



*Evaluación del sistema eléctrico de edificios de propósito educativo con respecto al uso racional y eficiente de la energía eléctrica*

*Evaluation of the electrical system of buildings for educational purposes with respect to the rational and efficient use of electrical energy*

*Avaliação do sistema elétrico de edificações para fins educacionais quanto ao uso racional e eficiente da energia elétrica*

Gilberto Holguín-Intriago<sup>I</sup>

[gholguin1016@hotmail.es](mailto:gholguin1016@hotmail.es)

<https://orcid.org/0000-0002-8263-6218>

Yolanda Llosas-Albuerne<sup>II</sup>

[yolanda.llosas@utm.edu.ec](mailto:yolanda.llosas@utm.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-5713-0565>

Jesús Pérez-Rodríguez<sup>III</sup>

[profesorjesusperez@gmail.com](mailto:profesorjesusperez@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-1578-2565>

**Correspondencia:** [gholguin1016@hotmail.es](mailto:gholguin1016@hotmail.es)

Ciencias técnicas y aplicadas

Artículos de investigación

\***Recibido:** 16 de marzo de 2021 \***Aceptado:** 22 de abril de 2021 \* **Publicado:** 15 de mayo de 2021

- I. Estudiante de la Maestría en Ingeniería del Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí, Ingeniero Eléctrico, Portoviejo, Ecuador.
- II. Doctor en Ciencias Técnicas, Ingeniero Electricista, Docente Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- III. Doctor en Ciencias Mención Instrumentación, Ingeniero Electricista, Docente Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.



## Resumen

El propósito de esta investigación fue realizar la evaluación del sistema eléctrico de un edificio de propósito educativo con respecto al uso racional y eficiente de la energía eléctrica. La investigación se desarrolló en la Facultad de Ciencias, Matemáticas, Físicas y Químicas (FCMFQ), de la Universidad Técnica de Manabí. Metodológicamente la investigación es nivel descriptivo, tipo de campo. Las fases planteadas para lograr dicha evaluación fueron: levantamiento del sistema eléctrico, realizar mediciones eléctricas, análisis de mediciones eléctricas realizadas, cálculos técnicos de consumos de energía eléctrica, análisis de costos por consumo energético actual y medidas de uso racional y eficiente de la energía eléctrica. La población estuvo conformada por todos los equipos instalados que consumen energía eléctrica en la FCMFQ. La recolección de datos se llevó a cabo partiendo por la observación directa y registro de todas las cargas conectadas a los circuitos eléctricos del edificio de la FCMFQ, luego se realizaron las mediciones de parámetros eléctricos con el analizador de RED Modelos PQ-Box 150, y a partir de esta información se realizó una categorización tarifaria de los costos por consumo energético, así como, la cuantificación de la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por consumo eléctrico. El procesamiento de la data capturada, se llevó a cabo por medio del software de evaluación WinPQ mobile. Los resultados arrojaron que el consumo de energía máximo acumulado por día laborable es de 730 KWh, mientras que el mínimo es de 619 KWh, lo cual nos permite establecer un consumo promedio de 681 KWh por día, mientras que los fines de semana el consumo energético promedio es de 65 KWh; a partir de esta información la energía mensual consumida en el edificio de la FCMFQ es de aproximadamente 14132,09262 KWh. Produciendo 6,372160561 tCO<sub>2</sub>e en un periodo de 28 días. **Copyright © 2009 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved.**

**Palabras claves:** Evaluación del sistema eléctrico; Consumo Energético; Ahorro Energético.

## Abstract

The purpose of this research was to evaluate the electrical system of an educational purpose building with respect to the rational and efficient use of electrical energy. The research was developed at the Faculty of Sciences, Mathematics, Physics and Chemistry (FCMFQ) of the Technical University of Manabí. Methodologically the research is descriptive level, type of field. The phases proposed to achieve this evaluation were: survey of the electrical system, carry out

electrical measurements, analysis of electrical measurements made, technical calculations of electrical energy consumption, cost analysis for current energy consumption and measures of rational and efficient use of electrical energy. . The population was made up of all the installed equipment that consumes electrical energy in the FCMFQ. The data collection was carried out starting from the direct observation and recording of all the loads connected to the electrical circuits of the FCMFQ building, then the measurements of electrical parameters were carried out with the RED Analyzer Models PQ-Box 150, already Based on this information, a tariff categorization of energy consumption costs was carried out, as well as the quantification of the amount of CO<sub>2</sub> emissions produced by electricity consumption. The processing of the captured data was carried out by means of the WinPQ mobile evaluation software. The results showed that the maximum accumulated energy consumption per working day is 730 KWh, while the minimum is 619 KWh, which allows us to establish an average consumption of 681 KWh per day, while on weekends the energy consumption average is 65 kWh; Based on this information, the monthly energy consumed in the FCMFQ building is approximately 14132.09262 KWh. Producing 6.372160561 tCO<sub>2</sub>e in a period of 28 days. **Copyright © 2009 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved.**

**Keywords:** Electrical system evaluation; Energy Consumption; Energy Savings.

## Resumo

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o sistema elétrico de um edifício de finalidade educacional no que diz respeito ao uso racional e eficiente da energia elétrica. A pesquisa foi desenvolvida na Faculdade de Ciências, Matemática, Física e Química (FCMFQ) da Universidade Técnica de Manabí. Metodologicamente a pesquisa é de nível descritivo, tipo de campo. As fases propostas para a realização desta avaliação foram: levantamento do sistema elétrico, realização das medições elétricas, análise das medições elétricas efetuadas, cálculos técnicos do consumo de energia elétrica, análise dos custos do consumo atual de energia e medidas de utilização racional e eficiente da energia elétrica. . A população foi composta por todos os equipamentos instalados que consomem energia elétrica na FCMFQ. A coleta de dados foi realizada a partir da observação direta e registro de todas as cargas conectadas aos circuitos elétricos do prédio da FCMFQ, em seguida as medições dos parâmetros elétricos foram realizadas com o Analisador RED Modelos PQ-Box 150, já com base nessas informações , foi realizada uma categorização tarifária dos custos

de consumo de energía, bem como a quantificação da quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> produzidas pelo consumo de eletricidade. O processamento dos dados capturados foi realizado por meio do software de avaliação móvel WinPQ. Os resultados mostraram que o consumo máximo de energia acumulado por dia útil é de 730 KWh, enquanto o mínimo é de 619 KWh, o que nos permite estabelecer um consumo médio de 681 KWh por dia, enquanto nos finais de semana a média de consumo de energia é de 65 kWh; Com base nessas informações, a energia mensal consumida no edifício FCMFQ é de aproximadamente 14132,09262 KWh. Produzindo 6,372160561 tCO<sub>2</sub>e em um período de 28 dias. **Copyright © 2009 Praise Worthy Prize S.r.l. - Todos os direitos reservados.**

**Palavras-chave:** Avaliação do sistema elétrico, Consumo de energia, Economia de energia.

## Introducción

El dilema energético a nivel mundial es una preocupación común en muchos sectores, residenciales, comerciales e industriales de la vida diaria, teniendo en cuenta que los países industrializados tienen mayor consumo energético y por ende una mayor cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero [1]. En este orden de ideas y enmarcado dentro del protocolo de Kyoto, se ha acordado reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, con el fin de obtener mejoras en el cambio climático para estabilizar el CO<sub>2</sub> a 450 ppm a nivel mundial [2]. En la actualidad, la intensificación de la actividad humana en el ámbito productivo y el quehacer cotidiano ha generado un aumento significativo en la emisión de gases de efecto invernadero, conduciendo al cambio climático [3]. El aumento progresivo en el uso de electricidad está implícito en la vida diaria del ser humano en sus múltiples labores, por la necesidad de incrementar las horas de luz del día y preservar los alimentos refrigerados, entre otras aplicaciones [4].

