

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Fecha:

Señores
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Sistema de Bibliotecas del Tecnológico

Yo, _____, envío al
Sistema de Bibliotecas del Tecnológico (SIBITEC), el Trabajo Final de Graduación, del cual soy autor y fue presentado
para optar por el grado de _____, en la fecha _____, con el título del proyecto:

Para ser publicado en:

Repositorio Institucional y Catálogo SIBITEC, con el objetivo de ser visualizado a través de la red Internet, o
Catálogo SIBITEC, uso exclusivo de la Comunidad TEC.

Autorizo con embargo¹ Fecha para publicar:

En el caso de que no se pueda publicar seleccione:

Confidencial Justificación:

Datos personales:

Nombre autor:

Carrera en la que se presenta el TFG:

Campus Tecnológico / Centro: Académico:

Correo/s electrónico/s:

Carnet:

Nº de identificación personal:



Firma del estudiante

¹ Embargo: período de tiempo durante el cual el acceso o consulta a una publicación no está disponible.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
CARRERA DE INGENIERIA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

PROYECTO:

Propuesta de sistema de gestión de energía aplicado en el Hospital San Francisco de Asís, bajo los criterios de las normas ISO 50000.

INDORME DE PRÁCTICA DE ESPECIALIDAD PARA OPTAR POR EL TITULO DE
Ingeniero en Mantenimiento Industrial, grado Licenciatura.

REALIZADO POR:

Carlos Mario Oviedo Alfaro

COORDINADOR DE PRÁCTICA:

Ing. Ignacio Del Valle Granados

II SEMESTRE 2022



Carrera evaluada y acreditada por:

Agencia de acreditación de programas de Ingeniería y de Arquitectura



Profesor Guía

Ing. Julio Cesar Rojas Gómez

Asesor Industrial

Ing. Franty Vargas Dimarco

Tribunal examinador

Ing. Rosa Matarrita Chávez

Ing. Fernando Bonilla Lorenzo

Información del estudiante y de la empresa

Información del estudiante

Nombre completo: Carlos Mario Oviedo Alfaro

Número de cédula: 2-0763-0174

Número de carné: 2016106655

Edad: 25 años

Números de teléfono: 8535-1806

Correos electrónicos: caoviedo@estudiantec.cr; carlosalfaro07@gmail.com

*Dirección exacta de domicilio: 500m noreste del templo católico de San Isidro de Grecia,
Grecia-Alajuela.*

Datos de la Empresa

Nombre: Hospital San Francisco de Asís

Actividad Principal: es un centro de salud estatal perteneciente a la Caja Costarricense del Seguro Social dedicado a la atención médica de pacientes.

Dirección: Avenida Central León Cortes Castro, Provincia de Alajuela, Grecia.

Contacto: Ing. Franty Vargas Dimarco

Teléfono: 2437-9566

Dedicatoria

A mis padres y hermanos por estar siempre presentes, por darme todas las herramientas para seguir adelante aun cuando fuera un mal momento. Por alentarme por seguir siempre adelante sin importar las circunstancias, pero por sobre todo por creer en mí y hacerme ver que todo esfuerzo tiene su recompensa.

Agradecimientos

A toda mi familia en general por estar presente en todo momento y darme el apoyo que necesitaba desde el inicio.

A todas las personas que estuvieron presentes durante los años de formación académica y personal, que hicieron de ese proceso un viaje con muchas experiencias y conocimientos.

A todo el personal del Hospital San Francisco de Asís, principalmente a los ingenieros Franty Vargas, Oscar Zumbado y Andrés Cruz por brindarme su ayuda y conocimientos durante todo el proceso de desarrollo del proyecto.

Al personal de lavandería y mantenimiento por su buen trato y amabilidad durante todo el tiempo que estuve presente en las instalaciones del centro médico, principalmente a Carlos Andrés Ballestero, quien fue parte importante en todo el proceso.

A mi jefe Mauricio Vargas y compañeros de trabajo por permitirme seguir adelante con el desarrollo del proyecto de forma paralela con mis responsabilidades laborales.

Índice de contenido

Información del estudiante y de la empresa.....	III
Dedicatoria.....	IV
Agradecimientos.....	V
Índice de contenido.....	VI
Índice de tablas.....	X
Índice de figuras.....	X
Resumen.....	1
Abstract.....	2
CAPÍTULO I.....	3
1. Introducción.....	3
2. Antecedentes.....	4
3. Reseña de la empresa.....	7
4. Planteamiento del Problema.....	8
5. Objetivos.....	11
5.1. Objetivo General.....	11
5.2. Objetivos Específicos.....	11
6. Justificación.....	12
7. Metodología.....	14
7.1. Metodología empleada.....	14

7.2.	Cronograma del proyecto	16
8.	Viabilidad	17
9.	Alcance	18
10.	Limitaciones	19
CAPÍTULO II		19
1.	Marco Teórico	19
1.1.	Gestión energética.....	19
1.2.	Política energética.....	21
1.2.1.	Objetivos energéticos	21
1.3.	Auditorias Energéticas	21
1.4.	Indicadores energéticos	22
1.5.	Eficiencia energética	24
1.5.1.	Demanda y consumo de energía	24
1.6.	Balance energético	24
1.7.	Normas técnicas utilizadas	25
1.7.1.	ISO 50001	25
1.7.2.	ISO 50002	26
1.7.3.	ISO 50003	27
1.7.4.	ISO 50004	27
1.7.5.	ISO 50006	27

1.8.	Arduino.....	28
1.8.1.	Arduino UNO.....	29
1.8.2.	Sensor de corriente SCT-013	30
1.8.3.	Sensor de tensión ZMPT101B	31
1.9.	Tableros eléctricos de aislamiento	32
	CAPÍTULO III.....	34
1.	Evaluación energética del centro médico.....	35
1.1.	Generalidades	36
1.2.	Auditorias energéticas.....	41
1.3.	Análisis de datos	47
1.3.1.	Datos Históricos	47
1.3.2.	Demanda	49
1.3.3.	Energía.....	53
1.3.4.	Base energética.....	55
1.3.4.1.	Línea base energética	55
1.3.4.2.	Indicadores energéticos	59
	CAPÍTULO IV.....	66
1.1.	Descripción de prototipo de medición de energía	66
1.1.1.	Etapa 1, Diseño y desarrollo de cálculos	67

1.1.2.	Etapa 2, Programación de Arduino y conexión de prueba de los sensores SCT-013 y ZMPT101B.....	71
1.1.3.	Etapa 3, Optimización de circuitos.....	72
1.1.4.	Etapa 4. Diseño y construcción de protección externa de acrílico.....	73
1.1.5.	Etapa 5. Mejoras de almacenamiento y transmisión de datos.	77
1.1.6.	Etapa 6. Mejoras en la capacidad de toma de datos.	79
CAPÍTULO V		80
1.1.	Análisis técnico-financiero	80
1.1.1.	Análisis técnico.....	80
1.1.2.	Análisis financiero	82
CAPÍTULO VI.....		85
1.1.	Recomendaciones	85
1.2.	Conclusiones.....	86
Bibliografía		89
Apéndices.....		94
Apéndice 1. Auditorias energéticas		94
Apéndice 2. Código de programación del prototipo.....		114
Apéndice 3. Facturación de elementos principales del prototipo de medición.....		118
Anexos		122

Índice de tablas

Tabla 1. Metodología empleada en el proyecto.	14
Tabla 2. Distribución de las acometidas eléctricas del centro médico.	37
Tabla 3. Consumo energético total por zonas.	42
Tabla 4. Elementos necesarios para la construcción del dispositivo de medición de energía. ...	70
Tabla 5. Costo de contracción y diseño de prototipo de medición en tiempo real.	83
Tabla 6. Costo mensual promedio dividido por zonas.	84

Índice de figuras

Figura 1. Comparación entre el debiera y realidad de los sistemas de gestión de energía aplicados en hospitales.	10
Figura 2. Consumo eléctrico del Hospital San Rafael de Alajuela.	13
Figura 3. Cronograma del proyecto.	16
Figura 4. Estructura de Modelo de Gestión de Energía.	20
Figura 5. Ejemplo de auditoria energética.	22
Figura 6. Ejemplos de indicadores energéticos aplicados en hospitales.	23
Figura 7. Flujos energéticos necesarios para realizar un balance de energía.	25
Figura 8. Ciclo planificar-hacer-verificar-actuar.	26
Figura 9. Relación entre indicadores de desempeño, línea base y período de informe.	28
Figura 10. Arduino UNO.	30
Figura 11. Sensor de corriente no invasivo SCT-013.	31
Figura 12. Sensor de voltaje AC, ZMPT101B.	32

Figura 13. Tablero eléctrico de aislamiento en salas de operación del Hospital San Francisco de Asís.....	33
Figura 14. Conexión eléctrica tradicional y conexión con tablero de aislamiento.	34
Figura 15. Instalaciones del Hospital San Francisco de Asís.	36
Figura 16. Consumo eléctrico durante el año 2018.....	38
Figura 17. Consumo eléctrico durante el año 2019.....	39
Figura 18. Consumo eléctrico durante el año 2020.....	39
Figura 19. Consumo eléctrico durante el año 2021.....	40
Figura 20. Consumo eléctrico durante el año 2021.....	41
Figura 21. Análisis de distribución del consumo eléctrico del Hospital San Francisco de Asís.	45
Figura 22. Balance energético para zona de lavandería, Hospital San Francisco de Asís..	46
Figura 23. Comportamiento de consumo energético en los años 2019, 2020, 2021.....	47
Figura 24. Comportamiento de la demanda energética en los años 2019, 2020, 2021	48
Figura 25. Perfil de demanda de secadora Braun, para los lunes y martes.....	51
Figura 26. Perfil de demanda de secadora Braun, para los miércoles, jueves y viernes	52
Figura 27. Perfil de demanda de secadora Braun, para los sábados.....	52
Figura 28. Comportamiento de energía activa y reactiva de secadora Braun.....	53
Figura 29. Cantidad de CO2 producida por cada kWh consumido.....	54
Figura 30. Línea base energética, Hospital San Francisco de Asís.....	56
Figura 31. Línea base energética para lunes y martes.....	57
Figura 32. Línea base energética para miércoles, jueves y viernes.....	58
Figura 33. Línea base energética para sábados.	58

Figura 34. Indicador de energía por metro cuadrado.	60
Figura 35. Indicador de demanda por metro cuadrado.....	61
Figura 36. Indicador de energía consumida por cama al día	62
Figura 37. Indicador de demanda consumida por cama al día.....	63
Figura 38. Indicador de precio pagado por metro cuadrado	64
Figura 39. Indicador de precio pagado por energía.....	64
Figura 40. Indicador de precio pagado por demanda	65
Figura 41. Primera conexión y prueba de prototipo de medición de energía	72
Figura 42. Diseño de circuitos de rectificación de señal de corriente.....	73
Figura 43. Toma de medidas y ubicación final de módulos. Fuente: Elaboración propia.	74
Figura 44. Diseño de cubierta externa.....	75
Figura 45. Prototipo de medición de energía.....	76
Figura 46. Conexión final de prototipo de medición de energía.....	76
Figura 47. Modulo WIFI ESP8266	78
Figura 48. Ejemplos de comandos AT para la programación del módulo ESP8266.....	78
Figura 49. Auditoria energética en Lavandería.....	94
Figura 50. Auditoria energética en Sala de Emergencias.....	97
Figura 51. Auditoria energética en Quirófanos.....	98
Figura 52. Auditoria energética en Centro de acopio.....	99
Figura 53. Auditoria energética en Recursos Humanos.....	101
Figura 54. Auditoria energética en Administración.....	102
Figura 55. Auditoria energética en Departamento de compras.....	103
Figura 56. Auditoria energética en Pabellón Mixto	104

Figura 57. Auditoria energética en Pabellón de maternidad.....	105
Figura 58. Auditoria energética en Pabellón de pediatría	106
Figura 59. Auditoria energética en Centro de equipos	107
Figura 60. Auditoria energética en Capilla.....	107
Figura 61. Auditoria energética en Dirección de enfermería.....	108
Figura 62. Auditoria energética en Suministro de agua.	109
Figura 63. Auditoria energética en Mantenimiento, Presupuesto y Transporte.	109
Figura 64. Auditoria energética en Taller de Mantenimiento.....	110
Figura 65. Auditoria energética en Radiología	111
Figura 66. Auditoria energética en Admisión.....	112
Figura 67. Muestra de datos generados por el prototipo de medición.....	113
Figura 68. Código de programación en Arduino del prototipo.....	117
Figura 69. Factura de compra de materiales, MicroJPM.....	118
Figura 70. Factura de compra de materiales, MicroJPM (Continuación)	119
Figura 71. Factura de compra de materiales, DBU Electronics.....	120
Figura 72. Factura de compra de materiales, CR Cibernética	121
Figura 73. Datos de placa secadora marca BRAUN.	122
Figura 74. Secadora marca BRAUN.	123
Figura 75. Datos de placa lavadora marca BRAUN	124
Figura 76. Datos de placa secadora DOMUS	125

Resumen

El Hospital San Francisco de Asís es uno de los principales centros médicos del occidente del país, ya que se encarga de brindar servicios médicos a toda la población de Grecia y los cantones aledaños, por esta razón es muy importante que las condiciones de funcionamiento de sus instalaciones sean de una excelente calidad, sin embargo, la falta de datos que validen esta información hace realmente difícil establecer y conocer cuál es el estado actual del centro médico. Este proyecto se divide en dos grandes bloques que permiten establecer mediante un sistema de gestión de energía, cuál es el estado actual de los sistemas eléctrico del hospital, además de dar a conocer el comportamiento del rendimiento energético de las principales zonas del centro médico. En el desarrollo de la primera etapa del proyecto se realizó un análisis de datos históricos de las facturas eléctricas y de los datos recolectados durante las mediciones realizadas a lo largo de 18 días en el equipo eléctrico más crítico, se obtuvo el comportamiento de la demanda y del consumo de energía; con estos datos fue posible obtener la línea base energética anual y líneas base del comportamiento dividido por días del equipo con mayor criticidad. A partir de este estudio se calcularon diferentes indicadores energéticos para todo el centro médico, de manera que al comparar con otros hospitales se logró identificar el verdadero estado energético del edificio. En el segundo bloque se diseñó y construyó un prototipo de medición de energía eléctrica para la toma de datos de potencia trifásica del equipo más críticos de la zona con mayor impacto energético del hospital. Para este dispositivo se realizó un análisis técnico y financiero para comprobar la viabilidad de la puesta en marcha del proyecto en todas las zonas del centro médico.

