

Caracterización Energética del Edificio Centic implementando el Sistema de Gestión Integral de la Energía (SGIE).

Jizeth Sulema Cifuentes Rincón y David Leonardo Gamboa Bueno

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electricista

Director:

Hermann Raúl Vargas Torres

Doctor en Ingeniería Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

A mis padres, Martín Cifuentes y Sulema Rincón,

Quienes son las dos personas más maravillosas que conozco y estoy infinitamente agradecida por tenerlos en mi vida. Siempre me han apoyado en todas mis ideas desde que tengo memoria, su existencia en mi vida me hace la más feliz y de todos mis triunfos, ellos son los dueños. Sin ellos no podría lograr nada de esto, los amo.

A mi hermana, Angélica Belén Cifuentes Rincón,

Quien creyó en mí desde el día uno, cada día me recuerda que puedo con todo y me recalca constantemente lo orgullosa que está de que estudiara Ingeniería Eléctrica. Siempre me ha escuchado y me ha ofrecido su apoyo incondicional, gracias por ser hermana y ser amiga, te amo.

A Carmen Romero,

Quien me acompañó con alguna ocurrencia cuando tuve que pasar días enteros de estudio y me consiente en casa con sus mejores recetas. Gracias por llegar a nuestras vidas.

A Mis Mejores Amigos,

Quienes a diario he compartido mis risas y mis llantos, me escucharon quejarme sobre la universidad durante 5 años y aun así siempre me apoyaron, me escucharon y me impulsaron a terminar mis estudios. A ustedes con los que siempre he encontrado una risa estruendosa un sábado por la noche y a su vez me ofrecen su hombro para llorar un domingo por la tarde. Gracias, los amo.

Jizeth Sulema Cifuentes Rincón

A Dios

Por haberme dirigido a lo largo de mi carrera, acompañándome, guiándome e inspirándome a ser un gran profesional. Durante 10 semestres comprendí lo que era tener una experiencia viva con ÉL y este título obtenido también será para hablar de las maravillas y el amor de Dios.

A mi madre Judith Bueno Lizarazo

Por impulsarme, inspirarme y motivarme todos los días a vivir diferente, a cambiar mis estrellas, a no rendirme jamás, porque es la persona más auténtica que he conocido, mujer virtuosa y esforzada, que a lo largo de toda mi vida me ha encaminado por los senderos de la grandeza y de la humildad, e igualmente me ha enseñado a confiar en mis capacidades, a ser valiente, esforzado y a siempre salir por la puerta grande.

A mi padre Héctor José Gamboa García

Por enseñarme el valor de la responsabilidad, el peso de las acciones y el factor agregado de siempre ir más allá de donde todos pueden llegar. Gran hombre, modelo para mi vida de la pulcritud y perfección, sabio consejero quien toda la vida me enseñó que primero es el cumplimiento del deber y después consecucionalmente el disfrute del placer.

A mi abuela María Teresa Lizarazo de Bueno

Por apoyarme con sus oraciones cada semestre, darme los mejores consejos y siempre estar atenta a mis necesidades. Por todo lo lindo que ayudó a sembrar en mi corazón junto con mi madre.

A mi hermana, Sara Vianeth Gamboa Bueno

Compañera de vida, apoyo incondicional, gran confidente y amiga, mi polo a tierra en momentos importantes de la vida, con quien desde el primer momento que vino a este mundo supe que jamás estaría solo. Gran persona que con su carisma y sentido del humor puede convertir hasta el día más gris en una felicidad plena y quien me enseñó, a convertir cada desgracia en una locura.

A mi amigo, José Daniel Velasco Cáceres

Gran amigo, que conocí desde el primer día de la inducción a la vida universitaria y con quien a lo largo de 5 años descubrí el significado de la frase “Al final, somos lo que dejamos en el corazón de las personas”

David Leonardo Gamboa Bueno

Agradecimientos

A Dios en primer lugar, por guiarnos y dirigirnos para llevar a cabo este proyecto de grado.

Al Ing. Edwin Hernando Ordoñez Mantilla, por su colaboración, explicaciones y consejos a lo largo del desarrollo de este trabajo de grado.

Al Caballero Gustavo Latorre Bayona, por su disposición, carisma y ayuda para facilitarnos los instrumentos necesarios para desarrollar este trabajo de grado a tiempo.

Al Msc. Manuel José Ortiz Rangel por sus consejos, recomendaciones y gran apoyo a lo largo de este trabajo de grado.

A José Vera y Darío Vera, por su disposición para llevar a cabo este proyecto y su ayuda desinteresada en todo momento.

A todas aquellas personas que a lo largo de nuestra carrera dejaron algo lindo y agradable en nuestros corazones.

Contenido

	Pág.
Introducción	16
1. Objetivos	18
1.1 Objetivo General	18
1.2 Objetivos Específicos.....	18
2. Identificación del Edificio Centic	18
2.1 Diagrama unifilar	19
2.2 Subestación del edificio	20
2.3 Planta eléctrica	22
2.4 Bombas de agua y emergencia.....	23
2.5 Gabinetes de la subestación	25
2.6 UPS	26
2.7 Baterías de respaldo UPS.....	28
3. Caracterización energética del Centic.....	28
3.1 Metodología empleada para el desarrollo de la caracterización energética.....	29
3.2 Recopilación del aforo	31
3.3 Registro del consumo energético	33
3.4 Instrumentos utilizados para la medición	34
3.5 Perfil de carga de todo el Edificio Centic	38
3.6 Gráfico de consumo-producción (E vs P) (Línea base)	39
3.7 Diagrama de dispersión y correlación.....	40

- 3.8 Gráfico de consumo y producción en el tiempo (E-P vs t)41
- 3.9 Gráfico de control44
- 3.10 Gráfico de consumo-producción meta (E vs P Meta).....48
- 3.11 Diagrama índice de consumo-producción (IC vs P).....49
- 4. Variables relevantes y análisis de datos52
 - 4.1 Variables relevantes y factores estáticos.....52
 - 4.2 Calidad de la energía.....59
 - 4.3 Diagnóstico energético.....60
- 5. Planteamiento de posibles soluciones63
 - 5.1 Ahorros energéticos65
 - 5.2 Reducción de costos.....66
 - 5.3 Orden de soluciones68
 - 5.3.1 Por orden de facilidad de implementación.....69
 - 5.3.2 Por orden costo de inversión.....69
 - 5.3.3 Por orden de gestión energética70
 - 5.4 Soluciones alternas ambientales71
 - 5.5 Sensibilización y cultura energética.....75
 - 5.6 Auxiliar URE80
- 6. Conclusiones y observaciones81
- Referencias Bibliográficas86

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Diagrama unifilar.....	19
Figura 2. Transformador 1. Marca SIEMENS.....	20
Figura 3. Parámetros específicos del Transformador 1.	21
Figura 4. Transformador 2. Marca ABB.....	21
Figura 5. Parámetros específicos del Transformador 2.	22
Figura 6. Planta Eléctrica de respaldo.....	23
Figura 7. Parámetros específicos de Planta Eléctrica.	23
Figura 8. Bombas de Edificio Centic	24
Figura 9. Parámetros específicos de bomba de agua	24
Figura 10. Parámetros específicos de Bomba contra incendios.....	24
Figura 11. Gabinete 1 de la subestación	25
Figura 12. Parámetros específicos de UPS 20kVA.	27
Figura 13. Distribución y funcionalidad de UPS del edificio.....	27
Figura 14. Especificaciones batería Fuli Battery	28
Figura 15. Metodología aplicada para la caracterización energética.....	31
Figura 16. Control de personas atendidas	32
Figura 17. Comparación del aforo.	32
Figura 18. Instalación de equipos de medida.....	34
Figura 19. Analizador de Redes de Marca HT-GSC59	35
Figura 20. Registrador trifásico de energía Fluke 1730.....	36

Figura 21. Perfil de carga energético mensual del edificio Centic.	38
Figura 22. Gráfico de consumo vs producción (E vs P) (Línea base)	39
Figura 23. Diagrama de correlación.....	41
Figura 24. Gráfico E-P vs t	42
Figura 25. Control de las personas atendidas y consumo energético	42
Figura 26. Variación relativa de la producción y el consumo en el tiempo.....	44
Figura 27. Datos del gráfico de control	45
Figura 28. Gráfico de control.....	46
Figura 29. Datos del nuevo gráfico de control.....	47
Figura 30. Nuevo gráfico de control	47
Figura 31. Gráfico E vs P meta.....	48
Figura 32. Datos para el diagrama índice de consumo-producción (IC vs P)	50
Figura 33. Diagrama índice de consumo-producción (IC vs P).....	50
Figura 34. Tabla de Caracterización Energética por la UPME.....	51
Figura 35. Impacto de las variables relevantes y factores estáticos.....	53
Figura 36. Diagrama de Pareto	53
Figura 37. Ineficiencia en el sistema de iluminación.....	55
Figura 38. Ineficiencia en los equipos de computo.....	57
Figura 39. Ineficiencia del sistema de refrigeración.....	58
Figura 40. Tabla de soluciones.	64
Figura 41. Propuesta reducción de costos sin inversión	65
Figura 42. Ahorro con inversión de interruptor dimerizable	66
Figura 43. Comparación de consumo en el 2014 y 2023.....	67

Figura 44. Tabla de comparación del consumo año 2014 y año 2023.....68

Figura 45. Tabla con soluciones por orden con facilidad de implementación.....69

Figura 46. Tabla con soluciones por orden de inversión.70

Figura 47. Tabla con soluciones por orden de gestión energética.71

Figura 48. Vista superior del Edificio Centic73

Figura 49. Vista superior del edificio E3T.....73

Figura 50. Ejemplo de edificación con fachada verde74

Figura 51. Fachada del Edificio Centic.....75

Figura 52. Afiche de concientización energética.....76

Figura 53. ABC de la energía, afiches para pasillos.77

Figura 54. Afiche para interruptores en salones.77

Figura 55. Afiche para pantallas suspendidas en computadores.....78

Figura 56. Afiche de concientización sobre consumo energético en el Centic.78

Figura 57. Campaña energética.....79

Lista de Apéndices

En el siguiente enlace se encuentran todos los apéndices que componen este proyecto:

https://drive.google.com/drive/folders/1zvM_Bp3RMDPyABEVxiyMBLWVp8tX61cb?usp=drive_link

Apéndice A. Generalidades del proyecto.

Apéndice B. Estructura de los sistemas de gestión energética.

Apéndice C. Identificación del edificio.

Apéndice D. Registro fotográfico.

Apéndice E. Control del aforo.

Apéndice F. Perfiles de carga por aforo.

Apéndice G. Perfiles de carga con plantilla (Teóricos).

Apéndice H. Instalación de los equipos de medida.

Apéndice I. Perfiles de carga.

Apéndice J. Calidad de la Energía. Apéndice K. Diagnostico energético.

Apéndice L. Planteamiento de posibles soluciones.

Apéndice M. Actividades que complementan el SGIE.

Apéndice N. Ficha técnica Analizador HT.

Apéndice O. Ficha técnica Registrador Fluke.

Apéndice P. Ficha técnica Luxómetro.

Apéndice Q. Ficha técnica Pirómetro

Apéndice R. Ficha técnica Cámara térmica fluke.

Glosario

IDEn: Indicador de desempeño energético que hace referencia a la medida o unidad de desempeño energético según lo defina la organización

ISO: Organización Internacional de Normalización.

LBEn: Línea base energética que corresponde a una referencia cuantitativa que proporciona la base para la comparación del desempeño energético.

NTC: Norma Técnica Colombiana.

Organización: Persona o grupo de personas que tienen sus propias funciones con responsabilidades, autoridades y relaciones para lograr sus objetivos.

PHVA: Planear, hacer, verificar, actuar.

SGA: Sistema de Gestión ambiental

SGC: Sistema de Gestión de la Calidad

SGEn: Sistema de Gestión de la Energía, para establecer una política energética, objetivos, metas energéticas, planes de acción y procesos para alcanzar los objetivos y las metas energéticas.

SIG: Sistema Integrado de Gestión

SISO: Seguridad industrial y Salud Ocupacional

USE: Uso significativo de la energía, que representa un consumo de energía sustancial y que ofrece un potencial considerable para la mejora del desempeño energético

Símbolos

A	Ampere
C°	Grados Celsius
fp	Factor de potencia
kVA	Kilovolt- ampere
kVAr	Kilovolt- ampere reactivo
kWh	kilowatt- hora
lx	Lux
Mbps	Megabit por segundo
mK	MiliKelvins
V	Volt

Resumen

Título: Caracterización energética del edificio Centic implementando el Sistema de Gestión Integral de la Energía (SGIE)*.

Autores: David Leonardo Gamboa Bueno y Jizeth Sulema Cifuentes Rincón**

Palabras Clave: Gestión de la energía, Caracterización energética, Eficiencia, Uso racional de la energía, Consumo energético, Mejora continua, Metas energéticas.

Descripción:

Con el fin de promover un uso racional y eficiente de la energía se busca actualizar la caracterización del edificio Centic, el cual es uno de los edificios de mayor consumo energético en la Universidad Industrial de Santander, para esto se tienen en cuenta diferentes aspectos y normas, entre ellas la ISO 5000-1, la cual por medio de diferentes requisitos desarrolla lo que se requiere para un sistema de gestión de energía efectivo. Este edificio es diariamente visitado por más de 2.000 estudiantes y administrativos, los cuales dependen de su uso para desarrollar diferentes labores.

Por medio de la actualización de la caracterización se busca recopilar los datos y realizar un análisis que permita visualizar a detalle el consumo energético de todo el edificio e identificar las áreas o sistemas que presentan mayor consumo de energía eléctrica y a su vez conocer las ineficiencias relacionadas con el consumo de la energía, todo esto con el fin de reducir costos por medio de la optimización en el uso de los recursos o la implementación de nuevos elementos y la aplicación de diversas estrategias que permiten un mayor aprovechamiento de la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del edificio.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones
Director: Hermann Raúl Vargas Torres Doctor en Ingeniería Eléctrica

Abstract

Title: Energy characterization of the Centic building implementing the Integral Energy Management System (SGIE)*

Authors: David Leonardo Gamboa Bueno and Jizeth Sulema Cifuentes Rincón **

Key words: Energy management, Energy characterization, Efficiency, Rational use of energy, Energy consumption, Continuous improvement, Energy goals.

Description:

In order to promote rational and efficient use of energy, we seek to update the characterization of the Centic building, which is one of the buildings with the highest energy consumption at the Universidad Industrial de Santander, taking into account different aspects and standards, including ISO 5000-1, which through different requirements develops what is required for an effective energy management system. This building is visited day-to-day by more than 2,000 students and administrative staff, who depend on its use for different tasks.

The purpose of updating the characterization is to collect data and perform an analysis to visualize in detail the energy consumption of the entire building and identify the areas or systems with the highest electrical energy consumption, as well as the inefficiencies related to energy consumption, all this to reduce costs by optimizing the use of resources or the implementation of new elements and the application of various strategies that allow better use of the electrical energy required for the operation of the building.

* Project of grade

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones
Director: Hermann Raúl Vargas Torres Doctor en Ingeniería Eléctrica

Introducción

A lo largo de la historia, la energía siempre ha acompañado los pasos del hombre, pues este siempre ha buscado la forma de obtener el mejor provecho de ella y casi imperceptiblemente la energía ha sido la esencia para el funcionamiento y desarrollo de la vida. Sin embargo, en la actualidad, su consumo se ha vuelto indispensable en la vida de todos y esto la ha convertido en uno de los principales desafíos para la sociedad moderna, ya que no todo su uso proviene de fuentes de energía limpias.

“APPA RENOVABLES” expone que al 2022, al menos un 33,6% de las fuentes de energía en el mundo correspondieron al uso del petróleo, mientras que, tan solo un 10,8% de energía fue producida a por fuentes renovables. Por esta razón, la búsqueda continúa en la forma de adoptar fuentes renovables y obtener el mayor provecho de la energía son temas de suma importancia en el desarrollo de la sociedad moderna.

Bajo este contexto, la gestión energética se ha convertido en una estrategia clave para promover un uso más eficiente y sostenible de la energía. La implementación de medidas de eficiencia energética resulta de gran interés para las empresas y demás entidades cuya base de funcionamiento es la energía eléctrica, pues esto mejora de manera continua su desempeño energético.

Existen diversas formas de realizar la gestión energética. Una de estas es tomar como guía la norma NTC-ISO 50001 (*Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 50001, 2019*), la cual plantea un enfoque sistemático para la gestión de la energía y ayuda a obtener una guía de cómo gestionar la energía.

El edificio Centic necesita para su funcionamiento diferentes elementos como equipos de cómputo, luminarias, aires acondicionados, que se encuentran en funcionamiento durante toda la jornada, por lo tanto, a simple vista se podría decir que su demanda es significativa en la Universidad Industrial de Santander (UIS) pues por medio de las tecnologías de información y comunicación permite el acceso a internet, softwares especializados y bases de datos.

