



Institución Universitaria

Metodología para la incorporación de un sistema de gestión de la energía eléctrica en edificios terciarios

Jairo Alberto Díaz Acevedo

Instituto Tecnológico Metropolitano
Facultad de Ingenierías
Medellín, Colombia
2018

Metodología para la incorporación de un sistema de gestión de la energía eléctrica en edificios terciarios

Jairo Alberto Díaz Acevedo

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Gestión Energética Industrial

Directores:

Ing. Luis Fernando Grisales Noreña, M.Sc.

Ing. Adolfo Escobar Ordoñez, Ph.D.

Línea de Investigación:

Eficiencia Energética

Grupo de Investigación:

Materiales Avanzados y Energía

Instituto Tecnológico Metropolitano

Facultad de Ingenierías

Medellín, Colombia

2018

Dedicatoria

Dedico este trabajo en primera instancia a Dios por brindarme la fortaleza y paciencia para llegar hasta este punto de mi vida. Por otro lado, a mis padres, quienes con su apoyo y ejemplo han permitido mi formación. Finalmente, a los compañeros y amigos con quienes he tenido la oportunidad de compartir y aprender demasiadas cosas.

Agradecimientos

Al profesor Luis Fernando Grisales por su constante acompañamiento y apoyo durante el desarrollo del trabajo, con su valioso aporte facilitó el desarrollo de los objetivos propuestos.

Al Profesor Adolfo Escobar Ordoñez, quién contribuyó con todo su conocimiento y experiencia en el área investigativa y en el uso racional de la energía.

A los docentes del grupo de investigación Materiales Avanzados y Energía, por la experiencia y conocimientos transmitidos, así como por su compromiso y esfuerzo para formar magister de calidad.

Al Instituto Tecnológico Metropolitano - (ITM), por brindarme la posibilidad de formarme como profesional y en esta ocasión, como magister en Gestión Energética Industrial.

Resumen

Las edificaciones terciarias representan una porción importante del consumo eléctrico global, por lo cual se plantean estrategias para mejorar su eficiencia, costos operativos e impacto ambiental. Entre estas se encuentran los sistemas de gestión de la energía eléctrica (SGEE), que facilitan la toma de decisiones y propenden a mejorar la utilización de los recursos existentes. Su masificación es ralentizada por costos de implementación y operación que requieren la integración de equipos para la adquisición de datos y su respectivo análisis.

Este trabajo presenta una metodología para la implementación de un SGEE en edificaciones terciarias, considerando primeramente la determinación de los patrones de consumo. Así, se estimó el comportamiento de la curva de carga en la edificación analizada, utilizando datos de sus condiciones estructurales y operativas. Paralelamente, se calcularon variables de influencia como la ocupación. Dicha estimación fue validada con mediciones tomadas en el circuito general, realizando un análisis detallado de la distribución de consumos en las cargas y espacios. Luego, se identificaron las estrategias de ahorro para las cargas, estimando los potenciales con el impacto registrado en la literatura. Los cálculos y análisis fueron automatizados por medio de un aplicativo digital y la metodología fue validada en una edificación del ITM.

Se encontró que los niveles máximos de ocupación se reducen un 87,10% para los fines de semana. La curva de carga estimada presenta valores máximos y mínimos de 32,10 kW y 10,71 kW respectivamente. En cuanto a la validación, la diferencia entre la curva de carga estimada y medida fue de alrededor 20%. Finalmente, los potenciales máximos de ahorro fueron entre 14,31% y 72,18%.

Palabras clave: Sistemas de gestión de la energía, edificaciones terciarias, patrones de consumo eléctrico, estimación de la ocupación, reducción del consumo eléctrico.

Abstract

Tertiary buildings represent a relevant fraction of global electrical consumption, so that a set of strategies have been proposed for improving their efficiency, operative economical costs and environmental influence. Among those strategies the Electrical Energy Management Systems assist the decision-making process and tend to better the utilization of existing resources. However, its large-scale adoption is slowed down by their costs of implementation and operation, which used to involve the integration of equipment for data acquisition and analysis.

This work presents a methodology for the implementation of an Electrical Energy Management System in tertiary buildings, regarding at the first instance the consumption patterns determination. Thus, the load profile of analyzed building has been estimated through the structural and operative information. At the same time, the influencing variables over electrical consumption like occupancy were calculated. The load profile estimation was validated with a set of measurements recorded from the general distribution board and then an analysis of consumption by electrical load and space has been developed. Later, the strategies for reducing the consumption in each type of electrical load were identified, estimating the saving potentials with the impact described in literature. The calculation and analysis were automated with a digital application and the proposed method validated in an institutional building.

From results it was found that maximum values of occupancy reached in weekdays scenario are reduced in 87.10% for weekends. Likewise, the estimated load profile involved maximum and minimum values of 32.10 kW and 10.71 kW respectively. Regarding the validation, the established criteria are met and the greatest difference between estimated and measured load profiles was less than 20%. Finally, the maximum saving potentials were among 14.31% and 72.18%.

Keywords: Energy management systems, tertiary buildings, electricity consumption patterns, occupancy estimation, electricity consumption reduction.

Contenido

	Pág.
1. Introducción.....	13
1.1 Antecedentes	13
1.2 Objetivos	14
1.3 Organización del documento.....	14
2. Marco teórico	17
2.1 Consumo y eficiencia energética en edificaciones.....	17
2.2 Sistemas de gestión de la energía eléctrica (SGEE)	22
2.2.1 Introducción a los SGEE	22
2.2.2 Componentes estructurales involucrados en un SGEE	24
2.2.3 Avances y enfoques investigativos alrededor de los SGEE	26
2.3 Adquisición y análisis de datos para SGEE	27
2.3.1 Métodos de recolección de datos	27
2.3.2 Tipos de análisis de datos para SGEE	30
2.3.3 Tendencias investigativas en el análisis de datos para SGEE.....	32
2.4 Enfoques de reducción de consumo a través de los SGEE	32
2.4.1 Gestión eficiente de cargas eléctricas	33
2.4.2 Generación en sitio para edificaciones	33
2.4.3 Respuesta a la demanda.....	33
3. Metodología	35
3.1 Caracterización de cargas eléctricas y patrones de consumo	36
3.1.1 Clasificación de edificaciones terciarias	37
3.1.2 Identificación y descripción de las cargas eléctricas.....	37
3.1.3 Síntesis de las variables que afectan el consumo eléctrico	39
3.1.4 Valoración del comportamiento eléctrico en la edificación.....	41
3.1.5 Criterios de análisis para los patrones de consumo eléctrico	48
3.2 Identificación de técnicas y estrategias para la reducción de consumo eléctrico ...	50
3.2.1 Identificación de las estrategias para la reducción del consumo eléctrico	50
3.2.2 Valoración del potencial de ahorro con respecto a las estrategias identificadas.....	51
3.3 Desarrollo del aplicativo para la gestión de la energía eléctrica.....	52
3.3.1 Definición de las características del aplicativo.....	52
3.3.2 Determinación de la plataforma de desarrollo	55
3.3.3 Descripción y programación de los algoritmos utilizados.....	58

3.4	Validación del método propuesto	59
3.4.1	Descripción del caso de estudio.....	59
3.4.2	Particularidades de la edificación.....	60
3.4.3	Características de las mediciones realizadas.....	65
4.	Resultados y discusión	71
4.1	Información general y arquitectónica en el aplicativo desarrollado.....	71
4.2	Caracterización de cargas eléctricas y patrones de consumo	73
4.2.1	Descripción de las cargas eléctricas y características operativas	73
4.2.2	Estimación y medición de la curva de carga eléctrica	83
4.2.3	Comparación entre curvas de carga y variables	91
4.2.4	Análisis del consumo por espacio y carga eléctrica	99
4.3	Estimación de potenciales de reducción de consumo eléctrico	107
4.3.1	Identificación de las estrategias de ahorro aplicables para diferentes categorías de cargas eléctricas.....	107
5.	Conclusiones y trabajo futuro.....	123
5.1	Conclusiones	123
5.2	Trabajo futuro	125
	Bibliografía.....	127

1. Introducción

1.1 Antecedentes

Con el fin de garantizar el cubrimiento de las demandas energéticas en el futuro y direccionar la eficiencia y confiabilidad de los sistemas eléctricos, es necesario potencializar el uso racional de la energía por parte del usuario final. Esto puede lograrse a través de la implementación de Sistemas de Gestión de la Energía Eléctrica (SGEE), los cuales se presentan como una alternativa complementaria a los incrementos de la capacidad instalada, y permiten un mejor aprovechamiento de los recursos existentes. De esta forma, los SGEE surgen bajo la necesidad de mejorar continuamente la eficiencia energética en organizaciones y usuarios de todo tipo (Industrial, residencial, terciario).

El interés global por la incorporación de los SGEE, se evidencia en el constante crecimiento de su potencial de mercado en diferentes sectores. Para el caso de los SGEE en edificaciones terciarias se obtuvo un crecimiento del 47% de 2011 a 2014, con una tendencia para alcanzar los 10,800 billones de dólares en el 2024 a nivel mundial. En el sector residencial, se tiene un crecimiento en el mercado Norte Americano que pasó de 44 millones de dólares en 2011 a 366 millones de dólares en 2014. Por último, en cuanto la incorporación de SGEE en el ámbito industrial se observaron ingresos de 12,3 billones de dólares en el 2014, estableciendo un crecimiento del 9% comparado con 2013 y del 26% con años anteriores (Navigant Research, 2015).

Un factor importante que impulsa la masificación de los SGEE es la implementación de políticas y mecanismos de financiación ligados a la eficiencia energética. De esta forma, los estados que representan el 60% del consumo energético en Estados Unidos cuentan con estándares de eficiencia energética. Así mismo, las políticas e incentivos en países europeos han presentado un constante crecimiento, otorgando entre los años 2007 al 2013 alrededor de 5,5 billones de euros para potenciar los SGEE en el sector de las edificaciones. De igual forma, China ha implementado una ley que obliga tanto a la contratación de asesorías energéticas como el reporte de datos de consumo.

Por su parte, la coyuntura energética de Colombia obliga a las entidades gubernamentales al planteamiento de estrategias para fortalecer el sistema eléctrico

nacional, y de esa forma garantizar la confiabilidad en el subministro. Así pues, en los últimos años se han comenzado a establecer mecanismos regulatorios que buscan fortalecer estrategias para la eficiencia energética y respuesta a la demanda por parte del usuario final como la ley 1715 de 2014 y el PROURE. Lo anterior está ligado a los objetivos y tendencias propuestas en el plan energético nacional para el 2050, lo cual evidencia la importancia y proyecciones de implementación de los SGEE en los diferentes sectores económicos.

Es importante considerar que entre las principales barreras para la integración y operación de SGEE dentro de las edificaciones terciarias se encuentra el desconocimiento generalizado a cerca del potencial de este tipo de herramientas. Así mismo es importante destacar que los costos de implementación y asistencia técnica representan el 76% de los costos totales. Es por esto que se hace importante el fortalecimiento investigativo de este enfoque que pretende maximizar la eficiencia de los recursos energéticos existentes, principalmente en el sector terciario que representa aproximadamente el 19% del consumo eléctrico global. Por lo cual, es indispensable el desarrollo de un proceso metodológico a bajo costo que le permita a este tipo de usuarios dinamizar la implementación de SGEE para gestionar correctamente el consumo de energía eléctrica.

1.2 Objetivos

En este trabajo se planteó desarrollar una metodología para la incorporación de un sistema de gestión de la energía eléctrica en edificios terciarios.

Los objetivos específicos fueron los siguientes:

- Caracterizar las cargas y patrones de consumo eléctrico en edificios terciarios basándose en la adquisición y análisis de datos.
- Identificar las técnicas y estrategias que permiten la reducción del consumo de energía eléctrica y la obtención de ahorros económicos relacionados con diferentes tipos de cargas en los edificios terciarios.
- Desarrollar un aplicativo para la gestión de la energía eléctrica en edificios terciarios, el cual estime los potenciales de ahorro y las estrategias adecuadas para la reducción del consumo.
- Validar la metodología estimando los potenciales de ahorro energético en un edificio terciario.

1.3 Organización del documento

El Capítulo 1 es introductorio, en el cual principalmente se describen las motivaciones que llevaron a emprender este trabajo de investigación. Así, en primera instancia se

establecen los antecedentes de la temática trabajada, así como la justificación y el planteamiento del problema. Seguidamente, se presentan los objetivos del trabajo, los cuales marcan el procedimiento y la hoja de ruta para la resolución del problema. En conclusión, se presenta la estructura del documento final.

En el Capítulo 2 se presenta el marco teórico, donde se tratan los conceptos básicos relacionados con los SGEE. En primera instancia se destaca la relevancia del consumo eléctrico para las edificaciones terciarias, considerando las herramientas y políticas que en la actualidad se han venido planteado para mejorar su eficiencia energética. Posteriormente, se presenta una definición formal de los SGEE y la estructura que abarca su proceso de operación, teniendo en cuenta además una revisión de los avances investigativos en esta temática. Así mismo, se explican los métodos existentes para la recolección de datos de consumos eléctricos y los tipos de análisis que suelen utilizarse. Finalmente, se describen las estrategias y métodos que pueden emplearse en las edificaciones terciarias para alcanzar reducciones en los consumos eléctricos.

En el Capítulo 3 se describe la metodología utilizada para el cumplimiento de los objetivos planteados. En la primera etapa relacionada con la caracterización de cargas y patrones de consumo, se describe en primera instancia los tipos de edificaciones terciarias y el procedimiento utilizado para identificar las cargas eléctricas más importantes. Posteriormente, se detallan los pasos para la estimación de las curvas de carga, su respectiva validación y los parámetros de análisis. Para ello, se inicia con una síntesis de las variables de influencia que deben considerarse, para después describir los procesos involucrados en la recolección de los datos estructurales y operativos de la edificación. Seguidamente, se analizan los cálculos realizados para estimar el comportamiento de la capacidad instalada, la ocupación y las curvas de carga, las cuales son validadas con base en los criterios y parámetros descritos posteriormente. La segunda etapa de este capítulo, se enfoca en la identificación de las estrategias para la reducción del consumo en los diferentes tipos de cargas eléctricas y los cálculos utilizados para estimar los potenciales de ahorro en la edificación. En la tercera etapa se definen los pasos utilizados en el desarrollo del aplicativo, donde en primera instancia se delimitan las características y capacidades del mismo. A continuación, se define la plataforma de desarrollo utilizada y los procedimientos para la programación y el diseño del aplicativo. La etapa final de este capítulo se enfoca en la descripción del caso de estudio, donde se definen las particularidades de la edificación analizada, así como los instrumentos y datos técnicos de las mediciones realizadas.

En el capítulo 4 se presentan los resultados obtenidos con su respectivo análisis, comenzando con una descripción de la primera etapa del aplicativo donde se definen los aspectos generales de la edificación a ser analizada. Posteriormente, se describen los datos y cálculos efectuados para la determinación de los patrones de consumo. Esta subsección inicia con una descripción de las cargas eléctricas de mayor relevancia en las edificaciones terciarias, para luego detallar la participación de cada una de ellas sobre la capacidad instalada total de la edificación analizada. Luego de esto, se describe el

comportamiento de la ocupación en los diferentes escenarios considerados, así como las estimaciones de la curva de carga. Luego se presenta la curva de carga medida a partir del circuito general, y posteriormente se efectúan las comparaciones requeridas para validar dichas estimaciones. Al efectuar las validaciones se analizaron las distribuciones de los consumos con respecto a los diferentes espacios y cargas eléctricas. Finalmente, se presentan las características de las estrategias identificadas para la reducción del consumo en los diferentes tipos de cargas, y por último se estiman los potenciales de ahorro bajo los tipos de análisis considerados.

En el Capítulo 5 se presentan las principales conclusiones encontradas durante el desarrollo de este estudio y se plantean algunas recomendaciones para trabajos futuros.

2. Marco teórico

Las edificaciones terciarias son aquellas estructuras donde se desarrollan servicios destinados a personas naturales o empresas, los cuales por lo general no involucran la transformación de materias primas (Herczeg et al., 2014). En esta subsección se destaca la importancia del consumo eléctrico ligado a este tipo de edificaciones, analizando su participación y tendencias en un contexto global y regional, además del estado actual de las políticas y criterios técnicos que propenden hacia la eficiencia energética.

2.1 Consumo y eficiencia energética en edificaciones

El comportamiento del consumo de energía eléctrica a nivel global ha tenido una constante tendencia al alza durante las últimas décadas. De este modo, se ha establecido un crecimiento del 5.2% en el año 2016 con respecto al promedio de la última década, ubicándose para ese entonces en 23.480TWh (Enerdata, 2017). Esta conducta se debe principalmente a la dinámica económica y social de países emergentes como china e india, los cuales aportan los mayores porcentajes de crecimiento e incluso superan a los Estados Unidos. Los incrementos poblacionales y la electrificación de sectores como el transporte hacen que dichas tendencias continúen en el mediano y largo plazo. De esta forma, entidades como la agencia internacional de energía (AIE) proyectan incrementos del 48% a 2040 para diferentes fuentes de energía primaria (IEA, 2017).

Aproximadamente un 61% del consumo energético en edificaciones destinadas a la prestación de servicios proviene de la utilización de cargas eléctricas (EIA, 2016). Así mismo, la Figura 1 muestra la participación de las edificaciones terciarias en el consumo global de electricidad para el año 2016, respecto a los demás sectores económicos.

Como puede observarse, el sector terciario presenta una participación importante (19%) en el consumo eléctrico global. Para garantizar el cubrimiento de dichas demandas y direccionar la eficiencia de los sistemas eléctricos, se han planteado estrategias relacionadas con el incremento de la capacidad instalada y la gestión de los recursos existentes (Ahmad, Javaid, Qasim, & Khan, 2015). Esta última se enfoca en la implementación de sistemas de gestión de la energía eléctrica (SGEE), los cuales

buscan potencializar el uso racional de la energía sin afectar la productividad del usuario final.

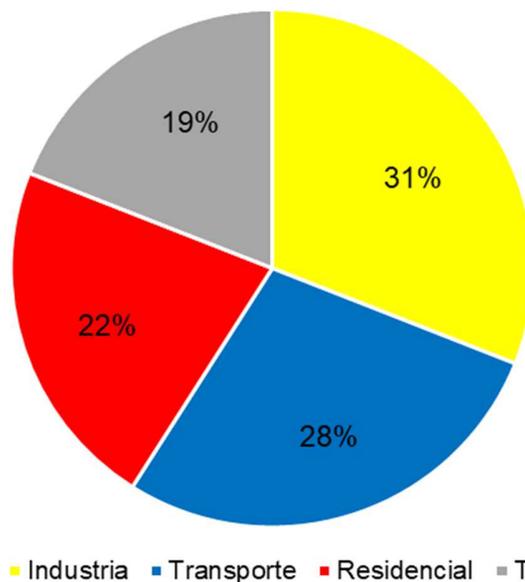


Figura 1. Participación de los diferentes sectores en el consumo global de electricidad. Fuente: (EIA, 2016)

En Colombia el sector terciario representa cerca del 60% del PIB nacional y de acuerdo con el plan indicativo de eficiencia energética 2017-2022 (PROURE), la energía eléctrica representa un 66,24% del total consumido por este. De esta forma, una de las estrategias que se han planteado para mejorar la eficiencia en el consumo de energía eléctrica del sector terciario es la implementación de SGEE. Se estima que la implementación de buenas prácticas, que pueden ser propiciadas por este tipo de sistemas tiene un potencial de ahorro de hasta el 10% (UPME, 2017). Esto refleja el impacto de gestionar adecuadamente los recursos energéticos existentes en este sector de la producción nacional.

El desarrollo de políticas gubernamentales para incentivar la eficiencia energética en los diferentes sectores económicos ha sido fundamental para la implementación de las medidas que hasta ahora han permitido mejorar las proyecciones. De acuerdo con la estimación realizada por la Agencia Internacional de Energía, el sector terciario tiene un potencial de ahorro de 20 exajoules por año hasta el 2030, planteando los enfoques descritos en la Figura 2 para el desarrollo de políticas gubernamentales que permitan alcanzarlos (Iea, 2011).

Durante los últimos años se han planteado y fortalecido en diferentes países las respectivas normativas y códigos legislativos que dan lugar los criterios expuestos anteriormente (Pasquier, 2012). La Figura 3 muestra la tendencia en cuanto la

implementación de políticas de eficiencia energética en el mundo, evidenciando la tasa de crecimiento que se ha venido generando desde el año 2012 hasta el 2016.

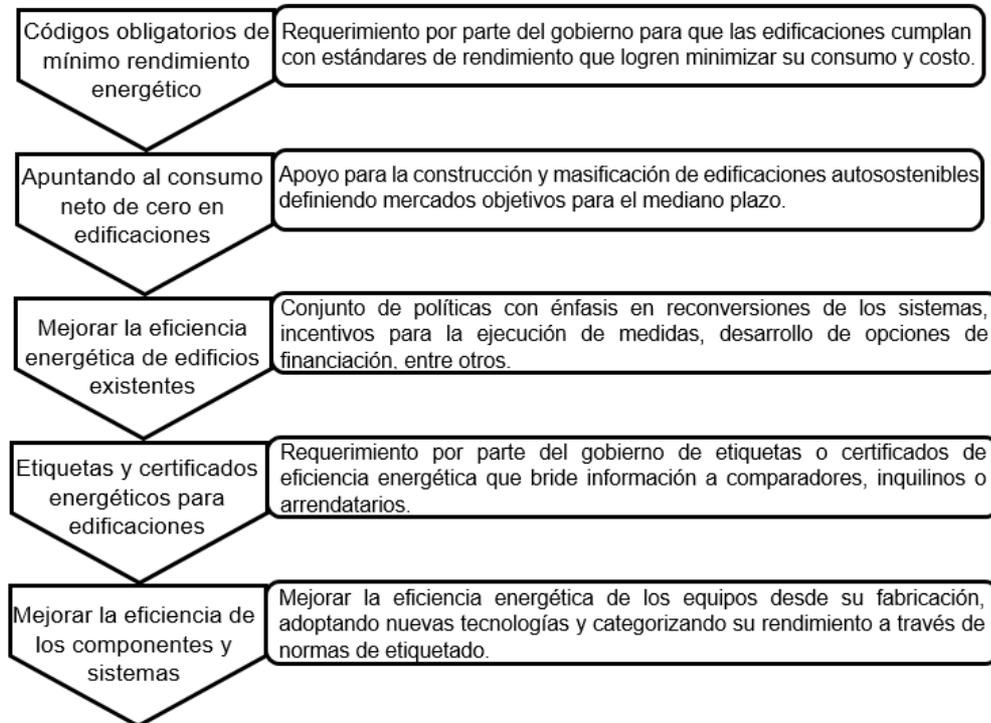


Figura 2. Enfoques de desarrollo para políticas de eficiencia energética en edificaciones terciarias.

Fuente: Autor

Como puede observarse de la Figura 3, la cobertura de las políticas ya existentes tuvo una mayor relevancia durante el 2016 que en los años anteriores, por lo que casi todos los estándares de obligatoriedad planteados provienen de las plataformas que están actualmente en curso. Por su parte, en Latinoamérica países como Brasil y México anunciaron la adopción de estrategias para la masificación de políticas a gran escala que dinamicen la incorporación de medidas de eficiencia energética. Sin embargo, se requiere de una implementación completa para evidenciar resultados importantes.

En Colombia se han planteado legislaciones relacionadas desde el año 2001 con la ley 697, en la cual se establece "*El Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno*" (Alis Restrepo, 2014). Posteriormente, se dieron otros avances como el PROURE 2010-2015 y la ley 1715 de 2014, los cuales han establecido las últimas plataformas de planeación y desarrollo de proyectos de eficiencia energética. Actualmente, están en vigencia una serie de incentivos tributarios y económicos que ha viabilizado su implementación. Así mismo, se ha planteado la normativa RETIQ que regula los parámetros de etiquetado de eficiencia energética en

Colombia, dando pautas a los fabricantes de electrodomésticos y demás equipos eléctricos.

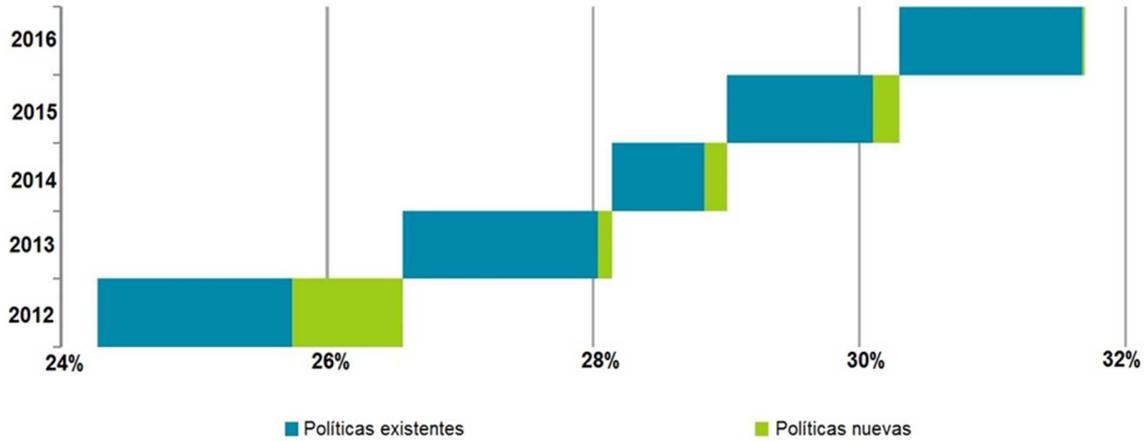


Figura 3. Tasa de Implementación de políticas de eficiencia energética a nivel global. Fuente: (EIA, 2017)

Todo esto ha llevado a la certificación de eficiencia energética en edificaciones, que es un proceso generado por algunas políticas descritas previamente, mediante el cual se obtiene un certificado de la eficiencia energética en una edificación y es reconocido por entidades estatales como requisito para efectuar transacciones inmobiliarias (IETcc-CSIC & AICIA, 2015). En la Figura 4 se muestran los componentes involucrados en dicho proceso de certificación.



Figura 4. Fases involucradas para el proceso de certificación de edificaciones. Fuente: Autor

En primera instancia se califica el estado energético de la edificación, efectuando la medición y cálculo de indicadores de consumo y rendimiento para determinar su comportamiento. Posteriormente, se desarrollan los procedimientos administrativos y legales para la emisión del certificado y las documentaciones respectivas. En países

como España se encuentra regulado por el “*Decreto Real 235/2013*”, donde se plantean los requerimientos técnicos y legales para la emisión de dichos certificados. Con base en la literatura, las herramientas SGEE permiten dinamizar este proceso a través de los métodos de caracterización energética que involucran, además dan lugar a la mejora de los indicadores establecidos a través de los métodos de monitoreo y mejoramiento continuo (Felix et al., 2016).

Con base en lo anterior, los SGEE participan activamente dentro del desarrollo de las políticas que propenden la mejora en la eficiencia energética de las edificaciones y permiten reducir su impacto ambiental. Las reducciones en el consumo eléctrico y mejoras en la eficiencia dependen de los tipos de cargas encontradas al interior de la edificación terciaria. En la Tabla 1 se define un conjunto de categorías que permiten clasificar las de mayor relevancia.

Tabla 1. Descripción de las categorías de cargas eléctricas en las edificaciones terciarias. Fuente: Autor

Categoría	Descripción
Iluminación	Cargas utilizadas para iluminar los diferentes espacios de las edificaciones.
Climatización de espacios	Cargas utilizadas en la adecuación del ambiente presentado en los espacios, con el fin de mejorar el confort ocupacional.
Calentamiento de agua	Cargas utilizadas para calentar agua al interior de las edificaciones, lo cual puede realizarse para diferentes fines específicos.
Cargas desconectables	Cargas cuya conexión eléctrica se presenta exclusivamente a partir de los toma corrientes de la instalación, pudiendo ser trasladadas de lugar fácilmente.
Equipos especiales	Cargas utilizadas en el desarrollo de actividades altamente especializadas para el servicio que se presta. También pueden ser aquellas que requieren conexiones eléctricas a tableros independientes por sus características técnicas.
Refrigeración	Cargas que permiten refrigerar productos o elementos específicos al interior de la edificación.

Dichas categorías abarcan conjuntos específicos de cargas con características similares en cuanto al empleo que se les brinda o su estructura de conexión, de forma que pueden involucrar subcategorías que permiten diferenciarlas. Dichas subcategorías se delimitan con base en los tipos de sistemas que consumen energía eléctrica netamente. De esta forma, la climatización de espacios puede abarcar sistemas de aire acondicionado o ventilación, así como el calentamiento de agua puede ser de resistencias o bombas de calor (Pérez-Lombard, Ortiz, & Pout, 2008). Las subcategorías más comunes para las cargas desconectables son los equipos de oficina como computadores y demás artefactos utilizados en diferentes actividades. Por su parte, las subcategorías de los equipos especiales difieren principalmente en cuanto al tipo de edificación, o bien otras cargas especializadas como asesores y sistemas de bombeo pueden entrar en esta categoría.

2.2 Sistemas de gestión de la energía eléctrica (SGEE)

Los SGEE son herramientas basadas en arquitecturas computacionales que permiten funciones como la identificación, monitoreo, control y optimización de los consumos eléctricos de un usuario, ya sea de tipo residencial, comercial o industrial (T. Yang, Clements-Croome, & Marson, 2017). En esta sección se definen las características generales de los SGEE, considerando en primera instancia su clasificación y potenciales de aplicabilidad. También se definen los principales componentes involucrados y el enfoque investigativo que se ha venido presentando en las últimas épocas.

2.2.1 Introducción a los SGEE

Las nuevas dinámicas económicas que involucran un interés creciente por el desarrollo sostenible, así como la necesidad de incrementar la productividad de las organizaciones, han llevado al planteamiento de nuevos enfoques estructurales que permitan optimizar los procesos y la utilización de los recursos. Entre los principales costos operacionales se encuentran los relacionados con el gasto energético, surgiendo diferentes conceptos para gestionarlo a través del mejoramiento continuo (Simona, Luca, Vito, Fabrizio, & Stefano, 2011). De esta forma, la gestión energética se define como “La efectiva utilización de la energía disponible para maximizar la rentabilidad y mejorar las posiciones competitivas a través de medidas organizacionales y la optimización en la eficiencia de los procesos” (Capehart, Turner, & Kennedy, 2012). La Tabla 2 describe algunas de las principales áreas y temáticas a considerar en la gestión energética.

Tabla 2. Temáticas relacionadas con la gestión energética. Fuente: (Simona et al., 2011)

Área de gestión energética	Temáticas relacionadas
Presupuestos para la energía	<ul style="list-style-type: none"> • Predicción de los consumos. • Monitoreo y análisis de desviaciones con respecto al presupuesto.
Control del consumo energético	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño e implementación de sistemas de monitoreo. • Predicción y control de consumo para usuarios específicos.
Optimización de los sistemas de potencia	<ul style="list-style-type: none"> • Definir los ajustes óptimos para los equipos. • Incrementar la eficiencia total del sistema.

Los SGEE permiten alcanzar en una organización las temáticas descritas en la Tabla 2 a través de la utilización de herramientas computacionales, potencializando de esa manera la correcta utilización de los recursos energéticos existentes (T. Yang et al., 2017). De esta forma, los SGEE facilitan la toma de decisiones para lograr la eficiencia energética, considerando retroalimentaciones constantes en los patrones de consumo y los respectivos procesos de mejoramiento continuo. Así mismo, los SGEE pueden clasificarse de acuerdo a su enfoque de aplicación y complejidad, considerando el

escenario de trabajo al que están sometidos. Entre los tipos de SGEE existentes se tienen (D. Lee & Cheng, 2016).

- Sistemas de gestión de la energía eléctrica para edificaciones.
- Sistemas de gestión de la energía eléctrica para industrias, compañías y fábricas.
- Sistemas de gestión de la energía eléctrica para diferentes tipos de cargas eléctricas como iluminación, HVAC, cargas desconectables, entre otras.

Independiente de la categoría del SGEE, en la literatura se ha establecido el procedimiento resumido en la Figura 5 para describir sus fases operativas (Brady & Abdellatif, 2017).

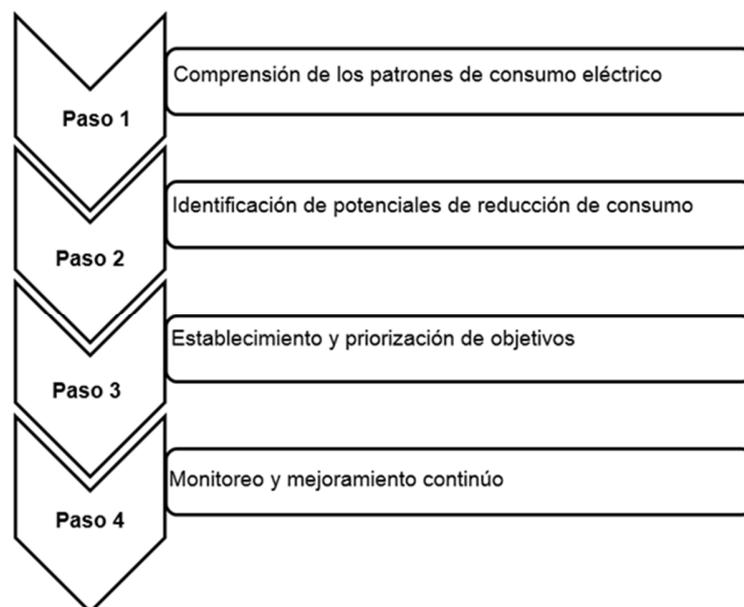


Figura 5. Fases operativas involucradas en un SGEE. Fuente: Autor

Como se observa a partir de la Figura 5, la operación de un SGEE comienza con la determinación y análisis de los patrones de consumo eléctrico del usuario final donde se implementa. Con base en estos, se establecen los potenciales de reducción de consumo eléctrico, lo cual requiere una descripción detallada de los sistemas y zonas de mayor relevancia, así como las estrategias aplicables. Posteriormente, se priorizan y definen los objetivos que permiten corregir la eficiencia energética, los cuales son evaluados a través de un proceso de mejoramiento continuo.

Lo anterior pone en evidencia los parámetros involucrados para el desarrollo de una metodología que permita la incorporación de SGEE en edificaciones terciarias. Por lo que, en primera instancia deben considerarse los métodos de adquisición y análisis de datos para la determinación de los patrones de consumo, los cuales facilitan la evaluación del estado actual y la adopción de retroalimentaciones para el aumento de la

eficiencia energética. También se debe tener claridad en cuanto los enfoques de reducción de consumo y ahorro económico, lo cual permite establecer las estrategias adecuadas y los potenciales de mejoramiento.

2.2.2 Componentes estructurales involucrados en un SGEE

Los SGEE encontrados actualmente ofrecen una serie de funcionalidades que facilitan la toma de decisiones para mejorar la eficiencia en el consumo de los recursos energéticos existentes. Los componentes estructurales de un SGEE permiten desarrollar las funcionalidades específicas que integran, las cuales de acuerdo con la literatura son las que se esquematizan en la Figura 6 (D. Lee & Cheng, 2016).

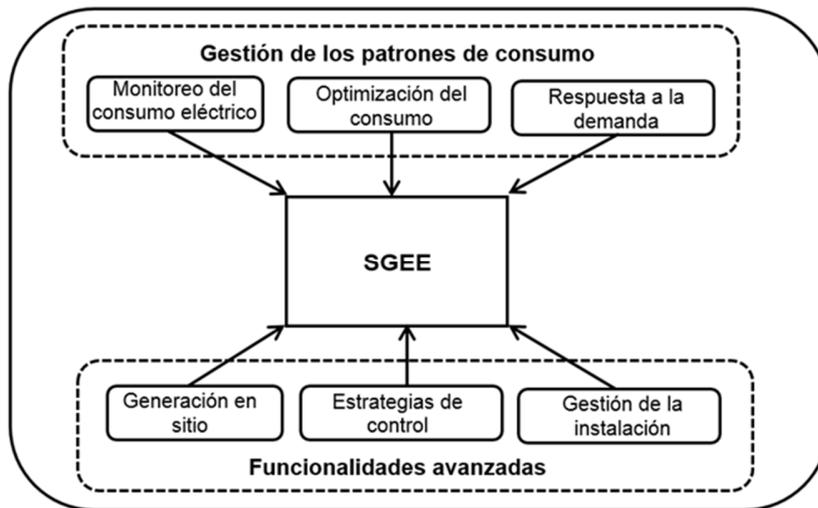


Figura 6. Funcionalidades de un SGEE para mejorar la eficiencia energética. Fuente: Autor

Como se observa, un SGEE puede integrar funcionalidades relacionadas únicamente con el monitoreo, análisis y reducción de los patrones de consumo actuales. El principal objetivo de estas se encuentra en la construcción de las curvas de carga eléctrica para rangos de tiempo definidos y la respectiva extracción de la información relacionada (Bicego, Farinelli, Grosso, Paolini, & Ramchurn, 2018). Además, permiten la optimización de los consumos presentados a través de la aplicación de diversas estrategias que involucran modificaciones en la potencia activa, los tiempos operativos y demás variables involucradas (Cuce, Harjunowibowo, & Cuce, 2016). También, en algunos casos se aplica la respuesta a la demanda en mercados eléctricos que permiten la obtención de ahorros económicos con base en la reprogramación operativa de las cargas (Christantoni, Oxizidis, Flynn, & Finn, 2016).

Adicional a lo anterior, se tienen otras funcionalidades avanzadas como la gestión de los recursos de generación en sitio. Estas pueden involucrar desde el monitoreo de la cantidad de energía generada y consumida hasta la evaluación y predicción del comportamiento de los sistemas de almacenamiento (Christantoni et al., 2016). También, pueden encontrarse estrategias de control que modifican automáticamente los valores y

estados de los diferentes sistemas con base en los objetivos energéticos planteados (Macarulla, Casals, Forcada, & Gangoells, 2017).

Con base en lo anterior, un SGEE puede tener diferentes niveles de complejidad que están también relacionados con el costo económico de implementación. El enfoque de este trabajo se encuentra en brindar un método para la implementación de un SGEE en edificaciones terciarias, considerando las funcionalidades para la gestión de los patrones de consumo. Entre estos no se tuvo en cuenta la respuesta la demanda, dado en el caso de estudio no se presentan estructuras tarifarias fijas o dinámicas que permitan analizar el impacto de las estrategias de ahorro propuestas en comparación con el estado inicial de la demanda de potencia en la edificación. En la Figura 7 se muestra la arquitectura para un SGEE que cumple con las condiciones anteriormente descritas, considerando los componentes propuestos en (Fowler, Anderson, & Ford, 2017).



Figura 7. Componentes estructurales involucrados en un SGEE. Fuente: Autor

El primer componente se refiere a los sensores, medidores y otros métodos como las estimaciones para recolectar los datos de consumo energético. Existen diferentes tecnologías que varían en cuanto sus capacidades, siendo la más básica aquella que únicamente percibe el consumo o la potencia activa del usuario. También existen otros medidores que registran el comportamiento de otras variables relacionadas con la calidad de la energía eléctrica con una gran precisión (Parker et al., 2015). Los sistemas de almacenamiento de datos son espacios digitales donde se acumulan los datos leídos durante las mediciones. Estos pueden estar integrados en los medidores, o bien pueden incorporarse al SGEE a través de tarjetas de adquisición independientes. Dependiendo del tipo de medidores disponibles y los periodos de registro, el almacenamiento de datos también puede efectuarse de forma manual. La comunicación y transferencia de datos suele basarse en redes alámbricas o inalámbricas que trasladan la información almacenada a los puntos de análisis y visualización en intervalos de tiempo previamente

establecidos. La complejidad de dichas redes depende de los intervalos de transmisión de datos y el número de medidores involucrados (Fowler et al., 2017). Posteriormente, los datos son llevados a un aplicativo o software que automatiza su análisis y visualización por medio de los periféricos de un computador. En el aplicativo se ponen en evidencia las funcionalidades del SGEE y según las opciones que presenten establecen el control de las variables de entrada y salida para alcanzar mejoras en el consumo energético.

2.2.3 Avances y enfoques investigativos alrededor de los SGEE

En la actualidad los SGEE se presentan como una alternativa para mejorar la eficiencia energética en las edificaciones, así como los costos económicos e impacto ambiental. Una de las principales barreras que presentan para su masificación son los altos costos iniciales de implementación, por lo que se han planteado herramientas de monitoreo y control como la descrita en (Bonilla, Samaniego, Ramos, & Campbell, 2018). Esta consiste en el desarrollo de una plataforma gráfica en Labview, la cual permite visualizar y controlar en tiempo real el consumo eléctrico, representando una reducción del 40% en los costos de implementación. Sin embargo, la arquitectura presentada aún requiere del uso de una gran cantidad de sensores. De esta forma, las técnicas para mejorar los procesos de recolección de datos con su respectivo análisis han sido objeto de interés durante los últimos años. Esto se realiza en (Javed, Rana, Cipcigan, & Marmaras, 2017) a través de la implementación de un SGEE basado en la nube, el cual tiene la capacidad de estimar los consumos futuros y evidenciar el potencial de reducción con la simulación de estrategias. Así mismo, en (Ozadowicz, Grella, & Babar, 2016) se propone un modelo de elasticidad para la demanda, el cual permite mejorar el proceso de estimación de la demanda eléctrica actual y sus proyecciones futuras.

Otro de los retos involucrados en la implementación de SGEE, se encuentra en la adecuada cuantificación de las condiciones operativas actuales y el rendimiento que presentan en el desarrollo de sus funcionalidades. Esto permite establecer el escenario actual del usuario y de esa forma trazar adecuadamente las acciones de mejoramiento que se deben adoptar para alcanzar los objetivos planteados. Con base en esto, en (Afroz, Higgins, Urmee, & Shafiullah, 2017) se evalúan las condiciones actuales de un SGEE implementado en una edificación académica, evaluando el impacto técnico y económico sobre los diferentes componentes operativos. Además, en (Gangolells, Casals, Forcada, MacArulla, & Giretti, 2016) se examina el impacto de un SGEE presente en una estación de metro, demostrando buen rendimiento en términos de tiempo de retribución y potenciales de ahorro energético. También se han planteado estrategias para mejorar sus resultados a través de la aplicación de sistemas de almacenamiento energético, los cuales permitan sobrellevar las fluctuaciones del mercado y los recursos renovables. En (Hemmati, 2017) se plantea un enfoque que considera todas las condiciones operativas del usuario y determina tanto los patrones óptimos de carga como su capacidad y potencia nominal. También se han planteado métodos para el control predictivo, los cuales permitan anticipar los eventos operativos del usuario y de esa forma

optimizar su consumo. Un procedimiento para la implementación de este tipo de controles basado en redes neuronales artificiales se presenta en (Macarulla et al., 2017), cuya validación permitió obtener ahorros energéticos del 20%.

2.3 Adquisición y análisis de datos para SGEE

El proceso de adquisición de datos juega un papel significativo en la implementación y operación de los SGEE, representando junto con la asistencia del personal técnico, el 85% de los costos económicos asociados (Cao, Dai, & Liu, 2016). Por su parte, el análisis de los datos recolectados involucra la comprensión de las herramientas matemáticas y estadísticas para la extracción de la información de los consumos energéticos. En esta sección se recopilan los métodos existentes para la adquisición de los datos que alimentan a los SGEE, además de las técnicas empleadas en la literatura para desarrollar los respectivos análisis.

2.3.1 Métodos de recolección de datos

La primera etapa para la implementación de un SGEE se encuentra en la recolección de los datos que permitan establecer los patrones de consumo eléctrico de la edificación analizada. En esta sección se describen los métodos más utilizados para efectuar dicha recolección, así como aquellos que se trabajan en la literatura para mejorar los procedimientos aplicados actualmente.

Medidores inteligentes (MI)

Son dispositivos que integran a la medición de las variables eléctricas, los sistemas de adquisición de datos y puertos de comunicación requeridos para la transferencia de datos al aplicativo (Kabalci, 2016). La arquitectura empleada en un MI para efectuar el proceso de adquisición de datos se muestra en la Figura 8.

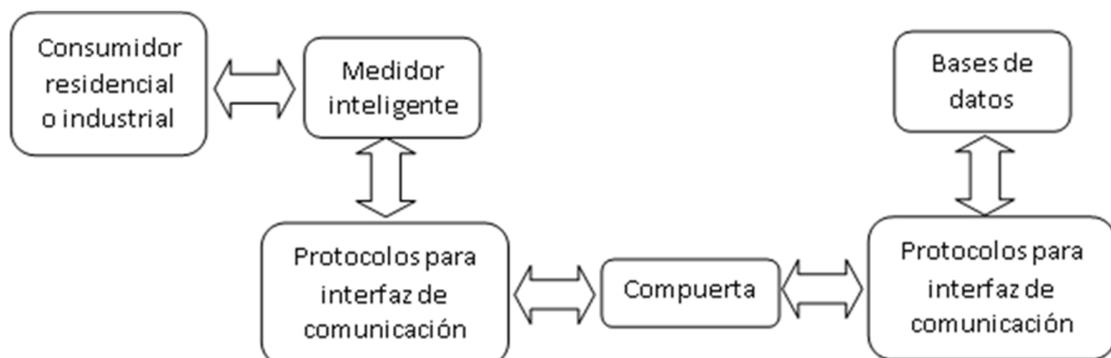


Figura 8. Arquitectura para recolección de información con medidores inteligentes. Fuente: (Depuru, Wang, & Devabhaktuni, 2011)

Puede observarse que el MI interactúa directamente con la instalación del usuario, la cual puede ser residencial, comercial o industrial, transmitiendo la información recolectada

hacia una base de datos por medio de protocolos de comunicación. Entre las tecnologías de comunicación utilizadas se encuentran: La conectividad Bluetooth, RS-232/485, WiMAX y Ethernet, estableciendo un flujo bidireccional de datos entre los usuarios y proveedores de energía (Depuru et al., 2011).

Los MI han sido aplicados en una gran diversidad de estudios para establecer las funcionalidades de los SGEE. Es el caso de (Zhao, Zhang, & Liang, 2013), donde se monitorean los patrones de consumo eléctrico de una edificación para efectuar el posterior análisis que conlleve al planteamiento de estrategias de ahorro. Por su parte, en (Azaza & Wallin, 2017) se utiliza un MI para categorizar los tipos de usuarios involucrados en un programa de respuesta a la demanda, aplicando a los datos recolectados un análisis clúster. Así mismo, en (Minchala-Avila, Armijos, Pesántez, & Zhang, 2016) se evalúa a través de simulaciones el diseño de un MI que opera en un contexto de redes inteligentes, el cual permite evidenciar las reducciones en los consumos por la reprogramación operativa de cargas.

Es importante mencionar que las altas inversiones en la implementación representan la principal barrera para la masificación de este tipo de instrumentos (Carvalho, 2015). Por tanto, es necesario el planteamiento de otras alternativas como las que se describen a continuación.

Redes inalámbricas de red sensores

Representan una de las tecnologías emergentes de bajo costo y alto potencial de masificación para la caracterización de patrones de consumo energético. A través de las redes de sensores inalámbricas o Wireless Sensor Networks (WSN) se logra la adquisición de datos con un bajo costo, flexibilidad de implementación, y rápido despliegue (Gungor, Lu, & Hancke, 2010).