Alrededor de dos tercios de las emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo están ligadas a la quema de combustibles fósiles que se usan para calefacción, electricidad, transporte e industria [5]. La matriz energética mundial indica que la mayor parte de las grandes centrales eléctrica utilizan combustibles fósiles, se sabe que sólo para el año 2014, las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> se situaron alrededor del 40% dado por el sector eléctrico [6].

En este sentido, el concepto de huella del carbono, su análisis, su origen, su relación con los gases efecto invernadero, y sobre los procedimientos para cuantificarla son de suma importancia para

determinar el impacto en el medio ambiente [7]. Por lo tanto, en la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, se incluyen los pasos básicos para cuantificar las emisiones de GEI por consumo de combustibles fósiles en fuentes estacionarias, móviles y por consumo de energía eléctrica [8]. Al analizar los criterios de clasificación de emisiones en las principales metodologías de cálculo de la HdC y se discute sobre los principales cuestionamientos a la HdC, sobre los temas a resolver y sus alternativas de solución [9].

La Oficina Española de Cambio Climático establece que, para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo eléctrico, debe aplicarse el factor de emisión atribuible a la comercializadora con la que se tenga contratado el suministro eléctrico para el año de cálculo [10]. Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el cual tiene como misión evaluar la información científica, técnica y socioeconómica relevante para el entendimiento de los riesgos e impactos planteados por el cambio climático, en este sentido el factor de emisión es un coeficiente que relaciona los datos de actividad con la cantidad del compuesto químico correspondientes a un determinado nivel de actividad en un conjunto dado de condiciones de funcionamiento [11] - [12] - [13].

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), por consumo de electricidad, se calculan multiplicando una cantidad determinada de MWh consumida por el factor de emisión correspondiente [8]. El Factor de emisión de CO<sub>2</sub> es la masa estimada de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmosfera, por cada unidad de MWh de energía eléctrica generada en base a la combustión de combustible fósil [14].

El sector eléctrico ecuatoriano en el año 2012 utilizó 18,7 Mbep en combustibles para la generación de electricidad a través de su parque termoeléctrico. La cantidad antes señalada puede desglosarse de la siguiente manera: 6.8 Mbep (36,5%) de fuel oil; 3,7 Mbep (19,9%) gas natural; 3,3 Mbep (17,4%) diesel; 1,7 Mbep (9,0%) de residuo; 1,5 Mbep (7,9%) de bagazo; 1,7 Mbep (9,3%) de otros. La producción de energía eléctrica (servicio público y no público) en el Ecuador durante el 2012, en unidades eléctricas, alcanzó el valor de 23.085 GWh (Gigavatio hora) (23,08 TWh (Teravatio hora)), mismo que expresado en su equivalente fue de 26,6 Mbep, lo que representó el 11,1% de la oferta de energía (240,2 Mbep), así como también el 26,4% del consumo interno de energía (100,7 Mbep). La generación hidroeléctrica fue de 12.238 GWh (53,0%); termoeléctrica 10.311 GWh (44,7%); biomasa 296 GWh (1,3%); interconexión internacional 238 GWh (1,0%); y otros 2 GWh (0,0%) [15] - [16].

El desarrollo energético consiste en el aumento de la provisión y el uso de los servicios energéticos, y es un aspecto clave del desarrollo económico [17]. La eficiencia energética y el desarrollo de energías renovables son los principales instrumentos para conseguirlo [18]. Las energías renovables, tales como la solar o eólica, debido a su naturaleza intermitente, no permiten un suministro a la medida de las necesidades, ya que la cantidad de energía generada no puede ni predecirse ni planificarse, aun cuando se han realizado importantes avances en la predicción a corto plazo [19].

El enfoque de las energías renovables está direccionado en el desarrollo energético sostenible, dando paso al cambio del modelo de matriz de la eficiencia energética [20]. Existiendo muchos estudios de las alternativas tecnológicas para mejorar las fuentes tradicionales de energía que en la actualidad se encuentra colapsada teniendo un impacto en aumento con la relación de la contaminación ambiental, estudiando alternativas con menores costos de operación utilizando los recursos naturales [21]. La necesidad del hombre de utilizar todas las fuentes de energías, ha permitido en la actualidad utilizar la radiación solar como la principal fuente de energía primaria, inagotable, no contamina territorialmente distribuida y su disponibilidad potencial es muy superior [22].

Ecuador tiene el privilegio de poseer grandes recursos renovables que aún no han sido explotados completamente, por la aún dependencia de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica. Las plantas térmicas constituyen una gran parte de la matriz eléctrica del país, provocando daños que tendrán que ser reparados ineludiblemente con la transición energética, es decir con la mayor producción de energía proveniente de fuentes renovables [23].

Ahora bien, en Ecuador a partir del 2008 la Constitución de la República del Ecuador estableció, que el estado impulsará la eficiencia energética, el desarrollo, uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energía renovable [20]. El Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035 (PLANEE), se plantea como una continuación de los planes estratégicos referentes a la eficiencia energética en el Ecuador, que tuvo aplicación en el periodo 2007-2015 (cocinas de inducción, cambio de luminarias incandescentes a fluorescentes compactas LCF en el ámbito doméstico; en el público, cambio de alumbrado, educación ciudadana) [24]. Se basa en las experiencias previas y selecciona las mejores propuestas aplicables a la realidad Ecuatoriana, de las prácticas internacionales de uso y aprovechamiento de tecnologías. En la Guía

práctica para el “Uso eficiente de la energía eléctrica en el Ecuador”, del 2016, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, aparte de incentivar la eficiencia energética, desarrolla un compendio de Reglamentos Técnicos Ecuatorianos vigentes [25].

El MEER, estableció una serie de estrategias para el cambio de la matriz energética del Ecuador [26]. Este documento, elaborado por un ministerio sectorial, incluye un análisis de todos los sectores de la energía tanto en temas de oferta y demanda y en todas las fuentes de energía primaria, inclusive los hidrocarburos.

El sector educativo ecuatoriano no escapa del incremento paulatino en el consumo de energía eléctrica, sus edificaciones cada día cuentan con más equipamiento para aumentar el confort y los niveles de aprendizaje, adicionalmente en muchas ocasiones un factor que se subestima es la eficiencia energética y los beneficios que podría representar, lo cual permitiría disminuir los pagos de facturas por consumos energéticos y las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Se tomó como caso estudio el edificio de la Facultad de Ciencias, Matemáticas, Físicas y Químicas (FCMFQ), de la Universidad Técnica de Manabí (UTM), la cual es una institución pública ubicada en la ciudad de Portoviejo, y esta fue fundada en octubre de 1952; posee plena soberanía para organizarse dentro de las disposiciones de la Constitución de la República del Ecuador. La FCMFQ fue creada el 13 de octubre de 1958, está conformada por los Departamentos de: Departamento de Ingeniería Mecánica, Departamento de Ingeniería Industrial, Departamento de Procesos Químicos, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Departamento de Construcciones Civiles.

El crecimiento poblacional del número de estudiantes dentro de la facultad y de la cantidad de programas de estudio con múltiples horarios de clases durante el día, implica un considerable consumo energético producto de la demanda instalada de las diferentes cargas eléctricas en la edificación y que son destinadas en su mayoría a sistemas de iluminación, sistemas de climatización por medio de aires acondicionados y salas de computación, entre otras.

Desde el punto de vista científico se ha venido evidenciando que la Universidad objeto de estudio carece de un Sistema de Gestión Energética en el cual se apliquen medidas conjuntas que integren hábitos de consumo, actualizaciones tecnológicas, aprovechamiento de la luz natural, así como la incorporación de fuentes alternas de energía. En este sentido no se están implementando medidas de ahorro energético que permitan favorecer el progreso económico y medio ambiental de los edificios de propósito educativo, con planes de manejo responsable de la energía, aplicados a corto, mediano y largo plazo.