Sin embargo, este edificio no cuenta con una frontera comercial ni con medidores de energía que registren el consumo del edificio para mantener un registro histórico y por lo tanto realizar una comparación de la demanda energética respecto a otros edificios en el campus universitario, resulta algo complejo. No obstante, por simple inspección es posible destacar que los equipos que utiliza para prestar el servicio permanecen encendidos por más de 10 horas al día y deben mantenerse todo el tiempo a una temperatura específica, para evitar el sobrecalentamiento de estos, por lo que es de esperarse una alta demanda energética.

Por todo esto, resulta pertinente realizar una caracterización energética de todo el edificio para determinar si el uso que se le está dando, es el adecuado y se está gestionando la energía para obtener el mayor provecho de ella, pero dado que en el año 2014 los compañeros Puentes Marín, A. F. & Jones Rojas, J. C. (2014), realizaron una primera caracterización energética en su trabajo: Caracterización del centro de tecnologías de información y comunicación (CENTIC) aplicando la metodología del sistema de gestión integral de la energía (SGIE), este proyecto realizará una actualización de la caracterización energética, partiendo desde cero y posteriormente se realizará una comparación para determinar cómo ha mejorado o desmejorado el edificio, energéticamente hablando en los últimos 9 años.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Desarrollar la caracterización del consumo energético del edificio Centic implementando el sistema de Gestión Integral de la Energía SGIE

1.2 Objetivos Específicos

Ejecutar las pautas que contiene la metodología (SGIE) para valorar las componentes energéticas del edificio Centic.

Identificar las variables que generan impacto en el edificio Centic en la Universidad Industrial de Santander y cómo estas afectan la eficiencia energética del mismo.

Buscar y diseñar nuevas estrategias, según los resultados obtenidos, con el fin de aumentar la productividad y obtener un uso más eficiente de la energía eléctrica en el edificio Centic.

2. Identificación del Edificio Centic

En este capítulo se realiza una descripción del Centro de Tecnología y Comunicación (Centic) ubicado en la Universidad Industrial de Santander, en su campus principal. Se realiza una

2.2 Subestación del edificio

El primer transformador de la marca SIEMENS (ver Figura 2) alimenta 2 barrajes, como se puede ver en el diagrama unifilar de la Figura 1.

Figura 2.

Transformador 1. Marca SIEMENS.



Este transformador cuenta con el respaldo de una planta eléctrica (ver Figura 4) para el primer barraje el cual contiene las cargas más sensibles del edificio como los son algunos de los computadores, servidores y sistemas de automatización e iluminación y el otro barraje alimenta el resto de las cargas de todo el edificio como lo son los equipos de cómputo, sistemas de iluminación y de automatización, tomacorrientes, etc. La Figura 3 muestra los parámetros de este transformador.

Figura 3.

Parámetros específicos del Transformador 1.

Transformador 1			
Código SIG: 0110	Clase: Encapsulada	Potencia TRF: 500 kVA	
Relación: 13200/[216-124,7] V	Conexión: Dy5	Tensión cc [Uz]: 3,9%	
Fabricante: SIEMENS		Corriente cc: 34,27 kA	
Tipo Seccionador: Bajo carga de uso interior		Taps:	13530
Dimensiones: 1,8m X 1,1m X 1,3m			Tap actual 13200
Tipo Fusible: Bayoneta	Tipo Pararrayo: N/A		12870
In fusible: 40 A	Tensión Pararrayo: N/A		12540
Tensión Fusible: 24 kV	Id Pararrayo: N/A		12210

En el segundo transformador (ver Figura 4) se tienen todas las cargas de aires acondicionados, bombas de agua, bombas de emergencia, ascensor, entre otras.

Figura 4.

Transformador 2. Marca ABB.



Este transformador, al igual que el primero, se encarga de reducir la tensión de 13,2 kV a 208-120 V y se alimenta con una acometida subterránea de Cu 2 AWG XLPE 15 kV monopolar. La Figura 5 muestra los parámetros de este transformador.

Figura 5.

Parámetros específicos del Transformador 2.

Transformador 2		
Código SIG: 0109	Clase: Encapsulada	Potencia TRF: 500 kVA
Relación: 13200/[228-131,5] V	Conexión: Dy5	Tensión cc [Uz]: 4,5%
Fabricante: SIEMENS		Corriente cc: 28,14 kA
Tipo Seccionador: Bajo carga de uso interior		Taps:
Dimensiones: 1,4m X 1,2m X 1,5m		
Tipo Fusible: Bayoneta	Tipo Pararrayo: N/A	
In fusible: 40 A	Tensión Pararrayo: N/A	
Tensión Fusible: 24 kV	Id Pararrayo: N/A	
		Tap actual
		13530
		13200
		12870
		12540
		12210

2.3 Planta eléctrica

Se cuenta en la subestación del edificio con una planta eléctrica marca CUMMINS BRASIL (ver Figura 6), la cual es usada como respaldo a uno de los barrajes del transformador 1, su funcionamiento se tiene proyectado en caso de que se presente ausencia del suministro eléctrico. Para su funcionamiento requiere de ACPM y tiene una potencia nominal de 200 kW. La Figura 7 muestra los parámetros de la planta eléctrica.

Figura 6.

Planta Eléctrica de respaldo.



Figura 7.

Parámetros específicos de Planta Eléctrica.

PLANTA ELÉCTRICA			
Marca: Cummins Power Generation		Generador trifásico	
Potencia nominal:	250/200 [kVA/ kW]	Tensión (Vac):	208/120
Eficiencia:	90%	Factor de potencia:	0,8
Combustible:	ACPM	Tablero de control digital:	S1468
Velocidad:	1800 rpm	Enfriamiento:	Agua

2.4 Bombas de agua y emergencia

Estos dispositivos por medio de un motor permiten la transferencia o la extracción de agua de un lugar a otro. En el edificio Centic se cuenta con 2 bombas de agua, cada una de estas con 25 HP y una bomba contra incendios de 9 HP, encargadas de suplir agua para los baños, lavamanos y demás en los 4 pisos, apoyadas por un motor trifásico. La Figura 8 muestra estas tres bombas y las Figuras 9 y 10 los parámetros específicos de estas bombas.

Figura 8.

Bombas de Edificio Centic



Figura 9.

Parámetros específicos de bomba de agua

SIEMENS			3~Motor		
	IS:	IP55	220 ΔΔ /440 Δ V	To - 15/40 C°	215JM
	FP:	0,9	24,0 / 12,0 A	Aisl. F	7015
60 Hz	Eficiencia:	81,50%	Ia 6,0In	132 S/M	46,0 kg
IEC34	1,000 mspm		Tn/Ta 18,4/46,2Nm	3450 rpm	

Figura 10.

Parámetros específicos de Bomba contra incendios

SIEMENS			3~Motor		
	IS:	IP55	220 ΔΔ /440 Δ V	To - 15/40 C°	254 JM
	FP:	0,87	63,6 / 31,8 A	Aisl. F	10682
60 Hz	Eficiencia:	88,40%	Ia 5,0In	160 S/M	83,0 kg
IEC34	1,000 mspm		Tn/Ta 50,4/106 Nm	3450 rpm	

2.5 Gabinetes de la subestación

Al ingresar a la subestación eléctrica del edificio se encuentran cuatro gabinetes distribuidos para todo el sistema eléctrico del edificio, estos, como se menciona anteriormente, vienen alimentados desde la red de media tensión de la subestación de la biblioteca por medio de una acometida Cu 2 AWG XLPE 15 kV, en el primer gabinete se encuentran los barrajes del transformador 1. (Ver Figura 11)

Figura 11.

Gabinete 1 de la subestación



En el segundo gabinete se encuentra toda la distribución de cargas sensibles del transformador 1 y en la parte inferior de gabinete se encuentra la transferencia, su registro fotográfico se encuentra en el anexo C.

En el tercer gabinete se encuentra todo el barraje del transformador 2 el cual contiene las cargas correspondientes al ascensor, aires acondicionados, bomba de agua, bombas contra incendios, entre otras cargas.

Y finalmente, en el cuarto gabinete se encuentra un banco de condensadores el cual fue instalado con el fin de mejorar el factor de potencia, correspondiente a una ineficiencia con respecto al uso de la energía.

2.6 UPS

En el edificio se cuenta cinco UPS TRIPP-LITE de diferentes potencias (Ver Anexo C) con el fin de obtener un respaldo de energía confiable y a su vez obtener una protección en caso de interrupciones en el suministro eléctrico. Las UPS con la que cuenta el edificio tienen una capacidad ideal para entornos críticos, pues cuentan con protección para equipos sensibles contra sobretensiones, caídas y fluctuaciones de tensión y ruido eléctrico evitando que se afecte el suministro eléctrico o el rendimiento de equipos electrónicos sensibles, adicionalmente se tiene un banco de baterías para mayor confiabilidad.

La UPS también cuenta con funciones de gestión y monitoreo por medio de paneles de control, pantallas LCD, interfaces de comunicación, recibir alertas de eventos y llevar un registro de datos importantes para el mantenimiento y la eficiencia operativa. La Figura 12 presenta los parámetros de la UPS de 20 kVA, mientras que la Figura 13 muestra la distribución y funcionalidad de estas en el edificio.

Figura 12.

Parámetros específicos de UPS 20kVA.

UPS TRIPP-LITE				
MODEL:	SU20K3/3		BYPASS:	60 A
SERIES:	AGPS6677		FP:	0,8
AC INPUT:	Y, 3 ϕ +N	120/208 V	50/60 Hz	60 A
AC OUTPUT:	Y, 3 ϕ +N	120/208 V	50/60 Hz	56 A
TOTAL POWER MAX. 20000 VA 16000W				

En el edificio actualmente se cuentan con tres UPS de 20kVA cada una, las cuales ofrecen un respaldo confiable a iluminación y equipos del edificio, adicionalmente se tienen dos UPS de 45 kVA cada una las cuales ofrecen un respaldo y confiabilidad al sistema de servidores de la universidad.

Figura 13.

Distribución y funcionalidad de UPS del edificio

UPS		FUNCIÓN
1	UPS 20 [kVA]	Confiabilidad salas del edificio
2	UPS 20 [kVA]	Confiabilidad salas del edificio
3	UPS 20 [kVA]	Confiabilidad salas del edificio
4	UPS 45 [kVA]	Confiabilidad cuarto de servidores
5	UPS 45 [kVA]	Confiabilidad cuarto de servidores

2.7 Baterías de respaldo UPS

Para obtener un respaldo con una eficiencia mayor, cada UPS cuenta con un banco de baterías de la marca FuliBattery, las cuales están diseñadas con tecnología AGM (Absorbente Glass Mat) y VRLA (batería de ácido-plomo regulada por válvula).

Cada UPS cuenta con un banco de 7 baterías de 12V, ofreciendo un mayor respaldo al sistema, ya que son conocidas por su capacidad para retener la carga durante periodos prolongados y proporcionar un respaldo confiable en caso de interrupción del suministro eléctrico. La Figura 14 presenta las especificaciones de la batería.

Figura 14.

Especificaciones batería Fuli Battery

BATERÍA FULLI BATTERY			
BATERÍA SELLADA 12 V - 7,5 AH REF. FL 1275 GS			
VOLTAJE NOMINAL:	12 V	PESO APROXIMADO:	2,225 kg [4,96 lbs]
CAPACIDAD NOMINAL [20 hrs]:	7,5 Ah	TERMINAL:	T1/T2 - F1/F4
DIMENSIONES:	5,95" X 2,56" X 3,70" X 4,02"	MÁX. CORRIENTE DE DESCARGA:	135 A [5 s]

3. Caracterización energética del Centic

En el capítulo anterior se realizó la descripción del sistema eléctrico del edificio Centic, siendo esto parte fundamental para iniciar a conocer el entorno al cual se le aplicará una gestión energética, buscando así, detectar cuál es su principal producto y cuál es su forma de operar. Una

vez conocidas estas circunstancias, es posible realizar una caracterización energética del entorno, para determinar la distribución del consumo energético y su verdadero aprovechamiento. En el este capítulo, se presenta la caracterización energética del edificio Centic, los perfiles de carga, las líneas base energéticas y su rendimiento energético.

3.1 Metodología empleada para el desarrollo de la caracterización energética

La metodología utilizada para la caracterización energética del edificio Centic, pretende identificar a cabalidad la distribución del consumo energético y su verdadero aprovechamiento, mediante la cuantificación de los indicadores de energía (IDEn) que posteriormente serán impresos en una línea base energética (LBEn). Para ello, es necesario realizar una cuantificación de los indicadores de energía (IDEn) y esto se puede lograr de dos maneras. Por medio de una caracterización energética por aforo, es decir llevar el control de la cantidad de equipos que se están utilizando en un tiempo determinado, a lo largo de una jornada. O realizar una caracterización más precisa, por medio de equipos de medida que proporcionan un registro de consumo energético de todo el edificio durante un tiempo determinado.

La primera opción demanda vigilancia continua por parte de los encargados y cuidado de registrar la mayor cantidad de datos posibles, hora a hora, mientras que la segunda opción requiere una instalación de equipos de medida en los circuitos principales, que se encargarán de registrar el consumo energético sin lugar a evasiones de energía, por un intervalo de tiempo determinado. Ambas opciones son adecuadas, para la caracterización, pero en términos de menor incertidumbre se recomienda utilizar la segunda opción.

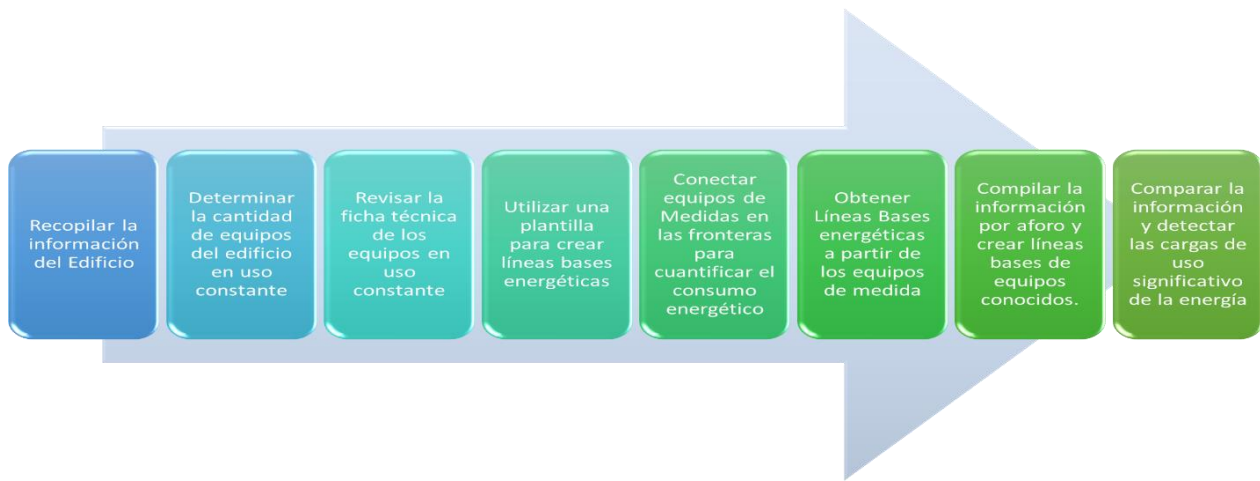
Para este proyecto, se realizaron los dos tipos de caracterizaciones, ya que el principal producto que ofrece el edificio Centic, es la atención de personas, esto quiere decir personas atendidas por jornada, por lo que el aforo, ayudaría a llevar el control de las personas atendidas y de la energía consumida en la jornada.

Debido a la dificultad de coordinación entre la escuela para el préstamo de los equipos, DSI para el permiso de instalación de los equipos en la frontera comercial y disponibilidad del ingeniero de planta física para realizar la supervisión, sólo fue posible recopilar información por 15 días consecutivos, que incluían dos lunes festivos, por lo que no fue posible obtener el comportamiento del edificio para el día lunes. No obstante, no es difícil predecir el comportamiento del lunes a partir del comportamiento del edificio en el resto de la semana ya que su consumo sigue un patrón repetitivo.

Además, con 15 días es posible obtener el espectro energético de medio mes para todo el edificio y dado que su comportamiento es repetitivo con el tiempo, es posible predecir el comportamiento para todo un mes. En la Figura 15 se describe la metodología que se siguió para obtener la caracterización energética.

Figura 15.

Metodología aplicada para la caracterización energética



3.2 Recopilación del aforo

El control del aforo o personas atendidas fue clave para la construcción de un diagrama energético-productivo que ayudaría a obtener la línea base energética del mismo. Debido a que el edificio brinda un servicio, su principal producción depende de las personas atendidas. Por esta razón, parte del proceso fue llevar el control del aforo de personas por cada jornada. Este control se presenta a continuación en la Figuras 16, 17 y más detallado en el Anexo D.

Por otra parte, con el fin de llevar el control del consumo energético de las cargas, hora a hora durante un lapso determinado de tiempo se realizó un censo de carga hora a hora donde se compiló la información en una plantilla de Excel de forma manual que se presenta en el Anexo F.