En la literatura se han evaluado diferentes estructuras de monitoreo para el ámbito energético basadas en WSN, las cuales han facilitado el diagnóstico eficiente de los componentes eléctricos involucrados en procesos productivos. Esto puede observarse en (B. Lu, Habetler, & Harley, 2006), donde se plantea un sistema de monitoreo basado en WSN para verificar el consumo y comportamiento de motores eléctricos. En las conclusiones presentadas para dicho estudio se establece que las estructuras consideradas pueden replicarse para su aplicabilidad en plantas industriales a gran escala. También se han planteado aplicaciones para hacer más eficientes los procesos de transmisión, distribución y generación de energía eléctrica y potenciar de esa manera las redes inteligentes (Fadel et al., 2015; Rashid & Rehmani, 2015). De esta forma, se observa que las WSN son un método de monitoreo que actualmente se encuentra en desarrollo, pero que presenta el potencial para reducir los costos de implementación ligados a los SGEE.

Monitoreo no intrusivo

Es un método que se enfoca en analizar las señales generadas por las cargas eléctricas, con el fin de identificarlas y evaluar su patrón de consumo sin necesidad de tener disponible un extenso número de sensores, ofreciendo con esto gran simplicidad y bajo costo de implementación (H. H. Chang, 2012). Un esquema resumido de los componentes involucrados en el monitoreo no intrusivo (MNI) se muestra en la Figura 9.

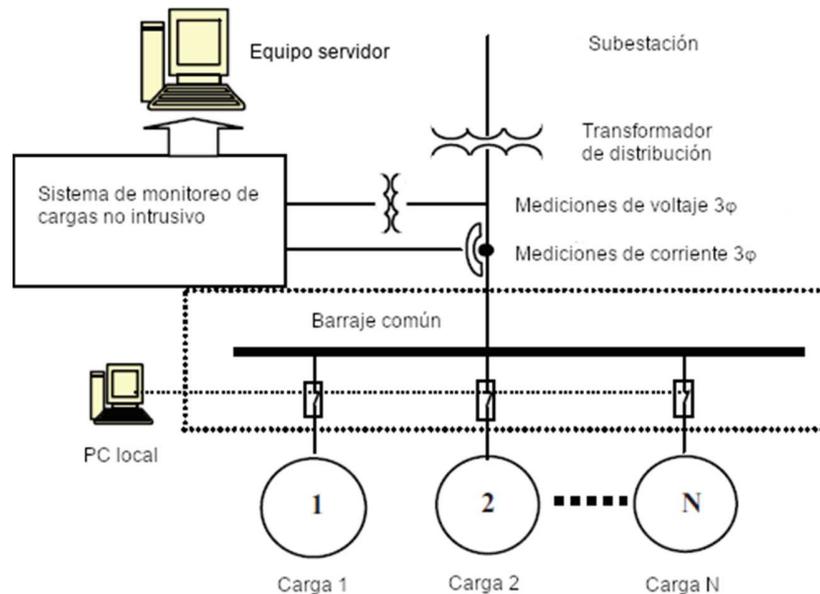


Figura 9. Componentes para la adquisición de datos e identificación de cargas en monitoreo no intrusivo. Fuente: (H.-H. Chang, Lin, & Lee, 2010)

El MNI requiere una gran precisión para el reconocimiento de las señales que generalmente son de corriente y voltaje, ya sea en estado estable o en los transitorios de encendido o apagado. Es por esto, que el uso de técnicas para el reconocimiento de patrones son de gran trascendencia e interés investigativo en esta área (Roos, Lane, Botha, & Hancke, 1994). Además, diversos estudios se han enfocado en demostrar la viabilidad técnica del MNI, como es el caso de (Cox, Leeb, Shaw, & Norford, 2006). En este se analiza la distorsión de voltajes en los eventos transitorios, para la identificación de cargas individuales en el sector residencial y comercial. El interés por darle viabilidad al MNI no solo se ha limitado a los sectores residencial y comercial, sino que también se han realizado estudios para su aplicación en la industria a pesar de la complejidad y diversidad de cargas allí presentes. Es el caso presentado en (Sebastian, Manjusha, & Anto, 2013), donde se evalúa la factibilidad para el monitoreo y análisis de motores de inducción utilizando medios no intrusivos, encontrando porcentajes de error bajos comparado con estructuras de monitoreo basadas en la implementación de un gran número de sensores. También se han incorporado estrategias que faciliten el análisis y la identificación del comportamiento de las cargas en este ambiente como las redes neuronales artificiales, las cuales se valen del análisis de transitorios y las señales mencionadas anteriormente (H.-T. Yang, Chang, & Lin, 2007).

Actualmente el MNI enfrenta dos retos principales, el primero de ellos se encuentra en mejorar la precisión de reconocimiento de cargas. De esta forma, se han enfocado estudios como (H.-H. Chang et al., 2010) que plantea una metodología que permite concatenar el análisis de las señales transitorias y las de estado estable a través de redes neuronales. El segundo consiste mejorar la velocidad de procesamiento sin afectar los requerimientos computacionales. Esto se ha abordado principalmente por medio de la evaluación de diferentes técnicas de optimización y reconocimiento de patrones (H.-H. Chang, Lin, Chen, & Lee, 2012).

Estimaciones matemáticas

Adicional a la recolección de datos a través de mediciones en sitio, también se han utilizado métodos de estimación para calcular la potencia activa de cargas específicas como se plantea en (Deru, Blair, & Torcellini, 2005). Las estrategias para efectuar dichas estimaciones se han basado principalmente en el comportamiento de datos históricos o el conocimiento empírico del personal técnico. Por tanto, se han planteado metodologías como la descrita en (Frank & Sen, 2011) que utiliza datos procedentes de estudios gubernamentales para predecir los consumos eléctricos de edificaciones terciarias. Similarmente, en (Menezes, Cripps, Buswell, Wright, & Bouchlaghem, 2014) se plantean dos modelos para estimar el consumo relacionado con cargas de bajo consumo en edificios de oficinas. Con esto se estableció un enfoque para la predicción del consumo operacional de diferentes cargas que suelen abarcar gran parte de la capacidad instalada en este tipo de edificaciones. También en (Gulcu & Kodaz, 2017) se evalúa la aplicación de algoritmos de optimización para estimar los consumos energéticos de sectores económicos específicos, analizando el comportamiento de diferentes indicadores.

2.3.2 Tipos de análisis de datos para SGEE

Las herramientas de análisis empleadas por los SGEE se basan en estrategias matemáticas y estadísticas que facilitan el desarrollo de las evaluaciones energéticas al interior del usuario en que se aplican. De acuerdo con estudios de la literatura especializada como (EIA, 2013), dicho análisis puede abarcar los tres niveles de detalle que se muestran en la Figura 10.

El nivel 1 se basa en la descripción del comportamiento ligado a los patrones de consumo, considerando sus variaciones en diferentes periodos de tiempo. Este componente descriptivo da lugar a la obtención de información realista de la conducta energética en el objeto de estudio y la subsecuente construcción de una imagen realista de sus características. Esta primera fase de análisis involucra principalmente la utilización de métodos de estadística descriptiva para obtener y evaluar los gráficos procedentes de las muestras de datos.



Figura 10. Niveles de análisis para la evaluación energética integrada en los SGEE. Fuente: Autor

De esta forma, entre las funcionalidades de los SGEE que se desarrollan a partir de esta se tienen:

- Evaluación de patrones de consumo eléctrico
- Visualización de métricas de rendimiento
- Identificación y análisis de tendencias
- Benchmarking
- Perfil de carga.
- Seguimiento de objetivos
- Notificaciones de consumo y costo
- Identificación de desperdicios

El nivel 2 del análisis se relaciona con la determinación de correlaciones entre el consumo energético y las respectivas variables de influencia consideradas. Para ello suele efectuarse una evaluación de sensibilidad, consistente en la cuantificación del impacto asociado a las diferentes variables sobre los perfiles adoptados por los patrones de consumo. Esto permite evidenciar los factores externos e internos al usuario que explican su comportamiento energético (Sretenovic, 2013).

El nivel 3 abarca la construcción de las proyecciones futuras para los consumos eléctricos, con base en la información obtenida a través de los análisis efectuados previamente. Estos varían su nivel de complejidad dependiendo de la precisión de los resultados requeridos y los tiempos de ejecución, para lo cual pueden plantearse diversos tipos de modelos matemáticos o desarrollarse el análisis a partir de la curva de carga (Kusiak, Li, & Zhang, 2010).

2.3.3 Tendencias investigativas en el análisis de datos para SGEE

Los datos operativos de las edificaciones permiten reflejar su comportamiento, y de esta forma facilitar el proceso de toma de decisiones al interior de la arquitectura de un SGEE. La minería de datos se presenta en la literatura como una técnica avanzada para el análisis de una gran cantidad de datos, clasificándose en análisis de datos no supervisados y supervisados. El primero de ellos suele ser el más utilizado para el análisis de datos en edificaciones, y en (Fan, Xiao, Li, & Wang, 2018) se presenta una revisión de sus enfoques investigativos actuales. Entre estos se encuentran la identificación de patrones, detección de anomalías en la operación, descubrimiento de conocimiento y mejoras en los tiempos de ejecución. Esto aplica principalmente en la descripción y predicción de la demanda energética, comportamiento de la ocupación y diagnósticos de detección de fallas (Yu, Haghghat, & Fung, 2016). También, en (Yu et al., 2016) se destaca la utilización de las diferentes técnicas de minería de datos que permiten establecer en los SGEE dichas funcionalidades de descripción y predicción. Así mismo, en (Fan & Xiao, 2017) se presenta un caso de estudio enfocado en el empleo de minería de datos para determinar las condiciones operativas y oportunidades de ahorro energético en una edificación.

Por su parte, los modelos basados en datos son una alternativa práctica para el desarrollo de predicciones de consumo energético. En (Amasyali & El-Gohary, 2018) se presenta una recopilación de las técnicas matemáticas y estadísticas que han sido útiles en diferentes estudios para determinación de este tipo de modelos. Una aplicación específica de detección de anomalías en los patrones de consumo se presenta en (Cui & Wang, 2017), donde se evalúan cinco modelos basados en técnicas estadísticas como la regresión polinomial y distribución Gaussiana. Esto permitió reducir el esfuerzo establecido por parte de los usuarios para detectar eventos anormales en sus patrones de consumo.

2.4 Enfoques de reducción de consumo a través de los SGEE

En esta sección se resumen y describen los diferentes métodos utilizados por los SGEE encontrados en la literatura para alcanzar reducciones en el consumo eléctrico, y de esa forma contribuir a mejorar la eficiencia energética. En primera instancia se considera la gestión eficiente de cargas eléctricas, siendo esta la principal perspectiva del presente trabajo para determinar los potenciales de ahorro en una edificación. Posteriormente, se describe la generación en sitio y el impacto técnico-económico encontrado en la literatura con la implementación y administración de este tipo de recursos. Por último, se describe la respuesta a la demanda mencionada, la cual se presenta como una estrategia para alcanzar ahorros económicos por medio de la reprogramación operativa de las cargas.

2.4.1 Gestión eficiente de cargas eléctricas

Este enfoque se basa en garantizar la adecuada utilización de las cargas eléctricas en términos de potencia instalada y tiempos operativos, de manera que no se afecte el confort de los ocupantes o el desarrollo de las actividades específicas. De este modo, se utilizan estrategias que pueden involucrar reconversión tecnológica de equipos o la gestión del tiempo operativo en diferentes cargas existentes (Jia & Lee, 2018). Las estrategias más comunes para las diferentes cargas se describen en el Anexo 6.

2.4.2 Generación en sitio para edificaciones

La incorporación de sistemas basados en recursos renovables para la generación en sitio permite a los usuarios de edificaciones reducir la demanda de los sistemas interconectados, contribuyendo en ahorros que pueden estar entre el 15% y 30% (Lazos, Sproul, & Kay, 2014). Los patrones de consumo, así como la variabilidad de este tipo de recursos están ligados a diferentes variables que pueden ser estimadas y gestionadas a través de la recolección de datos y algoritmos previamente establecidos (Lazos et al., 2014). En la literatura existen diferentes estudios en los que se integran los SGEE con este tipo de sistemas para la generación en sitio. Es el caso de (Rabhi, Bosch, & Elhajjaji, 2015), donde se plantea una arquitectura para la gestión y el control de este tipo de sistemas, direccionando los resultados a la optimización de la energía extraída y a los periodos de carga y descarga de la batería. Un esquema similar se propone en (Hemmati, Saboori, & Jirdehi, 2017) para superar la incertidumbre establecida por los recursos eólicos y solares, así como la congestión en las redes de distribución. También se han planteado algoritmos para controlar adecuadamente la energía suministrada a cargas específicas a partir de sistemas de generación en sitio, como es el caso de (Ouachani, Rabhi, Yahyaoui, Tidhaf, & Tadeo, 2017). En este se plantea un esquema que relaciona un sistema híbrido (solar y eólico) con la demanda producida por un sistema de bombeo de agua. Este enfoque permite reducir los costos de implementación del SGEE y ser priorizado a los equipos de mayor demanda al interior de una edificación.

2.4.3 Respuesta a la demanda

La respuesta a la demanda permite establecer cambios en la operación de las cargas eléctricas a través de movimientos horarios, modificando los patrones de consumo del usuario. Esto se hace con el fin de garantizar la confiabilidad del sistema, y al mismo tiempo permitirle al usuario la obtención de ahorros económicos en su facturación. Se suelen implementar a través de programas gubernamentales como los descritos en (Strasser et al., 2015).

Los SGEE que cuentan con esta funcionalidad permiten obtener propuestas automatizadas para la operación de las cargas, basándose en algoritmos con funciones objetivo que buscan minimizar los costos de electricidad, el consumo global y los costos de inversión (Ahmad et al., 2015). Así mismo se consideran como variables de decisión la reorganización de las cargas eléctricas en diferentes horarios. Para este caso, se tienen restricciones que describen las características del usuario bajo análisis, las cuales pueden ser residenciales, comerciales o industriales. Estos segmentos difieren en cuanto

al tipo de cargas y las metodologías de operación, siendo los de menor complejidad técnica los dos primeros (Mohagheghi & Raji, 2014).

3. Metodología

Este trabajo describe un procedimiento metodológico para soportar y dinamizar la implementación de SGEEs en edificaciones terciarias. Así, se considera la determinación de los patrones de consumo y la identificación de estrategias para su reducción en las diferentes cargas, con el fin de brindar instrumentos que permitan la planeación y ejecución de acciones de mejora. De igual forma, se tiene en cuenta el desarrollo de un aplicativo digital que efectúa automáticamente los cálculos requeridos para dichos patrones, y además estima los potenciales de ahorro con base en el comportamiento actual. Esto facilita la utilización de escenarios de cálculo basados en las estrategias de ahorro energético seleccionadas para verificar el impacto de las mejoras planteadas, así como comparar los resultados para tomar las acciones más oportunas.

Con base en lo anterior, el proyecto se desarrolló en cuatro etapas. En la primera etapa se realizó la búsqueda y análisis de información sobre tipos de cargas eléctricas involucradas en las edificaciones terciarias. De los datos encontrados, se tuvieron en cuenta variables que relacionaban el contexto de utilización, el porcentaje de consumo y demás aspectos relevantes. Luego se diseñó un protocolo de medición para cada tipo de carga, considerando los tiempos y condiciones específicas para la caracterización de los patrones de consumo.

Posteriormente, se revisaron y valoraron diferentes estrategias para la reducción del consumo eléctrico en edificaciones terciarias. Así mismo, se evaluó información técnica obtenida a partir de fuentes como bases de datos y sitios web de diferentes entidades promotoras de la eficiencia energética, con el fin de evidenciar las nuevas tendencias tecnológicas y estrategias disponibles comercialmente para incrementar la eficiencia energética en cada tipo de carga.

La tercera etapa consistió en el desarrollo de un aplicativo para el cálculo y análisis de los patrones de consumo obtenidos previamente. También, permite calcular el potencial de ahorro de las estrategias de reducción de consumo analizadas previamente. Para definir la plataforma se realizó una búsqueda de información técnica sobre diferentes tipos de aplicaciones existentes adaptables a los SGE, segmentándolas en términos de complejidad técnica, costos asociados y flexibilidad de implementación.

Finalmente, la metodología desarrollada fue validada en el edificio Parque i del Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM - sede Fraternidad. Sobre esta edificación se realizó la adquisición y análisis de datos, y el cálculo de ahorros de acuerdo con el planteamiento de estrategias para la reducción del consumo eléctrico.

3.1 Caracterización de cargas eléctricas y patrones de consumo

La determinación de las particularidades asociadas a las cargas eléctricas y patrones de consumo se basó en las fases descritas en el esquema de la Figura 11, las cuales se describen detalladamente en las respectivas subsecciones. De esta forma, dicho procedimiento permite establecer el comportamiento eléctrico en los diferentes tipos de edificaciones terciarias definidos a continuación.

Como se observa en la Figura 11, el procedimiento comienza con una clasificación de los diferentes tipos de edificaciones terciarias existentes, identificando y describiendo las cargas eléctricas que suelen encontrarse en ellas. Posteriormente, se describieron y seleccionaron las variables que afectan el consumo eléctrico. Dichas variables fueron utilizadas para determinar la curva de carga de la edificación en que se aplica el SGEE, obteniendo su respectivo valor a través de la evaluación de las condiciones estructurales y operativas. Luego de recolectar la información respectiva, se aplicaron los modelos matemáticos y las mediciones definidas previamente para la determinación de los patrones de consumo. Finalmente, se describen las herramientas empleadas para el análisis de estos últimos, las cuales suponen un elemento relevante en la programación del aplicativo y la valoración de los potenciales de ahorro.

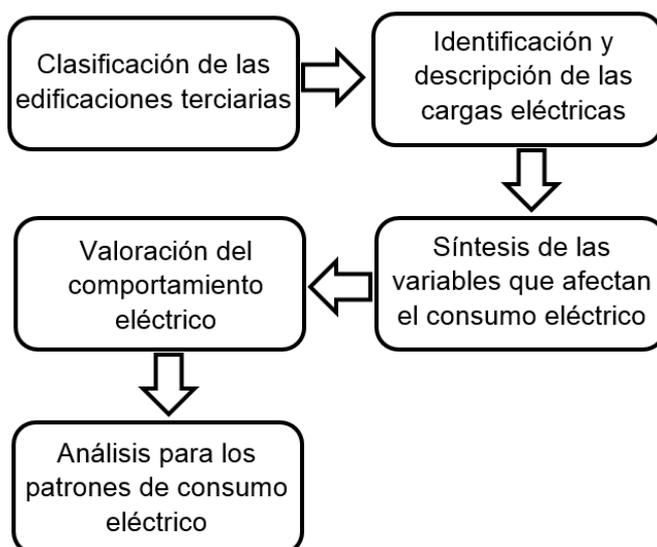


Figura 11. Procedimiento para la caracterización de cargas eléctricas y patrones de consumo. Fuente: Autor

3.1.1 Clasificación de edificaciones terciarias

La clasificación de los diferentes tipos de edificaciones terciarias se basó en los conceptos provistos por la administración de información energética de los Estados Unidos, los cuales se resumen en la Tabla 3 (U.S Energy Information Administration, 2016).

Tabla 3. Descripción de los tipos de edificaciones terciarias. Fuente: (U.S Energy Information Administration, 2016)

Tipo de edificio	Definición
Educativo	Edificación utilizada para la instrucción académica o técnica en salones de clase. También para el desarrollo de actividades investigativas.
Servicio de alimentos	Edificios utilizados para la preparación de alimentos y bebidas para su consumo.
Salud	Edificios utilizados para diagnóstico y tratamiento de pacientes.
Alojamiento	Edificios utilizados para ofrecer múltiples comodidades a residentes, tanto en el corto como el largo plazo.
Mercantil	Edificios utilizados para la venta y exhibición de productos, los cuales pueden componerse de múltiples establecimientos conectados.
Oficinas	Edificios utilizados para espacios de oficina en general, profesionales o administrativos.
Públicos	Edificios en los que las personas se reúnen para actividades sociales o recreativas.
Orden público y seguridad	Edificios utilizados para la preservación de la ley y el orden o la seguridad pública.
Servicio	Edificios en los que se provee algún tipo de servicio diferente a las comidas o venta al detal de bienes.
Almacenes y depósitos	Edificios utilizados para el almacenamiento de bienes, productos manufacturados o materias primas.

Es importante mencionar que en una edificación pueden coexistir dos o más de las categorías mencionadas en la Tabla 3. Es el caso de la construcción utilizada para la validación de este trabajo, donde se desarrollan simultáneamente actividades educativas, de oficina y servicio. Con base en esto, se segmentó la búsqueda de información técnica utilizada para la posterior identificación de las cargas eléctricas presentes en estos tipos de edificaciones.

3.1.2 Identificación y descripción de las cargas eléctricas

La identificación de las cargas eléctricas utilizadas en los tipos de edificaciones mencionadas anteriormente, se centralizó en primera instancia en una revisión y análisis de documentaciones técnicas. Estas abarcaron estudios procedentes de la literatura e informes emitidos por entidades internacionales ligadas a la eficiencia energética en edificaciones. La selección de los documentos que fueron analizados se basó en los siguientes criterios:

- El análisis se hizo en edificaciones terciarias
- Se describen las cargas eléctricas existentes

- Se presenta un análisis de la relevancia presentada por las diferentes cargas eléctricas en el consumo total de la edificación

En total se seleccionaron 50 documentos, los cuales fueron clasificados de acuerdo al tipo de edificación que involucran en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de referencias seleccionadas para la identificación de cargas eléctricas

Tipo de edificio	Referencias
Educativo	(Ding et al., 2018) (Escobedo et al., 2014) (Dias Pereira, Raimondo, Corgnati, & Gameiro Da Silva, 2014) (A. B. Metzger & Manager, 2013) (Rensburg, Mathews, & Pelzer, 2012)
Servicio de alimentos	(Wei et al., 2018) (Barnes & Parrish, 2016) (Allouhi et al., 2015) (Paillat, 2011) (Tassou, Ge, Hadawey, & Marriott, 2011) (Pérez-Lombard et al., 2008) (E Source, 2010)
Salud	(Morgenstern, Li, Raslan, Ruyssevelt, & Wright, 2016) (Christiansen, Kaltschmitt, & Dzukowski, 2016) (Rohde & Martinez, 2015) (CADDET, 2005)
Alojamiento	(Bianco, Righi, Scarpa, & Tagliafico, 2017) (Chedwal, Mathur, Agarwal, & Dhaka, 2015) (Rohde & Martinez, 2015) (H. E. Solutions, 2011) (Placet et al., 2010) (ICF International, 2008) (EPTA, 2007) (Hu, Chen, & Chuah, 2004)
Mercantil	(Jing, Wang, Zhang, Li, & Zhao, 2017) (Kim & Srebric, 2017) (Chou, Chang, & Hsu, 2016) (Barnes & Parrish, 2016) (Santiago, Vazquez, & Parrish, 2016) (Ruparathna, Hewage, & Sadiq, 2016) (Frank & Sen, 2011)
Oficinas	(Deb & Lee, 2018) (Jung, Paiho, Shemeikka, Lahdelma, & Airaksinen, 2018) (Skanska, 2016) (S. Lu, Zheng, & Kong, 2016) (Knissel, 2011) (P. Solutions, 2011) (E Source Companies LLC., 2010)
Públicos	(Wang, Shi, Chen, & Zha, 2017)

Orden público y seguridad	(Brady & Abdellatif, 2017)
Servicio	(Cao et al., 2016) (Agency, 2016) (ISO, 2013) (Agency, 2012) (Mckenney, Guernsey, Ponoum, & Rosenfeld, 2010) (U.S. Department of Energy, 2010)
Almacenes y depósitos	(W. L. Lee & Tan, 2017) (X. Li, Campana, Li, Yan, & Zhu, 2017) (Y. Li, Wang, Ji, & Liao, 2013)

En los diferentes estudios analizados se han identificado los tipos de cargas eléctricas de mayor relevancia, o bien las que aparecen en los estudios con mayor frecuencia, considerando para ello las categorías y subcategorías definidas en la sección 2.1. Se consideraron para los análisis posteriores aquellas cargas que aparecen como mínimo en el 60% de las referencias analizadas. Dicho porcentaje límite se obtuvo por medio del cálculo de muestras poblacionales descrito en (Gallego, 2015).

3.1.3 Síntesis de las variables que afectan el consumo eléctrico

Luego de identificar y describir las cargas eléctricas asociadas a los tipos de edificaciones mencionadas, se concretaron las variables que afectan los patrones de consumo en los diferentes contextos operativos del objeto de estudio. En la literatura se definen y clasifican las variables de mayor relevancia como se muestra en la Figura 12 (Agency, 2013).

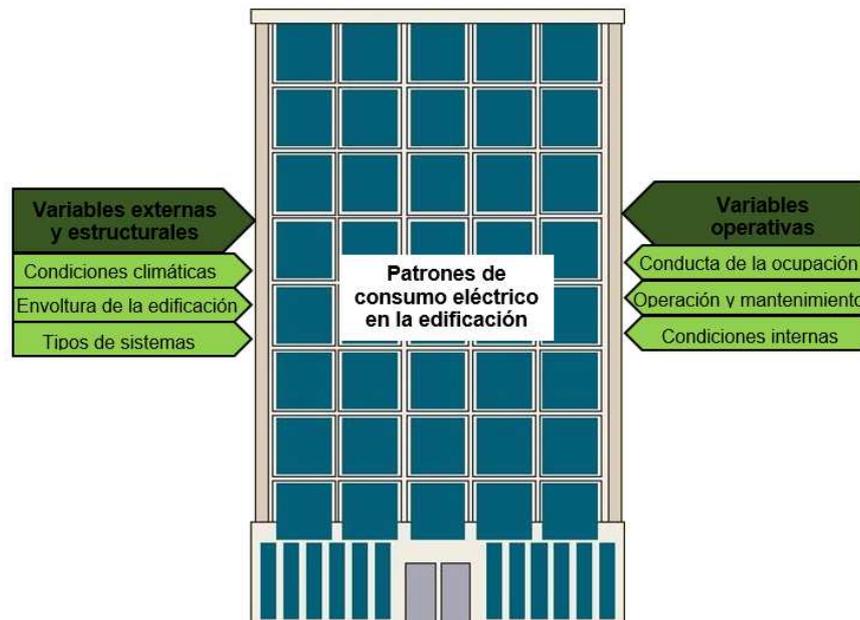


Figura 12. Variables de influencia en la determinación de los patrones de consumo eléctrico.
Fuente: Adaptado de (Agency, 2013)

Para efectos de este trabajo no se tomaron en cuenta las condiciones climáticas y la envolvente del edificio con el fin de simplificar el análisis. De igual forma, las condiciones de mantenimiento tampoco fueron consideradas debido a la dificultad para obtener la información referente. Las demás variables establecieron el punto de partida para determinar el comportamiento del consumo horario de la edificación donde se implementa el SGEE.

Tipos de sistemas o equipos

Los tipos de sistemas se refieren a las subcategorías de cargas eléctricas que se encuentran específicamente en la edificación objeto de estudio y permiten el cumplimiento de sus actividades puntuales. De esta forma, el análisis de esta variable inició con la identificación de las cargas eléctricas presentes en la edificación y la recolección de sus potencias nominales. Posteriormente, se determinó la capacidad instalada, considerando la participación de la potencia nominal de cada carga. Para dicho análisis se establecieron dos escenarios, los cuales permitieron comparar la relevancia de los equipos disponibles en las diferentes zonas. El primero de ellos se basó en la evaluación de la capacidad instalada general, en la cual se consideraron las cargas encontradas en toda la edificación y se determinaron las relaciones entre ellas. El segundo escenario tuvo en cuenta las cargas asociadas a los diferentes espacios de forma independiente.

Comportamiento de la ocupación

El comportamiento de la ocupación tiene diferentes formas de influencia sobre el consumo eléctrico de una edificación. Este trabajo se orientó en el impacto producido sobre el periodo operativo de las cargas eléctricas que según la literatura, se encuentran correlaciones de incluso el 80% (Kim & Srebric, 2017). Para la evaluación de esta variable se consideraron los horarios laborales involucrados por usuarios de la edificación con las siguientes características:

- Tiene por lo menos un puesto de trabajo al interior de la edificación
- Cumple horarios de trabajo definidos
- En el puesto de trabajo existe al menos una carga eléctrica

Estas características se establecieron para facilitar la predicción y el análisis del comportamiento de esta variable hora a hora, con lo cual se concibieron estimaciones tanto de la ocupación general de la edificación como de los diferentes espacios. Para estos análisis se definió un factor de ocupación como el descrito en (Davis & Nutter, 2010) que relaciona el número de personas en cada hora respecto a los niveles máximos determinados. De igual forma, se establecieron dos escenarios con base en la conducta diaria de los factores de ocupación. El primero de ellos consideró el tiempo semanal (lunes a viernes), mientras que el segundo estuvo asociado a los fines de semana (sábado y domingo). Para ambos escenarios se evaluaron los respectivos perfiles ligados

a cada uno de los días, teniendo en cuenta los puntos horarios de relevancia y los valores del factor de ocupación.

Operación de las cargas eléctricas

Por su parte, la operación es una variable relacionada con los valores de potencia y los tiempos funcionales de las cargas eléctricas tenidas en cuenta en la capacidad instalada, los cuales se evidenciaron en los perfiles de la curva de carga. Para la determinación de los valores de potencia se confrontó la cantidad nominal de los sistemas con datos procedentes de mediciones de su operación. De esta forma, se establecieron valores característicos de la potencia activa en cada carga, obtenidos a partir de dichas mediciones, que consideran sus respectivas condiciones operativas al interior de la edificación. Los procedimientos concernientes a las mediciones realizadas en este análisis se explican a detalle más adelante en la subsección 3.1.4.

Para la determinación de los tiempos funcionales se estableció en primera instancia una clasificación entre cargas de uso general y de uso independiente. La primera categoría se refirió a aquellos sistemas cuya operación se desarrolla para la totalidad de la edificación o un espacio definido. Los tiempos funcionales para las cargas de esta categoría dependen de la estancia de uno o más usuarios, o también de patrones establecidos previamente. Con base en esto, el periodo operativo de este tipo de cargas se recolectó ya sea a partir de horarios estimados o del comportamiento del factor de ocupación, según el caso. De igual forma, es importante mencionar que dentro de las cargas de uso general se encuentran aquellas de operación continua, las cuales definen la carga base de la edificación objeto de estudio. Las cargas de uso independiente basan sus tiempos operativos en la utilidad determinada por un único ocupante, por tanto, la información requerida para esta clase se fundamentó en los horarios y condiciones de los usuarios involucrados.

Condiciones internas de las cargas eléctricas

Por último, las condiciones internas que definen los rasgos operativos de las cargas, permitieron establecer los escenarios en que se efectuaron las mediciones mencionadas anteriormente. Dichas condiciones fueron determinadas como se explica más adelante.

3.1.4 Valoración del comportamiento eléctrico en la edificación

Luego de tener claridad sobre las variables que influyen en los patrones de consumo eléctrico, se estableció un procedimiento para la obtención de sus respectivos valores y los cálculos matemáticos efectuados. El esquema mostrado en la Figura 13 muestra las fases involucradas y en el Anexo 1 se encuentran las plantillas utilizadas. Dicho procedimiento, se basó en la recolección de la información estructural y operativa de la edificación para efectuar los cálculos y análisis de acuerdo con sus condiciones actuales.

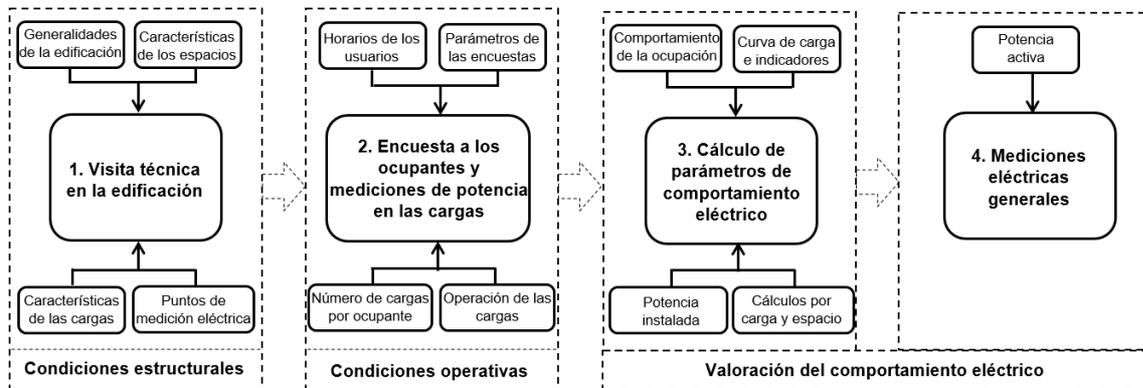


Figura 13. Fases para la valoración de los patrones de consumo eléctrico. Fuente: Autor

Condiciones estructurales

Esta etapa abarca la recolección de los datos asociados a las condiciones arquitectónicas de la edificación, así como los tipos de cargas eléctricas existentes en los diferentes espacios, considerando sus respectivas características y datos de placa. También, se identifican los diferentes puntos de alimentación eléctrica y el circuito general, donde se realizaron las mediciones mencionadas en los apartados anteriores.

El desarrollo de esta etapa se basa en la ejecución de una visita técnica al interior de la edificación que se pretende analizar en el aplicativo digital, describiendo inicialmente sus aspectos generales. Entre dicha información general, se tiene el nombre y tipo de edificación, así como la localización geográfica. Para el tipo de edificación se utilizó una o varias de las categorías identificadas previamente en la subsección 3.1.2. Subsecuentemente, se determina el número de pisos y espacios existentes al interior de la estructura, clasificándolos y nombrándolos según sus usos y condiciones actuales. Así mismo, para cada espacio se miden las respectivas áreas, con el fin de facilitar el posterior cálculo de los indicadores de rendimiento. Posteriormente, se identifican las categorías, subcategorías y demás características de las cargas eléctricas presentes en cada espacio, en relación con lo explicado anteriormente para esta variable. Es importante mencionar que las características involucradas en los sistemas identificados se basan en los aspectos señalados en la subsección 3.1.2.

La potencia nominal de las cargas eléctricas registradas en los espacios se recolectó a partir de los datos de placa. Con el fin de facilitar la integración de la información al aplicativo SGEE, se establecieron valores característicos de la potencia nominal para las subcategorías de cargas presentes en los espacios. Para ello se consideraron todos los valores de una misma subcategoría en un espacio determinado, con los cuales se fijó el promedio, de acuerdo con la Ecuación 1.

$$P_{noma} = \frac{\sum_{a=1}^b Pnom_a}{b}$$

Ecuación 1

Donde a representa la enumeración de una subcategoría para un tipo de carga, P_{noma} representa la potencia nominal de la subcategoría, y b es el total de subcategorías de una carga existentes en el espacio analizado. Por último, se identificaron los puntos de alimentación eléctrica para las diferentes cargas identificadas previamente y el circuito general de la edificación, a través del análisis de los planos eléctricos. Con esta información se localizaron los puntos donde se efectuaron las mediciones mencionadas anteriormente.

Condiciones operativas

La segunda etapa se enfocó en las condiciones operativas de la edificación. Esta involucró la determinación de los tiempos operativos en los diferentes espacios, así como en el comportamiento de la variable de ocupación y las condiciones de trabajo para las cargas eléctricas identificadas previamente.

La recolección de los datos asociados a la ocupación y los tiempos operativos de las cargas de uso general e independiente, se efectuó a través de una encuesta (ver Anexo 1). Por su parte, los valores representativos de potencia activa para las diferentes subcategorías de cargas, los cuales permitieron sintetizar el comportamiento real que presentan, se obtuvieron a través de un conjunto de mediciones en sitio. Para el desarrollo de la encuesta, se calcularon inicialmente los valores adecuados de la muestra poblacional con base en la Ecuación 2 (Torres, Paz, & Salazar, 2006).

$$n = \frac{N\sigma^2 Z_\alpha^2}{e^2(N-1) + \sigma^2 Z_\alpha^2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde n es el tamaño de la muestra, N es el tamaño de la población, σ es la desviación estándar de la población, Z_α es el nivel de confianza, y e es el límite de error. Para σ , Z_α y e se utilizaron valores de 0,50, 1,96 y 0,05, respectivamente.

El comportamiento de la ocupación bajo los escenarios descritos anteriormente fue estimado con base en los horarios de los usuarios recolectados en esta encuesta. Las respectivas ecuaciones utilizadas para esto se describen más adelante. Respecto a la operación de las cargas de uso independiente se estableció el número de equipos de cada subcategoría utilizados por los usuarios encuestados, definiendo sus tiempos operativos con base en los criterios mencionados. Este tipo de cargas también pueden tener horarios fijos que no dependen de la estancia de los ocupantes, lo cual fue definido al momento de recolectar la información. La estimación de los horarios para las cargas de uso general se obtuvo con base en la información suministrada por los usuarios involucrados con ellas. Para el caso de las cargas de uso general que dependen de los niveles de ocupación, se utilizó una ecuación para definir sus horarios y valores de potencia hora a hora, la cual se explica más adelante.

La definición de las condiciones internas de las subcategorías de cargas fue establecida con base en sus características específicas. Para ello, se clasificaron de acuerdo a las

variaciones presentadas por los diferentes escenarios de trabajo que podrían abarcar, considerando los criterios mencionados en la Tabla 5. La respectiva información de las condiciones internas, fue recolectada a través de las encuestas o por medio de inspecciones visuales al momento de realizar las mediciones.

Tabla 5. Clasificación de las cargas eléctricas de acuerdo con sus variaciones de potencia activa.

Tipo de carga	Descripción
Clase 1	Siempre mantiene un valor de potencia constante, el cual se estima igual a los datos de placa.
Clase 2	Su operación se fija bajo unas condiciones preestablecidas, siendo su valor de potencia constante la mayor parte del tiempo, y proporcional o igual a los datos de placa.
Clase 3	Sus condiciones operativas cambian aleatoriamente con respecto al tiempo, variando con ello sus respectivos valores de potencia.

Las mediciones indicadas anteriormente para las diferentes cargas se efectuaron de acuerdo con el diagrama mostrado en la Figura 14. Las mediciones esquematizadas en la Figura 14 se realizaron con vatímetros de tomacorriente o con pinzas amperimétricas y multímetros, según la capacidad de los elementos y el consumo de las cargas. Así pues, para subcategorías con una potencia menor a 1800 W se utilizó el vatímetro y se tomó lectura directa de los valores requeridos. Para el caso de los equipos con una potencia mayor a 1800 W, se utilizaron pinzas amperimétricas y multímetros, a partir de los cuales se tomaron los voltajes y corrientes de línea, aplicando la Ecuación 3 para obtener los valores de potencia.

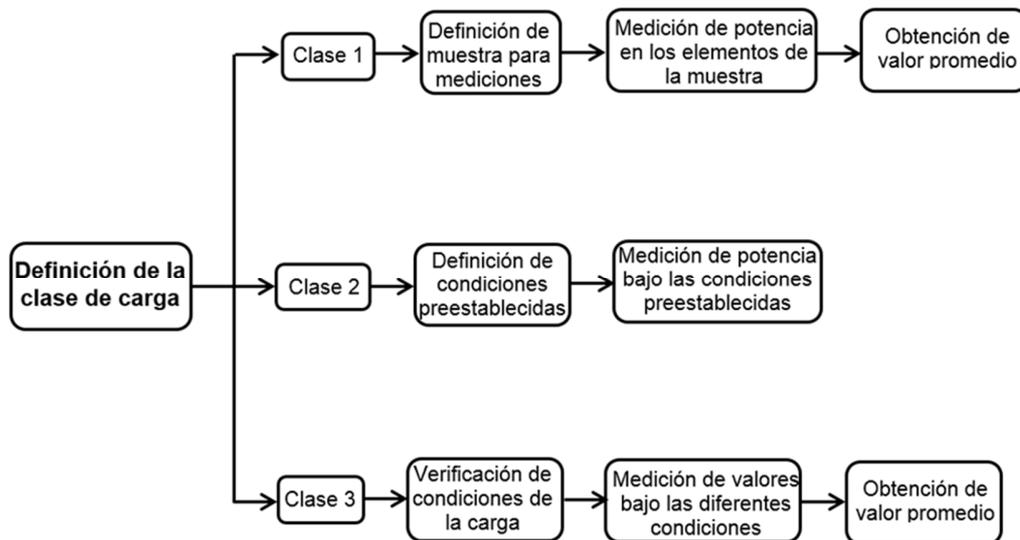


Figura 14. Medición de valores característicos de potencia para las diferentes cargas eléctricas.

Fuente: Autor

$$P_a = \sqrt{3} * V_L * I_L * \text{Cos}(\emptyset)$$

Ecuación 3

Donde P_a es la potencia activa de la subcategoría a , V_L es el valor promedio del voltaje de línea, I_L es el valor promedio de la corriente de línea, y $\text{Cos}(\phi)$ es el factor de potencia de la subcategoría a (obtenido a partir de datos de placa).

Las fases del procedimiento variaron de acuerdo a la clase de las cargas definidas en la Tabla 5, de forma que para la clase 1 se definió en primera instancia una muestra de las subcategorías existentes en toda la edificación. Debido a la homogeneidad en los datos esperados para la clase 1, dicha muestra involucró la medición para solo uno de los espacios con las mismas subcategorías analizadas. Para este caso se midieron los espacios con mayor cantidad de ellas. Posteriormente, se obtuvo el promedio de los valores de potencia activa recolectados a los diferentes elementos de la muestra, lo cual se realizó con base en la Ecuación 4.

$$Pmed_a = \frac{\sum_{a=1}^b Pmed_a}{n} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde a es la enumeración de una subcategoría para un tipo de carga, $Pmed_a$ representa la potencia medida de la subcategoría a , y n representa el número máximo de la muestra.

Para la clase 2 se recolectaron inicialmente las variables y condiciones en que operan las subcategorías y bajo estos escenarios se efectuaron las mediciones requeridas. Debido a la singularidad en las condiciones operativas para esta clase, se tomaron los datos en todas las cargas involucradas de forma independiente y no se hizo una definición de muestras. Respecto a la clase 3, en su mayor parte se verificaron las condiciones operativas a través de inspecciones visuales al momento de efectuar la recolección de datos. En este caso también fue necesario determinar una muestra de las subcategorías de cargas existentes, a partir de la cual se tomaron datos a cada elemento para una hora de operación y con intervalos de 15 minutos. Las muestras se definieron bajo las mismas condiciones enunciadas anteriormente en la Ecuación 2. Luego de recolectar los datos de cada subcategoría de cargas se aplicó la Ecuación 4 para obtener el valor promedio.

Valoración del comportamiento eléctrico

La tercera etapa abarcó en primera instancia el cálculo de los patrones de consumo eléctrico y las respectivas variables, como la ocupación y la capacidad instalada de la edificación. Para los patrones de consumo se determinó la potencia total horaria en los diferentes espacios y con base en ello se estimó la curva de carga. La ocupación se encontró a través de la información de los horarios laborales, con los cuales se estableció el número de personas presentes en un momento determinado. Por su parte, la capacidad instalada se basó en la potencia nominal de las diferentes subcategorías de cargas encontradas en los espacios de la edificación.

Con base en lo anterior, para el desarrollo de los cálculos se utilizaron los datos de las condiciones estructurales y operativas recolectados anteriormente, efectuándolos en

primera instancia para cada espacio y luego toda la edificación. Esto con el fin de asignarle al SGEE la capacidad de establecer un análisis del comportamiento energético en las diferentes zonas de la edificación analizada.

Adicionalmente, se realizaron mediciones en el circuito general de la edificación analizada, con el fin de registrar principalmente la potencia activa total de la edificación y comparar los datos calculados previamente para los patrones de consumo. En cuanto a la estimación del nivel y factor de ocupación, se utilizaron la Ecuación 5 y la Ecuación 6 para calcular el nivel de ocupación por espacio y el nivel de ocupación general, respectivamente.

$$Ocup_esp_h = \sum_{i=1}^f d_i \quad \text{Ecuación 5}$$

$$Ocup_ed_h = \sum_{j=1}^g \sum_{i=1}^f d_{ij} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde $Ocup_esp_h$ es el número de personas presentes a una hora específica en un espacio, $Ocup_ed_h$ es el Número de personas presentes a una hora específica en el total de la edificación, f es el número total de encuestados en los espacios, i es la enumeración de las personas encuestadas, j es la enumeración de los espacios de la edificación, y g es el número de espacios en la edificación. Para calcular el factor de ocupación por espacio y el factor de ocupación general se utilizaron la Ecuación 7 y la Ecuación 8, respectivamente.

$$f.o_esp = \frac{Ocup_esp_h}{n_esp} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$f.o_ed = \frac{Ocup_ed_h}{n_ed} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde $f.o_esp$ es el factor de ocupación en un espacio, $f.o_ed$ es el factor de ocupación en el total de la edificación, n_esp es el tamaño de la muestra en las encuestas en un espacio, y n_ed es el tamaño de la muestra en las encuestas en el total de la edificación. En cuanto a la estimación de la curva de carga, se utilizaron la Ecuación 9 y la Ecuación 10 para calcular la curva de carga por espacio y la curva de carga general, respectivamente.

$$P_esp_h = \sum_{k=1}^l \sum_{m=1}^o p_{km} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$P_ed_h = \sum_{k=1}^g \sum_{m=1}^o \sum_{j=1}^l P_{kmj} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde $P_{_esp_h}$ es la potencia eléctrica a una hora específica en un espacio, $P_{_ed_h}$ es la potencia eléctrica a una hora específica en el total de la edificación, l es el número de cargas eléctricas de una subcategoría activa en un espacio, k es la enumeración de una subcategoría activa en un espacio, o es el número total de categorías de cargas eléctricas activas en un espacio, m es la enumeración de las categorías de cargas eléctricas activas en un espacio, j es la enumeración de los espacios de la edificación, y g es el número de espacios en la edificación. Para determinar la potencia instalada, se utilizaron la Ecuación 11, la Ecuación 12 y la Ecuación 13 para obtener el análisis por espacio, el análisis general y el valor de potencia para cargas relacionadas con el factor de ocupación, respectivamente.

$$P_{ins_esp} = \sum_k^l \sum_m^o Pnom_{km} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$P_{ins_ed} = \sum_j^g \sum_m^o \sum_{k=1}^l Pnom_{jkm} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$p_a = f \cdot o * P_{ins} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde P_{ins_esp} es la potencia instalada de las cargas eléctricas en un espacio, P_{ins_ed} es la potencia instalada de las cargas eléctricas en un espacio, $Pnom$ es la potencia nominal de las diferentes categorías y subcategorías de cargas, P_a es el valor de potencia de las categorías o subcategorías de cargas con tiempos operativos que dependen del factor de ocupación, y $f \cdot o$ es el factor de ocupación. Por otro lado, para calcular el consumo eléctrico en la edificación se utilizó la Ecuación 14.

$$E = \sum_{t=0}^{24} P_t \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde E representa el consumo eléctrico total de la edificación para un día específico de análisis, P_t es el valor de potencia total a una hora, y t es el periodo de tiempo analizado. Finalmente, para determinar el rendimiento energético se utilizaron la Ecuación 15, Ecuación 16 y Ecuación 17 para calcular la densidad energética, el consumo respecto a la ocupación y el consumo respecto al tiempo operativo, respectivamente.

$$\delta = \frac{E}{A} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$\beta = \frac{E}{d} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$\gamma = \frac{E}{t} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde δ es la densidad energética, β es el consumo respecto a la ocupación, γ es el consumo respecto al tiempo operativo, E es el consumo eléctrico en un día de análisis, d es el número de personas en un espacio o la edificación, y t son los tiempos operativos en un espacio o la edificación.

Las mediciones realizadas en el circuito general se basaron principalmente en la recolección periódica de la potencia activa total de la edificación. Dichas mediciones se realizaron con un tiempo de registro determinado por las capacidades del instrumento utilizado y por el periodo total de adquisición de datos. Más adelante se explica en detalle el instrumento utilizado, los tiempos de registro y el periodo de adquisición de datos tenido en cuenta para este trabajo.