Palabras clave: Energía, demanda, indicadores energéticos, hospitales, auditoria energética, consumo.

Abstract

The San Francisco de Asís Hospital is one of the main medical centers in the west of the country, since it is in charge of providing medical services to the entire population of Grecia and the surrounding cantons, for this reason it is very important that the operating conditions of its facilities are of excellent quality, however, the lack of data to validate this information makes it very difficult to establish and know the current state of the medical center.

This project is divided into two large blocks that allow establishing, through an energy management system, what is the current state of the hospital's electrical systems, in addition to making known the behavior of the energy performance of the main areas of the medical center.

In the development of the first stage of the project, an analysis of historical data of electricity bills and of the data collected during the measurements carried out over 18 days in the most critical electrical equipment was carried out, the behaviors of the demand and of energy consumption; with these data it was possible to obtain the annual energy base line and behavior base lines divided by days of the most critical equipment. From this study, different energy indicators were calculated for the entire medical center, so that it is by comparing it with other hospitals that the true energy status of the building will be identified.

In the second block, an electrical energy measurement prototype was designed and built to collect three-phase power data from the most critical equipment in the area with the greatest energy impact in the hospital. For this device, a technical and financial analysis was carried out to verify the feasibility of implementing the project in all areas of the medical center.

Keywords: Energy, demand, energy indicators, hospitals, energy audit, consumption

CAPÍTULO I

1. Introducción

Según el (Ministerio de Ambiente y Energía - Gobierno de Costa Rica, 2015), el uso correcto de la energía es un factor sumamente importante para todas las industrias de Costa Rica, ya que es un elemento clave para el buen funcionamiento de todos los equipos, independientemente si funcionan con energía eléctrica, vapor, agua, gas, etc. De acuerdo con lo establecido por el plan nacional de energía, uno de sus objetivos es promover el uso de equipos altamente eficientes y mejorar en la medida de lo posible la eficiencia promedio de los equipos existentes en el edificio.

Debido a la gran cantidad de recursos naturales con los que cuenta el país, es posible generar energía limpia y renovable para suplir toda la demanda requerida por los costarricenses, sin embargo, la cultura de uso energético actual es muy pobre, por el mal uso que se le da a esta. Ámbitos como el económico, social y ambiental son los más afectados por la cultura irracional de consumo energético; si se plantean políticas energéticas se puede asegurar que el consumo de energía, producto de fuentes renovables como agua, gas, etc. será mucho menor, disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero relacionados a este consumo, si se reduce el consumo de energía, el costo relacionado al uso de cada fuente energética será menor, finalmente aplicar estas políticas, en la mayoría de casos implica hacer mejoras significativas en los edificios, ayudando a mejorar la calidad de los servicios que se brinden, a un costo menor de lo que representa construir un edificio nuevo acorde con la normativa vigente.

Por otra parte, el sector médico del país es uno de los más importantes, ya que garantizan una excelente atención ante una emergencia de salud, control de enfermedades crónicas, cirugías, etc., sin embargo, son unos de los sectores con mayor consumo de energía en el país, es por esto

que, en este proyecto se plantea una alternativa de solución desde el punto de vista de la gestión energética aplicada en hospitales, tomando como base la investigación en documentos como artículos, libros y normas relacionados a la implementación y diseño de sistemas de gestión de energía para conocer el consumo y eficiencia energética del edificio y de esta manera establecer parámetros que sirvan como métricas para desarrollar planes de mejora.

2. Antecedentes

Actualmente el ahorro de energía es un tema muy importante a nivel mundial, ya que aspectos como el calentamiento global y la destrucción de la capa de ozono han obligado a las personas a adoptar una cultura más consciente con el medio ambiente, enfocándose sobre el uso correcto de las energías renovables y limpias para reducir la producción de gases de efecto invernadero y optimizar al máximo posible el consumo de energía.

Debido a la situación que se vive por la pandemia del virus SARS-CoV 2, el consumo de energía de los hospitales destinados a tratar a los pacientes COVID positivos, según Beraún ha ido en aumento, debido a la alta demanda de equipos médicos como respiradores mecánicos, lectores de signos vitales, purificadores de aire, etc., sin embargo, establecer cuanto fue ese aumento resulta difícil debido a las políticas actuales de ingreso a los centros médicos. (Beraún Espíritu, 2021),

En general, el uso de energía es sumamente importante para la industria mundial, principalmente para el área de la salud, ya que como indica Ttacca & Mostajo

los hospitales requieren siempre una fuente de energía constante y confiable para el correcto funcionamiento de la climatización, iluminación, producir vapor, uso de equipo médico, ascensores, computadoras, etc., este consumo está estrechamente ligado con el concepto de eficiencia energética, la cual implica producir la misma calidad de servicio o

mejor, consumiendo la menor cantidad de energía posible. (Ttacca Hualla & Mostajo Sotomayor, 2017)

Las auditorías energéticas indica Albuja & Soria

permiten evaluar claramente los datos obtenidos de consumo, rendimiento y eficiencia energética de la institución en cuestión, además que permite identificar cuáles son los indicadores de desempeño energéticos necesarios para monitorear y administrar el desempeño requerido para alcanzar las metas establecidas de acuerdo con la línea base del sistema. (Albuja Espinoza & Soria Acosta, 2017)

Bambaren & Alatrística indican que el impacto ambiental de los hospitales es bastante significativo, con una producción de desechos sólidos de alrededor 642 toneladas distribuidas en residuos comunes, bio-contaminantes y especiales (riesgo significativo para la salud o ambiente), además indica que el consumo de energía eléctrica no puede llegar hasta los 3,309 MWh, que corresponden a 25.22 kWh/cama/día o 74.51 kWh/m²/día para un centro médico con 44 420 m² construidos. (Bambarén Alatrística & Alatrística Gutiérrez, 2014)

En promedio para los hospitales de Colombia, indica Pérez Ospina

el consumo límite de energía eléctrica ronda los 31.2 kWh/cama/día según la alcaldía de Bogotá, sin embargo, este consumo es variable en cada país, en Chile el valor de este indicador ronda los 30.89 kWh kWh/cama/día, en Austria es de 6.60 kWh/cama/día, en España es de 36.766 kWh/cama/día, Suecia tiene un valor máximo de 690 kWh/cama/día, Canadá 339 kWh/cama/día y en Estados Unidos este valor es de 367 kWh/cama/día. (Pérez Ospina, 2018)

De acuerdo con lo establecido por Arana, al implementar un sistema de ahorro de energía en un hospital, se puede llegar a obtener un ahorro de hasta 139 000 kW, lo que se puede traducir en aproximadamente Q 144 300 (\$18 700) a lo largo de un año, para un centro médico con un consumo promedio mensual de 48 300 kWh. (Arana Alay, 2020)

Como parte de la implementación del programa de carbono neutralidad y ahorro energético, el Hospital Clínica Bíblica, en los últimos 5 años ha logrado una disminución de consumo de alrededor 117 171 kWh por año, al poner en marcha sistemas de gestión de energía, sistemas de generación foto voltaica y calentadores solares. (Hospital Clínica Bíblica, 2020)

Fernández indica que

realizar un análisis energético en los hospitales genera una serie de beneficios, de manera que, al realizar un cambio en el modelo de la gestión de la energía del centro de salud, se permitirá tener un ahorro económico referente al consumo de energía eléctrica, se promueve el uso de energías renovables y limpias para reducir el impacto en el medio ambiente y promueve en la administración pública, empleados y pacientes del centro, el cambio de hábitos de consumo y uso desinteresado de las fuentes de energía. Además, se establece que alrededor del 60% del consumo total del hospital corresponde a sistemas de climatización, calentadores de agua y generación de frío, mientras que el 40% del consumo total está destinado a equipos eléctricos de uso común en el hospital como rayos x, resonancias, radiología, cocinas, etc. (Fernández Perea, 2019)

Loaiza destaca que

en la mayoría de los hospitales de Costa Rica, no existe una correcta gestión de la energía, lo que genera problemas a nivel ambiental por el desconocimiento de las políticas

nacionales, por el consumo desmedido de energía y energético ya que no se tiene un control óptimo del desempeño del hospital, de manera que no existen datos del uso y consumo de energía obtenidos mediante indicadores energéticos. (Loaiza Pereira, 2020)

Para obtener excelentes indicadores en el sistema de gestión de energía según Blanco & Gutiérrez

no basta con disminuir el consumo de energía y aumentar la eficiencia del hospital, sino que es necesario desarrollar estrategias adecuadas a la situación del centro de salud, de manera tal que la transición impacte lo menos posible en la generación de gastos por adquisición del sistema. (Blanco López & Gutiérrez, 2019)

Es sumamente importante establecer un mantenimiento regular y constante al sistema de gestión de energía, ya que Martí & Tiers indican que

es necesario para evitar que este se vuelva obsoleto e ineficiente a lo largo de los años debido a cambios de personal, remodelaciones, capacitación inadecuada o adquisición de equipos nuevos, sin dejar de lado el confort del edificio para que sea un lugar seguro para los pacientes y empleados. (Martí & Tiers, 2009)

3. Reseña de la empresa

El Hospital San Francisco de Asís es un centro médico estatal regido por la CCSS, ubicado en la ciudad de Grecia, de la provincia de Alajuela, Costa Rica.

Es un hospital regional en la zona del Occidente del Valle Central del país, fue fundado por Ramon Quesada en el año 1858, con la asistencia en el sector médico del Dr. Víctor Lefebvre y en el sector de mantenimiento se contaba con la ayuda de Ramon Salas y Pedro Bolaños. Finalmente, en 1895 se inició con la construcción de las instalaciones de un verdadero hospital.

Un tiempo más tarde la institución fue acogida por la Caja Costarricense del Seguro Social, cuando contaba con 90 camas para la atención de pacientes, este hecho hizo posible contratar más personal médico, de enfermería y administrativo, bajo la dirección del doctor Edgar Chaverri Escalante. Actualmente es un hospital de categoría regional, capaz de atender problemas de salud y emergencias en especialidades importantes como cardiología, ginecología, dermatología, pediatría, salud ocupacional, otorrinolaringología, gastroenterología, clínica de mama, psiquiatría, psicología, geriatría, ortopedia, terapia física, cirugía general, medicina interna, radiología, laboratorio clínico y ante el aumento de casos de pacientes COVID, un centro de diagnóstico.

La misión de este centro médico es proporcionar los servicios de salud en forma integral al individuo, la familia y la comunidad conforme a la legislación vigente y una visión de ser una institución articulada, líder en la prestación de los servicios integrales de salud, de pensiones y prestaciones sociales con servicios oportunos, de calidad y en armonía con el ambiente humano.

Este centro médico trabaja diariamente para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos de sector de occidente, brindando tratamientos efectivos y una atención de calidad para todos sus pacientes.

4. Planteamiento del Problema

El uso y consumo de energía eléctrica es una necesidad básica para todos los habitantes del país, principalmente para las empresas y establecimientos, ya que esta representa en la mayoría de los casos la única fuente de energía confiable para poner en marcha los equipos y dispositivos necesarios para brindar su servicio.

Costa Rica es uno de los pocos países que es capaz de producir casi la totalidad de energía eléctrica demandada, a partir de fuentes completamente renovables, siendo el área de mayor

producción la centrales hidroeléctricas y geotérmicas, las granjas solares y parques eólicos, este factor sumado a que nuestro país tiene como proyección futura ser una nación completamente libre de emisiones y carbono neutral, resulta sumamente importante hacer uso consiente y adecuado a toda la energía requerida para poner en funcionamiento los equipos eléctricos, apuntando siempre a obtener la mayor eficiencia energética posible.

El sistema de salud establecido por la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS), es uno de los más importantes en toda América Latina, principalmente por su ardua labor frente a la pandemia del virus SARSCoV2 que enfrentamos actualmente. Sin embargo, la mayoría de los hospitales que están bajo su cargo no cuentan con un sistema de gestión energía que les permita conocer cuál es su eficiencia y consumo energético a lo largo el tiempo, incumpliendo con el plan energético nacional, además que al no conocer el impacto que tiene el hospital energéticamente resulta imposible conocer los efectos ambientales, sociales y económicos de este.