La información obtenida por esta plantilla resulta en una aproximación de los perfiles de carga de cada salón, oficina, auditorio y zonas comunes, para luego agruparlas y obtener un perfil de carga de cada piso, y finalmente obtener el perfil de carga de todo el edificio. De esta forma es posible cuantificar los indicadores de energía (IDEn) de cargas específicas, y lograr una mayor

precisión a la hora de expedir un diagnóstico. Para este proyecto, se realizó una caracterización energética por aforo. El proceso se llevó a cabo en un lapso de 15 días (medio mes) simultáneamente con la toma de datos de los equipos de medida.

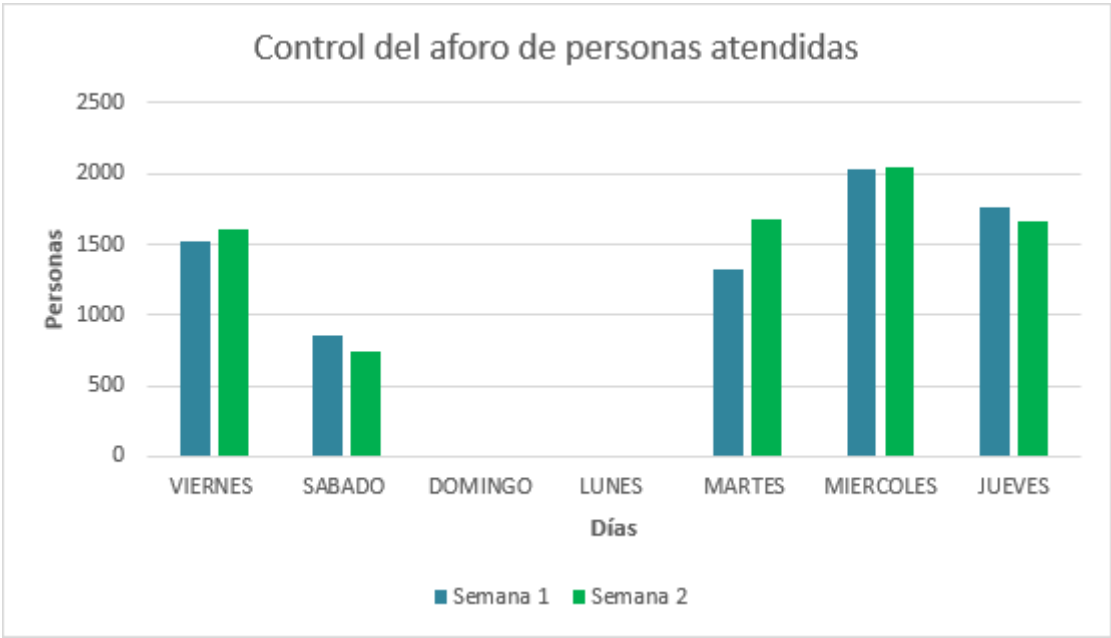
Figura 16.

Control de personas atendidas

	VIERNES	SABADO	DOMINGO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES
Semana 1	1515	861	0	0	1322	2034	1768
Semana 2	1609	735	0	0	1675	2039	1656

Figura 17.

Comparación del aforo.



3.3 Registro del consumo energético

Para este proyecto, se instalaron dos instrumentos de medida simultáneamente, para estimar la energía demandada por los dos transformadores de la subestación, los cuales son los encargados de suplir la energía eléctrica del edificio y así obtener una recopilación de datos adecuada. Por medio de estos equipos se logró obtener un registro de la energía consumida por el edificio y por consiguiente se puede analizar su comportamiento a lo largo de cada jornada.

Para la carga potencialmente crítica en el edificio que se combina con toda la carga del edificio correspondiente al cuarto de servidores, se realizó la instalación de un tercer equipo de medida, para el circuito del centro de servidores y así estimar su consumo de forma adecuada.

Sin embargo, la energía que suple el centro de servidores está determinada por dos UPS de 45 kVA que operan de forma simultánea y un circuito de aire acondicionado exclusivo para este cuarto. Por esta razón se tomaron las medidas de este centro, circuito por circuito, tomando rangos de una semana por circuito. En la Figura 18 se presenta el momento de la instalación de los equipos de medida.

Figura 18.

Instalación de equipos de medida

**3.4 Instrumentos utilizados para la medición**

Para llevar a cabo la toma de datos del edificio se instalaron analizadores de redes y registradores de energía. En total se instalaron dos registradores de marca Fluke 1730 y un analizador de redes de marca HT-GSC59. El analizador de redes se instaló al transformador 1, que contiene todas las cargas sensibles del edificio, un registrador se instaló para el transformador 2, que contiene todas las cargas referentes a las máquinas de potencia eléctrica, como aires acondicionados, chillers, bombas de agua, bomba contra incendios y motor del ascensor. Finalmente se instaló un registrador que se varió de circuito por intervalos de una semana para captar la energía demandada por el centro de servidores. Los equipos utilizados se presentan a continuación.

- **Analizador de redes HT-GSC59**

En este trabajo de grado se utilizó un analizador de redes de referencia HT-GSC59 mostrado en la Figura 19 y sus especificaciones técnicas se presentan en el Anexo M.

Figura 19.

Analizador de Redes de Marca HT-GSC59



Nota. Tomado de: Wallapop (s.f.) *analizador redes eléctricas HT-GSC59*

<https://fr.wallapop.com/item/analizador-redes-electricas-ht-gsc-59-928751982>

- **Registrador trifásico de energía Fluke 1730**

En este trabajo de grado también se utilizaron dos registradores de energía de referencia Fluke 1730 mostrado en la Figura 20 y sus especificaciones técnicas se presentan en el Anexo N.

Figura 20.

Registrador trifásico de energía Fluke 1730



Nota. Tomado de: Amazon (s.f.) *Registrador trifásico de energía Fluke 1730*
<https://www.amazon.com/-/es/FLUKE-port%C3%A1til-Energ%C3%ADa-Logger-Versi%C3%B3n/dp/B00F2TAVXK>

Estos equipos se utilizaron para cuantificar la energía demandada por el edificio del Centic. El analizador de redes HT-GSC59 se instaló en el primer transformador de marca SIEMENS durante 15 días. Este analizador se conectó el día 9 de junio del 2023 a las 4 de la tarde. El día 16 de junio (una semana después) se realizó la primera descarga de datos y se configuró para toma de datos una semana más. El día 23 de junio a las 4 de la tarde se realizó la última descarga de datos y su posterior desconexión.

Se instaló un registrador trifásico Fluke 1730 en el segundo transformador de marca ABB durante 15 días. Este registrador se conectó simultáneamente con el analizador el día 9 de junio

del 2023 a las 4 de la tarde. El día 16 de junio (una semana después) se realizó la primera descarga de datos y se configuró para toma de datos una semana más. El día 23 de junio a las 4 de la tarde se realizó la última descarga de datos y su posterior desconexión.

Se utilizó un registrador trifásico Fluke 1730 para obtener el perfil de carga del centro de servidores. Para ello, se conectó por intervalos de una semana en cada circuito correspondiente al cuarto de servidores. Este registrador se conectó simultáneamente con el analizador y el otro registrador el día 9 de junio del 2023 a las 4 de la tarde en el circuito de la primera UPS de 45 kVA. El día 16 de junio (una semana después) se realizó la primera descarga de datos y se configuró para toma de datos una semana más, entonces fue allí donde se desconectó del circuito y se conectó en el siguiente circuito de la otra UPS de 45 kVA. El día 23 de junio a las 4 de la tarde se realizó una nueva descarga de datos y posteriormente se desconectó, para realizar la última toma de datos en el circuito del aire acondicionado exclusivo para el cuarto de servidores. Finalmente, el día 30 de junio a las 4 de la tarde se realizó la última descarga de datos y se desconectó el registrador. En el Anexo G se muestra la conexión del registrador trifásico fluke 1730 a uno de los circuitos del cuarto de servidores.

A partir de todo este proceso se recopilaron los datos y por medio de los diversos programas se realizaron los respectivos análisis, tanto para el analizador como para los registradores, de donde se establecieron los criterios de los perfiles de carga y formas de onda que permitieron realizar un diagnóstico apropiado, todo esto se encuentra documentado en el Anexo H.

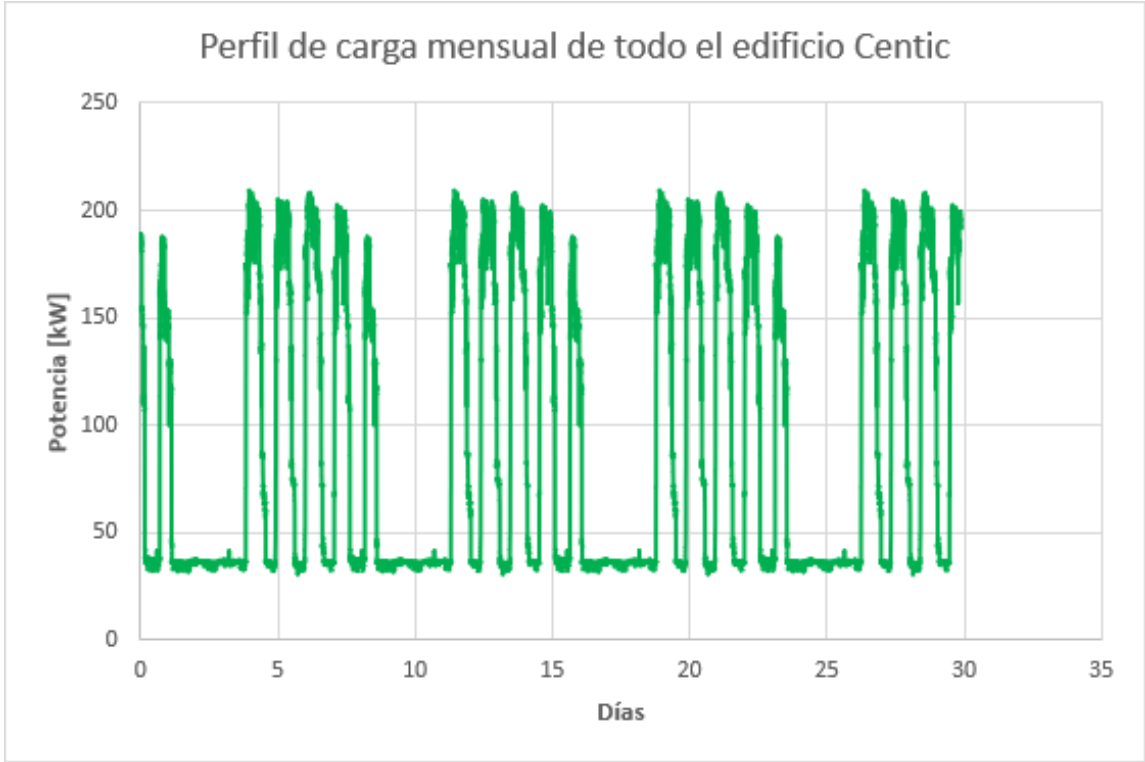
3.5 Perfil de carga de todo el Edificio Centic

Una vez obtenido el registro del consumo energético de ambos transformadores que suplen la demanda de todo el edificio, fue posible obtener la demanda energética total del mismo.

Compilando los datos de los perfiles de carga de ambos transformadores para un mes, fue posible detectar la tendencia. En la Figura 21 se presenta el perfil de carga de todo el edificio Centic.

Figura 21.

Perfil de carga energético mensual del edificio Centic.



Por medio de este perfil de carga total de todo el edificio Centic, es posible caracterizar energéticamente el edificio, obteniendo su comportamiento a lo largo de la semana y extrapolando

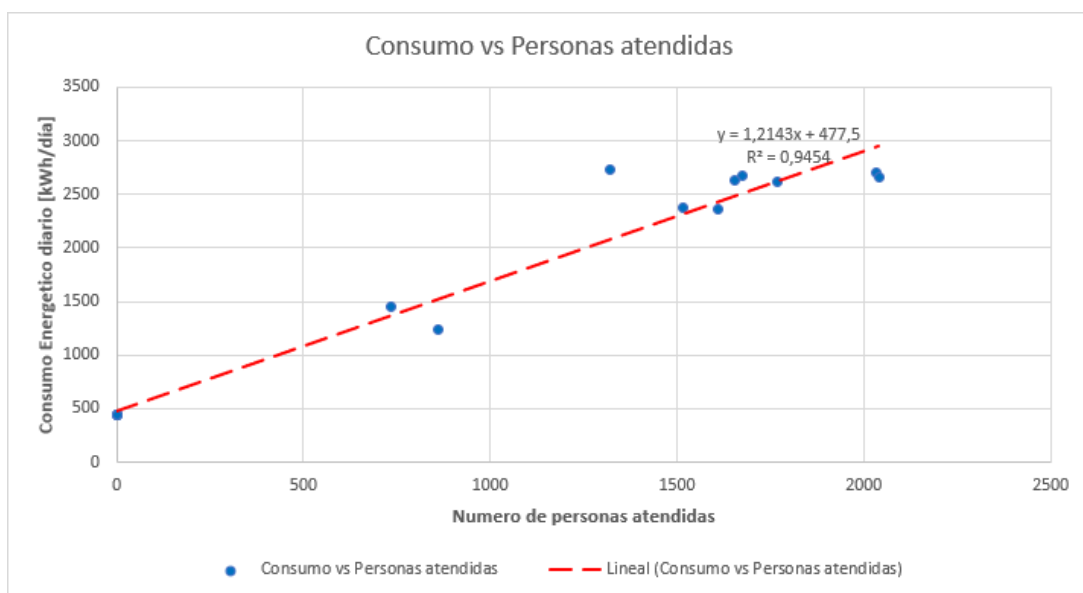
a un mes completo. En el siguiente capítulo se realizará un análisis detallado de los resultados obtenidos por la caracterización energética del edificio.

3.6 Gráfico de consumo-producción (E vs P) (Línea base)

El diagrama de consumo-producción (E vs P) se utiliza para determinar en gran parte la eficiencia del sistema para llevar a cabo los procesos. Para ello, se recopilaron datos e información de la energía consumida por el sistema, necesaria para alcanzar una producción determinada. Para el caso del edificio Centic, su producto es el servicio de la atención de usuarios, que, para efectos de la recopilación de datos, esta variable se denominará como “Personas atendidas”. Por medio de este gráfico es posible determinar la tasa de cambio para la variación de los consumos energéticos en función de las personas atendidas. En la Figura 22 se presenta dicho gráfico.

Figura 22.

Gráfico de consumo vs producción (E vs P) (Línea base)



De la Figura anterior es posible realizar una regresión lineal para calcular la respectiva línea de tendencia entre las personas atendidas y el consumo. Y es allí donde se obtiene la Ecuación (1).

$$E = 1,2143P + 477,5 \quad (1)$$

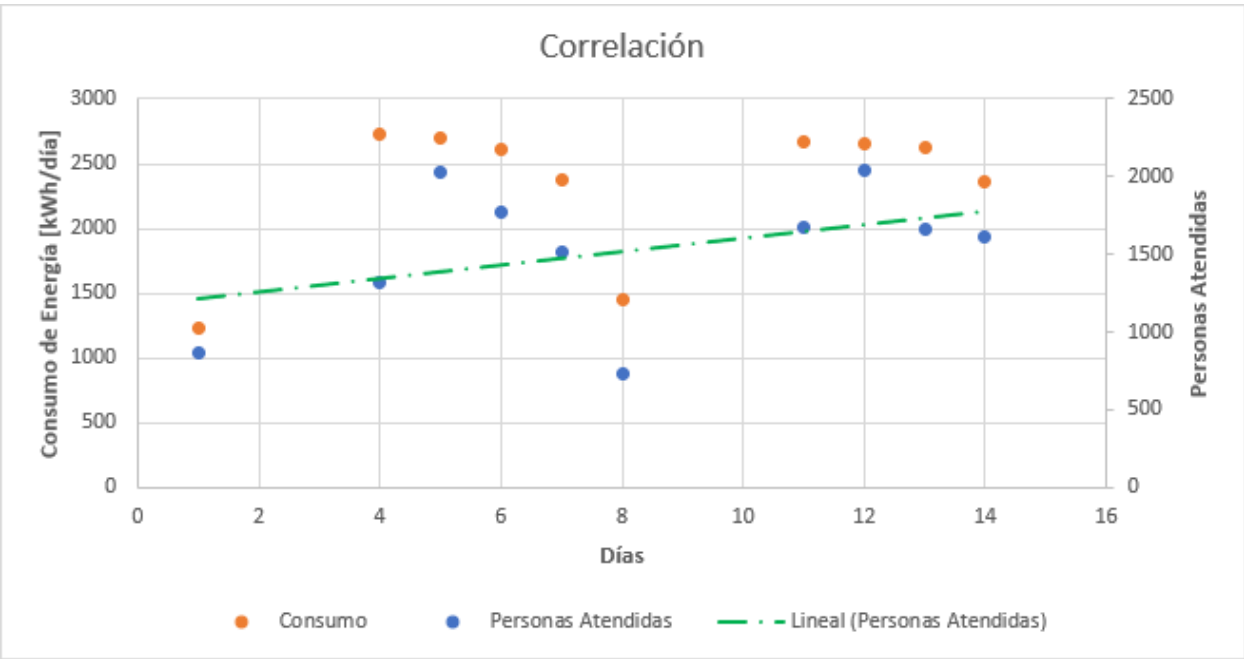
Por medio de esta ecuación es posible predecir parte del comportamiento del consumo de energía para una cantidad de personas atendidas. Esta línea de tendencia muestra también la energía no asociada a la producción, la cual se determina con la intersección del eje de consumo energético (eje Y) que corresponde al valor de 477,5 kWh/día. El índice de correlación R, es de 0,97 lo cual indica que hay una muy buena relación entre las variables, por lo que es correcto utilizar la ecuación 1 para la predicción.