3.1.5 Criterios de análisis para los patrones de consumo eléctrico

El procedimiento mencionado anteriormente, permitió la obtención de los datos relacionados con las variables consideradas y los respectivos cálculos para determinar los patrones de consumo eléctrico de la edificación analizada. Luego de su recolección, los datos fueron analizados empleando herramientas de estadística descriptiva como la media aritmética, la desviación estándar, entre otras. Estas técnicas fueron utilizadas, debido a que permiten describir el comportamiento de los datos recolectados y verificar la variabilidad entre ellos. Los patrones de consumo se caracterizaron mediante la construcción de las curvas de carga para los diferentes días de la semana. Así pues, en esta evidencia el comportamiento de la potencia activa en la edificación analizada en un lapso de 24 horas, evidenciando los puntos donde se presentan variaciones y concentraciones energéticas relevantes.

Las tendencias de las curvas de carga estimadas para los diferentes días de los escenarios propuestos, fueron confrontadas a través de la desviación estándar con respecto a su promedio. Con base en esto, se obtuvo una curva representativa (curva promedio) para los análisis posteriores, la cual contiene un ponderado de los diferentes comportamientos y valores. Así pues, la curva promedio estimada fue comparada con respecto a las mediciones realizadas a partir del circuito general, y de esa forma se evaluó la trascendencia de los cálculos realizados. Se compararon ambas curvas de carga respecto a los parámetros de análisis expuestos en (Mathieu, Price, Kiliccote, & Piette, 2011), considerando los siguientes criterios:

- Los valores pico y la carga base de ambas curvas deben presentarse en los mismos puntos horarios.
- El coeficiente máximo de variación entre las curvas medida y estimada no debe exceder el 20%
- Los tiempos de tendencia al alza deben ser los mismos para ambas curvas.
- Los tiempos de tendencia a la baja deben ser los mismos para ambas curvas.

El cumplimiento de estos criterios otorgó validez a los cálculos de estimación realizados, permitiendo al SGEE establecer una visión genérica de la distribución de consumos por carga y espacio para el objeto de estudio. De igual forma, a partir de la literatura se obtuvieron los indicadores descritos a continuación, los cuales fueron evaluados para ambas curvas, comparando el impacto para los dos contextos.

El factor de carga (Ecuación 18) destaca la importancia del valor máximo de potencia activa presentado durante el día analizado (Bicego et al., 2018), el impacto nocturno (Ecuación 19) enfatiza la relevancia del valor promedio de potencia activa presentado en el periodo de la noche (Bicego et al., 2018), el impacto a la hora del almuerzo (Ecuación 20) determina la relevancia presentada por el valor de potencia a la hora del almuerzo o tiempo de receso ((Bicego et al., 2018)), la carga base entre el valor pico (Ecuación 21) establece la relación entre la potencia máxima y la carga base presentada durante el día analizado (Luo, Hong, Chen, & Piette, 2017), y el día no laboral entre día laboral (Ecuación 22) determina el contraste entre el promedio de potencia activa presentado entre un día laboral y no laboral (Luo et al., 2017).

$$L.F = \frac{P_{prom,día}}{P_{max,día}} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$I.N = \frac{P_{prom,noche}}{P_{prom,día}} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$I.A = \frac{P_{prom,alm}}{P_{prom,día}} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$P.B = \frac{P_{max,día}}{P_{prom,día}} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$L.NL = \frac{P_{prom,díalab}}{P_{prom,díanolab}} \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde $P_{prom,día}$ es el consumo promedio al día, $P_{max,día}$ es el consumo pico, $P_{prom,noche}$ es el consumo promedio en la noche, $P_{prom,alm}$ es el consumo promedio en almuerzo, $P_{prom,díalab}$ es el consumo promedio día laboral, y $P_{prom,díanolab}$ es el consumo promedio en día no laboral. Los indicadores presentados anteriormente permitieron establecer comparativos entre las curvas de carga, con base en el comportamiento de diferentes lapsos para un día de análisis. De esta forma, se realizó un análisis energético que considera las diferentes variaciones presentadas en el comportamiento de los patrones de consumo.

3.2 Identificación de técnicas y estrategias para la reducción de consumo eléctrico

La identificación y valoración de las técnicas y estrategias enfocadas en la reducción de los consumos eléctricos, se basó en las fases involucradas en el esquema de la Figura 15. En primera instancia se identificaron y clasificaron los métodos ligados a los diferentes tipos de cargas eléctricas descritas previamente, esto a través de una revisión de casos de estudio encontrados en la literatura. Las estrategias identificadas permitieron establecer un conjunto de escenarios de cálculo, que dieron lugar a la estimación de los potenciales de reducción de ahorro.



Figura 15. Fases para la identificación y valoración de estrategias de reducción de consumo eléctrico. Fuente: Autor

3.2.1 Identificación de las estrategias para la reducción del consumo eléctrico

Esta etapa se basó principalmente en una revisión y análisis de casos de estudio procedentes de la literatura. El criterio de selección para las referencias estuvo ligado principalmente a la implementación de técnicas o estrategias de reducción de consumo eléctrico en una de las cargas descritas anteriormente. Así pues, para los diferentes tipos de cargas se recolectó un número determinado de documentos y después de una revisión inicial se seleccionaron y analizaron un total de 10 para cada una, a partir de los cuales se recolectó la siguiente información de acuerdo con las plantillas mostradas en el Anexo 2.

- Tipo de carga eléctrica analizada
- Estrategia de reducción de consumo
- Variables y parámetros involucrados en el estudio
- Impactos de la estrategia aplicada sobre el consumo eléctrico

La determinación de las variables y parámetros comprendidos en la ejecución de las estrategias identificadas se llevó a cabo a través de una descripción de los diseños experimentales considerados. Para este trabajo, las variables son las magnitudes que durante el desarrollo de los estudios son modificadas para obtener un impacto sobre los consumos eléctricos de la carga. Así mismo, los parámetros son las características de los experimentos que permanecen constantes y que pueden tener o no una influencia directa sobre el consumo eléctrico.

El impacto de las estrategias identificadas se basó en el análisis de los resultados obtenidos en las referencias, el cual se reflejó a través de los porcentajes de reducción

de consumo que se presentaron. Para las diferentes estrategias identificadas se seleccionó el porcentaje de menor impacto en los diferentes casos de estudio en que estas aparecen.

Con base en lo anterior, la información recolectada fue tabulada y se elaboró un listado de las diferentes estrategias encontradas para cada una de las cargas, considerando sus respectivas variables, parámetros y porcentajes de reducción de consumo.

3.2.2 Valoración del potencial de ahorro con respecto a las estrategias identificadas

El potencial de ahorro de la edificación fue valorado con base en los impactos (porcentajes de reducción) determinados previamente para las diferentes estrategias identificadas. Así, se definieron tres escenarios para el desarrollo de los respectivos cálculos, los cuales evidencian las reducciones en comparación con la densidad energética actual.

El primer escenario se enfocó en el cálculo de los potenciales de ahorro, considerando las estrategias de los diferentes tipos de carga de manera independiente. De esta forma, para cada una de las estrategias se obtuvo el respectivo potencial de ahorro en los diferentes escenarios operativos considerados. En este caso se calcularon a través de la Ecuación 23 y Ecuación 24, respectivamente.

$$\delta_{reducido} = \delta_{actual} - (E_{carga} - \mu E_{carga}) \quad \text{Ecuación 23}$$

$$Pot_ahorro(\%) = 1 - \left(\frac{\delta_{reducido}}{\delta_{actual}} \right) * 100 \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde $\delta_{reducido}$ es la densidad energética que considera el porcentaje de reducción de la estrategia analizada, δ_{actual} es la densidad energética actual de la edificación, E_{carga} es el consumo actual de la carga que involucra la estrategia analizada, μ es el porcentaje de reducción de la estrategia, $Pot_ahorro (\%)$ es el potencial de ahorro alcanzado con la evaluación de la estrategia.

El segundo escenario se basó en la combinación de dos estrategias involucradas en una misma carga. Para el cálculo de los potenciales de ahorro se utilizó el mismo procedimiento utilizado en la Ecuación 23 y Ecuación 24. Sin embargo, el porcentaje de reducción (μ) estuvo ligado a la sumatoria de los porcentajes relacionados con las estrategias combinadas.

Finalmente, en el tercer escenario se combinaron dos estrategias para todos de los tipos de cargas existentes. De esta forma se aplicó la Ecuación 23 para cada una, siendo el porcentaje de reducción (μ) la sumatoria de los porcentajes de las estrategias

combinadas en todos los casos. Así, en este caso $\delta_{reducido}$ considera el impacto generado por las combinaciones en los diferentes tipos de carga.

Para los escenarios descritos anteriormente, se han definido dos contextos de evaluación. El primero de ellos se basa en la estimación del potencial de ahorro al aplicar la estrategia o combinación de estrategia en la totalidad de los espacios de la edificación. El segundo considera dicha estimación al aplicar la estrategia o combinación de estrategias en un único espacio, seleccionado con los análisis previos de los patrones de consumo.

3.3 Desarrollo del aplicativo para la gestión de la energía eléctrica

El aplicativo desarrollado para la gestión de la energía eléctrica, permitió automatizar los cálculos y análisis relacionados con los patrones de consumo y la estimación de potenciales de ahorro, facilitando la toma de decisiones. La Figura 16 esquematiza el procedimiento utilizado en esta sección.

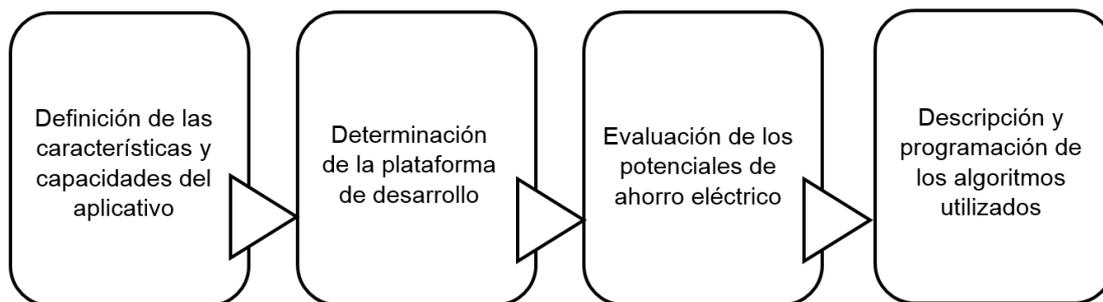


Figura 16. Etapas para el desarrollo del aplicativo. Fuente: Autor

En la primera etapa se definieron las características y capacidades generales del aplicativo, las cuales fueron determinadas con base en una revisión y análisis de herramientas comerciales para la gestión de la energía. Con base en esto se establecieron la estructura del aplicativo y las respectivas prestaciones de análisis para el usuario. Posteriormente, se seleccionó la plataforma de desarrollo donde se efectuaron los respectivos algoritmos y el diseño del aplicativo. De esta forma, se evaluaron diferentes opciones de plataforma disponibles, considerando los costos y flexibilidad de implementación. Por último, se describió y enunció la programación de los algoritmos utilizados para establecer las particularidades del aplicativo, con base en la construcción de un conjunto de diagramas de flujo.

3.3.1 Definición de las características del aplicativo

La primera fase para el desarrollo del aplicativo consideró las funcionalidades que se deben tener en cuenta respecto a los SGEE existentes en el comercio y los enfoques específicos de este trabajo. En la Tabla 6 se resumen las funcionalidades y componentes

seleccionados a partir de los SGEE descritos, estableciendo además el tipo de análisis requerido en cada caso. En el Anexo 3 se describen de manera independiente los 14 SGEE analizados, donde también se detalla su precio de venta para el año 2016.

Tabla 6. Características y tipos de análisis de los SGEE comerciales. Fuente Autor

Funcionalidad	Componentes de SGEE	Tipo de análisis
Identificación y análisis de tendencias	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación y análisis de las tendencias de consumo • Demanda máxima y mínima (picos y valles) • Identificación de potenciales de ahorro • Relevancia del consumo por carga y por espacio 	Perfil de carga
Análisis eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> • Parámetros de calidad de la energía 	Comportamiento de las variables eléctricas.
Análisis de rendimiento energético	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de indicadores de rendimiento 	Métricas de rendimiento
Notificaciones de alarmas y eventos	<ul style="list-style-type: none"> • Notificaciones sobre umbrales de consumo • Desviaciones de objetivos y perfiles de carga • Notificación sobre métricas de rendimiento 	Perfil de carga

La identificación y análisis de tendencias se basó en componentes que en gran parte se obtuvieron a partir de las curvas de carga descritas en la sección 3.1.5. El análisis de dichas tendencias se basó concretamente en los criterios descritos, utilizando los indicadores mencionados para extraer información de los patrones de consumo. Por su parte, la identificación de picos y valle se enfocó principalmente en la determinación de su magnitud y localización horaria, siendo estos componentes importantes para evaluar la concentración energética en los diferentes periodos del día. Los potenciales de ahorro son los valores porcentuales que describen las capacidades de reducción de consumo eléctrico en el objeto de estudio, bajo las condiciones operativas actuales. El análisis eléctrico que evidencia la conducta de diferentes variables se enfoca en la calidad de la energía, las cuales no fueron consideradas para este trabajo con el fin de simplificar el análisis.

El análisis de rendimiento energético se basó en la determinación de indicadores que relacionan los consumos con respecto a otras variables involucradas en la operación del objeto de estudio. De acuerdo con (Sekki, Airaksinen, & Saari, 2015), los más importantes para edificaciones terciarias son la densidad energética, consumo respecto al número de ocupantes y consumo respecto al tiempo operativo. Estos indicadores fueron calculados y posteriormente programados al interior del aplicativo. Por otro lado, las notificaciones de alarmas y eventos se evidenciaron a través de cuadros informativos

al usuario, sobre sucesos relevantes que afectan los perfiles de consumo en la edificación.

Con base en lo anterior, se definieron las variables de entrada y salida involucradas en los diferentes tipos de análisis considerados, las cuales fueron utilizadas por los algoritmos del aplicativo para dar lugar a las respectivas funcionalidades. Dichas variables son mencionadas y categorizadas en la Tabla 7. La información descrita en la Tabla 6 y Tabla 7 permitió establecer la arquitectura general del aplicativo desarrollado, la cual se esquematiza en la Figura 17.

Tabla 7. Variables de entrada y salida para los diferentes tipos de análisis en SGEE. Fuente: Autor

Tipo de análisis	Variables de entrada	Variables de salida
Perfil de carga	<ul style="list-style-type: none"> • Horarios operativos de los usuarios • Horarios operativos de las cargas • Información de consumo en diferentes tipos de edificaciones • Valores de potencia nominal y medida por carga • Datos de mediciones en sitio de potencia activa • Condiciones de las estrategias seleccionadas para la reducción de consumo 	<ul style="list-style-type: none"> • Curva de carga • Comportamiento estimado de la ocupación • Tiempos estimados de la operación • Potenciales de ahorro • Comparaciones de consumo para benchmarking
Métricas de rendimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Áreas de la edificación y los diferentes espacios • Horarios operativos de los usuarios • Tiempos estimados de operación 	<ul style="list-style-type: none"> • Comportamiento y magnitud de los indicadores de rendimiento energético

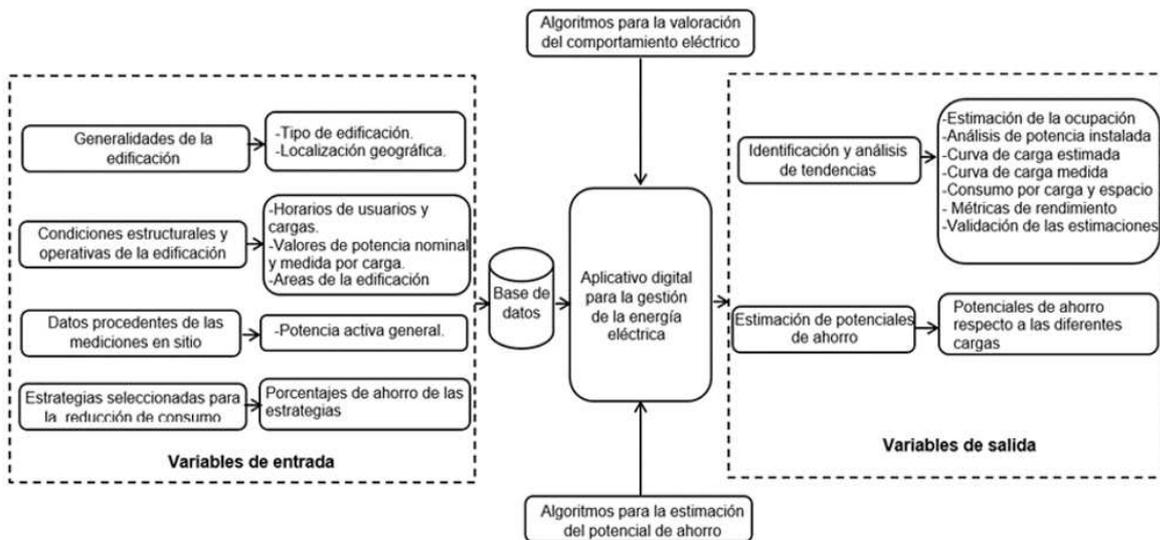


Figura 17. Arquitectura esquemática del aplicativo para la gestión de la energía eléctrica desarrollado. Fuente: Autor

Los datos de las variables de entrada son introducidos en primera instancia a una base de datos, donde son almacenados para su posterior análisis y procesamiento a través de los algoritmos implementados en el aplicativo. De esta forma, se clasificaron los algoritmos utilizados de acuerdo con su función, siendo la primera clase los que involucran la caracterización de los patrones de consumo eléctrico, y la segunda la estimación de los potenciales de ahorro. Por su parte, las variables de salida corresponden a las funcionalidades determinadas anteriormente.

Para la incorporación de la información ligada a cargas o sistemas específicos, se definieron al interior del aplicativo las categorías identificadas y descritas anteriormente. Así mismo, se generaron las opciones respectivas en cuanto el tipo de operación involucrado (individual o general).

3.3.2 Determinación de la plataforma de desarrollo

El proceso de selección para plataforma donde se diseñó el aplicativo y programaron los algoritmos, inició con la obtención de un listado de plataformas utilizadas para el desarrollo de otros estudios similares encontrados en la literatura. La Tabla 8 muestra el respectivo listado procedente del análisis realizado.

Tabla 8. Listado de plataformas de desarrollo encontradas en la literatura. Fuente: Autor

Plataforma	Referencia
Visual Basic	(Uno & Dahlan, 2014)
MATLAB	(Negrea, Dragusin, Merlusca, & Mogan, 2007)
Visual Basic	(Kuo, Tung, & Liu, 2013)
MATLAB	(Zhang, Li, Sun, & O'Neill, 2016)
Visual Basic	(Trillo-Montero, Santiago, Luna-Rodriguez, & Real-Calvo, 2014)
MATLAB	(Lamedica, Teodori, Carbone, & Santini, 2015)
.NET framework	(Lamedica et al., 2015)
LabView	(Ghorbanpanah, Yaghmaee Moghaddam, Saeedi, & Alishahi, 2013)
Sistema multi agente (SMA)	(Hurtado, Member, Nguyen, & Kling, 2013)
Visual Basic	(Cho, 2001)
JAVA	(Anastasi, Corucci, & Marcelloni, 2011)

Como puede observarse a partir de la Tabla 8, las plataformas más utilizadas para el desarrollo de aplicativos para SGEE son Visual Basic y Matlab. De igual forma, en la Tabla 9 se presenta una descripción de todas las plataformas mencionadas. En dicha descripción se consideraron las características básicas, ventajas y desventajas de las diferentes plataformas, con el fin de establecer sus particularidades y de esa forma seleccionar la más adecuada.

Con base en las descripciones y análisis mencionados anteriormente, se eligió Visual Basic para aplicaciones de Excel como la plataforma más adecuada para el desarrollo de este trabajo. También debe considerarse su amplia masificación comercial, así como la facilidad que presenta para la construcción de la base de datos requerida. De igual forma, la posibilidad de utilizar las herramientas de las hojas de cálculo permitió desarrollar las operaciones matemáticas complejas de una forma fácil.

Tabla 9. Descripción de las plataformas encontradas en el listado. Fuente: Autor

Plataforma	Características básicas	Ventajas	Desventajas
Visual Basic	<ul style="list-style-type: none"> • Ambiente gráfico para el desarrollo de aplicaciones en Microsoft Windows. 	<ul style="list-style-type: none"> • Permite utilizar las ventajas presentadas por Microsoft Excel, en términos de operaciones matemáticas, macros, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lenta ejecución de códigos complejos
MATLAB	<ul style="list-style-type: none"> • Integra análisis numérico, cálculo matricial, procesamiento de señales, gráficos. • Se implementan las matrices como elemento básico del lenguaje de programación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones de cálculo complejas con rapidez. • Facilidad para realizar gráficos de diferentes tipos. • Fácil integración con dispositivos hardware. 	<ul style="list-style-type: none"> • La ejecución del aplicativo requiere de una licencia MATLAB, la cual es costosa. • La ejecución requiere extensiones adicionales.
.NET Framework	<ul style="list-style-type: none"> • Permite integrar proyectos en distintos lenguajes soportados por la plataforma como C++, Visual Basic, C#. 	<ul style="list-style-type: none"> • Entorno común para la ejecución de diferentes lenguajes. • Permite un desarrollo rápido de aplicaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo elevado de recursos de la máquina.
LabView	<ul style="list-style-type: none"> • Lenguaje de programación visual gráfico. • Especializado en el control de procesos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Válido para personas con pocos conocimientos en programación. • Rápida interacción con diferentes puertos de comunicación. • Enlace fácil con dispositivos de control programables 	<ul style="list-style-type: none"> • Es necesario contar con una licencia de LabView para la utilización de las aplicaciones. • Sus mayores ventajas se destacan cuando involucra sistemas de control.
MAS platform	<ul style="list-style-type: none"> • Plataforma para el desarrollo de sistemas multiagente. • Basado en JAVA. 	<ul style="list-style-type: none"> • Código abierto 	<ul style="list-style-type: none"> • El lenguaje de programación es complejo, requiriendo de experiencia avanzada para su interpretación.
Java	<ul style="list-style-type: none"> • Permite la ejecución de las aplicaciones en cualquier tipo de dispositivo. • Lenguaje de programación netamente orientado a objetos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidad de ejecución • Gran cantidad de recursos disponibles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lenguaje de programación complejo • Requiere un intérprete. • Costos adicionales para algunas herramientas

3.3.3 Descripción y programación de los algoritmos utilizados

Para la construcción del aplicativo se utilizó un conjunto de algoritmos que permitieron automatizar los cálculos requeridos en los análisis planteados. En la Figura 18 se muestra un diagrama de flujo que esquematiza los procedimientos utilizados para alcanzar las funcionalidades definidas anteriormente.

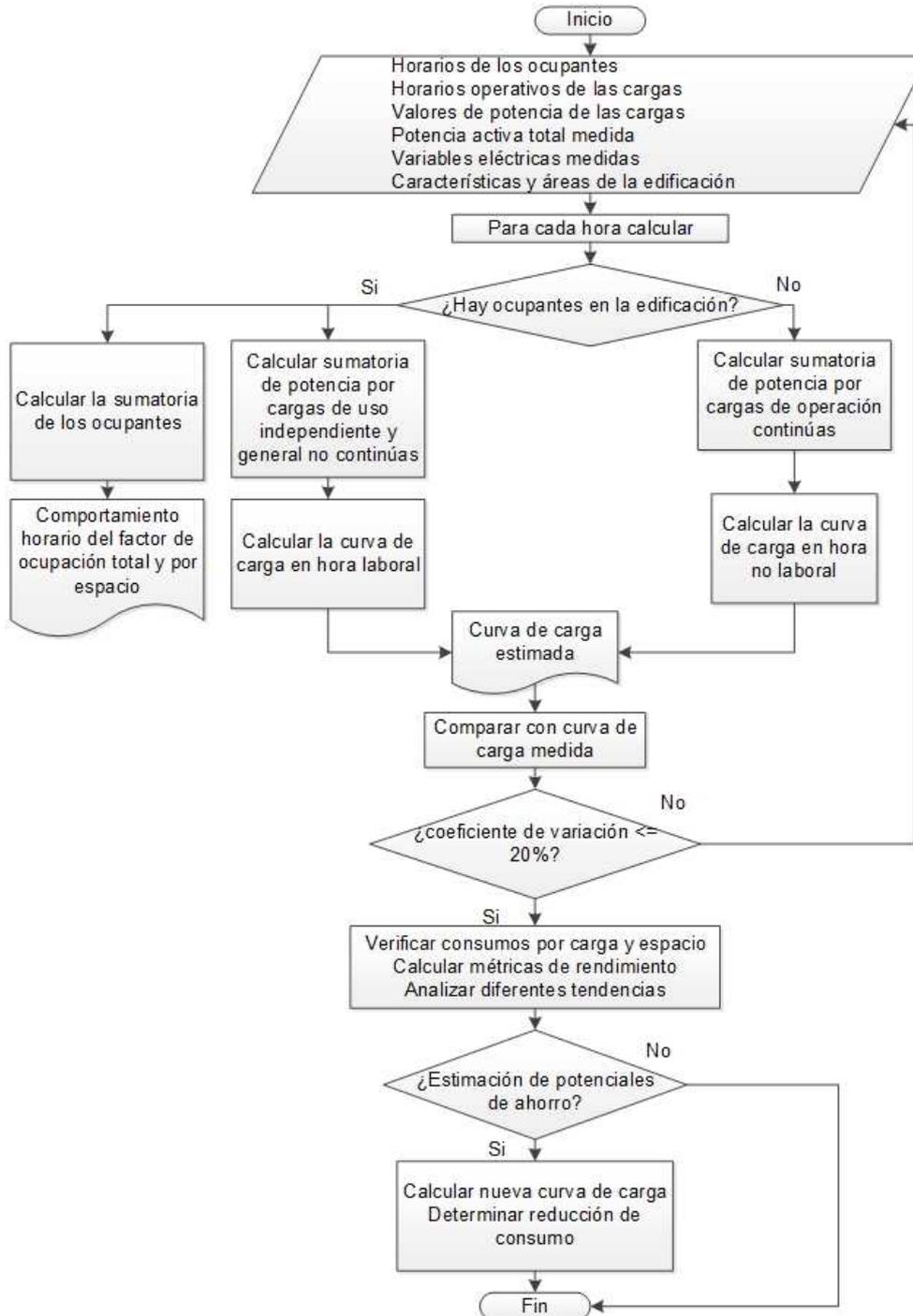


Figura 18. Diagrama de flujo básico para la descripción del algoritmo. Fuente: Autor

3.4 Validación del método propuesto

La validación del método propuesto permitió confirmar la viabilidad práctica del trabajo desarrollado en una edificación terciaria. La Figura 19 muestra los componentes involucrados en esta última etapa.

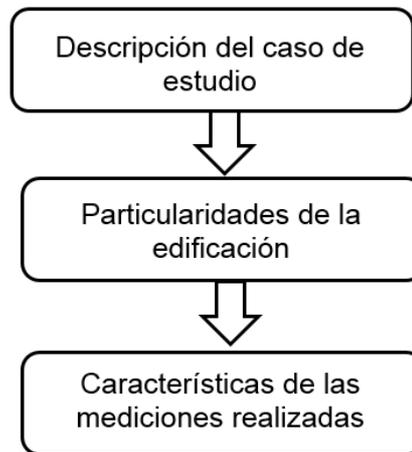


Figura 19. Componentes para la validación del método propuesto. Fuente: Autor

En la primera etapa se describieron los aspectos generales del caso de estudio, donde se consideraron los procesos efectuados al interior de la edificación analizada, para validar el método propuesto. En la segunda etapa, se detallaron las particularidades de la edificación analizada, tanto desde sus rasgos estructurales como operativos. También, se identificaron los diferentes tipos de cargas eléctricas encontradas a través de la visita técnica realizada. Por último, en la tercera etapa se describieron los aspectos prácticos de las mediciones ejecutadas en las diferentes cargas eléctricas y el circuito general, describiendo los instrumentos y conexiones tenidas en cuenta.

3.4.1 Descripción del caso de estudio

El caso de estudio fue desarrollado al interior de una edificación terciaria, cuyas características se explican más adelante. En esta se implementó el SGEE propuesto y se estimaron los potenciales de ahorro eléctrico, considerando los procedimientos descritos anteriormente. En primera instancia se desarrolló una visita donde se establecieron las condiciones estructurales de la edificación. Así, se procedió a verificar los diferentes tipos de espacios, considerando también las respectivas cargas eléctricas existentes. Las áreas de los espacios fueron obtenidas con la ayuda de un registrador de distancias GLM 40 Bosch, además se comprobó visualmente la existencia de ventanas que permitieran el aprovechamiento de iluminación y ventilación natural. En cuanto los tipos de cargas eléctricas encontrados, se tuvieron en cuenta las particularidades de las respectivas subcategorías en caso de ser necesario, recolectando detalladamente la información de cada una.

Para el desarrollo de las encuestas, se verificó en primera instancia el número máximo de ocupantes que cumplen con los criterios definidos, y de esa forma se desarrolló el cálculo de la muestra. Dicha información se obtuvo por medio del personal de la oficina administrativa. Además, no se consideraron los ocupantes que permanecieran en su puesto de trabajo de la edificación menos de 4 horas a la semana, debido a su baja influencia sobre los patrones de consumo. Con base en esto, también se definieron los horarios operativos de las diferentes cargas encontradas

En cuanto a las mediciones realizadas, se efectuaron buscando establecer valores característicos de potencia para las diferentes cargas. Dichas mediciones se realizaron de forma manual, utilizando dos tipos de instrumentos según los criterios señalados, los cuales se describen junto con las conexiones más adelante. Seguidamente, se realizaron las mediciones en el circuito general, las cuales involucraron un instrumento con registrador automático y cuantificaron el comportamiento de la potencia activa total de la edificación.

Los datos recolectados fueron posteriormente incorporados al aplicativo SGEE desarrollado, donde se realizaron los cálculos y análisis respectivos a los patrones de consumo eléctrico. Las estrategias de ahorro para las cargas fueron posteriormente seleccionadas y evaluadas de acuerdo con los escenarios planteados anteriormente, determinando con ello los potenciales de ahorro.

3.4.2 Particularidades de la edificación

La edificación analizada para el caso de estudio hace parte de las instalaciones del Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín -ITM- sede Fraternidad y se conoce por el nombre de parque de investigaciones (Parque i). En esta se desarrollan actividades de investigación, administrativas y educativas, constanding de un área total aproximada de 1700 m² distribuidas en dos niveles. La Figura 20 muestra una imagen con la fachada externa de Parque i y en los siguientes apartados se detallan sus rasgos estructurales y operativos.

Rasgos estructurales de la edificación

Como se mencionó anteriormente, Parque i está compuesto por dos niveles principales, donde se distribuyen los espacios que componen su operación. En el primer nivel se localizan un conjunto de laboratorios de diferentes temáticas y áreas estructurales diversas, mientras que el segundo nivel cuenta con un área administrativa, salones de clase y un auditorio. En ambos niveles se tienen pasillos que permiten la afluencia de los ocupantes. La Figura 21 muestra la distribución de los espacios en ambos niveles, señalando sus respectivos nombres al interior de la estructura.



Figura 20. Fachada externa de la edificación analizada en el caso de estudio (Parque i). Fuente: Autor

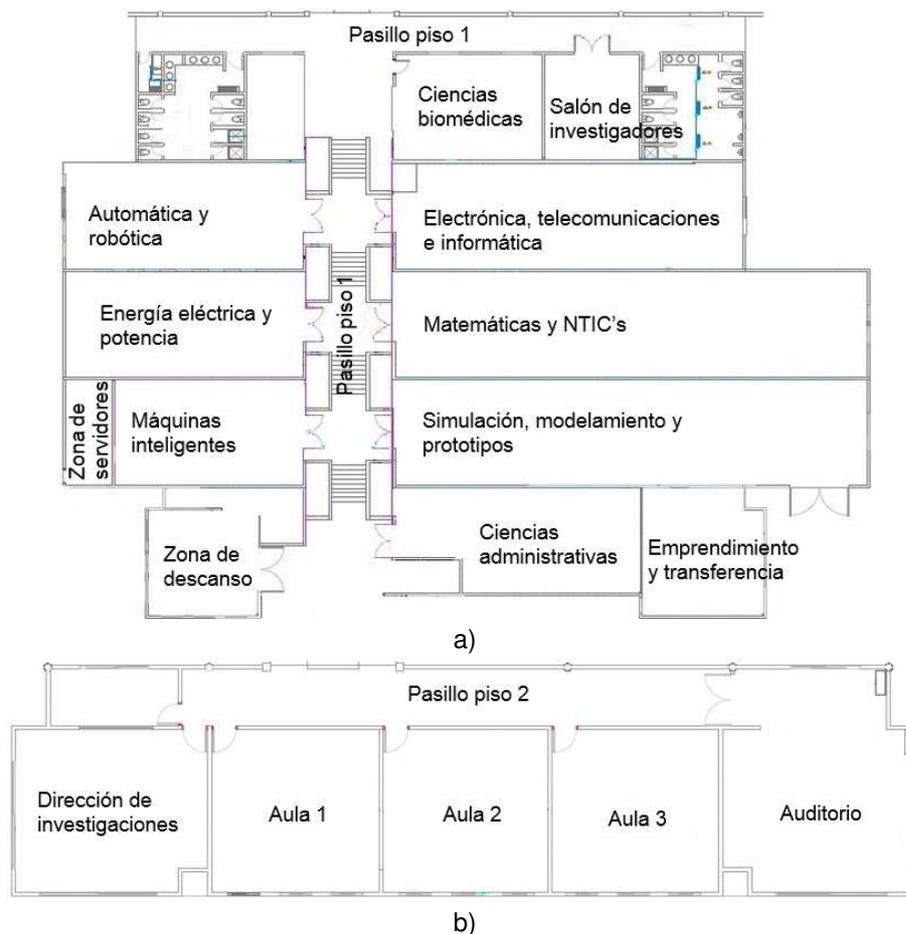


Figura 21. Distribución de los espacios localizados en el a) nivel 1 de la edificación y b) nivel 2 de la edificación. Fuente: Autor

Con base en lo mostrado, se consideraron 20 espacios en total para el estudio, los cuales tienen influencia notable sobre los patrones de consumo eléctrico de la edificación. Para simplificar el análisis de los diferentes espacios, estos se han organizado como se muestra en la Tabla 10, teniendo en cuenta las respectivas designaciones utilizadas y la disponibilidad de iluminación y ventilación natural.

Tabla 10. Designación utilizada para los espacios de la edificación. Fuente: Autor

Nivel 1	
Designación	Espacio
Espacio 1	Ciencias administrativas
Espacio 2	Emprendimiento y transferencia de resultados
Espacio 3	Máquinas inteligentes
Espacio 4	Simulación, modelamiento y prototipos
Espacio 5	Energía eléctrica y potencia
Espacio 6	Automática y robótica
Espacio 7	Electrónica y telecomunicaciones
Espacio 8	Ciencias biomédicas
Espacio 9	Salón de investigadores
Espacio 10	Matemáticas y NTICS
Espacio 11	Sala de reuniones
Espacio 12	Pasillos nivel 1
Espacio 13	Zona de descanso
Espacio 14	Zona de servidores
Nivel 2	
Espacio 15	Dirección de investigaciones
Espacio 16	Auditorio
Espacio 17	Aula de postgrados 1
Espacio 18	Aula de postgrados 2
Espacio 19	Aula de postgrados 3
Espacio 20	Pasillos nivel 2

Por su parte, a partir de los tipos de cargas eléctricas reconocidas al interior de la edificación se efectuaron los análisis de capacidad instalada. Para ello, se esquematizaron las diferentes categorías y subcategorías, como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Categorías de las cargas eléctricas identificadas. Fuente: Autor

Denominación	Categoría/Subcategoría
1.	Iluminación
2.	Climatización de espacios
2.1	Aire acondicionado
2.2	Ventilación
3.	Cargas desconectables
3.1.	Computadores de escritorio

3.2	Computadores portátiles
3.3.	Cafetera
4.	Equipos especiales
4.1.	Workstations
4.2.	Rack de datos y comunicaciones
4.3.	Servidores
4.4.	Máquina 3D
4.5.	Fuente trifásica
5.	Refrigeración

Como se observa, existen tipos de cargas eléctricas que no se dividieron en subcategorías, como iluminación y refrigeración, por lo que los respectivos cálculos y mediciones se refirieron exclusivamente a estas. En los demás tipos de cargas se efectuaron los procedimientos en cada subcategoría involucrada, las cuales fueron enunciadas a través de la denominación descrita en la Tabla 11. Por su parte, en la Tabla 12 se han señalado los sistemas existentes al interior de cada uno de los espacios de la edificación.

Tabla 12. Cargas eléctricas existentes en los diferentes espacios. Fuente: Autor

Espacio	1.	2.		3.			4.					5.
		2.1.	2.2.	3.1.	3.2.	3.3.	4.1.	4.2.	4.3.	4.4.	4.5.	
1	●	●	0	●	●	0	●	0	0	0	0	0
2	●	●	0	●	●	0	●	0	0	0	0	0
3	●	●	0	●	●	0	●	0	●	0	0	0
4	●	●	0	●	●	0	●	0	●	●	0	●
5	●	●	●	●	●	0	●	0	0	0	●	0
6	●	●	●	●	●	0	●	0	0	0	0	0
7	●	●	0	●	●	0	●	0	●	0	0	0
8	●	●	●	0	●	0	●	0	0	0	0	0
9	●	●	0	●	●	0	●	0	0	0	0	0
10	●	●	0	●	0	0	●	0	0	0	0	●
11	●	0	0	0	0	0	●	0	0	0	0	0
12	●	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	●	0	0	0	0	●	0	0	0	0	0	0
14	●	0	●	0	0	0	●	●	0	0	0	0
15	●	●	0	●	●	0	●	0	0	0	0	●
16	●	●	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	●	●	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	●	●	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	●	●	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	●	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- La carga eléctrica existe en el espacio señalado
- o La carga eléctrica no existe en el espacio señalado

Rasgos operativos de la edificación

Como se mencionó anteriormente, en Parque i se prestan ciertos servicios que definen sus condiciones operativas, siendo las clasificaciones de edificaciones que lo abarcan de tipo educativo y oficinas. La operación de la edificación se analizó bajo dos escenarios definidos por los lapsos en que se desarrollan las actividades. El primero es el escenario semanal (lunes a viernes) y el segundo fines de semana (sábado y domingo), presentando variaciones entre ambos, con respecto a los perfiles del factor de ocupación y la curva de carga.

Para la operación de las cargas eléctricas, se tuvieron en cuenta las clasificaciones mencionadas anteriormente, existiendo cargas de uso general y de uso independiente. En cuanto a los sistemas de iluminación, se estableció la clasificación a partir de los tipos de accionamiento y conexión que involucran. De esta forma, se consideraron accionamientos manuales y automatizados, que a su vez difieren en el tipo de conexión entre circuito común y circuito independiente. Para el circuito común, se definió su operación con base en el factor de ocupación, estableciendo el valor de la potencia. Por su parte, en el accionamiento automatizado se definieron horarios operativos definidos por los ocupantes. En la edificación analizada se presentaron diferentes espacios con accionamiento manual y circuito común, exceptuando los espacios 2, 11 y 13 del primer nivel, así como todos los del segundo nivel y los diferentes pasillos de la edificación. Respecto al espacio 14, solo tiene autorización para su acceso el personal autorizado por lo que es mínimo su consumo por iluminación, y no se consideró la influencia de esa carga en los patrones de consumo de dicho espacio.

La Tabla 13 muestra las cargas eléctricas de uso general e independiente al interior de la edificación. Con base en esta información se introdujeron los aspectos operativos de las cargas detectadas en el aplicativo SGEE.

Tabla 13. Tipo de operación de las diferentes cargas eléctricas. Fuente: Autor

Espacio	1.	2.		3.			4.					5.	
		2.1.	2.2.	3.1.	3.2.	3.3.	4.1.	4.2.	4.3.	4.4.	4.5.		
1	■	■		o	o		■						
2	■	■		o	o		■						
3	■	■		o	o		■		o				
4	■	■		o	o		■		■	■			■
5	■	■	o	o	o		■					■	
6	■	■	o	o	o		■						
7	■	■		o	o		■		o				
8	■	■	o		o		■						
9	■	■		o	o		■						
10	■	■		o			■						■
11	■						■						
12	■												
13	■							■					

14	■		■			■	■
15	■	■		o	o	■	■
16	■	■					
17	■	■					
18	■	■					
19	■	■					
20	■						

o Uso individual

■ Uso general

3.4.3 Características de las mediciones realizadas

En primera instancia se efectuaron aquellas mediciones ligadas a las diferentes cargas eléctricas, las cuales permitieron establecer su valor característico de potencia. Posteriormente, se realizaron los cálculos requeridos para la valoración del comportamiento eléctrico en Parque i. A continuación, se efectuó la adquisición de datos en el circuito general de la edificación. En esta subsección se describen los procedimientos empleados en el desarrollo de cada tipo de medición. Las características técnicas de los elementos de medición empleados son ampliadas en el Anexo 5.

Mediciones de potencia eléctrica por carga

Para llevar a cabo este tipo de mediciones, se definieron los contextos operativos que corresponden a las diferentes cargas eléctricas identificadas en la edificación. Esto se describe en la Tabla 14, junto con la denominación de los instrumentos utilizados en los diferentes casos.

Tabla 14. Clases de cargas eléctricas e instrumento usado para su medición. Fuente: Autor

Categoría de carga	Subcategoría de carga	Clase	Instrumento de medición	
			Marca	Referencia
1.		Clase 1	UNI-T	UT230B-US
	2.1.	Clase 2	UNI-T	UT206A
2.	2.2.	Clase 2	UNI-T	UT230B-US
		Clase 2	UNI-T	UT206A
	3.1.	Clase 3	UNI-T	UT230B-US
3.	3.2.	Clase 3	UNI-T	UT230B-US
	3.3.	Clase 1	UNI-T	UT230B-US
	4.2.	Clase 1	UNI-T	UT206A
	4.3.	Clase 3	UNI-T	UT206A
4.	4.1.	Clase 3	UNI-T	UT230B-US
	4.4.	Clase 3	UNI-T	UT206A
	4.5.	Clase 3	UNI-T	UT206A
5.		Clase 2	UNI-T	UT230B-US

Las pinzas amperimétricas permitieron tanto la medición de corriente como de voltaje requeridas. Aunque la subcategoría “*rack de datos y comunicaciones*” presenta un

consumo inferior al límite establecido (1800 W), sus mediciones se realizaron por medio de las pinzas porque su operación no podía ser interrumpida. De igual forma, para la “ventilación” se indicaron dos tipos de instrumento, debido a que el sistema del espacio 14 excedió los 1800 W de consumo.

Para los instrumentos descritos se requirieron conexiones eléctricas diferentes, las cuales varían en su estructura debido a los tipos de variables recolectadas y la respectiva configuración. La Figura 22 muestra las conexiones utilizadas para el vatímetro de tomacorriente (UT230B-US) y la pinza amperimétrica (UT206A).

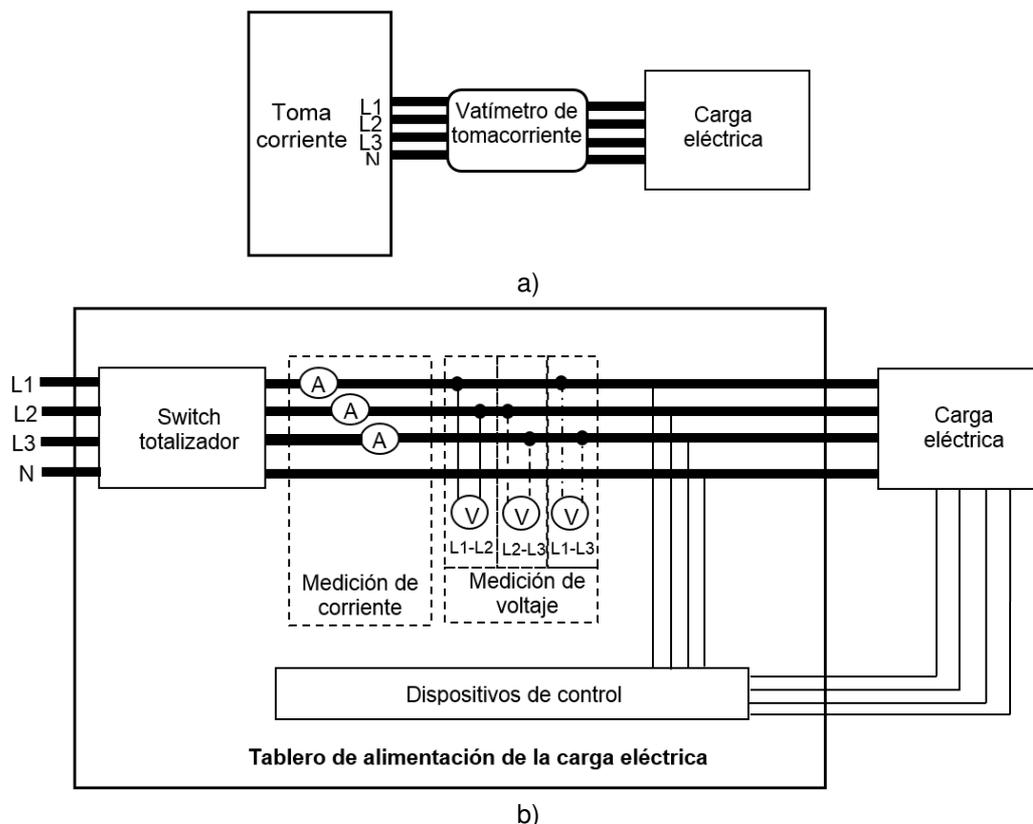


Figura 22. Estructura de la conexión eléctrica para a) vatímetro de tomacorriente UT230B-US y b) pinza amperimétrica UT206A. Fuente: Autor

Como se observa en la Figura 22, la utilización del UT230B-US su conexión en serie con la carga estudiada, de tal forma que registraron sus valores de voltaje, corriente y potencia. Por otro lado, los valores leídos con la pinza UT206A se efectuaron en el tablero de alimentación de la carga, tomando las tres mediciones indicadas para las tensiones de línea (L1-L2, L2-L3 y L1-L3) y las otras tres para la corriente (L1, L2 y L3).

De acuerdo con la Tabla 14, las subcategorías clase 1 son la iluminación, rack de datos y comunicaciones y la cafetera. Con base en la Tabla 12 se observa que la única con una presencia relevante en los diferentes espacios de la edificación es la iluminación, de

forma que su muestra se basó en la totalidad de las luminarias involucradas en el Espacio 4. Con respecto a las otras dos subcategorías, se tomó lectura individual de sus valores, aplicando posteriormente la ecuación para determinar la potencia del rack de datos y comunicaciones. Posteriormente, se calcularon los valores promedio de cada subcategoría.

Por su parte, para las mediciones de las subcategorías de clase 2 se establecieron en con base en las condiciones preestablecidas que definen su comportamiento energético. La Tabla 15 resume las magnitudes que definen las condiciones tenidas en cuenta para las cargas eléctricas con estas características, además de su respectivo valor.

