

|  |                                   |         |            |
|--|-----------------------------------|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | INFORME FINAL<br>TRABAJO DE GRADO | Código  | FDE 089    |
|  |                                   | Versión | 04         |
|  |                                   | Fecha   | 24-02-2020 |

# **ESTUDIO DE ACTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA EN UN EDIFICIO DE APARTAMENTOS DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA**

Juan Pablo Hernández Gallego  
Oscar Humberto Castañeda Laverde

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniero Electromecánico y/o Mecatrónico**

**Asesor(es):**  
Carlos Alberto Acevedo Álvarez ,Msc

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM  
Facultad de Ingenierías  
Departamento de electromecánica y Mecatrónica  
Medellín, Colombia

2023

|   |                                   |         |            |
|---|-----------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL<br>TRABAJO DE GRADO | Código  | FDE 089    |
|   |                                   | Versión | 04         |
|   |                                   | Fecha   | 24-02-2020 |

## RESUMEN

---

En el presente trabajo se encuentra descrito el estudio realizado al edificio Oceanía ubicado en el barrio Obrero calle 40 # 50-199 de la ciudad de Medellín con el propósito de definir su consumo energético y proponer algunas alternativas para su reducción. Este está conformado por tres actividades: La primera actividad consistió en realizar mediciones en diferentes puntos de interés en la edificación para lo cual se utilizó un medidor de red FLUKE, lo cual permitió identificar los puntos de mayor consumo energético que a su vez son los puntos para intervenir (auditoria energética). Luego, con la información encontrada se procedió a proponer alternativas con el fin de reducir este consumo y, por último, se realizó un estudio de viabilidad económica con el propósito de definir cuáles de las alternativas planteadas son viables y cuáles no. Estas actividades permitieron identificar que el cambio de luminarias fluorescentes por tecnología LED es un buen punto de partida para la reducción del consumo energético en edificios residenciales.

**Palabras clave:** Eficiencia Energética, Análisis, Estudio, Consumo.

|  |                                   |         |            |
|--|-----------------------------------|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | INFORME FINAL<br>TRABAJO DE GRADO | Código  | FDE 089    |
|  |                                   | Versión | 04         |
|  |                                   | Fecha   | 24-02-2020 |

## RECONOCIMIENTOS

---

En primer lugar, queremos agradecerle a Dios por habernos fortalecido en los momentos difíciles y por bendecirnos, permitiéndonos estudiar una carrera universitaria en una institución como lo es el Instituto Tecnológico Metropolitano que cuenta con los espacios idóneos para el aprendizaje, la cual nos recibió con los brazos abiertos y nos dio las herramientas necesarias para su culminación.

|  |  |         |            |
|--|--|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | <b>INFORME FINAL<br/> TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|  |  | Versión | 04         |
|  |  | Fecha   | 24-02-2020 |

# ACRÓNIMOS

---

**CREG:** Comisión de regulación de energía y gas.

**ENE:** Estudio Nacional de Energía

**ISA:** Interconexión Eléctrica S.A

**MINAM:** Ministerio del Medio Ambiente.

**MDL:** Mecanismo de Desarrollo Limpio.

**MME:** Ministerio de Minas y Energía

**ONU:** Organización de las Naciones Unidas.

**PEN:** Plan Energético Nacional.

**UPME:** Unidad de Planeación Minero Energética.

**URE:** Uso Racional y Eficiente de la Energía.

|  |  |         |            |
|--|--|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | <b>INFORME FINAL<br/> TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|  |  | Versión | 04         |
|  |  | Fecha   | 24-02-2020 |

## TABLA DE CONTENIDO

---

|      |  |    |
|------|--|----|
| 1.   | INTRODUCCIÓN .....   | 9  |
| 1.1  | Objetivo general.....  | 10 |
| 1.2  | Objetivos específicos .....  | 10 |
| 2.   | MARCO TEÓRICO .....  | 12 |
| 2.1  | Antecedentes .....   | 12 |
| 2.2  | Colombia y sus primeros proyectos sobre el uso racional de la energía..... | 13 |
| 2.3  | ¿Qué es el uso racional de la energía? .....                               | 15 |
| 2.4  | ¿Cómo hacer el uso racional de la energía? .....                           | 16 |
| 2.5  | Protocolo de KYOTO .....   | 16 |
| 2.6  | Acuerdo de Paris .....   | 17 |
| 2.7  | Proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL).....                    | 17 |
| 2.8  | Panorama energético nacional .....   | 18 |
| 2.8  | Problemática Colombiana.....   | 19 |
| 2.9  | Marco legal .....  | 20 |
| 2.10 | Auditorias energéticas en edificios .....                                  | 20 |
| 2.11 | Normativa y políticas de la auditoria NTC ISO 50001.....                   | 22 |
| 2.12 | Casos exitosos de auditorías energéticas en edificaciones .....            | 23 |
|      | Caso 1: .....  | 24 |
| 2.13 | Legislación colombiana.....  | 25 |
| 2.14 | Auditorias energéticas de iluminación .....                                | 27 |
| 2.15 | Instrumentos utilizados en auditorias energéticas .....                    | 28 |
|      | 2.15.1 Analizador de redes eléctricas.....                                 | 29 |
|      | 2.15.2 Analizador de gases de combustión.. .....                           | 30 |
|      | 2.15.3 Luxómetro. ....   | 30 |
|      | 2.15.4 Cámara Termográfica.....  | 31 |
|      | 2.15.5 Medidores de consumos.....  | 31 |
| 3.   | METODOLOGÍA.....   | 32 |

|  |  |         |            |
|--|--|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | <b>INFORME FINAL<br/> TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|  |  | Versión | 04         |
|  |  | Fecha   | 24-02-2020 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.    | RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....   | 34 |
| 4.1   | Informe de auditoría energética realizada al edificio océano .....  | 35 |
| 4.2   | Descripción del edificio.....   | 36 |
| 4.2.1 | Descripción física de las zonas. El edificio está compuesto de 6 pisos, las cuales están divididos en:..... | 36 |
| 4.3   | Consumo de energía y su distribución .....  | 39 |
| 4.4   | Análisis económico .....  | 40 |
| 4.5   | Posibles mejoras a realizar .....   | 41 |
| 4.5.1 | Iluminarías LED. ....   | 41 |
| 4.5.2 | Motores eléctricos.....   | 45 |
| 4.5.3 | Otras recomendaciones. A continuación, se mencionan algunos otras alternativas: .....                       | 53 |
| 5.    | CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....   | 54 |
|       | REFERENCIAS .....   | 57 |

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

## LISTA DE FIGURAS

---

|   | Pág. |
|---|------|
| Figura 1. Medidor de red marca Fluke.....   | 29   |
| Figura 2. Medidor de Gases de combustión. ....                                      | 30   |
| Figura 3. Fluxómetro marca EXTECH. ....   | 30   |
| Figura 4. Cámara termográfica. ....   | 31   |
| Figura 5. Medidor de consumo eléctrico. ....  | 31   |
| Figura 6. Vista frontal de la fachada principal del edificio Océano. ....           | 35   |
| Figura 7. Zona del Taller de mecánica, piso 1. ....                                 | 37   |
| Figura 8. Salón de dibujo, piso 2. ....   | 37   |
| Figura 9. Vista interna de un apartamento del edificio océano, piso 3,4,5 y 6. .... | 38   |

|   |                                   |         |            |
|---|-----------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL<br>TRABAJO DE GRADO | Código  | FDE 089    |
|   |                                   | Versión | 04         |
|   |                                   | Fecha   | 24-02-2020 |

## LISTA DE TABLAS

---

|  | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Potenciales y metas al 2015. ....   | 25   |
| Tabla 2. Ubicaciones de los puntos de atención de la empresa Ingenieros Medellín LTDA.<br>en Colombia.....     | 36   |
| Tabla 3. Consumos energéticos entregada por sus propietarios. ....   | 39   |
| Tabla 4. Valor del consumo energético identificado. ....   | 40   |
| Tabla 5. Características de la iluminación del salón de dibujo.....  | 41   |
| Tabla 6. Diferentes tipos de tecnologías disponibles y Lúmenes emitidos. ....                                  | 42   |
| Tabla 7. Eficiencia energética vs tecnología.....  | 42   |
| Tabla 8. análisis de ahorro energético y económico. ....   | 43   |
| Tabla 9. Costo total y unitario de las tecnologías disponibles. ....   | 43   |
| Tabla 10. Costos vs vida útil de las luminarias. ....  | 44   |
| Tabla 11. Energía consumida y costo de la luminaria.....   | 44   |
| Tabla 12. Características de funcionamiento de los motores actuales. ....                                      | 45   |
| Tabla 13. Consumos energéticos criticos en ciertas horas del día. ....   | 51   |
| Tabla 14. Costo de los motores eléctricos y retorno de la inversión. .... <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |      |

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

# 1. INTRODUCCIÓN

---

Uno de los Objetivos principales de los países a nivel mundial es el Desarrollo Sostenible establecido por la Conferencia de las Naciones Unidas celebrada en Río de Janeiro en el 2012, más específicamente en el numeral 7 donde se establece que se debe “garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos”. Si se habla de energía eléctrica, actualmente se promueve su uso racional, pero de manera eficiente sin dejar a un lado la mejora continua, la preservación de los recursos naturales, el desarrollo económico y la reducción de su generación a través de fuentes fósiles.

Algunos de los mecanismos para lograr este propósito **es el desarrollo e implementación** de nuevos dispositivos tecnológicos. Debido a esto, el gobierno invierte fuertes cantidades de dinero en educación, **investigación**, comunicación, regulación e incentivos económicos para las empresas que lo implementen. **Todo esto hace que el trabajo a desarrollar tome relevancia porque promueve todo lo dicho anteriormente y, además, sirven como guía para proyectos destinados a reducir la problemática ambiental actual.**

**A continuación, se plantea la problemática actual existente en el edificio Océano ubicado en el municipio de Bello, Antioquia. En relación con el aumento considerable de su consumo energético con el pasar de los años y cuyo propósito principal es establecer las condiciones actuales del edificio como los principales focos de consumo y proponer algunas alternativas de solución a esta problemática. Por tal motivo, se realizó una auditoria energética a la edificación utilizando un equipo de alta tecnología como es un medidor de red marca Fluke 435-2 identificándose que los motores eléctricos utilizados deben ser remplazados por motores de alta eficiencia y que las luminarias deben ser**

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

sustituidas por luminarias Led, además de realizar la posible instalación de un banco de capacitores para controlar el consumo de potencia reactiva.

Este proyecto está compuesto por 5 capítulos principales: El primero es la introducción donde se explica su propósito y se detalla la normativa que lo rige. Luego, se encuentra el marco teórico donde se describe de forma detallada cada uno de sus conceptos básicos como los parámetros establecidos. El tercer capítulo es la metodología donde se explica de forma detallada todas las actividades realizadas para alcanzar cada uno de los objetivos específicos y por ende el objetivo general que es el análisis de eficiencia energética en edificaciones residenciales.

En el cuarto capítulo se encuentran los resultados obtenidos de la auditoria energética realizada a la edificación y se plantean las diferentes alternativas de mejora propuestas para la reducción del consumo energético como la evaluación técnico económica realizada para su implementación y, por último, se encuentran las conclusiones producto de las actividades realizadas durante el trabajo.

### **1.1 Objetivo general**

Realizar un análisis de eficiencia energética en un edificio de la ciudad de Medellín con el propósito de reducir su consumo energético.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Analizar los consumos energéticos en un edificio de apartamentos de la ciudad de Medellín.
- Determinar las tecnologías actuales que contribuyen a reducir el consumo energético residencial.

|  |  |         |            |
|--|--|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | <b>INFORME FINAL<br/> TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|  |  | Versión | 04         |
|  |  | Fecha   | 24-02-2020 |

- Detallar la prefactibilidad técnico-económica para la reconversión tecnológica en un edificio de apartamentos de la ciudad de Medellín.
- Establecer una propuesta de reconversión tecnológica para aumentar la eficiencia energética en un edificio de apartamentos de la ciudad de Medellín.