3.7 Diagrama de dispersión y correlación

Este gráfico muestra la relación entre dos tipos de datos. Su principal objetivo es mostrar como su nombre lo indica, la correlación existente entre 2 variables plasmadas en un gráfico (X, Y). Este diagrama ayuda a definir si las variables del indicador de consumo de energía están correlacionadas entre sí. En este caso, se analizan los consumos energéticos y las personas atendidas en un mismo periodo de tiempo, que corresponden a los datos que se quiere saber si se correlacionan. Su grafica se presenta en la Figura 23. El índice de correlación es de 0,97, lo cual demuestra una correlación fuerte entra las variables.

Figura 23.

Diagrama de correlación



3.8 Gráfico de consumo y producción en el tiempo (E-P vs t)

Este gráfico relaciona las variables energía y producción simultáneamente a lo largo del tiempo. Para este caso, se realizó un control de personas atendidas para un espectro de 15 días mientras simultáneamente se llevaba el registro de la energía consumida en el edificio. Por medio de esta grafica se realiza una comparación entre las variables relevantes y detecta posibles causas o factores que producen comportamientos anormales. En la Figura 24 se presenta la gráfica E-P vs t y en la Figura 25 su respectiva compilación de estos datos.

Figura 24.

Gráfico E-P vs t

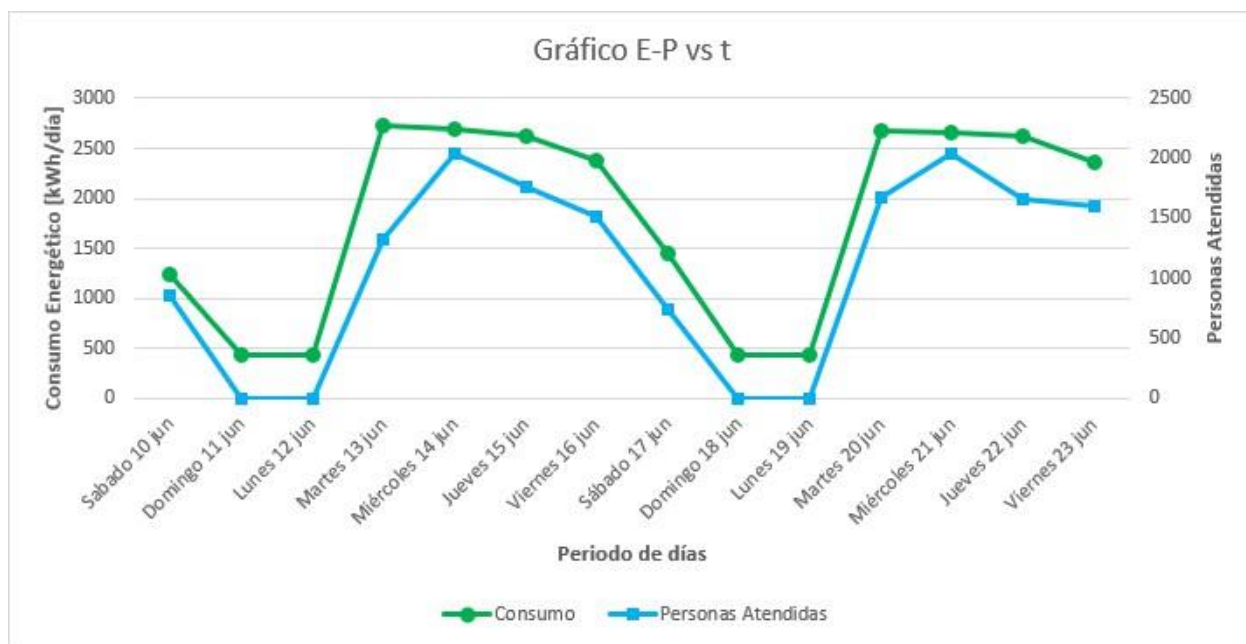


Figura 25.

Control de las personas atendidas y consumo energético

Días	Personas Atendidas	Energía Consumida TRF1 [kWh/día]	Energía Consumida TRF2 [kWh/día]	Energía TOTAL Consumida [kWh/día]
Sábado 10 jun	861	511,69	719,64	1231,33
Domingo 11 jun	0	406,71	30	436,71
Lunes 12 jun	0	407,85	30	437,85
Martes 13 jun	1322	981,44	1743,54	2724,98
Miércoles 14 jun	2034	989,83	1708,89	2698,72
Jueves 15 jun	1768	1008,41	1609,12	2617,53
Viernes 16 jun	1515	804,26	1565,34	2369,6
Sábado 17 jun	735	511,77	940,22	1451,99
Domingo 18 jun	0	406,08	30	436,08
Lunes 19 jun	0	407,69	30	437,69
Martes 20 jun	1675	955,48	1713,35	2668,83
Miércoles 21 jun	2039	963,38	1693,64	2657,02
Jueves 22 jun	1656	945,17	1680,61	2625,78
Viernes 23 jun	1609	800,18	1565,51	2365,69

En las figuras anteriores se visualizan y cuantifican a través del tiempo las personas atendidas y el consumo de energía. Por medio de él es posible determinar periodos o momentos en

los que se llegan a producir comportamientos anómalos de la variación del consumo energético respecto al número de personas atendidas y las causas de las variaciones significativas en los consumos. Los comportamientos anormales se presentan cuando:

- Los signos de los porcentajes de variación de consumo energético y de ocupación son diferentes.
- Las variaciones de consumo energético y de ocupación presentan el mismo signo, pero tienen variaciones significativamente diferentes en el periodo.

En la Figura 26 se presentan las posibles anomalías donde:

- Periodo: Es el tiempo empleado para realizar la toma de datos del consumo energético y las personas atendidas. Para este caso, los días.
- Consumo: Es el valor de la energía en kWh.
- % Variación: El porcentaje de variación será positivo si se incrementa el consumo o producción de un periodo a otro y negativo si se reduce. Para calcularlo se utilizará la ecuación 2.

$$\frac{\text{Valor actual} - \text{valor anterior}}{\text{valor anterior}} \times 100 \quad (2)$$

- Producción: Número de personas atendidas.
- Comportamiento: Se describirá como anómalo si los signos de los porcentajes son diferentes, o si presentan diferencias significativamente altas.

Figura 26.

Variación relativa de la producción y el consumo en el tiempo

Días	Energía Consumida [kWh/día]	% variación del consumo	Personas	% variación de personas	Comportamiento	Observaciones
Sabado 10 jun	1231,33		861			
Martes 13 jun	2724,98	121,30	1322	53,54	Normal	Ninguna
Miércoles 14 jun	2698,72	-0,96	2034	53,86	Anómalo	Ahorro eficiente
Jueves 15 jun	2617,53	-3,01	1768	-13,08	Anómalo	Ahorro deficiente
Viernes 16 jun	2369,6	-9,47	1515	-14,31	Normal	Ninguna
Sábado 17 jun	1451,99	-38,72	735	-51,49	Anómalo	Ahorro deficiente
Martes 20 jun	2668,83	83,80	1675	127,89	Normal	Ninguna
Miércoles 21 jun	2657,02	-0,44	2039	21,73	Anómalo	Ahorro eficiente
Jueves 22 jun	2625,78	-1,18	1656	-18,78	Normal	Ninguna
Viernes 23 jun	2365,69	-9,91	1609	-2,84	Normal	Ninguna

Los domingos y lunes festivos se han tenido en la gráfica E-P vs t ya que estos días mantienen un consumo energético considerable debido a equipos del cuarto de servidores y algunos de las oficinas administrativas que permanecen 24 horas encendidos. Sin embargo, para detectar anomalías estos días no se han tomado en consideración, debido a que las personas atendidas correspondían a 0, y el ingresar un cero en la ecuación (2) provocará un error de sintaxis. Además, una variación desde un numero cercano a cero a un número alto de ocupación, provocará variaciones de hasta 6600%, quitando la coherencia y el sentido de lo que se está analizando.

3.9 Gráfico de control

Los gráficos de control son diagramas lineales que permiten observar el comportamiento de una variable dentro de ciertos límites establecidos. Por medio de herramientas estadísticas, como el promedio, la variación estándar, es posible determinar límites, tanto superior como inferior, logrando establecer un rango a los datos y analizar si todos los datos se encuentran dentro de este rango. Además, sirve de referencia para conocer la influencia de futuras acciones correctivas en una futura implementación del SGIE. Para la construcción del diagrama de control

es necesario obtener el consumo promedio (CP), la desviación estándar (DS), el límite de control superior (LCS) y el límite de control inferior (LCI) que se pueden calcular de la siguiente manera:

$$LCS = CP + 3 * DS \tag{3}$$

$$LCI = CP - 3 * DS \tag{4}$$

A continuación, se presenta el gráfico de los datos compilados en la Figura 27 para su posterior análisis en la Figura 28.

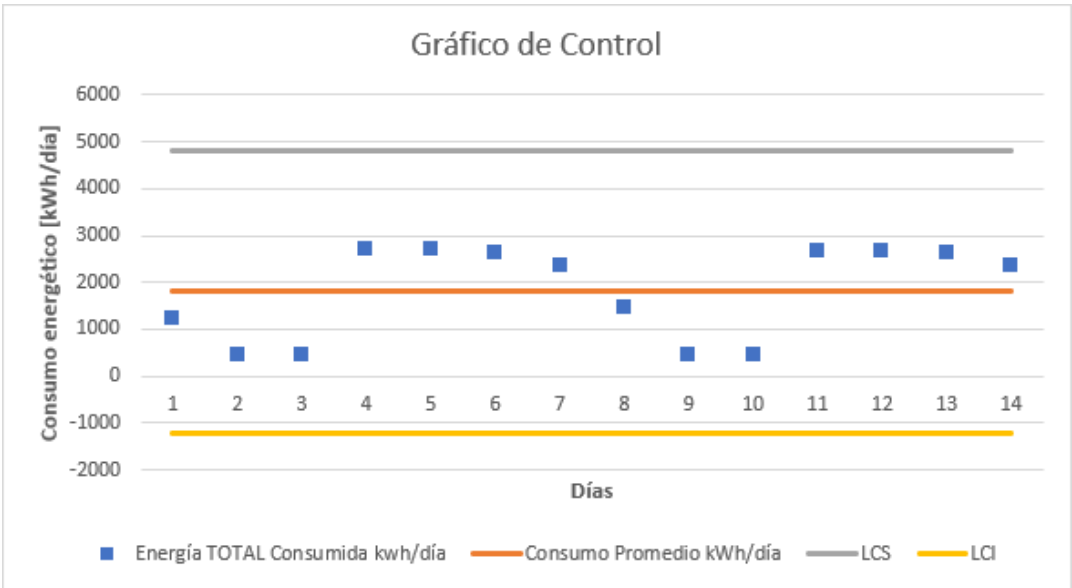
Figura 27.

Datos del gráfico de control

Días	Energía TOTAL Consumida kwh/día	Consumo Promedio kWh/día	Desviación estandar kWh/día	LCS kWh/día	LCI kWh/día
1	1231,33	1797,13	1000,84	4799,66	-1205,40
2	436,71				
3	437,85				
4	2724,98				
5	2698,72				
6	2617,53				
7	2369,6				
8	1451,99				
9	436,08				
10	437,69				
11	2668,83				
12	2657,02				
13	2625,78				
14	2365,69				

Figura 28.

Gráfico de control



En estos datos es posible observar como la desviación estándar tiene un valor de casi el 55% del promedio ocasionando que el límite inferior caiga por debajo de cero. Y esto es debido a la variación de ausencia de personas y consumo importante de energía para los días domingos y lunes festivos. Por esta razón, para un análisis más adecuado de lo que realmente se desea controlar, se volverán a analizar los datos en términos donde se centra el interés, que para este caso son los días que se presta el servicio a las personas atendidas. Estos nuevos datos se presentan en la Figura 29 y 30.

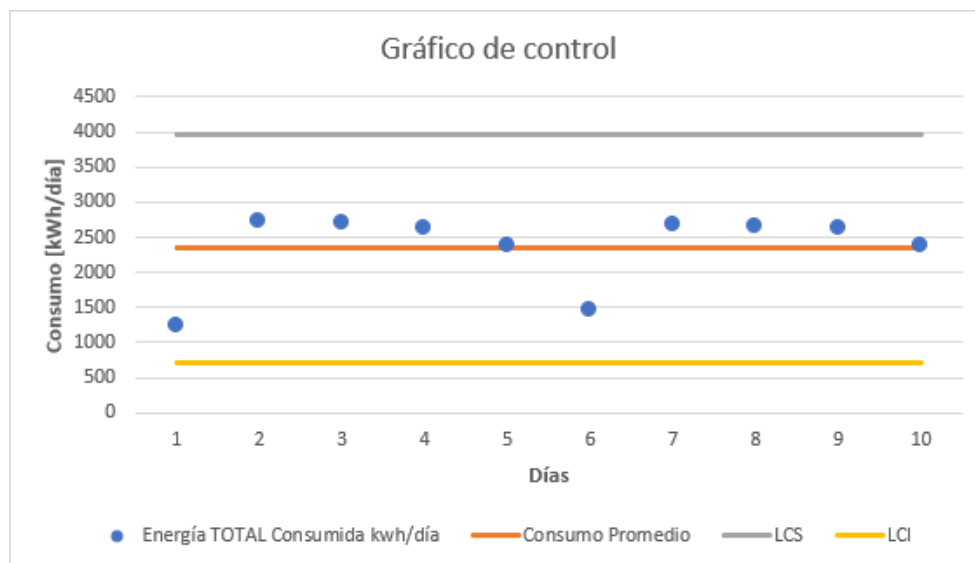
Figura 29.

Datos del nuevo gráfico de control

Días	Energía TOTAL Consumida kWh/día	Consumo Promedio kWh/día	Desviación estandar kWh/día	LCS kWh/día	LCI kWh/día
1	1231,33	2341	544	3973,15	709,14
2	2724,98				
3	2698,72				
4	2617,53				
5	2369,6				
6	1451,99				
7	2668,83				
8	2657,02				
9	2625,78				
10	2365,69				

Figura 30.

Nuevo gráfico de control



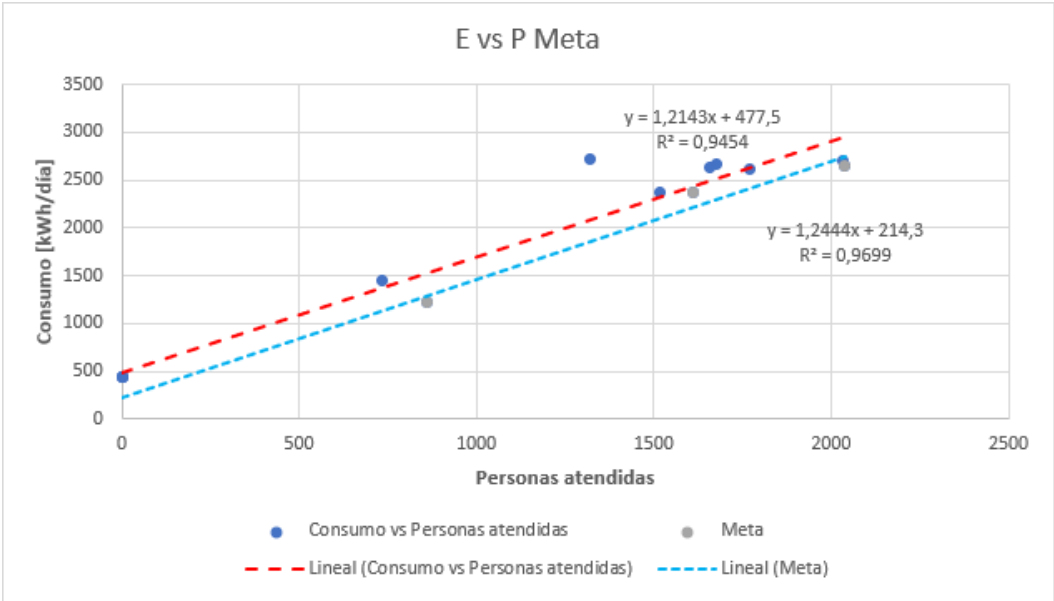
Para este nuevo escenario, más coherente con límites por encima del cero, es posible observar que los consumos de energía se encuentran ubicados entre los límites superior e inferior, lo cual, en efecto, corresponde a un comportamiento estable del consumo energético y algunas causas aleatorias que producen variaciones.