Figura 1

Comparación entre el debiera y realidad de los sistemas de gestión de energía aplicados en hospitales.

		Dato suministrado	Referencia bibliográfica
Debiera	El hospital debería de contar con un sistema de monitoreo de energía en el cual se utilicen indicadores de desempeño energético para analizar el rendimiento energético del edificio.	Los indicadores de desempeño energético como kWh/día-cama deben rondar entre 30,89-48,83 kWh/día-cama para hospitales; estos indicadores permiten establecer una línea base para la cuantificación del rendimiento energético del edificio.	(Pérez Ospina, 2018), (Lara Izaguirre et al., 2019), (Gómez Chaves, 2020), (López Varela, 2016), (Monteza Rojas, 2020)
Desviación (Problema)	No se cuenta con datos de rendimiento energético el centro medico, obtenidos a través de indicadores de desempeño, por lo que se desconoce el impacto económico y ambiental que esto conlleva en la gestión energética del hospital.		
		Dato suministrado	Referencia bibliográfica
Realidad	La realidad de la mayoría de centros de salud del país es que no cuentan con datos de desempeño energético, por lo que se desconoce cuanta energía es aprovechada realmente a lo largo del proceso productivo.	En la gran mayoría de los hospitales a nivel mundial no existen registros oficiales y actualizados de datos relacionados a la indicadores de rendimiento energético.	(Loaiza Pereira, 2020), (Muñoz Rosenberg, 2019), (García Vicente et al., 2016)

Fuente: (Pérez Ospina, 2018), (Lara Izaguirre et al., 2019), (Gómez Chaves, 2020), (López Varela, 2016), (Monteza Rojas, 2020), (Loaiza Pereira, 2020), (Muñoz Rosenberg, 2019), (García Vicente et al., 2016).

Es por esto, que la ausencia de indicadores energéticos en este sistema provoca un grave desconocimiento referente al consumo y eficiencia de los equipos del hospital, afectando negativamente el ciclo de vida útil de estos, además que al no contar con datos relacionados con la eficiencia del edificio y cuanta energía es utilizada a lo largo de la jornada de atención, resulta casi imposible poder establecer parámetros iniciales que contribuyan en la competitividad entre establecimientos que brinden el mismo servicio, es decir, al incorporar una serie de indicadores energéticos para conocer el consumo y la eficiencia en el edificio resulta más sencillo poder establecer planes de desarrollo, ya que se cuenta con una base sólida de datos para establecer el margen de mejora para futuras intervenciones, desarrollando así la competitividad entre los hospitales que están a cargo de la CCSS.

5. Objetivos

5.1. Objetivo General

Desarrollar una propuesta de sistema de gestión de energía para hospital San Francisco de Asís que permita una mejor administración de la energía, tomando como base lo establecido por las normas ISO 50000.

5.2. Objetivos Específicos

- **Objetivo específico 1:** Elaborar un análisis de rendimiento energético del centro médico, para la determinación de la línea base e indicadores energéticos del hospital, basados en el balance de energía.

Indicador de logro: desarrollo de diagramas, gráficos y obtención de la línea base.

- **Objetivo específico 2:** Determinar a través del rendimiento energético el efecto que existe en el uso de energía del hospital, para la identificación del estado actual del centro médico.

Indicador de logro: comparación del rendimiento energético del centro médico con otros hospitales, kWh/m² día, kWh/cama día.

- **Objetivo específico 3:** Desarrollar un prototipo de medición en tiempo real para un sistema electromecánico para la obtención de datos del rendimiento energético establecido en el modelo de gestión de energía.

Indicador de logro: desarrollo del prototipo de sistema de medición en tiempo real.

- **Objetivo específico 4:** Realizar el análisis técnico financiero correspondiente a la puesta en marcha del prototipo de sistema de gestión de energía en una determinada área del hospital, para la evaluación de la sostenibilidad del proyecto.

Indicador de logro: Tablas de costos y viabilidad del proyecto.

6. Justificación

En la actualidad, el consumo de energía eléctrica indica Montez, es uno de los principales factores que contribuyen a la generación de gases de efecto invernadero, llegando a valores de hasta un 50% del total de las emisiones, por lo que resulta sumamente importante establecer sistemas de gestión de la energía, para aprovechar al máximo la energía que es suministrada a los centros hospitalarios y así reducir el desperdicio energético mediante la optimización de los consumos regulares del edificio. (Montez Rojas, 2020)

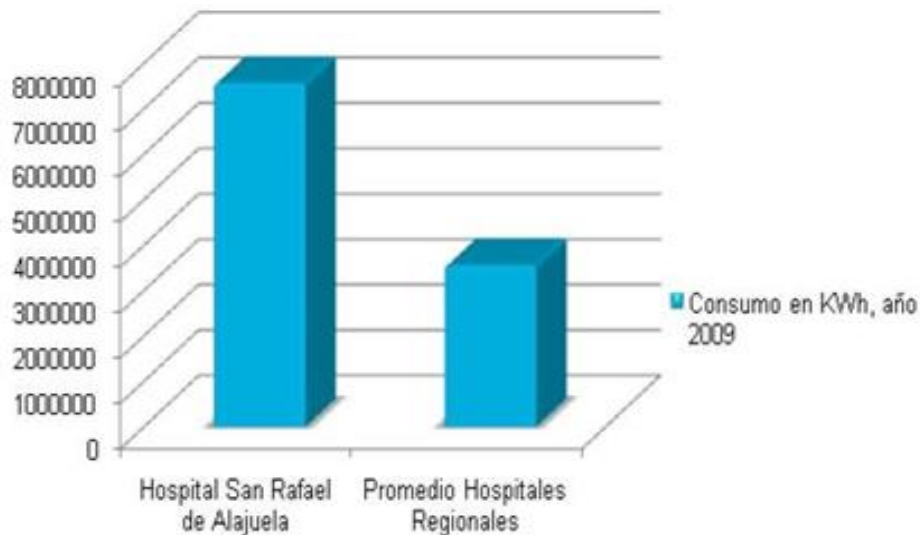
Por otra parte, el plan energético nacional vigente hace alusión a establecer una senda energética completamente eficiente, mediante el desarrollo de acciones para reducir el consumo indiscriminado de energía total del país, además de reducir las emisiones relacionadas a este consumo energético, de esta forma, al aplicar lo estipulado por el plan energético en las políticas energéticas del centro hospitalario, se estaría contribuyendo a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, además que se mejoraría la eficiencia energética del hospital. (Ministerio de Ambiente y Energía - Gobierno de Costa Rica, 2015)

La gran mayoría de hospitales de Costa Rica no cuentan con un conocimiento pleno del consumo y eficiencia energética que tienen en sus instalaciones, tomando como ejemplo al Hospital San Rafael de Alajuela, en el año 2011 se implementó un sistema de gestión energética,

del cual se obtuvo un valor de consumo de energía de 48.83 kWh/día/cama, al comparar este dato con el año 2009, se observa una reducción de 6.09 kWh/día/cama en este periodo, equivalente a un ahorro de aproximadamente ₡171.843,00 colones por día. (Vásquez Rodríguez, 2012)

Figura 2

Consumo eléctrico del Hospital San Rafael de Alajuela.



Fuente: (Vásquez Rodríguez, 2012)

Gran parte de las empresas nacionales e internacionales que residen en el territorio costarricense poseen políticas de ahorro energético que van acorde a lo establecido por el plan nacional y las normas ISO 50000, sin embargo, no cuentan con acciones de mejora de la eficiencia energética del edificio, debido a un mal manejo y análisis de los datos de consumo energético, según Molles, es por esto que aplicar tecnología relacionada a la industria 4.0 junto con un sistema de gestión de energía en tiempo real, traería muchísimas ventajas a los sectores productivos del país, ya que impulsaría el desarrollo tecnológico a gran escala, además que permitiría establecer un control más detallado y certero del estado actual del consumo y eficiencia energética del centro

médico, facilitando de este modo la toma de decisiones con respecto a planes de mejora y posibles soluciones a situaciones esporádicas, sin mencionar que el sector hospitalario lograría alcanzar los mejores puestos a nivel nacional por la correcta optimización del consumo energético. (Moller, 2020)

7. Metodología

7.1. Metodología empleada

Con el fin de abarcar los objetivos planteados en este proyecto se establecen una serie de actividades bajo los siguientes criterios.

Tabla 1.

Metodología empleada en el proyecto.

Objetivo planteado	Actividad por realizar	Variable
1- Elaborar un análisis de rendimiento energético del centro médico, para la determinación de la línea base e indicadores energéticos del hospital, basados en el balance de energía.	1,1- Obtener las facturas eléctricas, lista de equipos, planos electromecánicos y uso de equipos del hospital. 1,2- Realizar mediciones de campo en los lugares requeridos, además de recolectar información de placa de cada equipo por analizar. 1,3- Realizar el análisis de los datos obtenidos y balance de energía.	1,1- Consumo, demanda, factor de potencia, tarifa eléctrica, empresa suplidora de energía. 1,2- Tensión, corriente, Potencia Aparente, Factor de Potencia

Objetivo planteado	Actividad por realizar	Variable
2- Determinar a través del rendimiento energético el efecto que existe en el uso de energía del hospital, para la identificación del estado actual del centro médico.	2,1- Desarrollo del sistema de gestión de energía basado en el rendimiento energético, para un área determinada del centro médico.	2,1- Rendimientos energéticos y análisis de equipos.
3- Desarrollar un prototipo de medición en tiempo real para un sistema electromecánico para la obtención de datos del rendimiento energético establecido en el modelo de gestión de energía.	3,1- Diseñar el prototipo de sistema de medición en tiempo real. 3,2- Desarrollar un código de programación que sea capaz de procesar los datos en tiempo real del equipo analizado.	3,1- Consumos energéticos, y análisis de equipos. 3,2- Código de programación
4-Realizar el análisis técnico financiero correspondiente a la puesta en marcha del prototipo de sistema de gestión de energía en una determinada área del hospital, para la evaluación de la sostenibilidad del proyecto.	4,1-Calcular el costo total de implementación del sistema de gestión de energía. 4,2-Analizar los valores económicos del proyecto para verificar la viabilidad económica del proyecto.	4,1- Datos obtenidos de proveedores y demás entidades.

Fuente: Elaboración Propia

7.2. Cronograma del proyecto

Figura 3.

Cronograma del proyecto.

N°	Actividad	07/02/22	14/02/22	21/02/22	28/02/22	07/03/22	14/03/22	21/03/22	25/07/22	01/08/22	08/08/22	15/08/22	22/08/22	29/08/22	05/09/22	12/09/22	19/09/22	26/09/22	03/10/22	10/10/22	17/10/22	24/10/22	31/10/22	
	Objetivo General	11/02/22	18/02/22	25/02/22	04/03/22	11/03/22	18/03/22	22/07/22	29/07/22	05/08/22	12/08/22	19/08/22	26/08/22	02/09/22	09/09/22	16/09/22	23/09/22	30/09/22	07/10/22	14/10/22	21/10/22	28/10/22	04/11/22	
	Desarrollar una propuesta de sistema de gestión de energía para el hospital San Francisco de Asís tomando como base lo establecido por las normas ISO 50000.																							
	Objetivo específico 1																							
2	Obtener las facturas eléctricas, lista de equipos, planos electromecánicos y uso de equipos del hospital.																							
3	Realizar mediciones de campo en los lugares requeridos, además de recolectar información de placa de cada equipo por analizar.																							
4	Realizar el análisis de los datos obtenidos mediante métodos estadísticos y el balance de energía.																							
	Objetivo específico 2																							
5	Desarrollo del sistema de gestión de energía basado en el rendimiento energético, para un área determinada del centro medico.																							
	Objetivo específico 3																							
6	Diseñar el prototipo de sistema de medición entiempo real de indicadores energéticos.																							
7	Desarrollar un código de programación que sea capaz de procesar los datos en tiempo real de los equipos analizados.																							
	Objetivo específico 4																							
8	Calcular el costo total de implementación del sistema de gestión de energía.																							
10	Analizar los valores económicos del proyecto para verificar la viabilidad de la puesta en marcha																							
11	Entrega de borrador final a lectores																							
12	Revisión de observaciones																							
13	Revisión de carta de filólogo de proyecto final																							
14	Entrega de proyecto final a coordinador de carrera																							
15	Defensa de trabajo final de graduación																							

Fuente: Elaboración propia.

8. Viabilidad

El hospital San Francisco de Asís desea que se tome en cuenta el análisis de viabilidad como una parte importante del proyecto, tomando en cuenta el desarrollo del modelo de gestión de energía y la construcción del dispositivo de medición necesarios para la solución al problema ya establecido, para esto se toman en cuenta diferentes aspectos que se desarrollan a continuación:

Disponibilidad tecnológica: al ser un proyecto de investigación las herramientas tecnológicas necesarias son pocas, tomando en cuenta los instrumentos de medición y demás programas como Excel, Word y Arduino, los cuales son de fácil acceso.

Disponibilidad financiera: para el desarrollo del proyecto no se cuentan con recursos financieros por parte del centro médico, por lo que la solución planteada al problema debe ser del menor costo posible para que pueda ser asumido por mi persona.