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

## 2. MARCO TEÓRICO

---

El término eficiencia energética relaciona la energía aprovechada y la energía total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética, ésta siempre que busca maximizarla a través de buenas prácticas de reconversión tecnológica o sustitución de combustibles (Ley 1715 - 13/05/2014, 2014).

### 2.1 Antecedentes

La actual crisis energética que vive el planeta no es ajena a Colombia. Es por lo que el país ha comenzado una serie de acciones en busca de diversificar la matriz de generación eléctrica mediante la inserción de otro tipo de fuentes de energía no convencionales a las usuales. Esto con el objeto de generar una producción más limpia y reducir el impacto ambiental generado.

El gobierno colombiano ha realizado una serie de esfuerzos con el objetivo de crear un ecosistema energético que responda a las necesidades actuales y que además genere réditos sociales, ambientales y económicos, por ello se está apostando a posicionar la energía solar y la eólica como futuras fuentes de energía en el país.

En 2019, Colombia dio un salto histórico en la incorporación de energías renovables de fuentes no convencionales. En 2022, Colombia aumentará 50 veces su capacidad instalada para la generación de energía solar y eólica, al pasar de menos de 50 megavatios (MW), que equivalen a lo que requiere una ciudad como Ibagué, a más de 2500 MW, que es lo que necesitan Cali, Medellín, Bucaramanga, Barranquilla y Cartagena juntas (Minenergía, Ministerio de minas y energía, 2020).

Para las próximas décadas, el sector energético se enfrenta a unos retos importantes debido al crecimiento exponencial de la población mundial. Esto conlleva a un aumento

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

en el consumo de recursos naturales y, por lo tanto, el incremento de los costos de la energía y los gases de efecto invernadero.

Debidos a estos retos, se hace imperativo utilizar la energía de manera más eficiente, ya que, si en los próximos 25 años se sigue dependiendo en un porcentaje muy alto de fuentes no renovables, se incrementará la demanda mundial de energía, lo cual resulta incompatible con el agotamiento de los recursos fósiles y el aumento de los gases de efecto invernadero (IDEAM, 2007).

El uso racional de la energía es el concepto del “uso eficiente energético que ha sido una preocupación creciente en nuestros días, ya sea por la necesidad de competir con costos más bajos o por la urgencia de disminuir la cantidad de emisiones al medio ambiente. Los retos de ahorro y de mejor uso de la energía son fuertes y un compromiso de todos” (UPME, 2016).

## **2.2 Colombia y sus primeros proyectos sobre el uso racional de la energía**

En Colombia las primeras acciones concretas y de importancia que se dieron en el Uso Racional de Energía, ocurrieron a principios de la década de los años 80’s, cuando el Ministerio de Minas y Energía acudió a los diferentes países europeos para solicitar asistencia técnica y ayuda internacional en este campo, no tan conocido en Colombia. Como fruto de estos contactos se adelantó en 1982 el Estudio Nacional de Energía (ENE), con la colaboración del gobierno de Alemania Federal (UPME, 2003).

Cabe resaltar que la producción energética en Colombia empezó operar gracias a inversionistas privados, pero luego estos fueron desplazados por identidades gubernamentales debido a presiones realizadas por la clase política de las distintas regiones del país (Rodríguez & Ahumada, 2010).

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

En el año 1967 nace ISA (Interconexión Eléctrica SA) creada con el objeto de coordinar la generación y suministro de energía en el país. Esta se convierte en un hito energético, con cuya llegada se generan otras nuevas centrales de producción energética.

En la crisis de 1990, causada por un largo verano y, en medio de la coyuntura por la creación de la nueva constitución política del país:

- Se define un nuevo esquema para la prestación de los servicios públicos domiciliarios, en el que el papel del Estado implica el asegurar la prestación eficiente de dichos servicios para mejorar la calidad de vida de la población y el bienestar general. En este esquema los servicios públicos pueden ser prestados por particulares mientras el Estado se reserva el derecho de ejercer la regulación y el control (Rodríguez & Ahumada, 2010).
- Luego se crea la CREG (Comisión de regulación de energía y gas) cuyo objetivo básico es el de crear las condiciones para asegurar la disponibilidad de una oferta energética eficiente, capaz de abastecer la demanda bajo criterios sociales, económicos, ambientales y de viabilidad financiera (Rodríguez & Ahumada, 2010).

Es importante recordar que las primeras iniciativas encaminadas a regular el suministro y la competencia en el mercado energético nacional fueron tomadas de normativas internacionales. Por ello se adoptaron diferentes modelos conducentes a garantizar condiciones de competencia bajo parámetros legales, propiciando una competencia sana.

En Colombia el Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética PAI PROURE (2017 – 2022) adoptado, fue creado por el Ministerio de Minas y Energía mediante la Resolución 41286 del 30 de diciembre de 2016, el PAI 2017 – 2022, para desarrollar el PROURE, donde se destaca el aumento de la meta de eficiencia energética global al 2022 que alcanza el 9,05 %, contemplando acciones relevantes en los sectores transporte e industria, como grandes consumidores de energía del país. Incluyendo la evaluación de la creación de un Gestor de Información de Eficiencia Energética – GIEE y la promoción a los

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

agentes que presten servicios energéticos para la ejecución de los proyectos de EE concretos (UPME, 2016).

### 2.3 ¿Qué es el uso racional de la energía?

El concepto del Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE), es entendido como el aprovechamiento óptimo de la energía en todos los eslabones o categorías de las diferentes cadenas energéticas, es una estrategia transversal a todos los objetivos del Plan Energético Nacional (PEN) que tiene Colombia (Minenergía, 2006).

Dicho concepto nace de la necesidad de abastecer energéticamente a la población mundial en medio de un panorama oscuro debido a que esta requiere (en un principio) de elementos naturales no renovables como el carbón y el gas, por tanto, se hace necesario procurar otras fuentes energéticas más limpias y renovables. Dicho viraje ha propiciado que los gobiernos y empresas del ramo recurran a otras fuentes.

Pero hablar de “consumo racional” implica una educación al respecto que incluye la sensibilización sobre el consumo y sus implicaciones ambientales, sociales y económicas. Todo esto en el marco de los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU.

La práctica de URE debe realizarse partiendo de la selección de la fuente energética, optimizando su producción, transformación, transporte, distribución y consumo e incluyendo su reutilización cuando sea posible. De esta manera se constituye en una medida efectiva para propiciar el crecimiento económico de una nación, el desarrollo social y por tanto el bienestar nacional, contribuyendo a la sostenibilidad del desarrollo colombiano (Minenergía, 2006).

Los proyectos URE que tienen relación con el uso final de la energía y con la eficiencia energética implican una alta componente de transferencia tecnológica, renovación y

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

modernización del parque de equipos de conversión a energía útil en todos los sectores, fortaleciéndose así el objetivo final del PEN (UPME, 2003).

Poe ejemplo en Colombia los principales consumos energéticos en el sector residencial ocurren en refrigeración, televisión, iluminación y cocción. En las áreas urbanas los energéticos más empleados son electricidad y gas natural, en el campo, la madera o leña continúa siendo un elemento vital para tales usos y que su aprovechamiento deteriora el medio ambiente, pues no existe una medición de dicho consumo (Minenergía, 2006).

#### **2.4 ¿Cómo hacer el uso racional de la energía?**

El uso de la energía que se utiliza cotidianamente para el desarrollo de la forma de vida de cada persona ya sea personal o profesional, proviene de recursos energéticos. En los hogares, en los sitios de trabajo, las calles y las industrias disponen diariamente de recursos energéticos para desarrollar sus actividades, para recrearse, entre otras. En pocas palabras, el uso de la energía se trata de un proceso de optimización en el consumo de energía eléctrica. En el cual se indica que no solo el mal uso de energía es el único ítem para modificar cuando de ahorro se trata, sino que existen otros factores, los cuales como lo son: el mal mantenimiento, la mala administración de la energía, entre otros (UPME, 2003).

#### **2.5 Protocolo de KYOTO**

Según el Protocolo de KYOTO, Colombia se inscribe dentro del Convenio Marco de la ONU sobre el Cambio Climático. El protocolo pide a los países industrializados -excepto EE.UU., no participar- para reducir sus emisiones de gases que contribuyen al calentamiento del globo por debajo de los niveles de 1990 para el período 2008 – 2012. El protocolo permite que los participantes reduzcan las emisiones en sus países y/o beneficios, así como contabilizar el carbono absorbido por los llamados sumideros como los bosques o las tierras de cultivo. Se impondrán sanciones a aquellos países que no

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

cumplan sus objetivos. Además, el protocolo contiene compromiso nuevo para los países en desarrollo más allá de los alcanzados en la convención de la ONU sobre el clima, celebrada en 1992, ya que se acordó que los países industrializados, como emisores principales de los gases que causan el calentamiento del globo, deberían ser los primeros en adoptar medidas para controlar las emisiones (MADS, 2021).

## 2.6 Acuerdo de Paris

Este tratado, sobre cambio climático, entró en vigor en 2016. Busca disminuir los efectos del cambio climático y que los países adopten políticas, compromisos y acuerdos que permitan, entre otros, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en ciclos permanentes cada cinco años, esto con el objeto de ir adaptando acciones que tengan por objetivo disminuir el calentamiento global. Dicho acuerdo establece mecanismos y políticas internacionales de financiación de programas, por parte de países industrializados, que reduzcan las emisiones de CO<sub>2</sub>. Para el año 2024 los países que hacen parte de dicho acuerdo deben presentar un informe con los resultados en dicha materia (NU, 2015).

## 2.7 Proyectos de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL)

Unos de los proyectos basados en el protocolo de KYOTO es el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) que permite reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de manera eficiente en cuanto al costo. Este esquema de MDL ha sido creado por el Protocolo de KYOTO con el fin de un incentivo para que las empresas de los países industrializados inviertan en proyectos de reducción de emisiones y adecuados en países en vías de desarrollo. El Protocolo de KYOTO exige que todos los proyectos de MDL estén sujetos a la validación y verificación con certificación por parte de una entidad operativa, es decir, un organismo de verificación ajeno a la empresa (MADS, 2021).

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

Por su parte, el Acuerdo de París, se enmarca en los 17 objetivos de desarrollo sostenible del siglo y su apuesta es reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático manteniendo el aumento de la temperatura mundial en este siglo muy por debajo de los 2 grados centígrados (unfccc, s.a). Los proyectos encaminados al desarrollo limpio están enfocados en la adquisición e investigación tecnológica que permita renovar los sistemas de producción energética a nivel mundial que mitiguen y se adapten a formas alternativas para su producción.

## **2.8 Panorama energético nacional**

En el contexto energético nacional donde se describe la situación energética en tres aspectos: i) consumo de energéticos, ii) proyecciones de la demanda y iii) uso de energías renovables (UPME, 2016).

El aspecto que explora el uso de las energías renovables en Colombia, se puede ver como las técnicas que han avanzado y que su utilización se está realizando a gran escala, en Colombia, las experiencias en energías renovables no han sido muy exitosas, y teniendo en cuenta la actualidad del tema y su importancia, es una gran oportunidad para que, en busca de mejorar la Eficiencia Energética en Colombia, se incentive la incorporación de las energías renovables y el uso activo de medidas de ahorro energético en las edificaciones colombianas (MADS, 2021).

Por su parte, El Plan Energético Nacional 2020-2050, en su búsqueda de satisfacer la demanda energética bajo el panorama de cambio climático y la acuciosa necesidad de buscar formas de generación de energía más limpia, crea un nuevo paradigma que pueda responder a las necesidades actuales. Esto implica adoptar leyes y medidas para la transición energética y, poco a poco, depender menos de los recursos no renovables como el gas y el carbón. Para ello se plantean transformaciones en la movilidad, disminuir el

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

crecimiento demográfico, y la creación de políticas ambientales y económicas donde se inserten nuevas formas de generación de energía (MADS, 2021).