3.10 Gráfico de consumo-producción meta (E vs P Meta)

La importancia de establecer una meta radica en el hecho de lograr establecer un objetivo con el cual se pueda impulsar un uso racional de la energía, logrando ahorros significativos anualmente. Es importante contar con una meta que pueda ser alcanzable por la organización en el impacto energético respecto a las personas atendidas. Dicha meta se calcula con base en los datos anteriores de la gráfica E vs P tomando como referencia para una meta, todos los valores registrados por debajo de la línea de tendencia.

Figura 31.

Gráfico E vs P meta



Como se observa en la Figura 31 la nueva línea meta obtiene un coeficiente de 1,244 mientras que para la línea base, este valor es de 1,2143, lo que establece que es necesario tomar acciones para un ahorro energético adecuado. Por otro lado, se observa que la energía no asociada

a la producción en la línea base es de 477,5 kWh/día, mientras que en la línea meta, se logra obtener una reducción en su energía no asociada a la producción a 214,3 kWh/día, logrando así un ahorro diario de hasta 263,2 kWh/día.

3.11 Diagrama índice de consumo-producción (IC vs P)

Este diagrama se realiza después de haber obtenido la ecuación del diagrama E vs P con un nivel de correlación significativo, el cual es de la forma:

$$E = 1,2143P + 477,5 \quad (5)$$

El gráfico IC vs P (Figura 19) es una línea curva con una asíntota en el eje x, en el valor de pendiente m de la expresión previamente calcula E(P). Esta expresión tiene la siguiente forma, y el índice de consumo se calcula como sigue:

$$E = mP + E_0 \quad (6)$$

$$IC = E/P = m + E_0/P \quad (7)$$

$$IC = m + E_0/P \quad (8)$$

En la Figura 32, se presentan los datos compilados para obtener el gráfico del índice de consumo que depende el nivel de producción, que para efectos de esta organización corresponde a las personas atendidas. En la medida en la que las personas atendidas disminuyen, es posible que disminuya el consumo total de la energía, como se ha apreciado en el gráfico E vs P. Sin embargo, el gasto energético por unidad de producto aumenta por el número de personas que entran diariamente al edificio.

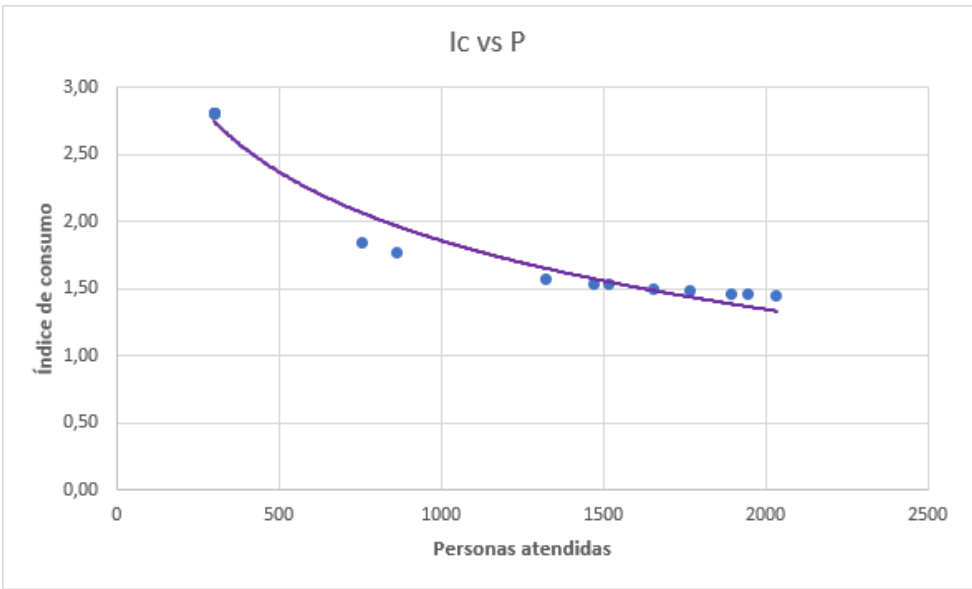
Figura 32.

Datos para el diagrama índice de consumo-producción (IC vs P)

Días	Personas Atendidas	Ic
1	861	1,77
2	300	2,81
3	300	2,81
4	1322	1,58
5	2034	1,45
6	1768	1,48
7	1515	1,53
8	754	1,85
9	300	2,81
10	300	2,81
11	1653	1,50
12	1896	1,47
13	1946	1,46
14	1472	1,54

Figura 33.

Diagrama índice de consumo-producción (IC vs P)



Por medio de esta gráfica se puede determinar en qué medida el índice de consumo energético depende del nivel de las personas atendidas. En la medida en que la atención de las

personas se reduzca el consumo energético se puede disminuir también pero el costo energético por unidad de producción puede aumentar. A medida que disminuye la ocupación del edificio, se aumenta el costo de energía, y esto es debido a que la energía no asociada a la producción representa un peso relativo mayor sobre la producción o personas atendidas.

Con el fin de obtener una descripción de las características principales del consumo de energía final tales como promedio de energía consumida en el periodo evaluado o consumo por uso final, se emplea la Figura 34 la cual es proporcionada por la UPME y en esta se estructuran los datos obtenidos con las gráficas presentadas anteriormente, tales como línea base, energía no asociada y la correlación de los datos totales y de los datos meta.

Figura 34.

Tabla de Caracterización Energética por la UPME

Caracterización energética por la UPME		Unidades
Costo energetico	694,75	\$/kWh
Valores periodo base (Datos filtrados)		
Periodo	15	dias
Producción máxima	2039	personas/periodo
Producción mínima	735	personas/periodo
Producción promedio	1504	personas/periodo
Consumo de energía máximo	2724,98	kWh
Consumo de energía mínimo	436,08	kWh
Consumo de energía promedio	1797,12	kWh
Fiabilidad Inicial	100	%
Línea base	$E=1,2143P + 477,5$	
Correlación	0,97	
Tipo de control	Muy fuerte	
Energía no asociada a la producción periodo base		
Energía no asociada a la producción periodo base	477,5	kWh
Energía no asociada %	17,52	%
Valores línea meta		
Producción máxima	2039	personas/periodo
Producción mínima	735	personas/periodo
Producción promedio	1504	personas/periodo
Consumo de energía máximo	2751,63	kWh
Consumo de energía mínimo	214,3	kWh
Consumo de energía promedio	1566,6	kWh
Línea base	$E= 1,2444P+214,3$	
Correlación	0,98	
Energía no asociada a la producción periodo base		
Energía no asociada a la producción periodo base (kWh)	214,3	kWh
Energía no asociada %	7,79	%

4. Variables relevantes y análisis de datos

En el capítulo anterior se realizó, la caracterización energética de todo el edificio Centic, tanto por aforo, como por consumo siendo esto el objetivo principal de este trabajo de grado. Una vez realizada la caracterización energética es posible realizar un análisis de los datos por medio de herramientas estadísticas que ayuden a destacar factores relevantes de la caracterización energética. Además, es posible recopilar de los equipos de medida, diversos datos de variables eléctricas que permitan realizar un análisis de la calidad de la energía en el edificio, para finalmente expedir un diagnóstico energético. En este capítulo, se presenta el análisis de los datos, un estudio de la calidad de la energía y el diagnóstico energético.

4.1 Variables relevantes y factores estáticos

Compiladas las caracterizaciones energéticas, tanto por aforo como por consumo, y obtenidos los perfiles de carga de todo el edificio, el siguiente paso es detectar las variables relevantes y factores estáticos, que se encuentran presentes en el edificio. Para ello se toma el perfil de carga total del edificio, y se inicia un proceso de asignación porcentual de la energía demandada por las cargas previamente segmentadas con el fin de realizar un análisis estadístico, utilizando como herramienta principal el diagrama de Pareto y así lograr identificar en orden porcentual, las cargas que demandan mayor consumo de energía eléctrica. Obtenido esto, es posible determinar qué tipo de cargas corresponden a variables relevantes y que tipo de cargas corresponden a factores

estáticos. A continuación, se presentan en la Figura 35 la distribución energética para cada carga respecto al perfil de carga total del edificio y en la Figura 36, el diagrama de Pareto.

Figura 35.

Impacto de las variables relevantes y factores estáticos

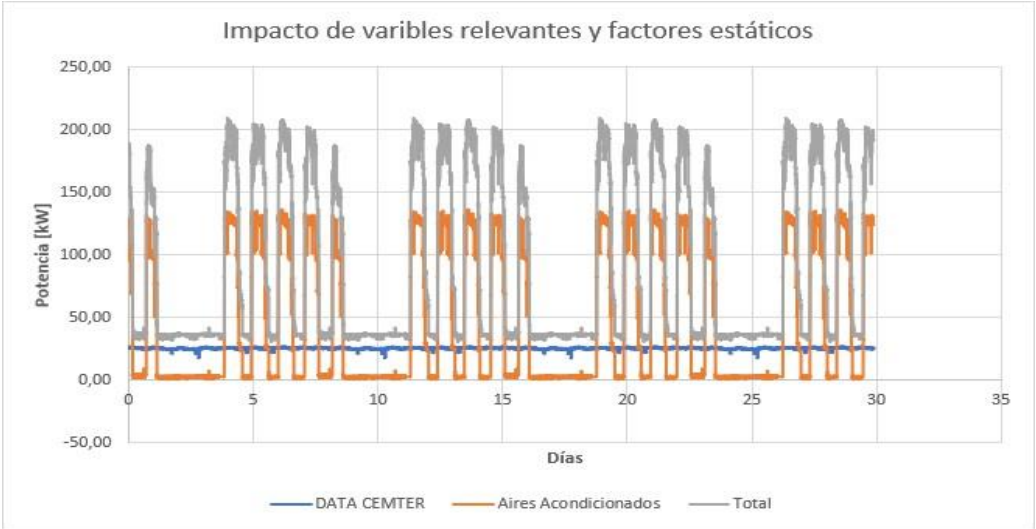
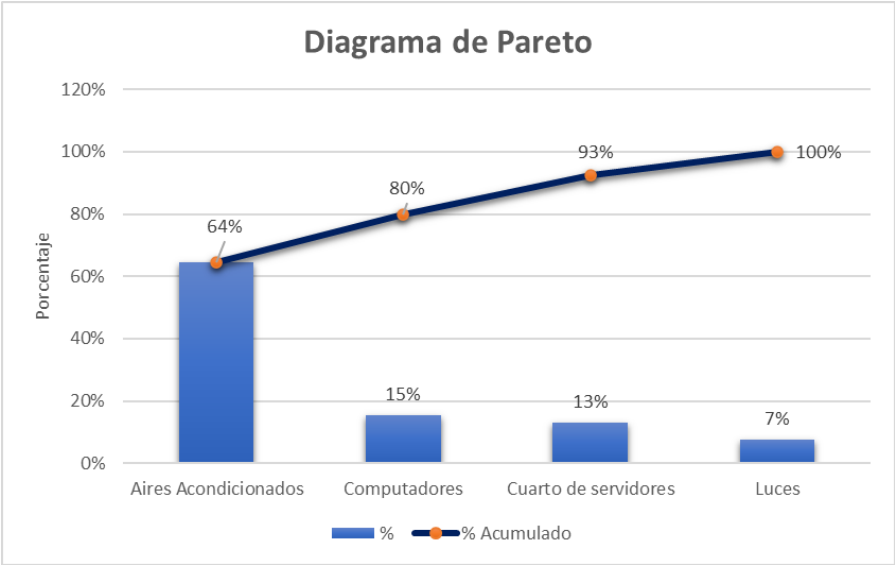


Figura 36.

Diagrama de Pareto



El transformador 2 está destinado exclusivamente para las máquinas eléctricas del sistema hidráulico y de refrigeración de todo el edificio, por lo que, su demanda de energía es igual o superior al 50% de toda la energía demandada en el edificio, y esto se puede evidenciar por medio del diagrama de Pareto. Por tal motivo, toda la carga de dicho transformador podría denominarse un factor estático, ya que, el consumo demandado por este transformador es de aproximadamente 1650 kWh por día, lo cual resulta en un consumo significativamente alto y, además tiene un comportamiento poco dinámico, por lo que su consumo debe mantenerse para el funcionamiento adecuado del edificio. Por otro lado, es posible detectar otro factor estático que corresponde al cuarto de servidores, quien debe mantener su energía bajo cualquier condición y no fluctúan de manera significativa con el tiempo, por lo que esta carga también se puede catalogar como un factor estático. Los demás tipos de cargas tienen comportamientos más dinámicos y variables y a pesar de que su demanda energética no es tan alta como la de los factores estáticos, se deben tener en cuenta como variables relevantes, debido a que de alguna manera impactan en el consumo energético del edificio.

Con base en todo esto se puede deducir que las variables relevantes y los factores estáticos para el edificio Centic son:

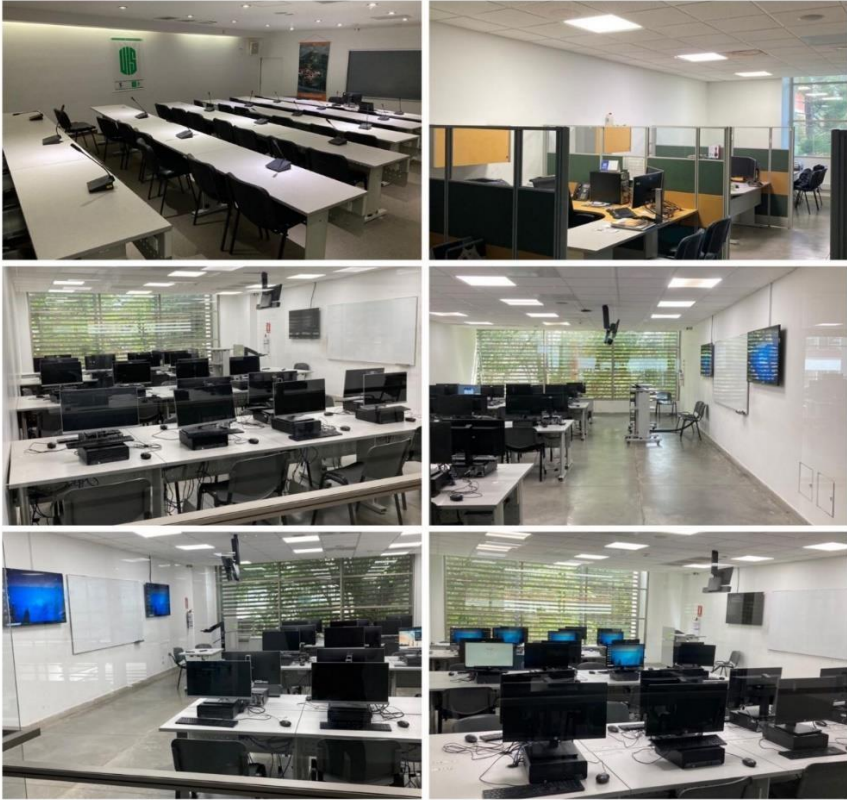
- **Sistema de iluminación**

El sistema de iluminación del edificio puede ser considerado como una variable relevante, a pesar de que su consumo solo representa el 7% de la demanda total de energía, es debido a la gran cantidad de luminarias que están instaladas en el edificio lo que la convierte en una variable relevante. El edificio tiene una cantidad mayor a 12 luminarias por sala (como mínimo). El comportamiento del sistema de iluminación puede ser dinámico debido a que es posible controlar manualmente el encendido o apagado del sistema de iluminación por cada área. Sin embargo, a

pesar de que el edificio permite un control manual, el desarrollo de este proyecto detectó que había momentos en los que las salas pasaban horas con las luces encendidas sin personas en la sala, impactando esto en una ineficiencia energética. El mismo caso se localizó en algunas oficinas en lapsos de cese laboral y aún en el auditorio del edificio se encontró intervalos de tiempo donde permanecían encendidas las luces sin una causa justificada. Se presentan algunos ejemplos que sustentan lo anteriormente dicho.

Figura 37.

