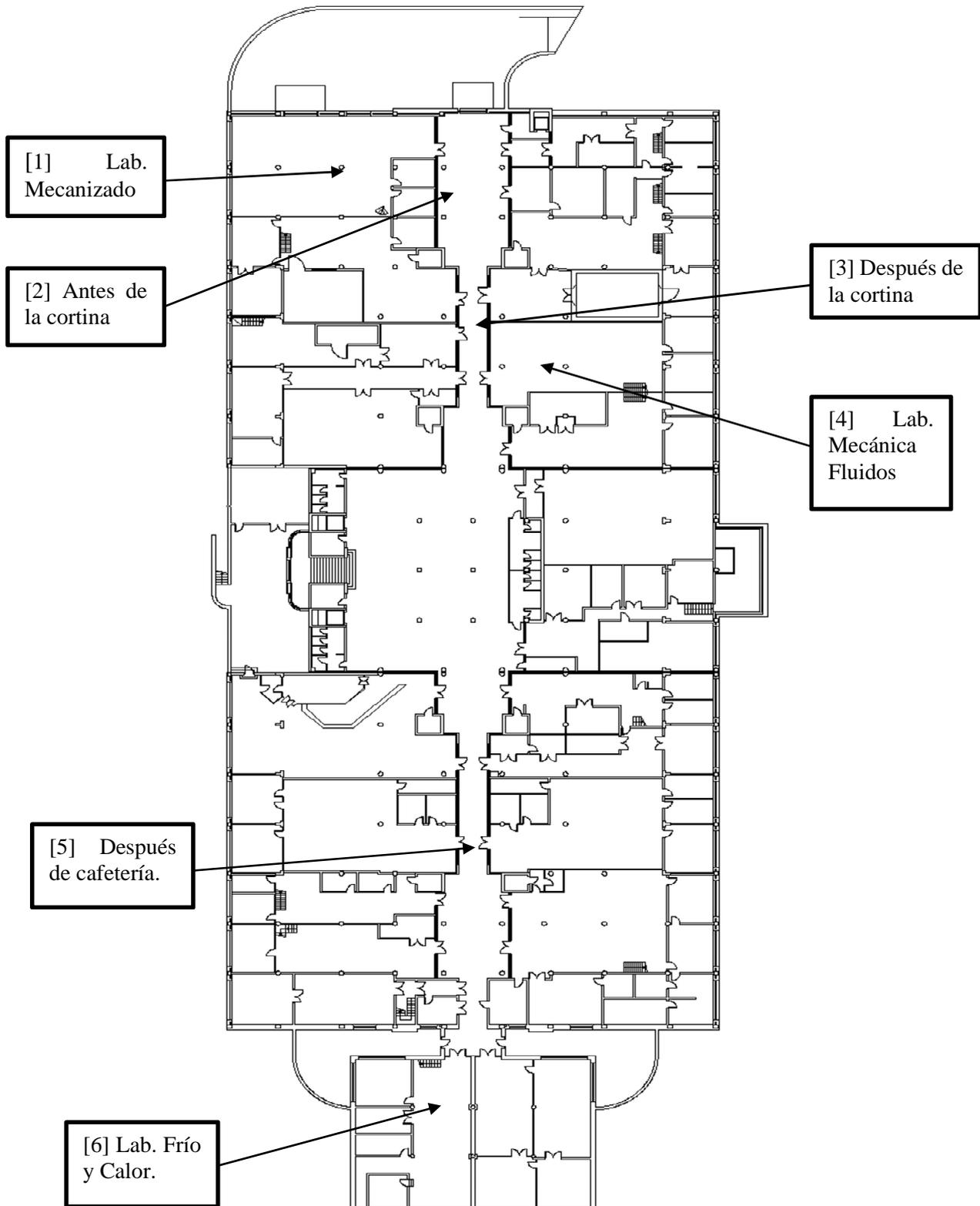
- Precisión: Cantidad que se espera que se desvíe un valor medido de un valor real. La precisión se expresa como una tolerancia \pm . Cualquier estimación sobre un valor medido debe incluir una justificación sobre la confianza de dicha precisión. Por ejemplo, un fabricante de un equipo de medida que establece su precisión en $\pm 10\%$, con un grado de confianza del 95%.
- Análisis de Regresión: Técnica matemática que extrae los parámetros de un conjunto de datos para describir la correlación de las variables independientes medidas y de las variables dependientes (normalmente datos de energía).
- Periodo demostrativo de ahorro: Periodo que sigue a la implementación de una MMEE cuando los informes de ahorro se adhieren al IPMVP. Este periodo puede ser tan breve como el tiempo que se tarda en realizar una medición instantánea de un parámetro constante; o tan largo como para recoger los diferentes tipos de operación normal de un sistema o de una instalación en operación variable; equivalente a la duración del periodo de recuperación financiera de una inversión; a la duración de un periodo de medida del rendimiento por un contrato de eficiencia energética; o puede ser indefinido.
- Ajustes Rutinarios: Los cálculos de la ecuación 1 del Capítulo 4 realizados con una fórmula que se incluye en el Plan de Medida y Verificación para compensar los cambios en las variables independientes seleccionadas dentro del límite de medida desde el periodo de referencia.
- Ahorro: La reducción del consumo o del coste de la energía. El ahorro físico se puede expresar como el consumo de energía evitado o como el ahorro normalizado. El ahorro económico se puede expresar de forma análoga al