En virtud de lo descrito anteriormente, en el caso específico del edificio de la FCMFQ de la UTM, se requiere la Evaluación del Sistema Eléctrico de la edificación con respecto al uso racional y eficiente de la energía eléctrica, que permitan realizar las recomendaciones pertinente con miras a promover cambios en el sistema eléctrico, para obtener un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos y así contribuir al medio ambiente, reduciendo la huella de carbono, siendo uno de los principales gases de efecto invernadero, que son responsables del cambio climático; además que también permite reducir los costos de los servicios por medio de más activación de las energías limpias y a su vez cumplir con los estándares nacionales e internacionales del uso racional y eficiente de la energía eléctrica.

El propósito de esta investigación fue evaluar el sistema eléctrico de un edificio de propósito educativo, con miras a sentar los puntos de partida necesarios para desarrollar metodologías y políticas de actuación de un sistema de gestión energética aplicable a edificaciones dedicadas al sector educacional, con la finalidad de disminuir el consumo de energía y la demanda de potencia, para obtener beneficios económicos disminuyendo los pagos energéticos y ambientales atenuando las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Para lograr dicha evaluación es necesario, caracterizar el consumo energético de edificios de propósito educativo, a partir del análisis del equipamiento instalado en la actualidad, así como determinar los componentes del sistema energético incluyendo las prestaciones que otorgan centrales fotovoltaicas, en interés del ahorro de recursos y la eficiencia energética

## **Materiales y Métodos**

En esta sección se detalla las estrategias metodológicas para el levantamiento de la información y lograr la evaluación de los consumos energéticos dentro de un establecimiento o edificio, considerando un correcto análisis de demanda máxima y la carga total conectada, así como, los hábitos energéticos los cuales son claves para el uso racional y eficiente de la energía eléctrica en edificios de propósito educativo. En la figura 1 se refleja un diagrama de bloques, con los diferentes pasos requeridos para lograr la evaluación del sistema eléctrico de edificios de propósito educativo con respecto al uso racional y eficiente de la energía eléctrica, donde se observa una serie de actividades para cumplir en cada una de las fases que contempla la propuesta.

**Figura 1:** Diagrama del modelo de Evaluación del sistema eléctrico de un edificio de propósito educativo



Fuente: El Autor (2021)

### ***Evaluación del sistema eléctrico de un edificio de propósito educativo***

#### ***1. Levantamiento del sistema eléctrico***

En esta fase se recorrió toda la infraestructura para actualizar los planos arquitectónicos de las instalaciones civiles e inspeccionar superficialmente las instalaciones, a la vez que se censan todos los equipos consumidores de energía, con la finalidad de determinar el conjunto de cargas y los parámetros eléctricos de los equipos instalados en el edificio de la FCMFQ. Esto fue requerido en virtud de que la FCMFQ tiene 63 años de funcionamiento, este levantamiento físico permitió determinar la demanda máxima instalada en el edificio y con ello estableció los tipos de cargas que presentan mayor consumo eléctrico, el análisis de esta información brindara los caminos adecuados para diseñar planes de gestión energética y de uso racional y eficiente de la energía que mitiguen la contaminación ambiental por reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, producto del consumo de energía eléctrica dentro de la facultad.

Es significativo indicar que para gestionar la información recopilada se generaron cuadros técnicos en Excel denominados: Demanda Instalada, Circuitos Derivados y Distribución del Consumo por piso y por ambiente. Lo cual permitirá elaboración de gráficos de circulares y de barras según la distribución del consumo energético. Las tablas de datos de las cargas eléctricas actuales y de reingeniería detallarán en su totalidad los equipos instalados en las aulas, laboratorios, salas de cómputo y pasillos de la facultad, los cuales podrán ser revisados a detalle en el capítulo de resultados respectivamente del presente trabajo de investigación. En función de este análisis preliminar la información recopilada se resume en fichas de registro, en base a sistema de luminarias, sistemas de aires acondicionados, sistemas de tomacorrientes y otras cargas especiales.

## 2. Mediciones eléctricas

Posteriormente se realizan mediciones eléctricas para determinar el consumo energético de la edificación. Se utilizara el equipo de medición analizador de red Modelo PQ-Box 150 marca a-berle [27]. Este se conectará en el interruptor principal del edificio de la FCMFQ, con miras a obtener información precisa del consumo de energía eléctrica, se realizará un registro correspondiente a dos semanas de funcionamiento, guardando parámetros eléctricos de corriente, tensión, potencia, energía entre otros con un intervalo de 600s.

## 3. Análisis de las mediciones realizadas

Todas las mediciones eléctricas que se realizarán, se guardarán en una memoria USB, y se llevarán a un computador, esta data permitirá al software de evaluación WinPQ mobile realizar gráficos de corriente efectiva, corriente promedio, factor de potencia, potencia real, potencia aparente, la energía acumulada, estimación del CO2 entre otros parámetros importantes para el análisis y discusión de los resultados.

A partir de estos gráficos se podrá obtener el perfil de consumo eléctrico, sus tiempos de operación con el fin de establecer: La potencia máxima, el número de horas al que se demanda energía, entre otros aspectos importantes.

## 4. Cálculos técnicos del consumo de energía eléctrica

Cálculos Técnicos de Consumo de energía eléctrica, a partir de la indagación previamente realizada con lo cual determinamos consumo inicial de la edificación por áreas basados en un levantamiento eléctrico de cargas de la edificación. En este sentido para determinar la situación energética actual en el edificio, es necesario gestionar a partir de las mediciones eléctricas y las anotaciones previas de las cargas eléctricas. Se realizarán cálculos técnicos del consumo de energía eléctrica de la edificación, con la finalidad de conocer puntos de mayor consumo energético, niveles de producción de CO2 debido al periodo de tiempo que operan.

Este análisis técnico de consumo energía eléctrica estará basado en los tipos de cargas, lo cual permitirá direccionar nuestro estudio hacia los circuitos más comunes tales como: los de iluminación, las unidades de aires acondicionados, entre otras cargas eléctricas presentes en la edificación.

### 5. *Análisis de Costos por Consumo Energético Actual*

Se realizará una indagación referente a las facturas de pago a la Empresa “ELÉCTRICA DE GUAYAQUIL CNEL EP”, que suministra el servicio hacia la Universidad Técnica de Manabí, con el fin de determinar el consumo de energía eléctrica y las emisiones de CO2 actuales.

### 6. *Medidas de uso racional y eficiente de la energía eléctrica*

Las medidas o propuestas tienen la finalidad de disminuir el consumo de energía y la demanda de potencia, para obtener beneficios económicos. Para establecer las medidas de ahorro energético se toma en cuenta el estudio realizado en cuanto a la caracterización del consumo eléctrico.

### **Programa general de la investigación**

La investigación se desarrolló durante el año 2020 hasta marzo 2021 dentro de la Facultad de Ciencias, Matemáticas, Físicas y Químicas (FCMFQ), de la Universidad Técnica de Manabí (UTM), tiene un nivel descriptivo y analítico, en virtud que toda la búsqueda de información se inició con la observación directa en el sitio, para verificar los niveles de la demanda de consumo de energía eléctrica actual, lo cual ayudó a determinar indicadores reales de consumo energético de los sistemas de aires acondicionados, salas de computo, sistemas de Iluminación, entre otros, que serán evaluados con respecto al uso racional y eficiente de la energía eléctrica.