Disponibilidad de recursos humanos: por parte del departamento de mantenimiento del hospital se cuenta con el completo apoyo de sus colaboradores, los cuales tienen una gran experiencia y conocimientos relacionados con las instalaciones del centro de salud, entre las cuales destacan: administración de planes de mantenimiento, reparación de equipos médicos, diseño de sistemas electromecánicos, uso de sistemas de control, etc. Los cuáles serán de gran ayuda para el desarrollo del proyecto.

Disponibilidad de información: no se cuentan con datos relacionados al rendimiento energético del centro de salud desde que fue construido hasta el año 2021, sin embargo, será posible tener acceso a recibos eléctricos, planos y diagrama unifilar del edificio y demás documentos importantes para el completo desarrollo del proyecto.

Disponibilidad ambiental: el hospital está dispuesto a realizar el estudio del modelo de gestión de energía para ayudar a disminuir los efectos ambientales relacionados con el consumo de energía eléctrica, sin mencionar que sería uno de los pocos centros médicos del país en desarrollar una propuesta para este aspecto.

9. Alcance

El desarrollo del proyecto será meramente explorativo, ya que se deben determinar las condiciones iniciales requeridas para establecer una línea base del consumo y eficiencia energéticas del hospital, para lograr desarrollar planes de mejora basados en datos verificados y confiables de las condiciones reales del edificio.

Se requiere establecer una comparación entre las diferentes áreas de consumo del centro médico mediante un balance energético para identificar los sistemas electromecánicos más críticos desde el punto de vista de la gestión energética, para que sea posible identificar el consumo real de los equipos para evidenciar la superioridad de los sistemas centralizados.

También es importante conocer los costos relacionados con la modernización de los sistemas más críticos del centro médico, tomando en cuenta todos los costos como el del mantenimiento del sistema de gestión de la energía y de los equipos que se ven involucrados en el proceso y compararlos con los costos actuales de estos sistemas, para evidenciar efectividad del modelo de gestión de la energía en el hospital.

Finalmente, se deben obtener los datos económicos de la puesta en marcha del modelo de gestión, tomando en cuenta los materiales necesarios, mano de obra y demás gastos relacionados al proyecto.

10. Limitaciones

Como limitante principal se tienen la actual situación que enfrentamos a causa del virus SARS Cov2, la cual impide una permanencia diaria en las instalaciones del hospital, al tratarse de un centro de salud que actualmente atiende emergencias relacionadas a este virus, se imposibilita aún más el acceso ya que se debe garantizar que las instalaciones hospitalarias sean seguras tanto para los pacientes como para sus empleados.

Por otra parte, existe poca información relacionada con el uso de sistemas de gestión de energía aplicados a hospitales nacionales, por lo que implementar estos sistemas en los centros que no los posean representaría una inversión inicial, sin mencionar que se requeriría de mucho tiempo para la readaptación de todas las instalaciones, por esta razón, solo se tomará a una sección del centro médico para la aplicación y análisis del proyecto.

CAPÍTULO II

1. Marco Teórico

1.1. Gestión energética

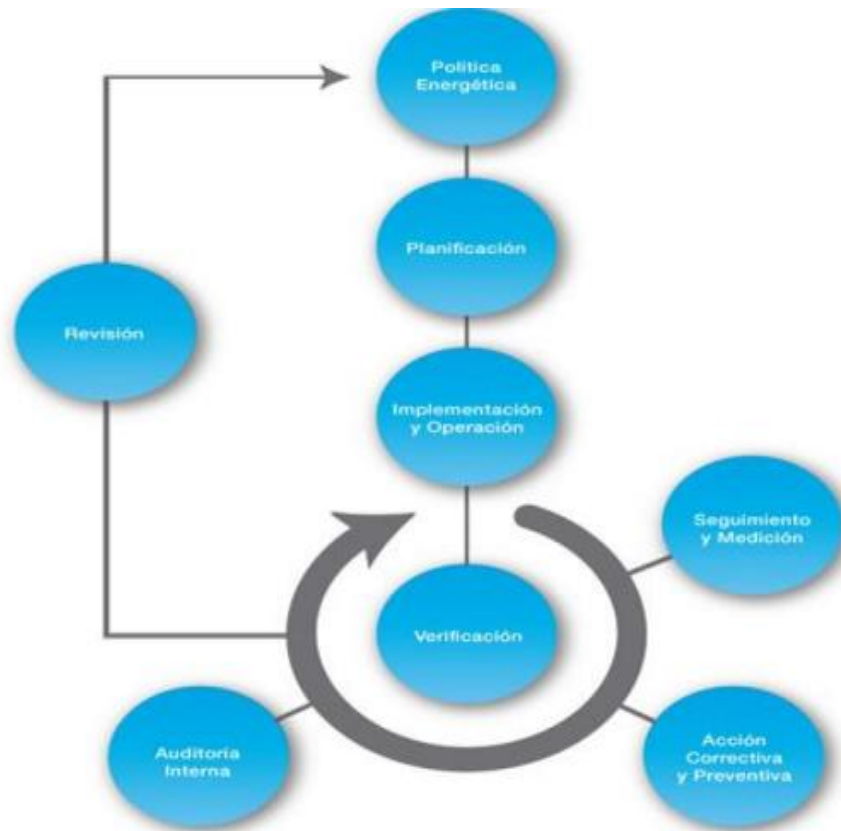
Un sistema de gestión de energía (EMS) por sus siglas en inglés, es una herramienta muy importante para todas las empresas, ya que permite desarrollar altos ahorros energéticos y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Un sistema de gestión de energía es un conjunto de elementos que interactúan entre sí para desarrollar una política energética, objetivos energéticos y conocer los dispositivos necesarios para lograr alcanzar las metas de desarrollo propuestas en el proceso productivo. (Rey Hernández et al., 2017)

El objetivo principal de un modelo de gestión según Castillo es

desarrollar el desempeño energético del edificio, mediante la reducción de costos sin afectar el progreso de las actividades productivas, sin embargo, se debe tomar en cuenta el aporte a la reducción de la huella del carbono y el impacto social y económico del proyecto, otros beneficios secundarios son el uso de fuentes de energía renovables, disminución de residuos, y reutilización de elementos que a un cuentan con vida útil aprovechable. (Castillo Obreque, 2018)

Figura 4.

Estructura de Modelo de Gestión de Energía.



Fuente: (Rey Hernández et al., 2017)

Una correcta gestión energética indica Pallacan

debe incluir la optimización del rendimiento de los equipos de manera que sea posible mejorar la eficiencia energética del edificio. Por esta razón, cualquier medida de ahorro y de gestión energética debe ser valorada desde una perspectiva de sostenibilidad económica a lo largo de la vida útil del edificio o de los equipos. (Pallacan Manque, 2018)

1.2. Política energética

Una política energética se puede definir según Marín, como

el conjunto de acciones establecidas por los altos mandos de las empresas para actuar sobre la cantidad, costo, y disponibilidad de las distintas fuentes de energía que se utilizan en el establecimiento, haciendo énfasis en la preservación del medio ambiente y la seguridad del establecimiento. (Marín Quemada, 2008)

1.2.1. Objetivos energéticos

Los objetivos energéticos parten del desarrollo de la política energética del establecimiento, estos guían las metas energéticas y planes de acción necesarios para el desarrollo del proyecto destinado al ahorro u optimización energética. (Marín Quemada, 2008)

1.3. Auditorías Energéticas

Las auditorías energéticas son mecanismos de revisión y diagnóstico que permiten a la empresa contar con datos y evidencias sobre el consumo de energía y la relación que existe entre proceso productivo y el manejo de esta. También es una herramienta que facilita el trabajo de revisión y auditoría, por lo que hay que contar siempre con instrumentos de análisis de costos para realizar un correcto análisis de la sostenibilidad. (Posada Restrepo et al., 2014)

Las auditorías energéticas son un mecanismo importante para valorar los consumos internos del establecimiento, además de establecer las metas para lograr una mejora en la sostenibilidad de la empresa, realizar una auditoría energética ayuda con la formación de una cultura de gestión de la energía, necesarias para mejorar la sostenibilidad del edificio. (Posada Restrepo et al., 2014)

Esta herramienta según Vargas está enfocada en localizar excesos de consumos mediante la evaluación del nivel de consumo energético de una instalación, realizando estudios para disminuir costos y gastos de mantenimiento y puesta en marcha del proyecto. (Vargas Calderón, 2021)

Figura 5.

Ejemplo de auditoria energética.

Departamento: Dirección de Rectoría									
Tipo de equipo	Nº de Placa	Estado	Descripción del equipo	Marca	Modelo	Uso diario [horas]	Uso mensual [horas]	Potencia [W]	Consumo de Energía Mensual [kWh]
ED	45550	Activo	Pantalla Plana	SONY	KDL 465300	5	100	55	5,5
ED	46173	Activo	Pantalla Plana	TELSTAR	TLC1972TH	5	100	60	6
EC	54821	Activo	Computadora portatil	SONY	VPC X111LB	3	60	65	3,9
EC	56772	Activo	Monitor LCD de 22	HP	LE2201W	8	160	35	5,6
ED	71611	Activo	Máquina lavadora de platos	FRIGIDAIRE	FFBD2411	2,5	50	800	40
EC	73918	Activo	Computadora portatil	DELL	LATITUDE E7450	3	60	65	3,9
EC	73920	Activo	Computadora portatil	DELL	LATITUDE E7450	3	60	65	3,9
EC	73940	Activo	Computadora portatil	DELL	LATITUDE E7450	3	60	65	3,9

Fuente: (Vargas Calderón, 2021)

1.4.Indicadores energéticos

Un indicador de gestión energética se puede definir según Hoppe como un instrumento de medición elegido como variable relevante que permite evaluar la realidad energética del edificio, con respecto a una unidad o marca temporal. (Hoppe Lanchang, 2021)

Para conocer la eficiencia energética de un establecimiento es importante contar con indicadores de cuya interpretación se derive información útil y veraz, por lo que estos datos son determinantes en los procesos de evaluación y toma de decisiones para realizar cambios en la eficiencia del edificio. (Barboza Sánchez et al., 2018)

Un indicador energético de acuerdo con Faz

posee en el numerador la unidad energética primaria o secundaria que se consume en un determinado periodo de tiempo (kWh, Ton de vapor, etc.), en el denominador se representa el nivel de producción realizado o servicio prestado en el periodo determinado (pacientes, camas, etc.). Para los centros de atención hospitalaria, los indicadores de desempeño energético más acertados serían kWh/paciente día, kWh/cama ocupada día, ton vapor/paciente día o ton vapor/ cama ocupada día, ya que estas son las principales fuentes de energía utilizada en los equipos de uso continuo. (Faz, 2010)

Figura 6.

Ejemplos de indicadores energéticos aplicados en hospitales.

No.	Puesto Clave	Índice físico	Índice de consumo
1	Lavandería	kWh / kg. Ropa	0,6608
2	Almacén (Nevera)	kWh/Días Pacientes	1,0483
3	Central Estéril	kWh/Días pacientes	3,2708
4	Salón de Operaciones	kWh/Pacientes operados	23,643
5	Sala C. Intensivos	kWh/Días pacientes de la sala	35,527
6	Salones Obstetricia	kWh/partos o interrupciones realizadas	37,033

Fuente: (Faz, 2010)

1.5. Eficiencia energética

El concepto de eficiencia energética según Fernández es un término que se puede aplicar a cualquier equipo, lugar u elementos que consuman energía y que tengan un objetivo productivo, es decir, se puede utilizar en consumos de energía, procesos productivos, cadenas de valor, sectores económicos, etc. En general la eficiencia energética implica la utilización de la energía de la manera más consiente para ejecutar un proceso productivo o proveer un servicio, reduciendo las pérdidas de energía y el consumo de energía. Este concepto esta estrecha mente relacionado con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la mejora de la sostenibilidad. (Fernández Gómez, 2021)

1.5.1. Demanda y consumo de energía

La demanda de energía indica Viñachi & Cusquillo, es un término que se puede describir como la cantidad de energía necesaria para que un edificio lleve a cabo correctamente un proceso productivo, por otra parte, el consumo de energía está relacionado con los usuarios y la evaluación energética realizada, este valor se puede expresar mediante la siguiente formula (Viñachi Sánchez & Cusquillo Iza, 2018)

$$\text{Consumo energetico} = \frac{\text{Demanda de energía}}{\text{Rendimiento del Sistema}} - \text{Aporte energías renovables}$$