Ineficiencia en el sistema de iluminación

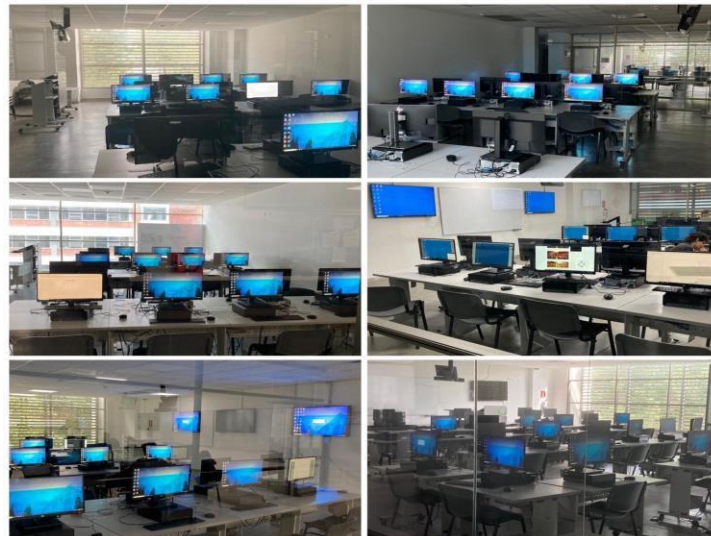


- **Equipos de computo**

Los equipos de cómputo deben ser considerados como una variable relevante, debido a que el edificio está destinado a ser un centro de cómputo y multimedia para realizar actividades académicas y de investigación en toda la Universidad Industrial de Santander (UIS), por lo tanto, su principal producto son el servicio de los equipos de cómputo. El comportamiento de los equipos de cómputo en teoría debería ser más precisos en su consumo energético respecto a su tiempo de uso, esto quiere decir; sala que se va utilizando, equipos de cómputo que están encendidos; salas de cómputo que no se están utilizando, equipos de cómputo que están apagados. Pero, en la realidad no sucede esto, por el contrario, este proyecto encontró salas vacías con computadores encendidos y por lapsos de dos horas e incluso más. Además, se detectaron muchas salas con mayores equipos de cómputo encendidos que personas haciendo uso de estos. También se encontraron computadores que permanecen 24 horas encendidos, como lo fue el caso de la recepción del primer piso y algunos equipos en el cuarto piso. Todo esto, solo demuestra que existen múltiples señales de ineficiencia energética que podrían ser solucionados cuantificando las pérdidas. Se presentan algunos ejemplos que sustentan lo anteriormente dicho.

Figura 38.

Ineficiencia en los equipos de computo



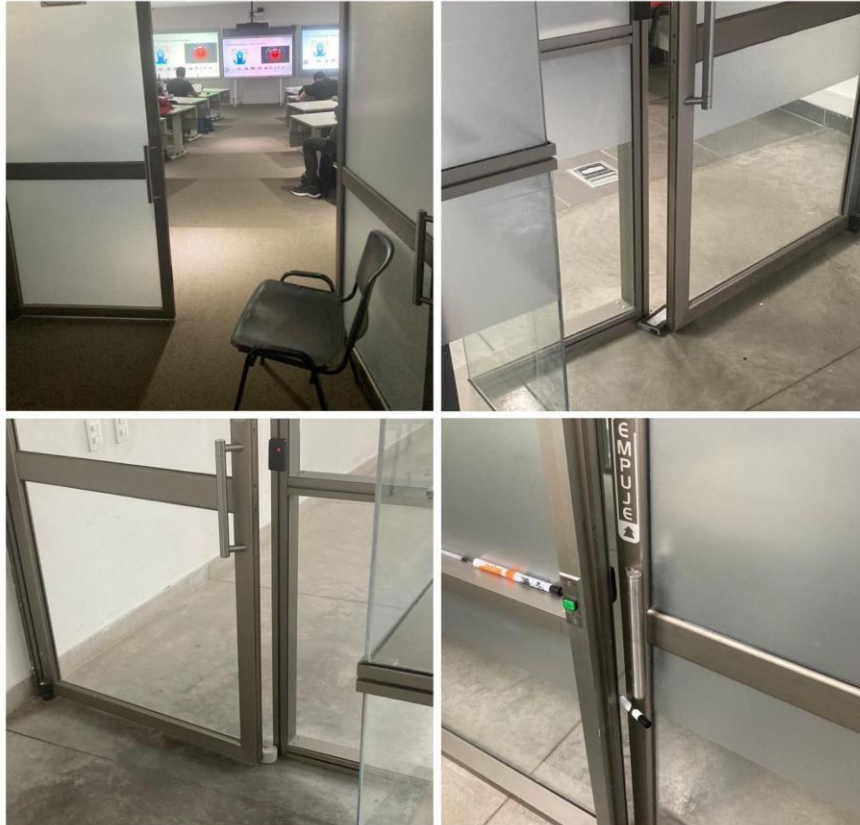
- **Aires acondicionados y sistema de refrigeración**

Los aires acondicionados y el sistema de refrigeración son equipos de alta demanda energética, debido a que su proceso para poder realizar el cambio térmico de calor a frío requiere de una gran cantidad de energía. Por lo tanto, intentar suplir el mismo trabajo con una menor cantidad de energía redundará en una ineficiencia del sistema, de modo que esta carga debe ser considerada como un factor estático. A pesar de ello, este trabajo de grado detectó ineficiencias del sistema de refrigeración, ya que la mayor parte de las salas no permanecían con las puertas totalmente cerradas, sino que permanecían con las puertas medio abiertas, tal vez con el fin de no tener que estar abriendo las puertas cada vez que alguien llegaba, pero que de igual forma permitían el escape del aire frío de cada sala. Este fenómeno se presentó aún en el cuarto piso, donde se encuentran ubicadas una gran cantidad de oficinas y se trabaja por jornadas. Las puertas principales de acceso al edificio también permanecen constantemente abiertas, para facilitar el acceso de la

comunidad universitaria, pero que de igual forma permiten el escape del aire frío. Se presentan algunos ejemplos que sustentan lo anteriormente dicho.

Figura 39.

Ineficiencia del sistema de refrigeración



- **Cuarto de servidores**

El cuarto de servidores corresponde a una carga de alta demanda de energía, con aproximadamente un consumo constante de 25 kWh durante las 24 horas del día los 7 días de la semana, representando el 13% de la energía total demandada. Y todo esto es debido a que dichos servidores contienen la información de toda la Universidad Industrial de Santander (UIS) y además prestan el servicio de los canales informáticos y virtuales de la misma. Es tan sensible este centro,

que tan solo un grupo de personas exclusivas tiene acceso a las instalaciones internas de este lugar y por seguridad nadie más puede entrar en él. Esta carga demanda una alta cantidad de energía y no varían demasiado con el tiempo, por lo que se puede considerar como un factor estático. Ante este tipo de cargas y su información reservada, no hay mucho que detectar respecto a la gestión energética, dado que es una carga sensible que debe mantenerse en continua operación y hasta el momento funciona bien.

4.2 Calidad de la energía

El presente trabajo realizó un estudio de la calidad de la energía eléctrica, la cual puede definirse como la condición en la que se suministra la electricidad, verificando que se cumplan estándares y requisitos establecidos. Cuando se habla de calidad de la energía se habla de un conjunto de características eléctricas que determinan si la energía eléctrica que se está entregando por parte del operador de red, es adecuada y confiable para el usuario final.

Para determinar la calidad de la energía es necesario realizar una comparación entre los estándares y normas propuestos por los entes de control y los datos captados directamente desde la frontera comercial, con equipos de medida, que permitan el muestreo de las diferentes señales del sistema. Para este análisis de la calidad de la energía, se utilizaron los datos proporcionados por los mismos instrumentos de medidas que se utilizaron para hallar los perfiles de carga y su estudio completo se puede encontrar en el Anexo I.

4.3 Diagnóstico energético

Con base en toda la recopilación de la información previamente expuesta, es posible realizar un análisis de la información y emitir un diagnóstico del comportamiento energético del edificio. Por esta razón se realizaron diversos estudios en cuanto a iluminación, temperatura y análisis térmico, los cuales se recopilan en el anexo J.

- **Iluminación**

El edificio posee un excelente sistema de iluminación que provee un potencial ahorro de energía debido a que las lámparas en la gran mayoría del edificio corresponden a panel led de baja potencia y muy buena luminosidad. La mayoría de los salones se encuentran en un rango aceptado por las estipulaciones del RETILAP (*Ministerio de minas y energía, 2009*) en su Tabla 410.1 del 2010, por lo que su instalación en cada lugar del edificio Centic, es adecuada. Además, las luces de los pasillos se encuentran programadas para encender a ciertas horas y apagar en otras, lo cual potencializa una oportunidad de ahorro energético. El cuarto piso por su parte utiliza en su mayoría la luz del día como iluminación del pasillo y, por lo tanto, no se activan constantemente las luces del pasillo, mejorando la eficiencia del sistema.

No obstante, con todo lo anteriormente expuesto, se ha detectado un malgasto excesivo de energía en la iluminación que no es posible cuantificar con exactitud, pero que por su simple inspección resulta evidente, debido al mal uso que se le da a las luminarias que pueden ser controladas manualmente. Se han hallado diversas salas de cómputo en diferentes horas del día, con todas las luces encendidas, sin usuarios que hagan uso de las mismas. También fue posible evidenciar las luces del auditorio encendidas en ciertas horas donde no era requerido servicio alguno para ningún usuario. Todo esto simplemente es el reflejo de la poca importancia dada por

parte de los usuarios acerca de la gestión energética, ya que un docente ingresa a una sala y enciende sus luces para el desarrollo de la clase, pero en el momento del final de la clase, el docente y los alumnos se retiran del salón, olvidando apagar las luces. Este fenómeno resulta ser repetitivo en gran cantidad de docentes y aún en el personal administrativo, ya que en el cuarto piso fue posible evidenciar una gran cantidad de luminarias encendidas en horas del almuerzo, donde la gran mayoría de usuarios toma un receso de actividades. En general, el sistema de iluminación está diseñado para potencializar un ahorro energético en el edificio, pero su mal uso por parte del factor humano está convirtiendo este sistema de ahorro en una ineficiencia del sistema.

- **Equipos de computo**

El edificio posee equipos de cómputo apropiados para el desarrollo de las actividades académicas y de investigación, ya que poseen un procesador de tipo Core i5 10400, memoria ram de 8 GB y disco sólido de 256 GB que garantizan el soporte para cualquier actividad llevada a cabo. Además, estos equipos poseen un interruptor con la red local, por medio de la tarjeta red “wake on land”, que permite el encendido o apagado de todos los equipos de forma remota desde la recepción de cada piso, esto pensado para tener un control sobre la cantidad de equipos encendidos y apagados del edificio, lo cual potencializa un ahorro de energía para toda el área y logra un impacto directo en el sistema de gestión energética.

Sin embargo, aún con todo este sistema diseñado para ejecutar un ahorro apropiado de la energía, los equipos no operan de manera eficiente, ya que durante el desarrollo de este proyecto se detectaron salas de cómputo con equipos encendidos durante horas sin usuario alguno y en algunos casos, salas relativamente vacías con la gran mayoría de equipos encendidos, provocando un completo malgasto y uso irracional de la energía. También se encontraron algunos casos donde el docente realizaba su clase sin necesidad del uso de los equipos por parte de los estudiantes,

mientras estos mantenían sus equipos encendidos. Así, mientras los alumnos atendían al tablero durante un lapso largo de tiempo, los equipos permanecían encendidos injustificadamente. El fin de estas salas es brindar el servicio de cómputo a quien lo necesite, indistintamente del tiempo que lo requiera, pero se considera una ineficiencia, mantener un equipo encendido durante horas, sin una razón justificada. Todo esto solo deja ver una falta de compromiso por parte de los usuarios quienes después de utilizar los equipos de cómputo, no los dejan apagados o en modo ahorro de energía, sino por el contrario, apenas terminan de utilizarlo, se levantan y se van.

En resumen, el sistema de los equipos de cómputo está diseñado para brindar un servicio apropiado y eficiente a sus usuarios con un manejo óptimo de la energía con un impacto de aproximadamente el 15% de toda la energía, pero nuevamente el factor humano está interviniendo en el mal uso de los mismos, generando gastos de energía innecesariamente.

- **Aires acondicionados y sistemas de refrigeración**

Los sistemas de acondicionamiento están diseñados para mantener una temperatura específica en una zona, si la temperatura no es la deseada, el sistema seguirá trabajando hasta alcanzar el confort deseado. A partir de esto, resulta pertinente mantener aisladas y encerradas las zonas donde se quiere lograr la temperatura del confort, para que el cambio térmico entre el interior y el exterior sea casi nulo. Sin embargo, si se llega a presentar el caso donde la zona a refrigerar se mantiene abierta, se mantendrá un cambio térmico entre las temperaturas interna y externa obligando al sistema a seguir trabajando sin parar, intentando alcanzar la temperatura de confort, sin percibir, que no lo va a alcanzar debido a que la zona no se encuentra totalmente cerrada. Por medio de este trabajo de grado, se logró identificar una ineficiencia en el sistema de refrigeración, debido a que en el edificio la gran mayoría de usuarios mantienen las puertas de las salas medio abiertas y aun las puertas de acceso al edificio permanecen

constantemente abiertas, impactando directamente en un mayor trabajo por parte del sistema de refrigeración, que debe trabajar durante toda la jornada a una demanda muy alta. Es por esta razón que en el diagrama de Pareto se evidencio, que la carga más crítica con un porcentaje mayor al 50% de demanda total de energía, correspondía al sistema de refrigeración.

- **Sistema de gestión energética**

El edificio no cuenta con un sistema de gestión energética, que permita una monitorización constante del comportamiento del edificio ni mucho menos la segmentación de circuitos y cargas. Por el contrario, cuenta con tableros generales de distribución clásicos de tres barras, con protecciones clásicas sin puertos de comunicación u oportunidad de automatización, por lo que gestionar la energía con este tipo de herramientas convencionales resulta muy difícil. Por su parte, el centro de servidores cuenta con 2 UPS que permiten la visualización en tiempo real del valor de algunos parámetros como las tensiones de líneas, corrientes de líneas, potencias y frecuencia, para garantizar la confiabilidad del sistema. Sin embargo, este sistema no permite almacenar los datos, pues tan solo está diseñado para la visualización instantánea.

5. Planteamiento de posibles soluciones










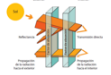



En este capítulo, se proponen diferentes soluciones con diferentes enfoques y propuestas con el fin de abordar las diferentes problemáticas energéticas que se encontraron en el edificio en el momento en el que se realiza la caracterización energética. Desde la medición y los análisis de

patrones de consumo energético se quiso proponer diferentes resultados implementando diferentes tecnologías que permitan una mayor eficiencia en todo el edificio.

Las soluciones propuestas, se presentan en la Figura 40 y se amplían junto con ejemplos en el Anexo K.

Figura 40.

Tabla de soluciones.

	SOLUCIÓN	EXPLICACIÓN	IMAGEN
1	Ductos Reflectores	Usados para transmitir la luz natural desde el exterior.	
2	Sensores Crepusculares	Dispositivos usados para encender o apagar las luces dependiendo de la luminosidad del entorno.	
3	Sensores de presencia	Por medio de la presencia o ausencia de personas en la zona de cobertura se da el encendido y apagado de luces.	
4	Dimerización	Ajustan la intensidad de la luz dependiendo del momento y la necesidad que se tenga.	
5	Sistemas de iluminación BMS	Permiten el control y la gestión de la iluminación, por medio de tecnologías como sensores de luz, controladores de iluminación y software de gestión.	
6	Equipos inverter con variador de velocidad	se ajustan a la frecuencia de alimentación del motor y a su vez controlan su velocidad y rendimiento	
7	Medidores de control por tablero para el control de cada tablero y cada carga	Se puede medir y monitorear el consumo de energía eléctrica	
8	Interruptores de tarjeta	Controla la iluminación por medio de una tarjeta llave que permite activar o desactivar la iluminación en el cuarto al momento de hacer un ingreso	
9	Implementación de sistema BMS	Es un sistema que implementando automatización, el control y un sistema informático logra convertir la edificación en un edificio inteligente.	
10	Cristales con control solar	Es la instalación de cristales dobles en los que una de sus capas tiene una lámina transparente que filtra la luz sin perder luminosidad.	
11	Sensores de puerta cerrada	sensor los cuales suelen funcionar por magnetismo, pueden ser sensores infrarrojos, de presión o simplemente de contacto físico	
12	Medidores electrónicos con puerto de comunicación	Miden y registran el consumo de electricidad en el lugar que sean instalados y por medio del puerto de comunicaciones se conectan a otros sistemas o dispositivos	
13	Segmentación de circuitos	es la división del sistema eléctrico en diferentes grupos y/o circuitos independientes, cada uno de estos alimentando un área específica	

5.1 Ahorros energéticos

A continuación, se muestran algunos de los ahorro energéticos y económicos que se podrían obtener si se consideran algunas de las soluciones propuestas.

En la Figura 41, se presenta una alternativa libre de inversión, la cual se obtuvo mediante las energías no asociadas a la producción por medio de la línea base actual vs la línea base meta.

Por medio de su línea base se logró obtener el ahorro diario el cual tiene un valor de 263.2 kWh y por medio de la tarifa oficial compartida aplicada a la Universidad Industrial de Santander por medio de la empresa prestadora del servicio se logró estimar su ahorro aproximado para una proyección diaria (multiplicando la cantidad de kWh ahorrados diariamente por su tarifa \$694,75 COP), mensual (multiplicando el ahorro diario por 30 días) y anual (multiplicando el ahorro diario por 365 días).

Figura 41.

Propuesta reducción de costos sin inversión

	Ahorro [kWh]	Ahorro [\$]
Diario	263,2	\$ 182,858,20
Mensual	7896	\$ 5,485,746,00
Anual	96068	\$ 66,743,243,00

A continuación, se realiza una estimación aproximada de costos con una de las soluciones planteadas, presentado una alternativa de inversión. Teniendo el valor de las luminarias 15 W y considerando invertir en el edificio la solución de dimerización, se presenta la variación de la intensidad con diferentes valores que el interruptor dimerizable permite, haciendo que varíe su

potencia y a partir de esto, en la Figura 42 se obtiene el ahorro diario, mensual y anual para cada uno de estos valores en una luminaria de 15 W (salones).