**Tabla 1:** Tareas para el desarrollo del programa de investigación

<b>Tarea</b>	<b>Objeto de estudio</b>	<b>Aspectos Analizados</b>	<b>Instrumentos</b>
<b>1</b>	<b>Levantamiento del Sistema Eléctrico de la FCMFQ</b>	Inspección de las instalaciones (número de espacios físicos en el edificio propósito educativo)	Cuaderno de notas Cámara fotográfica
		Determinar el conjunto de cargas y los parámetros eléctricos (equipos eléctricos instalados)	Fichas técnicas de los equipos
		Registro de las cargas eléctricas en los planos arquitectónicos	Software Auto-CAD
<b>2</b>	<b>Mediciones eléctricas realizadas en la FCMFQ</b>	Características técnicas del Analizador de RED	Manual del equipo analizador de redes PQ-Box 150
		Registro de los parámetros eléctricos (tensión, corriente, entre otros)	Analizador de redes PQ-Box 150
		Registro de la calidad de energía en el edificio de la facultad	Analizador de redes PQ-Box 150
<b>3</b>	<b>Cálculos Técnicos de Consumo de energía eléctrica</b>	Distribución de la carga eléctrica de la edificación (según el número de plantas, aulas, oficinas y pasillos).	Hoja de cálculo

	Análisis Técnicos en Circuitos de Iluminación (Tipos de lámparas utilizadas y tiempos de utilización)	Hoja de cálculo	
	Análisis Técnicos de unidades de Aires Acondicionados (Tipo de Gas Refrigerante, Tiempos de utilización)	Hoja de cálculo	
	Análisis Técnicos en Circuitos de Tomas Corrientes (Tipo de cargas y Tiempos de utilización)	Hoja de cálculo	
4	<b>Análisis de Costos por Consumo Energético Actual</b>	Estudio de los consumos energéticos facturados	Recibos de pago, hoja de calculo
		Comparación teórico practico en relación a los pagos consumos energético provenientes de las mediciones y los facturados	Hoja de cálculos técnicos comparativos
		Comparación teórico practico en relación a consumos facturados y los provenientes de las mediciones para determinar las cantidades de CO <sub>2</sub>	Hoja de Cálculos técnicos comparativos
5	<b>Medidas del uso racional y eficiente de la energía en edificios de propósito educativo</b>	Medidas de hábitos de ahorro energético	Cuaderno de notas
		Medidas técnico - tecnológicas	Cuaderno de notas
		Evaluación técnica basándose en cuatro principios: pagar menos por la energía, invertir en tecnologías más eficientes, hacer buen uso de la energía y maximizar la eficiencia desde el diseño.	Hoja de Cálculo de costo-beneficio.

Fuente: El Autor (2021)

La información se obtiene de una población conformada por todos los equipos instalados que consumen energía eléctrica en el edificio de la FCMFQ. En este sentido, se puede afirmar que son la totalidad de las cargas eléctricas alimentadas por el tablero principal (TDP #1), entre las que se encuentran: luminarias, unidades de aires acondicionados, tomacorrientes y otras cargas menores adscritas al edificio de la FCMFQ. La FCMFQ tiene una edificación conformada por: 4 pisos, 1 azotea, 32 aulas con capacidad de 40 estudiantes, 2 Laboratorios de cómputo con capacidad de 40 computadoras desktop, 1 Auditorios Multiusos con capacidad para 150 personas, 1 Ascensor para 8 personas y 12 oficinas docentes con capacidad para 4 personas cada una.

Para seleccionar la muestra de datos respecto al consumo energético, se realizó el muestreo no aleatorio o de juicio, con las medidas tomadas durante dos semanas del mes, son suficientes para estimar el patrón de uso en edificios de propósito educativo, dado que los mismos tienen comportamientos de uso diario ajustados a horarios de clases previamente establecidos. El registro de data se realizó durante un periodo de evaluación de 13 días, 23 horas y 10 minutos, desde 25 de noviembre de 2019 a las 8:11 am, hasta el 09 de diciembre de 2019 a las 7:30 am, se programó

el equipo PQ-Box 150, para realizar dichas mediciones, se registró una serie de parámetros eléctricos secuenciales tomando datos cada 600s, lo que equivale a 2011 mediciones, información pertinente requerida para la evaluación.

La recolección de datos se llevó a cabo en varias fases, partiendo por la observación directa y registro de todas las cargas conectadas a los circuitos eléctricos del edificio de la FCMFQ, luego se realizó una serie de mediciones de parámetros eléctricos con el analizador de RED Modelos PQ-Box 150, equipo de medición y registro de consumo de energía, cálculos técnicos para una mejor comprensión del consumo energético del edificio por área, y a partir de esta información se efectuó una categorización tarifaria de los costos por consumo energético, así como, la cuantificación de la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por consumo eléctrico. El procesamiento de la data capturada con el analizador de red PQ-Box 150, se llevó a cabo por medio de la utilización del software de evaluación WinPQ mobile.

## **Resultados**

Para definir el perfil de consumo eléctrico es necesario obtener el comportamiento del sistema por medio de fichas técnicas para la observación y anotación de cargas y sus tiempos de operación además del registro de los parámetros eléctricos por medio analizador de redes PQ-Box 150; este análisis es con el fin de establecer: La potencia máxima, el número de horas al que se demanda energía, entre otros aspectos importantes. Toda la información recopilada permitirá señalar el camino a tomar para establecer las estrategias de gestión ambiental a seguir, basados en los análisis técnico – económico de factibilidad del proceso.

El edificio de la FCMFQ, posee un transformador trifásico tipo pedestal de 250 KVA, que alimenta la totalidad de las cargas en sus instalaciones, la protección principal del tablero de distribución se realiza con un interruptor automático Schneider Electric de caja moldeada de 3 polos y 630 Amperes , de este derivan los circuitos asociados a la Planta N+44.75 (Planta Baja PB), Planta N+48.45 (1er Piso P1), Planta N+51.65 (2do Piso P2), Planta N+54.85 (3er Piso P3), Planta Terraza N+58.05 (Terraza PT o Azotea). En la siguiente figura se muestra, el equipo de medición analizador de red PQ-Box 150, conectado al interruptor principal del edificio de la FCMFQ, con miras a obtener información precisa del consumo de energía eléctrica.

**Figura 2:** Medición de energía realizada en el edificio de la FCMFQ



Fuente: El Autor (2021)

En la ficha de registro se detallan las cargas instaladas y que son alimentadas por el tablero principal (TDP #1), entre las que se encuentran: luminarias, unidades de aires acondicionados, tomacorrientes y otras cargas menores; éstas resumen el levantamiento eléctrico realizado y posterior digitalización de la información recopilada, en la siguiente tabla se identifican en base al consumo energético cuatro tipos de cargas: sistemas de luminarias, sistemas de aires acondicionados, sistemas de tomacorrientes y otras cargas menores.

**Tabla 2:** Ficha de registro de cargas eléctricas con consumo del edificio

	Ambiente	Sistemas de Luminarias			Aires Acondicionados		Toma Corrientes			Otras Cargas Especiales	
		Tipo	Potencia	Cant.	Cant.	BTU	Cant.	Equip.	Potencia	Cant.	Potencia
Planta Terraza	Terraza	Reflectores	400 W	4							
	Ascensor	Fluorescente	2x18 W	1						Motor	4,5 KW
Planta Baja (PB)	Aula 1	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 2	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 3	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 4	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 5	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	S. Computo 1	LED	3x18 W	16	1	60000	1	Proyector	220 W		
							40	Computadora	180 W		
	S. Computo 2	LED	3x18 W	16	1	60000	1	Proyector	220 W		
							40	Computadora	180 W		
	C. Telecom	LED	3x18 W	1	1	12000	1	Equip. Telecom	1 KW		
Auditorio (Usos Múltiples)		LED	3x18 W	16	1	60000	1	Proyector	180 W		
					2	18000	2	TV Plasma 42"	58 W		
Fachada	Fluorescente	1x42 W	22								
Baños PB	LED	3x18 W	4								
Pasillo PB	LED	2x18 W	32								
Planta 1	Aula 6	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 7	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 8	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		