Tabla 15. Resumen de magnitudes y valores de las condiciones para las subcategorías de clase 2 en los espacios de la edificación. Fuente: Autor

Espacio	Subcategoría		
	Aire acondicionado (°C)	Ventilación (rpm)	Refrigeración (°C)
1	22	NA	NA
2	22	NA	NA
3	19	NA	NA
4	21	NA	7
5	23	500	NA
6	20	400	NA
7	20	NA	NA
8	24	300	NA
9	22	NA	NA
10	19	NA	9
11	NA	1800	NA
12	18	NA	10
13	20	NA	NA
14	22	NA	NA
15	20	NA	NA
16	19	NA	NA
17	NA	NA	NA
18	22	NA	NA
19	22	NA	NA
20	19	NA	NA

Respecto a las subcategorías de clase 3, se evaluaron las condiciones operativas de forma visual al momento de realizar las mediciones. Dichas condiciones están ligadas ya sea a las configuraciones internas de las cargas o a la entrada en operación de equipos auxiliares, lo cual fue registrado al momento de la lectura. La definición de las muestras para las subcategorías de esta clase se efectuó únicamente para los computadores de escritorio y portátiles. Por su parte, para las WorkStations, servidores y máquina 3D se realizó la medición para todas las cargas de forma independiente, mientras que en la fuente trifásica no se realizaron mediciones por su baja frecuencia de operación.

Mediciones en el circuito general

Para este tipo de mediciones, se localizó el tablero general de la edificación, donde se identificaron las respectivas alimentaciones de las cargas y su capacidad. De esta forma, el diagrama unifilar del circuito general se muestra en la Figura 23.

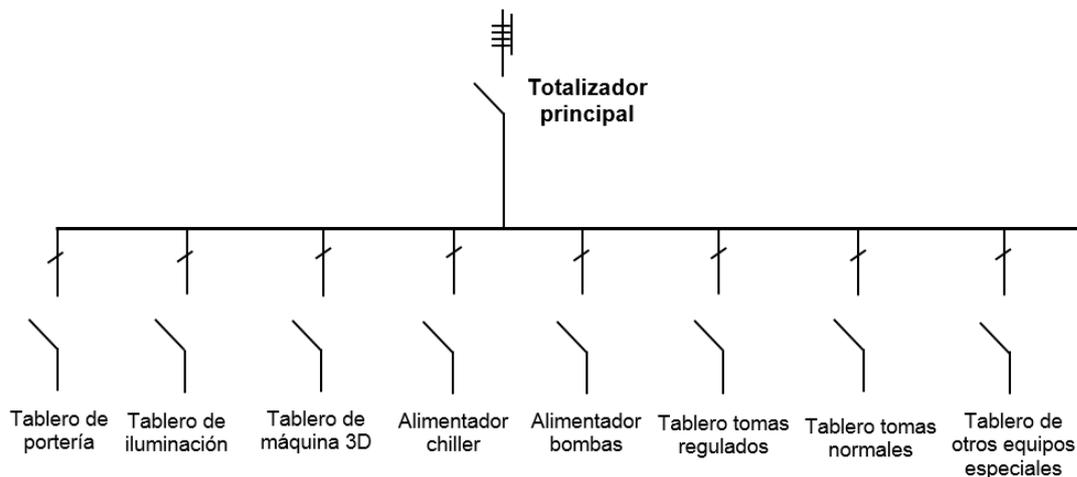


Figura 23. Estructura del circuito general de la edificación. Fuente: Autor

Como se observa en la Figura 23, las diferentes categorías de cargas eléctricas identificadas se alimentan de ramales independientes. Con base en esto, la iluminación se alimenta del “*tablero de iluminación*”, mientras que los aires acondicionados de los espacios lo hacen de “*alimentador chiller*” y “*alimentador de bombas*”. Por su parte, las cargas desconectables y algunos equipos especiales se conectan a partir de los tableros regulado y normal. También se observa que la máquina 3D tiene su propia conexión independiente en el circuito general, debido a su gran demanda de potencia o carga instalada. Estas mediciones se realizaron por medio de un analizador de redes Fluke 435, el cual fue conectado como se muestra en la Figura 24.

Como se observa en la Figura 24, la conexión del analizador de redes Fluke 435 abarcó de forma paralela las salidas de voltaje y corriente, respecto al circuito general de la edificación. Esta configuración permitió efectuar lectura directa de la potencia y las demás variables eléctricas señaladas anteriormente. La recolección de los datos durante el transcurso de estas mediciones fue de un mes, y la principal variable registrada fue la potencia activa. Con base en esto, se construyó la curva de carga real de la edificación, la cual fue comparada con la demanda estimada.

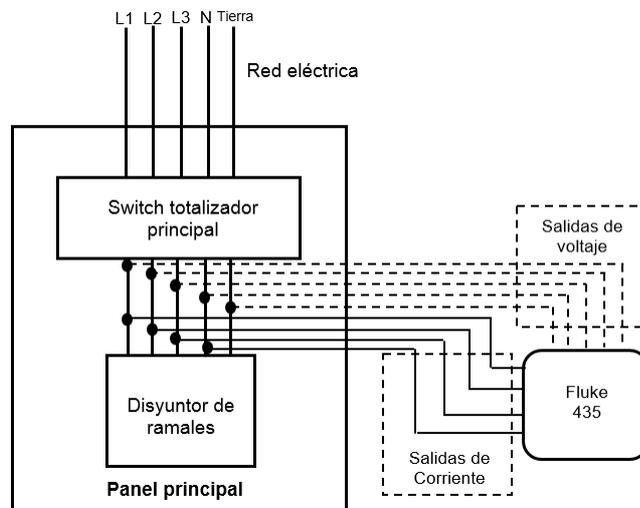


Figura 24. Conexión utilizada en el circuito general para la medición con el analizador de redes Fluke 435. Fuente: Autor

4. Resultados y discusión

La descripción de los resultados y la discusión de los mismos se presenta en el orden en que se ingresa la información al aplicativo desarrollado y como se entrega la visualización de los cálculos.

4.1 Información general y arquitectónica en el aplicativo desarrollado

El aplicativo desarrollado abarcó la determinación de los elementos descritos en la metodología, facilitando la ejecución y visualización de los cálculos involucrados en los patrones de consumo de la edificación terciaria, potenciales de ahorro y las demás variables (factor de ocupación, características de las cargas, tiempos operativos, entre otros). La utilización del mismo tiene como requisito técnico básico la disponibilidad del software Excel, puesto que la plataforma de desarrollo fue Visual Basic para aplicaciones, lo cual reduce el costo de implementación debido a que no requiere de software especializados de alto costo. La introducción de los diferentes tipos de datos requeridos que se almacenan en la base de datos, así como los resultados que se generan a partir de estos se evidencian a través de un conjunto de formularios descritos en esta y en las subsecciones posteriores.

En primer lugar, el aplicativo solicita información general de la edificación, la cual permite identificarla. Entre dicha información se encuentra la designación comercial, el tipo de edificación y la ciudad donde se encuentra. La pestaña localizada en el tipo de edificación permite seleccionar una de las categorías definidas en la subsección 3.1.1 de la metodología, siendo posible ingresar más de un tipo de edificación en el caso que se requiera. Posteriormente se introduce la información de las características arquitectónicas de la edificación, lo cual debe efectuarse por medio del formulario presentado en la Figura 25.

Como se observa en la Figura 25, se requiere en primera instancia almacenar la cantidad de pisos que componen la edificación y posteriormente se selecciona aquel al que se le ingresará la información. Así pues, para cada piso se identifican los tipos de espacios allí encontrados, estableciendo además la cantidad existente de cada uno y los respectivos nombres. Posteriormente, se introducen los datos de las respectivas áreas geométricas,

las cuales deben ser introducidas en la unidad señalada (m^2). Por su parte, la información de las cargas eléctricas en los diferentes espacios se introduce a través del formulario descrito en la subsección 4.1.1. Esta información recolectada a través de la visita técnica permite desagregar los valores totales de los patrones de consumo, verificando de esa manera la relevancia de las diferentes localizaciones y actividades.

The screenshot shows a web form titled "Condiciones estructurales de la edificación". The form contains several input fields and buttons:

- Numero de pisos en la edificación:** A text input field containing the number "2".
- Seleccionar piso para análisis:** A dropdown menu showing "piso 1" and a button labeled "Analizar piso".
- Numero de espacios en el piso 1:** A text input field containing "14" and a button labeled "Modificar".
- Tipo de espacios en el piso 1:** A text input field, a "Guardar" button, a "Borrar" button, and a "Continuar analisis" button.
- Numero de espacios por tipo:** A dropdown menu showing "zona de se", a text input field containing "zona de se", a "Guardar" button, and a "Borrar" button.
- Espacios de la edificación:** A dropdown menu showing "zona de se", a text input field containing "zona de servidores", a "Guardar" button, and a "Borrar" button.
- Area de los espacios:** A dropdown menu showing "zona de se", a text input field containing "2", a unit label " m^2 ", a "Guardar" button, and a "Borrar" button.
- Cargas eléctricas en los espacios:** A dropdown menu showing "zona de se" and a button labeled "Validar las cargas eléctricas en el espe".

At the bottom of the form, there are two buttons: "Volver" and "Continuar".

Figura 25. Formulario para la introducción de los datos relacionados con las características arquitectónicas.

La cantidad máxima de espacios que puede almacenarse en la base de datos depende de la variedad de cargas eléctricas identificadas en cada uno, de forma que entre más categorías y subcategorías abarquen se requerirá mayor cantidad de celdas. Así, considerando que en todos los espacios de la edificación analizada se tiene el total de categorías de cargas disponibles (ver subsección 4.1.1.), de forma que exista una única carga por cada categoría, se podrá almacenar un total de 149.796 espacios aproximadamente (limitados por las celdas existentes en una hoja de Excel), los cuales pueden estar distribuidos en diferentes pisos. Es importante resaltar que, mientras mayor sea la cantidad de espacios la introducción de la información será más extensa y compleja, además los tiempos de cálculo serán más prolongados.

4.2 Caracterización de cargas eléctricas y patrones de consumo

En esta primera sección se determinan las cargas eléctricas y patrones de consumo para la implementación del SGEE en el caso de estudio, lo cual se desarrolla de acuerdo con los procedimientos descritos en la sección 3.1. Así, en primera instancia se identifican las cargas eléctricas más relevantes con base en la información de la literatura, para posteriormente examinar la capacidad instalada y los valores característicos de potencia en la edificación analizada, considerando la información estructural descrita previamente. Subsecuentemente, la información de las condiciones operativas permitió establecer los tiempos de trabajo de las cargas y los usuarios, con lo cual se estimó el comportamiento de la ocupación y los patrones de consumo. Las curvas de carga estimadas fueron posteriormente validadas con el fin de verificar la confiabilidad de los cálculos realizados, comparando su comportamiento con las mediciones tomadas a partir del circuito general. Finalmente, se determinó la participación de los diferentes espacios y cargas sobre el consumo total, así como los indicadores de rendimiento.

4.2.1 Descripción de las cargas eléctricas y características operativas

A partir de la revisión efectuada en la subsección 3.1.1 para los diferentes tipos de edificaciones terciarias, se han establecido las principales categorías de cargas eléctricas asociadas a este tipo de edificaciones. De esta forma, la Figura 26 relaciona el porcentaje de estudios en que se menciona cada una de ellas, dentro de una muestra de 50 artículos.



Figura 26. Porcentaje de estudios en los que se hace referencia a las diferentes categorías de cargas eléctricas definidas.

La iluminación y la climatización de espacios representan las categorías de cargas eléctricas más importantes para las edificaciones terciarias, encontrándose en 50 y 49 referencias respectivamente. Así mismo, la refrigeración y el calentamiento de agua son

las de menor mención (34 y 32 en su orden), sin embargo, están en más del 60,0% de los estudios analizados. Por su parte, los equipos especiales y cargas desconectables que se exhiben principalmente entre las diferentes subcategorías descritas previamente, también presentan una participación importante con 39 y 43, respectivamente.

Con base en lo anterior, se han determinado los tipos de cargas eléctricas más comunes en las edificaciones terciarias y sobre las cuales se basan los análisis posteriores para los patrones de consumo y los potenciales de ahorro. Así mismo, definieron las opciones que brinda el aplicativo desarrollado para la caracterización de las cargas en los diferentes espacios. El formulario utilizado para ello se muestra en la Figura 27.

Características de cargas eléctricas

Condiciones estructurales de la edificación

Cargas eléctricas en el espacio

Iluminación Calentamiento de agua Refrigeración

Climatización de espacios Cargas desconectables Otras

Analizar cargas

Modificar seleccionadas

Iluminación | Climatización de espacios | Cargas desconectables | Refrigeración | Otras

Tipo de sistemas involucrados en el espacio

Aire acondicionado Ventilación

Sistema a analizar: Seleccione

Número de sistemas en el espacio:

Potencia nominal teórica del sistema: kW

Potencia medida del sistema: kW

Guardar información

Modificar información

Volver

Figura 27. Formulario de condiciones estructurales de la edificación para las características técnicas de las cargas eléctricas.

Se observa que en el primer recuadro deben seleccionarse las categorías de cargas eléctricas existentes en el espacio analizado. Para el caso de las cargas desconectables y equipos especiales, se activa un cuadro de texto en el que el usuario debe digitar manualmente sus respectivas subcategorías. Posteriormente, se introducen los datos técnicos relacionados principalmente con el tipo de sistema, la potencia y la cantidad de cargas en el mismo espacio. Con respecto a los valores de potencia, se tuvieron en cuenta tanto los valores nominales y medidos, los cuales se obtienen como se explica en el capítulo de metodología. Dichos valores son utilizados para los cálculos de la estimación de patrones de consumo y la capacidad instalada.

Por otro lado, la encuesta desarrollada para la recolección de la información operativa de la edificación analizada en el caso de estudio, tuvo en cuenta un valor máximo de 70 ocupantes que cumplen los criterios definidos. Con base en esto, se calculó un valor óptimo 66 de usuarios que fueron entrevistados en su totalidad, considerando de esa forma la información necesaria para garantizar la confiabilidad de la información obtenida. Así mismo, en el Anexo 4 también se describen los tiempos operativos de las cargas eléctricas, obtenidos a partir de dichas encuestas. La información de las condiciones operativas mencionada anteriormente debe introducirse al aplicativo a través del formulario mostrado en la Figura 28, el cual se habilita luego de almacenar los datos estructurales de la edificación.

Figura 28. Formulario para la introducción de las condiciones operativas de la edificación

Como se observa, se requiere en primera instancia la cantidad máxima de personas y el número de encuestados en los diferentes espacios, con el fin de verificar automáticamente los criterios de confiabilidad requeridos. Posteriormente, se definen los días festivos y la existencia de vacaciones colectivas al interior de la edificación, los cuales presentan un impacto significativo en los patrones de consumo por las variaciones en el factor de ocupación. Subsecuentemente, en el recuadro denominado “Tiempos de servicio” se introduce la información de los horarios ligados a los usuarios encuestados. Para ello se señalan los días en que se presentan dichos horarios y posteriormente se indica los respectivos periodos de trabajo y receso para cada uno de ellos. Por su parte, en el recuadro “utilización de cargas eléctricas” se establecen los tiempos operativos de las diferentes cargas existentes en los espacios, considerando si estas son de uso general o independiente. Como se mencionó anteriormente, la información de las cargas de uso general tiene en cuenta la totalidad de los espacios analizados, mientras que las

de uso independiente involucran la información característica de los usuarios. En dicho recuadro también se recolectan los días específicos en que operan las cargas, además de sus periodos de receso definidos a partir de las encuestas.

Luego de introducir la información de las condiciones estructurales y operativas en los formularios descritos anteriormente, se efectuaron los respectivos cálculos de la capacidad instalada, el comportamiento de la ocupación y los patrones de consumo (curvas de carga). De esta forma, la Figura 29 muestra el conjunto de opciones utilizado para la realización de dichos cálculos al momento de analizar la capacidad instalada.

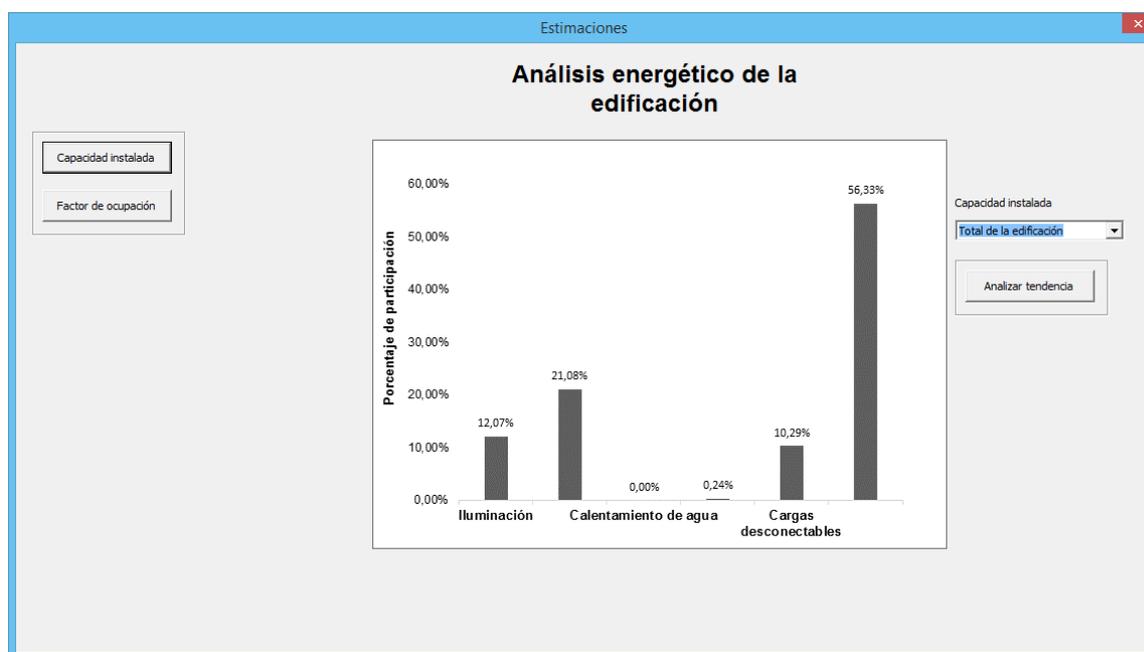


Figura 29. Formulario para las estimaciones realizadas al momento de analizar la capacidad instalada.

Se observa que el formulario para las estimaciones cuenta con un recuadro principal localizado en el extremo izquierdo de la gráfica, el cual permite seleccionar los diferentes parámetros a ser analizados. Así, en primer lugar se habilita la opción para el análisis de la capacidad instalada seguido por el factor de ocupación. En cuanto a la capacidad instalada el combo de lista localizado en el extremo derecho permite seleccionar entre las opciones: “Total de la edificación” o “Análisis por espacio”, lo cual permite seleccionar el escenario de análisis. Adicionalmente, en los diferentes parámetros analizados el botón “analizar tendencia” resume los valores más importantes en su comportamiento. A continuación, se detallan los resultados para la capacidad instalada de la edificación analizada en el caso de estudio, considerando los escenarios respectivos.

Con base en los cálculos realizados con los datos de potencia nominal presentados en el Anexo 4, se ha determinado que la capacidad instalada total de la edificación es 174.520

kW, lo cual representa la potencia máxima en las condiciones actuales. De esta forma, en la Figura 30 se muestra el primer escenario de análisis para la capacidad instalada, el cual considera la participación de las diferentes categorías de cargas eléctricas sobre el total.

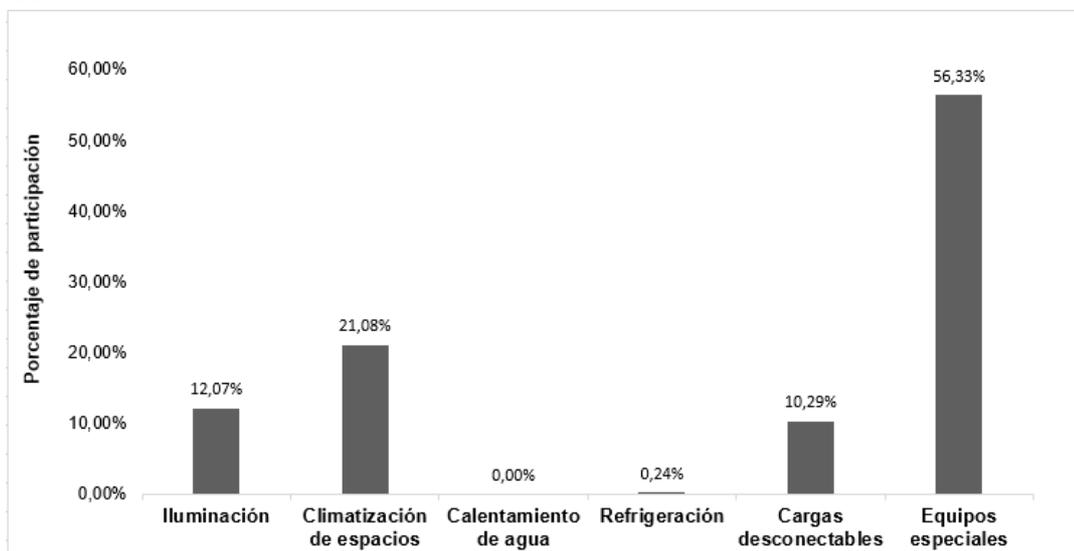


Figura 30. Participación de las cargas eléctricas sobre el total de la capacidad instalada de la edificación.

La categoría de equipos especiales es la de mayor relevancia con un 56,33%, así mismo, la contribución de menor notoriedad es la refrigeración con un 0,24%. Es importante destacar que, calentamiento de agua aparece en 0,00% porque no se encontró este tipo de sistemas en la edificación analizada. Por su parte, la climatización de espacios también presenta un porcentaje importante de 21,08%, el cual se divide entre cargas de aire acondicionado y ventilación. Además, se observa que está última tiene una diferencia de 9,01% y 10,79% en relación a los sistemas de iluminación y cargas desconectables, respectivamente. Los resultados presentados están ligados a las actividades innatas que se desarrollan en la edificación, donde existe una alta concentración de equipos especiales debido a las labores de investigación que allí se realizan. Estas condiciones representan el consumo máximo que puede existir bajo las condiciones estructurales actuales, y permiten describir en términos de los sistemas eléctricos existentes el objeto de estudio.

Por su parte, la Figura 31 muestra la participación de las cargas sobre la capacidad instalada de cada espacio. El valor cuantitativo total para los porcentajes presentados puede obtenerse a partir de los datos presentados en el Anexo 4. Puede observarse que algunos espacios presentan una alta concentración de equipos especiales que abarcan más del 80,0% de participación. Esto se debe a la presencia de artefactos de gran tamaño como la máquina 3D, la fuente trifásica y los servidores en los espacios 4, 5 y 14 respectivamente. Esta participación no es tan importante en otras zonas catalogadas como laboratorios, es el caso del Espacio 1 donde solo se alcanza un 2,4% para esta

categoría de cargas. Por su parte, las cargas desconectables, iluminación y climatización tienen porcentajes significativos en oficinas y en las aulas, abarcando entre todas ellas hasta un 97,0% del total de participación. De igual forma, se evidencia que en los pasillos solo existen consumos por iluminación, teniendo en estos una participación en su capacidad instalada del 100,0%. También se observa que la refrigeración es la carga que aparece con menor frecuencia, encontrándose únicamente en tres espacios y con porcentajes que logran un máximo de 2,7%. Esto explica la baja participación de las cargas de refrigeración en la capacidad instalada total de la edificación.

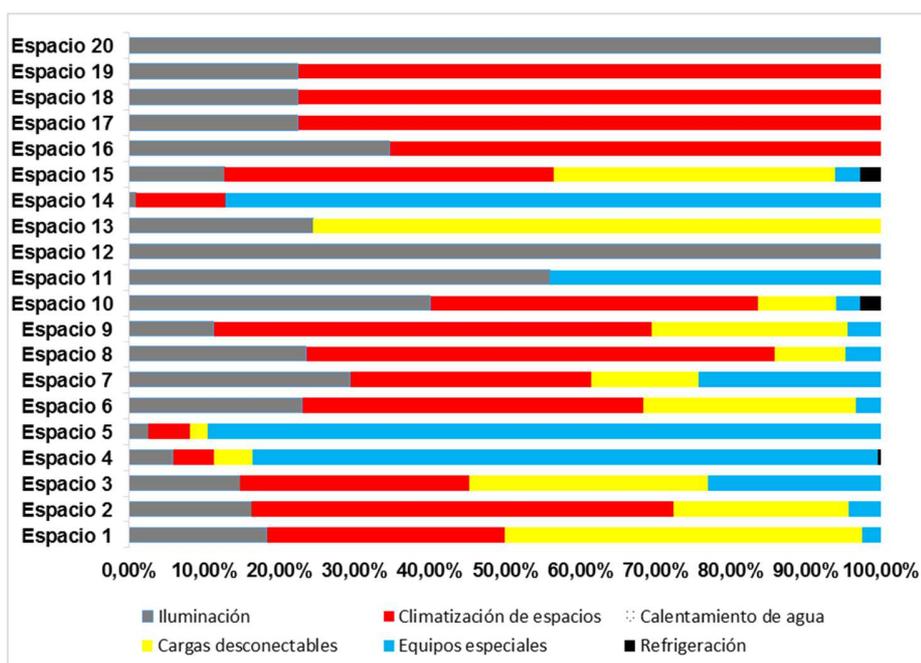


Figura 31. Participación de la potencia instalada asociada a las cargas eléctricas en cada uno de los espacios de la edificación

Con estos resultados es posible evidenciar la distribución de la cantidad de las cargas en los espacios de la edificación analizada. Además, permite esquematizar los tipos de actividades que se desarrollan en estos. De esta forma, los espacios con mayores participaciones de equipos especiales procuran actividades de mayor tecnificación y se espera que presenten una demanda eléctrica importante.

En otros estudios como el presentado en (Jain, 2016) se han analizado los tipos de cargas presentes en edificaciones en las que se desarrollan actividades similares a la de en este trabajo. El sistema de mayor relevancia es la iluminación con un 44,0%, debido a que las edificaciones analizadas tenían mayor cantidad de espacios con áreas de mayor relevancia, incrementando de esa forma su participación. Por su parte, la climatización de espacios representa un 26,0% de la potencia instalada total, representando una diferencia de alrededor del 5,0% respecto a la edificación presentada en este estudio. Esto se debe a que dicha publicación se desarrolló en zonas en que las condiciones

climáticas ameritan una participación de mayor notoriedad para este tipo de cargas. La refrigeración también se presenta como uno de los sistemas de menor relevancia para este tipo de edificaciones, alcanzando únicamente el 1,0%. Por su parte, en (Reddy, Keesara, Pudi, & Garg, 2015) se enuncia que en edificaciones enfocadas en la prestación de servicios la participación de las cargas desconectables se encuentra entre un 20,0% y 30,0%. Sin embargo, en los resultados presentados en esta subsección la participación se reduce notablemente por la existencia de las cargas para el desarrollo de actividades investigativas. También en (Papadopoulos & Giannakopoulos, 2016) se evidencia que entre mayor sea el área estructural su capacidad instalada aumentará, lo cual está relacionado con los resultados encontrados para los espacios de la edificación analizada.

Luego de la capacidad instalada debe efectuarse el análisis para el factor de ocupación, el cual se lleva a cabo a través del respectivo botón en el formulario analizado. La Figura 32 muestra el pantallazo en el formulario de las estimaciones al momento de analizar dicha variable.

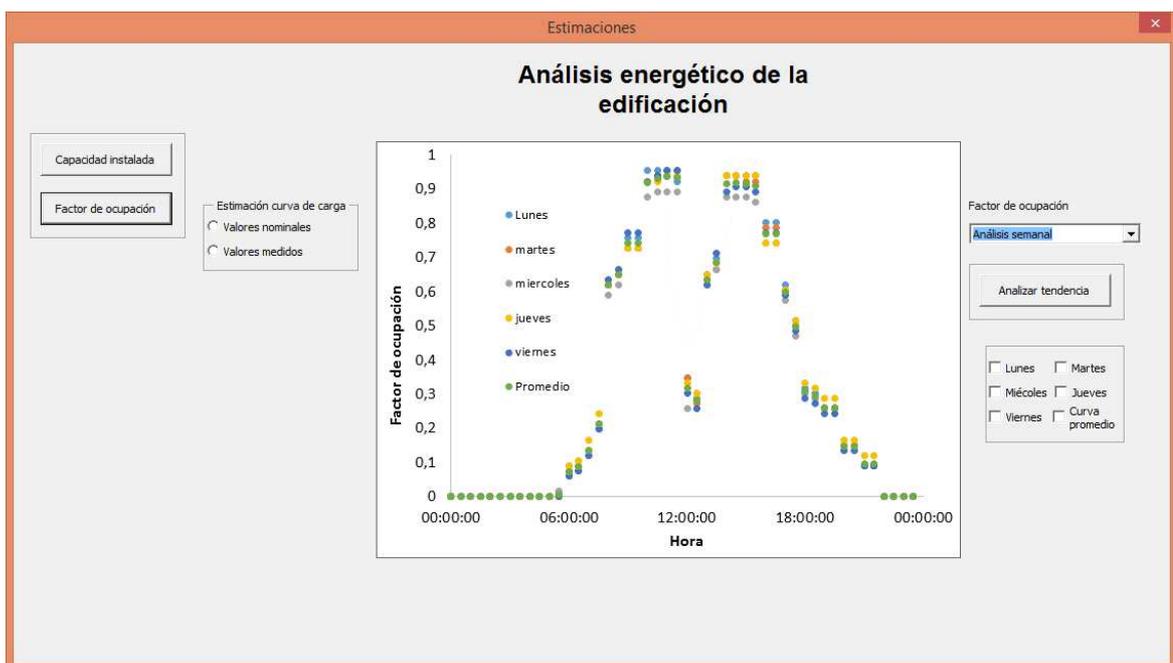


Figura 32. Formulario para las estimaciones realizadas al momento de analizar el factor de ocupación.

Como se mencionó anteriormente, el cálculo de la ocupación se efectuó con base en la información de los horarios de los usuarios introducida previamente en el aplicativo. Para este caso, se habilita en la pestaña localizada al lado derecho del gráfico las opciones: “análisis semanal” y “análisis de fines de semana”, permitiendo de esa forma evaluar el comportamiento en los diferentes periodos que abarcan una semana completa de operación. Por su parte, el cuadro presentado en el extremo inferior izquierdo permite

seleccionar los días de análisis que aparecerán en el gráfico presentado, pudiendo seleccionar también las curvas promedio. Además, se observa que al realizar los cálculos respectivos para esta variable se habilitan las opciones para la estimación de la curva de carga, los cuales se explican más adelante.

Los tiempos operativos de las cargas que no presentan horarios operativos fijos se basaron en el factor de ocupación, cuyo comportamiento global para el escenario semanal de la edificación es mostrado en la Figura 33, considerando la información horaria de los usuarios involucrados en los espacios 1 al 11 y 15 (ver subsección 3.1.3).

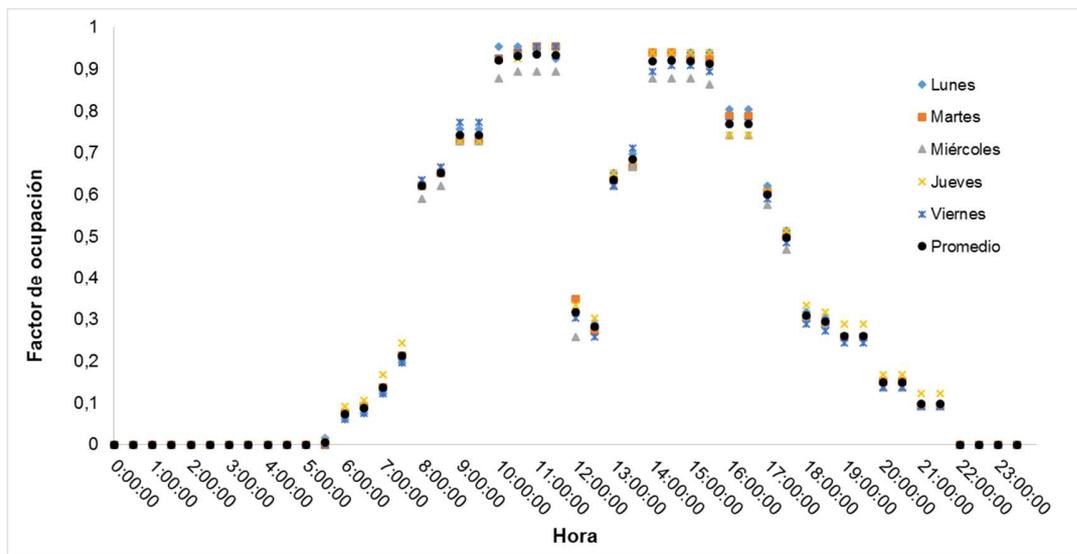


Figura 33. Comportamiento del factor de ocupación total de la edificación en un periodo semanal

Los puntos circulares de color negro representan los valores promedio hora a hora, cuyo comportamiento presenta una desviación estándar ponderada de 1,40, destacando la correlación entre los diferentes contornos. Analizando los datos presentados, se puede apreciar que a partir de las 6:00 a.m. se establece una tendencia al alza que comienza con un factor de ocupación promedio del 0,07, lo cual significa la presencia de entre 4 y 6 usuarios en la totalidad de la edificación, representando también el 7,93% de los valores máximos. Dicho comportamiento alcanza sus valores máximos de entre 0,93 y 0,92 (de 62 a 63 usuarios) a las 10:30 a.m., prevaleciendo constante hasta el tiempo de receso que comienza a las 12:00 m. Es importante destacar que la mayor tasa de crecimiento en los niveles de ocupación antes de alcanzar los valores máximos (22,58%) se da entre las 7:00 a.m. y 8:00 a.m., debido al comienzo de la jornada del 53,03% de los usuarios. También puede observarse que en el periodo de receso comprendido entre las 12:00 m. y las 2:00 p.m. el factor de ocupación tiene una reducción promedio del 50,54% con respecto a los valores máximos. Luego del periodo de receso se alcanzan nuevamente los niveles máximos, los cuales se prolongan hasta las 3:00 p.m., y a partir de ese momento se presenta una tendencia a la baja por el comienzo de la hora de salida de los usuarios. Las reducciones de mayor relevancia se exhiben entre las 4:00 p.m. y las 6:00

p.m. siendo esta del 65,94%, además se observa que el nivel de ocupación se anula completamente a las 10:00 p.m.

Lo anteriormente descrito permite apreciar de una manera fácil y económica el comportamiento de la ocupación general de la edificación, lo cual, representa una variable de suma importancia para los patrones de consumo eléctrico. Así pues, con esto es posible vislumbrar las conductas operativas asociadas a los espacios de la edificación donde existe mayor flujo de personas y el uso de más del 80,0% de las cargas eléctricas identificadas previamente depende de su estancia. De esta forma, la comprensión de dicho comportamiento permite esclarecer puntos de interés en la curva de carga estimada (ver subsección 4.2.2.) como los valores pico y los momentos en que se alcanza la carga base. En el mismo orden, las curvas de la X facilitan el pronóstico de la influencia horaria producida por las cargas de uso independiente, permitiendo apreciar el alto impacto del factor de ocupación para la toma de medidas de ahorro energético. Con base en lo anterior, el comportamiento de la ocupación general mostrado permite al SGEE establecer relaciones entre las cargas eléctricas de uso individual y las variaciones producidas a causa de estas en la curva de carga. Por su parte, la Figura 34 describe el comportamiento del factor de ocupación total para los sábados, debido a que los días domingo esta variable siempre está en cero.

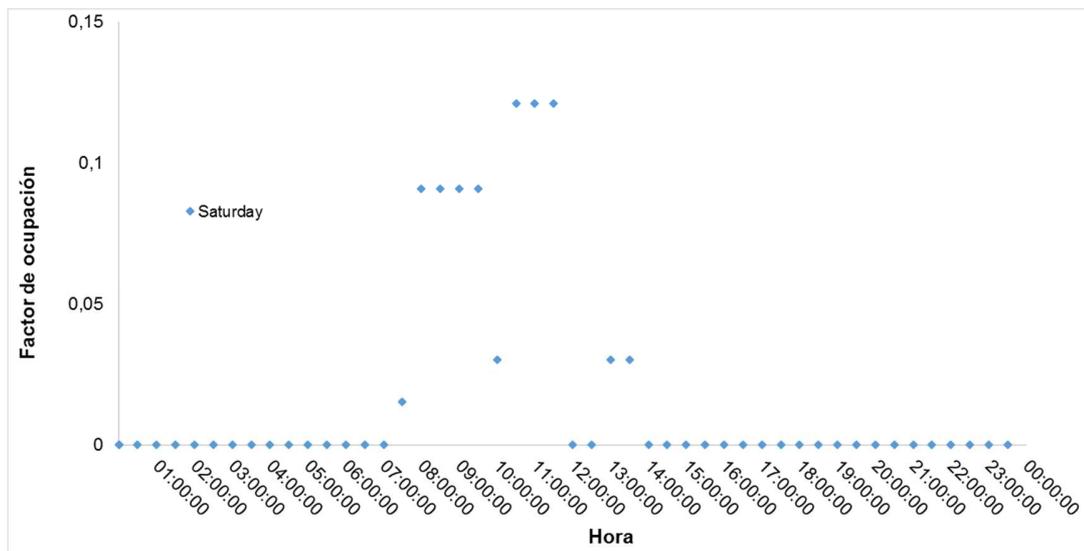


Figura 34. Comportamiento del factor de ocupación total de la edificación en los fines de semana

Es importante destacar la diferencia existente en los perfiles del factor de ocupación para este escenario respecto al semanal, considerando en primera instancia el momento en que comienzan las variaciones (7:30 a.m.) y el punto donde se anula completamente esta variable (1:30 p.m.). De esta forma, se estima que los fines de semana solo se dan actividades operativas en los espacios considerados hasta los sábados al mediodía. Además, se tienen unos niveles máximos que no sobrepasan los 0,12, lo cual representa una disminución del 87,10% comparado con el periodo semanal. Dichos valores máximos

se presentan a partir de las 10:00 a.m. y se prolongan hasta las 12:00 m, donde existe una reducción del 75,00% hasta anular completamente el nivel de ocupación. Las condiciones mencionadas anteriormente, permiten evaluar un escenario operativo de la edificación con los niveles de ocupación reducidos, lo cual se espera reflejar en los patrones de consumo eléctrico.

El aplicativo también tiene la capacidad de mostrar el impacto de la ocupación en los diferentes espacios, permitiendo evidenciar la influencia de esta variable sobre el consumo eléctrico de cada uno. Esto se muestra en la Figura 35 para el escenario de tiempo semanal, considerando únicamente los espacios en que se efectuaron las encuestas.

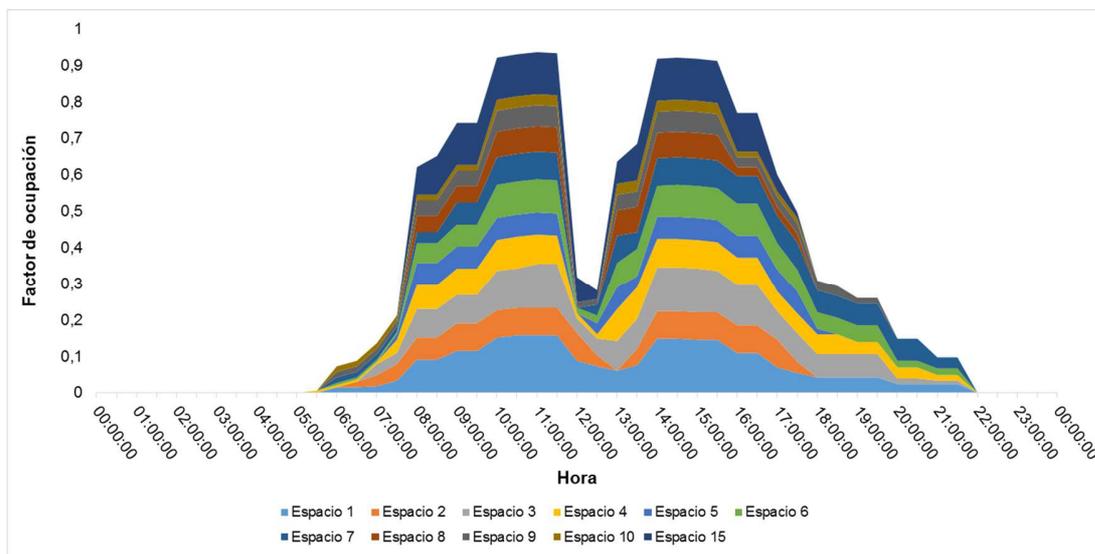


Figura 35. Comportamiento del factor de ocupación en los diferentes espacios de la edificación en un periodo semanal

Las áreas de diferentes colores representan la participación de los espacios analizados sobre el perfil total del factor de ocupación. Además, en todos los espacios se tienen contornos muy similares, lo cual explica la similitud en las curvas del análisis anterior para este escenario. Para todos los casos el crecimiento comienza a partir de las 6:00 a.m. y los valores picos se alcanzan en las mismas zonas horarias descritas arriba. Sin embargo, se presentan variaciones con respecto a los puntos horarios en que se dan los valores mínimos en el periodo de receso. Por otro lado, las tasas de mayor crecimiento son muy similares en todos los espacios, y siempre se presentan entre las 8:00 a.m. y las 9:00 a.m. Así mismo, en todos los espacios el factor de ocupación comienza a descender a partir de las 4:00 p.m. y en su mayoría se anula completamente a las 10:00 p.m., exceptuando aquellos en que se desarrollan actividades administrativas.

El espacio con mayor cantidad de ocupantes a lo largo del día es el 1, en el cual se reduce completamente su valor a partir de las 10:00 p.m., siendo este el de mayor

influencia para esta variable. Otros espacios con una participación importante son el 3, 6 y 15, los cuales presentan una diferencia promedio del 13,21%, 33,96% y 28,30%, respectivamente en comparación con el primero. De igual forma, se evidencia que el espacio de menor influencia es el 10, el cual solo presentó 2 ocupantes durante el desarrollo de las encuestas. Por otro lado, la Figura 36 muestra el comportamiento de la ocupación en los espacios analizados para el escenario de fines de semana, que como se mencionó anteriormente, únicamente tiene actividad de los usuarios en los días sábado.

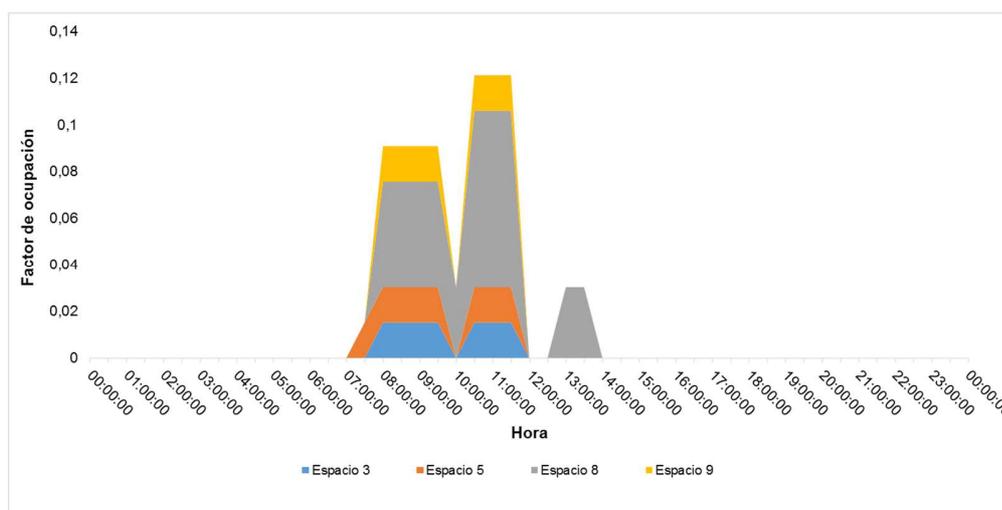


Figura 36. Comportamiento del factor de ocupación en los diferentes espacios de la edificación en un periodo de fines de semana

Los fines de semana solo existe operación en los espacios 3, 5, 8 y 9, reflejando de esa manera las disminuciones descritas anteriormente para este escenario. Los incrementos comienzan a las 7:00 a.m. en el espacio 5 y en todos los espacios se alcanzan los valores máximos a la misma hora (10:30 a.m.), los cuales se extienden hasta el mediodía aproximadamente. Después de las 12:00 m. solo existe actividad en el espacio 8, reduciéndose su factor de ocupación en un 60,00% hasta las 2:00 p.m.

Todos los espacios que tienen participación en este escenario son de tipo laboratorio, y no se consideran los salones de clase que operan en ese momento, debido a que no cumplen los criterios señalados previamente. El espacio de mayor influencia para este caso es el 8, el cual aporta el 58,82% de la participación, seguido por los 3 y 5 con 12,35% y 14,70%, respectivamente.

4.2.2 Estimación y medición de la curva de carga eléctrica

Considerando la información presentada anteriormente se establecen los cálculos para las curvas de carga en la edificación bajo estudio. Así, la Figura 37 muestra el formulario utilizado en el aplicativo para las estimaciones al analizar el comportamiento de la curva de carga.

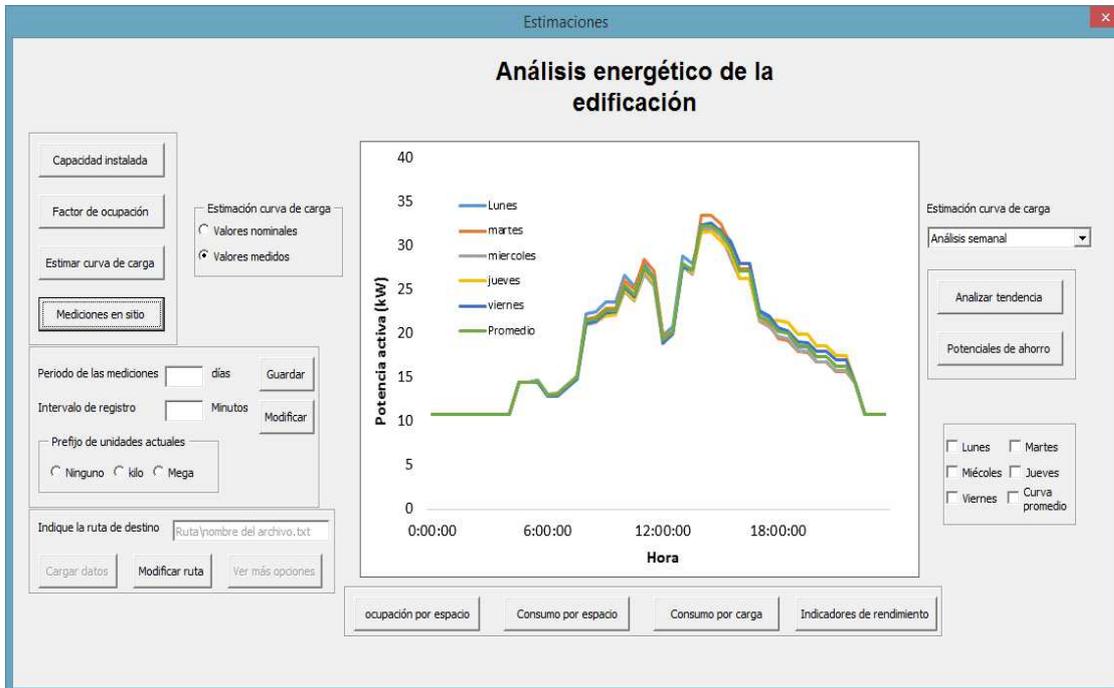


Figura 37. Formulario para las estimaciones realizadas al momento de analizar las curvas de carga

Como se mencionó anteriormente, para estimar las curvas de carga primero se debe definir si estas se calcularán con base en los valores nominales o medidos, lo cual permite comparar el comportamiento en caso que las cargas operen con sus valores teóricos máximos. Al ejecutar los cálculos también es posible seleccionar entre “análisis semanal” y “análisis de fines de semana” para evaluar el comportamiento para una semana completa de operación. Así mismo, los cálculos para las estimaciones de las curvas de carga tardan aproximadamente 2 minutos en ejecutarse para un computador portátil Toshiba Satellite S55-B, con procesador Intel® Core™ i7-4510U @ 2.00GHZ 2.60GHZ y memoria instalada (RAM) de 8,00 GB.