Figura 42.

Ahorro con inversión de interruptor dimerizable

Mecanismo:		Interruptor Dimerizable			
Intensidad de luz	Potencia [w]	Ahorro por jornada [kWh]	Ahorro en costos diarios	Ahorro en costos	Ahorro en costos anuales
100%	15	0	\$ -	\$ -	\$ -
75%	11,25	0,04125	\$ 28,66	\$ 859,75	\$ 10,317,04
50%	7,5	0,0825	\$ 57,32	\$ 1,719,51	\$ 20,634,08
30%	4,5	0,1155	\$ 80,24	\$ 2,407,31	\$ 28,887,71

5.2 Reducción de costos

Para esta sección se tomó el trabajo de grado realizado por los compañeros Puentes Marín, A. F. & Jones Rojas, J. C. (2014). Caracterización del centro de tecnologías de información y comunicación (CENTIC) aplicando la metodología del sistema de gestión integral de la energía (SGIE), con el fin de realizar una comparativa y evaluar el consumo energético del edificio con respecto al consumo de hace nueve años. Se busca analizar y contrastar el funcionamiento actual con el registrado hace casi una década.

Para esto se realizó un promedio entre los dos trabajos de la siguiente manera:

1. Para el trabajo “Caracterización del centro de tecnologías de información y comunicación (CENTIC) aplicando la metodología del sistema de gestión integral de la energía (SGIE)” realizado por Puentes Marín, A. F. & Jones Rojas, J. C. (2014), se obtuvo un promedio

día a día de los consumos obtenidos durante los 3 meses de registro y se logró obtener un consumo promedio de cada día de la semana.

2. Para los registros obtenidos durante dos semanas en este trabajo de grado se realizó un promedio entre cada día de las dos semanas (un promedio para los dos lunes, un promedio para los dos martes, ...) y se logró obtener la Figura 43 y la Figura 44, la cual se muestra a continuación y se obtiene el consumo en kWh por cada día de los dos consumos y cuanto fue su ahorro.

Nota: Durante las mediciones obtenidas en este trabajo de grado, se registraron dos lunes festivos, los cuales, con el fin de realizar esta comparación lo más precisas posible, se compararon con los días festivos registrados en el trabajo realizado en el 2014.

Figura 43.

Comparación de consumo en el 2014 y 2023

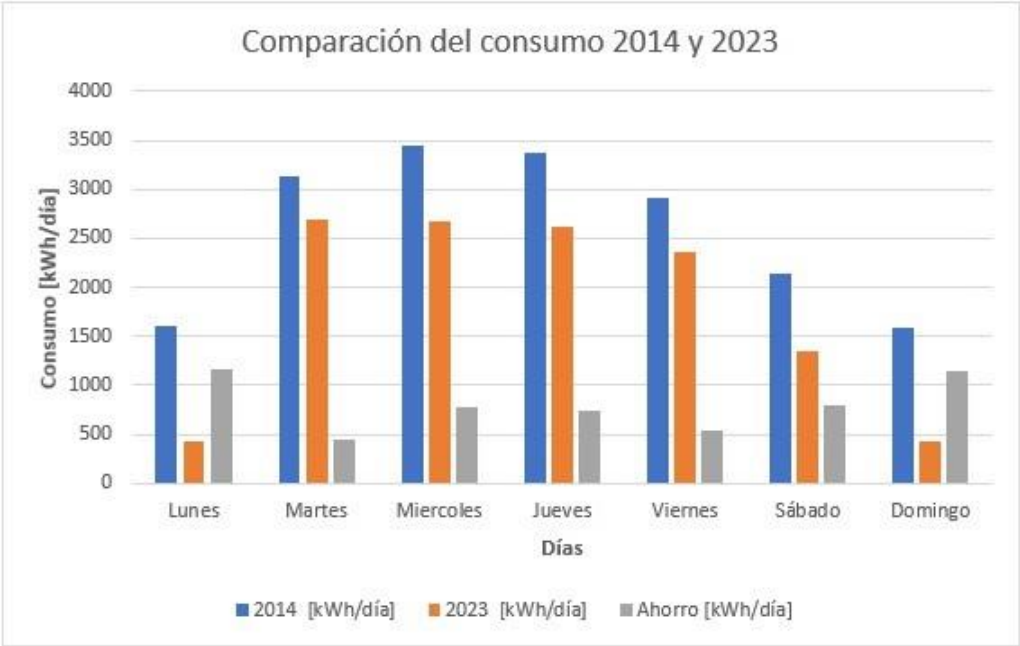


Figura 44.

Tabla de comparación del consumo año 2014 y año 2023

	2014 [kWh/día]	2023 [kWh/día]	Ahorro [kWh/día]
Lunes	1605	437	1168
Martes	3136	2695	441
Miercoles	3450	2677	773
Jueves	3367	2621	746
Viernes	2915	2367	548
Sábado	2147	1341	806
Domingo	1587	436	1151

Después de 9 años de funcionamiento del edificio, el cual ha seguido desempeñando las mismas funciones ha logrado obtener reducciones significativas en su consumo diario, se logra observar reducciones de hasta 1168 kWh/día. Estas mejoras se lograron gracias a cambios pequeños como lo son: la sustitución de luminarias en diferentes zonas del edificio, la sustitución de equipos de cómputo por equipos de menor potencia, etc. Demostrando el impacto positivo de la tecnología y la eficiencia energética en la gestión de recursos por medio de pequeñas modificaciones.

5.3 Orden de soluciones

A continuación, se presentan de manera ordenada las soluciones propuestas en la Figura 40, organizadas con respecto a la facilidad de implementación, por orden de costo de inversión y por mayores beneficios en cuanto a la gestión energética.

5.3.1 Por orden de facilidad de implementación

La Figura 45 presenta las soluciones por orden de facilidad de implementación, para brindar un panorama del escenario donde se quisiera implementar estas soluciones en función de su facilidad de implementación. En este caso se enumeran del 1 al 12 siendo 1 la más fácil de implementar y 12 la menos fácil de implementar.

Figura 45.

Tabla con soluciones por orden con facilidad de implementación

Por orden de facilidad de implementación	
Solución	Facilidad de implementación
Dimerización	1
Sensores de puerta cerrada	2
Sensores de presencia	3
Sensores Crepusculares	4
Interruptores de tarjeta	5
Sistemas de iluminación BMS	6
Segmentación de Circuitos	7
Medidores de control	8
Implementación del sistema BMS	9
Equipos inverter Variador vel.	10
Ductos Reflectores	11
Cristales con Control solar	12

5.3.2 Por orden costo de inversión

En la Figura 46, se presentan las soluciones por orden de inversión, en donde es posible obtener el panorama de implementar soluciones en función de su costo de inversión. Para este caso nuevamente se enumeran del 1 al 12 siendo 1 la solución con menor costo de inversión y 12 la solución con mayor costo de inversión.

Figura 46.

Tabla con soluciones por orden de inversión.

Por orden de costo de inversión	
Solucion	Costo de inversión
Segmentación de Circuitos	1
Dimerización	2
Sensores de puerta cerrada	3
Sensores de presencia	4
Interruptores de tarjeta	5
Sensores Crepusculares	6
Medidores de control	7
Sistemas de iluminación BMS	8
Equipos inverter Variador vel.	9
Implementación del sistema BMS	10
Ductos Reflectores	11
Cristales con Control solar	12

5.3.3 Por orden de gestión energética

Se presentan en la Figura 47 las soluciones nuevamente, pero esta vez en orden de impacto en la gestión energética, debido a que la idea principal consiste es mejorar la gestión energética, este escenario brinda el mejor panorama. Las soluciones se organizan del 1 al 12 siendo 1 la solución que más impacta en la gestión energética y 12 la que menos impacto tiene

Figura 47.

Tabla con soluciones por orden de gestión energética.

Por orden de Gestión energética	
Solucion	Gestión
Implementación del sistema BMS	1
Sistemas de iluminación BMS	2
Medidores de control	3
Segmentación de Circuitos	4
Equipos inverter Variador vel.	5
Sensores de presencia	6
Sensores de puerta cerrada	7
Sensores Crepusculares	8
Interruptores de tarjeta	9
Dimerización	10
Cristales con Control solar	11
Ductos Reflectores	12

5.4 Soluciones alternas ambientales

Dentro de las actividades que complementan el SGEN, es posible encontrar soluciones amigables con el medio ambiente y aun cuando su costo pueda ser de una alta inversión, se obtendrá un beneficio positivo para el edificio y para el medio ambiente. A continuación, se presentan dos opciones de solución para mejorar la gestión energética dentro del edificio.

- **Terraza Verde**

El edificio Centic, es una estructura que cuenta con un área en su zona superior, con aproximadamente 1.260 metros cuadrados, y es potencialmente una zona de mejora como se puede apreciar en la Figura 48. Esta imagen fue tomada de otro proyecto de grado realizado por los compañeros Carlos Javier Chanagá Rodríguez, Johan Manuel Pineda Soriano y Juan Sebastián Crispín Guerra en su proyecto titulado ANÁLISIS, CARACTERIZACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DEL POTENCIAL SOLAR PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN LAS INSTALACIONES DEL CAMPUS CENTRAL DE

LA UIS. Debido a su gran cantidad de espacio, una solución alternativa es la implementación de una terraza verde por medio de jardines y huertas a lo largo de toda su zona superior, obteniendo el efecto de un “Mini bosque” en la azotea, y de esta forma logrando reducir en gran manera la temperatura de la terraza que recibe los rayos del sol durante la mayor parte del día. También es posible el aprovechamiento del espacio por medio de paneles solares que capturen la radiación solar y hagan sombra sobre la azotea donde se encuentran ubicados una gran cantidad de equipos encargados de la refrigeración del edificio. Este tipo de solución ya se ha implementado dentro del campus de la Universidad Industrial de Santander (UIS) en el edificio de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (E3T) como se puede apreciar en la Figura 49 (*Socha Acosta, 2019*) donde al día de hoy funciona regularmente, se mantiene una terraza verde y además se han instalado paneles solares que, aunque no impactan directamente en la gestión energética, si impactan de manera positiva en el medio ambiente ayudando a generar ahorros de energía en la red del sistema.

Figura 48.

Vista superior del Edificio Centic



Figura 49.

Vista superior del edificio E3T



Nota. Tomado de: Bersoa Bymanga (2019) Vista superior del edificio E3T

<https://bersoabumanga.blogspot.com/2019/01/invitada-por-el-gobierno-la-uis-hara.html>

- **Fachada Verde**

Actualmente se desarrollan construcciones y edificaciones ecológicas en el mundo. Muchos edificios e incluso rascacielos se han construido pensados para ser autosostenibles y amigables con el medio ambiente como se evidencia en la Figura 50 (*El oficial, s.f.*). La idea de una fachada verde consiste en implementar jardines a lo largo de la fachada del edificio, dando la impresión de un “jardín colgante”. Este tipo de solución ayudaría en gran manera a reducir los rayos solares que impactan directamente todos los días en la parte externa del edificio, y así mantener un ambiente más fresco y cómodo en su interior, reduciendo el gasto de energía en acondicionamiento interno. En la Figura 51 (*MAPIO, s.f.*) se puede observar la fachada del edificio Centic y su gran cantidad de espacio que podría ser aprovechada para este tipo de implementación convirtiéndolo en el primer edificio inteligente y ecológico al mismo tiempo del campus central de la Universidad Industrial de Santander (UIS)

Figura 50.

Ejemplo de edificación con fachada verde



Nota. Tomado de: El oficial (2018) *Ejemplo de edificación con fachada verde*
<https://www.eloficial.ec/wp-content/uploads/2018/08/edificiosverdes1-1024x768.jpg>

Figura 51.*Fachada del Edificio Centic***5.5 Sensibilización y cultura energética**

Es posible obtener una gestión energética adecuada en el edificio que incremente los ahorros energéticos a un costo de inversión bajo por medio de una campaña energética que concientice y cree una cultura en la comunidad universitaria. Por esta razón, una propuesta alternativa para el uso integral de la energía es una campaña de sensibilización del ahorro de esta en donde se cree una cultura energética y se incentive a los usuarios a hacer un uso racional de la misma, creando oportunidades de ahorro en donde ellos mismos sean los principales protagonistas. Para esto, se propone el diseño de afiches que hagan alusión al uso racional de la energía y las buenas prácticas energéticas para incentivar a los usuarios a tomar conciencia de la importancia del ahorro de la energía. Estos afiches se presentan a continuación en las Figuras 52 a la Figura 54. Además del afiche principal, se propone la implementación de pequeños letreros en los

interruptores y computadores con el mensaje “Apágame” que ayuden a recordar a los usuarios que se deben apagar los equipos al finalizar la jornada de estudio y de esta forma, hacer el uso adecuado de la energía, al no crear ineficiencias inútiles, dejando las luces y computadores encendidos por el resto de la jornada sin que nadie les dé un uso. Por otro lado, aún es posible encontrar una oportunidad de ahorro para promover la campaña energética, ya que el Centic es un edificio de cómputo y por ende es posible modificar el fondo de pantalla de todos los computadores con un mensaje alusivo al uso racional de la energía y así lograr crear un mayor impacto en los usuarios. El fondo de pantalla propuesto para los computadores se presenta en la Figura 55. Finalmente, para lograr impactar a la mayor cantidad de estudiantes y docentes de la comunidad universitaria, se creó una infografía donde se detalla la importancia del cuidado del uso de la energía logrando abarcar una cultura energética en la mayor cantidad de personas de la comunidad. La infografía se presenta en la Figura 56.

Figura 52.

Afiche de concientización energética.

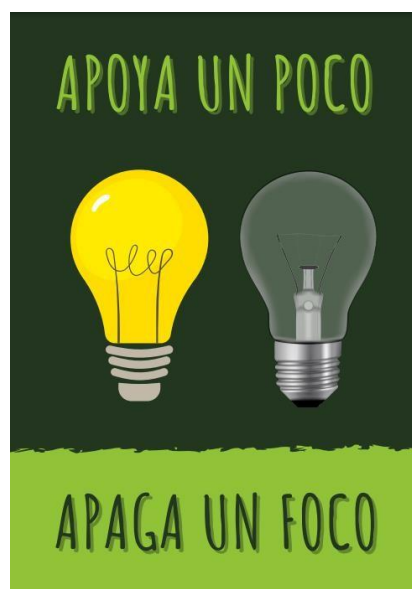


Figura 53.

ABC de la energía, afiches para pasillos.



Figura 54.

Afiche para interruptores en salones.

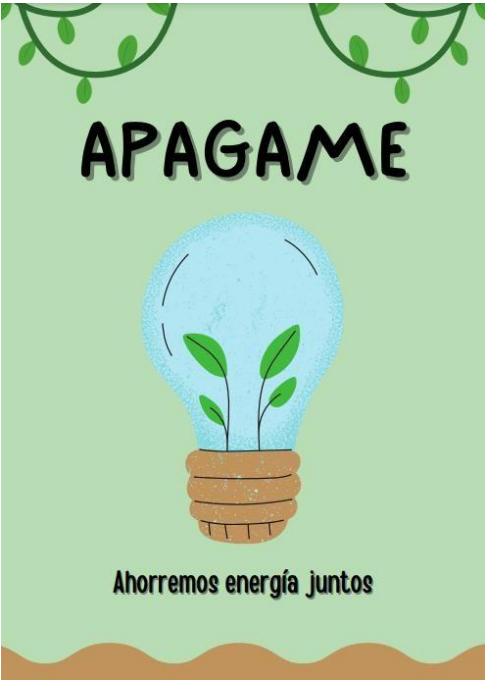


Figura 55.

Afiche para pantallas suspendidas en computadores.



Figura 56.