(1er Piso)	Aula 9	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 10	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Oficina 1	LED	3x18 W	4	1	12000	1	Computadora	180 W		
	Oficina 2	LED	3x18 W	4	1	12000	1	Computadora	180 W		
	Oficina 3	LED	3x18 W	4	1	12000	1	Computadora	180 W		
	Oficina 4	LED	3x18 W	4	1	12000	1	Computadora	180 W		
	Oficina 5	LED	3x18 W	4	1	12000	1	Computadora	180 W		
	Oficina 6	LED	3x18 W	4	1	12000	1	Computadora	180 W		
	Oficina 7	LED	3x18 W	4	1	12000	1	Computadora	180 W		
	Oficina 8	LED	3x18 W	4	1	12000	1	Computadora	180 W		
	Oficina 9	LED	3x18 W	4	1	12000	1	Computadora	180 W		
	Oficina 10	LED	3x18 W	4	1	12000	1	Computadora	180 W		
	Oficina 11	LED	3x18 W	4	1	12000	1	Computadora	180 W		
	Oficina 12	LED	3x18 W	4	1	12000	1	Computadora	180 W		
C. Telecom	LED	3x18 W	1	1	12000	1	Equip. Telecom	1 KW			
Baños P1	LED	3x18 W	4								
Pasillo P1	LED	2x18 W	32								
Planta 2 (2do Piso)	Aula 11	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 12	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 13	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 14	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 15	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 16	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 17	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 18	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 19	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 20	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 21	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	C. Telecom	LED	3x18 W	1	1	12000	1	Equip. Telecom	1 KW		
	Baños P2	LED	3x18 W	4							
	Pasillo P2	LED	2x18 W	32							
Planta 3 (3er Piso)	Aula 22	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 23	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 24	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 25	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 26	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 27	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 28	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 29	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 30	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 31	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	Aula 32	LED	3x18 W	8	1	18000	1	Proyector	220 W		
	C. Telecom	LED	3x18 W	1	1	12000	1	Equip. Telecom	1 KW		
	Baños P3	LED	3x18 W	4							
	Pasillo P3	LED	2x18 W	32							

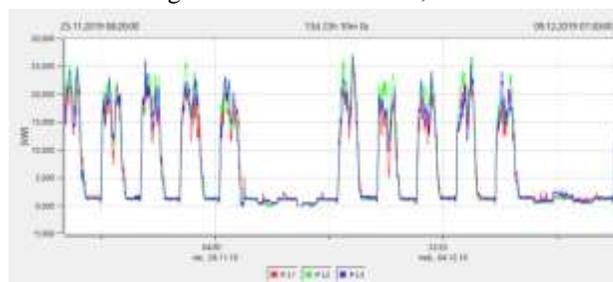
Fuente: El Autor (2021)

Entre los parámetros eléctricos medidos tenemos: tensión, corriente, potencia activa, potencia reactiva, energía, contenido armónico entre otros. Estos datos medidos permiten establecer, el

perfil de comportamiento en el consumo de energético; por lo cual se realizó un registro continuo de 13 días, 23 horas y 10 minutos, a partir de esto determinamos que los niveles más altos de consumo se registran los días laborables de lunes a viernes, entre 07:40 horas y las 16:00 horas, en donde el máximo pico se registra a 09:30 horas, entre 13:00 horas y las 14:30 horas registro una baja producto de la hora de almuerzo, mientras el consumo energético mínimo de un día laborable se registran después de las 21:00 horas hasta las 06:00 horas, teniendo en cuenta que sábado y domingo se registran los consumos energéticos mínimos.

En figura 3, se muestra la Potencia Activa grabada durante 13 días, 23 horas 10m realizada en el edificio de la FCMFQ, se observa que cierta similitud entre un día y otro, debido al uso de los espacios académicos, además hay un desbalance en los consumos de potencia en cada fase del tablero, lo que evidencia una corriente de neutro diferente de cero, por la gran cantidad de cargas monofásicas presente en el edificio.

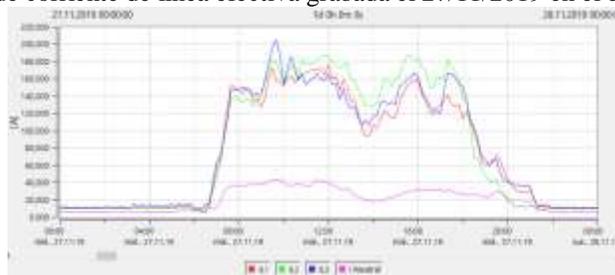
**Figura 3:** Medición Potencia Activa grabada durante 13 días, 23 horas 10m en el edificio de la FCMFQ



Fuente: El Autor (2021)

El consumo de corriente de línea absorbida por el tablero principal varía a lo largo de un día laborable entre lunes y viernes, en la siguiente figura tenemos el comportamiento de un día miércoles, podemos observar que hay un desbalance en las corrientes del tablero, en donde se evidencia una corriente de neutro diferente de cero. Cabe señalar que el edificio registra un factor de potencia inductivo debido a las cargas de iluminación y las de aires acondicionados entre otros. El consumo de energía máximo acumulado por día laborable es de 730 KWh, mientras que el mínimo es de 619 KWh, lo cual permite establecer un consumo promedio de 681 KWh por día, mientras que los fines de semana el consumo energético promedio es de 65 KWh; a partir de esta información la energía mensual consumida en el edificio de la FCMFQ es de aproximadamente 14132,09262 KWh.

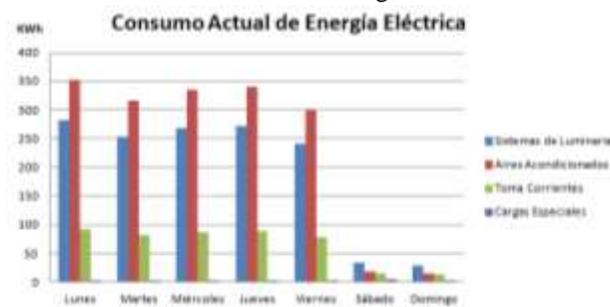
**Figura 4:** Medición de corriente de línea efectiva grabada el 27/11/2019 en el edificio de la FCMFQ



Fuente: El Autor (2021)

En función a las exploraciones y la información recopilada previamente se fundamenta matemáticamente la realidad del entorno, por medio de Cálculos Técnicos del Patrón de Consumo Actual de Energía Eléctrica que corresponde a la edificación, de forma tal que se identifican los puntos de mayor consumo energético basado al tipo de cargas y los horarios de trabajo, identificados durante el levantamiento del sistema eléctrico. Para una mejor comprensión del perfil energético, se ha dividido el consumo mensual del edificio de la FCMFQ, entre las cargas identificadas, las más resaltantes son: sistemas de iluminación, sistemas de aires acondicionados, circuitos de toma corriente general y otras cargas espaciales. A partir de esta información y como se observa en la figura 5 se define que la carga crítica es por el consumo de los aires acondicionados, seguido del sistema de iluminación.

**Figura 5:** Distribución del Consumo de energético diario de la FCMFQ



Fuente: El Autor (2021)

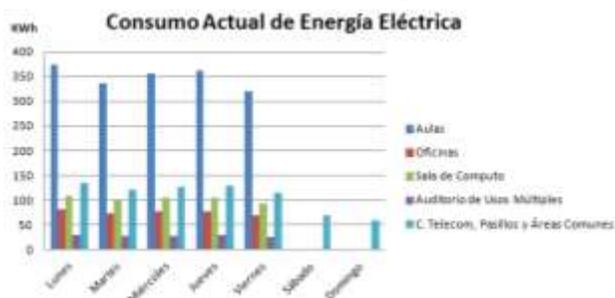
**Tabla 3:** Distribución del Consumo de energético mensual de la FCMFQ

Tipo de Cargas Eléctricas	Consumo Energético (KWh)								Semanal	Mensual
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo			
<b>Sistemas de Luminarias</b>	281,574	253,228	267,72	271,667	241,392	33,948	29,201	1378,73	5514,92	
<b>Aires Acondicionados</b>	351,858	316,437	334,546	339,478	301,646	17,474	15,031	1676,47	6705,88	
<b>Toma Corrientes</b>	91,406	82,204	86,909	88,19	78,362	14,663	12,613	454,347	1817,388	
<b>Cargas Especiales</b>	3,496	3,144	3,324	3,373	2,997	3,839	3,302	23,475	93,9	
<b>Total Consumo Actual de Energía Eléctrica</b>	728,334	655,013	692,499	702,708	624,397	69,924	60,147	3533,022	14132,088	