## 2.8 Problemática Colombiana

Los edificios de apartamentos constituyen en su conjunto un gran usuario de energía eléctrica y presentan grandes oportunidades para el ahorro de energía en sistemas de potencia e iluminación. Los sistemas de iluminación en los edificios constituyen una parte importante de consumo, tanto en la demanda como en el costo total de dicha energía. Los costos de operación de un edificio construido bajo ciertos criterios de eficiencia energética son sustancialmente menores a lo largo de la vida útil comparados con un edificio ineficiente (UPME, 2019).

En la actualidad se han visto como los energéticos han pasado de ser un factor marginal en su estructura de costos a constituirse en un eje importante en los mismos, a la vez que, la necesidad de lograr un mayor equilibrio entre economía y medio ambiente, han convertido al ahorro y uso eficiente de la energía en una herramienta fundamental para lograr este objetivo, con la tendencia a incorporar energéticos y tecnologías más limpias, a propiciar mejores usos de la energía sobre la Eficiencia Energética (UPME, 2019).

Los costos de la generación de energía, en el caso del petróleo, presenta un panorama de aumento a 101 US\$/barril en 2025, y a 137 US\$/barril en 2040 (UPME, 2019). Esto significa, que, a nivel de costos, el gas tiene una mayor favorabilidad pues sus precios no son tan altos. En cuanto al carbón, el precio se reduce a 95 US\$/Ton en 2025, pero vuelve aumentar en 2040 a 106 US\$/Ton (UPME, 2019).

- El sector de transporte es el 40 % del consumo energético en el país, para ello se plantea la “Ley de movilidad eléctrica” como medida sustentable.

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

- En el sector de la industria, que participa un 22% del consumo total, se plantea mejoras en la eficiencia y transición a tecnologías que utilicen bajas emisiones, aunque según las proyecciones, no se espera que el escenario pueda.
- El sector residencial, representa un 20% del consumo nacional, para su mitigación se plantea el uso tecnológico que permita hacer más eficiente dicho consumo sustituyendo los actuales, incluida la leña.

## 2.9 Marco legal

La Ley 697 de 2001 mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones:

**Artículo 1°.** Declárase 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, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales.

**Artículo 2°.** El Estado debe establecer las normas e infraestructura necesarias para el cabal cumplimiento de la presente ley, creando la estructura legal, técnica, económica y financiera necesaria para lograr el desarrollo de proyectos concretos, URE, a corto, mediano y largo plazo, económica y ambientalmente viables asegurando el desarrollo sostenible, al tiempo que generen la conciencia URE y el conocimiento y utilización de formas alternativas de energía.

## 2.10 Auditorias energéticas en edificios

Las auditorias energéticas en edificaciones industriales y residenciales son una herramienta fundamental que permite evaluar si la energía consumida por una edificación está siendo utilizada de forma eficiente (energy, 2019). Para esto, se utilizan diferentes tipos de auditorías. A continuación, se mencionan algunas de estas:

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

**Auditoría Nivel 1:** Auditoría preliminar en la cual se realiza un análisis cualitativo de la institución a ser auditada. Se basa en la comparación de los consumos históricos de energía y, generalmente, se identifican medidas de bajo costo.

**Auditoría Nivel 2:** Se trata de una auditoría detallada que incluye el establecimiento de una línea base (mediciones), sobre la cual se efectúan las recomendaciones y se calcula el ahorro de energía y el ahorro económico. Las recomendaciones tienen alto potencial de ahorro.

**Auditoría Nivel 3:** Auditoría especial, basada en un enfoque de desarrollo de proyectos y minimización de riesgos que incluye, principalmente: el costo real del proyecto, el desarrollo de las medidas a nivel de ingeniería preliminar, medición del consumo energético por hora, análisis económico financiero.

**Auditoría energética 4:** Estudio sobre el estado de las instalaciones, con las correspondientes propuestas de mejoras orientadas al ahorro de energía, incluyendo un estudio económico de las mismas e incluso a proponer importantes modificaciones en dicho proceso (cambio en la tecnología del proceso).

**Auditoría Energética dinámica y continua:** Es la que se realiza de modo continuo.

Durante la realización de dichas auditorias se pueden evidencia diferentes actividades, entre las cuales se destacan (Vasquez & Silva, 2022):

1. Recopilación de información preliminar
2. Recibos de facturación eléctrica de los últimos 6 o 12 meses
3. Caracterización de equipos eléctricos o del sistema de consumo eléctrico que se tenga.
4. Régimen de actividad de la empresa o edificio y horas de funcionamiento.
5. Análisis del sistema: eléctrico, iluminación, refrigeración, áreas comunes y ascensores o los que se tenga.
6. Revisión de datos preliminares.
7. Identificación de puntos de medición y de mayor consumo.
8. Monitoreo en puntos especificados.

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

9. Interpretación de datos obtenidos.
10. Identificación de problemas y oportunidades de mejora.
11. Planteamiento de soluciones.
12. Evaluación técnica económica de soluciones.
13. Implementación de soluciones.
14. Elaboración del informe basado en los problemas de mayor impacto energético y óptimas oportunidades de mejora.
15. Implementación, monitoreo y seguimiento de soluciones.

### **2.11 Normativa y políticas de la auditoría NTC ISO 50001**

La ISO es la organización internacional de normalización, encargados de la elaboración de las Normas Internacionales donde se lleva a cabo, la construcción de diversos reglamentos a través de los comités técnicos de la ISO, con el fin de estandarizar parámetros generales y/o detallados de normativa a nivel global (NQA, 2018).

Esta norma internacional se base en una metodología de mejora continua, lo que se conoce como ciclo (PHVA): Planificar, Hacer, Verificar, Actuar, en un contexto energético puede resumirse (Cardona, 2017):

**PLANIFICAR:** Llevar a cabo un diagnóstico energético para establecer posibles puntos críticos de las líneas, revisión del consumo o datos históricos de la demanda, definir los objetivos y las metas para posibles toma de decisiones, estableciendo planes de mejora que tengan como finalidad garantizar el buen desempeño energético en cuanto a las políticas de la organización y/o gubernamentales.

**HACER:** Ejecutar planes de acción garantizando los objetivos establecidos.

**VERIFICAR:** El seguimiento a los planes ejecutados, garantiza el buen desempeño de las intervenciones realizadas, el control de las operaciones, consumos, infraestructura, permitiendo cumplir con las políticas establecidas e informando sobre los resultados.

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

**ACTUAR:** La toma decisiones en pro de la mejora continua, esta última fase permite dar cumplimiento al ciclo e identificar futuras intervenciones en el sistema de gestión SG.

En este sentido los objetivos que tiene la norma ISO 50001 son los siguientes:

- Inducir al mejor empleo de los activos que consumen energía.
- Facilitar la comunicación sobre la gestión de los recursos energéticos.
- Reforzar, estimular y promover las buenas prácticas en la utilización de la energía.
- Dar prioridad a la aplicabilidad de nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia energética.
- Establecer los lineamientos para la aplicabilidad de prácticas de eficiencia energética en todos los eslabones de la cadena de suministro.
- Promover la aplicabilidad de los sistemas de gestión energética para reducir la producción y el impacto de los gases de efecto invernadero.
- Trabajar paralelamente con otros sistemas de gestión.

Aplicar la norma ISO 50001 mediante la implementación de sistemas de gestión energética, permitirá:

- Proponer y desarrollar políticas para el uso racional, adecuado y eficiente de la energía.
- Determinar metas periódicas las cuales den cumplimiento a las políticas propuestas.
- Identificar los puntos en los que se realiza un uso significativo de la energía, tener medición de ellos y poder controlar los consumos.
- Llevar un control de las políticas implementadas para determinar si se cumple o no con los objetivos.
- Realimentar constantemente el sistema de gestión energética con el fin de perfeccionarlo.

## 2.12 Casos exitosos de auditorías energéticas en edificaciones

En Colombia no es muy común que se realicen este tipo de trabajos debido a lo permisivo de las leyes colombianas y lo nuevo de la normativa 50001 que solamente se estipulo hace 4 años. Pero en otros países si:

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

**Caso 1:** Uno de los casos exitosos fue la auditoria energética realizada al edificio SEZGO ubicado en la ciudad de México, cuyo propósito era dar cumplimiento con la certificación LEED y la NOM-020-ENER-2011. Para lo cual se realizó una lista de chequeo o checklist, donde se calculó el consumo eléctrico utilizado para iluminación como para refrigeración y aire acondicionado, además del consumo energético general de los sistemas que conforman el edificio. En la actualidad la empresa SEZGO cuenta con 10 edificios, los cuales poseen una carga térmica promedio de 14705.7kW/h destinada a la refrigeración o confort de sus trabajadores. Donde se pudo concluir que existen zonas con exceso de aires acondicionados, así mismo el nivel de iluminación no es el adecuado y presentan una distribución inadecuada de luminarias, Por ejemplo: baños y oficinas de RH (zona con exceso) y oficinas generales y archivo (zona con déficit).

Después de realizar el análisis energético, se concluyó que las cargas térmicas se encuentran sobre dimensionadas en relación con las condiciones climáticas del lugar y que el nivel de iluminación del edificio no es el adecuado. Por tal motivo, se planteó la eliminación de algunas luminarias como la remoción de algunos sistemas de aire acondicionado, todo esto basado en la normativa generando una reducción del consumo energético de 14.7 MW a 13.44 MW el cual se ven beneficiados en un 9% en el pago de facturas de consumo energético (Almendra, Miranda, & Peralta, 2014).

**Caso 2:** El trabajo realizado por Martínez y Álvarez muestra las diferentes actividades efectuadas en la auditoria energética realizada al edificio C de la facultad de ingeniería de la Universidad de Costa Rica, a la cual se le realizó un análisis energético tipo II y se utilizó un equipo marca Fluke 435 donde se encontró un consumo semanal de 2027,60 kW/h en periodos de baja ocupación y de 3161 kW/h en periodos de alta ocupación. Así mismo se identificó que el consumo diario máximo para los mismos periodos de 436,42 kW/h y de 576,67 kW/h. Lo cual fue evaluado financieramente y se determinó un paquete de opciones de mejora con un potencia de ahorro anual del 43,88 %, equivalente a 65434,47 kW/h o en moneda local de 1'668 886,25 pesos costarricenses, implicando una inversión de 2'728 474 pesos costarricenses, para un retorno de la inversión de máximo 2 años. En

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

este también, se puede identificar que el desperdicio energético se encontraba en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado como en el sistema de iluminación de la instalación (Martínez & Álvarez, 2021).

### 2.13 Legislación colombiana

La Ley 697 de 2001 mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente (URE) de la energía establece el marco jurídico general para el desarrollo de todas las normas posteriores en eficiencia energética en Colombia (Mejía, 2014). Esta Ley creó el Programa de Uso Racional y Eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales (PROURE), el cual fue reglamentado por el Decreto 3683 de 2003 y cuyo objeto es "aplicar gradualmente programas para que toda la cadena energética este cumpliendo permanentemente con los niveles mínimos de eficiencia energética..."

Solo hasta el 2010 se adoptó el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el PROURE, y por primera vez, se definieron objetivos específicos, subprogramas estratégicos y prioritarios, y metas del ahorro. El potencial de ahorro de energía eléctrica fue estimado por la UPME y las metas fueron adoptadas con base a reducciones de consumos anuales a partir de 2010 (Mejía, 2014), ver Tabla 1.