1.6. Balance energético

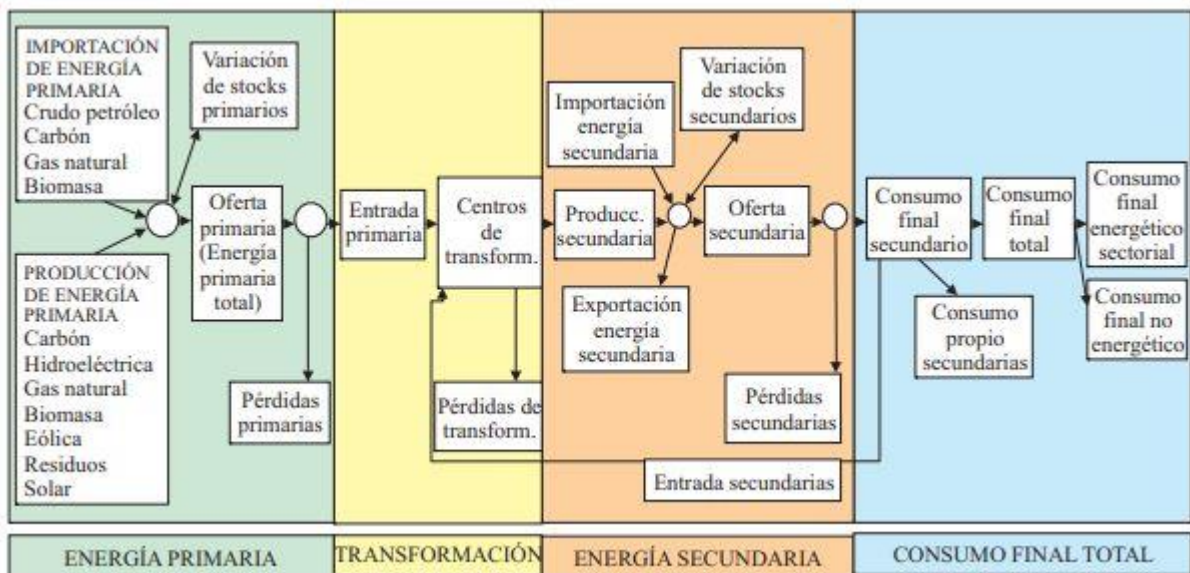
Un balance energético se puede considerar como el estudio de los flujos de energía entre las diferentes actividades que se desarrollen en un edificio, tomando en cuenta la producción, transformación y consumo de energía durante un tiempo determinado. Esta herramienta puede ser utilizada para proporcionar una información detallada sobre la realidad energética de una empresa, comparar la consistencia de los datos obtenidos con otros sectores del mismo ámbito, establecer

la base de estimación de emisiones de gases de efecto invernadero, determinar la base para la obtención de indicadores de rendimiento y definir la eficiencia de todos los procesos de producción. (Chas Amil, 2010)

Se puede presentarse en forma de diagrama de flujo o matriz, tomando en cuenta todas las actividades del proceso productivo como se observe en la siguiente figura.

Figura 7.

Flujos energéticos necesarios para realizar un balance de energía.



Fuente: (Chas Amil, 2010)

1.7. Normas técnicas utilizadas

1.7.1. ISO 50001

Esta norma se refiere a todo lo relacionado con la gestión de la energía basada en normas nacionales e iniciativas. Su objetivo principal es ayudar con la necesidad de implementar procesos que tengan un uso correcto de la energía, objetivos e indicadores de rendimiento energético, para

modificar el rendimiento energético de un establecimiento. (Quintero López & Noreña Buritica, 2018)

Figura 8.

Ciclo planificar-hacer-verificar-actuar.



Fuente: (Quintero López & Noreña Buritica, 2018)

1.7.2. ISO 50002

En este caso se plantean los principios básicos para la realización y aplicación de auditorías energéticas, aspecto muy importante para los balances energéticos. Su objetivo principal es establecer los requisitos mínimos que conllevan a la identificación de oportunidades para la mejora de la eficiencia energética. (Secretaría Intenacional ISO, 2011)

1.7.3. ISO 50003

La norma ISO 50003 está diseñada para ayudar todo lo necesario para asegurar la competencia, la coherencia y la imparcialidad en el proceso de auditoría y certificación de las empresas. También establece todos los requisitos adicionales para el proceso de planificación, inicio de la auditoría, la auditoría en el sitio, las responsabilidades del auditor, la duración de las auditorías y el muestreo. (Secretaría Intenacional ISO, 2014a)

1.7.4. ISO 50004

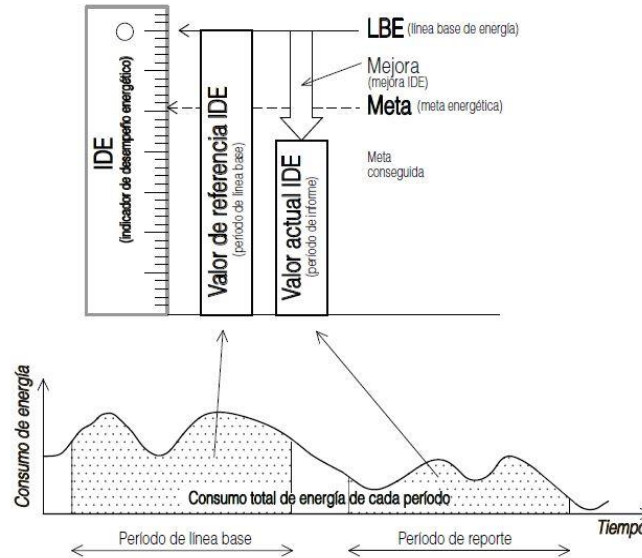
Se desarrolla una guía para el desarrollo, la implementación y el mantenimiento de los sistemas de gestión energética, además de información y los datos necesarios para el establecimiento de las líneas base de energía, estas se deben calcular mediante una relación matemática del consumo de energía en función de las variables relevantes en el proceso en un determinado periodo de tiempo. (Secretaría Intenacional ISO, 2020)

1.7.5. ISO 50006

Se establece que las líneas base son referencias que sirven para cuantificar el rendimiento energético de un establecimiento durante el periodo de estudio, además que sirven para calcular ahorros energéticos a partir de datos históricos. (Secretaría Intenacional ISO, 2014b)

Figura 9.

Relación entre indicadores de desempeño, línea base y período de informe.



Fuente: (Secretaría Intenacional ISO, 2014b)

1.8. Arduino

Esta es una plataforma de código abierto de fácil acceso que se basa en software y hardware muy flexible y fácil de usar, diseñada para personas que desean desarrollar sus proyectos electrónicos con poco o nulo conocimiento de programación, según Enríquez Herrador,

el microcontrolador de Arduino posee ventajas superiores que hacen a esta plataforma la mejor opción, entre estas destacan que el costo de los microcontroladores y demás elementos amigables con el sistema es muy bajo, el software de código abierto es compatible con todas las plataformas y sistemas operativos existentes y su lenguaje de programación es simple y claro, facilitando la tarea de programar dispositivos como sensores o alarmas. (Enríquez Herrador, 2009)

Gracias a su gran versatilidad es posible diseñar dispositivos de todo tipo con diferentes sensores de medición y elementos que por su compatibilidad con la plataforma de Arduino permiten construir prototipos y obtener datos reales y confiables de los sistemas electromecánicos.

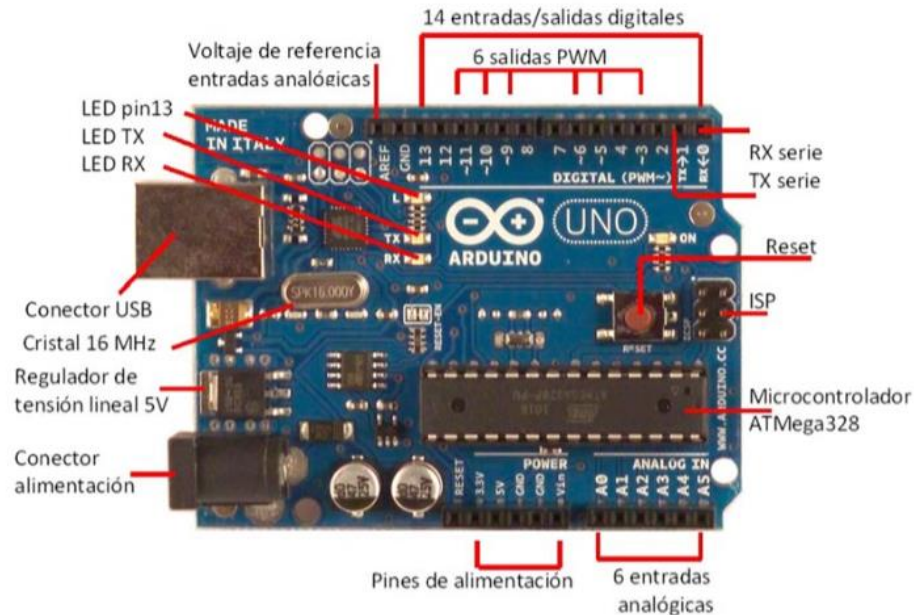
1.8.1. Arduino UNO

El Arduino UNO es un dispositivo con características que lo hacen muy versátil en su aplicación ya que cuenta con las mejores ventajas de esta plataforma al menor costo posible, es un dispositivo creado para brindar un recurso fácil de usar para desarrollar proyectos a pequeña y mediana escala. Es un dispositivo pequeño basado en un microcontrolador de 8 bits, con 14 pines que funcionan como entradas y salidas digitales, seis de estos pines pueden ser configurados como salidas PWM para variar el ciclo de trabajo de las señales cuadradas generadas en el pin y así simular una salida analógica. (Herranz Herrero & Sánchez Allende, 2015)

El microcontrolador Atmega 328 en el cual se basa el Arduino UNO, incluye un conversor analógico-digital que permite retornar un valor entero entre 0 y 1023. El uso principal de estos pines está destinado para la lectura de sensores analógicos como el SCT-13 y ZMPT101B, sin embargo, si es necesario utilizar estos pines como salidas digitales es posible hacerlo. (Herranz Herrero & Sánchez Allende, 2015)

Figura 10.

Arduino UNO.



Fuente: (Herranz Herrero & Sánchez Allende, 2015)

1.8.2. Sensor de corriente SCT-013

Este es un dispositivo de tipo captador no invasivo, que permite medir la intensidad de corriente que atraviesa un conductor sin necesidad de cortar o modificar la estructura del recubrimiento de este. Su funcionamiento básico consiste en un transformador de corriente que permite obtener un valor proporcional a la intensidad que atraviesa por los conductores del circuito que se desea estudiar. Debido a que la toma de datos se realiza mediante inducción electromagnética, estos sensores están constituidos por un núcleo ferromagnético partido, que permite abrir el sistema para rodear al conductor de forma no invasiva. (Valdez Martínez et al., 2020)

Figura 11.

Sensor de corriente no invasivo SCT-013.



Fuente: (Valdez Martínez et al., 2020)

1.8.3. Sensor de tensión ZMPT101B

Este es un sensor de voltaje tipo AC, el cual se caracteriza por contar con un pequeño transformador regulable, que permite obtener del lado primario conectado a la tención AC no mayor a 250V, una salida analógica mediante un pequeño divisor de voltaje y amplificador operacional, permite medir voltaje de baja tensión y al permitir una señal de salida analógica ajustable, es ideal para aplicaciones de monitoreo de energía y domótica, siendo compatible con cualquier microcontrolador con entradas analógicas como es el caso del Arduino UNO. (Narvéez Cartagena & Robayo Vega, 2022)

Figura 12.

Sensor de voltaje AC, ZMPT101B.



Fuente: (Narvez Cartagena & Robayo Vega, 2022)

1.9. Tableros elétricos de aislamiento

En la actualidad los avances en la industria medica van creciendo a grandes pasos, con la invención de nuevos equipos para hacer que los procedimientos médicos sean cada vez más rápidos y con la menor exposición posible, sin embargo, para hacer que estos dispositivos funcionen de manera correcta es necesario que la instalación del sistema eléctrico sea de alta calidad y que los elementos sean de uso específico para salas de operación de centros médicos. Es por esta razón que los quirófanos deben estar equipados con tableros eléctricos de aislamiento para romper con la conexión entre el sistema eléctrico y el paciente, minimizando de esta forma el peligro de descargas eléctricas por el uso de instrumentos como electrobisturí o cauterizadores. (Yapur et al., 2014)

Estos tableros realizan el aislamiento mediante un transformador especial que convierte el sistema con puesta a tierra a un sistema monofásico sin referencia, es decir se elimina el conductor neutro de la instalación eléctrica del quirófano, esto permite que se minimice el riesgo de descarga

eléctrica directa al cuerpo, ya que la mayoría de los tejidos poseen un elevado porcentaje de agua en su interior de manera que la resistencia eléctrica que presentan es baja, sin embargo, la impedancia de la piel es muy elevada, haciendo del cuerpo humano un excelente conductor eléctrico. (Yapur et al., 2014)

Figura 13.

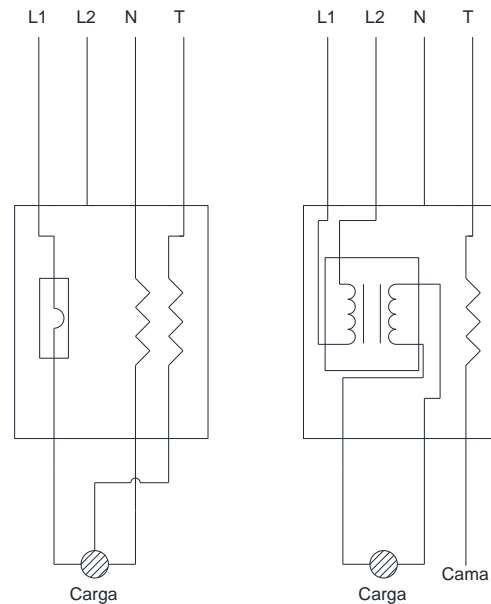
Tablero eléctrico de aislamiento en salas de operación del Hospital San Francisco de Asís.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14.

Conexión eléctrica tradicional y conexión con tablero de aislamiento.