Luego de estimar las curvas de carga también se habilita el botón que permite la evaluación de los potenciales de ahorro y las demás las opciones que permiten analizar la ocupación en los diferentes espacios, así como la distribución de consumos en las diferentes cargas y localizaciones de la edificación (ver subsección 4.2.4). En la Figura 38 se extiende el análisis de la curva de carga estimada para el escenario de tiempo semanal.

Para todo el periodo de análisis existe una desviación estándar máxima entre los diferentes valores de 0,89, la curva promedio del consumo semanal es resaltada en color negro. En horas de la mañana se presenta una tendencia al alza que comienza a las 6:00 a.m. y finaliza en el periodo de receso de los usuarios (12:00 m.). Este comportamiento

presenta diferentes tasas de crecimiento que dependen de la estancia de los usuarios al interior de los espacios y el horario operativo de las cargas eléctricas de uso general e independiente. En horas de la tarde los valores de potencia activa comienzan a descender a partir de las 3:30 p.m., donde comienza la hora de salida de los usuarios y termina el ciclo operativo de diferentes cargas eléctricas.

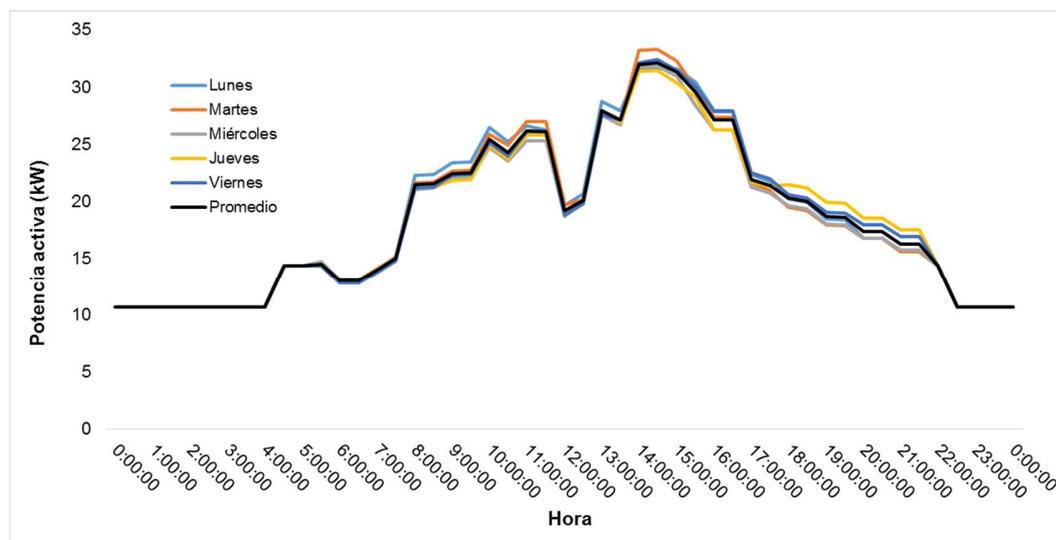


Figura 38. Estimación de las curvas de carga eléctrica para el escenario de tiempo semanal

Con base en lo descrito anteriormente, se observa que el comportamiento de la ocupación es una variable de gran influencia para el trazo de los perfiles ligados a las curvas de carga. Así, es importante mencionar que las tendencias en la potencia activa para las horas de la mañana y la tarde están relacionadas con la llegada y salida de los usuarios. De esta forma, las variaciones encontradas respecto a la media de los diferentes días de la semana se deben principalmente a los horarios operativos presentados. Así mismo, en el periodo de receso (12:00 m. a 1:00 p.m.) se establecen reducciones producidas principalmente por la disminución momentánea de las condiciones operativas de cargas ligadas a los niveles de ocupación.

Por su parte, los puntos máximos se presentan entre las 2:00 p.m. y las 3:00 p.m., con un valor de potencia promedio de 32,10 kW, presentándose en el mismo rango horario para todos los días del escenario analizado. Este valor se alcanza luego de la hora de receso y se producen principalmente por la entrada en operación de algunas cargas asociadas a la climatización de espacios e iluminación de diferentes zonas de la edificación, las cuales permanecen apagadas hasta el mediodía. Estas condiciones operativas representan un incremento aproximado del 23,0% respecto a la concentración de potencia activa consumida antes del periodo de receso.

Los valores mínimos o carga base de las curvas de carga son de 10,71 kW y se presentan en los puntos horarios donde el factor de ocupación es igual a cero, por lo que

no se exhiben variaciones considerables respecto al promedio. Las variaciones súbitas de 3,70 kW producidas justo antes y después de alcanzar los valores mínimos respectivamente, corresponden al consumo ligado a los sistemas de iluminación en los diferentes pasillos.

Los resultados descritos anteriormente permiten establecer el comportamiento estimado para los patrones de consumo eléctrico en un contexto semanal, o bajo condiciones operativas de la edificación a plena carga. Con ello se determinaron los puntos horarios donde se presentan las concentraciones energéticas de mayor y menor relevancia en un día normal de trabajo, representando una información importante para la toma de decisiones por parte del SGEE. Así mismo, la información de las curvas de carga es utilizada para proyectar los consumos totales en intervalos de tiempo definidos, y comparar la participación de los diferentes espacios y cargas. Adicionalmente, la curva con los valores promedio se utilizará para el desarrollo de los análisis posteriores y representa el escenario base para comparar el impacto de las estrategias de reducción de consumo y su respectivo potencial (ver subsección 1.2).

La Figura 39 presenta el comportamiento de las curvas de carga para el escenario de fines de semana. Únicamente existen variaciones respecto a la carga base los días sábado hasta el mediodía. Por tanto, la estimación realizada establece que los domingos existen discrepancias insignificantes respecto al impacto presentado por las cargas de operación continua. Dichas variaciones comienzan a producirse a partir de las 7:00 a.m., exhibiéndose una tendencia al alza hasta las 8:00 a.m., donde se alcanzan los valores máximos de 13,75 kW hasta las 10:00 a.m. Posteriormente, se presenta una reducción del 10,25% entre las 10:00 a.m. y las 11:00 a.m., debido al tiempo de receso de la mayor parte de los usuarios involucrados en este escenario. Posterior a dicha reducción, se alcanzan nuevamente los valores máximos hasta las 12:30 m., donde se presenta una reducción importante y opera solo al 20,00% de los valores máximos hasta la 1:30 p.m. Los resultados presentados para este escenario evidencian una reducción del 57,16% respecto a los valores máximos presentados para la operación de la edificación a plena carga (promedio semanal). Esto se debe principalmente a las reducciones en el nivel de ocupación, lo cual también pone en evidencia la correlación de esa variable con el consumo eléctrico.

Por otro lado, el botón “mediciones en sitio”, habilita el recuadro que permite la introducción de los datos de potencia activa medidos desde el circuito general. Para ello debe registrarse la cantidad de días en que dichas mediciones fueron ejecutadas, así como el intervalo de registro y las características de las unidades almacenadas. Posteriormente se indica la ruta de destino del archivo .txt donde se tienen almacenados los datos. Al cargar los datos medidos se habilita el botón “ver más opciones”, con el cual se muestra el formulario de la Figura 40 donde son visualizados y analizados, así como se efectúan las respectivas validaciones de las estimaciones.

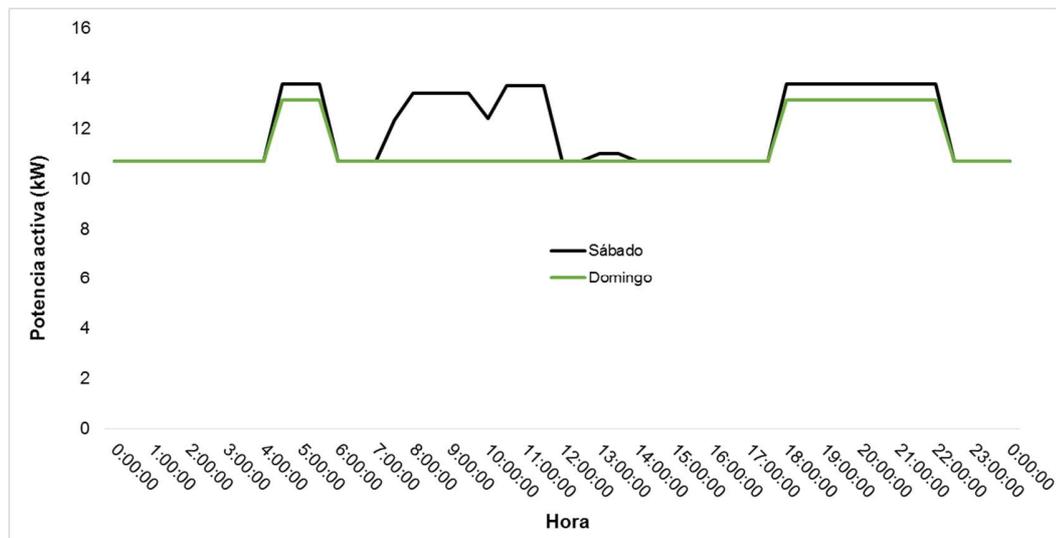


Figura 39. Estimación de las curvas de carga eléctrica para el escenario de fines de semana

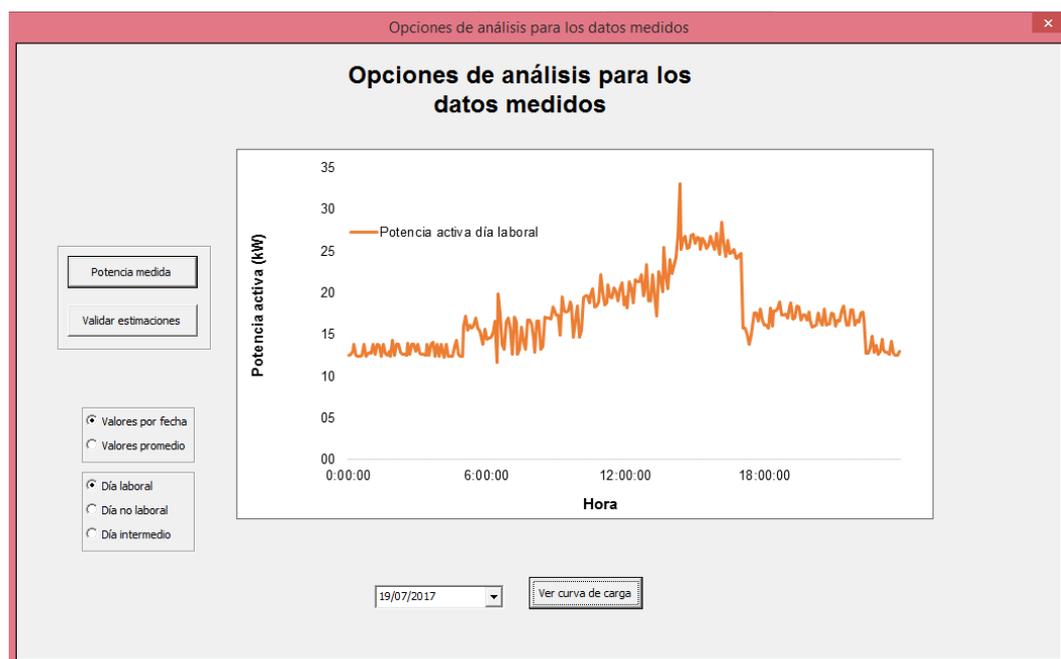


Figura 40. Formulario para la visualización y análisis de los datos de potencia medidos a partir del circuito general.

Las diferentes opciones presentadas en este formulario para el análisis de los datos se resumen en el primer recuadro localizado al lado izquierdo del gráfico, la validación de estimaciones se explica a mayor detalle en la subsección 4.2.3. Así, el botón “potencia medida”, permite evidenciar el comportamiento real de las curvas de carga en la edificación, considerando los intervalos de registro configurados al momento de tomar las mediciones. Con base en este parámetro es posible seleccionar dos opciones, siendo la primera la obtención de los valores por fecha, donde se construyen las curvas de carga

ligadas a los días individuales en que se efectuaron las mediciones. Para esto, el aplicativo clasifica automáticamente entre días laborales (Semanal) no laborales (Domingo) e intermedios (sábado)” de forma que se selecciona el escenario que se requiera analizar y la respectiva fecha (ver subsección 4.2.1).

Para la edificación analizada en el caso de estudio la Figura 41 resume los datos de potencia activa registrados durante todo el periodo de mediciones. Estos datos pueden ser visualizados en el aplicativo asignado la clasificación y la fecha para el día que se desee analizar.

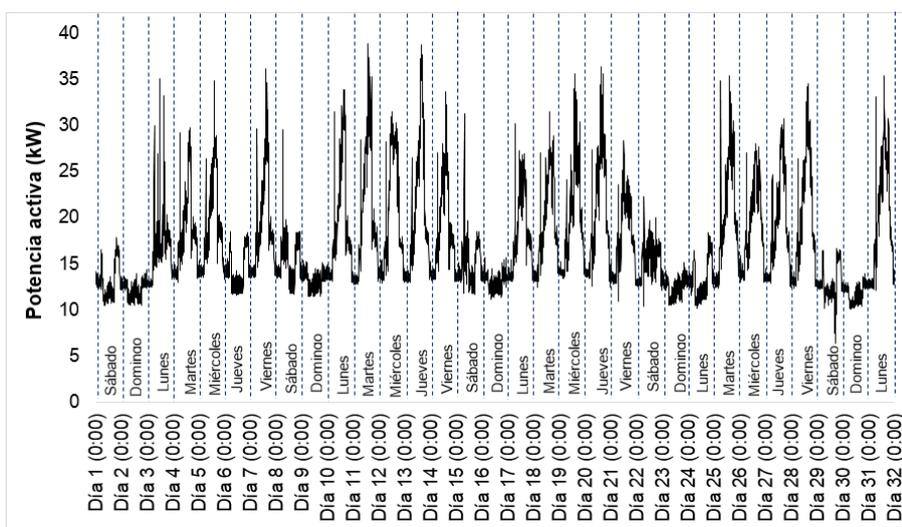


Figura 41. Comportamiento de la potencia activa en el circuito general de la edificación durante un mes de mediciones

Se tuvo información de 32 días, identificándose los patrones de consumo correspondientes a cada escenario de tiempo analizado. De esta forma, se observa que existen reducciones para los fines de semana, tal y como se evidenció en la estimación analizada anteriormente. Así mismo, en la primera semana de mediciones se exhibe una reducción notable en la potencia activa para el día jueves, de modo a que la edificación no operó a plena carga por ser este un día festivo. El mismo comportamiento ocurrió para el día lunes de la última semana de mediciones.

Con base en lo anterior, se observa una tendencia similar para los días que abarcan el escenario semanal, de modo que los valores máximos y mínimos suelen presentarse en los mismos puntos de tiempo. De esta forma, los periodos de tendencia al alza y a la baja siempre se exhiben en horas de la mañana y en la tarde respectivamente. También se observa que los valores pico no siempre son los mismos, presentando una desviación estándar de 3,65 con respecto al promedio, lo cual depende de las condiciones operativas de la edificación. Por su parte, el comportamiento de los valores mínimos en este escenario es muy similar para todos los días, independiente del perfil de consumo

que se haya establecido. Es importante destacar que la carga base presentada en el escenario semanal es 4,19% mayor con respecto a la de los fines de semana, debido a la operación de iluminación externa conectada al circuito general de la edificación.

La otra opción que ofrece el aplicativo está basada en la obtención de los valores promedio para los diferentes escenarios establecidos, donde se obtienen las gráficas que recopilan la totalidad de los datos durante el periodo de medición. La Figura 42 muestra la curva promedio con los valores medidos para el escenario laboral, que para el caso de estudio equivale al semanal. En dicha figura se puede observar el comportamiento de la potencia activa en la curva de carga medida, la cual se representa con la línea continua de color verde. Respecto a las tendencias establecidas, se evidencia que a las 4:30 a.m. y a las 10:00 p.m. se presentan incrementos y reducciones súbitas respectivamente. Esto se debe a la entrada en operación de la iluminación en los pasillos de la edificación analizada, los cuales son accionados por medio de controles automatizados. Así mismo, a partir de las 6:00 a.m. comienza a incrementarse el valor de manera constante hasta las 11:30 a.m., obteniendo un aumento del 58,30% en comparación con la carga base (13,60 kW). Al medio día (entre las 12:00 p.m. y las 2:00 p.m.), se establece una reducción promedio del 5,96% en relación a la tendencia que se venía presentando. Así mismo, a las 2:30 p.m. se alcanza el valor máximo de potencia activa, que para este caso es de 30,00 kW y tiene una duración aproximada de una hora. A partir de las 4:00 p.m. se exhiben reducciones de los valores a tasas diferentes entre periodos determinados. De esta forma, entre las 4:00 p.m. y las 5:00 p.m. se logra una reducción del 16,93%, mientras que entre este último y las 6:00 p.m. existe una contracción de únicamente el 3,00%. Por su parte, entre las 7:00 p.m. y las 8:00 p.m. se presentó la mayor tasa de reducción con un 18,92%.

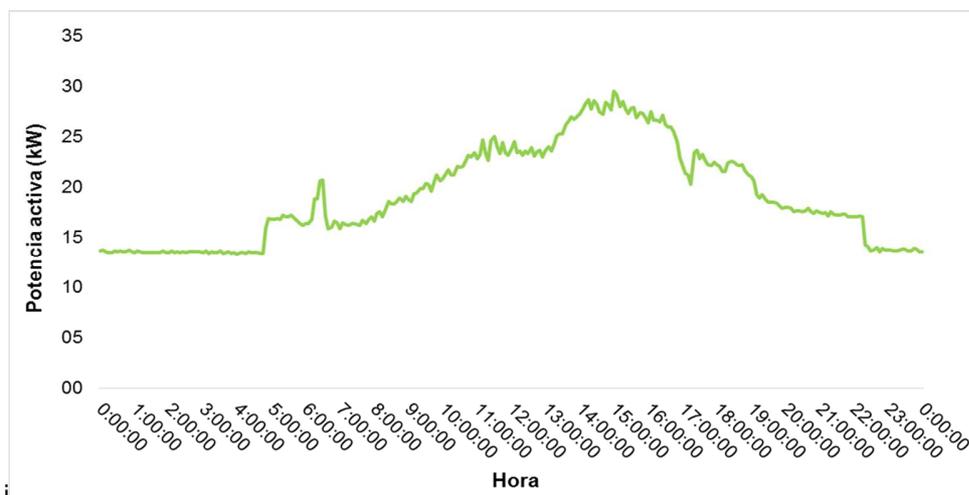


Figura 42. Curva de carga medida para el escenario de tiempo semanal de la edificación

La curva de carga permitió sintetizar el comportamiento eléctrico real de la edificación en el escenario semanal, donde suelen desarrollarse las actividades requeridas a plena

carga y se presentan los consumos de mayor relevancia. Con base en estos datos se validaron los patrones de consumo eléctrico estimados para este escenario, a través de la comparación analizada en la subsección 4.2.3., y los criterios definidos previamente (sección 3.1.5). Adicionalmente, la resolución utilizada para el registro de los datos es más ajustada que la estimación, permitiendo evidenciar sucesos y variaciones de corta duración como el presentado a las 6:30 a.m. que abarca un incremento de hasta 20,70 kW. Estos sucesos no se logran observar únicamente a través de las estimaciones realizadas, debido a que dependen de condiciones imprevistas. Por su parte, la Figura 43 muestra el comportamiento de las curvas de carga medidas para el escenario de fines de semana, el cual involucra los días sábado y domingo por separado, tal y como se analizó para las respectivas estimaciones.

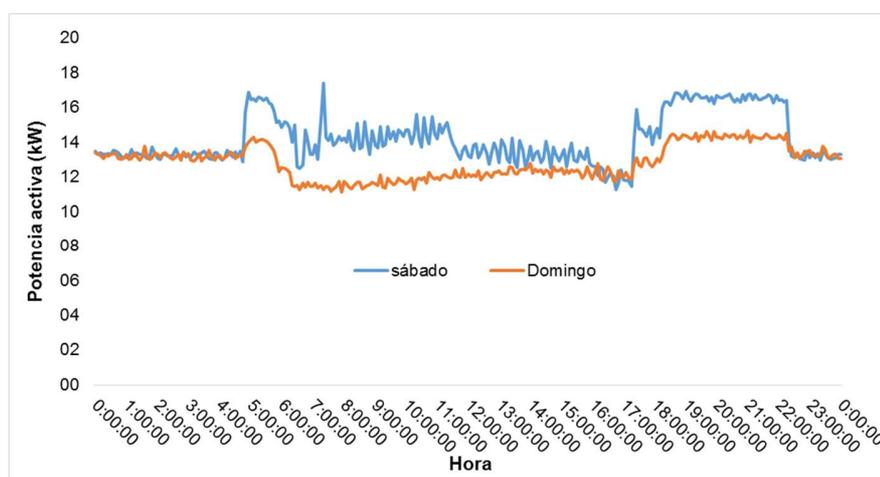


Figura 43. Curva de carga medida para el escenario de tiempo de fines de semana de la edificación

La principal diferencia entre el comportamiento de ambas curvas se encuentra en las horas de la mañana hasta las 12:30 p.m., siendo similares en los valores de la carga base que para este caso son de 13,03 kW en promedio. También se evidencia el efecto causado por la iluminación de los pasillos de la edificación, los cuales se producen en los mismos horarios analizados para el escenario semanal. De esta forma, para el día sábado se observa que a partir de las 7:00 a.m. se presenta un incremento en el valor de potencia activa que da lugar a una tendencia con variaciones inferiores al 15,80% y un valor máximo de 15,44 kW. En el mismo día, el comportamiento para las horas de la tarde exhibe valores más acercados a la carga base, con una tendencia uniforme hasta las 6:00 p.m., momento en el que entra en operación la iluminación de los pasillos.

Para el domingo se observa en primera instancia una disminución del 14,93% en los valores potencia para la iluminación de los pasillos, debido a que en ese lapso se reduce la cantidad de luminarias utilizadas. En este caso existen diferencias en comparación con la carga base de únicamente 8,04%, debidas principalmente a la operación de cargas pequeñas al interior de la edificación. Este comportamiento se mantiene desde las 6:30

a.m. hasta las 6:00 p.m., por lo que para todo el día domingo no existen variaciones importantes respecto a la carga base, tal y como se determinó en la estimación realizada.

Los resultados permitieron concretar el comportamiento eléctrico de la edificación para el escenario de fines de semana, en el que se desarrollan las actividades de la edificación con una menor intensidad. Así pues, para este escenario no se presentan los valores máximos en los mismos puntos horarios y encuentra una reducción del 48,53% respecto al semanal. De igual forma, se evidencia que únicamente se presentan variaciones considerables en la potencia activa los días sábado en el horario en que existe afluencia de ocupantes.

4.2.3 Comparación entre curvas de carga y variables

La validación de los cálculos realizados para los patrones de consumo se establece a través de la segunda opción del formulario mencionado anteriormente, comparando para ello los comportamientos de las curvas de carga medidas y estimadas. La Figura 44 muestra las opciones habilitadas en el aplicativo cuando se requiere dicha validación.

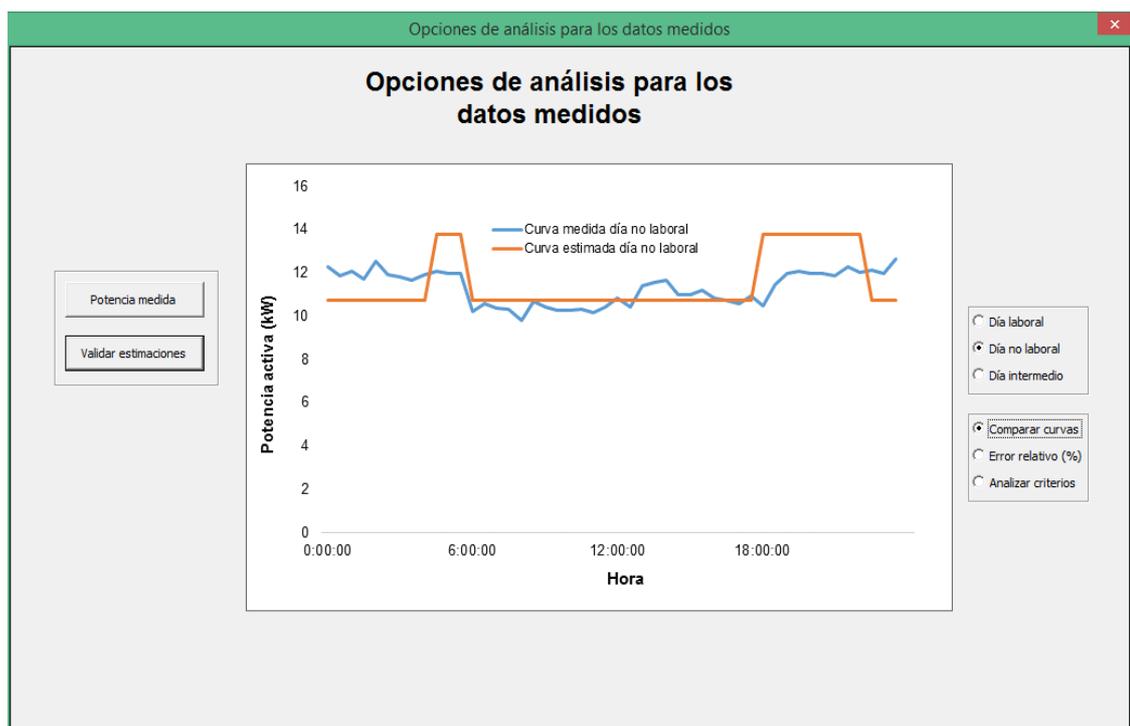


Figura 44. Formulario para la visualización y análisis de la validación de los cálculos realizados a partir de los valores de potencia medidos.

El formulario también habilita las opciones que definen el escenario operativo a ser analizado, lo cual se efectúa en el primer recuadro localizado a la derecha del gráfico. Posteriormente debe seleccionarse uno de los parámetros de análisis localizados en el recuadro localizado debajo del anterior. Así entre dichos parámetros se encuentran la comparación de las curvas de carga, la generación de los errores relativos o la

evaluación de los diferentes criterios e indicadores definidos en el capítulo de metodología. A continuación, se presenta la valoración de dichos parámetros para la edificación analizada en el caso de estudio, considerando los diferentes escenarios mencionados anteriormente. La Figura 45 muestra la comparación entre las curvas de carga estimadas y medidas para el escenario semanal.

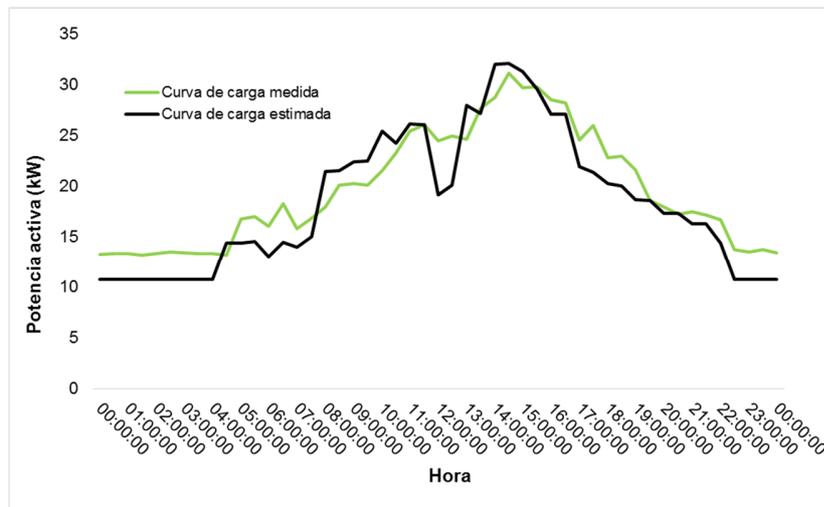


Figura 45. Comparación entre curvas de carga estimadas y medidas en el circuito general de la edificación para el escenario semanal

En cuanto los criterios definidos, se observa en primera instancia que los valores pico y la carga base de todas las curvas se localizan en los mismos puntos horarios. Así, los valores máximos de potencia se presentan a las 2:30 p.m. en ambas curvas, con una duración de una hora, siendo de 32,10 kW y 30,00 kW para la estimada y medida, respectivamente. De esta forma, para los valores pico existe una diferencia de 2,10 kW. Por su parte, la carga base siempre se presenta entre las 10:00 p.m. y las 4:30 a.m. del día siguiente (duración de 7,5 horas), teniendo una magnitud de 10,77 kW y 13,60 kW para la estimación y medición respectivamente. Así, para la carga base se presenta una diferencia de 2,83 kW, la cual se presenta esencialmente por la iluminación externa de la edificación que no se consideró en las estimaciones realizadas.

Por otro lado, el coeficiente máximo de variación para todo el periodo analizado es de 18,0%, cumpliendo con el segundo criterio requerido al ser menor al 20,0%; establecido en la subsección 3.1.5. Las discrepancias presentadas entre las curvas, se deben a desviaciones de los datos recolectados en los procedimientos descritos respecto al comportamiento real de los usuarios y las cargas.

Por su parte, la evaluación de los criterios relacionados con el tipo de tendencia que se presenta en los diferentes intervalos, se efectuó con base en la orientación de las inclinaciones geométricas de las curvas de carga. En horas de la mañana luego de comenzar la jornada laboral (6:00 a.m. a 11:30 a.m.) se presentan tendencias

prominentemente ascendentes para ambas curvas, teniendo comportamientos similares en la mayoría de los rangos horarios. De igual forma, a las 12:00 m. se establecen tendencias negativas en la curva medida y estimada por un lapso de una hora (periodo de receso), siendo más pronunciada para la última. Luego de alcanzar los valores máximos se presenta una reducción continua en el consumo de potencia de ambas curvas, el cual se establece hasta las 10:00 p.m. en que se presenta exhibe la carga base. En los periodos en que se presenta la carga base se ostentan valores aproximadamente constantes en ambos casos, mostrando tendencias similares.

El comportamiento de los diferentes tipos de tendencia para las curvas analizadas, evidencia que las estimaciones cumplen con los criterios señalados. En este sentido, las tendencias horarias siempre son las mismas para ambas curvas de carga, a salvo de algunos eventos de corta duración que no afectan las condiciones requeridas. Por su parte, la Figura 46 presenta el comportamiento horario del error relativo entre las curvas analizadas para el escenario semanal, considerando como valores reales los datos medidos en el circuito general.

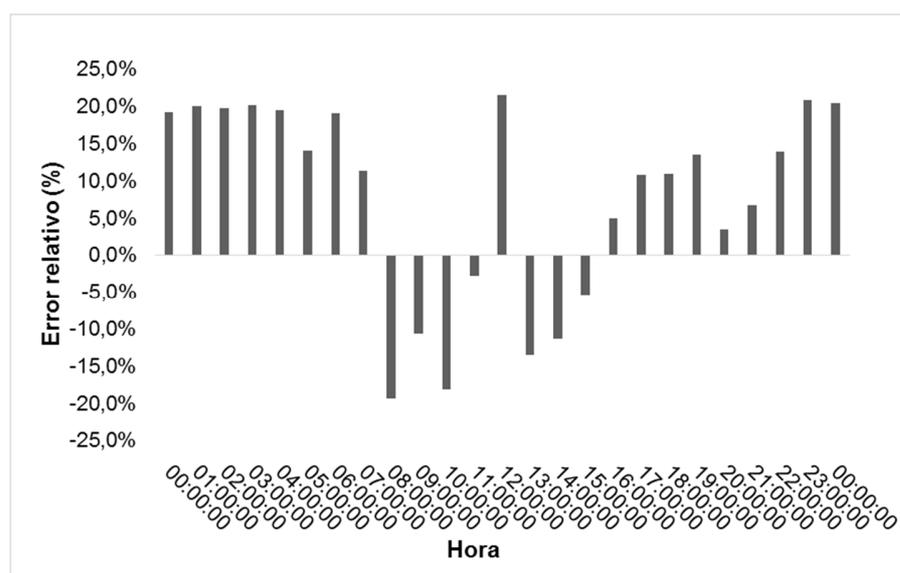
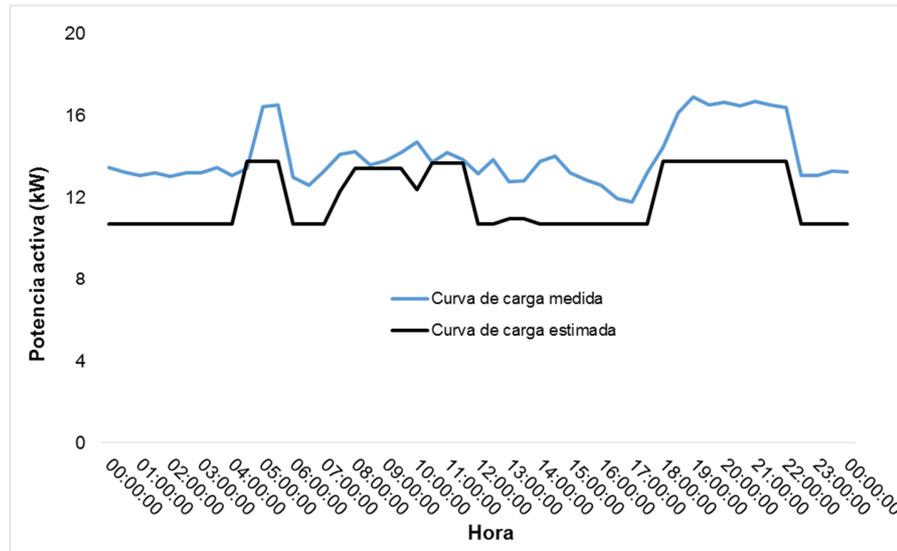


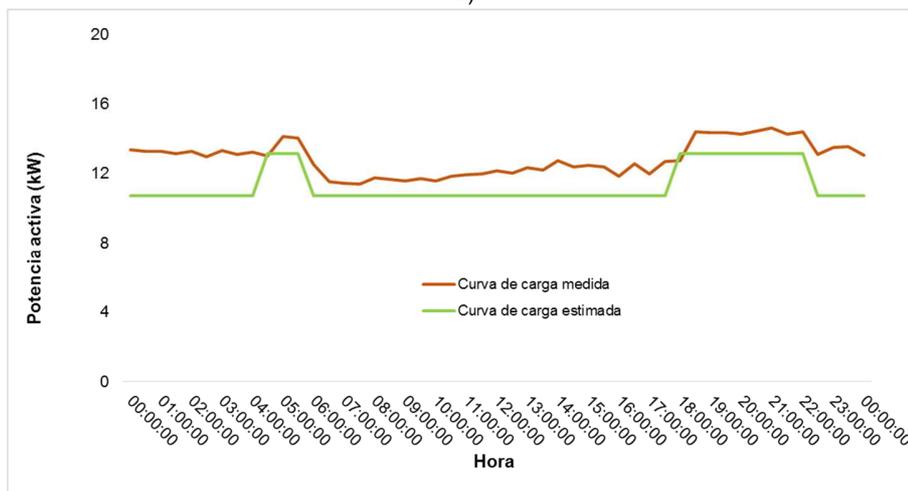
Figura 46. Comportamiento del error relativo entre las curvas de carga medida y estimada para el escenario semanal

A partir del comportamiento presentado se observa que en los horarios de la carga base existe una diferencia uniforme entre los datos medidos y estimados. De esta forma, el error relativo determinado para ese lapso se encuentra entre el 19,29% y el 20,90%, reflejando además la poca variabilidad de la potencia cuando el factor de ocupación se hace cero. Además, el punto donde se exhibe el error de mayor magnitud (21,60%) es al mediodía o durante el periodo de receso para gran parte de los ocupantes. A esa hora existe la diferencia de mayor notoriedad entre el comportamiento real y la estimación del consumo por las modificaciones aleatorias en el comportamiento de los usuarios.

Por su parte, la Figura 47 compara las curvas de carga estimadas para el escenario de fines de semana con la potencia medida en el circuito general durante ese periodo. Se han analizado los días sábado y domingo por separado para mejorar la visibilidad de los datos.



a)



b)

Figura 47. Comparación entre curvas de carga estimadas y medidas en el circuito general de la edificación para a) sábados y b) domingos.

Al examinar las tendencias, se evidencia que en horas de la mañana existe un incremento promedio del 13,51% en el valor de la potencia para todos los casos, aproximándose nuevamente a la carga base después del mediodía. Así mismo, se observa que los puntos de mayor y menor consumo eléctrico se presentan en las mismas zonas, cumpliendo con el primer criterio de evaluación requerido. Se evidencia que la mayor parte del día domingo se mantiene una tendencia constante en la carga base para

estimaciones y mediciones, cumpliendo también con dicho criterio. La Tabla 16 resume los valores de interés para ambos días analizados en el periodo de fines de semana.

Tabla 16. Valores pico y carga base en el escenario de fines de semana

Día	Valores pico				Carga base			
	Curva estimada		Curva medida		Curva estimada		Curva medida	
	Potencia (kW)	Duración (h)	Potencia (kW)	Duración (h)	Potencia (kW)	Duración (h)	Potencia (kW)	Duración (h)
Sábado	13,76	1,5	16,44	1,5	10,77	7,5	13,32	7,5
Domingo	13,13	1,5	14,14	1,5	10,77	19,5	12,37	19,5

Los datos presentados muestran diferencias de 2,68 kW y 1,01 kW en los valores pico de los días sábado y domingo respectivamente, en comparación con los datos medidos. Del mismo modo, para la carga base se tienen diferencias de 2,55 kW y 1,60 kW para los días sábado y domingo correspondientemente. Por su parte, los coeficientes máximos de variación son de 19,0% y 17,0% para los días sábado y domingo, cumpliendo con el segundo criterio para ambos días.

En cuanto los tipos de tendencias para el día sábado, se observa que en ambas curvas de carga comienza un crecimiento en el consumo de potencia a las 7:00 a.m. debido a las variaciones en el factor de ocupación. Dicha tendencia tiene una duración aproximada de una hora, por lo que a partir de las 8:00 a.m. se presenta un comportamiento con una variación máxima del 7,46% hasta el mediodía. Después de las 12:00 p.m., se establecen una reducción del 21,83% para la estimación, de forma que en la curva medida la tendencia que se venía presentando se extiende hasta las 2:00 p.m. Sin embargo, la mayor parte del tiempo se tiene comportamientos aproximadamente constantes con variaciones inferiores al 0,76% en ambas curvas. A las 6:00 p.m. se encienden las luces de los pasillos, lo cual sustenta los incrementos presentados hasta las 10:00 p.m. en que se alcanza la carga base. Así mismo, en los rangos de tiempo en que se presentan estas condiciones, existen variaciones inferiores al 0,52%. Por su parte, en los días domingos los niveles de potencia se mantienen constantes la mayor parte del tiempo en la carga base, existiendo variaciones notables únicamente en los horarios operativos para la iluminación de los pasillos.

Con base en lo anterior, las tendencias de las estimaciones para los fines de semana cumplen con los criterios establecidos respecto a los valores medidos de potencia, de modo que la mayoría de las tendencias ascendentes y decentes se presentan en los mismos puntos horarios. De esta forma, las estimaciones calculadas para ambos escenarios operativos cumplen con todos los criterios requeridos para su validación. Así, los horarios de mayor y menor consumo eléctrico son los mismos para todas las curvas analizadas, por lo que es posible utilizar exclusivamente los valores nominales de las cargas para establecer puntos de consumo importantes. De igual forma, estas características le permiten al SGEE planteado establecer análisis de consumos más extenso al interior de la edificación, destacando los espacios y cargas de mayor

participación (ver subsección 4.2.4). Esto destaca la importancia de recolectar adecuadamente los datos operativos de la edificación y la potencia de las cargas, debido a que las variaciones presentadas dependen en gran medida de esos factores. Así mismo, la resolución utilizada para el cálculo de las estimaciones no permite evidenciar los eventos súbitos mencionados anteriormente para la curva de carga medida. La Figura 48 presenta las tendencias hora a hora del error relativo entre las curvas analizadas para el escenario de fines de semana.

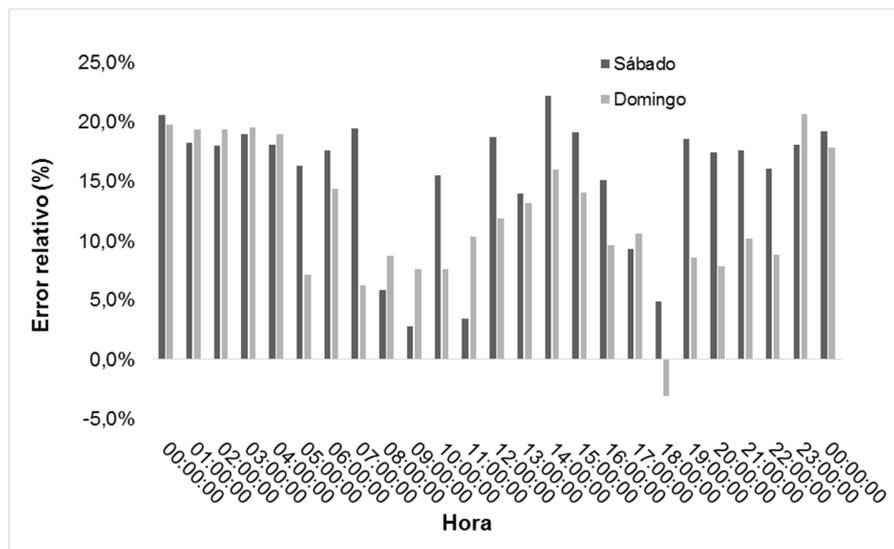


Figura 48. Comportamiento del error relativo entre las curvas de carga medida y estimada para el escenario de fines de semana

Al igual que en el escenario semanal, el comportamiento de ambos días en la carga base es uniforme y presenta variaciones inferiores al 1,80%. Para el día sábado el error de mayor porcentaje (22,20%) se presenta después del mediodía cuando en la estimación el factor de ocupación se hace cero. Esto se debe a que en ese momento algunos de los usuarios prolongan su jornada hasta aproximadamente las 2:00 p.m., haciendo que el valor de potencia medido sea relevante hasta esa hora. En cuanto los días domingos, se observa que el error relativo entre el comportamiento real y estimado es menor luego de apagar la iluminación de los pasillos, reflejando que no existen variaciones considerables. De esta forma, durante el día domingo el error relativo no supera el 20,70%, el cual se produce principalmente por las variaciones explicadas anteriormente respecto a la carga base.

El análisis del comportamiento de los errores relativos en los diferentes escenarios, permite evidenciar gráficamente los puntos horarios donde existen las mayores discrepancias entre los valores medidos y estimados. Se observa que los errores de mayor relevancia se producen cuando existen cambios aleatorios en el nivel de ocupación. Sin embargo, para este caso de estudio dichos errores tienen un valor

máximo de 21,60%. Por su parte, la Tabla 17 resume el cálculo de los indicadores de análisis mencionados anteriormente para los patrones de consumo medidos y estimados.

Tabla 17. Indicadores de análisis energético para las curvas de carga medida y estimada

Indicador	Curva de carga medida			Curva de carga estimada		
	Semanal	Fines de semana		Semanal	Fines de semana	
		Sábado	Domingo		Sábado	Domingo
Factor de carga	0,60	0,82	0,87	0,57	0,87	0,86
Impacto nocturno	0,91	1,09	1,08	0,84	1,07	1,09
Impacto a hora del almuerzo	1,23	N.A.	N.A.	1,06	N.A.	N.A.
Valor pico entre carga base	2,30	1,30	1,18	2,98	1,27	1,21
Día laboral entre no laboral	1,49			1,63		

Los datos mostrados registran el valor de los diferentes indicadores, los cuales presentan un coeficiente máximo de variación del 18,00% entre los datos medidos y estimados. El indicador de mayor discrepancia es el valor pico entre carga base, debido a las cargas externas que no se consideraron en el periodo en que se presenta la carga base, sin embargo, se obtuvo un valor aceptable. Además, esta relación es la que ostenta un mayor impacto en el contexto semanal para ambas curvas, debido a la diferencia entre los valores máximos y mínimos, reduciéndose considerablemente para los días del fin de semana. Este comportamiento también hace que se establezca un impacto considerable en cuanto al indicador día laboral entre no laboral, debido a las reducciones en el consumo eléctrico para los fines de semana respecto a los días laborales. Para el indicador impacto a la hora del almuerzo se tiene información únicamente para el escenario semanal, debido a que los sábados y domingos no existe una definición clara de los periodos de receso. Las diferencias en este indicador se deben principalmente a variaciones por parte de los usuarios para tomar su tiempo de receso, con respecto a la información recolectada en las encuestas. Por su parte, el indicador impacto nocturno es mayor en los fines de semana por la influencia presentada en la iluminación de los pasillos y las reducciones en los valores promedio de esos días, teniendo el mismo comportamiento para la medición y la estimación.

En otros estudios de la literatura como (Hartvigsson & Ahlgren, 2018) se realizan comparaciones entre perfiles de carga medidos y estimados, los cuales también se obtuvieron con base en datos procedentes de encuestas. Dicho estudio considera las diferencias entre las curvas de carga obtenidas por ambos métodos, encontrando variaciones importantes para las métricas consideradas en el análisis. Estas discrepancias se deben principalmente a que en la estructura de las encuestas no se consideró la suficiente información de las condiciones estructurales y operativas del consumidor analizado. Por su parte, los resultados presentados en esta subsección aproximaron en gran medida el comportamiento de las curvas estimada y medida, considerando tanto sus valores de potencia como las variaciones establecidas en los diferentes escenarios. Además, en (Hamid, Barbarosou, Papageorgas, Prekas, & Salame, 2017) se proponen y evalúan métodos alternativos para desagregar y clasificar

los datos procedentes de mediciones en el circuito general. Si bien a través de estos pueden lograrse precisiones de hasta el 98,0%, su desarrollo requiere en la mayoría de los casos la aplicación de técnicas avanzadas de aprendizaje de máquinas. Dichas técnicas suelen implicar gran cantidad de recursos computacionales que podría afectar el desarrollo y la operatividad del aplicativo desarrollado en este trabajo.

Por su parte, la Figura 49 compara los perfiles de las curvas de carga medida y estimada con el comportamiento del factor de ocupación analizado previamente para el escenario semanal. Esto con el fin de apreciar la influencia de esa variable sobre los patrones de consumo eléctrico en las condiciones en que se desarrollan las actividades de la edificación a plena carga. El impacto de esta variable sobre el comportamiento de la potencia para los fines de semana no se analizó debido a su baja participación en ese escenario.