Tabla 1. Potenciales y metas al 2015.

| SECTOR                               | ELECTRICIDAD<br>(GWh/año) |        | OTROS ENERGETICOS (Tcal/año) |        |
|--------------------------------------|---------------------------|--------|------------------------------|--------|
|                                      | Potencial %               | Meta % | Potencial %                  | Meta % |
| Nacional                             | 20,3                      | 14,75  | N/D                          | 2,1    |
| Residencial                          | 10,6                      | 8,66   | N/D                          | 0,55   |
| Industrial                           | 5,3                       | 3,43   | N/D                          | 0,25   |
| Comercial,<br>publico y<br>servicios | 4,6                       | 2,66   | N/D                          | N/D    |
| Transporte                           | N/D                       | N/D    | 0,44 *                       | 0,33   |
|                                      |                           |        | 1,06 **                      | 0,96   |

Fuente: (Mejía, 2014).

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

Derivado de la Ley de URE, se han desarrollado los reglamentos técnicos para instalaciones eléctricas (RETIE), de iluminación y alumbrado público (RETILAP) y se ha proyectado el reglamento de etiquetado (RETIQ). Como complemento a la legislación, se han otorgado incentivos fiscales para el desarrollo de ciertos proyectos de eficiencia energética. Sin embargo, en otras áreas se ha avanzado poco (MINMINA, 2010):

- Sobre cogeneración existe un marco legal de perfeccionamiento más bien reciente, pero su desarrollo ha sido casi nulo tal vez por las restricciones para la venta de la energía excedente.
- Los sectores y áreas donde no existe en la actualidad legislación son: edificios, etiquetado, requerimientos sobre desempeño energético de electrodomésticos y equipos, transporte e industria.
- En Colombia tampoco se cuenta con una agencia nacional de eficiencia energética capaz de evaluar, coordinar y hacer cumplir las políticas.

El pasado 13 de mayo de 2014, el Gobierno Nacional expidió la Ley 1715 por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional (MINMINA, 2010).

El Capítulo V de esta Ley reafirma la necesidad de desarrollar el PROURE a través de:

- Planes de acción indicativos.
- Reglamentaciones técnicas.
- Sistemas de etiquetado e información al consumidor.

Por último, ordena que "para el adecuado seguimiento y evaluación del cumplimiento de los objetivos" se realizará, cada cuatro años, una evaluación de "los planes y programas de ahorro para la gestión eficiente de la energía". Esta Ley espera su reglamentación, desarrollo e implementación.

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

## 2.14 Auditorias energéticas de iluminación

Para el diseño de sistemas de iluminación se debe tener en consideración lo estipulado por el RETILAP donde se estipula lo siguiente (RETILAP, 2021):

En todos los proyectos de iluminación, se deben elegir las luminarias y fuentes luminosas teniendo en cuenta, la eficacia lumínica, flujo luminoso, características fotométricas, reproducción cromática, temperatura del color de la fuente, duración y vida útil de la fuente, tipo y características de la luminaria, todo esto acorde con las actividades y objetivos de uso de los espacios a iluminar; así como de consideraciones arquitectónicas, ambientales y económicas.

Los criterios que se deben usar para identificar los tipos de luminarias y que a su vez sirven como punto de evaluación son (RETILAP, 2021):

- Su fotometría
- Su uso
- El tipo de fuente de luz o bombilla
- Las dimensiones y forma de la luminaria
- El tipo de montaje o instalación requerido
- Su cerramiento o índice de protección IP
- El tipo de superficie reflectora de su conjunto óptico

Ahora para el diseño de un sistema de iluminación se debe considerar (RETILAP, 2021):

El diseño detallado es obligatorio para, alumbrado público, iluminación industrial, iluminación comercial con espacios de mayores a 500 m<sup>2</sup> y en general en los lugares donde se tengan más de 10 puestos de trabajo, iluminación de salones donde se imparta enseñanza, o lugares con alta concentración de personas en una mismo salón (50 o más), durante periodos mayores a dos horas. En función del perfil definido en la fase de diseño básico, se deben resolver los aspectos específicos del proyecto, tales como:

- a) La selección de las luminarias

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

- b) El diseño geométrico y sistemas de montaje
- c) Los sistemas de alimentación, comando y control eléctricos
- d) La instalación del alumbrado de emergencia y seguridad, cuando se requiera.
- e) Análisis económico y presupuesto del proyecto

En esta etapa el diseñador debe presentar mínimo la siguiente documentación técnica:

- Planos de montaje y distribución de luminarias
- Memorias descriptivas y de cálculos fotométricos
- Cálculos eléctricos
- Una propuesta de esquema funcional de la instalación para propiciar el uso racional de la energía
- El esquema y programa de mantenimiento.
- Las especificaciones de los equipos recomendados. En lo posible el diseño debe considerar varias alternativas de iluminación.

Otras recomendaciones (RETILAP, 2021):

- a. Aprovechar al máximo la luz natural.
- b. Usar Colores claros en paredes y techos permite aprovechar al máximo la luz natural y reducir el nivel de iluminación artificial.
- c. No dejar encendidas fuentes luminosas que no se estén utilizando.
- d. Limpiar periódicamente las bombillas y luminarias permite aumentar la luminosidad sin aumentar la potencia.
- e. Adaptar la iluminación a las necesidades, prefiriendo la iluminación localizada, además de ahorrar energía permite conseguir ambientes más confortables.
- f. Colocar reguladores de intensidad luminosa de tipo electrónico.
- g. Colocar detectores de presencia o interruptores temporizados en zonas comunes (vestíbulos, garajes, etc.), de forma que las fuentes luminosas se apaguen y enciendan automáticamente.

### **2.15 Instrumentos utilizados en auditorias energéticas**

En la mayoría de las auditorías energéticas como en otros procesos de caracterización energética de un edificio, se han de realizar una gran cantidad de mediciones, las cuales permiten definir los indicadores de desempeño energético como los puntos susceptibles de mejora.

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

Por ello, y para llevar a cabo todas estas mediciones, **se requiere de una amplia gama de instrumentos o de un equipo de mida varias variables** simultáneamente. A continuación, se ilustran algunos de ellos permitiendo realizar un buen diagnóstico energético de cualquier inmueble (Iturbe, 2022):

**2.15.1 Analizador de redes eléctricas.** Este tipo de equipos permiten realizar mediciones de diferentes parámetros de las redes eléctricas de baja tensión. A través de sus pinzas amperimétricas y volumétricas, se puede verificar el correcto funcionamiento de la instalación eléctrica y el cableado, ya sea en ámbitos de potencia, conductividad o rendimiento, ver Figura 1.



Figura 1. Medidor de red marca Fluke.  
Fuente: (FLUKE, 2022).

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

**2.15.2 Analizador de gases de combustión.** Los analizadores de gases de combustión son equipos que se utilizan para medir los gases salientes de los diferentes procesos industriales o de máquinas. Estos permiten identificar y controlar las concentraciones de estos gases para su emisión al medio ambiente, ver Figura 2.



Figura 2. Medidor de Gases de combustión.  
Fuente: (DHgate, 2022).

**2.15.3 Luxómetro.** Son utilizados para medir las condiciones de iluminación de una determinada superficie. Además, tienen captadores de luz muy sensibles tanto a la intensidad de la luz como a su ángulo de incidencia, ver Figura 3.



Figura 3. Fluxómetro marca EXTECH.  
Fuente: (GreenForest, 2022).

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

**2.15.4 Cámara Termográfica.** Las cámaras termográficas son equipos que ayudan a detectar anomalías en la construcción de un edificio, ayudando a detectar por ejemplo puentes térmicos o anomalías en la permeabilidad de los cerramientos. La forma de detectarlos se basa en las imágenes térmicas, en las que se pueden ver puntos más fríos del edificio, pudiendo detectar los puntos de la envolvente que precisan de refuerzo o remodelación. Por otro lado, estos equipos también se pueden utilizar para detectar fallos o fugas en instalaciones térmicas complejas o en motores eléctricos, ver Figura 4.



Figura 4. Cámara termográfica.  
Fuente: (Saterhonatherm, 2020).

**2.15.5 Medidores de consumos.** En las viviendas y edificaciones se debe prestar atención a medidores de consumos que la propia vivienda puede ya tener integrados. Entre ellos destacan los contadores de agua, de gas, de gasóleo, eléctricos o de energía térmica. Todos los datos recogidos por estos contadores pueden ser de gran importancia a la hora de caracterizar energéticamente un edificio o una vivienda, por lo que siempre es importante acceder a dicha información, ver Figura 5.



Figura 5. Medidor de consumo eléctrico.

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

Fuente: (SINOTIMER, 2021).

### 3. METODOLOGÍA

---

La metodología está compuesta por varias actividades: La primera actividad consistió en realizar una búsqueda bibliográfica sobre todo lo relacionado con auditorías energéticas, eficiencia y reglamentación **en edificaciones para lo cual se utilizaron palabras claves como: eficiencia energética, auditorias en edificaciones, normativa según la ISO.** Luego con la información encontrada, se procedió a crear el marco teórico y su correspondiente estado del arte, sentando las bases teóricas del proyecto.

Posteriormente, se procedió a seleccionar la edificación a la cual, se le realizaría la auditoria energética para este caso el edificio Oceanía debido al aumento considerable de sus consumos energéticos a través de los 12 años de funcionamiento. Luego de tener identificada la edificación, se programó una visita con el fin de realizar un diagnóstico energético inicial e identificar los diferentes focos de consumo; además de las tecnologías

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

que el edificio posee en la actualidad, lo cual permitirá posteriormente proponer mejoras a las fallas visualizadas.

Durante esta visita se realizó un análisis de los consumos energéticos de cada uno de los focos identificados anteriormente mediante la utilización de un medidor de red marca Fluke 435-2, lo cual permitió definir los focos de mayor consumo o críticos, los cuales a su vez serán los indicados para proponer posible mejoras.

También durante la visita de se pudo identificar y evaluar los equipos o tecnologías que posee el edificio actualmente y se procedió a realizar una búsqueda en el mercado nacional de tecnologías más actuales que se pueden implementar en la edificación y mejorar su eficiencia, pero con un bajo costo para no incrementar sus gastos.

Otra de las actividades consistió en tomar los datos obtenidos durante el análisis energético realizado a la edificación organizarlos y realizar una comparación entre el consumo actual y los consumos anteriores registrados en la factura de servicios entregada por el operador de energía, lo cual permitió obtener el consumo promedio mensual, el cual será posteriormente comparado con el obtenido según las mejorar planteadas.

Posteriormente, se planteó una lluvia de ideas para encontrar las diferente alternativas disponibles para reducir el consumo de la edificación y aumentar su eficiencia energética seleccionando la de más bajo costo y fácil implementación. Por último, se realizaron las conclusiones respectivas de cada uno de los objetivos planteados en el trabajo, las cuales fueron obtenidas durante las diferentes actividades realizadas, cuales servirán a su vez como punto de partida para proyectos futuros de eficiencia energética a nivel de edificaciones residenciales.

|   |                                   |         |            |
|---|-----------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL<br>TRABAJO DE GRADO | Código  | FDE 089    |
|   |                                   | Versión | 04         |
|   |                                   | Fecha   | 24-02-2020 |

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

La elaboración del presente trabajo comprende el análisis energético realizado a una edificación residencial construida bajo ciertos criterios de eficiencia energética adoptados e implementados hace 12 años (MINMINA, 2010), que con el pasar de los años los convierte en ineficientes y requieren de la implementación de nuevas tecnologías o mejoras en sus diseños para su repotenciación lo cual permitirá dar cumplimiento a lo establecido en la normas actuales con respecto al uso eficiente de la energía.

El propósito principal de toda auditoria es evaluar el estado actual de la edificación y proponer mejoras que reduzca el consumo de energético como su aprovechamiento máximo pero el principal inconvenientes es que algunas de estas mejoras se encuentran asociadas con el contexto macroeconómico del país, otras con la poca tecnología que se posee la instalación y, por último, con la falta de inversión en los proyectos de uso racional y eficiente de la energía. Pero la gran mayoría están relacionadas con la poca información que posee la comunidad acerca de esta problemática (UPME, 2003).