coste evitado o ahorro de coste normalizado. El ahorro, como se utiliza en el IPMVP, no es simplemente la diferencia entre las facturas o las lecturas medidas por la empresa de suministro durante el periodo de referencia y el periodo demostrativo de ahorro.

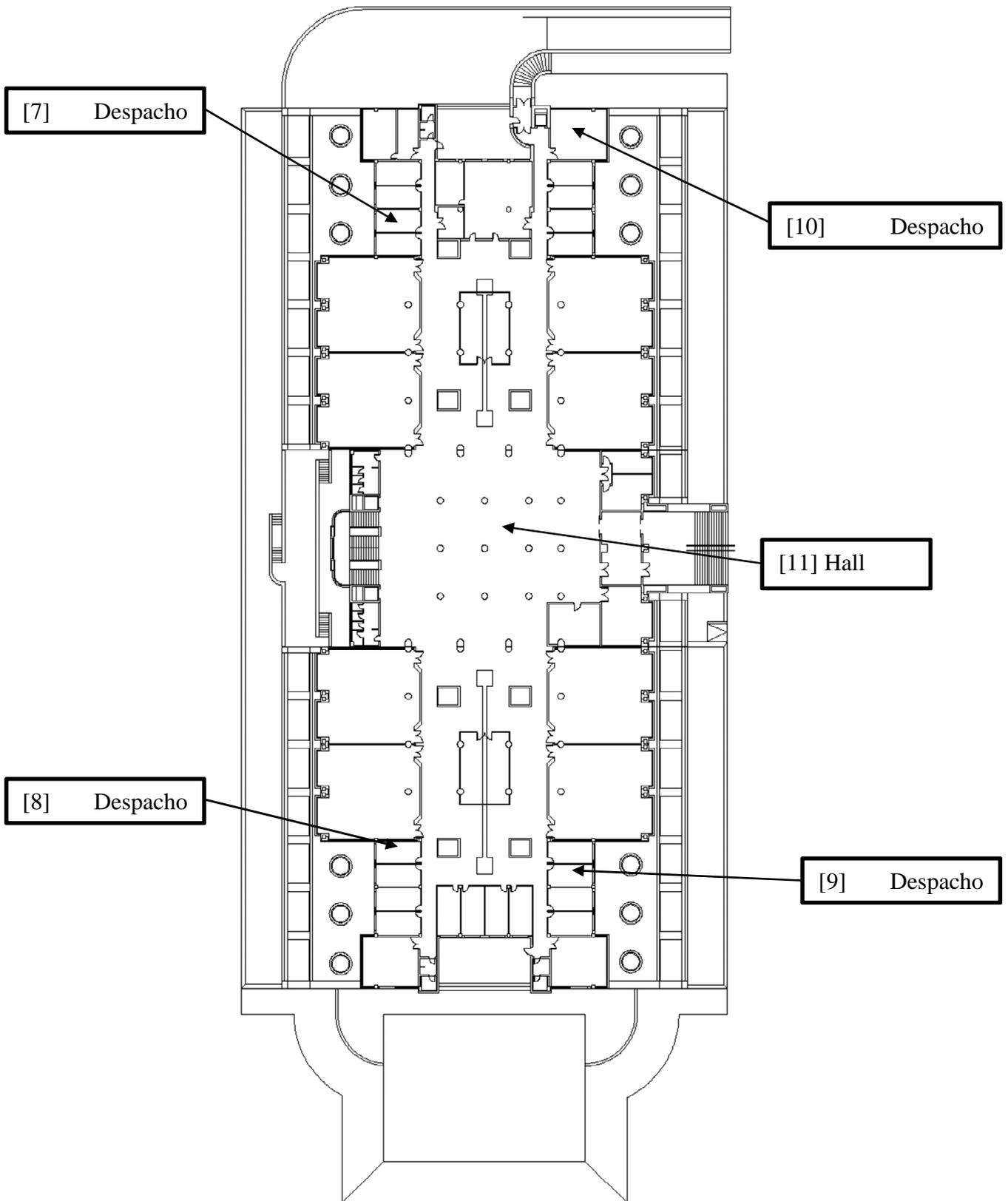
- Modelo de Simulación: Conjunto de algoritmos que calcula el consumo de una instalación a partir de ecuaciones de ingeniería y de parámetros definidos por el usuario.