Fuente Elaboración propia

CAPÍTULO III

En esta sección se establecen todos los aspectos relacionados con el desarrollo del proyecto, enfocándose principalmente en la evaluación energética del Hospital San Francisco de Asís y la elaboración del sistema de gestión de energía para el área del centro médico con el consumo energético más crítico, tomando como guía lo establecido en las normas internacionales y nacionales INTE/ISO para realizar actividades específicas como auditorías energéticas y obtención de la línea base necesaria para cumplir con los objetivos planteados para el desarrollo del proyecto.

1. Evaluación energética del centro médico.

Para dar inicio con la evaluación energética se deben tomar en cuenta varios factores significativos, tales como el desempeño energético, patrones de uso de los equipos, detalles de los sistemas eléctricos e identificar cuáles son las zonas que poseen un mayor consumo energético del lugar, para lograr establecer un punto base y el estado actual energético de los espacios más críticos del centro médico. Para cumplir con el objetivo es importante realizar las actividades de forma escalonada, primero se debe de realizar un recorrido por el lugar e identificar cuáles podrían ser las zonas más críticas, así como conocer cuáles son las conexiones eléctricas existentes, después se procede a recolectar datos importantes para el desarrollo del proyecto, como facturas eléctricas, diagramas unifilares de los sistemas eléctricos y datos de placa de los equipos, una vez se cuentan con estos datos es posible establecer cuál es el área de mayor consumo eléctrico del hospital y así proceder con la toma de datos experimentales para lograr determinar cuál es la situación actual de la institución así como la línea base e indicadores energéticos.

El Hospital San Francisco de Asís, está constituido por dos grandes edificaciones separadas por la calle 10 del cantón de Grecia, con un área aproximada de 8 503 m²; una de estas áreas está destinada a las instalaciones del hospital, en donde se atienden las consultas de emergencia, cirugías, exámenes de laboratorio clínico, farmacia, cirugía ambulatoria, diagnóstico de casos COVID, entre otros y en el área de consulta externa se realizan los seguimientos periódicos y atención por medio de citas previamente programadas de las diferentes especialidades clínicas.

Debido a que las instalaciones del centro médico siempre deben estar abiertas ante posibles pacientes, las horas laborales varían según las diferentes áreas de trabajo, para el sector de medicina y cocina el horario es de jornada continua durante todo el año (24/7/365), con tres turnos durante el día de 6:00 am a 2:00 pm, de 2:00 pm a 10:00 pm y de 10:00 pm a 6:00 am, para el área

administrativa del centro médico el horario es diferente, ya que la jornada es de lunes a jueves de 7:00 am a 4:00 pm, viernes de 7:00 am a 3:00 pm y Sábados de 7:00 am a 12:00 md y para el área de lavandería es de lunes a jueves de 6:00 am a 3:00 pm, viernes de 6:00 am a 2:00 pm y sábados de 6:00 am a 12:00 md.

Figura 15.

Distribución de planta del Hospital San Francisco de Asís.



Fuente: Elaboración propia.

1.1. Generalidades

Para dar inicio con el análisis energético del centro médico es importante establecer todas las conexiones eléctricas contratadas para el suministro de energía, actualmente el Hospital San Francisco de Asís tiene a disposición cuatro acometidas contratadas por parte del Instituto Costarricense de Electricidad, de estas, tres poseen una tarifa comercial y una tiene una tarifa de mediana tensión; como se puede observar en la siguiente figura la distribución de las acometidas eléctricas está dividida en varias zonas del hospital, una de ellas está destinada específicamente para los equipos de rayos X ya que con su uso generan una serie de picos en el consumo eléctrico,

haciendo necesario una conexión exclusiva para su funcionamiento, mientras que otra de estas acometidas está destinada directamente al sector de consulta externa.

En el caso de las acometidas nombradas como emergencias principal y secundaria es importante destacar que, a partir del año 2019 la acometida de emergencias principal fue solicitada bajo la modalidad de mediana tensión para el suministro de energía eléctrica a las instalaciones principales del hospital y la acometida de emergencias secundaria paso a ser de uso comercial destinada a remodelaciones del centro médico, ya que en el año 2018 la acometida destinada a mediana tensión era la de emergencias secundaria.

Tabla 2.

Distribución de las acometidas eléctricas del centro médico.

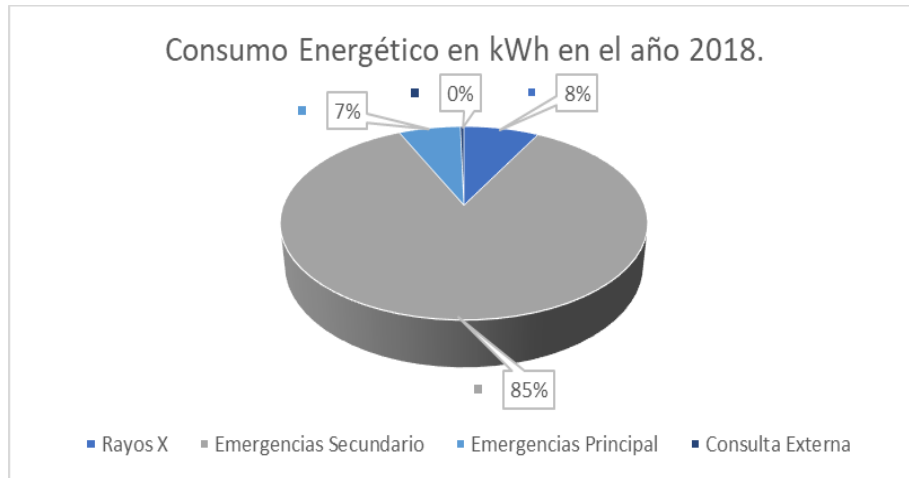
Trifa	Acometida
Mediana tensión	Emergencias Principal
Comercial	Rayos X
Comercial	Emergencias Secundario
Comercial	Consulta Externa

Fuente: Elaboración propia.

Tomando como base los datos históricos de las facturas eléctricas de cada acometida durante los últimos cuatro años es posible identificar en cuál de ellas se tiene el mayor consumo energético, y así poder establecer el área de aplicación del proyecto, durante el año 2018 el mayor consumo eléctrico esta dado por la acometida de emergencias secundaria, sin embargo, como se aclaró anteriormente esta acometida era la encargada de transmitir la energía en mediana tensión con un consumo correspondiente al 85% del total consumido durante este año.

Figura 16.

Consumo eléctrico durante el año 2018.

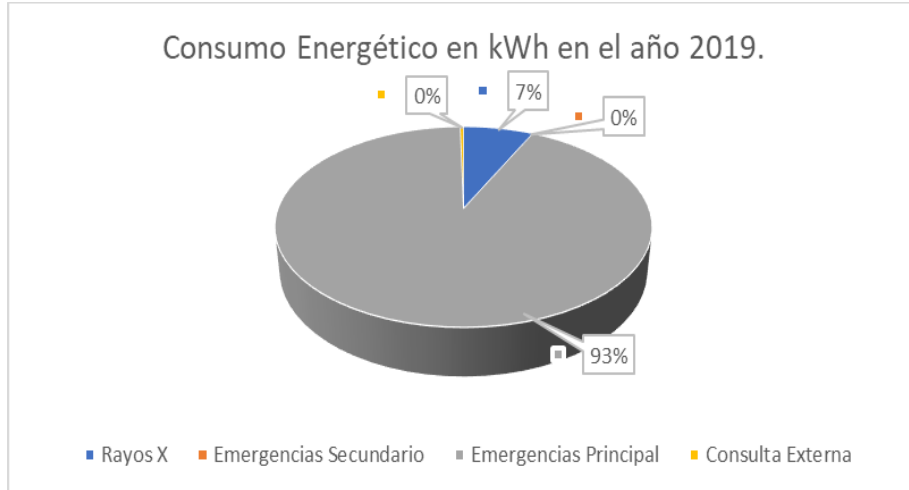


Fuente: Elaboración Propia

Para el año 2019 el mayor consumo eléctrico se observa en la acometida de Emergencias Principal con un 93% del total facturado por la institución, seguido por la acometida de Rayos X; en este caso si existe un consumo para la acometida de Consulta Externa, sin embargo, es completamente insignificante con respecto al valor facturado por la acometida principal, por lo que representa un 0% al igual que la acometida de Emergencias Secundaria.

Figura 17.

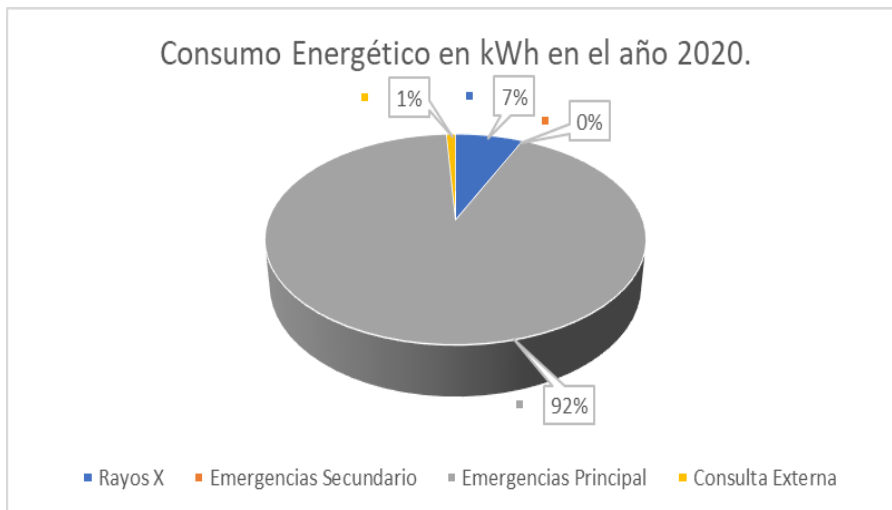
Consumo eléctrico durante el año 2019.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 18.

Consumo eléctrico durante el año 2020.



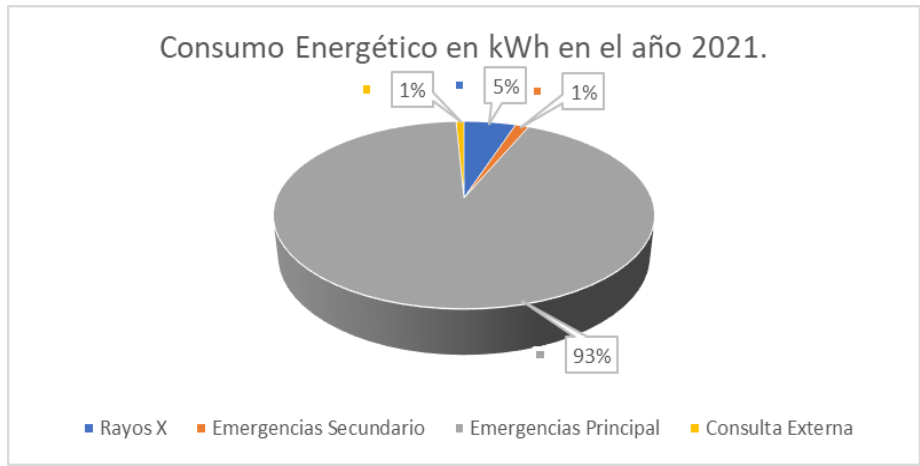
Fuente: Elaboración Propia

Durante el año 2020 el comportamiento fue muy similar al del 2019, el mayor consumo de energía se obtiene en la acometida de Emergencias Principal con un 92% del consumo total, seguido por la acometida de Rayos X con un 7% del total y en este caso la acometida de Consulta Externa representa un 1% del total consumido por el centro médico.

Finalmente, para el año 2021, el mayor consumo lo generó la acometida del Emergencias Principal, con un 93% del total consumido, con la diferencia que en este año entra en funcionamiento la acometida de Emergencias Secundaria debido a las remodelaciones de las instalaciones del centro médico.

Figura 19.

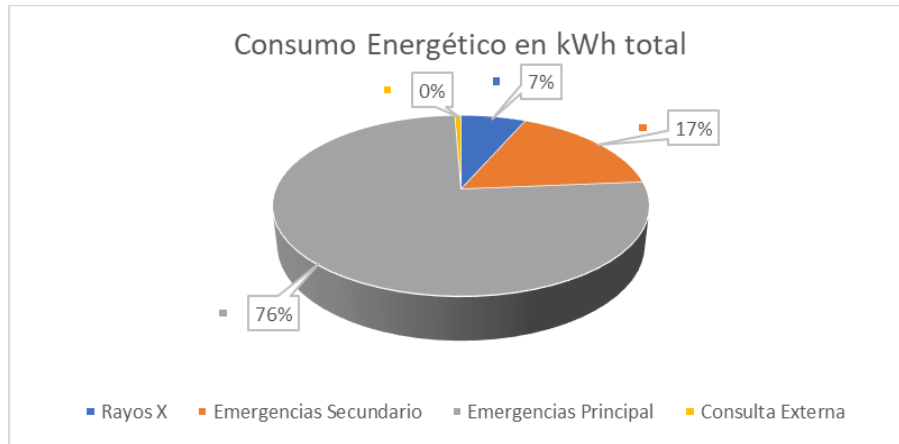
Consumo eléctrico durante el año 2021.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 20.

Consumo eléctrico durante el año 2021.