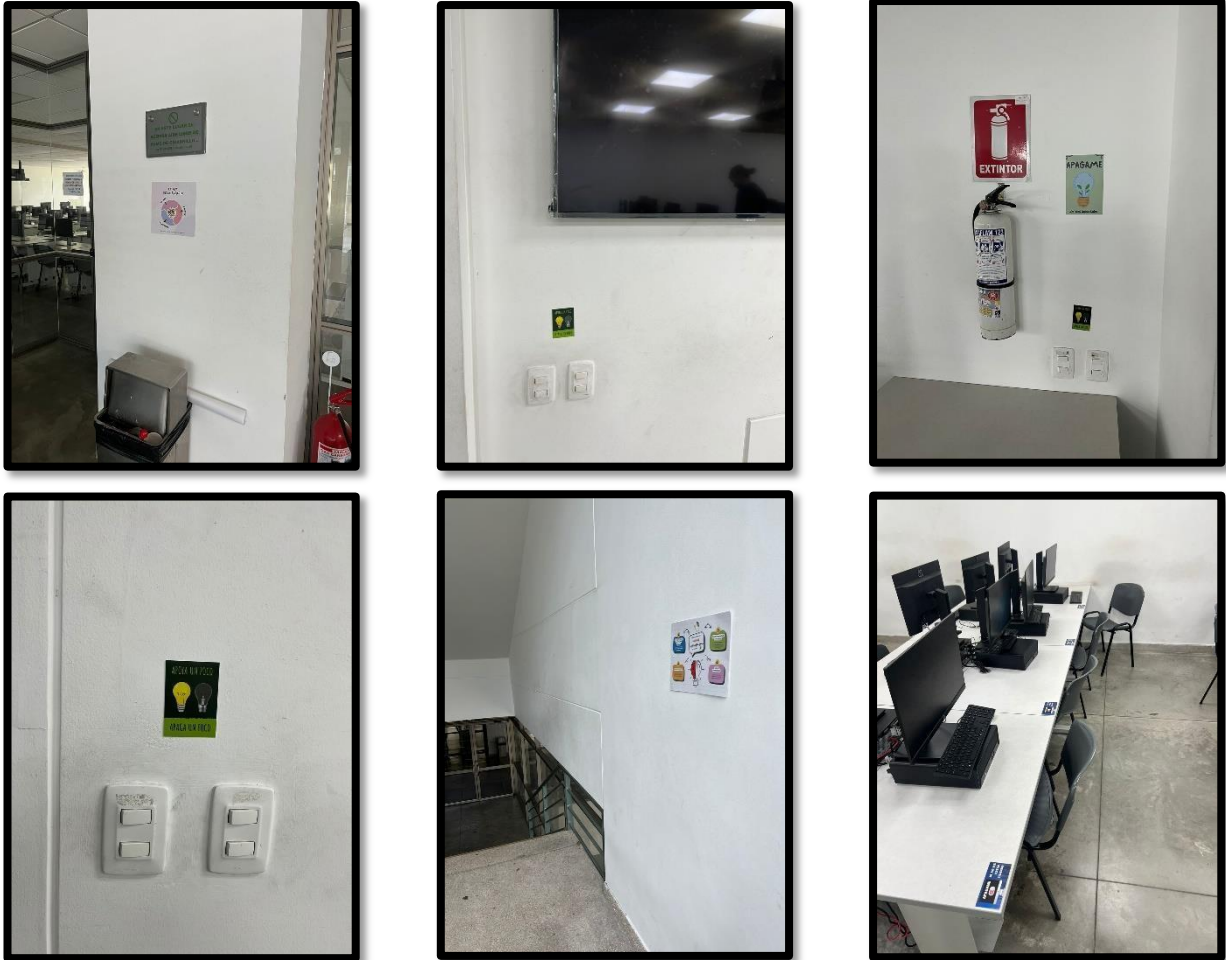
Afiche de concientización sobre consumo energético en el Centic.



Para esta propuesta, se realizaron charlas con el ingeniero Edwin Ordoñez, encargado del funcionamiento del Centic, con el fin de darles a conocer la campaña energética y solicitar los permisos respectivos para realizar el montaje de los afiches alusivos a la conciencia y cultura energética. Se ubicaron los afiches en zonas estratégicas de fácil visibilidad con el fin de impactar a la mayor cantidad de usuarios del edificio. En la Figura 57 se muestran algunos carteles ubicados en las instalaciones del edificio Centic.

Figura 57.

Campaña energética.



5.6 Auxiliar URE

En gestión energética un auxiliar ure es un asistente que trabaja y vela por la mejora del sistema energético. Este auxiliar es responsable de ayudar a la administración, con la supervisión de los sistemas energéticos y la comunicación interna de la organización. Entre sus funciones se encuentra el monitoreo y control de los indicadores de energía, así como la gestión de ahorro en las instalaciones. Además, puede participar en el diseño e implementación de medidas eficientes de energía que serán propuestas desde la alta dirección.

Se propone la contratación de un auxiliar ure, para que contribuya con la capacitación de la alta dirección respecto a la gestión energética. Además, este auxiliar puede participar activamente en la creación de una política energética adecuada para ser implementada en el edificio. En caso de que la alta dirección decida seguir la propuesta de actualizar los tableros de baja tensión y segmentar los circuitos para instalar equipos de monitoreo continuo, el auxiliar ure, se encargará de supervisar el comportamiento continuo del edificio y detectar anomalías en este comportamiento energético, ayudando a reducir impactos de energía por cambios imprevistos. Asimismo, el auxiliar ure, se encargará de velar por el ahorro de energía, tomando acción en lugares donde se esté haciendo un uso inadecuado de la misma. En caso de que alguna sala se encuentre vacía, pero con los computadores encendidos, desde el panel central de control de cada piso, procederá a realizar el apagado de todos los equipos hasta la siguiente clase. De igual forma, si encuentra salas vacías con las luces encendidas, procederá a entrar y apagar las luces para crear el ahorro tan necesario de la energía.

6. Conclusiones y observaciones

En este trabajo de grado se determinó y actualizó la línea base energética del edificio Centic, que había sido calculada hace 9 años por los compañeros Puentes Marín, A. F. & Jones Rojas, J. C. (2014). En su proyecto Caracterización del centro de tecnologías de información y comunicación (Centic) aplicando la metodología del sistema de gestión integral de la energía (SGIE). La nueva línea base actualizada fue posible obtenerla gracias al uso de herramientas estadísticas, que ayudaron a determinar el desempeño energético de todo el edificio Centic, en donde fue posible encontrar y detectar nuevas problemáticas lo que conlleva al planteamiento de nuevas soluciones.

Se evidencia una reducción significativa del consumo del edificio comparado al año 2014 en donde el proyecto de los compañeros Puentes Marín, A. F. & Jones Rojas, J. C. (2014). Caracterización del centro de tecnologías de información y comunicación (CENTIC) aplicando la metodología del sistema de gestión integral de la energía (SGIE), determinó consumos de hasta 4000 kWh/día. Esto indica que un lapso de 9 años, que han transcurrido desde el anterior estudio, se han tomado medidas para la gestión energética del Centic, potencializando una gran cantidad de ahorros económicos y de energía ya que para el año 20223 se han llegado a detectar consumos de hasta 2724 kWh/día en un día normal de actividad, demostrando que el consumo energético se ha reducido en un 31,9 %. No obstante, el edificio podría operar aún de forma más eficiente, ya que este proyecto ha detectado oportunidades de ahorro.

Por medio de la línea base actual y la línea base meta fue posible cuantificar un ahorro diario, el cual fue proyectado para una semana, un mes e incluso un año, permitiendo una mejora

en la economía del edificio y en su eficiencia energética, en donde se puede alcanzar un ahorro anual energético de hasta \$66.000.000.

Mediante la solución de interruptores dimerizable propuestos en el Capítulo 4, fue posible plantear un ahorro con inversión, el cual se trabajó para diferentes valores de potencia para una (1) luminaria, como se muestra en la Figura 42, permitiendo una proyección de ahorro de hasta \$28.887 anuales.

Por medio del control hora a hora del aforo de personas atendidas, fue posible detectar el comportamiento social académico por parte de todos miembros de la comunidad universitaria que hacen uso de estas instalaciones, en donde se evidenció gran parte de la problemática que impacta directamente en la eficiencia energética.

El sistema de refrigeración es un potente sistema eléctrico, que podría mantener el confort de todo el edificio, sin necesidad de demandar una tasa tan alta de energía, ya que, fue posible evidenciar como algunos salones de clase perdían el confort por mantener temperaturas de hasta los 18 °C.

Se tomaron medidas y se recopilaron datos de la iluminación y temperatura, para que, junto con los datos obtenidos por los medidores avanzados, se pudiera emitir un diagnóstico imparcial y objetivo de la eficiencia energética de todo el edificio.

Por medio de un análisis de las herramientas estadísticas se detectó en orden porcentual las variables más importantes de todo el sistema, en donde se encontró que el segundo transformador demanda más de la mitad de la energía total demandada por el edificio.

El edificio cuenta con un excelente sistema de iluminación, ya que, es eficiente energéticamente y cumple con los niveles estipulados por el RETILAP (*Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 50001, 2011*) convirtiéndolo en un sistema óptimo de operación.

El edificio tiene múltiples cargas, que proveen potenciales ahorros de energía, pero que se están desaprovechando y perdiendo, debido al mal uso de las instalaciones por parte de la comunidad universitaria que hace uso del edificio.

El edificio Centic, no cuenta con un sistema de gestión energética activo, sino por el contrario se realizan ajustes de forma manual, por lo que mantener un control del uso racional de la energía resulta casi imposible y por ende dificulta mantener su control.

Si el edificio contara con un sistema automatizado y programado por medio de sensores y controladores, podría operar de manera óptima, haciendo el uso necesario de energía en cada momento.

Implementar un sistema de gestión energético como el que propone la norma ISO 50001 requiere una continua monitorización de la energía y el compromiso de la alta dirección. Además, es importante recalcar que es un compromiso de todos velar y cuidar el medio ambiente.

Hace falta conciencia y sensibilización por el medio ambiente, en la comunidad universitaria, ya que, gran parte de la problemática energética viene dada por el mal uso de la misma comunidad. Si toda la comunidad tuviera más cultura respecto a la gestión de la energía, se lograría un impacto global en el ahorro energético a un bajo costo de inversión.

Un edificio tecnológico como lo es el Centic, debe contar con sistemas automatizados y programados que permitieran hacer un uso racional de la energía, de forma automática.

En el año en el que fue construido el edificio Centic, tuvo tecnologías avanzadas para la época, sin embargo, cada año se exploran nuevas tecnologías y es conveniente programar la adopción de algunas de ellas con el fin de implementar nuevas alternativas que impulsen ahorro energético en el edificio.

Es importante adoptar nuevos sistemas y herramientas en el edificio con el fin de conservar las tecnologías y los softwares que ya tiene, sin embargo, es de gran importancia que, a su vez, se tengan en cuenta mantenimientos preventivos con el fin de aumentar la vida útil de los diferentes dispositivos en los programas con los que cuenta el edificio.

Con el fin de reducir costos energéticos a futuro y mitigar los impactos ambientales relacionados a la producción y el consumo de energía en el edificio es importante realizar en el menor tiempo posible alguna inversión en una de las soluciones energéticas propuestas en este trabajo de grado, la cual no tomará mucho tiempo en recuperar su costo inicial, ya que se verá la reducción en otros aspectos del edificio.

Se realizó una campaña energética con el fin de incentivar la sensibilización y conciencia energética, por medio de nuevas estrategias para el ahorro energético. Por medio de diferentes afiches se promovió el apagado de interruptores y de computadores mientras estos no se encuentren en uso y adicionalmente se ubicaron afiches en puntos estratégicos con el fin de crear una cultura energética en el personal que da uso al edificio.

Se realizó una aproximación de mejoras cuantificables sobre alternativas con inversión y libres de inversión para la eficiencia del edificio.

Trabajos futuros

Se puede implementar el plan de gestión energética propuesto por la norma ISO 50001 (*Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 50001, 2019*) en el edificio Centic, con el objetivo principal de gestionar y realizar un uso racional de la energía para mejorar la eficiencia de todo el edificio.

Se requiere que a futuro se puedan implementar todas o parte de las soluciones planteadas en este trabajo de grado, con el fin de lograr una reducción del consumo energético en el edificio.

Se sugiere establecer un sistema de monitoreo continuo de la energía, para llevar un control adecuado de la misma en sus datos históricos para poder detectar comportamientos irregulares del edificio.

Se requiere que a futuro la campaña de cultura de la gestión energética sea implementada en todo el campus desde los primeros semestres de los estudiantes con el fin de crear una cultura responsable y amigable con el medio ambiente.

Se deben proponer nuevas metas energéticas a alcanzar en el futuro y comenzar a equipar todo el sistema para lograr el objetivo.

Referencias Bibliográficas

- Amazon. (s.f.). Registrador trifásico de energía Fluke 1730 <https://www.amazon.com/-/es/FLUKE-port%C3%A1til-Energ%C3%ADa-Logger-Versi%C3%B3n/dp/B00F2TAVXK>
- Chanagá Rodríguez, C. J., Pineda Soriano, J. M., & Crispín Guerra, J. S. (2023). Análisis, caracterización y actualización del potencial solar para la implementación de sistemas de generación fotovoltaica en las instalaciones del campus central de la uis. . Proyecto en desarrollo.
- Compresores Josval. (s.f.). Equipos inverter con variador de velocidad <https://compresoresjosval.com/productos/tornillo/serie-iberus/serie-iberus-variador-de-velocidad-inverter/>
- Dam-Assets. (s.f.). Camara Termica Fluke. https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/styles/product_slideshow_main/public/F-PTi120_02a_c-update.jpg
- El oficial. (s.f.). Edificaciones con fachada verde ambientales. <https://www.eloficial.ec/wp-content/uploads/2018/08/edificiosverdes1-1024x768.jpg>
- Electronilab. (2016). Sensores de puerta cerrada. <https://cdn.electronilab.co/wp-content/uploads/2016/04/Sensor-Magn%C3%A9tico-de-Puerta-o-Ventana-5.jpg>
- Extron. (s.f.). Implementación de sistemas de iluminación BMS. https://media.extron.com/public/landing/content/bmsad/img/room1_sp.png

Habcdn. (s.f.). Segmentación de circuitos. <https://es.habcdn.com/photos/business/big/switchgear-2069758-960-720-2189987.jpg>

IEEE 1250. (s.f.). Voltage Sag Immunity: The ability of equipment to withstand momentary electric power interruptions or sags.

Interelectricas. (s.f.). Medidores electrónicos con puerto de comunicación. https://interelectricas.com.co/210-large_default/contador-elster-a1800-1-10a-indirecto-con-puerto.jpg

Laminas y aceros. (s.f.). Ductos Reflectores. <https://blog.laminasyaceros.com/hs-fs/hubfs/sugedydi/sugedydi/Blogs/Diapositiva1.jpg?width=960&name=Diapositiva1.jpg>

Laumayer. (2021). Sensor Infrarrojo. <https://laumayer.com/wp-content/uploads/2021/09/WID0128-WID0129grande.png>

Laumayer. (2021). Instrumento digital programable. <https://laumayer.com/wp-content/uploads/2021/07/LOV0925.jpg>

LG. (s.f.). Televisor LG. <https://www.lg.com/cac/images/business/md07520655/gallery/dm-3.jpg>

MAPIO. (s.f.). Fachada del edificio Centic en la UIS. <https://mapio.net/images-p/6667193.jpg>

Ministerio de minas y energía. (1995). Resolución CREG N° 025. Ministerio de minas y energía. (2002). Resolución CREG N° CREG 082.

Ministerio de minas y energía. (2009). Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público (RETILAP). Bogotá.

Ministerio de minas y energía. (2012). Resolución CREG N° 065. Ministerio de minas y energía. (2018). CREG en su Resolución 015.

Ministerio de minas y energía. (s.f.). Resolución CREG N° 024 (Modificación 070-98).

- Mlstatic. (s.f.). Interruptor de tarjeta. https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_2X_854943-CBT69846810492_062023-F.webp
- Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 50001. (2011). Sistemas de Gestión de la Energía Requisitos con Orientación para su uso. Icontec.
- Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 50001. (2019). Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso. Icontec.
- Prias Caicedo, O. F., Campos Avella, C. R., & Palencia Salas, A. (s.f.). Implementación de un sistema de Gestión de la Energía Guía con base en la norma ISO 50001:2018 segunda edición. red colombiana de conocimiento en eficiencia energética - RECIEE.
- Productimages. (s.f.). Sensores ABB. https://cdn.productimages.abb.com/9PAA00000020761_720x540.png
- Proyecto de grado de la foto del dron. (s.f.).
- Puentes Marín, A. F. & Jones Rojas, J. C. (2014). Caracterización del centro de tecnologías de información y comunicación (CENTIC) aplicando la metodología del sistema de gestión integral de la energía (SGIE)
- Pymesonline. (2022). Interruptor Dimerizable Wifi. <https://tienda.pymesonline.co/wp-content/uploads/2022/04/interruptor-tactil-wifi-inteligente-dimmer-o-regulable-control-iluminacion-smart-tuya-1.png>
- Reformas Integrales10. (2018). Cristales con control solar. <https://reformasintegrales10.com/wp-content/uploads/2018/06/vidrio-control-solar.png>
- Siime. (2019). Implementación de sistema BMS. <https://siime.cl/wp-content/uploads/2019/09/Diagrama-BMS-1024x576.jpg>

Socha Acosta, B. (2019). Terraza del edificio E3T en la UIS.

<https://bersoabumanga.blogspot.com/2019/01/invitada-por-el-gobierno-la-uis-hara.html>

Sylvania-Colombia. (2022). Luminarias. [https://sylvania-colombia.com/wp-](https://sylvania-colombia.com/wp-content/uploads/2022/10/panel-rd-producto.jpg)

[content/uploads/2022/10/panel-rd-producto.jpg](https://sylvania-colombia.com/wp-content/uploads/2022/10/panel-rd-producto.jpg)

Wallapop. (s.f.). Analizador de Redes de Marca HT-GSC59.

<https://fr.wallapop.com/item/analizador-redes-electricas-ht-gsc-59-928751982>