Fuente: El Autor (2020)

El edificio de la FCMFQ alberga gran cantidad de aulas de clases, oficinas docentes, laboratorios de computación, entre otros; por lo que se debe considerar del consumo según el tipo de actividad que se realiza. Tomando en cuenta que las aulas de clases y las oficinas docentes poseen un sistema de iluminación compuesto por luminarias tipo LED 3x18W (3 tubos de 18W), mientras que en los pasillos hay luminarias 2x18W (2 tubos de 18W); la iluminación exterior de la fachada del edificio es por medio de postes de iluminación de 42 W y con reflectores vapor de sodio de 400W. Otro aspecto de mayor consumo energético en la edificación lo representan las aires acondicionados, todo esto sustentado por la información recopilada en los ítems anteriores, fundamentados en el levantamiento de la información preliminar, en los cuales oficinas y aulas de clases tiene unidades de 18000 BTU/h mientras el auditorios cuenta con unidades de 60000 BTU/h; en los circuitos de toma corriente hay diferentes cargas que son variables, pero las más significativas las representaremos por equipos audiovisuales tales como, computadores y proyectores (Video Beam) que se encuentran en las aulas de clases como principal herramienta de trabajo; todas estas cargas eléctricas se encuentran en funcionamiento continuo de lunes a viernes desde las 07:30 horas hasta las 18:00 horas, mientras los fines de semana registran un bajo consumo energético.

**Figura 6:** Distribución del Consumo de energético diario por ambiente en el edificio de la FCMFQ

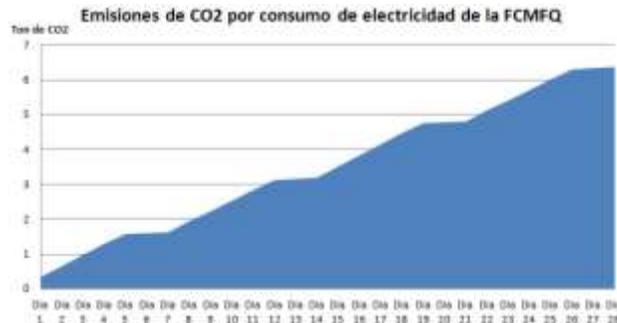


Fuente: El Autor (2021)

Un aspecto importante dentro de la caracterización del consumo eléctrico es el análisis de las cargas críticas, en este caso definimos los lugares que mayor consumo energético, entre las que resaltan las Aulas (50%), Sala de Computo (14%), Oficinas docentes (11%), Auditorio de Usos Múltiples (4%) y las Áreas Comunes compuestas por pasillos, baños y los cuarto de Telecomunicaciones (21%). Identificando que en estos espacios académicos se usan de manera continua durante la jornada de trabajo. Partiendo de la información analizada, se determinó las

emisiones de CO<sub>2</sub> actuales que posee el edificio de la facultad, a partir del factor promedio nacional de emisiones de CO<sub>2</sub>e por consumo de electricidad, cuyo valor es de 0.4907 tCO<sub>2</sub>/MWh para el año 2017, de 0.5319 tCO<sub>2</sub>/MWh para el año 2018 y de 0.4509 tCO<sub>2</sub>/MWh para el año 2019. [28]. Además, el cargo por comercialización del servicio eléctrico es de 0,09 USD, considerando el pliego tarifario de las empresas eléctricas y la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), lo que implica un gasto mensual en la factura por consumo energético de 1271,90 USD. Como se observa en la siguiente figura tenemos un total de emisiones de 6,372160561 tCO<sub>2</sub>e acumuladas en un periodo de 28 días.

**Figura 7:** Emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo de electricidad de la FCMFQ



Fuente: El Autor (2021)

Una vez obtenido el perfil de consumo energético e identificadas los lugares con cargas críticas en sistemas de iluminación y aires acondicionados del edificio de propósito educativo, debemos establecer algunas estrategias que permitan el uso racional de energía y la protección ambiental mediante el análisis costo-beneficio. Estos datos de los consumos energéticos instalados permiten direccionar estrategias para la reducción de elevados consumos de energía eléctrica que demanda la facultad.

### Medidas de ahorro energético para el edificio de propósito educativo

Las medidas de ahorro energético tienen el propósito de disminuir el consumo de energía y la demanda de potencia para obtener beneficios económicos y ambientales. Para establecer estas medidas en la FCMFQ se tomó en cuenta la evaluación del sistema eléctrico, en donde se identificaron las cargas críticas y se clasificaron las zonas del edificio con el fin de identificar los espacios adecuados para la aplicación de los distintos métodos de ahorro. La categorización de los ambientes en los edificios de propósito educativo, según su nivel de utilización es de vital

importancia para proyectar las diferentes medidas de ahorro, ya que los lugares de mayor consumo pueden ser utilizados de manera continua o esporádica, teniendo en cuenta el aporte de luz del sol en los diferentes espacios. Además, para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo de energía eléctrica, se debe trabajar de manera conjunta en el uso racional y eficiente de la energía. En este sentido para lograr el ahorro y la eficiencia energética es necesario adoptar medidas que conllevan a un cambio en los hábitos de consumo, cambios de carácter tecnológico y sustitución de fuentes de energía contaminantes, además del cumplimiento de las normativas, fiscales y de gestión vigentes.

Las medidas de los cambios en los hábitos de consumo energético, están fundamentadas en una cultura del ahorro y de un consumo responsable a la hora del uso de los espacios académicos; para propiciar el cambio de cultura es necesario llevar a cabo campañas con miras a fomentar la concienciación ciudadana, la difusión, la divulgación y la formación en medidas del uso racional y eficiente de la energía. Se recomienda la realización de capacitaciones acerca del cuidado del ambiente y la importancia de ahorrar energía, las charlas deben dirigirse a: encargados de mantenimiento, docentes, estudiantes y personal en general. Entre los hábitos de consumo resaltan, para los sistemas de iluminación: apagar luces innecesarias y el aprovechamiento de la luz natural, resulta más gratificante y es gratuita, seleccionar las bombillas adecuadas a las necesidades del ambiente; para los espacios con aires acondicionados se recomienda que si se puede, se prescindan, y en los casos que no, esté se programe a una temperatura confortable de 23°C; para los equipos ofimáticos presentes en los edificios de propósito educativo se recomienda que se, apaguen completamente si no van a ser usados en más de media hora, apagar siempre el monitor del computador, aunque sea para unos minutos, apagar la impresora y la fotocopidora cuando no esté en uso, se recomienda utilizar el ascensor lo menos posible.

Las medidas de carácter tecnológico están orientadas a reducir el consumo energético, a través de la incorporación de:

Propuesta de cambios, sustituciones y actualizaciones tecnológicas de equipos, mediante sistemas de iluminación de bajo consumo con la letra A en color verde en su etiquetado energético, se recomienda sustituir todas las luminarias por tecnología LED de alto brillo, una vez identificado equipos de aires acondicionados que cuenten con tecnologías obsoletas y gas refrigerante R-22; se debe sustituir por equipos que trabajen con el refrigerante R410A que además es amigable con el

medio ambiente; en este sentido se recomienda utilización de tecnologías con SEER de 13 porque esto influye en una considerable mejoría de la eficiencia energética. Reemplazo de los equipos de oficina monitores, impresora, fotocopidora, proyectores entre otros, por equipos de alto rendimiento.

Propuesta de gestión y optimización para el manejo de cargas eléctricas, entre las cuales se destacan el control para la desconexión de los circuitos no prioritarios, circuitos de control de la iluminación de las instalaciones, por medio de reguladores electrónicos, minuterios, detectores de movimiento y presencia, interruptores específicos, interruptores crepusculares entre otros.

Circuitos para control de Aire Acondicionado mediante termostatos, programadores horarios, entre otras tecnologías. Circuito de control para el bombeo de agua mediante programadores horarios, variadores de velocidad.