ANEXO B: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DEL EDIFICIO ESCUELA DE INGENIEROS INDUSTRIALES PERTENECIENTE A LA UVa.

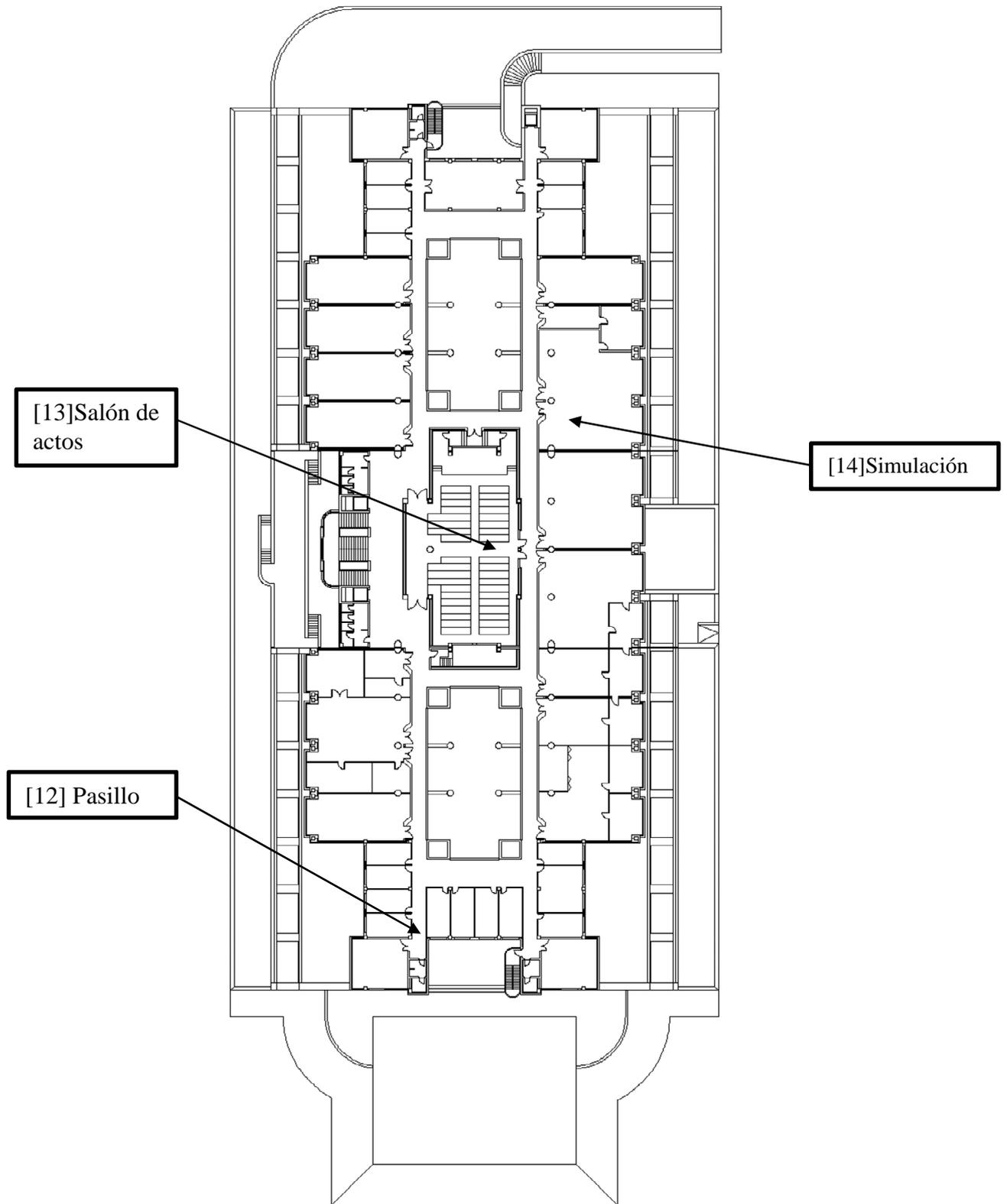
PLANTA SÓTANO



PLANTA BAJA



PRIMERA PLANTA.



SEGUNDA PLANTA.