Para dar cumplimiento con los establecido en la Norma ISO 50001, el uso de nuevas tecnologías juega un papel **importante a la hora de dar cumplimiento a lo establecido. Esta norma es aplicada a organizaciones de cualquier tamaño y proporciona requisitos para establecer, gestionar y mejorar el consumo y la eficiencia energética.** A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante el análisis energético realizado al edificio Océano ubicado en el barrio Obrero calle 40 # 50-199 de la ciudad de Medellín, el cual fue seleccionado debido a **sus 12 años** de funcionamiento y al aumento considerable del consumo energético mensual de la instalación, **con el pasar de los años (ISO, 2018).**

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

#### 4.1 Informe de auditoría energética realizada al edificio océano

La presente auditoria se ha realizado durante el **mes de abril** del año 2022, en la cual se analizó en detalle los consumos energéticos del edificio Océano, **permitiendo definir su estado actual e identificar las posibilidades de ahorro energético y económico aplicable en sus instalaciones**, ver Figura 6.

**El estudio realizado se enfocó principalmente en el consumo energético de las siguientes áreas:**

- Piso 1-2 Locales comerciales (Zonas comunes)
- Piso 3-6 Conjunto de apartamentos.



Figura 6. Vista frontal de la fachada principal del edificio Océano.  
Fuente: Elaboración propia.

Esta auditoría fue realizada con ayuda de la empresa Ingenieros Medellín LTDA, la cual posee sedes en diferentes partes de Colombia, ver Tabla 2.

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

Tabla 2. Ubicaciones de los puntos de atención de la empresa Ingenieros Medellín LTDA. en Colombia.

| <b>CARTAGENA</b>   | <b>ATLÁNTICO</b>   | <b>BOGOTÁ</b>  | <b>MEDELLÍN</b>  |
|--|--|--|--|
| Pilotegi, 2 – Oficina<br>007 20018 San<br>Sebastián<br>Tel: 301 313 4119 | Parque Tec. de Bizkaia<br>– Edificio 101 48170<br>Zamudio<br>Tel: 0354431708 | Pedro Asúa, 69-73<br>01008 Vitoria –<br>Gasteiz<br>Tel: 0314591232 | Avda. 33 # 65-32<br>31010 Barañain<br>Tel: 034 4325789 |

Fuente: [www.ingdemedellin.com.co](http://www.ingdemedellin.com.co)

## 4.2 Descripción del edificio

El Edificio Océano, fue construido en el año 2010, **este se encuentra ubicado en el barrio Obrero calle 40 # 50-199 del municipio de Bello, Antioquia.** Su actividad se encuentra clasificada como comercio y vivienda.

**4.2.1 Descripción física de las zonas.** El edificio está compuesto de 6 pisos, las cuales están divididos en:

### **Piso 1 y Piso 2: Zona de comercio**

Esta área está destinada para labores de comercio, tales como:

#### **Piso 1. Taller de mecánica**

El taller consta de 5 motores eléctricos de eficiencia estándar y 5 luminarias T12, sus dimensiones son: Altura = 5m, Ancho = 6m, Largo = 11m, el taller y sus motores funcionan durante las 24 horas del día en diferentes horarios según las actividades que se tengan pendientes, ver Figura 8.

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |



Figura 7. Zona del Taller de mecánica, piso 1.  
Fuente: Elaboración propia.

## Piso 2. Salón de dibujo

El área del salón de dibujo posee una capacidad para 20 estudiantes máximo. Sus dimensiones son: Altura = 2,3 m, Ancho = 4m y Largo = 18 m. Contiene 5 luminarias de tecnología T12 de 39 W.

Este salón de dibujo está abierto al público en un horario de 9 am a 12 am y de 2 pm a 5 pm.

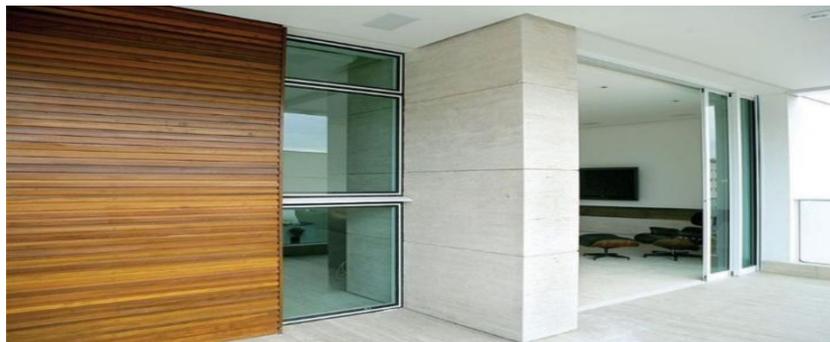


Figura 8. Salón de dibujo, piso 2.  
Fuente: Elaboración propia.

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

### **Piso 3 a 6: Zona residencial**

El diseño que posee cada piso de la zona residencial es tipo espejo, es decir cada nivel de apartamentos contiene la misma distribución de espacios.

- Cocina
- Sala-comedor
- Alcoba 1
- Alcoba 2
- Alcoba 3
- Baño Alcoba 1
- Baño social
- Lavadero
- Balcón



Figura 9. Vista interna de un apartamento del edificio océano, piso 3,4,5 y 6.  
Fuente: Elaboración propia.

|  |   |         |            |
|--|---|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|  |   | Versión | 04         |
|  |   | Fecha   | 24-02-2020 |

### 4.3 Consumo de energía y su distribución

Debido a la planificación estipulada para la realización de la auditoria, se les solicito a los arrendatarios que durante el mes de **abril** se proporcionara la información real sobre el consumo energético que poseen, además se constató la información con la factura de los servicios públicos permitiendo verificar que dichos valores obtenidos se acercan a los consumos que se tienen en la realidad, de modo que de esta manera se puedan entrar a analizar cuáles son las cargas de mayor influencia en todo el edificio, ver Tabla 3.

Tabla 3. Consumos energéticos entregada por sus propietarios.

| Piso                               | Tipo de consumo   | Cantidad | Potencia Instalada(W) | kWh/Mes | kWh/Mes total |
|------------------------------------|-------------------|----------|-----------------------|---------|---------------|
| <b>Taller de mecánica (Piso 1)</b> | Iluminación       | 5        | 375                   | 270     | 618           |
|                                    | Motores           | 5        | 580                   | 348     |               |
| <b>Salón de dibujo (Piso 2)</b>    | Iluminación       | 5        | 480                   | 86,4    | 158,4         |
|                                    | Electrodomésticos | 2        | 400                   | 72      |               |
| <b>Zona Residencial (Piso 3)</b>   | Iluminación       | 16       | 398,8                 | 22,01   | 336,31        |
|                                    | Electrodomésticos | 18       | 6338                  | 314,3   |               |
| <b>Zona Residencial (Piso 4)</b>   | Iluminación       | 6        | 54                    | 28,83   | 108,045       |
|                                    | Electrodomésticos | 12       | 4197                  | 79,215  |               |
| <b>Zona Residencial (Piso 5)</b>   | Iluminación       | 5        | 35                    | 5,25    | 218,02        |
|                                    | Electrodomésticos | 12       | 4717                  | 212,77  |               |
| <b>Zona Residencial (Piso 6)</b>   | Iluminación       | 8        | 114                   | 17,1    | 723,8         |
|                                    | Electrodomésticos | 16       | 7067                  | 706,7   |               |

Fuente: Elaboración propia.

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

En la Tabla 3, se puede observar el consumo de cada piso mostrando su respectiva cantidad de iluminarias y electrodomésticos, además de su consumo al final del mes, con lo cual se pueden evidenciar los datos de una forma práctica. Permitiendo partir de ellos para hacer cualquier tipo de ahorro o hacer cualquier tipo de diagnóstico.

#### 4.4 Análisis económico

El edificio Océano se encuentra ubicado en un sector de estrato socioeconómico tipo 4, el cual tiene un valor asignado del kWh de \$ 567.34. Partiendo de este valor y de los datos entregados por sus propietarios, se calculó el costo para cada nivel del edificio, ver Tabla 4.

Tabla 4. Valor del consumo energético identificado.

| <b>Piso</b>                            | <b>kWh/Me<br/>s total</b> | <b>Precio<br/>kWh</b> | <b>Valor<br/>por<br/>pagar</b> |
|--|---------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| <b>Taller de mecánica<br/>(Piso 1)</b> | 618                       |                       | \$ 350.628                     |
| <b>Salón de dibujo<br/>(Piso 2)</b>    | 158,4                     |                       | \$ 89.870                      |
| <b>Zona Residencial<br/>(Piso 3)</b>   | 336,31                    | \$ 567,36             | \$ 190.809                     |
| <b>Zona Residencial<br/>(Piso 4)</b>   | 108,045                   |                       | \$ 61.300                      |
| <b>Zona Residencial<br/>(Piso 5)</b>   | 218,02                    |                       | \$ 123.696                     |

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

|                                      |       |            |
|--------------------------------------|-------|------------|
| <b>Zona Residencial<br/>(Piso 6)</b> | 723,8 | \$ 410.655 |
|--------------------------------------|-------|------------|

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4, se puede observar que el apartamento de mayor consumo es el piso 6, debido a que cuenta con cierto tipo de lujos y con mayor cantidad de electrodomésticos que no cuentan los demás apartamentos, por ejemplo: yacusi y, además, su propietario cuenta con una motocicleta eléctrica la cual se debe cargar la batería presentando el mayor consumo.

#### 4.5 Posibles mejoras a realizar

Después de haber realizado el análisis energético en la edificación, se pudo identificar que las sistemas que presentan mayor consumo energético son iluminación y motores eléctricos, ver Tabla 3 y 4. Por tal motivo, se piensa realizar el cambio de luminaria LED, sustitución de los motores eléctricos actuales por otros de más alta eficiencia e instalación de un banco de capacitores para el control de potencia reactiva.

**4.5.1 Iluminarías LED.** Por ejemplo, una de las partes más críticas en cuanto a iluminación es el salón de dibujo, el cual cuenta con con 5 luminarias 2xT12x39W, ver Tabla 5.

Tabla 5. Características de la iluminación del salón de dibujo

|                              |                       |
|------------------------------|-----------------------|
| Potencia Instalada           | 480 W                 |
| Iluminancia Media Horizontal | 160 Lux               |
| Eficiencia Energética        | 6,67 W/m <sup>2</sup> |
| Tecnología Existente         | T12                   |

Fuente: Elaboración Propia.

La situación actual del salón de dibujo es crítica puesto que posee una iluminación deficiente, creando en los clientes problemas de visibilidad que pueden culminar en accidentes. En este tipo de área se debe asegurar confort visual para concluir con éxito las

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

labores de dibujo. Se recomienda realizar un cambio en la iluminación, ya que no se cumple con el nivel de iluminación mínimo requerido para un salón de dibujo determinado en el RETILAP, el cual es de 500 lux (RETILAP, 2021).

Por tal motivo, se recomienda realizar un cambio de tecnología de iluminación. Se plantea realizar un cambio de tecnología en la iluminación del salón de dibujo para mejorar las presentes anomalías, entre las opciones se encuentran: Tecnología T5, T8, T12 y LED. En el anteproyecto se estudió la implementación de cada tecnología en el salón de dibujo y de allí se puede extraer la siguiente información, ver Tabla 6.

Tabla 6. Diferentes tipos de tecnologías disponibles y Lúmenes emitidos.

| <b>Tecnología</b>      | <b>T5</b> | <b>T8</b> | <b>T12</b> | <b>LED</b> |
|------------------------|-----------|-----------|------------|------------|
| Potencia instalada (W) | 897       | 1290      | 1728       | 458        |
| Em (Lux)               | 597       | 601       | 537        | 520        |
| Cantidad de luminarias | 15        | 15        | 18         | 12         |

Fuente: Elaboración Propia.

De este análisis se puede deducir que la mejor opción para realizar el cambio es la tecnología LED, debido a que posee la potencia instalada más baja, esto conllevará a un gran ahorro tanto económico como energético y a su vez cumple con la normatividad exigida por el RETILAP.