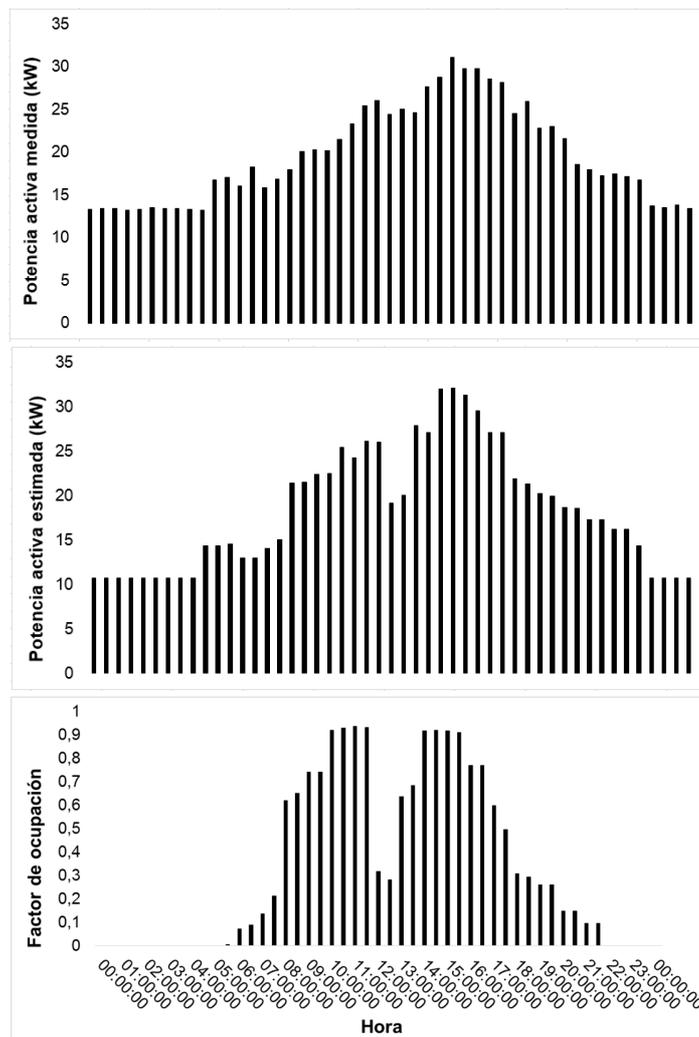


Figura 49. Comparación entre los perfiles de las curvas de carga y el factor de ocupación

Es importante destacar que las variaciones en el consumo de potencia para ambas curvas de carga comienzan al momento de incrementarse el factor de ocupación (6:00 a.m.). Lo contrario ocurre al momento de anularse dicha variable (10:00 p.m.), siguiendo a partir de ese instante una tendencia constante. Así mismo, el valor pico del factor de ocupación alcanzado en horas de la mañana no involucra los niveles máximos de consumo eléctrico, debido a que el horario operativo de diferentes cargas de uso general comienza en la tarde. Por su parte, al mediodía se observan las reducciones descritas anteriormente para la curva de carga estimada y medida respectivamente, las cuales se deben a las disminuciones momentáneas en el factor de ocupación que coinciden con el mismo horario. Las discrepancias entre los porcentajes de reducción para la curva de carga medida y estimada en este periodo, se deben a variaciones en el horario de receso de los usuarios y cargas que permanecen encendidas durante el mismo. Adicionalmente, se observa que las tendencias a la baja de las curvas de carga se presentan en conjunto con las disminuciones sostenidas en el factor de ocupación para las horas de la tarde.

Los resultados descritos anteriormente, permiten evidenciar cuantitativamente la correlación existente entre la variable de ocupación y los patrones de consumo eléctrico determinados. Esto también refleja el impacto generado por las cargas de uso general e independiente, que cumplen sus horarios operativos mientras se efectúa el desarrollo de las actividades de la edificación. La participación de las diferentes cargas eléctricas contenidas en la edificación sobre las curvas de carga, se analiza a mayor profundidad en la subsección 4.2.4.

4.2.4 Análisis del consumo por espacio y carga eléctrica

Los resultados presentados anteriormente verificaron la validez de las estimaciones realizadas para las mediciones de consumos globales en la edificación. El aplicativo desarrollado permite análisis por espacio y carga eléctrica como se ha comportado anteriormente. En esta subsección se describe la participación de las cargas y espacios sobre las curvas de carga estimadas en los diferentes escenarios, así como los indicadores de rendimiento energético. En la Figura 50 se muestra la participación de los diferentes espacios de la edificación en la curva de carga para el escenario semanal.

Puede observarse que en todo momento los espacios que abarcan una mayor relevancia son el 14 y 4, respectivamente. Ambos determinan el 79,54% del consumo base, debido a la existencia de una cantidad considerable de equipos especiales para el desarrollo de actividades investigativas, los cuales operan continuamente. Así mismo, al momento de incrementarse el factor de ocupación (6:00 a.m.) se percibe un incremento de 6,47% en el área del espacio 4, mientras se mantiene constante la del espacio 14. Por su parte, el espacio 1 que presentó una mayor participación del factor de ocupación en el escenario semanal tiene un incremento del 90,06% en la potencia al momento de alcanzar los valores máximos de esa variable. En los demás espacios donde no existen participaciones relevantes en el consumo base se tiene un incremento entre el 17,90% y el 43,87% en los horarios en que el factor de ocupación tiene influencia. Adicionalmente, se observa que en el punto donde se localizan los valores máximos de potencia, se

relaciona con los consumos de mayor relevancia para los diferentes espacios, a excepción de los pasillos cuyas cargas operan en otros horarios.

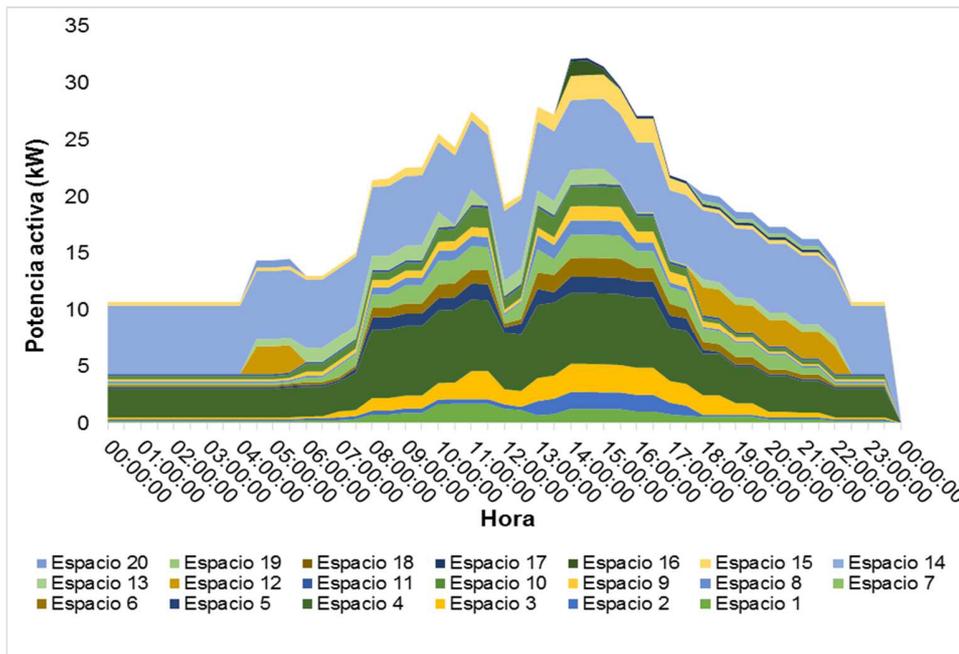


Figura 50. Participación de los diferentes espacios de la edificación sobre el comportamiento de los patrones de consumo estimados en el escenario semanal

Los resultados presentados establecen el comportamiento horario de la potencia para los diferentes espacios de la edificación en un día de operación a plena carga. Con base en esto, se definieron los momentos de mayor relevancia para el consumo eléctrico en las diferentes localizaciones estructurales, brindando al SGEE su respectiva distribución para facilitar la toma de decisiones. Por su parte, la Figura 51 muestra la participación de los diferentes espacios para el día sábado, siendo este el único día en el caso de estudio que presenta variaciones respecto al consumo base en el escenario de fines de semana.

El comportamiento de la potencia para los diferentes espacios refleja que en los fines de semana la mayoría se mantienen constantes en la carga base. De esta forma, las variaciones en el consumo planteadas anteriormente coinciden en gran parte con los espacios en que existen modificaciones en el nivel de ocupación en ese escenario (espacio 3, 5, 8 y 9). Para estos se establece una participación de entre 2,66% y 4,89% cuando se alcanzan los niveles máximos de ocupación. También se observan incrementos en los valores de potencia generados por los pasillos y aulas de clase que operan los sábados en horas de la mañana. Adicionalmente, se observa que al igual que para el escenario semanal, los espacios de mayor participación en el consumo base son el 14 y 4 respectivamente debido a las condiciones descritas anteriormente.

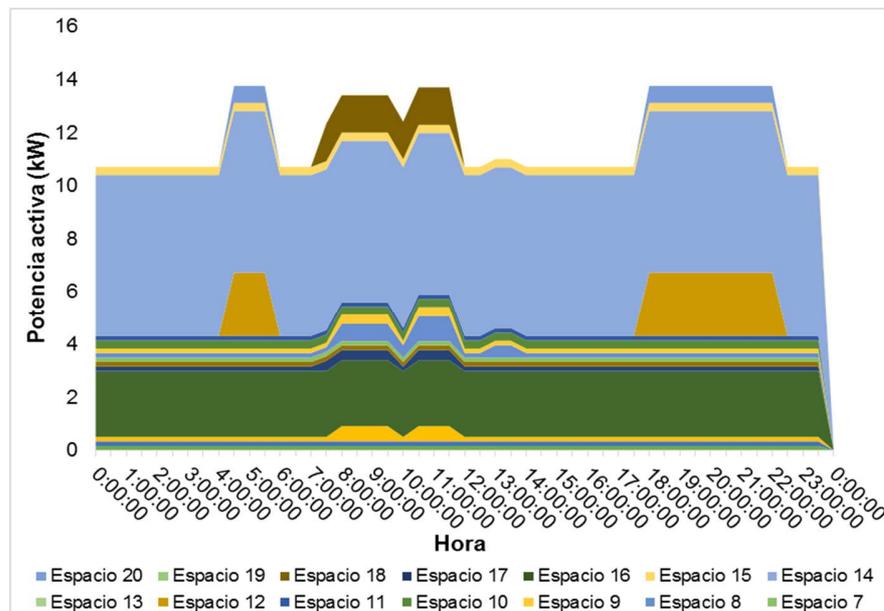


Figura 51. Participación de los diferentes espacios de la edificación sobre el comportamiento de los patrones de consumo en el escenario de fines de semana

Estos resultados permitieron establecer el comportamiento eléctrico de los diferentes espacios de la edificación para los fines de semana, detectando aquellos que producen las variaciones determinadas anteriormente para este escenario. El hecho que la mayoría de los espacios mantengan un comportamiento cercano a la carga base, explica las reducciones en el consumo con respecto al escenario semanal. Así mismo, los perfiles encontrados en horas de la mañana y la noche también se ven influenciados por los pasillos externos, los cuales tienen únicamente cargas por iluminación en su capacidad instalada. Al mismo tiempo, se observa que el comportamiento de la carga base es el mismo para ambos escenarios de tiempo, teniendo una mayor participación en espacios que contienen cargas de operación continua para el desarrollo de actividades investigativas. Con base en el comportamiento presentado en los resultados anteriores, se estableció el consumo eléctrico total para los espacios en una semana de operación. De esta forma, la Figura 52 muestra la participación de los diferentes espacios.

Como se mencionó anteriormente, los espacios de mayor relevancia son el 14 y 4 con una participación de 36,69% y 21,88% respectivamente, los cuales presentan cargas con un consumo de potencia significativo con una operación continua. Estas condiciones hacen que su participación se incremente con respecto a los demás espacios. Del mismo modo, entre los demás espacios se establecen participaciones en el rango del 4,71% al 0,21% para el de menor consumo. Además, puede observarse que la participación es mayor en los espacios que presentan niveles de ocupación más altos, reflejando la importancia de las cargas que operan durante los diferentes horarios laborales.

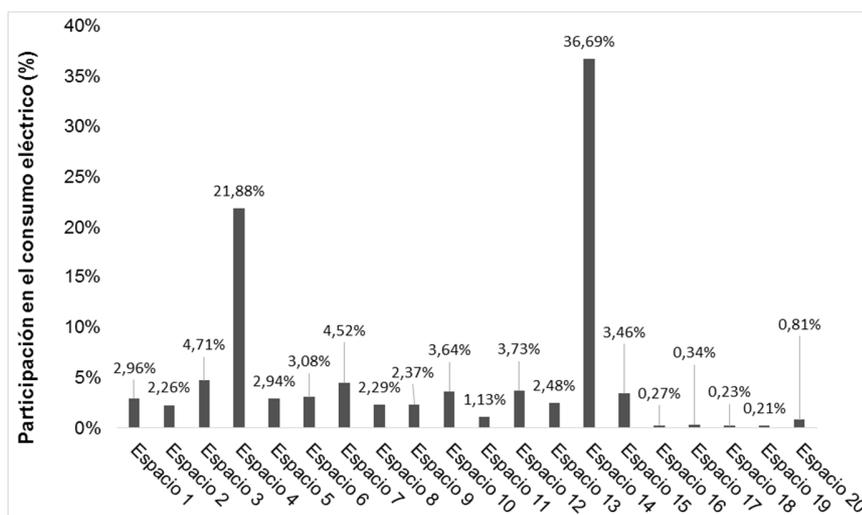


Figura 52. Participación de los espacios de la edificación para una semana de consumo eléctrico.

Por su parte, la Tabla 18 muestra la participación de los consumos eléctricos respecto a los tipos de espacios categorizados previamente para la edificación.

Tabla 18. Participación en el consumo eléctrico de los diferentes tipos de espacios para una semana

Tipo de espacio	Participación
Laboratorios	49,52%
Oficinas	5,72%
Pasillos	4,54%
Espacio recreativo	2,48%
Espacio de servidores	36,69%
Auditorio	0,27%
Salones de clase	0,78%

Los laboratorios abarcan el tipo de espacio de mayor participación (49,52%), lo cual se debe a que es el tipo de espacio que aparece con más frecuencia al interior de la edificación. Además, en estos se presenta un factor de ocupación considerable que favorece dichos incrementos. El espacio de servidores (espacio 14) mencionado anteriormente, también evidencia un comportamiento relevante por las razones ya descritas, ubicándose en el segundo lugar. Por su parte, las oficinas presentan 5,72% de participación, que si bien es bastante reducido con respecto a los anteriores, representa el consumo de únicamente los espacios 2 y 15. Dichas reducciones se deben a las características de las actividades que allí se realizan y los tipos de cargas existentes. Es importante mencionar que en las oficinas se presenta un uso considerable de iluminación y ventilación natural, lo cual también contribuye a mejorar su rendimiento energético. Los pasillos, que muestran una participación de 4,54% se caracterizan porque su consumo se debe únicamente a cargas de iluminación, las cuales operan únicamente en los horarios descritos anteriormente. Así mismo, los tipos de espacios que presentan un menor

consumo son el auditorio, los salones de clase y el espacio recreativo, respectivamente. Esto se debe a que presentan tiempos operativos significativamente inferiores en comparación con los demás, además, su capacidad instalada sugiere también reducciones considerables en la concentración de cargas. La Figura 53 presenta la participación horaria de las diferentes categorías de cargas existentes en la edificación en la curva de carga del escenario semanal.

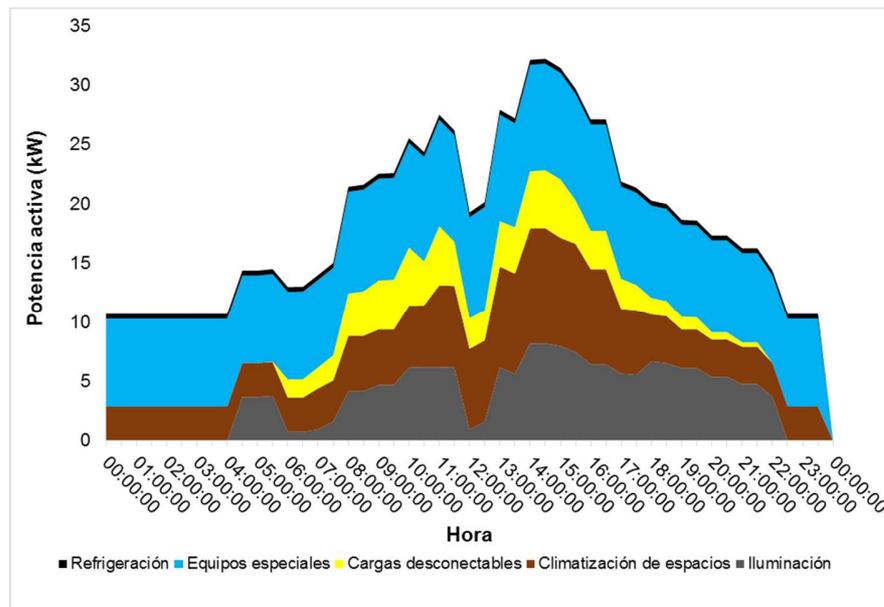


Figura 53. Participación de las categorías de cargas eléctricas existentes sobre el comportamiento de los patrones de consumo estimados en el escenario semanal

Al igual que el comportamiento presentado en el análisis de los espacios, los incrementos en el factor de ocupación hacen que el consumo de las cargas influenciadas por este se vea aumentado. En este caso se observa que la única categoría que no se ve afectada por dicha variable es la refrigeración, debido a que opera continuamente bajo las mismas condiciones. De igual forma, la carga base está relacionada principalmente con equipos especiales, climatización de espacios y refrigeración, teniendo una participación del 68,98%, 26,64% y 3,82%, respectivamente. La participación de los equipos especiales en la carga base se debe específicamente al rack de datos y comunicaciones localizados en la mayoría de los laboratorios y oficinas, los servidores del espacio 14 y las Workstation del espacio 4. Estas dos últimas son las de mayor relevancia, explicando de esa forma la alta participación de esos espacios. Por su parte, la contribución relacionada con climatización en ese mismo periodo se debe principalmente al sistema de ventilación del espacio 14.

Por otro lado, el comportamiento presentado por la carga de iluminación entre las 4:30 a.m. y las 6:00 a.m. se debe a la operación de los pasillos, siguiendo posteriormente un perfil similar al de la ocupación hasta las 10:00 p.m. Respecto a las cargas desconectables, representan su mayor participación en los de equipos de cómputo, por

su alta concentración alrededor de toda la edificación. Puede observarse que, en su mayor parte, las cargas de esta categoría son de uso independiente por la relación de su consumo eléctrico con los horarios laborales de los ocupantes. De esta forma, existen variaciones en el comportamiento eléctrico de las cargas desconectables a partir de las 6:00 a.m. y hasta las 10:00 p.m., momento en el que el factor de ocupación se hace cero. Al mismo tiempo, es importante resaltar que todas las cargas presentan su mayor participación cuando se establecen los valores pico del consumo eléctrico.

El comportamiento de los resultados estableció las tendencias de las cargas eléctricas de la edificación para diferentes lapsos en un día de operación a plena carga. Esto permite analizar en las diferentes categorías las zonas horarias más importantes, considerando el escenario que involucra la mayor parte del consumo eléctrico. De esta forma, dichos resultados destacaron la participación de las diferentes cargas sobre el consumo base y los valores pico de la curva analizada. La Figura 54 muestra la participación horaria de las categorías de cargas eléctricas para los fines de semana.

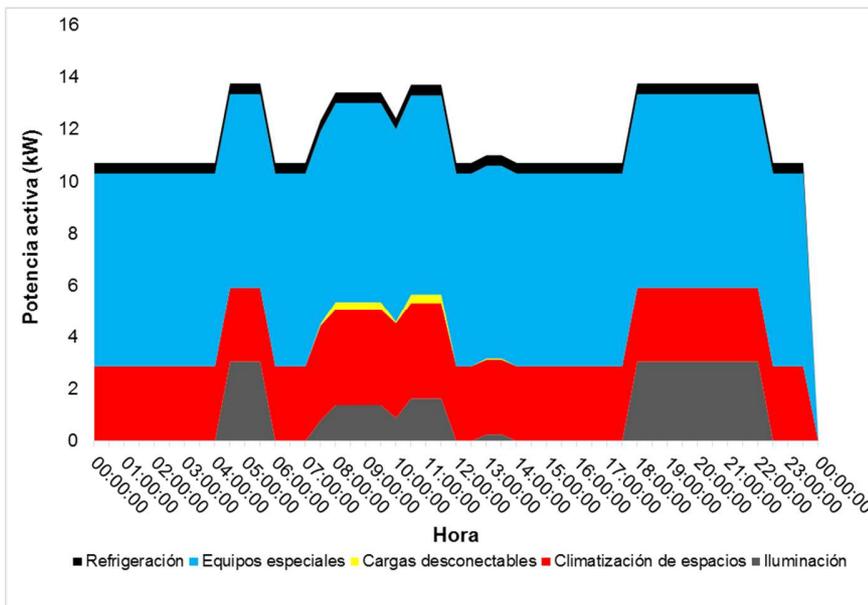


Figura 54. Participación de las categorías de cargas eléctricas existentes sobre el comportamiento de los patrones de consumo estimados en el escenario de fines de semana

Se observa que la carga base y la iluminación de los pasillos, presentan las mismas tendencias analizadas anteriormente, debido a que no existen variaciones en esos momentos por parte de los ocupantes. Las cargas desconectables que operan los días sábado entre las 7:00 a.m. y las 12:00 m. presentan una participación en promedio de 2,13%, abarcando el menor impacto de este escenario. En este mismo horario se evidencia un incremento de 22,33% en la climatización de espacios por la entrada en operación del aire acondicionado. Entre las 12:00 m. y las 6:00 p.m. se presenta nuevamente el comportamiento de la carga base, donde operan únicamente las cargas

eléctricas ya mencionadas. La Figura 55 muestra los porcentajes de participación para las categorías de cargas eléctricas sobre el consumo total para una semana de operación.

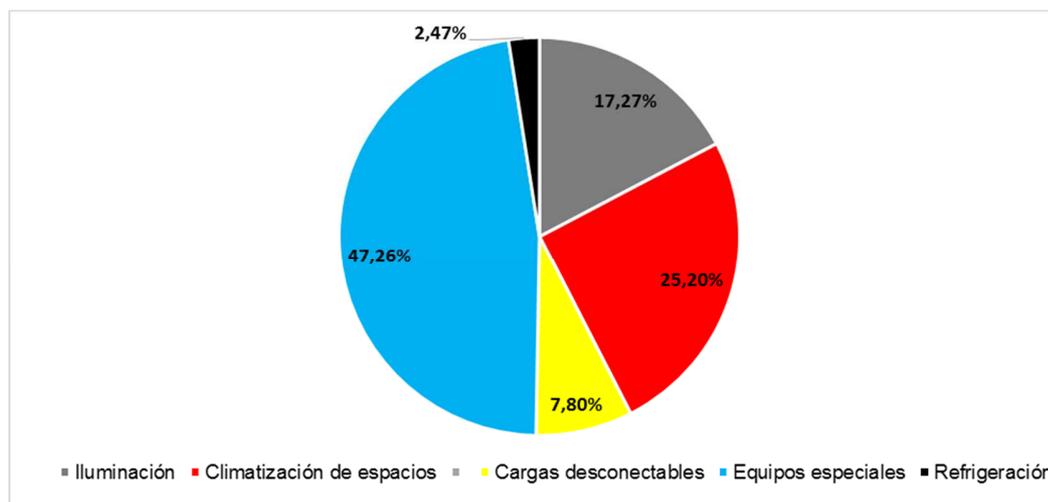


Figura 55. Participación de las categorías de cargas para una semana de consumo eléctrico.

El porcentaje de participación de los equipos especiales es el de mayor relevancia con un 47,26%. Este comportamiento se debe a los extensos tiempos operativos relacionados con este tipo de cargas al interior de la edificación, así como a las características de su potencia consumida. Así mismo, se observa que la climatización de espacios e iluminación también presentan aportaciones importantes de 25,20% y 17,27% respectivamente. Las cargas desconectables, a pesar de tener un consumo significativo en el escenario semanal obtienen un 7,80% del total, reduciendo su participación en comparación con las demás categorías, debido a las tendencias presentadas en los fines de semana. Por su parte, la refrigeración tiene un porcentaje de 2,47% que representa el de menor contribución a pesar de ser una carga de operación continua. La baja participación en el consumo por refrigeración se debe principalmente a su reducida capacidad instalada en la totalidad de la edificación. Por su parte, la Figura 56 muestra la participación de las categorías en los consumos analizados previamente para los diferentes espacios de la edificación.

Para los espacios 12 y 20 (pasillos) su contribución se debe completamente a la carga de iluminación, que de acuerdo a lo analizado anteriormente representan el 3,73% y 0,81% del consumo total de la edificación respectivamente. Este comportamiento en dichos espacios se debe a que su capacidad instalada se basa 100,00% en iluminación. Por otro lado, el espacio 14 divide su consumo en un 52,84% de equipos especiales y 47,10% climatización de espacios. En este caso, no se registra el consumo por iluminación debido a que este es un espacio con acceso restringido, por lo que su tiempo operativo es depreciable dentro de la estimación realizada. De igual forma, los laboratorios y oficinas distribuyen su consumo principalmente entre las categorías de iluminación,

climatización de espacios, equipos especiales y cargas desconectables. Se observa una participación importante de dichas categorías debido a la influencia del factor de ocupación en estos espacios, sin embargo, en la mayoría de los casos la iluminación y los equipos especiales presentan los mayores porcentajes. Finalmente, la refrigeración presenta una participación máxima de 23,86% en el espacio 15.

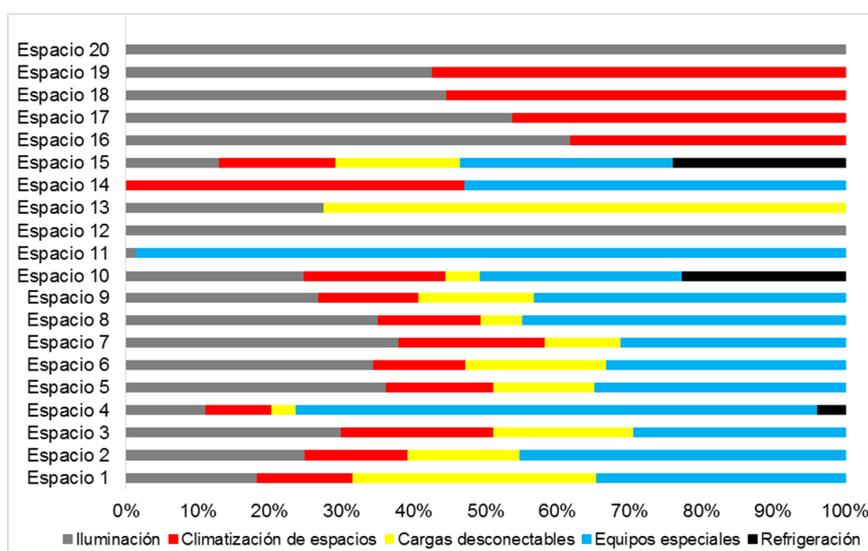


Figura 56. Participación de las categorías de cargas sobre el consumo eléctrico de los espacios de la edificación.

La participación de las diferentes cargas en el consumo eléctrico de los espacios, permite evidenciar la forma como se distribuyen y explica su comportamiento general analizado previamente. Con base en esto, el SGEE tiene la información suficiente a partir de las estimaciones para facilitar la toma de decisiones, tanto desde el punto de vista general como a partir de los espacios y cargas tenidos en cuenta. La Tabla 19 presenta el valor de los indicadores de rendimiento descritos en el capítulo de metodología, considerando los datos estimados del consumo eléctrico total de la edificación.

Tabla 19. Valores de los indicadores de rendimiento energético planteados para la edificación

Indicador		Semana	Fin de semana	Total
1	Densidad energética (kWh/m ²)	2,60	0,66	3,26
2	Consumo respecto a la ocupación (kWh/personas)	11,63	17,69	29,32
3	Consumo respecto al tiempo operativo (kWh/hora)	45,06	23,59	68,65

Como se observa, los indicadores señalados relacionan el consumo eléctrico de los escenarios propuestos con variables como el área total de la edificación, la ocupación máxima y los tiempos operativos. En cuanto al indicador 1 se observa que su valor es

74,61% más alto para el escenario semanal, debido a los incrementos en el consumo eléctrico que en este se presentan. Así pues, este indicador establece que por cada metro cuadrado de la edificación se estima un consumo entre 0,66 kWh y 2,60 kWh, dependiendo del escenario operativo que se analiza. Este indicador considera el consumo establecido para las 24 horas del día, de forma que abarca conjuntamente la influencia relacionada con el factor de ocupación y los periodos donde se alcanza la carga base. Por su parte, para los indicadores 2 y 3 el consumo eléctrico se basa únicamente en los lapsos en que se desarrollan las actividades laborales de los ocupantes. El indicador 2, que involucra el respectivo consumo y el nivel máximo de ocupación, es 34,25% mayor para los fines de semana. Esto se debe a que la totalidad del consumo presentado para este escenario se presenta bajo un nivel de ocupación con reducciones significativas, por lo que el valor per cápita por usuario se incrementa. De esta forma, bajo condiciones a plena carga se estima un consumo de 11,63 kWh por ocupante en los horarios laborales, mientras que si la operación se reduce el consumo por ocupante es de 17,69 kWh. Para el indicador 3, que relaciona la misma magnitud de consumo eléctrico con los tiempos operativos, se tiene que en semana su valor es de 46,06 kWh entre las horas laboradas. Esto representa un incremento del 91,01% con respecto a los fines de semana, donde se tiene un valor de 23,59 kWh.

El comportamiento de los indicadores descritos anteriormente, permite estimar el rendimiento energético de la edificación analizada bajo los escenarios operativos tenidos en cuenta. Es importante mencionar que el indicador más utilizado en la literatura para el análisis de métodos de ahorro es el 1, permitiendo establecer diferentes comparaciones técnicas. De este modo, se utiliza el indicador 1 para los análisis posteriores que involucran la evaluación del impacto generado por las estrategias de reducción del consumo.

4.3 Estimación de potenciales de reducción de consumo eléctrico

En esta sección se estiman los potenciales de ahorro de la edificación analizada en el caso de estudio, tomando como referencia los patrones de consumo eléctrico estimados y validados previamente. Así, en primera instancia se identifican las estrategias utilizadas en la literatura para reducir el consumo eléctrico en las diferentes categorías de cargas eléctricas, estableciendo los porcentajes mínimos de ahorro que alcanzan. Posteriormente, se calcularon los potenciales de ahorro, considerando los tipos de análisis descritos anteriormente.

4.3.1 Identificación de las estrategias de ahorro aplicables para diferentes categorías de cargas eléctricas

Para cada una de las categorías de cargas eléctricas se realizó el listado de estrategias que permiten la reducción del consumo eléctrico, considerando los criterios señalados en el capítulo de metodología. Las tablas mostradas a continuación muestran en sus primeras dos columnas la estrategia analizada y su respectiva designación,

posteriormente se definen sus variables y parámetros, así como el porcentaje de ahorro determinado en la revisión realizada. Así pues, la Tabla 20 muestra los resultados de la investigación realizada para los sistemas de iluminación.

Tabla 20. Estrategias de reducción de consumo para la categoría de iluminación

Estrategia	Variables	Parámetros	Ahorro	Referencias	
1	Control de presencia	<ul style="list-style-type: none"> Factor de ocupación Intensidad lumínica 	<ul style="list-style-type: none"> Área de los espacios Orientación de la edificación Potencia de las luminarias 	20,0%	(Gentile, Laike, & Dubois, 2016) (Roisin, Bodart, Deneyer, & D'Herdt, 2008) (Liu, Zhang, Chu, & Liu, 2016) (Xu et al., 2017)
2	Uso de iluminación natural	<ul style="list-style-type: none"> Intensidad lumínica 	<ul style="list-style-type: none"> Área de los espacios Orientación de la edificación Potencias de las luminarias 	30,0%	(Gentile et al., 2016) (Roisin et al., 2008) (D. H. W. Li, Cheung, Chow, & Lee, 2014) (Liu et al., 2016) (Delvaeye et al., 2016) (Xu et al., 2017) (Dubois & Blomsterberg, 2011) (Soori & Vishwas, 2013)
3	Independencia de circuitos	<ul style="list-style-type: none"> Luminarias por usuario 	<ul style="list-style-type: none"> Área de los espacios Orientación de la edificación Reflectancia Potencia de las luminarias 	25,0%	(Gentile et al., 2016) (Dubois & Blomsterberg, 2011)
4	Reconversión de luminarias	<ul style="list-style-type: none"> Potencia de luminarias 	<ul style="list-style-type: none"> Área de los espacios Orientación de la edificación 	40,0%	(Delvaeye et al., 2016) (Ciampi, Rosato, Scorpio, & Sibilio, 2015) (Dubois & Blomsterberg, 2011)

La aplicación de dichas estrategias se basa en la obtención de condiciones operativas definidas por las variables y parámetros indicados en cada una. Como se observa, para las estrategias 1 y 2 se modifica principalmente la intensidad lumínica de las lámparas, manteniendo constantes parámetros como el área de los espacios, la capacidad instalada y la orientación de la edificación. Por su parte, las estrategias 3, 4 y 5 se basan en modificaciones de la potencia del sistema, ya sea a partir del tipo de tecnología o el número de luminarias utilizada por cada ocupante. Para cada estrategia también se indica el porcentaje mínimo de reducción reportado, siendo mayor para la estrategia 4 (40,0%). Esto se debe a que el proceso de reconversión involucra una reducción importante en el número de luminarias, así como en la potencia nominal de las lámparas. Por su parte, la Tabla 21 muestra los resultados de las estrategias concernientes a las categorías de climatización de espacios y calentamiento de agua.

Tabla 21. Estrategias de reducción de consumo para las categorías de climatización de espacios y calentamiento de agua

Estrategia		VARIABLES	Parámetros	Ahorro	Referencias
1	Ventilación multimodal	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura interna • Caudal de aire • Velocidad del aire 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura externa • Área de los espacios • Espesor de paredes 	56,8%	(Shao, Li, Ma, & Liang, 2017)
2	Reducción de tiempo operativo	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos operativos 	<ul style="list-style-type: none"> • Caudal de aire • Área de los espacios • Temperatura interna • Espesor de paredes 	23,0%	(Nasution, Sumeru, Abdul Aziz, & Yusoff Senawi, 2014) (Ghahramani, Zhang, Dutta, Yang, & Becerik-Gerber, 2016)
3	Pre-enfriamiento/ pre-calentamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura del aire de suministro 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura set-point • Área de los espacios • Tiempo operativo • Espesor de paredes 	18,3%	(Vakiloroaya, Samali, & Pishghadam, 2014) (Chen, Zhang, & Zhai, 2016)
4	Control de ventilación natural	<ul style="list-style-type: none"> • Salida del aire • Tiempos operativos 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura externa • Factor de ocupación • Área de los espacios 	31,6%	(Homod, Sahari, & Almurib, 2014)
5	Enfriamiento adaptativo	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos operativos • Temperatura set-point 	<ul style="list-style-type: none"> • Área de los espacios • Temperatura externa 	5,4%	(Bhaskoro, Gilani, & Aris, 2013)
6	Control de humedad	<ul style="list-style-type: none"> • Humedad relativa • Temperatura interna 	<ul style="list-style-type: none"> • Área de los espacios • Temperatura externa • Factor de ocupación 	10,7%	(Aziz, Sumiyoshi, & Akashi, 2017)

Es importante mencionar que la información allí presentada abarca principalmente métodos adaptables a la categoría de climatización, de forma que únicamente las estrategias 2 y 3 son aplicables al calentamiento de agua. Esto se debe a las características de las variables y parámetros indicados, así como al enfoque técnico de los estudios analizados. Además, se observa que para las cargas de climatización la variable de mayor relevancia es la temperatura del aire, modificando las características en el flujo del suministro y el set-point, para demandar un menor trabajo en el sistema. Por otro lado, las estrategias que involucran reducciones en los tiempos operativos presentan porcentajes de ahorro importantes (entre 5,4% y 23,0%), siendo esta la variable económica de manipular. Así mismo, la estrategia que mayor potencial de ahorro involucra es la 1, con un 56,8%, la cual está ligada únicamente a los sistemas de ventilación. La Tabla 22 muestra la información de las estrategias enfocadas en las categorías de cargas desconectables, equipos especiales y refrigeración conjuntamente.

Tabla 22. Estrategias de reducción de consumo para las categorías de cargas desconectables, equipos especiales y refrigeración

Estrategia		Variables	Parámetros	Ahorro	Referencias
1	Gestión operativa	<ul style="list-style-type: none"> Tiempos operativos 	<ul style="list-style-type: none"> Potencia nominal Área de los espacios Tipo de carga 	19,0%	(Sun & Hong, 2017) (Gandhi & Brager, 2016) (Kwong, Goh, Adam, & Raghavan, 2014) (Ghosh, Patil, & Vuppala, 2013) (Ian Metzger, Cutler, & Sheppy, 2012)
2	Reconversión de equipos	<ul style="list-style-type: none"> Potencia nominal 	<ul style="list-style-type: none"> Tiempos operativos Área de los espacios Factor de ocupación 	51,0%	(Sheppy et al., 2011)
3	Modificación de jornadas laborales	<ul style="list-style-type: none"> Factor de ocupación Tiempos operativos 	<ul style="list-style-type: none"> Potencia nominal Área de los espacios Tipo de carga 	26,0%	(I. Metzger, Sheppy, & Cutler, 2014)
4	Reducción de tiempos de retardo	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo de retardo 	<ul style="list-style-type: none"> Potencia nominal Área de los espacios Tipo de carga Tiempos operativos 	30,0%	(Kawamoto, Shimoda, & Mizuno, 2004)

La mayoría de las estrategias para estas categorías dependen del factor de ocupación y reducciones en los tiempos operativos, representando entre el 19,0% y 26,0% en porcentajes de ahorro. Sin embargo, la estrategia 2 que involucra netamente reconversiones en la potencia nominal de los equipos presenta las reducciones de mayor relevancia con un 51,0%. Por otro lado, para la configuración de los tiempos de retardo se ha reportado un 30,0%, siendo fácil y económica de implementar en cargas como computadores y Workstation.

La información anterior establece los rasgos característicos de las estrategias utilizadas en la literatura para reducir el consumo en las diferentes categorías de cargas eléctricas involucradas en este trabajo, seleccionadas dentro de este trabajo de investigación. De esta forma, se han establecido los elementos que son modificados, así como aquellos que prevalecen constantes para su implementación en los respectivos estudios. De igual forma, los resultados descritos determinan aspectos técnicos relevantes que deben ser tenidos en cuenta para implementar las diferentes estrategias analizadas. Además, debe considerarse que su ejecución depende de las restricciones operativas y económicas presentadas.

4.3.2 Estimación de potenciales de ahorro eléctrico en la edificación analizada

El aplicativo desarrollado estima los potenciales de ahorro con respecto a la densidad energética actual, teniendo en cuenta los porcentajes de reducción de consumo descritos en la sub-sección anterior. Para ello se han efectuado los cálculos descritos en la subsección 3.2.2., considerando los escenarios que allí se proponen. Así el primer

escenario que se evalúa está relacionado con el impacto generado por las diferentes estrategias de manera independiente, utilizando para ello el formulario de la Figura 57.

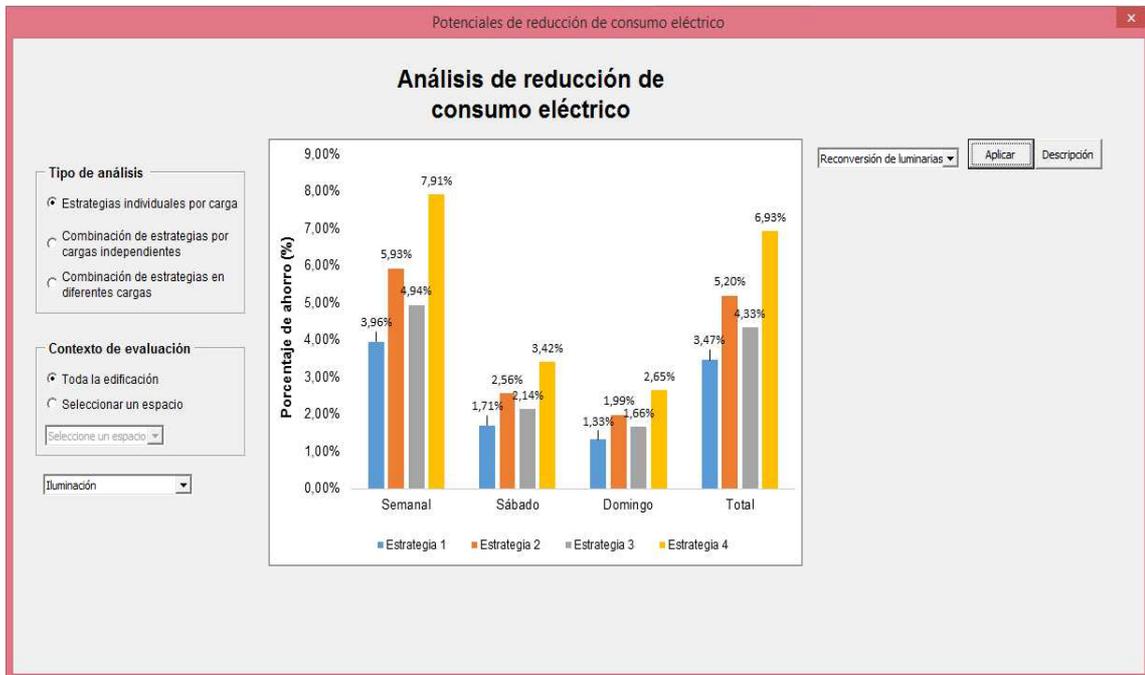


Figura 57. Formulario para la estimación de los potenciales de ahorro con el tipo de análisis de estrategias individuales por carga

En todos los casos se requiere la selección de un contexto de evaluación, el cual puede abarcar la evaluación de la estrategia sobre la totalidad de los espacios de la edificación o su impacto independiente sobre algunos de ellos. Este puede seleccionarse a través del segundo recuadro localizado a la izquierda del gráfico, donde además se habilita el combo de lista que permite seleccionar el espacio de la edificación cuando se requiera. La carga que se va analizar aparece en el cuadro de lista localizado en la parte inferior del recuadro mencionado, y posteriormente aparecen las opciones localizadas en el extremo derecho del gráfico, de forma que el botón “aplicar” efectúa los cálculos requeridos. La Figura 58 muestra los porcentajes de ahorro estimados con la aplicación de las estrategias para la categoría de iluminación.

Se observa en que para todas las estrategias el impacto es mayor en el escenario semanal, debido a los incrementos en el consumo eléctrico que allí se presentan. Del mismo modo, se estiman reducciones máximas con la aplicación de la estrategia 4, la cual presenta un 6,91% para el consumo total en una semana de operación. En dicha estrategia también existe una diferencia de 1,29% entre los sábados y domingos, por las variaciones existentes en el factor de ocupación con respecto al semanal. Por otro lado, las estrategias 2 y 3 alcanzan porcentajes de reducción de 5,18% y 4,32% respectivamente. Así mismo, la estrategia 1 representa el método de menor relevancia, sin embargo, presenta una diferencia de tan solo el 0,87% con respecto a la 3.

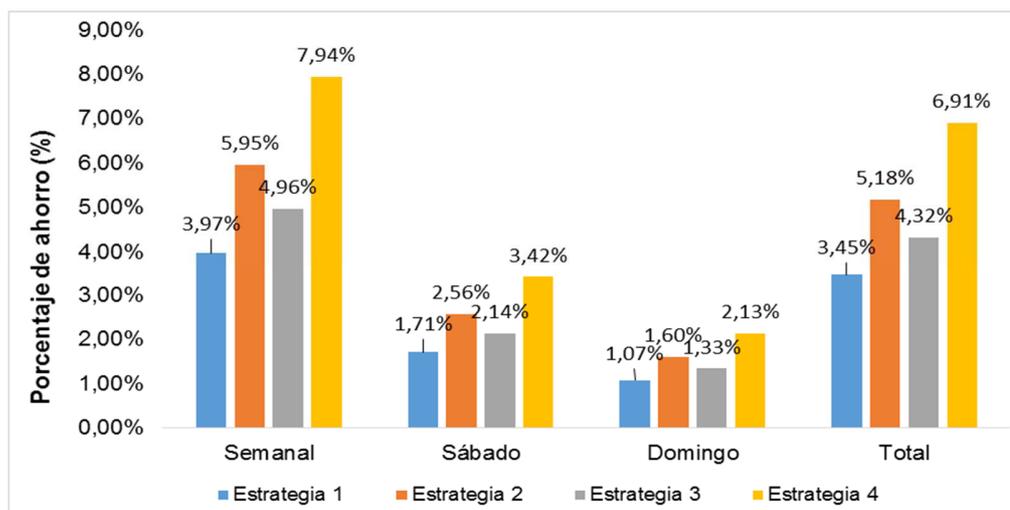


Figura 58. Potencial estimado de reducción de consumo eléctrico con las estrategias independientes para el sistema de iluminación en la totalidad de la edificación

El comportamiento descrito estima los potenciales de ahorro eléctrico que pueden alcanzarse con la aplicación de las estrategias identificadas para los sistemas de iluminación. La evaluación respecto a los escenarios operativos de la edificación permite comparar sus variaciones para diferentes lapsos, siendo de mayor relevancia cuando se incrementa el consumo bajo las condiciones actuales. Por su parte, la Figura 59 esquematiza los potenciales de ahorro estimados con las estrategias para la climatización de espacios en toda la edificación, la cual relaciona tanto los sistemas de aire acondicionado como de ventilación.

Los mayores potenciales se presentan en los fines de semana, con una variación que no excede el 0,06% entre los días analizados en ese escenario, debido a que en ese momento existe un consumo relevante por cargas de operación continua. La estrategia 1 presenta el mayor potencial en los diferentes escenarios, alcanzando un 14,31% para el consumo total. Así mismo, con la aplicación de la estrategia 4 también se estima un porcentaje de ahorro relevante que representa el 7,96% para el mismo escenario. Por otro lado, las estrategias que presentan el menor impacto son la 5 y la 6 con una reducción del 1,36% y 2,70% respectivamente, teniendo además variaciones de 0,001% al comparar ambos escenarios operativos.

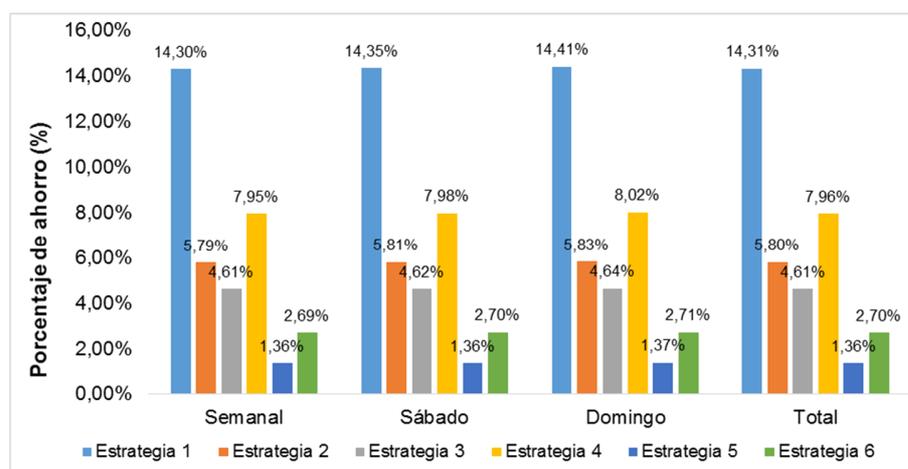


Figura 59. Potencial estimado de reducción de consumo eléctrico con las estrategias independientes para la climatización de espacios en la totalidad de la edificación

Los resultados muestran los potenciales de ahorro para el consumo de la edificación, al evaluar la aplicación de las diferentes estrategias relacionadas con la climatización de espacios en toda la estructura. En estos se evidencia una participación considerable respecto a las cargas de operación continua, cuya operación no depende del factor de ocupación. Esto se debe al comportamiento presentado en los fines de semana, el cual no presenta variaciones considerables respecto al escenario semanal. La Figura 60 muestra el comportamiento de los potenciales de reducción de consumo con la evaluación de las estrategias para las cargas desconectables para todos los espacios de la edificación.