Propuesta de aprovechamiento de luz natural y otras fuentes renovables de energía, por medio de un sistema de control de las persianas en las ventanas de aulas de clases y oficinas, posibilidad de penetración de fuentes renovables de energía (FRE) por medio de paneles fotovoltaicos distribuidos.

Las medidas normativas obligan a los consumidores a cumplir una serie de normas (ordenanzas y decretos) vigentes establecidos por Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

Las Medidas de gestión tomadas fueron una serie de iniciativas destinadas a mejorar la eficiencia energética a partir de los requisitos del estándar ISO 50001 con miras a la disminución del consumo energético.

### **Análisis comparativo de las estrategias propuestas de actuación energética**

La estrategia energética N°1 (EE N°1) no implica ningún tipo de inversión monetaria, dado que se basa en un cambio paulatino de los hábitos de consumo mediante el uso racional y eficiente de la energía logrando con esta medida una reducción aproximada de un 13,14 % y dejando de emitir a la atmosfera 0,838 tCO<sub>2</sub>e mensualmente.

La estrategia energética N°2 (EE N°2 Luminaria) correspondiente al cambio de tecnología reemplazando de bombillos fluorescentes de 42W, por bombillos de tecnología LED de 20W, así como el cambio de los reflectores por un kit LED de 100W, con un costo monetario de 150 \$, y se obtiene una reducción aproximada de un 3 % y dejando de emitir a la atmosfera 0,192 tCO<sub>2</sub>e mensualmente.

La estrategia energética N°2 (EE N°2 A.A) correspondiente al cambio de tecnología utilizada en los sistemas de aires acondicionado implica una inversión de 38688,41 \$, correspondiente a la sustitución de los aires acondicionado actuales de tecnología obsoleta con gas refrigerante R-22, por equipos de tecnología inverter y gas ecológico R410, entre los cuales destacan unidades inverter de: 12000BTU en 529,97\$, de 18000BTU en 749,97\$, y 60000BTU en 1569,97\$ cada uno. Este cambio tecnológico permite obtener una reducción aproximada de un 22,01 % y dejando de emitir a la atmosfera 1,403 tCO<sub>2</sub>e mensualmente.

La estrategia energética N°3 (EE N°3) de gestión del sistema de iluminación por medio de circuitos de control electrónicos con una inversión de de 5260 \$ logrando una reducción aproximada de un 10,20% y dejando de emitir a la atmosfera 0,65 tCO<sub>2</sub>e mensualmente.

La estrategia energética N°4 (EE N°4) de gestión del sistema de aires acondicionados por medio de circuitos de control electrónicos implica una inversión monetaria de 1060 \$ logrando una reducción aproximada de un 10,59% y dejando de emitir a la atmosfera 0,675 tCO<sub>2</sub>e mensualmente.

La estrategia energética N°5 (EE N°5) posibilidad de uso de fuentes renovables de energía (FRE) por medio de la integración de microgeneración en las instalaciones de baja tensión del edificio es viable con una inversión de 147466 \$ logrando un aprovechamiento de la energía solar, con el fin de obtener una reducción aproximada de un 37,87% y dejando de emitir a la atmosfera 2,414 tCO<sub>2</sub>e mensualmente.

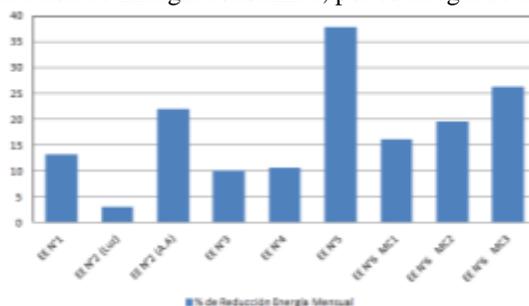
La estrategia energética N°6 de aplicación de medidas conjuntas se subdivide en:

Medida Conjunta N°1 (EE N°6 MC1) que combina la estrategia de actuación energética N°1 (cambio en los hábitos de consumo energético) en combinación con la implementación de la estrategia energética N°2 (sustituciones y actualizaciones tecnológicas), con un costo monetario de 150 \$, y se obtiene una reducción aproximada de un 16,14 % y dejando de emitir a la atmosfera 1,029 tCO<sub>2</sub>e mensualmente.

Medida Conjunta N°2 (EE N°6 MC2) propone aplicar de manera conjunta las siguientes estrategias: cambio en los hábitos de consumo energético, en conjunto con sustituciones y actualizaciones tecnológicas en luminarias, aplicando la gestión del sistema de iluminación, y de esta manera obtener una reducción aproximada de un 19,54 % y dejando de emitir a la atmosfera 1,246 tCO<sub>2</sub>e mensualmente por una inversión de 5410 \$.

Medida Conjunta N°3 (EE N°6 MC3) se debe aplicar de forma combinada las estrategias de cambios de los hábitos de consumo energético, en conjunto con sustituciones y actualizaciones tecnológicas en sistemas de iluminación, aplicando la gestión del sistema de iluminación en conjunto con la gestión del sistema de aires acondicionados, logrando una reducción aproximada de un 26,35 % y dejando de emitir a la atmosfera 1,68 tCO2e mensualmente por una inversión de 6470 \$.

**Figura 8:** % de Reducción de Energía consumida, por estrategia de actuación energética



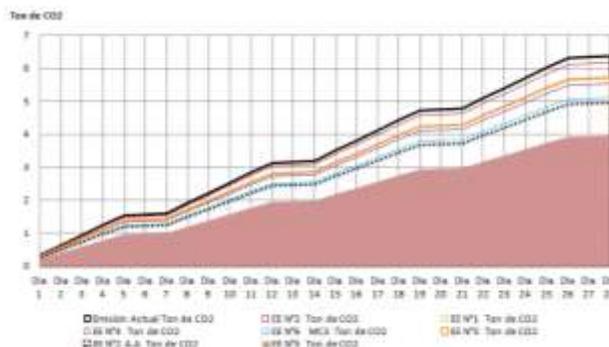
Fuente: El Autor (2021)

**Tabla 4:** Análisis comparativo de las estrategias propuestas de actuación energética

Estrategia de actuación energética	Energía Actual Mensual (KWh)	Emisión Actual Ton de CO2	Energía Estimada (KWh)	Emisión estimada Ton de CO2	Reducción Energía Mensual (KWh)	Reducción estimada Ton de CO2	% de Reducción Energía Mensual	Costo estimado de implementación (\$)
EE N°1	14132,0926	6,37216056	12275,128	5,53485522	1856,965	0,838	13,14	No requiere
EE N°2 (Luminaria)	14132,0926	6,37216056	13708,132	6,18099672	423,961	0,192	3	150
EE N°2 (A.A)	14132,0926	6,37216056	11021,616	4,96964665	3110,477	1,403	22,01	38688
EE N°3	14132,0926	6,37216056	12690,62	5,72220056	1441,473	0,65	10,2	5260
EE N°4	14132,0926	6,37216056	12635,504	5,69734875	1496,589	0,675	10,59	1060
EE N°5	14132,0926	6,37216056	8780,268	3,95902284	5351,825	2,414	37,87	147466,00
EE N°6 MC1	14132,0926	6,37216056	11851,176	5,34369526	2280,917	1,029	16,14	150
EE N°6 MC2	14132,0926	6,37216056	11370,68	5,12703961	2761,413	1,246	19,54	5410
EE N°6 MC3	14132,0926	6,37216056	10408,288	4,69309706	3723,805	1,68	26,35	6470

Fuente: El Autor (2020)

**Figura 9:** Análisis comparativo del CO2 acumulado en las propuestas ahorro energético



**Fuente:** El Autor (2021)

## Discusion

La evaluación del sistema eléctrico de la FCMFQ, provee una idea clara del comportamiento energético de los diferentes ambientes del edificio, identificando cargas críticas en cuanto a sistemas de iluminación y aires acondicionados, considerando como estrategia de análisis dividir el consumo en zonas siendo estas: Aulas (50%), Sala de Computo (14%), Oficinas docentes (11%), Auditorio de Usos Múltiples (4%) y las Áreas Comunes compuestas por pasillos, baños y los cuarto de Telecomunicaciones (21%); con el fin de obtener una mejor organización para el análisis y comportamiento del consumo energético.