Además, se realizó un análisis de eficiencia energética, la cual se determina mediante el Índice de Eficiencia Energética (IEE), su unidad de medida son los W/m<sup>2</sup> por cada 100 lux. Este índice permite evaluar el proyecto energéticamente, cuanto más eficiente sea la tecnología menor será el índice (IEE), ver Tabla 7.

Tabla 7. Eficiencia energética vs tecnología.

| <b>Tecnología</b>                              | <b>T5</b> | <b>T8</b> | <b>T12</b> | <b>LED</b> |
|--|-----------|-----------|------------|------------|
| <b>Eficiencia energética (W/m<sup>2</sup>)</b> | 12,46     | 17,92     | 24         | 7,96       |

Fuente: Elaboración Propia.

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

Según el análisis realizado visualizado en la Tabla 7, la tecnología LED es la alternativa más favorable a usar ya que su índice es el más bajo, por lo tanto, es la más eficiente.

Otro de los análisis realizados fue uno de ahorro energético y económico, el cual tomó como base la información brindada por personal que labora en edificio y la obtenida durante la auditoria. El salón de dibujo tiene un consumo diario de energía de 6 h, trabaja 22 días al mes y el precio establecido del kWh es de \$ 350.

Tabla 8. análisis de ahorro energético y económico.

| TECNOLOGÍA | ENERGÍA CONSUMIDA |           | COSTO POR MES |
|------------|-------------------|-----------|---------------|
|            | DIA (kWh)         | MES (kWh) |               |
| <b>T5</b>  | 5,382             | 118,404   | \$ 41.441     |
| <b>T8</b>  | 7,74              | 170,28    | \$ 59.598     |
| <b>T12</b> | 10,368            | 228,096   | \$ 79.834     |
| <b>LED</b> | 2,748             | 60,456    | \$ 21.160     |

Fuente: Elaboración Propia.

Según el análisis realizado en la Tabla 8, se puede observar que la tecnología LED, es la opción que menos consume energía, asimismo es la que posee un menor costo que se verá reflejado en la factura de la energía.

Por último, se realizó un estudio de retorno de la inversión o rentabilidad financiera, donde Uno de los factores más importantes para la toma de decisiones es deducir el costo de inversión y el tiempo de recuperación, ver Tabla 9.

Tabla 9. Costo total y unitario de las tecnologías disponibles.

| TECNOLOGÍA | COSTO UNITARIO (\$) | CANTIDAD | COSTO TOTAL (\$) |
|------------|---------------------|----------|------------------|
| <b>T5</b>  | 35.000              | 15       | 525.000          |
| <b>T8</b>  | 15.000              | 15       | 225.000          |
| <b>T12</b> | 15.500,00           | 18       | 279.000          |
| <b>LED</b> | 12.500,00           | 15       | 187.500          |

Fuente: Elaboración propia.

Se puede evidenciar que: La tecnología LED, es la opción que posee un menor costo de

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

inversión de instalación, por lo tanto, la hace rentable, con un gran beneficio/costo. Pero es de gran importancia reconocer factores importantes en el momento de realizar el cambio de luminarias para este salón de dibujo, se debe de tener claro algunas especificaciones técnicas como lo es el costo de las luminarias, la vida útil expresada en horas, los lúmenes y la potencia que consumirán dichas luminarias; tanto por parte de las luminarias que están instaladas actualmente como las luminarias que se dan de sugerencia, ver Tabla 10.

Tabla 10. Costos vs vida útil de las luminarias.

| Iluminaria TIPO T12 ( actuales) |                 |              |         |
|---------------------------------|-----------------|--------------|---------|
| Costo luminaria                 | Horas vida útil | Potencia (W) | Lúmenes |
| \$ 279000                       | 20000           | 1728         | 4500    |
| Iluminaria Tipo LED (sugerida)  |                 |              |         |
| Costo luminaria                 | Horas vida útil | Potencia (W) | Lúmenes |
| \$ 187500                       | 50000           | 458          | 3674    |

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar en las Tabla 10, se tiene una mejoría empezando por el costo que tienen las luminarias (siendo la de menor costo la tipo LED), se tiene una gran mejoría en la vida útil, pues las luminarias que se encuentran instaladas actualmente cuentan con muy poco tiempo de uso, siendo las luminarias tipo LED de una mayor durabilidad en el tiempo de uso.

Partiendo de lo antes mencionado, el costo de la energía por hora (kWh) se encuentra en \$ 350 por lo cual, al realizar los respectivos cálculos de energía consumida, costo de energía y ahorro, se puede visualizar lo siguiente:

Tabla 11. Energía consumida, costo y ahorro de las luminarias.

| VARIABLES                    | T12    | LED   |
|------------------------------|--------|-------|
| Energía consumida diaria kWh | 10,368 | 2,784 |

|  |   |         |            |
|--|---|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|  |   | Versión | 04         |
|  |   | Fecha   | 24-02-2020 |

|                                  |            |            |
|----------------------------------|------------|------------|
| Energía consumida mes kWh        | 228,096    | 60,456     |
| Energía consumida año kWh        | 2737,152   | 725,472    |
| Costo de energía diaria (\$/kWh) | \$ 3.629   | \$ 9,62    |
| Costo de energía mes (\$/kWh)    | \$ 79.834  | \$ 21,160  |
| Costo de energía año (\$/kWh)    | \$ 958.003 | \$ 253,915 |
| Ahorro diario (\$)               | \$ 2.667   | \$ 2,667   |
| Ahorro mensual (\$)              | \$ 58.674  | \$ 58,674  |
| Ahorro anual (\$)                | \$ 704.088 | \$ 704,088 |

Fuente: Elaboración propia.

Se nota una gran ahorro energético al comparar las tecnologías (instaladas T12; sugeridas LED) un ahorro que se encuentra en 7 kWh diarios, para lo cual da un ahorro en costos de \$ 2,667 diarios, representando anualmente un ahorro de \$ 704,088. Ahora el retorno de la inversión será en 70,3 días o 2,34 meses o 0,1926 años, volviendo a indicar que esta tecnología tipo LED es la más adecuada al cumplir con los requisitos planteados por la norma y la forma más adecuada de ahorrar energía eléctrica.

**4.5.2 Motores eléctricos.** A continuación, se presenta un panorama general de la capacidad, consumo, rendimiento y estado de los motores eléctricos actuales, utilizados en el taller de mecánica que el edificio tiene es su primer piso.

Para las mediciones realizadas se asignaron las siguientes siglas: Potencia activa o real (P), potencia reactiva (Q), Potencia aparente (S), factor de potencia (Fp) y Horas trabajadas (Ht), ver Tabla 12.

Tabla 12. Características de funcionamiento de los motores estándar actuales.

|                  | MOTOR #1 | MOTOR #2 | MOTOR #3 | MOTOR #4 | MOTOR #5 | UNIDADES |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| P                | 19,90    | 49,90    | 10,02    | 139,25   | 19,89    | KWh      |
| Q                | 14,92    | 66,54    | 11,11    | 108,07   | 15,44    | KVAR     |
| S                | 24,87    | 83,17    | 14,96    | 176,27   | 25,18    | KVA      |
| Fp               | 0,80     | 0,60     | 0,67     | 0,79     | 0,79     | ----     |
| Horas Trabajadas | 3.500    | 3.000    | 6.000    | 3.500    | 4.250    | h/año    |

Fuente: Elaboración propia.

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

Según los resultados obtenidos del análisis realizado, ver Tabla 12. Se puede observar lo siguiente:

El factor de potencia promedio es:

$$FP = \frac{(0,8 + 0,6 + 0,67 + 0,79 + 0,79)}{5} = 0,73$$

Entonces el coseno de  $\varphi$  es:

$$\varphi = \cos^{-1}(0,73) = 43^{\circ}11'$$

Del triángulo de potencia se deduce que:

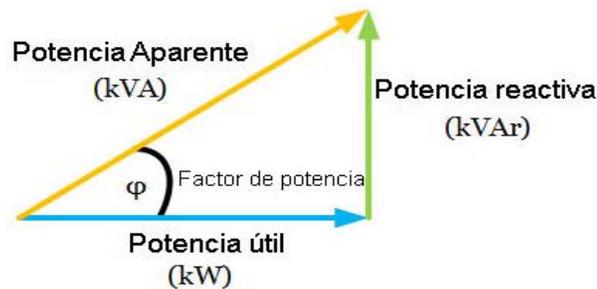


Figura 10. Triángulo de factor de potencia.  
Fuente: Elaboración propia.

De donde se concluye:

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

La potencia activa es (P):

$$P = (19,9 + 49,9 + 10,02 + 139,25 + 19,89) = 238,96 \text{ kW}$$

La potencia reactiva penalizada es:

$$Q_1 = (238,96 \text{ kW}) * (\tan 43^{\circ}11') = 223,69 \text{ kVAR}$$

La potencia reactiva penalizada se cobra al doble del kWh normal, a esta fecha el kWh tenía un costo de \$ 350 :

|   |                                   |         |            |
|---|-----------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL<br>TRABAJO DE GRADO | Código  | FDE 089    |
|   |                                   | Versión | 04         |
|   |                                   | Fecha   | 24-02-2020 |

$$223,69 \text{ kVAR} * \$ 700 \text{ kWh} = \$ 156583/\text{h}$$

Es necesario instalar un banco de capacitores o cambiar los motores eléctricos actuales por unos de mayor eficiencia y, además, incluir el banco de capacitores debido a que se debe garantizar un factor de potencia en 0,97 a 1 para no ser penalizados por la generación de energía reactiva y disminuir los costos de la energía consumida.

Si se desea un factor de potencia de 0,97. Por tal motivo el coseno de  $\phi$  será:

$$\phi = \cos^{-1}(0,97) = 14^{\circ}07'$$

La nueva potencia reactiva generada será:

$$Q_2 = (238,96 \text{ kW}) * (\tan 14^{\circ}07') = 59,89 \text{ kVAR}$$

Esta sería la potencia reactiva que se debería generar con ese factor de potencia.

La carga reactiva reducida es:

$$QC = 223,69 \text{ kVAR} - 59,89 \text{ kVAR} = 163,8 \text{ kVAR}$$

Entonces el ahorro de potencia reactiva será:

$$EQC = 163,8 \text{ kVAR} * \$ 700 \text{ kWh} = \frac{\$ 114660}{\text{h}}$$

Si se considera que en promedio los motores trabajan 3500 h/año, el ahorro en dinero anual sería de:

$$\frac{\$ 114660}{\text{h}} * \frac{3500 \text{ h}}{\text{año}} = \frac{\$ 401'310000}{\text{año}}$$

Se requiere de un banco de capacitores de:

$$BC = \frac{3 * QC}{\text{Voltaje}^2} * (10^6)$$

El voltaje suministrado a los motores es de 220 Voltios, entonces:

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

$$BC = \frac{159235000 * 163,8 \text{ kVAR}}{(60 \text{ hz}) * (220 \text{ voltios})^2} = 8981.64 \mu F$$

El cuál tendría un costo aproximado de \$ 15'000000 COP.

**Instalación de nuevos motores de alta eficiencia.** A continuación, se evidencia el análisis realizado al sistema, si los motores fueran cambiados por unos de alta eficiencia, ver Tabla 13.