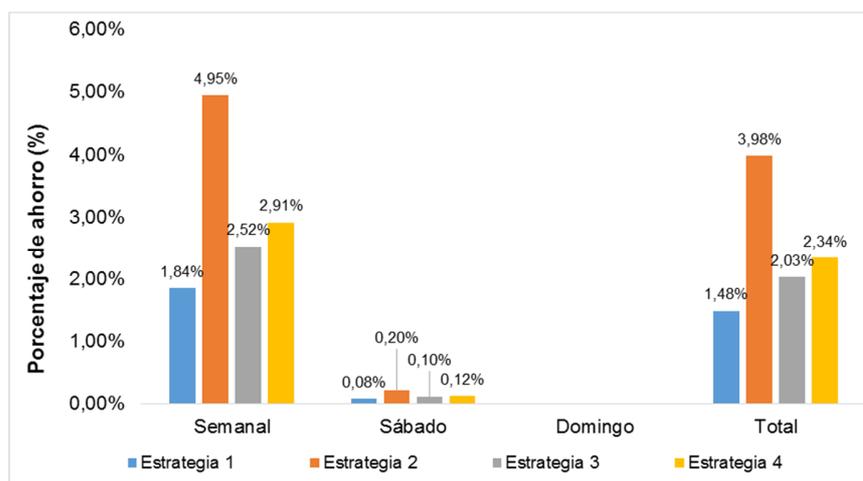


Figura 60. Potencial estimado de reducción de consumo eléctrico con las estrategias independientes para cargas desconectables en la totalidad de la edificación

El comportamiento de los potenciales de ahorro en las diferentes estrategias es mayor para el escenario semanal, de forma que los domingos no registran participación. Esto se debe a que este tipo de cargas son en su mayor parte de uso independiente, de forma

que sus tiempos operativos se relacionan en gran medida con el factor de ocupación. En la mayoría de los casos la estrategia 2 presenta la mayor participación, siendo de 3,98% para el consumo total, así como de 5,00% y 0,20% para el escenario semanal y sábado respectivamente. De igual forma, las estrategias 3 y 4 también presentan potenciales de ahorro importantes de 2,34% y 2,03% respectivamente para el consumo total en toda la semana. Por otro lado, la estrategia 1 presenta el potencial de menor impacto, siendo 2,50% inferior respecto a los valores máximos y estableciendo una variación de 0,36% en comparación con el escenario semanal.

Los resultados evidencian el comportamiento estimado de los potenciales de ahorro con la evaluación de las estrategias para las cargas desconectables en toda la edificación. Las tendencias encontradas establecen una participación de mayor relevancia para el escenario semanal, debido a las reducciones en el factor de ocupación entre sábados y domingos. La Figura 61 muestra los potenciales de ahorro estimados para la evaluación en toda la edificación de las estrategias asociadas a los equipos especiales.

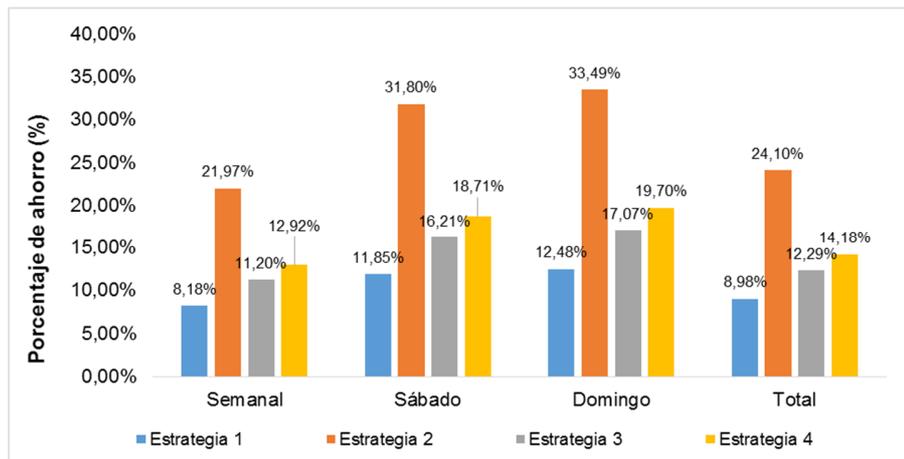


Figura 61. Potencial estimado de reducción de consumo eléctrico con las estrategias independientes para equipos especiales en la totalidad de la edificación

Los potenciales de ahorro para la operación de los equipos especiales son mayores en el escenario de los fines de semana. Esto se debe a la participación de este tipo de cargas en el consumo de ese escenario, donde gran parte de su operación es continua y no depende del factor de ocupación. La estrategia que estima un mayor potencial de ahorro es la 2, con un 24,10% para el consumo total y un máximo de 33,49% para los fines de semana. Por su parte, las estrategias 3 y 4 también presentan potenciales de ahorro importantes que alcanzan el 12,29% y 14,18% sobre el total respectivamente. Así mismo, la estrategia de menor impacto en los diferentes escenarios analizados es la 1, estimando un valor máximo de 12,48% para los domingos.

Los resultados descritos anteriormente presentan el comportamiento de los potenciales de ahorro estimados con la aplicación de las estrategias para los equipos especiales,

siendo las cargas que representan mayor consumo. Se observa que los impactos presentados no dependen de la cantidad de usuarios al interior de la edificación, debido a que se presentan tendencias contrarias al factor de ocupación. La Figura 62 muestra la estimación de los potenciales de reducción de consumo con la aplicación de las estrategias enfocadas a la carga de refrigeración en toda la edificación. Es importante mencionar que para esta carga no aplican todas las estrategias establecidas en la tabla 13 por sus condiciones técnicas, de forma que para este caso solo se hace referencia a las estrategias 1 y 2 designadas en dicha tabla.

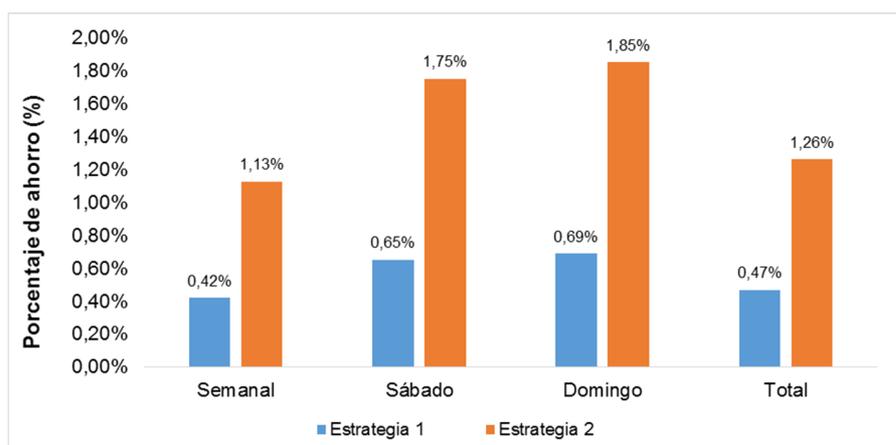


Figura 62. Potencial estimado de reducción de consumo eléctrico con las estrategias independientes para refrigeración en la totalidad de la edificación

A partir de la Figura 62 se observa que los potenciales de ahorro estimados también son mayores para los fines de semana. Esto se debe a que la refrigeración en la edificación analizada también es una carga de operación continua y su participación en el consumo cobra mayor relevancia mientras se reduce el factor de ocupación. De esta forma, se tiene un mayor potencial de ahorro para los domingos con la aplicación de la estrategia 2, alcanzando el 1,85%. Del mismo modo, también se evidencia que en todos los escenarios operativos la estrategia 1 es la que menor reducción presenta, presentando un valor máximo de 0,69%.

Los resultados descritos anteriormente, muestran los potenciales de ahorro alcanzados con la aplicación de las estrategias planteadas para las cargas de refrigeración, la cual tiene menor participación en el consumo de la edificación. Con base en esto, se observa que aun aplicando estrategias para la carga que presenta menor relevancia y capacidad instalada, pueden estimarse porcentajes de ahorro que permiten mejorar la eficiencia energética de la edificación analizada.

Los porcentajes analizados anteriormente para las diferentes categorías de cargas, establecen las estimaciones para el potencial de ahorro al interior de la edificación, considerando la aplicación en todos los espacios de las estrategias identificadas. Entre el análisis de los diferentes escenarios operativos se observan discrepancias definidas por

la influencia del factor de ocupación, reduciendo el potencial de ahorro de los fines de semana para las cargas, cuyo tiempo operativo depende de dicha variable. Esto se debe en términos generales a las reducciones de consumo presentadas por ese tipo de cargas en los días definidos para el fin de semana, afectando de esa manera el impacto de los potenciales de ahorro. De forma similar, se observa que entre mayor sea la participación de las cargas en el consumo total, también se incrementa su potencial de ahorro, siendo los equipos especiales aquellos que presentan el de mayor relevancia.

También, dentro del aplicativo se consideró evaluar el impacto de las estrategias en los diferentes espacios de manera independiente, lo cual permite reducir los costos y complejidad de implementación. De esta forma, la Figura 63 muestra los porcentajes de ahorro en la totalidad de la edificación, con respecto a las estrategias de iluminación en el espacio 12, el cual presenta el mayor consumo para esa carga.

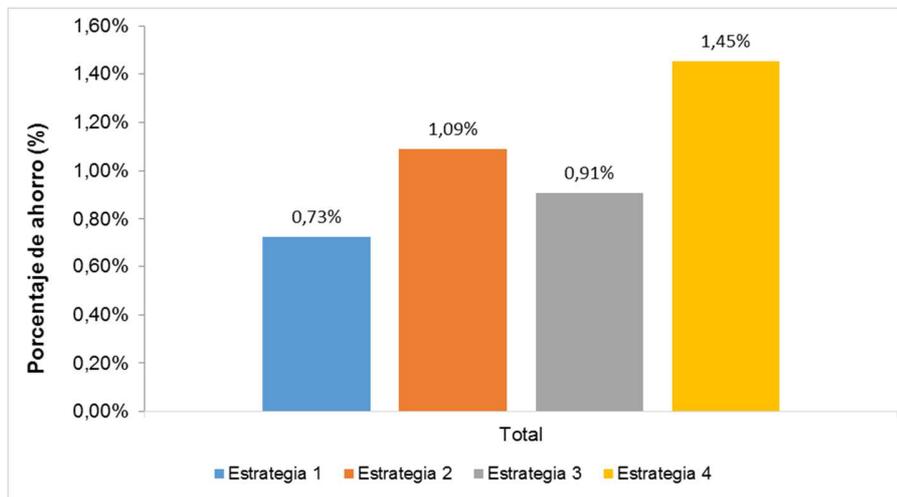


Figura 63. Potencial estimado de reducción de consumo eléctrico con las estrategias independientes para iluminación aplicadas en el espacio 12

Se observa que la estrategia 4 sigue presentando el mayor impacto, sin embargo, al ser aplicada únicamente al espacio de mayor consumo por iluminación el porcentaje se reduce de 6,91% a 1,45%. La implementación de esta estrategia para dicho espacio consistiría en la reconversión de las lámparas existentes, siendo su aplicabilidad técnicamente viable. Por su parte, la estrategia 2 presenta un impacto 24,83% menor en comparación con la anterior, de forma que se estima un potencial de ahorro de 1,09% sobre el consumo total. Esta estrategia se aplica actualmente a las condiciones operativas de dicho espacio, donde el sistema permanece apagado mientras exista iluminación natural. Por último, las estrategias 1 y 3 presentan los menores porcentajes con 0,91% y 0,73%, respectivamente. La implementación de la estrategia 1 involucra la utilización de sensores de ocupación y sistemas de control que permitan reducir los tiempos operativos del sistema de iluminación para este espacio. Por otro lado, la

estrategia 3 abarca la independización eléctrica de los circuitos. De esta forma, ambas estrategias son técnicamente viables bajo las condiciones actuales.

Los resultados descritos anteriormente, presentan la estimación de los potenciales de ahorro para una semana de consumo eléctrico en la edificación, considerando la aplicación de las estrategias de iluminación en el espacio de mayor consumo para esa carga. En primera instancia se evidencia la reducción en los respectivos impactos en comparación con su evaluación en la totalidad de los espacios. Sin embargo, se estiman potenciales que al ser aplicados permiten mejorar la eficiencia energética, abarcando menores costos técnicos y económicos para su implementación. También se ha establecido que las estrategias viables desde el punto de vista técnico y operativo del espacio analizado son la 1, 3 y 4, donde además se señalan sus respectivos porcentajes de reducción.

En los tipos de análisis presentados por el aplicativo también es posible verificar el impacto generado por la combinación de dos estrategias aplicables a la misma carga. Esto puede desarrollarse con base en el formulario mencionado anteriormente con las condiciones mostradas en la Figura 64.

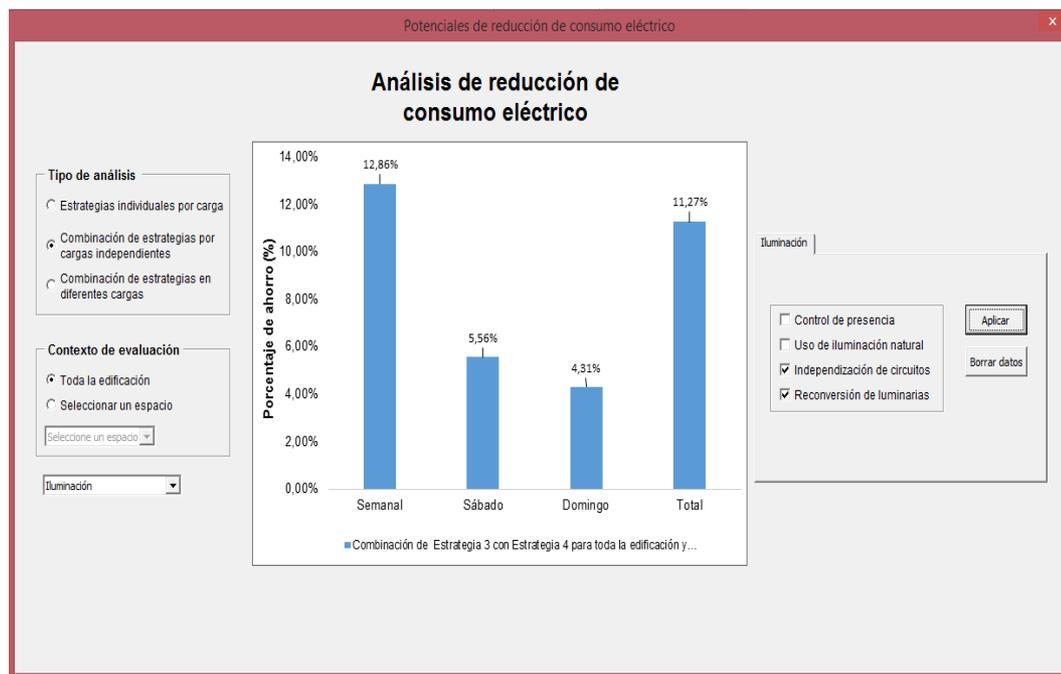


Figura 64. Formulario para la estimación de los potenciales de ahorro con el tipo de análisis de combinación de estrategias por carga

Para este tipo de análisis también puede seleccionarse el contexto de evaluación descrito anteriormente y la categoría de la carga que será analizada. Al seleccionar dicha carga se habilita la pestaña localizada en el extremo derecho del gráfico, donde es posible indicar las estrategias a ser evaluadas. La Figura 65 muestra los porcentajes de ahorro

en los diferentes escenarios operativos considerados al combinar las estrategias 3 y 4 de la carga de iluminación, en el contexto de análisis que abarca la totalidad de la edificación.

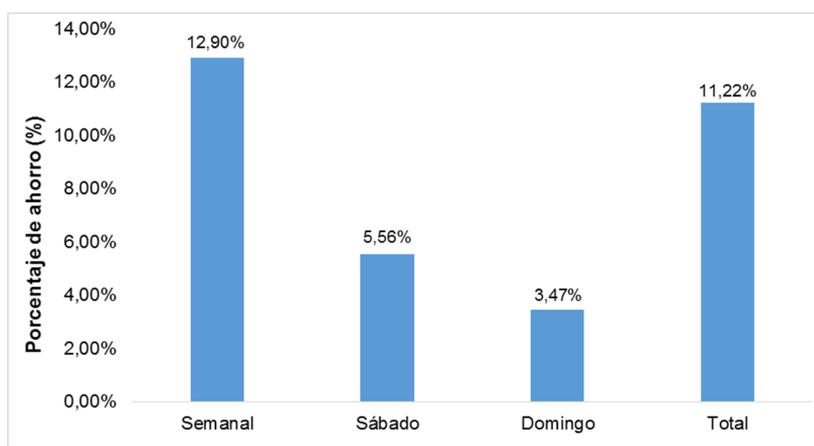


Figura 65. Potencial estimado de reducción de consumo eléctrico en la totalidad de la edificación con la combinación de las estrategias 3 y 4 de la carga de iluminación

Se observa que los mayores porcentajes también se presentan para el escenario semanal, reduciéndose considerablemente para los sábados y domingos, tal y como se comportó anteriormente. De esta forma, el potencial de ahorro total en la semana se incrementa un 62,37% en comparación con el valor individual de la estrategia 4 que presenta la mayor participación. Así mismo, también se exhiben aumentos del 38,49% y 38,62% para los sábados y domingos, respectivamente, los cuales, en el análisis individual tenían la menor relevancia. La Figura 66 muestra los porcentajes de ahorro con la combinación de las estrategias 2 y 5 de la carga de climatización de espacios, considerando la totalidad de la edificación, considerando los diferentes escenarios operativos.

Los días involucrados en el fin de semana presentaron los mayores porcentajes de ahorro por las razones descritas anteriormente. Así, con la combinación presentada se establecen incrementos del 18,97% y 19,03% para los días sábado y domingo respectivamente. Al mismo tiempo, el potencial de ahorro estimado para toda la semana es de 7,16%, representando un incremento de 1,36 puntos porcentuales en comparación con la estrategia 2, que representa la de mayor participación individual entre ambas. La estrategia 1, presenta la mayor participación entre las demás aplicables a esta carga, no fue tomada en cuenta para la combinación analizada, debido a que se relaciona únicamente con sistemas de ventilación. Por su parte, la Figura 67 presenta los potenciales de ahorro en los diferentes escenarios operativos, considerando las estrategias 2 y 4 de las cargas desconectables en la totalidad de los espacios de la edificación.

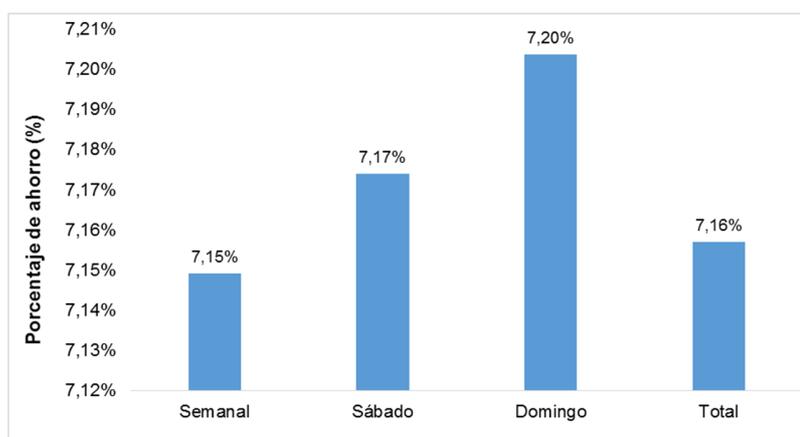


Figura 66. Potencial estimado de reducción de consumo eléctrico en la totalidad de la edificación con la combinación de las estrategias 2 y 5 de la carga de climatización de espacios

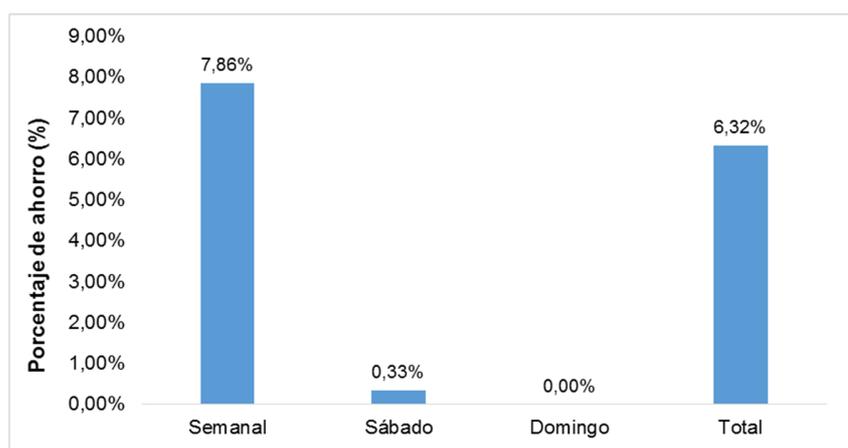


Figura 67. Potencial estimado de reducción de consumo eléctrico en la totalidad de la edificación con la combinación de las estrategias 2 y 4 de las cargas desconectables

Los porcentajes de ahorro en el escenario semanal son mayores en comparación con los fines de semana, presentándose nulo para los domingos por la ausencia del factor de ocupación. Aunque los sábados se tiene un potencial de ahorro con reducciones significativas (0,33%), este se incrementa 0,13% en comparación con el escenario analizado anteriormente. Por su parte, para el consumo total en una semana se tiene un porcentaje de 6,32%, representando un incremento del 62,98% en relación al impacto presentado por la estrategia de mayor impacto independiente. La Figura 68 muestra los potenciales de ahorro para la combinación de las estrategias 1 y 2 de los equipos especiales en toda la edificación.

Se observa que los porcentajes de ahorro para este caso se dan en su mayor parte los fines de semana, siendo de 43,65% y 45,97% para los sábados y domingos respectivamente. Aquí se presentan porcentajes de ahorro mayores en comparación con las otras cargas, debido a la aplicación de la estrategia 2. Además, de acuerdo con el

análisis de la sección anterior este tipo de carga involucra el mayor consumo. Así pues, la concentración de los potenciales de ahorro se presenta en su mayor parte en los fines de semana, porque el consumo asociado a este tipo de cargas depende en gran medida de aquellas de operación continua. Por otro lado, para el consumo total se observa un aumento de 8,98 puntos porcentuales con la combinación planteada respecto al valor máximo del análisis de estrategias independientes.

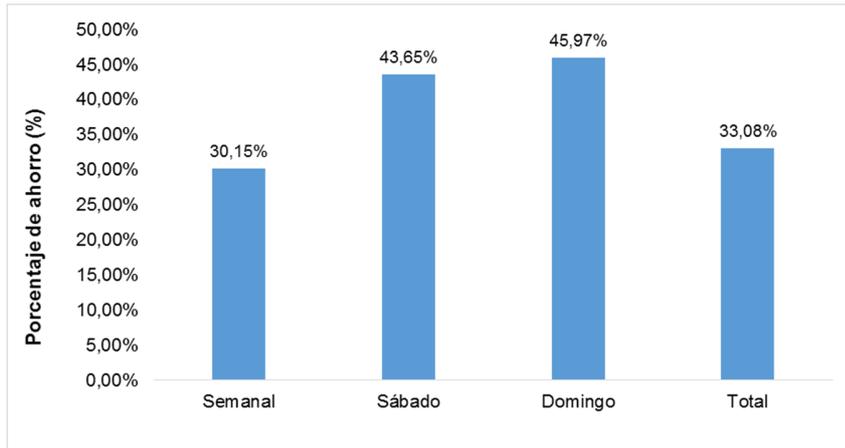


Figura 68. Potencial estimado de reducción de consumo eléctrico en la totalidad de la edificación con la combinación de las estrategias 1 y 2 de los equipos especiales

La Figura 69 muestra los potenciales de ahorro relacionados con la combinación de las estrategias 1 y 2 de los sistemas de refrigeración en la totalidad de los espacios del edificio.

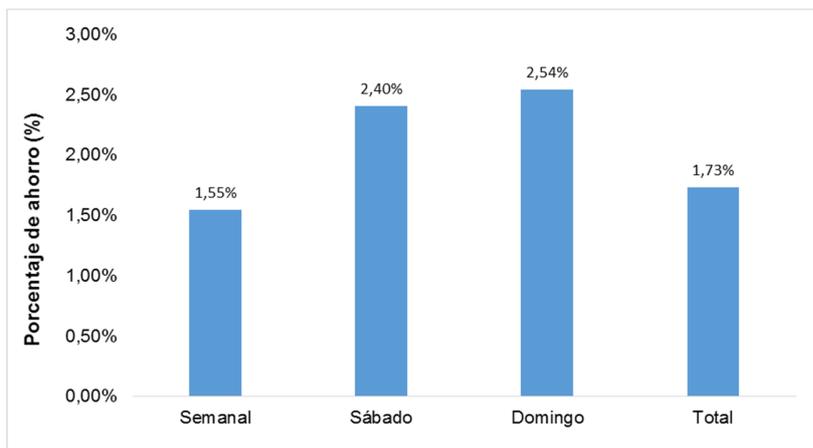


Figura 69. Potencial estimado de reducción de consumo eléctrico en la totalidad de la edificación con la combinación de las estrategias 1 y 2 de la carga de refrigeración

La Figura 69 muestra los resultados de la única combinación técnicamente posible para este tipo de carga, siendo mayor para los fines de semana por sus características de operación continua. De esta forma se presentan porcentajes de 2,40% y 2,54% para los

sábados y domingos respectivamente. Por otro lado, se tiene un incremento del 27,17% en comparación con los valores máximos del análisis presentado por cada estrategia de forma independiente. Con base en el análisis anterior para las diferentes cargas, se estima que las combinaciones descritas mejoran los potenciales de ahorro de la edificación en comparación con el comportamiento de las estrategias de forma independiente. El mayor impacto se presenta en la carga de equipos especiales por ser aquella que involucra los consumos de más relevancia.

Para este tipo de análisis también se ha aplicado el contexto de evaluación que permite evaluar el impacto de las estrategias en los diferentes espacios de manera independiente, considerando las estrategias 3 y 4 sobre el sistema de iluminación del espacio 12. Los resultados bajo dichas condiciones establecen un incremento del 38,56% con respecto a los valores máximos para el tipo de análisis individual de iluminación en el mismo espacio. Así mismo, con la aplicación conjunta de las estrategias mencionadas, únicamente en el espacio 12, se estiman potenciales de ahorro que pasan de 11,22% a 2,36%. Finalmente se verificó el impacto presentado por la opción que permite combinar estrategias en diferentes tipos de carga de manera conjunta. Esto se desarrolla con base en las condiciones del formulario presentadas en la Figura 70.

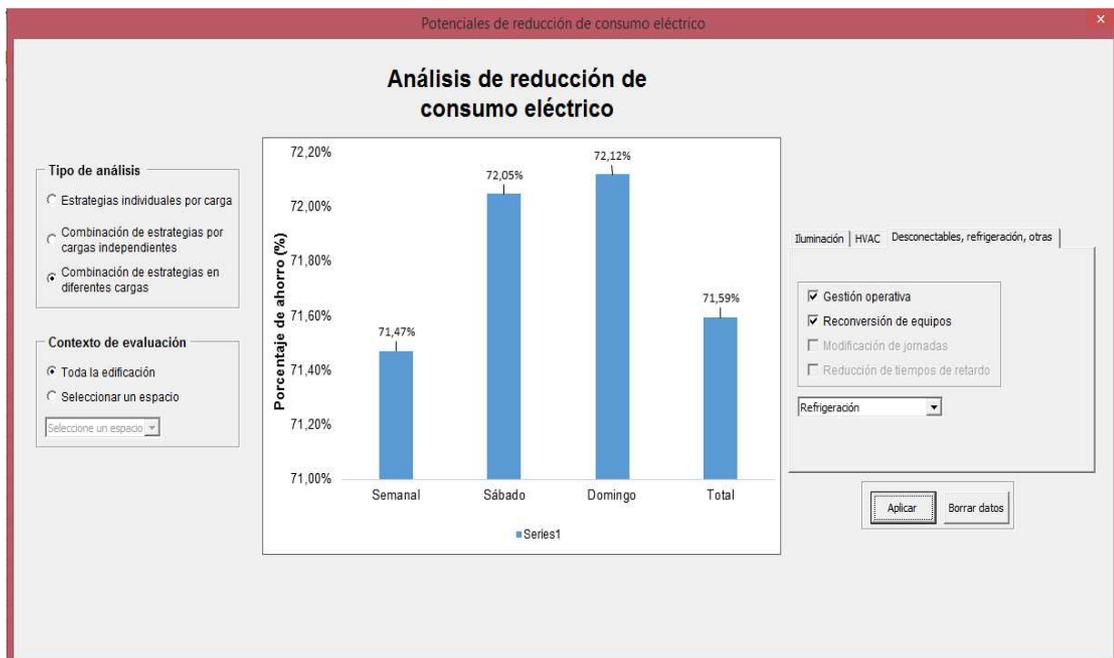


Figura 70. Formulario para la estimación de los potenciales de ahorro con el tipo de análisis de combinación de estrategias en diferentes cargas

Para este tipo de análisis también puede seleccionarse el contexto de evaluación descrito anteriormente y se habilitan las opciones localizadas en el extremo derecho del gráfico para indicar las estrategias consideradas en las diferentes categorías de cargas. Por su parte, la Figura 71 muestra los potenciales de ahorro involucrados en la combinación de

estrategias de manera conjunta, considerando la totalidad de las cargas pertenecientes a la edificación. Para todos los casos se han seleccionado las estrategias que presentan los mayores porcentajes de ahorro.

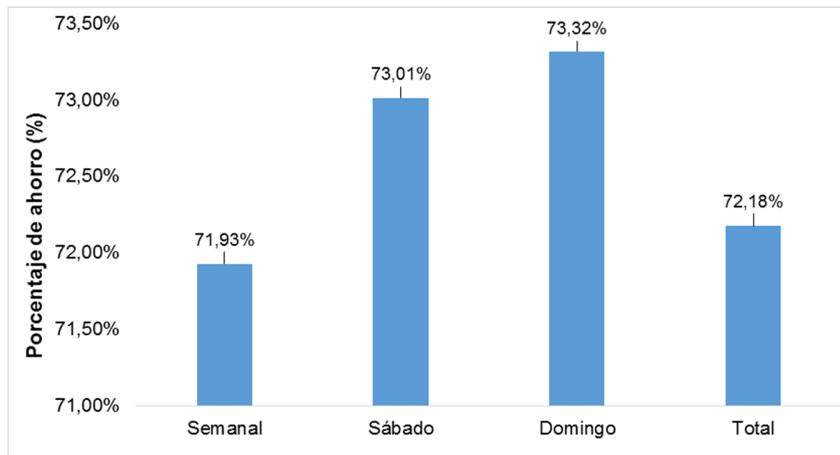


Figura 71. Potencial estimado de reducción de consumo eléctrico con la combinación de estrategias en diferentes cargas para toda la edificación.

Los potenciales de ahorro son mayores para el escenario de fines de semana porque las cargas de mayor consumo operan continuamente, incrementando su participación en los periodos de carga base. Así pues, aunque el factor de ocupación es una variable que presenta una estrecha correlación en los perfiles de carga, los porcentajes de ahorro se estiman mayores en los periodos en que estos se reducen. De igual forma, se observa que para todos los escenarios operativos se presentan incrementos en comparación con el análisis anterior, alcanzando un 72,18% para el consumo total de una semana.

Para este caso también se ha considerado el contexto de evaluación para un único espacio, de forma que se combinaron estrategias de diferentes cargas en el espacio 4, que presenta uno de los consumos de mayor relevancia, y debido que en él existen las diferentes categorías de cargas. Bajo estas condiciones se estima un potencial de ahorro de 16,84%, el cual es incluso mayor al presentado para la combinación de diferentes cargas en toda la edificación. Esto refleja la importancia de priorizar la evaluación de dichas estrategias con respecto a los espacios que presenten un mayor consumo en términos generales, con el fin de dinamizar su implementación.

5. Conclusiones y trabajo futuro

5.1 Conclusiones

En este trabajo se ha planteado una metodología que facilita la implementación de SGEE en edificaciones terciarias, definiendo en primer lugar un procedimiento para determinar y verificar los patrones de consumo a través de estimaciones matemáticas. Estas se basaron en la información estructural y operativa recolectada al interior de la edificación analizada, así como también en el comportamiento de variables como la ocupación y las cargas eléctricas existentes. Los cálculos consideraron dos escenarios (semanal y fines de semana), definidos con base en el comportamiento de la ocupación, estimando reducciones significativas en el consumo cuando esta decrece. Así, se ha determinado la correlación de las diferentes variables mencionadas anteriormente con los patrones de consumo, teniendo en cuenta que el perfil de las curvas de carga analizadas en los diferentes escenarios mostró similitudes con la ocupación de la edificación. Con base en esto, los resultados obtenidos comprueban que el método utilizado para evaluar la ocupación, es adecuado para edificaciones de servicios con horarios fijos en el personal que involucran. En este sentido, es importante notar que las mayores desviaciones entre las estimaciones y mediciones se exhiben en los momentos en que se establecen conductas aleatorias por parte del personal encuestado. Por otro lado, los espacios que involucran los mayores niveles de ocupación no presentan los consumos más altos, lo cual refleja la importancia de los tipos de cargas eléctricas existentes, y sus respectivos tiempos operativos para explicar las tendencias.

La comparación entre el comportamiento de la curva de carga medida y estimada, demostró que es posible obtener una buena aproximación de los patrones de consumo, por medio de cálculos basados en los datos característicos de la edificación. Así, para los diferentes escenarios analizados se cumplieron los criterios definidos, los cuales establecieron que los puntos relevantes de concentración energética son los mismos, así como las tendencias en diferentes intervalos de tiempo. También, se encontró que, para todos los casos, el coeficiente de variación fue menor al 20%, teniendo una dispersión aceptable entre el comportamiento real y estimado de los valores. Dicha comparación, también fue realizada con respecto a diferentes indicadores que permiten analizar el impacto del comportamiento bajo diferentes condiciones. En este análisis, se obtuvieron datos con variaciones que no superan el 18%. De esta forma, fue posible determinar y

analizar la participación de los diferentes espacios y cargas eléctricas sobre el consumo total.

Lo anteriormente mencionado, evidencia que el método propuesto abarca de manera adecuada la primera etapa de planeación para la implementación de un SGEE. De este modo, permite comprender las condiciones técnicas actuales y la distribución de los consumos para establecer controles y objetivos.

Posteriormente, se identificaron las estrategias que permiten reducir los consumos en diferentes sistemas, estimando con base en el impacto presentado en la literatura, el potencial de ahorro de la edificación. Así, se han determinado las diferentes variables y parámetros técnicos involucrados en su incorporación. Para los potenciales de ahorro, se utilizaron tres tipos de análisis: estrategias individuales por carga, combinación de estrategias para un mismo tipo de carga y combinación estrategias en diferentes tipos de carga; en diferentes contextos de evaluación, que abarcan ya sea la implementación de la estrategia en toda la edificación o en espacios determinados. Para la evaluación individual de las estrategias, se presentó un porcentaje de ahorro máximo de 24.10% para una semana completa de trabajo. Por su parte, la combinación de estrategias de manera independiente o en diferentes cargas, representó incrementos en ambos casos, alcanzando valores máximos de 33.08% y 72.18% en la reducción del consumo de energía, respectivamente. Es importante mencionar que la evaluación de las estrategias en el contexto que abarca la totalidad de la edificación presentó los mayores potenciales de ahorro, sin embargo, los valores alcanzados para el análisis en espacios específicos fueron significativos, y pueden ser alcanzados con una menor complejidad técnica y costo económico. También, puede notarse que la magnitud de los potenciales de ahorro depende del consumo presentado por la carga y los espacios donde se aplican las estrategias, por lo que es importante la ejecución de la etapa descrita anteriormente. Con base en esto, el método propuesto dinamiza la implementación de las acciones previstas para corregir el comportamiento del consumo eléctrico.

Finalmente, el aplicativo desarrollado integra los cálculos y análisis efectuados a través del estudio, de forma que facilita la gestión de la energía eléctrica con base en la información suministrada al usuario. Esta herramienta fortalece el proceso de toma de decisiones, permitiendo monitorizar y verificar el cumplimiento de los objetivos planteados a través de la estimación del impacto sobre los patrones de consumo, dando lugar a un proceso de mejoramiento continuo. Esto se hace posible considerando una reducción significativa en el número necesario de medidores y asistencia técnica, lo cual simplifica el proceso de implementación involucrado en el SGEE.

5.2 Trabajo futuro

Debido a los buenos resultados obtenidos en las validaciones de las curvas de carga para diferentes escenarios, se propone a futuro la ampliación del método para la verificación de las estimaciones, donde se comparen a mayor detalle los comportamientos presentados en los diferentes espacios y cargas eléctricas. Así mismo, con el fin de mejorar el proceso de estimación y reducir las variaciones con respecto al comportamiento real de la curva de carga, puede adicionarse un procedimiento basado en mediciones en sitio para determinar con mayor exactitud los tiempos operativos de las cargas. De igual forma, se proyecta una revisión a mayor detalle de los perfiles obtenidos para la ocupación, con base en mediciones del comportamiento del personal.

Con el fin de establecer una mayor precisión en la estimación de los potenciales de ahorro, el porcentaje relacionado con el impacto de cada estrategia debe ajustarse a las características específicas de la edificación analizada. Para lo cual, puede diseñarse un procedimiento basado en simulaciones para determinar el porcentaje de reducción característico de las estrategias en los diferentes sistemas. Al mismo tiempo, puede adaptarse un análisis técnico-económico que destaque la viabilidad de las diferentes estrategias tenidas en cuenta. Además, plantear un procedimiento para optimizar la combinación de las estrategias, considerando la minimización de los consumos eléctricos, así como sus costos económicos de implementación y operación.

Bibliografía

- Afroz, Z., Higgins, G., Urmee, T., & Shafiullah, G. (2017). Technological Advancement of Energy Management Facility of Institutional Buildings: A Case Study. *Energy Procedia*, 142, 3088–3095. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.449>
- Agency, I. energy. (2012). *Electricity consumption intensities (Btu) by end use* (Vol. 1).
- Agency, I. energy. (2013). Total energy use in buildings. Retrieved from <http://www.iea-ebc.org/index.php?id=141>
- Agency, I. energy. (2016). Electricity consumption by end use, (May).
- Ahmad, A., Javaid, N., Qasim, U., & Khan, Z. A. (2015). Demand Response: From Classification to Optimization Techniques in Smart Grid. In *2015 IEEE 29th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops* (pp. 229–235). IEEE. <http://doi.org/10.1109/WAINA.2015.128>
- Alis Restrepo, J. E. (2014). *Metodología para la evaluación energética de edificios comerciales en Colombia basados en estándares y normas internacionales*. Universidad Nacional de Colombia.
- Allouhi, A., El Fouih, Y., Kousksou, T., Jamil, A., Zeraouli, Y., & Mourad, Y. (2015). Energy consumption and efficiency in buildings: Current status and future trends. *Journal of Cleaner Production*, 109, 118–130. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.139>
- Amasyali, K., & El-Gohary, N. M. (2018). A review of data-driven building energy consumption prediction studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(September 2017), 1192–1205. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.095>
- Anastasi, G., Corucci, F., & Marcelloni, F. (2011). An intelligent system for electrical energy management in buildings. *International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, ISDA*, 702–707. <http://doi.org/10.1109/ISDA.2011.6121738>
- Azaza, M., & Wallin, F. (2017). Smart meter data clustering using consumption indicators: responsibility factor and consumption variability. *Energy Procedia*, 142, 2236–2242. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.624>
- Aziz, A. A., Sumiyoshi, D., & Akashi, Y. (2017). Low cost humidity controlled air-conditioning system for building energy savings in tropical climate. *Journal of Building Engineering*, 11(August 2016), 9–16. <http://doi.org/10.1016/j.jobee.2017.03.005>
- Barnes, E., & Parrish, K. (2016). Small buildings, big impacts: The role of small commercial building energy efficiency case studies in 2030 Districts. *Sustainable*

- Cities and Society*, 27, 210–221. <http://doi.org/10.1016/j.scs.2016.05.015>
- Bhaskoro, P. T., Gilani, S. I. U. H., & Aris, M. S. (2013). Simulation of energy saving potential of a centralized HVAC system in an academic building using adaptive cooling technique. *Energy Conversion and Management*, 75, 617–628. <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.06.054>
- Bianco, V., Righi, D., Scarpa, F., & Tagliafico, L. A. (2017). Modeling energy consumption and efficiency measures in the Italian hotel sector. *Energy and Buildings*, 149, 329–338. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.077>
- Bicego, M., Farinelli, A., Grosso, E., Paolini, D., & Ramchurn, S. D. (2018). On the distinctiveness of the electricity load profile. *Pattern Recognition*, 74, 317–325. <http://doi.org/10.1016/j.patcog.2017.09.039>
- Bonilla, D., Samaniego, M. G., Ramos, R., & Campbell, H. (2018). Practical and low-cost monitoring tool for building energy management systems using virtual instrumentation. *Sustainable Cities and Society*, 39(February), 155–162. <http://doi.org/10.1016/j.scs.2018.02.009>
- Brady, L., & Abdellatif, M. (2017). Assessment of energy consumption in existing buildings. *Energy and Buildings*, 149, 142–150. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.051>
- CADDET. (2005). *Saving energy with Energy Efficiency in hospitals*.
- Cao, X., Dai, X., & Liu, J. (2016). Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. *Energy and Buildings*, 128, 198–213. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.089>
- Capehart, B. L., Turner, W. C., & Kennedy, W. J. (2012). Guide to Energy Management (7th Edition). *Fairmont Press, Inc.* Retrieved from https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpGEME0003/viewerType:toc/root_slug:guide-energy-management/url_slug:types-of-fuel-cells?b-q=closed_cathode_fuel_cell&sort_on=default&b-group-by=true&b-search-type=tech-reference&b-sort-on=default
- Carvalho, P. (2015). Smart Metering Deployment in Brazil. *Energy Procedia*, 83, 360–369. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.211>
- Chang, H.-H., Lin, C.-L., & Lee, J.-K. (2010). Load identification in nonintrusive load monitoring using steady-state and turn-on transient energy algorithms. In *The 2010 14th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design* (pp. 27–32). IEEE. <http://doi.org/10.1109/CSCWD.2010.5472008>
- Chang, H.-H., Lin, L.-S., Chen, N., & Lee, W.-J. (2012). Particle Swarm Optimization based non-intrusive demand monitoring and load identification in smart meters. In *2012 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting* (pp. 1–8). IEEE. <http://doi.org/10.1109/IAS.2012.6373990>
- Chang, H. H. (2012). Non-intrusive demand monitoring and load identification for energy management systems based on transient feature analyses. *Energies*, 5(11), 4569–4589. <http://doi.org/10.3390/en5114569>
- Chedwal, R., Mathur, J., Agarwal, G. Das, & Dhaka, S. (2015). Energy saving potential

- through Energy Conservation Building Code and advance energy efficiency measures in hotel buildings of Jaipur City, India. *Energy and Buildings*, 92, 282–295. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.066>
- Chen, X., Zhang, Q., & Zhai, Z. (John). (2016). Energy saving potential of a ventilation system with a latent heat thermal energy storage unit under different climatic conditions. *Energy and Buildings*, 118, 339–349. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.049>
- Cho, M. Y. (2001). Development of PC based Energy Management System for Electrical Energy Saving of High Voltage Customer.
- Chou, D. chin, Chang, C. S., & Hsu, Y. Z. (2016). Investigation and analysis of power consumption in convenience stores in Taiwan. *Energy and Buildings*, 133, 670–687. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.010>
- Christantoni, D., Oxizidis, S., Flynn, D., & Finn, D. P. (2016). Implementation of demand response strategies in a multi-purpose commercial building using a whole-building simulation model approach. *Energy and Buildings*, 131, 76–86. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.017>
- Christiansen, N., Kaltschmitt, M., & Dzukowski, F. (2016). Electrical energy consumption and utilization time analysis of hospital departments and large scale medical equipment. *Energy and Buildings*, 131, 172–183. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.023>
- Ciampi, G., Rosato, A., Scorpio, M., & Sibilio, S. (2015). Retrofitting Solutions for Energy Saving in a Historical Building Lighting System. *Energy Procedia*, 78, 2669–2674. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.343>
- Cox, R., Leeb, S. B., Shaw, S. R., & Norford, L. K. (2006). Transient Event Detection for Nonintrusive Load Monitoring and Demand-Side Management Using Voltage Distortion. In *Twenty-First Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2006. APEC '06.* (pp. 1751–1757). IEEE. <http://doi.org/10.1109/APEC.2006.1620777>
- Cuce, E., Harjunowibowo, D., & Cuce, P. M. (2016). Renewable and sustainable energy saving strategies for greenhouse systems: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 34–59. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.077>
- Cui, W., & Wang, H. (2017). Anomaly Detection and Visualization of School Electricity Consumption Data, 606–611.
- Davis, J. A., & Nutter, D. W. (2010). Occupancy diversity factors for common university building types. *Energy and Buildings*, 42(9), 1543–1551. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.03.025>
- Deb, C., & Lee, S. E. (2018). Determining key variables influencing energy consumption in office buildings through cluster analysis of pre- and post-retrofit building data. *Energy and Buildings*, 159, 228–245. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.007>
- Delvaeye, R., Ryckaert, W., Stroobant, L., Hanselaer, P., Klein, R., & Breesch, H. (2016). Analysis of energy savings of three daylight control systems in a school building by means of monitoring. *Energy and Buildings*, 127, 969–979.