Las medidas de uso racional y eficiente de la energía, van desde los cambios en los hábitos de consumo energético por medio de la concientización hacia el cuidado del ambiente, mejorando las costumbres de uso de la energía. Esta es una medida muy favorable ya que no implica inversión económica, el objetivo de esta medida no es prohibir, es crear conciencia por medio de capacitación e incentivos respecto al uso responsable de las instalaciones, esta es una medida en la cual se involucra a estudiantes, docentes, personal de mantenimiento, entre otros. La “conducta energética” implica una cultura de limpieza e inspección de mantenimiento rutinario en sistemas de aires acondicionados, así como, en persianas, ventanas y claraboyas de aprovechamiento de luz natural.

Las medidas de cambios, sustituciones y actualizaciones tecnológicas, resulta una medida viable en esta evaluación, considerando que esta medida debe ser aplicada únicamente en ciertos espacios, sin embargo, es necesario analizar la factibilidad de cada medida en base a términos económicos de inversión. La tecnología LED de alto brillo proporciona igual cantidad de lumen

para un menor consumo, por otro lado, se recomienda dejar de usar el refrigerante R22 que se utiliza en la totalidad de los equipos, en virtud que se evidenció lo dañino que es este refrigerante a la capa de ozono; y se dio un plazo hasta el 2015 para dejar de producirlo y hasta el 2030 para la desaparición total del mismo.

En cuanto a la propuesta gestión y optimización para el manejo de cargas eléctricas, se han clasificado cada uno de los ambientes en función del nivel de aporte de luz natural, los circuitos de control y los reguladores electrónicos para cumplir esta medida implican una inversión económica considerable, por lo tanto, esta medida debe aplicar únicamente en determinados ambientes de la edificación, con lo cual se logrará maximizar el ahorro energético y minimizar los costos de inversión.

Con miras a la incorporación de fuentes renovables de energía, se promueve el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes de bajo impacto, por medio de la instalación de centrales fotovoltaicas de mayor potencia en la azotea del edificio, así como, paneles fotovoltaicos distribuidos en cada uno de los postes de iluminación exterior en la fachada de la edificación. Sin lugar a dudas, por medio de esta medida se logra sustituir los combustibles fósiles por energías renovables, con lo que se consigue eliminar las emisiones de CO<sub>2</sub> contaminantes por consumo eléctrico.

Todas estas medidas conjuntas tienen como objetivo fundamental implementar un desarrollo energético sostenible y transformar la matriz energética del edificio de propósito educativo, en este sentido el ahorro de energía puede alcanzarse en cualquiera de las actividades diarias. Sin embargo, la aplicación conjunta de todas las medidas estudiadas está orientada a la importancia de cambiar nuestra forma de usar la energía con el mínimo impacto y riesgo ambiental, así como la reducción de los pagos en la factura de servicio eléctrico; esto significa aprovechar los recursos energéticos de manera eficiente e inteligente.

## Referencias

1. BBC News Mundo, «Cambio climático: los gráficos animados que muestran los 15 países que más CO<sub>2</sub> emitieron en los últimos 20 años,» 23 diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-50811389>.
2. Naciones Unidas, CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO, New York: ONU, 1992.

3. I. Cruz, «Emisiones de CO2 en hogares urbanos. El caso del Distrito Federal,» ESTUDIOS DEMOGRÁFICOS Y URBANOS. SciELO, pp. VOL. 31, NÚM. 1 (91), pp. 115-142 , 2016.
4. Educar Chile, «Electricidad y vida cotidiana,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.aprendeconenergia.cl/electricidad-y-vida-cotidiana/>.
5. Agencia Europea de Medio Ambiente, «La energía y el cambio climático,» 23 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2017-configuracion-del-futuro/articulos/la-energia-y-el-cambio-climatico>.
6. R. Pérez y W. Osal, «Gases de efecto invernadero por generación de electricidad en usuarios no residenciales de Venezuela 2006-2017,» Publicaciones en Ciencias y Tecnología., pp. Vol.13, No1, Enero-Junio (2019) 30-40. ISSN: 1856-8890. EISSN: 2477-9660. CC BY-NC-SA , 2019.
7. Espíndola y Valderrama, «Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas,» Información Tecnológica, Scielo, pp. Vol. 23(1), 163-176, 2012.
8. L. Flores y I. Jáuregui, Guía de implementación e interpretación de requisitos del estándar ISO 50001:2018, México: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, Conuee, 2020.
9. Espíndola y Valderrama, «Huella del Carbono. Parte 2: La Visión de las Empresas, los Cuestionamientos y el Futuro,» Información Tecnológica, Scielo, pp. Vol. 23(1), 177-192, 2012.
10. [10] Ministerio para la Transición Ecológica, GUÍA PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO Y PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MEJORA DE UNA ORGANIZACIÓN, Madrid: Oficina Española de Cambio Climático, 2018.
11. Directrices del IPCC, «Directrices del IPCC para los Inventarios nacionales de gases de efecto invernadero,» 2006. [En línea]. Available: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol2.html>.

12. Orientaciones del IPCC, «Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero,» 2006. [En línea]. Available: [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/gpgaum\\_es.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/gpgaum_es.html).
13. Reporte IPCC, «IPCC 4th Assessment Report, 2007,» 2007. [En línea]. Available: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_synthesis\\_report.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm).
14. UNFCCC, «TOOL07.Tool to calculate the emission factor for an electricity system:,» 2019. [En línea]. Available: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/tools/am-tool-07-v7.0.pdf>.
15. CONELEC, LA ESTADÍSTICA DEL SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO DEL AÑO 2013, Ecuador: Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC, 2013.
16. L. Macas, POLÍTICAS EN GESTIÓN ENERGÉTICA PARA INCENTIVAR EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ECUADOR. ¿COMO INCIDE LA CRISIS DEL PRECIO DEL PETRÓLEO?, Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2015.
17. Toman, «Energy and Economic Development: An Assessment of the State of Knowledge,» The Energy Journal, pp. Vol 24 (4), pág 93-112, 2003.
18. F. J. R. Martínez, Eficiencia energética en edificios: certificación y auditorías energéticas, Paraninfo, 2006.
19. J. M. García, Gestión de la eficiencia energética cálculo del consumo, indicadores y mejora, 2012.
20. Correa, González y Pacheco, «Energías renovables y medio ambiente. su regulación jurídica en Ecuador,» Revista Universidad y Sociedad, 2016.
21. M. G. Ramos, «Tendencias tecnológicas en recursos energéticos,» URJC online, 2013.
22. [22] M. R. Pérez, «Energía fotovoltaica en la provincia de manabi (accedido jun. 04, 2020),» 2018.
23. G. Ordoñez, «Generación de energía eléctrica y las emisiones de CO2: una aplicación para Ecuador 1971-2011,» 2013. [En línea]. Available: <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/7945/1/TESIS%20GUISELA%20ORDONEZ.pdf>.

24. PLANEE, BID, MER, «Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador 2016-2035,» Manthra Comunicación, Quito, 2017.
25. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, «Guía práctica para el uso eficiente de la energía eléctrica en Ecuador,» MEER, Quito, 2014.
26. MEER, Políticas y Estrategias para el Cambio de la Matriz Energética del Ecuador, Quito: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2008.
27. PQ-Box150, «Manual de Funcionamiento Analizador de redes/Registrador Modelos PQ-Box 150,» Disponible en nuestro sitio web, [www.a-eberle.de](http://www.a-eberle.de), 2016.
28. CTFE, FACTOR DE EMISIÓN DE CO2 DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE ECUADOR, Ecuador: Operador Nacional de Electricidad CENACE, 2020.

© 2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)