Tabla 13. Características de funcionamiento de los motores de alta eficiencia.

|                     | MOTOR #1 | MOTOR #2 | MOTOR #3 | MOTOR #4 | MOTOR #5 | UNIDADES |
|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| P                   | 19,2     | 47,92    | 9,44     | 133,70   | 19,19    | KW       |
| Q                   | 10,78    | 27,15    | 6,59     | 75,77    | 12,39    | KVAR     |
| S                   | 21,86    | 55,08    | 11,51    | 153,68   | 22,84    | KVA      |
| Fp                  | 0,87     | 0,87     | 0,82     | 0,87     | 0,84     | ----     |
| Horas<br>Trabajadas | 3.500    | 3.000    | 6.000    | 3.500    | 4.250    | h/año    |

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos del análisis realizado, ver Tabla 13. Se puede observar lo siguiente:

El factor de potencia promedio es:

$$FP = \frac{(0,87 + 0,87 + 0,82 + 0,87 + 0,84)}{5} = 0,854$$

Entonces el coseno de  $\varphi$  es:

$$\varphi = \cos^{-1}(0,854) = 31^{\circ}35'$$

La potencia activa es (P):

$$P = (19,2 + 47,92 + 9,44 + 133,70 + 19,19) = 229,45 \text{ kW}$$

La potencia reactiva penalizada es:

$$Q_1 = (229,45 \text{ kW}) * (\tan 31^{\circ}35') = 139,7822 \text{ kVAR}$$

La potencia reactiva penalizada se cobra al doble del kWh normal, a esta fecha el kWh tenía un costo de \$ 350 :

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

$$139,7822 \text{ kVAR} * \$ 700 \text{ kWh} = \$ 97847,53/\text{h}$$

Es necesario instalar un banco de capacitores o cambiar los motores eléctricos actuales por unos de mayor eficiencia y, además, incluir el banco de capacitores debido a que se debe garantizar un factor de potencia en 0,97 a 1 para no ser penalizados por la generación de energía reactiva y disminuir los costos de la energía consumida.

Si se desea un factor de potencia de 0,97. Por tal motivo el coseno de  $\phi$  será:

$$\phi = \cos^{-1}(0,97) = 14^{\circ}07'$$

La nueva potencia reactiva generada será:

$$Q_2 = (229,45 \text{ kW}) * (\tan 14^{\circ}07') = 57,5 \text{ kVAR}$$

Esta sería la potencia reactiva que se debería generar con ese factor de potencia.

La carga reactiva reducida es:

$$QC = 229,45 \text{ kVAR} - 57,5 \text{ kVAR} = 171,9438 \text{ kVAR}$$

Entonces el ahorro de potencia reactiva será:

$$EQC = 171,9438 \text{ kVAR} * \$ 700 \text{ kWh} = \frac{\$ 120360,7}{\text{h}}$$

Si se considera que en promedio los motores trabajan 3500 h/año, el ahorro en dinero anual sería de:

$$\frac{\$ 120360,7}{\text{h}} * \frac{3500 \text{ h}}{\text{año}} = \frac{\$ 421'262423,9}{\text{año}}$$

Se requiere de un banco de capacitores de:

$$BC = \frac{3 * QC}{\text{Voltaje}^2} * (10^6)$$

El voltaje suministrado a los motores es de 220 Voltios, entonces:

|  |   |         |            |
|--|---|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|  |   | Versión | 04         |
|  |   | Fecha   | 24-02-2020 |

$$BC = \frac{159235000 * 171,9438 \text{ kVAR}}{(60 \text{ hz}) * (220 \text{ voltios})^2} = 9428.41 \mu F$$

Este banco de capacitores tendrá un costo de \$ 17'500000 COP y el costo de los motores \$ 32'000000 COP. Ahora el costo individual de funcionamiento de cada motor será:

Tabla 14. . Datos de los motores existentes.

|                   | MOTOR #1   | MOTOR #2   | MOTOR #3   | MOTOR #4    | MOTOR #5   | UNIDADES |
|-------------------|------------|------------|------------|-------------|------------|----------|
| P. Nominal        | 50,00      | 75,00      | 15,00      | 400,00      | 40,00      | HP       |
| Eficiencia        | 89,70      | 91,60      | 87,30      | 91,50       | 89,70      | %        |
| Factor carga      | 47,90      | 72,80      | 78,20      | 42,70       | 59,80      | %        |
| T. función        | 3.500      | 3.000      | 6.000      | 3.500       | 4.250      | h/año    |
| E. Usada          | 69.636     | 149.709    | 60.141     | 487.387     | 84.547     | kWh/año  |
| Costo.<br>Energía | 36'907.080 | 79'345.768 | 31'874.962 | 258'314.944 | 44'809.732 | \$/año   |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. propuesta con motores alta eficiencia nuevos.

|                   | MOTOR #1   | MOTOR #2   | MOTOR #3   | MOTOR #4    | MOTOR #5   | UNIDADES |
|-------------------|------------|------------|------------|-------------|------------|----------|
| P. Nominal        | 30,00      | 75,00      | 15,00      | 200,00      | 40,00      | HP       |
| Eficiencia        | 89,70      | 91,60      | 87,30      | 91,50       | 89,70      | %        |
| Factor carga      | 47,90      | 72,80      | 78,20      | 42,70       | 59,80      | %        |
| T. Función        | 3.500      | 3.000      | 6.000      | 3.500       | 4.250      | h/año    |
| E. Usada          | 66.566     | 143.687    | 56.608     | 467.992     | 81.569     | kWh/año  |
| Costo.<br>Energía | 35.279.980 | 76.153.952 | 30.002.376 | 248.035.680 | 43.231.612 | \$/año   |
| Precio COP        | 8'919.395  | 8'759.048  | 3'159.022  | 29'194.716  | 5'225.075  | COP      |

Fuente: Elaboración propia.

El tiempo de recuperación de la inversión en cada uno de los motores de alta eficiencia es:

Tabla 16. Recuperación de la inversión.

|                        | Motor #1  | Motor #2  | Motor# 3  | Motor #4   | Motor #5  | Unidades   |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|
| E. Ahorrada            | 3.070     | 6.022     | 3.533     | 19.395     | 2.978     | kWh/año    |
| A. Anual               | 1.627.100 | 3.191.816 | 1.872.586 | 10.279.264 | 1.578.120 | \$/año COP |
| Tiempo<br>Recuperación | 5,48      | 2,74      | 1,69      | 2,84       | 3,31      | Años       |

Fuente: Elaboración propia.

|  |   |         |            |
|--|---|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|  |   | Versión | 04         |
|  |   | Fecha   | 24-02-2020 |

**Instalación de nuevos motores y banco de capacitores.** Para realizar este análisis, se tomaron mediciones durante 3 días de la semana, en diferentes horarios del día: 8 am, 10 am, 12 am, 2 pm, 4 pm, 6 pm y 8 pm. Los cuales fueron definidos como momentos críticos ( A, B, C, D, E, F, G y H) por ser los momentos donde los motores registran el mayor consumo de energía reactiva. Además, se incluyeron otras siglas: Banco de potencia (BP), carga reactiva (QC), Carga reactiva ahorrada (EQC), ver Tabla 17.

Tabla 17. Consumos críticos de energía durante ciertas horas del día con los motores actuales.

|     | Momento A | Momento B | Momento C | Momento D | Unidad |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
| P   | 169,17    | 169,17    | 189,07    | 238,97    | Kw     |
| Q   | 134,62    | 134,10    | 149,54    | 216,08    | kVAr   |
| S   | 216,20    | 215,88    | 241,06    | 322,17    | kVA    |
| Fp  | 0,78      | 0,78      | 0,78      | 0,74      | ----   |
| QP  | 84,59     | 84,59     | 94,53     | 119,48    | kVAr   |
| QC  | 50,03     | 49,51     | 55,01     | 96,59     | kVAr   |
| BP  | 55,00     | 50,00     | 60,00     | 100,00    | kVAr   |
| EQC | 200,13    | 99,03     | 330,04    | 150,00    | kVAr/h |
|     | Momento E | Momento F | Momento G | Momento H | Unidad |
| P   | 99,72     | 79,82     | 59,93     | 79,82     | kW     |
| Q   | 108,00    | 92,57     | 77,64     | 93,08     | kVAr   |
| S   | 147,00    | 122,23    | 98,08     | 122,62    | kVA    |
| fp  | 0,68      | 0,65      | 0,61      | 0,65      | ----   |
| QP  | 49,86     | 39,91     | 29,96     | 39,91     | kVAr   |
| QC  | 58,15     | 52,65     | 47,68     | 53,17     | kVAr   |
| BP  | 60        | 55        | 50        | 55        | kVAr   |
| EQC | 116,29    | 105,31    | 143,04    | 159,52    | kVAr/h |

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 17, se observan los resultados obtenidos con el banco de capacitores y los motores actuales:

Ahora, se realiza una prueba similar a la realizada con los motores actuales y el banco de capacitores, lo cual permite realizar una comparación entre los resultados obtenidos.

Tabla 18. Consumos críticos de energía durante ciertas horas del día con los motores nuevos.

|   | Momento A | Momento B | Momento C | Momento D | Unidad |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
| P | 162,33    | 162,16    | 181,35    | 229,26    | kW     |
| Q | 94,75     | 93,14     | 105,53    | 132,69    | kVAr   |

|  |   |  |  |         |            |
|--|---|--|--|---------|------------|
| <br>Institución Universitaria | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> |  |  | Código  | FDE 089    |
|  |   |  |  | Versión | 04         |
|  |   |  |  | Fecha   | 24-02-2020 |

|     |                  |                  |                  |                  |               |
|-----|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|
| S   | 187,96           | 187,00           | 209,82           | 264,89           | kVA           |
| Fp  | 0,86             | 0,87             | 0,86             | 0,87             | ----          |
| QP  | 81,16            | 81,08            | 14,86            | 18,06            | kVAr          |
| QC  | 13,59            | 12,06            | 55,01            | 96,59            | kVAr          |
| BP  | 55,00            | 50,00            | 60,00            | 100,00           | kVAr          |
| EQC | 54,36            | 24,12            | 89,16            | 36,11            | kVAr/h        |
|     | <b>Momento E</b> | <b>Momento F</b> | <b>Momento G</b> | <b>Momento H</b> | <b>Unidad</b> |
| P   | 95,56            | 76,37            | 57,35            | 76,54            | kW            |
| Q   | 56,92            | 44,52            | 33,74            | 46,14            | kVAr          |
| S   | 111,23           | 88,40            | 65,54            | 89,37            | kVA           |
| fp  | 0,86             | 0,86             | 0,86             | 0,86             | ----          |
| QP  | 47,78            | 38,19            | 28,68            | 38,27            | kVAr          |
| QC  | 9,14             | 6,34             | 5,07             | 7,87             | kVAr          |
| BP  | 60               | 55               | 50               | 55               | kVAr          |
| EQC | 18,27            | 12,67            | 15,20            | 23,60            | kVAr/h        |

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se puede apreciar el costo de instalar el banco de capacitores con los motores viejos o la instalación de los motores nuevos y el banco de capacitores.

Tabla 19. Comparación de motores viejos y nuevos.

|                       | <b>MOTORES VIEJOS</b> | <b>MOTORES NUEVOS (kVAR)/día</b> | <b>AHORRO ANUAL</b> |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------|
|                       | <b>(kVAR)/día</b>     |                                  |                     |
| ENERGIA AHORRADA      | 163,8                 | 171,9478                         | kVAR/año            |
| CAPACIDAD CAPACITORES | 8981,64               | 9428,41                          | µF                  |
| BANCO CAPACITORES     | \$ 15'000.000         | \$ 49'500.000                    | valor/cop           |

Fuente: elaboración propia.

El tiempo de retorno de la inversión es:

Opción N.1 Motores viejos y banco de capacitores:

$$\text{Retorno inversión} = \frac{15'000000}{\$ 401'310000} = 0,0373 \text{ años}$$

Opción N.2 Motores nuevos y banco de capacitores:

$$\text{Retorno inversión} = \frac{47,5000000}{\$ 421'262423,9/\text{año}} = 0,1127 \text{ años}$$

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

**4.5.3 Otras recomendaciones.** A continuación, se mencionan algunas otras alternativas:

- Una de las posibilidades de ahorro es el cambio de los 5 motores eléctricos utilizados actualmente por unos de más alta eficiencia. Además, se pueden instalar un banco de capacitores nuevo, lo cual permitirá un ahorro energético considerable.
- Otra mejora posible puede ser el cambio de la luminaria actual que son lámparas fluorescentes T12 de 64 W y algunas bombillas incandescentes de 100 W. Estas podrían ser sustituidas por luminarias de tecnología LED con capacidad de 15 W cada una, pero teniendo en cuenta el RETILAP y bajo ciertos parámetros de eficiencia energética para una larga vida útil en un edificio eficiente e inteligente.