Fuente: Elaboración Propia

En términos generales, la acometida que tiene el mayor consumo durante los últimos cuatro años es la de Emergencias Principal; como se puede observar en la figura anterior y tomando en cuenta las condiciones establecidas en el año 2018, el valor del consumo total para esta línea de suministro corresponde a un 76% del total facturado, lo cual permite establecer que esta será la línea principal para el estudio y desarrollo del proyecto.

1.2. Auditorias energéticas

Después de conocer cuál es la línea de suministro con mayor consumo de energía, es posible establecer cuáles son las zonas con más consumo eléctrico mediante el análisis del diagrama unifilar del sistema, en este caso, se cuentan con 16 zonas principales entre las cuales destacan la lavandería, servicios de emergencias, quirófanos, centro de acopio, recursos humanos, administración, departamento de compras, pabellón de hombres y mujeres, pabellón de

maternidad, pabellón de pediatría, centro de equipos, capilla, dirección de enfermería, suministro de agua y departamento de mantenimiento, presupuesto y trasportes.

Para establecer cuál es el consumo de estas zonas es necesario aplicar auditorías energéticas, tomando en cuenta todos los equipos conectados a la red eléctrica principal, es importante identificar los datos de placa de los equipos, su uso diario, modelo, marca, potencia y cuantos días al mes se mantienen encendidos, para determinar un valor aproximado del consumo en kWh mensuales. Cabe destacar que al tratarse de un centro médico que atiende emergencias de todo tipo, es complejo tener acceso a todas las zonas ya que se debe garantizar el buen trato al paciente, la salubridad y un ambiente estéril.

Como resultado de la aplicación de las auditorías energéticas en las instalaciones del centro médico se obtiene la tabla 3, en donde se observa que el mayor consumo de energía se encuentra en la zona de lavandería, seguido por los quirófanos y el centro de acopio de residuos sanitarios, sin embargo, es importante dejar en claro una serie de parámetros establecidos para la toma de datos en cada zona del lugar.

Tabla 3.

Consumo energético total por zonas.

Zona	Consumo Mensual (kWh)
Lavandería	17498,08
Emergencias	8868,99
Quirófanos	14183,64
Centro de Acopio	8166,15
Recursos humanos	2574,99
Administración	1486,50
Dpto. Compras	1368,69
Pabellón Mixto	4357,44
Pabellón Maternidad	4755,06
Pabellón pediatría	6139,98

Centro de equipos	6457,86
Capilla	91,34
Dirección Enfermeras	1439,10
Suministro de agua	2045,40
MTO, Presupuesto y Transportes	974,61
Laboratorio clínico y Farmacia	2675,65
Cocina	1355,89
Taller	545,27
Admisión	2781,99
Radiología	1425,97
Total	89192,60

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento para obtener la información relacionada con las salas de operaciones y de recuperación es de acuerdo con el diseño eléctrico de las mismas; la toma de datos de placa se basó en que cada quirófano está equipado con tableros de aislamiento que soportan como máximo una potencia de 5 kVA, de manera que para conocer el consumo total de esta zona se toma en consideración la información recopilada para establecer que todos trabajan a su potencia máxima durante el uso horario establecido (Quirófano 1, 15/7/365 y Quirófano 2 y 3, 7/7/365), además de la energía consumida por los equipos de climatización de cada sala, equipos de computación e iluminación en general.

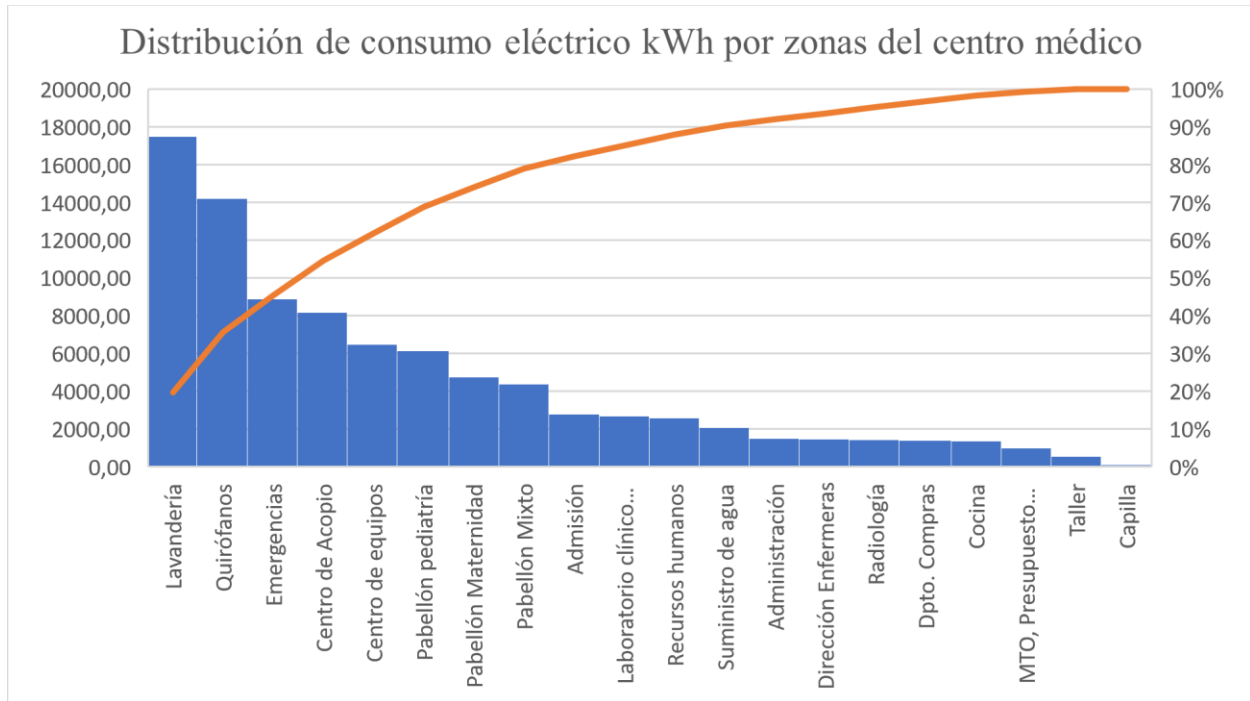
En el caso de los pabellones de hospitalización (mixto, maternidad y pediatría), se deben cumplir los mismos principios de sanidad y esterilidad para garantizar una buena atención al paciente, sin embargo, es posible identificar con mayor facilidad los equipos disponibles en cada lugar, pero se dificulta obtener todos los números de identificación de los dispositivos. Para el centro de equipos es sumamente importante garantizar el ambiente estéril del lugar ya que es en donde se prepara el instrumental que será utilizado en las cirugías, por lo que se solicitó ayuda al personal de turno para identificar los equipos y obtener los datos de consumo de cada uno de ellos.

Al analizar los datos obtenidos en todas las auditorías energéticas, es posible evidenciar el consumo energético mensual de cada lugar de una forma más detallada, se observa en la tabla 3 que las zonas con mayor consumo de energía son las que cumplen con los principales roles del centro médico, con valores de consumo entre los 17 500 kWh a los 6 200 kWh por mes, es decir, son las zonas que desempeñan un papel importante en el correcto funcionamiento del hospital en su labor principal de atención de pacientes. Sin embargo, es necesario identificar mediante métodos estadísticos cual es la zona con el consumo energético más crítico.

Como se observa en la figura 22, las zonas más críticas del hospital por su alto consumo de electricidad son la lavandería, salas de operación, centro de acopio, sala de emergencias, centro de equipos y pabellón de pediatría, ya que dentro de estas zonas se tienen equipos que requieren un alto consumo eléctrico para su funcionamiento, para el centro de acopio y centro de equipos, el principal consumo de energía esta dado por el autoclave, sin embargo en el caso del centro de acopio, el dispositivo únicamente trabaja con electricidad debido a que no hay una conexión establecida al sistema de vapor existente en las instalaciones; aumentando su consumo eléctrico a valores cercanos a los 8 100 kWh, en el caso de los quirófanos, a pesar de que se asume que la carga en cada sala de operación es la máxima, los equipos con mayor consumo energético son los aires acondicionados de tipo paquete y las salas de operaciones y de recuperación, con valores de consumo cercanos a los 2 800 kWh mensual cada uno, finalmente en la lavandería los equipos más críticos son las lavadoras y secadoras de tipo industrial, ya que si bien operan con vapor para la desinfección de las prendas, los motores y demás sistemas de control utilizan energía eléctrica, consumiendo hasta 5 000 kWh por mes cada secadora.

Figura 21.

Análisis de distribución del consumo eléctrico del Hospital San Francisco de Asís.



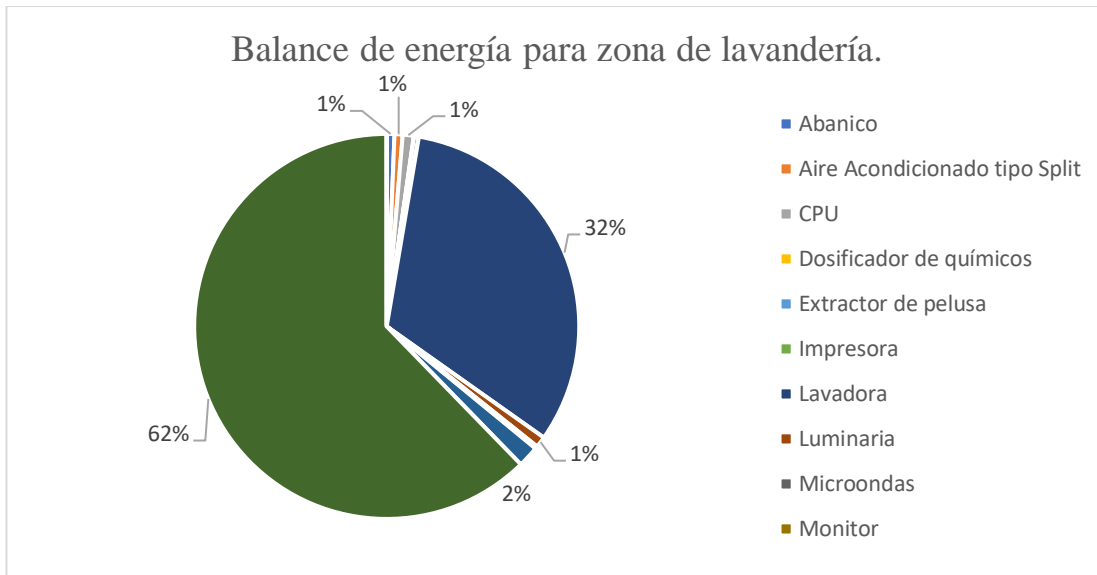
Fuente: Elaboración propia.

Basados en la información anterior, se observan varias zonas críticas dentro de las instalaciones del centro médico, sin embargo, dos de estas áreas resaltan significativamente en comparación con las otras; la zona de quirófanos es una de las más importantes relacionadas con el consumo eléctrico, por la gran cantidad de equipos de aire acondicionado instalados en cada sala de operaciones, por otra parte, en la lavandería la diversidad de equipos conectados a la red eléctrica no es muy grande, pero se cuenta con equipos de lavado y secado con valores de consumo verdaderamente considerables. Es por esta razón que se establece que la zona más crítica de todo el centro médico es la lavandería por la gran carga energética que representan los equipos de secado y lavado con consumos de 10 900 kWh/mes y 5 600 kWh/mes respectivamente, sin embargo, es

importante tomar en cuenta que existen equipos activos de climatización, iluminación, dosificadores de detergentes, extractor de pelusa y equipos informáticos que también contribuyen al consumo energético del lugar.

Figura 22.

Balance energético para zona de lavandería, Hospital San Francisco de Asís.



Fuente: Elaboración propia.

Dentro del área de lavandería se tienen equipos muy variados, los cuales en su gran mayoría cumplen con la función de limpieza y desinfección de las prendas de uso médico provenientes del mismo centro hospitalario y de las zonas aledañas que pertenecen a la comunidad. Es evidente, según la figura 22, que el consumo de energía de los equipos de confort, informática e iluminación es insignificante en comparación a los equipos de lavado y secado, siendo el equipo más crítico de todo el hospital, las secadoras de ropa con un consumo correspondiente al 62% del valor total consumido por la zona de lavandería.