- <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.033>
- Depuru, S. S. S. R., Wang, L., & Devabhaktuni, V. (2011). Smart meters for power grid: Challenges, issues, advantages and status. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 2736–2742. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.039>
- Deru, M., Blair, N., & Torcellini, P. (2005). Procedure to measure indoor lighting energy performance. *National Renewable Energy Laboratory*, (October). Retrieved from <http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/38602.pdf>
- Dias Pereira, L., Raimondo, D., Corgnati, S. P., & Gameiro Da Silva, M. (2014). Energy consumption in schools - A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 911–922. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.010>
- Ding, Y., Zhang, Z., Zhang, Q., Lv, W., Yang, Z., & Zhu, N. (2018). Benchmark analysis of electricity consumption for complex campus buildings in China. *Applied Thermal Engineering*, 131, 428–436. <http://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.12.024>
- Dubois, M., & Blomsterberg, Å. (2011). Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: A literature review. *Energy and Buildings*, 43(10), 2572–2582. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.07.001>
- E Source. (2010). *Managing energy costs in office buildings*.
- E Source Companies LLC. (2010). Managing energy costs in office buildings. *Responsible Energy*, 13–16. Retrieved from <https://www.mge.com/images/PDF/Brochures/business/ManagingEnergyCostsInOfficeBuildings.pdf>
- EIA. (2013). *Total energy use in buildings*.
- EIA. (2016). Energy Use in Commercial Buildings.
- EIA. (2017). International Energy Outlook 2017 Overview. *U.S. Energy Information Administration*, IEO2017(2017), 143. [http://doi.org/www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2016\).pdf](http://doi.org/www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2016).pdf)
- Enerdata. (2017). *Global Energy Trends*.
- EPTA. (2007). Guidelines for Energy Efficiency Measures in Hospitals, (January), 1–15.
- Escobedo, A., Briceño, S., Juárez, H., Castillo, D., Imaz, M., & Sheinbaum, C. (2014). Energy consumption and GHG emission scenarios of a university campus in Mexico. *Energy for Sustainable Development*, 18(1), 49–57. <http://doi.org/10.1016/j.esd.2013.10.005>
- Fadel, E., Gungor, V. C., Nassef, L., Akkari, N., Maik, M. G. A., Almasri, S., & Akyildiz, I. F. (2015). A survey on wireless sensor networks for smart grid. *Computer Communications*, 71, 22–33. <http://doi.org/10.1016/j.comcom.2015.09.006>
- Fan, C., & Xiao, F. (2017). Assessment of Building Operational Performance Using Data Mining Techniques: A Case Study. *Energy Procedia*, 111(September 2016), 1070–1078. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.270>
- Fan, C., Xiao, F., Li, Z., & Wang, J. (2018). Unsupervised data analytics in mining big building operational data for energy efficiency enhancement: A review. *Energy and Buildings*, 159, 296–308. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.11.008>

- Felix, J. L. M., Dominguez, S. A., Rodriguez, L. R., Lissen, J. M. S., Ramos, J. S., & De La Flor, F. J. S. (2016). ME3A: Software tool for the identification of energy saving measures in existing buildings: Automated identification of saving measures for buildings using measured energy consumptions. *EEEIC 2016 - International Conference on Environment and Electrical Engineering*. <http://doi.org/10.1109/EEEIC.2016.7555821>
- Fowler, K., Anderson, C., & Ford, B. (2017). Energy Data Management System Commercial Product Summary. U.S. Department of Energy.
- Frank, S. M., & Sen, P. K. (2011). Estimation of electricity consumption in commercial buildings. *NAPS 2011 - 43rd North American Power Symposium*. <http://doi.org/10.1109/NAPS.2011.6024898>
- Gallego, G. A. (2015). *ESTADÍSTICA BÁSICA*.
- Gandhi, P., & Brager, G. S. (2016). Commercial office plug load energy consumption trends and the role of occupant behavior. *Energy and Buildings*, *125*, 1–8. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.04.057>
- Gangoellis, M., Casals, M., Forcada, N., MacArulla, M., & Giretti, A. (2016). Energy performance assessment of an intelligent energy management system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *55*, 662–667. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.006>
- Gentile, N., Laike, T., & Dubois, M. C. (2016). Lighting control systems in individual offices rooms at high latitude: Measurements of electricity savings and occupants' satisfaction. *Solar Energy*, *127*, 113–123. <http://doi.org/10.1016/j.solener.2015.12.053>
- Ghahramani, A., Zhang, K., Dutta, K., Yang, Z., & Becerik-Gerber, B. (2016). Energy savings from temperature setpoints and deadband: Quantifying the influence of building and system properties on savings. *Applied Energy*, *165*, 930–942. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.115>
- Ghorbanpanah, H., Yaghmaee Moghaddam, M. H., Saeedi, A., & Alishahi, S. (2013). Design and implementation of building energy monitoring system using wireless sensor networks. *IET Conference Publications*, *2013*, 230–233. <http://doi.org/10.1049/cp.2013.0977>
- Ghosh, A., Patil, K. A., & Vuppala, S. K. (2013). PLEMS: Plug Load Energy Management Solution for Enterprises. In *2013 IEEE 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)* (pp. 25–32). IEEE. <http://doi.org/10.1109/AINA.2013.45>
- Gulcu, S., & Kodaz, H. (2017). The estimation of the electricity energy demand using particle swarm optimization algorithm: A case study of Turkey. *Procedia Computer Science*, *111*, 64–70. <http://doi.org/10.1016/j.procs.2017.06.011>
- Gungor, V. C., Lu, B., & Hancke, G. P. (2010). Opportunities and Challenges of Wireless Sensor Networks in Smart Grid. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *57*(10), 3557–3564. <http://doi.org/10.1109/TIE.2009.2039455>
- Hamid, O., Barbarosou, M., Papageorgas, P., Prekas, K., & Salame, C. T. (2017).

- Automatic recognition of electric loads analyzing the characteristic parameters of the consumed electric power through a Non-Intrusive Monitoring methodology. *Energy Procedia*, 119, 742–751. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.137>
- Hartvigsson, E., & Ahlgren, E. O. (2018). Comparison of load profiles in a mini-grid: Assessment of performance metrics using measured and interview-based data. *Energy for Sustainable Development*, 43, 186–195. <http://doi.org/10.1016/j.esd.2018.01.009>
- Hemmati, R. (2017). Technical and economic analysis of home energy management system incorporating small-scale wind turbine and battery energy storage system. *Journal of Cleaner Production*, 159, 106–118. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.174>
- Hemmati, R., Saboori, H., & Jirdehi, M. A. (2017). Stochastic planning and scheduling of energy storage systems for congestion management in electric power systems including renewable energy resources. *Energy*, 133, 380–387. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.167>
- Herczeg, M., McKinnon, D., Milios, L., Bakas, I., Klaassens, E., Svatikova, K., & Widerberg, O. (2014). Summary for Policymakers. In Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed.), *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis* (pp. 1–30). Cambridge: Cambridge University Press. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Homod, R. Z., Sahari, K. S. M., & Almurib, H. A. F. (2014). Energy saving by integrated control of natural ventilation and HVAC systems using model guide for comparison. *Renewable Energy*, 71, 639–650. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2014.06.015>
- Hu, S. C., Chen, J. D., & Chuah, Y. K. (2004). Energy Cost and Consumption in a Large Acute Hospital. *International Journal on Architectural Science*, 5(1), 11–19.
- Hurtado, L. a, Member, S., Nguyen, P. H., & Kling, W. L. (2013). Building Energy Management Systems - Optimization of Comfort and Energy Use. *Universities Power Energy Conference*, (SEPTEMBER), 1–6. <http://doi.org/10.1109/UPEC.2013.6714910>
- ICF International. (2008). Energy management in your hotel. Retrieved from https://smallb.sidbi.in/sites/default/files/knowledge_base/guidebook_hotel.pdf
- iea. (2011). 25 Energy Efficiency Policy Recommendations, 1–12. Retrieved from https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/25recom_2011.pdf
- IEA. (2017). Energy Efficiency 2017. International Energy Agency. <http://doi.org/10.1787/9789264284234-en>
- IETcc-CSIC, & AICIA. (2015). Calificación de la eficiencia energética de los edificios. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- ISO. (2013). *Energy performance of buildings — Presentation of measured energy use of buildings*.
- Jain, V. (2016). Analysis of Maximum Demand of Educational Buildings and its Impact on Electricity Bills.
- Javed, A., Rana, O. F., Cipcigan, L. M., & Marmaras, C. (2017). Scalable Local Energy

- Management Systems. *Energy Procedia*, 142, 3069–3074. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.446>
- Jia, J., & Lee, W. L. (2018). The Rising Energy Efficiency of Office Buildings in Hong Kong. *Energy and Buildings*, 166, 296–304. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.062>
- Jing, R., Wang, M., Zhang, R., Li, N., & Zhao, Y. (2017). A study on energy performance of 30 commercial office buildings in Hong Kong. *Energy and Buildings*, 144, 117–128. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.042>
- Jung, N., Paiho, S., Shemeikka, J., Lahdelma, R., & Airaksinen, M. (2018). Energy performance analysis of an office building in three climate zones. *Energy and Buildings*, 158, 1023–1035. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.030>
- Kabalci, Y. (2016). A survey on smart metering and smart grid communication. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 302–318. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.114>
- Kawamoto, K., Shimoda, Y., & Mizuno, M. (2004). Energy saving potential of office equipment power management. *Energy and Buildings*, 36(9), 915–923. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.02.004>
- Kim, Y. S., & Srebric, J. (2017). Impact of occupancy rates on the building electricity consumption in commercial buildings. *Energy and Buildings*, 138, 591–600. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.056>
- Knissel, D. J. (2011). Energy efficient office buildings, 1–6.
- Kuo, Y.-C., Tung, W.-H., & Liu, L.-J. (2013). Smart Integrated Circuit and System Design for Renewable Energy Harvesters. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 3(1), 401–406. <http://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2012.2213582>
- Kusiak, A., Li, M., & Zhang, Z. (2010). A data-driven approach for steam load prediction in buildings. *Applied Energy*, 87(3), 925–933. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.09.004>
- Kwong, Q. J., Goh, S. H., Adam, N. M., & Raghavan, V. R. (2014). A Study on Energy Efficiency Improvement Opportunities for Plug Loads in Buildings in the Equatorial Region. *Energy Procedia*, 56(C), 621–633. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.07.201>
- Lamedica, R., Teodori, S., Carbone, G., & Santini, E. (2015). An energy management software for smart buildings with V2G and BESS. *Sustainable Cities and Society*, 19, 173–183. <http://doi.org/10.1016/j.scs.2015.08.003>
- Lazos, D., Sproul, A. B., & Kay, M. (2014). Optimisation of energy management in commercial buildings with weather forecasting inputs: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 587–603. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.053>
- Lee, D., & Cheng, C.-C. (2016). Energy savings by energy management systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 760–777. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.067>
- Lee, W. L., & Tan, K. W. (2017). A data-driven approach for benchmarking energy efficiency of warehouse buildings.

- Li, D. H. W., Cheung, A. C. K., Chow, S. K. H., & Lee, E. W. M. (2014). Study of daylight data and lighting energy savings for atrium corridors with lighting dimming controls. *Energy and Buildings*, 72(February 2012), 457–464. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.12.027>
- Li, X., Campana, P. E., Li, H., Yan, J., & Zhu, K. (2017). Energy storage systems for refrigerated warehouses. *Energy Procedia*, 143, 94–99. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.653>
- Li, Y., Wang, L., Ji, L., & Liao, C. (2013). A Data Warehouse Architecture supporting Energy Management of Intelligent Electricity System. *2nd International Conference on Computer Science and Electronics Engineering (ICCSEE 2013)*, (Iccsee), 696–699. <http://doi.org/10.2991/iccsee.2013.177>
- Liu, J., Zhang, W., Chu, X., & Liu, Y. (2016). Fuzzy logic controller for energy savings in a smart LED lighting system considering lighting comfort and daylight. *Energy and Buildings*, 127, 95–104. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.066>
- Lu, B., Habetler, T., & Harley, R. (2006). A Novel Motor Energy Monitoring Scheme using Wireless Sensor Networks. In *Conference Record of the 2006 IEEE Industry Applications Conference Forty-First IAS Annual Meeting* (Vol. 5, pp. 2177–2184). IEEE. <http://doi.org/10.1109/IAS.2006.256844>
- Lu, S., Zheng, S., & Kong, X. (2016). The performance and analysis of office building energy consumption in the west of Inner Mongolia Autonomous Region, China. *Energy and Buildings*, 127, 499–511. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.008>
- Luo, X., Hong, T., Chen, Y., & Piette, M. A. (2017). Electric load shape benchmarking for small- and medium-sized commercial buildings. *Applied Energy*, 204(April), 715–725. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.108>
- Macarulla, M., Casals, M., Forcada, N., & Gangoells, M. (2017). Implementation of predictive control in a commercial building energy management system using neural networks. *Energy and Buildings*, 151, 511–519. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.027>
- Mathieu, J. L., Price, P. N., Kiliccote, S., & Piette, M. A. (2011). Quantifying Changes in Building Electricity Use, With Application to Demand Response. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2(3), 507–518. <http://doi.org/10.1109/TSG.2011.2145010>
- Mckenney, K., Guernsey, M., Ponom, R., & Rosenfeld, J. (2010). Commercial Miscellaneous Electric Loads: Energy Consumption Characterization and Savings Potential in 2008 by Building Type. *Energy*, (May), 244.
- Menezes, A. C., Cripps, A., Buswell, R. A., Wright, J., & Bouchlaghem, D. (2014). Estimating the energy consumption and power demand of small power equipment in office buildings. *Energy and Buildings*, 75, 199–209. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.011>
- Metzger, A. B., & Manager, kate crosby. (2013). *Powering down*.
- Metzger, I., Cutler, D., & Sheppy, M. (2012). Plug-Load Control and Behavioral Change Research in GSA Office Buildings. *U.S. General Services Administration By the National Renewable Energy Laboratory June*.

- Metzger, I., Sheppy, M., & Cutler, D. (2014). Reducing Office Plug Loads through Simple and Inexpensive Advanced Power Strips. In *ASHRAE Annual Conference* (pp. 1–8).
- Minchala-Avila, L. I., Armijos, J., Pesántez, D., & Zhang, Y. (2016). Design and Implementation of a Smart Meter with Demand Response Capabilities. *Energy Procedia*, 103(April), 195–200. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.272>
- Mohagheghi, S., & Raji, N. (2014). Managing Industrial Energy Intelligently: Demand Response Scheme. *IEEE Industry Applications Magazine*, 20(2), 53–62. <http://doi.org/10.1109/MIAS.2013.2288387>
- Morgenstern, P., Li, M., Raslan, R., Ruyssevelt, P., & Wright, A. (2016). Benchmarking acute hospitals: Composite electricity targets based on departmental consumption intensities? *Energy and Buildings*, 118, 277–290. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.052>
- Nasution, H., Sumeru, K., Abdul Aziz, A., & Yusoff Senawi, M. (2014). Experimental Study of Air Conditioning Control System for Building Energy Saving. *Energy Procedia*, 61, 63–66. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.907>
- Navigant Research. (2015). Advanced Energy Now 2015 Market Report, (March), 58.
- Negrea, I., Dragusin, G., Merlusca, I., & Mogan, P. (2007). Energy Management in a Hybrid Energy System using the Simulation Program Matlab and the LCC (Life Cycle Cost) Method. *Wind Energy*, 217–220.
- Ouachani, I., Rabhi, A., Yahyaoui, I., Tidhaf, B., & Tadeo, T. F. (2017). Renewable Energy Management Algorithm for a Water Pumping System. *Energy Procedia*, 111(September 2016), 1030–1039. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.266>
- Ozadowicz, A., Grela, J., & Babar, M. (2016). Implementation of a demand elasticity model in the building energy management system. *2016 2nd International Conference on Event-Based Control, Communication, and Signal Processing, EBCCSP 2016 - Proceedings*. <http://doi.org/10.1109/EBCCSP.2016.7605234>
- Paillat, E. (2011). Energy Efficiency in Food-Service Facilities: the Case of Långbro Vårdshus.
- Papadopoulos, T. A., & Giannakopoulos, G. T. (2016). Study of electricity load profiles in University Campuses: The case study of democritus university of thrace. *IET Conference Publications*, 2016(CP711), 1–8.
- Parker, S. A., Boyd, B. K., Hunt, W. D., Stoughton, K. L. M., Fowler, K. M., Koehler, T. M., ... Sullivan, G. P. (2015). Metering Best Practices: A Guide to Achieving Utility Resource Efficiency, Release 3.0, (March).
- Pasquier, S. B. (2012). Energy Efficiency Policy Developments, (September 2011), 24. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1787/5k3wb8fffg20-en>
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>
- Placet, M., Katipamula, S., Liu, B., Dirks, J., Xie, Y., Sullivan, G., & Solutions, E. (2010). Energy End-Use Patterns in Full-Service Hotels : A Case Study Background on the Project. *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, 310–324.

- Retrieved from <http://aceee.rste040vImp01.blackmesh.com/files/proceedings/2010/data/papers/1984.pdf>
- Rabhi, A., Bosch, J., & Elhajjaji, A. (2015). Energy management for an autonomous renewable energy system. *Energy Procedia*, 83, 299–309. <http://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.184>
- Rashid, B., & Rehmani, M. H. (2015). Applications of wireless sensor networks for urban areas: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 60, 192–219. <http://doi.org/10.1016/j.jnca.2015.09.008>
- Reddy, R. S., Keesara, N., Pudi, V., & Garg, V. (2015). Plug Load Identification in Educational Buildings Using Machine Learning Algorithms. *Proceedings of BS2015:14th International Conference of the Building Performance Simulation Association*, 1940–1946.
- Rensburg, J. F. Van, Mathews, E. H., & Pelzer, R. (2012). Energy management audit and recommendations at a tertiary institution. *Proceedings of the 9th Industrial and Commercial Use of Energy*. Retrieved from http://active.cput.ac.za/energy/past_papers/ICUE/2012/PDF/33.vanRensburg,J.pdf
- Rohde, T., & Martinez, R. (2015). Equipment and Energy Usage in a Large Teaching Hospital in Norway. *Journal of Healthcare Engineering*, 6(3), 419–434. <http://doi.org/10.1260/2040-2295.6.3.419>
- Roisin, B., Bodart, M., Deneyer, A., & D’Herdt, P. (2008). Lighting energy savings in offices using different control systems and their real consumption. *Energy and Buildings*, 40(4), 514–523. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.04.006>
- Roos, J. G., Lane, I. E., Botha, E. C., & Hancke, G. P. (1994). Using neural networks for non-intrusive monitoring of industrial electrical loads. In *Conference Proceedings. 10th Anniversary. IMTC/94. Advanced Technologies in I & M. 1994 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (Cat. No.94CH3424-9)* (pp. 1115–1118). IEEE. <http://doi.org/10.1109/IMTC.1994.351862>
- Ruparathna, R., Hewage, K., & Sadiq, R. (2016). Improving the energy efficiency of the existing building stock: A critical review of commercial and institutional buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1032–1045. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.084>
- Santiago, K., Vazquez, J., & Parrish, K. (2016). The Role of Small Commercial Buildings in Achieving Energy Efficiency: Case Study Results. *Procedia Engineering*, 145, 1470–1477. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.185>
- Sebastian, D., Manjusha, V. A., & Anto, R. (2013). Energy management of induction motors using non-intrusive methods. *2013 International Conference on Power, Energy and Control, ICPEC 2013*, 767–772. <http://doi.org/10.1109/ICPEC.2013.6527758>
- Sekki, T., Airaksinen, M., & Saari, A. (2015). Impact of building usage and occupancy on energy consumption in Finnish daycare and school buildings. *Energy and Buildings*, 105, 247–257. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.036>

- Shao, X., Li, X., Ma, X., & Liang, C. (2017). Multi-mode ventilation: An efficient ventilation strategy for changeable scenarios and energy saving. *Building and Environment*, *115*, 332–344. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.01.032>
- Sheppy, M., Lobato, C., Geet, O. Van, Pless, S., Donovan, K., & Nrel, C. P. (2011). Reducing Data Center Loads for a Large-scale , Low-energy Office Building: NREL Research Support Facility.
- Simona, C., Luca, A., Vito, I., Fabrizio, M., & Stefano, U. (2011). *Energy Management Systems*. (G. Kini, Ed.) *Energy Management Systems*. InTech. <http://doi.org/10.5772/739>
- Skanska. (2016). *Energy Consumption in Office Buildings: a comparative study*.
- Solutions, H. E. (2011). *Analysis on energy use by Eurpean hotels: online survey and desk research*.
- Solutions, P. (2011). *Comprehensive Energy Survey of Large Office Building*.
- Soori, P. K., & Vishwas, M. (2013). Lighting control strategy for energy efficient office lighting system design. *Energy and Buildings*, *66*, 329–337. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.039>
- Sretenovic, A. (2013). Analysis of energy use at university campus, (September).
- Strasser, T., Andren, F., Kathan, J., Cecati, C., Buccella, C., Siano, P., ... Marik, V. (2015). A Review of Architectures and Concepts for Intelligence in Future Electric Energy Systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *62*(4), 2424–2438. <http://doi.org/10.1109/TIE.2014.2361486>
- Sun, K., & Hong, T. (2017). A simulation approach to estimate energy savings potential of occupant behavior measures. *Energy and Buildings*, *136*, 43–62. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.010>
- Tassou, S. A., Ge, Y., Hadawey, A., & Marriott, D. (2011). Energy consumption and conservation in food retailing. *Applied Thermal Engineering*, *31*(2–3), 147–156. <http://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.08.023>
- Torres, M., Paz, K., & Salazar, F. (2006). Tamaño de una muestra para una investigación de mercado. *Boletín Electrónico*, (02), 1–13. Retrieved from http://www.fsalazar.bizland.com/URL_INGENIERIA_PRIMERO/URL_02_BAS02.pdf
- Trillo-Montero, D., Santiago, I., Luna-Rodriguez, J. J., & Real-Calvo, R. (2014). Development of a software application to evaluate the performance and energy losses of grid-connected photovoltaic systems. *Energy Conversion and Management*, *81*, 144–159. <http://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.02.026>
- U.S. Department of Energy. (2010). Buildings energy data book. <Http://Buildingsdatabook.Eren.Doe.Gov/>, 1–271. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Buildings+Energy+Data+book#0>
- U.S Energy Information Administration. (2016). Building Type Definitions. Retrieved from <http://www.eia.gov/consumption/commercial/building-type-definitions.cfm>
- Uno, F., & Dahlan, N. Y. (2014). Development of Energy Management System GUI for Office Building. In *3rd IET International Conference on Clean Energy and*

- Technology (CEAT) 2014* (p. 62 (6 .)-62 (6 .)). Institution of Engineering and Technology. <http://doi.org/10.1049/cp.2014.1509>
- UPME. (2017). Plan De Acción Indicativo De Eficiencia Energética 2017 - 2022, 157. Retrieved from http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017-2022.pdf
- Vakiloroaya, V., Samali, B., & Pishghadam, K. (2014). A comparative study on the effect of different strategies for energy saving of air-cooled vapor compression air conditioning systems. *Energy and Buildings*, 74, 163–172. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.01.042>
- Wang, C., Shi, J., Chen, Z., & Zha, X. (2017). Study on energy consumption of large public building based on sub-metering technology. *Procedia Engineering*, 205, 3056–3060. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.273>
- Wei, Y., Zhang, X., Shi, Y., Xia, L., Pan, S., Wu, J., ... Zhao, X. (2018). A review of data-driven approaches for prediction and classification of building energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(October 2017), 1027–1047. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.108>
- Xu, L., Pan, Y., Yao, Y., Cai, D., Huang, Z., & Linder, N. (2017). Lighting energy efficiency in offices under different control strategies. *Energy and Buildings*, 138, 127–139. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.006>
- Yang, H.-T., Chang, H.-H., & Lin, C.-L. (2007). Design a Neural Network for Features Selection in Non-intrusive Monitoring of Industrial Electrical Loads. In *2007 11th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design* (pp. 1022–1027). IEEE. <http://doi.org/10.1109/CSCWD.2007.4281579>
- Yang, T., Clements-Croome, D., & Marson, M. (2017). Building Energy Management Systems. *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, (march), 291–309. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10199-X>
- Yu, Z., Haghghat, F., & Fung, B. C. M. (2016). Advances and challenges in building engineering and data mining applications for energy-efficient communities. *Sustainable Cities and Society*, 25, 33–38. <http://doi.org/10.1016/j.scs.2015.12.001>
- Zhang, D., Li, S., Sun, M., & O'Neill, Z. (2016). An Optimal and Learning-Based Demand Response and Home Energy Management System. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3053(c), 1–1. <http://doi.org/10.1109/TSG.2016.2552169>
- Zhao, L., Zhang, J., & Liang, R. (2013). Development of an energy monitoring system for large public buildings. *Energy and Buildings*, 66, 41–48. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.007>

Anexo 1: Plantilla de la encuesta realizada

1. ¿Cuáles son sus horarios dentro de la edificación?

- Horario de trabajo:
- Horario de receso:

En el caso de tener variaciones en su horario respecto diferentes días de la semana indíquelo a continuación:

	L	M	M	J	V	S	D
Trabajo							
Receso							

2. Respecto el sistema de iluminación de su espacio de trabajo:

¿Cuál es el número de luminarias asociado a su puesto de trabajo?	
¿Cuál es el tiempo estimado en que estas permanecen encendidas diariamente?	
¿Utiliza la iluminación natural disponible?	SI
	NO
¿Cuál es su percepción del nivel de iluminación existente en su puesto de trabajo?	Buena
	Regular
	Mala

3. Respecto el sistema de aire acondicionado de su espacio de trabajo:

¿Cuál es el rango de temperatura a la que suele trabajar el aire acondicionado en su espacio de trabajo?	Val. Máx:
	Val. Min:
¿Cuál es el tiempo estimado en que el aire acondicionado permanece encendido diariamente?	
¿Utiliza la ventilación natural disponible?	SI
	NO
¿Cuál es su percepción respecto al sistema de aire acondicionado presente en su puesto de trabajo?	Buena
	Regular
	Mala

4. Respecto a los equipos de cómputo que utiliza en su lugar de trabajo:

¿Cuántos equipos de cómputo son utilizados en su lugar de trabajo?	De torre	
	portátiles	
¿Cuál es el tiempo estimado en que los equipos permanecen encendidos?	De torre	
	portátiles	

¿Utiliza los modos de ahorro de energía de los equipos de cómputo?	SI
	NO

5. Respecto a los equipos de cómputo que utiliza en su lugar de trabajo:

¿Qué equipos especiales utiliza para sus actividades?				
¿Cada cuánto suele utilizar cada uno?				

Anexo 2: Identificación de estrategias de reducción de consumo en las referencias analizadas

<i>Título del estudio:</i>						
<i>Resumen del estudio (en cortas palabras):</i>						
<i>Descripción de la metodología</i>						
<i>Herramientas empleadas</i>	<i>Técnicas-estrategias de ahorro para la carga eléctrica</i>	<i>Clasificación de la estrategia aplicada</i>				<i>Configuración de las técnicas-estrategias</i>
		<i>Reconversión tecnológica</i>		<i>Estrategia operativa</i>		
						-Variables modificadas: -Características del lugar o lugares de aplicación (dimensiones, localización, etc)
<i>Resultados y conclusiones</i>						
<i>Descripción de los resultados obtenidos</i>		<i>Impactos de las configuraciones utilizadas sobre el consumo energético</i>				

Anexo 3: Análisis de los SGEE comerciales

Software	Descripción	Precio	Enlace
Wattics	<p>Es una plataforma que se despliega en la nube o en la web y que permite el análisis de los datos provenientes de sensores y medidores de energía. Aprende los patrones de comportamiento del usuario y con base en ello brinda notificaciones de las discrepancias presentadas en el consumo. Utiliza el método <i>IPMVP</i> como herramienta para la verificación de EPC e ISO 50001. Algunas características son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Integración con los medidores, sensores y sistemas de adquisición de datos de las marcas más reconocidas. • Herramientas para el monitoreo en tiempo real y el análisis respectivo de los datos. • Análisis en tiempo real, análisis de tendencias, análisis tarifario, alarmas y eventos, informes, análisis de desperdicios, análisis de calidad de la energía, análisis de rendimiento y proyecciones de ahorros. 	\$15/mes	http://wattics.com/
eSight	<p>Puede ser operativo en la web (como servicio) o instalado en el sistema operativo Windows. Brinda un amplio rango de funciones para gestionar y analizar los datos relacionados con los consumos energéticos, los cuales también facilitan la certificación con la ISO 50001. Tiene funciones aplicables al sector comercial e industrial, entre las que se encuentran en diferentes módulos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Análisis energético</i>: Visibilidad de los consumos en diferentes formatos, identificación de tendencias, análisis individual de medidores, análisis de rendimiento (<i>regresión lineal, correlaciones entre diferentes variables, CUSUM</i>), demanda máxima, factor de carga, calidad de la energía, análisis de carga base. • <i>Generación de informes</i> • <i>Alarmas</i>: baches en los datos de consumo, desviaciones del presupuesto, etc. • <i>Intercambio y accesibilidad a los datos</i>: Importación de datos, conectividad con diferentes dispositivos. 		http://www.esightenergy.com/uk/
Digitalenergy	<p>Es un aplicativo desplegado en la nube, en la web y comercializado en un modelo de software como servicio. Permite reducir los costos y consumo energético en edificios. Recolecta datos para cumplir funciones de monitoreo y análisis que faciliten y mejoren la operación.</p>		http://www.digitalenergy.org.uk/
ePortal	<p>Es un software que permite monitorear, analizar y entender fácilmente los patrones de consumo energético. Entre las funciones que se pueden encontrar están:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Monitoreo energético</i>: Identificación y explicación de fluctuaciones en el consumo energético, 	\$500/año	http://eportal.eu/en/features/

	<p>retroalimentación gráfica de los perfiles de consumo, estimaciones de consumos futuros en diferentes escenarios, establecimiento de presupuestos y objetivos de consumo energético.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Control de los parámetros de facturación</i> • <i>Análisis presupuestario</i> • <i>Involucración con ISO 50001</i> 		
EnergyDeck	<p>Es una plataforma basada en la nube y web que le permite a las organizaciones (edificios específicamente) reducir los costos e incrementar la eficiencia mientras se potencializa el confort del usuario. Algunas funcionalidades son:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Análisis de rendimiento y benchmarking automático -Gestión y validación de medidas de eficiencia energética -Integración flexible con instrumentos de medición 	<p>\$20/mes -Gratis: -Acceso estándar: £3- £250/mes</p>	<p>https://www.energydeck.com/pricing/</p>
Energyelephant	<p>Permite crear una base de datos de consumos energéticos con base a la información de las facturas existentes, hojas de cálculo y lecturas de contadores. Con base en estos datos se evidencian potenciales de ahorro y consejos en pocos segundos. El enfoque más grande está en la gestión de los datos presentados por las facturas de energía, permitiendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Ahorrar tiempo: Errores en la factura, consejos instantáneos, encontrar mejores proveedores. -Ahorrar costos: Encontrar proveedores más baratos, muestra el recurso energético que está más barato en un momento determinado, duración de descuentos o tiempo de renegociación de energía. -Reducir el riesgo: Facilita la elección del proveedor mostrando cuanto puede ahorrar, subministra información clave sobre aplicación de recursos renovables, evidenciar las mejoras en el consumo si se da una reconversión tecnológica. -Sostenibilidad: Evidencia la huella de carbono con base al consumo energético y a la red asociada, identifica el mejor recurso renovable para el cliente. 	<p>\$360/año</p>	<p>https://energyelephant.com/</p>
Enerchart	<p>Sistema de gestión energética para la certificación en la iso 50001 o EMAS. Entre las características que ofrece se encuentran los informes, cuadros de mando y archivo de datos.</p>		<p>http://www.enmat.com/solutions/electricity-monitoring</p>
ENMAT	<p>Es una web de monitoreo y focalización energética que presenta los datos de forma útil para el usuario.</p>	<p>\$200/mes</p>	<p>http://www.enmat.com/</p>
Energy Lens	<p>Es una herramienta que permite graficar y analizar el consumo de energía, el cual puede conectarse sin problemas a Excel. Las gráficas permiten establecer acciones como la identificación de donde y cuando se desperdicia la energía, cuanta energía se desperdicia, progresos realizados en la reducción del consumo.</p>	<p>\$495.00/ una vez</p>	<p>http://www.energylens.com/</p>
Energygauge	<p>Monitorea los niveles de utilización energética, calcula las calificaciones del edificio, encuentra formas de reducir el</p>	<p>\$199</p>	<p>http://www.energygauge.com/flacom/default</p>

	consumo de energía y los subsecuentes costos.		t.htm
Building IQ	Es un software basado en la nube y especializado en la gestión energética en sistemas HVAC, esta soportado por ingenieros que ayudan a detectar problemas y mejorar la operación.	Subscripción mensual	https://buildingiq.com/
EnerNoc	Permite rastrear el consumo energético y priorizar las técnicas de gestión que han de aplicarse para reducir los costos. Permite ejecutar acciones de análisis del consumo energético, consolidar las facturas y determinar como el consumo energético está afectando los presupuestos.	Subscripción	https://www.enernoc.com/
GridPoint	Permite visualización en tiempo real del consumo energético para permitir cambios oportunos con los que se pueda maximizar la eficiencia. Presentan benchmarkk contra los consumos base o los de negocios similares. Evidencia eventos que pueden ser considerados para mejorar la eficiencia energética, con base en las tendencias que se vengan presentando.		https://www.gridpoint.com/
PowerLogic	Está relacionado con Schneider Electric y permite analizar y gestionar los aspectos relacionados con las instalaciones energéticas y hacer benchmarking. Permite localizar y focalizar errores para reducir los costos, así como predecir el consumo total para establecer la cantidad necesaria.		http://www.powerlogic.com/

Anexo 4. Identificación y caracterización de las cargas eléctricas

Para las cargas eléctricas identificadas en la visita técnica de la edificación analizada para el caso de estudio de este trabajo, se utilizó designación descrita en la subsección 3.4.2. del capítulo de metodología. En la Tabla A1 se resumen los valores de potencia nominal determinadas para cada una, con el procedimiento definido, además de las áreas de los diferentes espacios. El factor multiplicativo encontrado en cada dato representa la cantidad de cargas existentes en el espacio señalado.

Tabla A1. Potencias nominales de las cargas eléctricas y áreas de los espacios en la edificación analizada

Esp.	Área (m ²)	1. (kW)	2.		3.			4.					5. (kW)
			2.1. (kW)	2.2. (kW)	3.1. (kW)	3.2. (kW)	3.3. (kW)	4.1. (kW)	4.2. (kW)	4.3. (kW)	4.4. (kW)	4.5. (kW)	
		0,108x12	2,238x1	---	0,264x1 2	0,07x3	---	---	0,17x1	---	---	---	---
2	56,94	0,108x6	2,238x1	---	0,264x3	0,07x2	---	---	0,17x1	---	---	---	---
3	86,31	0,108x10	2,238x1	---	0,264x8	0,07x3	---	1,52x1	0,17x1	---	---	---	---
4	171,36	0,108x22	2,238x1	---	0,264x7	0,07x3	---	1,52x10	0,17x1	---	18,65x1	---	0,137x1
5	86,31	0,108x10	2,238x1	0,060x1	0,264x3	0,07x3	---	---	0,17x1	---	---	60,00x1	---
6	87,00	0,108x11	2,238x1	0,052x2	0,264x5	0,07x2	---	---	0,17x1	---	---	---	---
7	114,30	0,108x19	2,238x1	---	0,264x3	0,07x3	---	1,52x1	0,17x1	---	---	---	---
8	52,70	0,108x8	2,238x1	0,050x1	---	0,07x5	---	---	0,17x1	---	---	---	---
9	34,92	0,108x4	2,238x1	---	0,264x3	0,07x3	---	---	0,17x1	---	---	---	---
10	52,80	0,108x19	2,238x1	---	0,264x2	---	---	---	0,17x1	---	---	---	0,137x1
11	16,01	0,108x2	---	---	---	---	---	---	0,17x1	---	---	---	---
12	444,79	0,108x23	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
13	43,04	0,108x6	---	---	---	---	2,00x1	---	---	---	---	---	---
14	15,03	0,108x2	---	4,000x1	---	---	---	---	0,17x5	7,00x3	---	---	---
15	39,98	0,108x6	2,238x1	---	0,264x7	0,07x1	---	---	0,17x1	---	---	---	0,137x1
16	39,98	0,108x11	2,238x1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
17	40,97	0,108x6	2,238x1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
18	40,97	0,108x6	2,238x1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
19	40,97	0,108x6	2,238x1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
20	77,33	0,108x6	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Por su parte, la Tabla A2 muestra los resultados de las mediciones realizadas para cada una de las cargas eléctricas identificadas, lo cual establece sus valores representativos de potencia que son utilizados en las estimaciones de los patrones de consumo.

Tabla A2. Valores medidos de potencia para las diferentes cargas eléctricas identificadas en la edificación analizada.

Esp.	1. (kW)	2.		3.			4.					5. (kW)
		2.1. (kW)	2.2. (kW)	3.1. (kW)	3.2. (kW)	3.3. (kW)	4.1. (kW)	4.2. (kW)	4.3. (kW)	4.4. (kW)	4.5. (kW)	
1	0,105	0,500	---	0,060	0,021	---	---	0,170	---	---	---	---
2	0,105	0,450	---	0,060	0,021	---	---	0,170	---	---	---	---
3	0,105	0,700	---	0,060	0,021	---	0,217	0,170	---	---	---	---
4	0,105	1,120	---	0,060	0,021	---	0,217	0,170	---	1,100	---	0,137
5	0,105	0,330	0,052	0,060	0,021	---	---	0,170	---	---	N.A.	---
6	0,105	0,480	0,045	0,060	0,021	---	---	0,170	---	---	---	---
7	0,105	0,570	---	0,060	0,021	---	0,217	0,170	---	---	---	---
8	0,105	0,370	0,045	0,060	0,021	---	---	0,170	---	---	---	---
9	0,105	0,460	---	0,060	0,021	---	---	0,170	---	---	---	---
10	0,105	0,670	---	0,060	---	---	---	0,170	---	---	---	0,137
11	0,105	---	---	---	---	---	---	0,170	---	---	---	---
12	0,105	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
13	0,105	---	---	---	---	1,240	---	---	---	---	---	---
14	0,105	---	2,870	---	---	---	---	0,170	0,790	---	---	---
15	0,105	0,780	---	0,060	0,021	---	---	0,170	---	---	---	0,137
16	0,105	0,950	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
17	0,105	0,540	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
18	0,105	0,780	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
19	0,105	0,850	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
20	0,105	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

N.A.: No aplicable

Como se observa en la Tabla A2, las cargas eléctricas de clase 1 y 3 tienen los mismos valores para los diferentes espacios en que existen, debido a que las mediciones relacionadas con estas se basaron en las muestras y condiciones descritas anteriormente. Por su parte, las cargas de clase 2 presentan valores diversos en los espacios en que fueron recolectados de forma independiente. También puede observarse que para la fuente trifásica no se desarrollaron las mediciones debido sus bajos tiempos operativos al momento de realizar el estudio.

Los datos descritos en la Tabla A2 fueron utilizados en las ecuaciones planteadas para estimar las curvas de carga presentadas en la subsección 4.1.3. del capítulo de resultados. Así, dichos datos permitieron sintetizar el comportamiento relacionado con la potencia de las cargas para la operación actual, aproximando los cálculos de los patrones de consumo a dichas condiciones.

Los tiempos operativos se definieron como se describió anteriormente en el capítulo de metodología, de forma que la Tabla A3 muestra los datos recolectados para las cargas de uso general con horarios fijos.

Tabla A3. Tiempos operativos para las cargas eléctricas de uso general con horario fijo

Carga	Esp.	Tiempos operativos
1.	2	Lunes a Viernes de 1:00 p.m. a 6:00 p.m.
	12	Lunes a Domingo de 4:30 a.m. a 6:00 a.m. y de 5:30 p.m. a 10:30 p.m.
	20	Lunes a Domingo de 4:30 a.m. a 6:00 a.m. y de 5:30 p.m. a 10:30 p.m.
	15	Lunes a Viernes de 2:00 p.m. a 6:00 p.m.
2.1.	1	Lunes a Viernes de 10:00 a.m. a 1:00 p.m.
	2	Lunes a Viernes de 1:00 p.m. a 5:00 p.m.
	3	Lunes a Viernes de 11:00 a.m. a 7:00 p.m.
	4	Lunes a Viernes de 8:00 a.m. a 6:00 p.m.
	5	Lunes a Viernes de 11:00 a.m. a 5:00 p.m.
	6	Lunes a Viernes de 1:00 p.m. a 4:00 p.m.
	7	Lunes a Viernes de 7:00 a.m. a 4:00 p.m.
	8	Lunes a Viernes de 1:00 p.m. a 5:00 p.m.
	9	Lunes a Viernes de 2:00 p.m. a 6:00 p.m.
	10	Lunes a Viernes de 11:00 a.m. a 5:00 p.m.
	15	Lunes a Viernes de 1:00 p.m. a 5:00 p.m.
	16	Martes, Miércoles y Viernes de 2:00 p.m. a 3:00 p.m.
	17	Viernes de 2:00 p.m. a 10:00 p.m.
	18	Sábado de 7:30 a.m. a 12:00 p.m.
19	Viernes de 6:00 p.m. a 10:00 p.m.	
2.2.	14	Operación continua
3.3.	13	Lunes a Viernes de 6:00 a.m. a 10:30 a.m. y de 12:00 p.m. a 3:30 p.m.
4.1.	4	Operación continua
4.2.	1	Operación continua
	2	Operación continua
	3	Operación continua
	4	Operación continua
	5	Operación continua
	6	Operación continua
	7	Operación continua
	8	Operación continua
	9	Operación continua
	10	Operación continua
	11	Operación continua
	14	Operación continua
	15	Operación continua
	4.3.	14
4.4.	4	Lunes a Viernes de 8:00 a.m. a 5:00 p.m.
4.5.	5	N.A.
5.	4	Operación continua
	10	Operación continua
	15	Operación continua

*Operación continua: lunes hasta domingos desde 12:00 a.m. hasta 12:00 a.m.

* N.A: No aplicable

Las cargas que presentan tiempos de operación continua son las únicas que determinan el consumo de la edificación cuando el factor de ocupación se hace cero (consumo base). También se observa que los sistemas de iluminación en los pasillos operan en intervalos de tiempo fijos que abarcan las horas de la mañana (4:30 a.m. a 6:00 a.m.) y la noche (5:30 p.m. a 10:30 p.m.) de lunes a domingo, debido al sistema de control que los acciona. Por su parte, los sistemas de aire acondicionado operan principalmente hasta los viernes en horas de la tarde, coincidiendo con los horarios de la mayoría de los usuarios analizados.

Anexo 5: Descripción técnica de equipos de medición utilizados

Tabla A4. Equipos utilizados para las mediciones de voltaje, corriente y potencia. Fuente: Autor

Equipo	Características técnicas
	<p>Generalidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones: 13 cm x 6,5 cm x 5,9 cm • Indicación de sobre carga <p>Medición de corriente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Corriente máxima 15 A. • Precisión de $\pm 1,0\%$ <p>Medición de voltaje:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Voltaje desde 100 V hasta 150 V AC • Precisión de $\pm 1,0\%$ <p>Medición de potencia activa:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Potencia activa hasta 1800 W • Precisión de $\pm 1,0\%$ <p>Medición de consumo eléctrico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Consumo de energía hasta 9999 kWh • Precisión de $\pm 1,0\%$ <p>Medición de factor de potencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Factor de potencia desde 0 hasta 1 • Precisión de $\pm 2,0\%$
<p>Vatímetro de tomacorriente UT230B-US</p>	<p>Generalidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones: 23,6 cm x 9,7 cm x 4 cm • Posee retención de datos • Modo relativo <p>Medición de corriente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Corriente AC: En los rangos de 400 A y 1000 A • Precisión de $\pm (1,5\% + 5\%)$ • Capacidad de la mordaza de 40mm <p>Medición de voltaje:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Voltaje AC: 4 V, 40 V, 400 V, 600 V • Voltaje DC: 400 mV, 4 V, 40 V, 400 V, 600 V • Precisión de $\pm (1,2\% + 5)$ y $\pm (0,8\% + 1)$ respectivamente
	<p>Pinza amperimétrica UT206A</p>

Tabla A5. Equipo utilizado para la medición en el circuito general. Fuente: Autor

Equipo	Características técnicas
 <p data-bbox="323 1010 679 1039">Analizador de redes Fluke 435</p>	<p data-bbox="775 461 1034 490">Medición de corriente:</p> <ul data-bbox="775 495 1114 551" style="list-style-type: none"> • 0,5 A - 600A • Precisión de ($\pm 0,5\%$ - ± 5) <p data-bbox="775 551 999 580">Medición de voltaje</p> <ul data-bbox="775 584 1046 640" style="list-style-type: none"> • 1 V - 1000 V • Precisión de $\pm 0,1\%$ <p data-bbox="775 640 1098 669">Medición de potencia activa</p> <ul data-bbox="775 674 1023 730" style="list-style-type: none"> • Máximo 6000 MW • Precisión de $\pm 1\%$ <p data-bbox="775 730 1129 759">Medición de factor de potencia</p> <ul data-bbox="775 763 1046 819" style="list-style-type: none"> • 0-1 • Precisión de $\pm 0,1\%$ <p data-bbox="775 819 1134 848">Medición de consumo eléctrico</p> <ul data-bbox="775 853 1118 909" style="list-style-type: none"> • Activo, reactivo y aparente • Precisión de $\pm 1\%$ <p data-bbox="775 909 903 938">Armónicos</p> <ul data-bbox="775 943 1257 999" style="list-style-type: none"> • Agrupamiento de 1 a 50 • De acuerdo con norma IEC 61000-4-7 <p data-bbox="775 999 943 1028">Desequilibrios</p> <ul data-bbox="775 1032 1174 1088" style="list-style-type: none"> • 0% - 20% en voltaje y corriente • Precisión de $\pm 0,1\%$

Anexo 6. Descripción de las estrategias de ahorro consideradas

Tabla A6. Estrategias para la reducción del consumo en la iluminación. Fuente: Autor

Estrategia	Descripción
Control de presencia	Sistemas de control que emplean sensores para detectar la presencia o ausencia de las personas, y de esa forma establecer los momentos en que la iluminación debe activarse o desactivarse.
Uso de iluminación natural	Estrategia basada en la utilización sensores que detectan los niveles de luminancia externa en un espacio, controlando de esa manera el consumo de potencia o los tiempos operativos del sistema.
Independencia de circuitos	Consiste en la sectorización de los circuitos que alimentan las luminarias del sistema, con el fin de reducir el consumo de aquellas que se encienden innecesariamente.
Reconversión de luminarias	Abarca el cambio en la tecnología de las lámparas utilizadas, de tal forma que produzcan una mayor intensidad lumínica con un menor consumo de potencia eléctrica.

Tabla A7. Estrategias para la reducción del consumo en la climatización de espacios y calentamiento de agua. Fuente: Autor

Estrategia	Descripción	Subcategoría
Ventilación multimodal	Se enfoca en reducir la velocidad de los motores involucrados en los sistemas de ventilación, para reducir de esa manera su consumo de potencia eléctrica.	Sistemas de ventilación
Reducción de tiempo operativo	Disminuye los lapsos operativos del sistema de climatización o calentamiento de agua para acortar la energía eléctrica total consumida.	Todas
Pre-enfriamiento/pre-calentamiento	Se enfoca en acercar el sistema a las condiciones requeridas de temperatura, con el fin de disminuir la cantidad de potencia o trabajo que debe ser aplicada.	Todas
Control de ventilación natural	Aprovecha la ventilación natural disponible en el espacio analizado, basándose en controles automáticos y con el fin de disminuir el tiempo de operación en los sistemas de ventilación.	Sistemas de ventilación
Enfriamiento adaptativo	Considera una reducción gradual de los puntos de ajuste involucrados en los sistemas de climatización de espacios, de forma que se demande un menor consumo de potencia para mantener las condiciones requeridas.	Aire acondicionado
Control de humedad	Se basa en controlar la humedad relativa en el ambiente con el fin de reducir los niveles de temperatura requeridos para el confort de los ocupantes.	Aire acondicionado

Tabla A8. Estrategias para la reducción del consumo en las cargas desconectables, equipos especiales y refrigeración. Fuente: Autor

Estrategia	Descripción	Subcategoría
Gestión operativa	Considera conjuntamente la reducción en los tiempos operativos de las cargas, así como la modificación en sus condiciones de trabajo para reducir la demanda de energía.	Todas
Reconversión de equipos	Se basa en la renovación de las cargas utilizadas por unas que técnicamente demanden un menor consumo.	Todas
Modificación de jornadas laborales	Consiste en alterar los horarios laborales de los ocupantes, con el fin de minimizar la cantidad de cargas eléctricas operadas en un instante de tiempo.	Todas
Reducción de tiempos de retardo	Disminuye los tiempos de espera en las cargas, lo cual permite menguar gastos energéticos innecesarios.	Computadores