Como complemento a esta mejora se recomienda:

- Para todo el edificio, se propone cambiar tecnología de iluminación instaladas fluorescentes, por Luminarias Tipo LED.
- Para el primer piso, se recomienda cambiar los motores de eficiencia estándar, por motores de alta eficiencia.
- En zonas comunes se propone instalar sensores de movimiento para la iluminación.
- Ajustar la configuración de ordenadores, impresoras y máquinas de café puede llevar a un ahorro significativo en el consumo energético. Poner en modo ahorrador al menos en 5 minutos.
- Hacer el mejor uso posible de la luz natural es otra buena estrategia para reducir los costes energéticos en oficinas.
- Hacer un paseo por el edificio una vez terminen las jornadas laborales, para ir apagando luces y desconectando electrodomésticos en zonas comunes que no se estén usando.
- Instalar sensores de “luz día” en las ventanas de los apartamentos que tengan vista al exterior, para controlar la iluminación particular de cada apartamento.

|   |                                   |         |            |
|---|-----------------------------------|---------|------------|
|  | INFORME FINAL<br>TRABAJO DE GRADO | Código  | FDE 089    |
|   |                                   | Versión | 04         |
|   |                                   | Fecha   | 24-02-2020 |

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

El análisis de los consumos energéticos realizado al edificio Oceanía permitió establecer el estado actual de edificio e identificar los sistemas que realizan mayores consumos, en este caso los motores eléctricos y las luminarias, lo cual a su vez define la ruta a seguir en cuanto ahorro energético y dinero. Por tal motivo, se piensa realizar un cambio de luminarias por tecnología LED, ya que esta tecnología reúne todas las condiciones requeridas para este tipo de edificaciones.

Mediante una búsqueda bibliográfica se pudo definir las tecnologías y sus características en cuanto a iluminación se trata y las cuales están disponibles en el mercado T5, T8, T12 y LED, lo cual permitió realizar una comparación entre estas y definir la ideal desde el punto de vista económico, energético, vida útil e iluminación.

Mediante el estudio de prefactibilidad realizado se nota un gran ahorro energético al comparar las tecnologías (instaladas T12; sugeridas LED) de 7 kWh diarios, para lo cual representa un ahorro en costos de \$ 2,667 diarios, representando anualmente en \$ 704,088. Ahora el retorno de la inversión será en 70,3 días o 2,34 meses o 0,1926 años, volviendo a indicar que esta tecnología tipo LED es la más adecuada al cumplir con los requisitos planteados por la norma y la forma más adecuada de ahorrar energía eléctrica.

En cuanto a las dos propuesta de instalar solamente el banco de capacitores con los motores nuevos y la de instalar el banco de capacitores con motores nuevos, se escoge la número 2 aunque sea un poco más costosa. Porque los motores nuevos tienen una vida útil de 5 años mientras que los motores actuales ya poseen varios años de uso y en cualquier momento se pueden averiar.

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

La reducción en el consumo de energía se posiciona en más del 60%, esto conlleva a su vez a un gran ahorro económico y una rápida amortización en el tiempo de retorno de inversión. Realizar este cambio mejoraría la rentabilidad de la empresa.

La tecnología de luminarias tipo LED posee 10 veces más vida útil que las demás luminarias estudiadas y un IRC superior al 80%, proporcionando una iluminación de gran calidad, lo que es necesario para el confort visual requerido para garantizar un trabajo de alta calidad. El bajo consumo energético se traduce en un ahorro importante de las emisiones de CO<sub>2</sub>, reduciendo considerablemente el impacto sobre el medio ambiente. Con todo lo anterior, se puede concluir que la inversión en el cambio de tecnología para el Edificio Océano es viable, y se puede tener una alta confianza en que adquirir la infraestructura adecuada logrará las metas propuestas, confort visual, eficiencia energética, ahorros económicos y grandes beneficios. LA TECNOLOGÍA TIPO LED Y LOS MOTORES DE ALTA EFICIENCIA CUMPLEN con el valor mínimo indicado por la Norma utilizada como referencia.

La auditoría energética supone una herramienta práctica para evaluar y disminuir los gastos de explotación y mantenimiento, mejorando el confort en las instalaciones y colaborando en la preservación del medio ambiente.

Una vez finalizado el proyecto, se puede denotar que es posible ahorrar energía en la mayoría de las viviendas de una forma no excesivamente costosa y en la mayoría de los casos este ahorro de energía supone un ahorro económico ya que en la mayoría de los casos el ahorro supera a los costes en un plazo de amortización no muy amplio.

En este proyecto se describen las opciones de mejora en la eficiencia energética y en las instalaciones de energías alternativas, y se propone un método para llevar a cabo estas aplicaciones. Sería objeto de otros proyectos posteriores diseñar un método similar para otro tipo de construcciones como pueden ser hospitales, oficinas, universidad.

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

Alguna de las posibilidades de ampliar este proyecto o realizar la continuación como otro proyecto sería entre otras estudiar la aplicación de la domótica para mejorar la eficiencia energética.

En definitiva, este proyecto es una herramienta útil, sencilla y eficaz para el estudio de la aplicación de la optimización energética en viviendas.

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

## REFERENCIAS

---

- Almendra, A., Miranda, A., & Peralta, L. (2014). Auditoría energética a edificios laborales de SEZGO en ciudad de Mexico. 15. Recuperado el 12 de octubre de 2022, de <http://www.reibci.org/publicados/2014/agosto/2200112.pdf>
- Cardona, J. C. (2017). *Universidad Nacional de Manizales*. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/60212/1053799930.2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- DHgate. (02 de 07 de 2022). *HABOTEST*. Obtenido de <https://es.dhgate.com/product/gas-analyzer-gases-leak-detector-ppm-meter/697517548.html>
- energy. (19 de septiembre de 2019). Obtenido de [https://energypedia.info/images/3/39/20190919\\_Guia\\_de\\_auditoria\\_energ%C3%A9tica.pdf](https://energypedia.info/images/3/39/20190919_Guia_de_auditoria_energ%C3%A9tica.pdf)
- FLUKE. (12 de OCTUBRE de 2022). Obtenido de <https://www.fluke.com/es-es/productos/catalogos>
- Girini, R. G., López, G. R., & Fernández, J. F. (2012). *METODOLOGIAS PARA AUDITORIAS ENERGETICAS EN EDIFICIOS.*, (pág. 17). Argentina. Recuperado el 14 de octubre de 2022, de [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/48772831/09-metodologias-\\_para\\_auditorias\\_energeticas-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1666491539&Signature=a48n4JlIzgBPYyAClb-QrMUw2pVZXBoRjgQ9xpYqolaYhIDyOiWBKYsyOh1ZWn~Jnt8C0DG3wkYmNXjhLDX1zApclOxlXwydsXA02oWK-wBLKIR](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/48772831/09-metodologias-_para_auditorias_energeticas-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1666491539&Signature=a48n4JlIzgBPYyAClb-QrMUw2pVZXBoRjgQ9xpYqolaYhIDyOiWBKYsyOh1ZWn~Jnt8C0DG3wkYmNXjhLDX1zApclOxlXwydsXA02oWK-wBLKIR)
- GreenForest. (2022). Obtenido de <https://greenforest.com.co/producto/luxometro-o-medidor-de-luz-marca-extech-lt-300/>
- IDEAM. (2007). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>
- ISO. (2018). *Normas ISO*. Obtenido de <https://www.normas-iso.com/iso-50001/>
- Iturbe, M. (8 de Julio de 2022). *CaloryFrio*. Obtenido de <https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/medicion-y-calculo/herramientas-de-medicion-para-eficiencia-energetica-en-edificios.html#analizador-redes-electricas>
- MADS. (9 de Agosto de 2021). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico/colombia-esta-comprometida-con-la-accion-climatica-global-ministro-de-ambiente/>

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

- Martínez, B., & Álvarez, D. (1 de Septiembre de 2021). *Universida de Jaén*. Obtenido de <https://tauja.ujaen.es/jspui/handle/10953.1/18757>
- Mejía, G. (Julio de 2014). Estudio comparativo entre la legislación de eficiencia energética de Colombia y España. *Scielo*, 5. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-81602014000200006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-81602014000200006)
- Minenergía. (2006). Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/es/repositorio-normativo/normativa/uso-racional-y-eficiente-de-la-energ%C3%ADa/>
- Minenergía. (2020). *Ministerio de minas y energía*. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/fuentes-no-convencionales-de-energ%C3%ADa-renovable-fncer/>
- MINMINA. (30 de Marzo de 2010). <https://www.sic.gov.co/>. Obtenido de <https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/2021/Resoluci%C3%B3n%20180540%20de%202010.pdf>
- NQA. (2018). Obtenido de <https://www.nqa.com/medialibraries/NQA/NQA-Media-Library/PDFs/Spanish%20QRFs%20and%20PDFs/NQA-ISO-50001-Guia-de-implantacion.pdf>
- NU. (12 de Diciembre de 2015). Obtenido de Naciones Unidas: <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>
- RETIE. (5 de Mayo de 2017). *Portaelectrodos.com*. Obtenido de [https://portalelectricos.com/retie/cap2art17\\_0.php](https://portalelectricos.com/retie/cap2art17_0.php)
- RETILAP. (2021). Obtenido de <https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/2021/Resoluci%C3%B3n%20180540%20de%202010.pdf>
- Rodríguez, S. P., & Ahumada, R. B. (2010). Caracterización y pronóstico del precio spot de la energía eléctrica en Colombia. 6, 293-316. Recuperado el 12 de marzo de 2023
- Saterhonatherm. (10 de Febrero de 2020). Obtenido de <https://www.saterhonatherm.com/diagnosis-edificios-termografia/>
- SINOTIMER. (2021). Obtenido de [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-638099286-medidor-de-consumo-vatimetro-contador-energia-electrica-\\_JM?matt\\_tool=70147493&matt\\_word=&matt\\_source=google&matt\\_campaign\\_id=14633851809&matt\\_ad\\_group\\_id=122277564930&matt\\_match\\_type=&matt\\_network=g&mat t](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-638099286-medidor-de-consumo-vatimetro-contador-energia-electrica-_JM?matt_tool=70147493&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14633851809&matt_ad_group_id=122277564930&matt_match_type=&matt_network=g&mat t)
- UPME. (2003). Obtenido de [http://www.upme.gov.co/docs/pen\\_2003/pen2003\\_total.pdf](http://www.upme.gov.co/docs/pen_2003/pen2003_total.pdf)

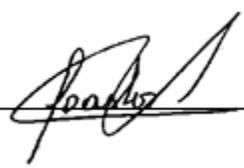
|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

UPME. (2016). Obtenido de  
[https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI\\_PROURE\\_2017-2022.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017-2022.pdf)

UPME. (2019). Obtenido de  
[https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN\\_documento\\_para\\_consulta.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_documento_para_consulta.pdf)

Vasquez, G. P., & Silva, J. O. (Noviembre de 2022). <https://pirhua.udep.edu.pe/>. Obtenido de  
[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4791/IME\\_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4791/IME_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

|   |   |         |            |
|---|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME FINAL<br/>TRABAJO DE GRADO</b> | Código  | FDE 089    |
|   |   | Versión | 04         |
|   |   | Fecha   | 24-02-2020 |

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| FIRMA ESTUDIANTES                   |  |
|                                     |  |
| FIRMA ASESORES                      |  |
|                                     |  |
| FECHA ENTREGA: 05 de Junio del 2023 |  |