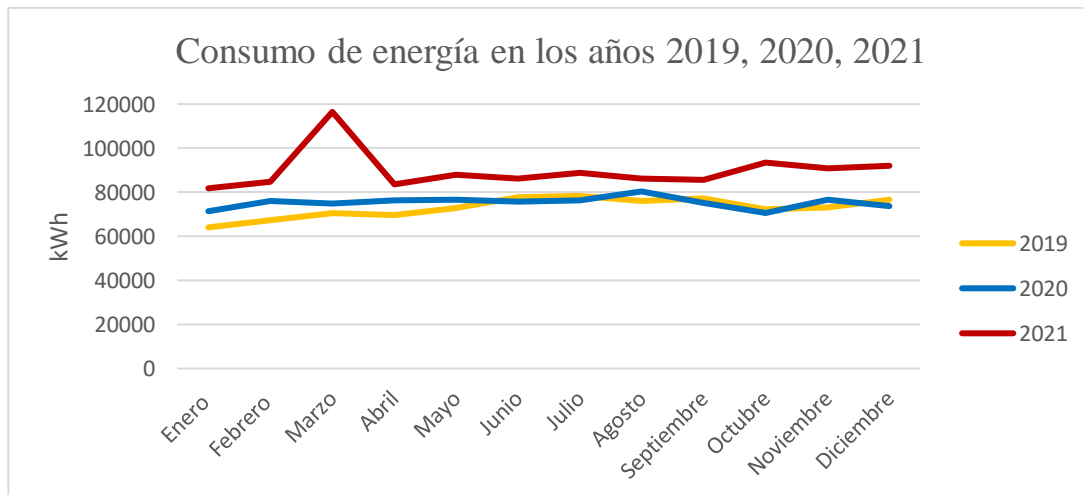
1.3. Análisis de datos

1.3.1. Datos Históricos

El centro médico posee un control de consumo y demanda de energía basado en las facturas eléctricas suministradas por Instituto Costarricense de Electricidad, a partir de un pequeño análisis del consumo de energía de los últimos tres años se evidencia que el comportamiento es bastante similar, con pequeños aumentos con forme avanzan los años. Sin embargo, algunos meses presentan un aumento un poco mayor, principalmente en el año 2021, en el mes de marzo se tiene un aumento de consumo elevado, lo cual podría ser explicado por varias razones; una posible causa es el aumento de casos e ingreso de pacientes COVID-19 positivos, trabajos de remodelación importantes en el centro médico o aumento de carga requerida por todas las unidades del hospital, ya que al ingresar más pacientes se aumenta la carga relacionada con el centro de lavado, climatización de recintos, cocción de alimentos, etc.

Figura 23.

Comportamiento de consumo energético en los años 2019, 2020, 2021.

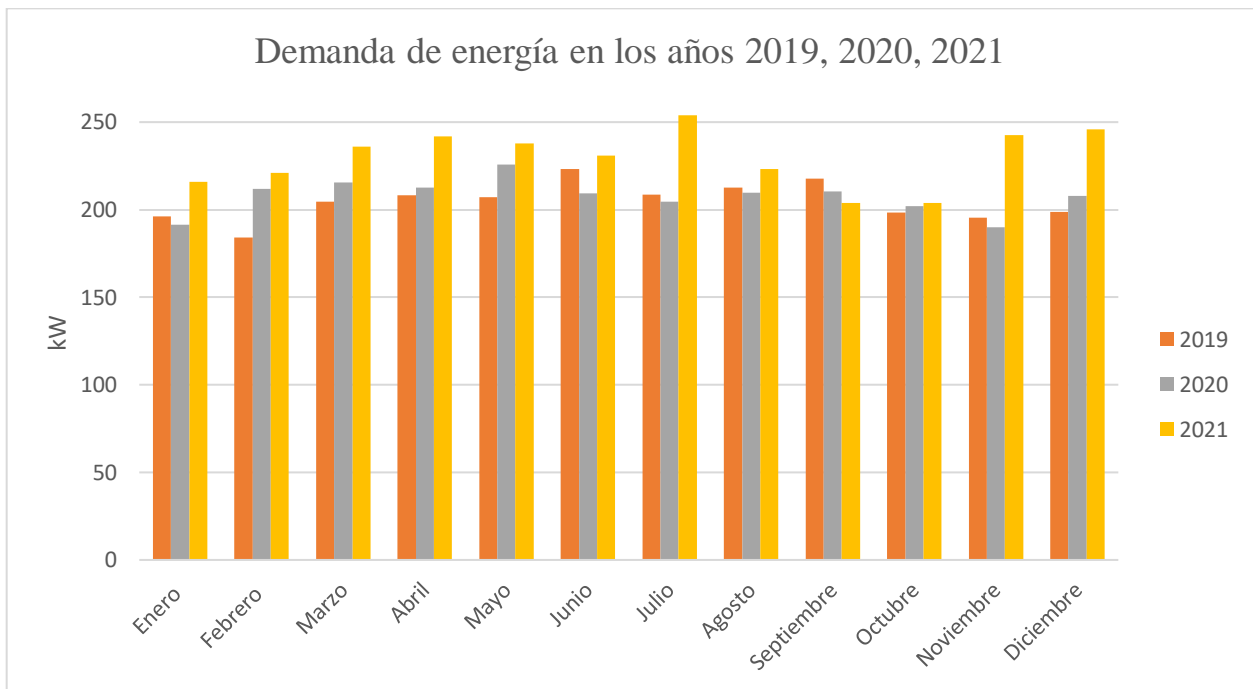


Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, al analizar la demanda de energía facturada del centro médico, el comportamiento es bastante similar al del consumo de energía, ya que se ve un aumento con forme pasan los años, sin embargo, el pico de demanda para el año 2021 estuvo en los meses de julio, noviembre y diciembre con valores cercanos a los 250 kW, por encima del valor promedio de demanda anual de 230 kW. Exceptuando estos meses, como se observa en la figura 24, el comportamiento es muy constante al comparar la demanda facturada en los últimos 3 años, marcando de esta forma los meses con mayor y menor demanda de este centro médico.

Figura 24.

Comportamiento de la demanda energética en los años 2019, 2020, 2021.



Fuente: Elaboración propia.

Estos análisis son basados en datos históricos de demanda y consumo de energía del centro médico al largo de los últimos tres años, sin embargo, es posible realizar un análisis más detallado

enfocado en la zona más crítica del hospital. En este caso el área de lavandería según el estudio de las auditorías energéticas es la zona con mayor relevancia por su alto consumo y demanda energética.

Con la ayuda de memorias de cálculo y el uso del prototipo diseñado para el análisis de energía eléctrica, es posible el tratamiento de los datos obtenido en el periodo del 14 de septiembre de 2022 al 28 de septiembre de 2022 correspondientes al equipo con mayor criticidad del área de lavandería. Es importante destacar que debido al alcance del proyecto y al costo económico de construcción del prototipo, la toma de datos se enfocó únicamente en el equipo más crítico del sistema de lavado, que en este caso es la secadora marca Braun modelo 300PT, sin embargo, como se desarrolla en el capítulo 4, este será diseñado por etapas constructivas, de marea que sería posible obtener mediciones de toda el área de estudio, incluyendo sensores con mayor alcance de medición y demás mejoras al dispositivo base desarrollado.

1.3.2. Demanda

El valor de demanda es un dato muy importante para el estudio energético del hospital, ya que nos permite identificar y comprender mejor el uso que se le brinda a la energía a lo largo del día en el centro médico, a raíz de los datos históricos se puede obtener la demanda facturada por Instituto Costarricense de Electricidad como se observa en la figura 24; se puede observar una comparativa entre la demanda mensual en los últimos 3 años, sin embargo, estos valores no permiten realizar un análisis detallado de esta, es por esta razón que se toman como base los datos obtenidos de la puesta en marcha del prototipo de medición de energía.

Como se aclara en el siguiente capítulo, la obtención de datos se enfocó en la demanda de energía destinada a la secadora Braun del área de lavandería; al ser un centro médico resulta

realmente complicado realizar un reacomodo de cargas para reducir el costo final de la factura eléctrica ya que el uso de los equipos está directamente relacionado con la cantidad y afluencia de pacientes, en el caso de lavandería la carga de trabajo se distribuye a lo largo de la semana, asegurando el suministro continuo de ropa de hospital limpia y desinfectada. Esta distribución de carga de trabajo provoca una demanda relativamente constante ya que el equipo trabaja durante todo el ciclo de lavado a un ritmo invariable, sin embargo, la cantidad de ciclos si varia durante toda la jornada laboral.

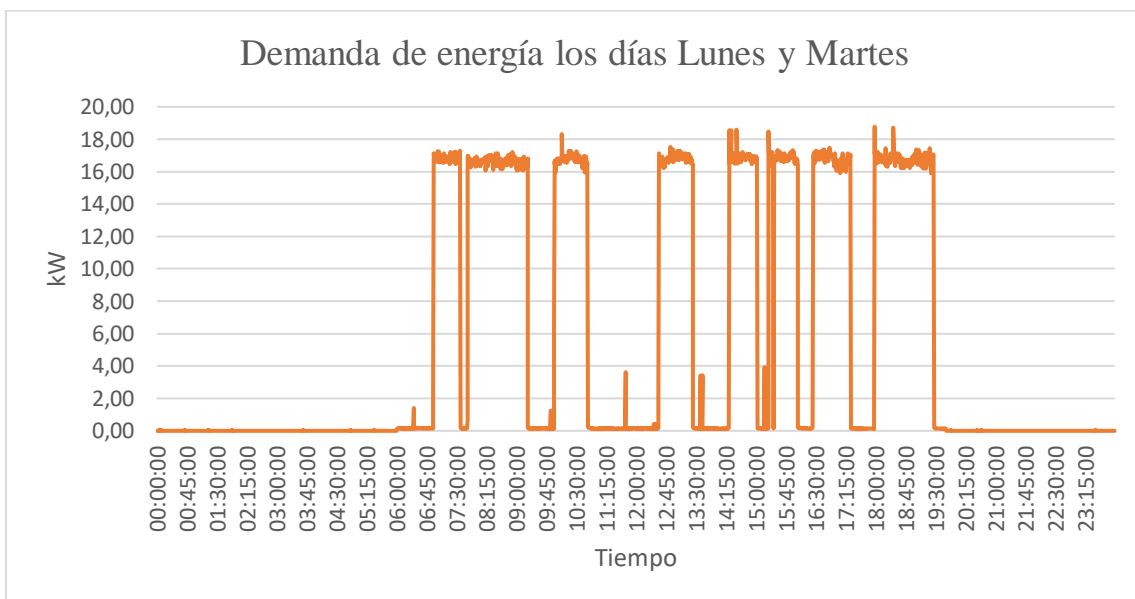
Al realizar un análisis detallado de los datos obtenidos durante dieciocho días de medición, se puede observar un claro patrón de ciclos de trabajo distribuido desde las 6:00 hasta las 15:00 en la mayoría de los casos, esta distribución indica que la demanda máxima se tiene en los periodos Valle (6:01-10:00 y 12:31– 17:30), favoreciendo al costo económico relacionado a la facturación eléctrica. Por otra parte, en el periodo Punta (10:01-12:30 y 17:31-20:00) la demanda tiene un valor similar al del periodo valle, pero por un tiempo mucho menor.

Este fenómeno se puede observar más detalladamente a continuación, el perfil de demanda para los lunes y martes es muy semejante entre sí, con valores pico cercanos a los 17 kW, en este periodo en especial los ciclos de trabajo se alargan hasta las 19:30 debido a las horas extra de trabajo necesarias para suplir la carga de trabajo acumulada del fin de semana. Para los miércoles, jueves y viernes el valor de la demanda energética se mantiene constante con valores cercanos a los 17kW, sin embargo, la frecuencia de los ciclos de trabajo del equipo disminuye considerablemente al detener las labores alrededor de las 15:20, finalmente el perfil de demanda del sábado es muy similar al anterior, con la diferencia de que los periodos tienen una duración mucho menor que en el resto de la semana.

Al conocer los perfiles de demanda durante toda la semana, es posible establecer una base del comportamiento de esta, ya que según sea el día el comportamiento de la demanda será diferente, de esta forma será posible identificar posibles oportunidades de mejora y reducir la demanda máxima sin provocar cambios drásticos en el proceso productivo.

Figura 25.

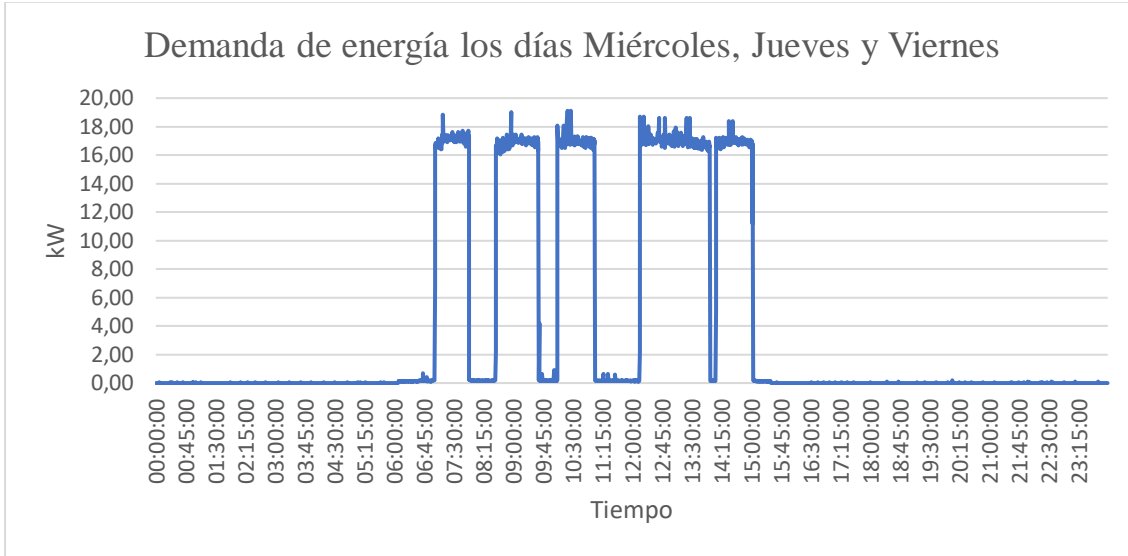
Perfil de demanda de secadora Braun, para los lunes y martes.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26.

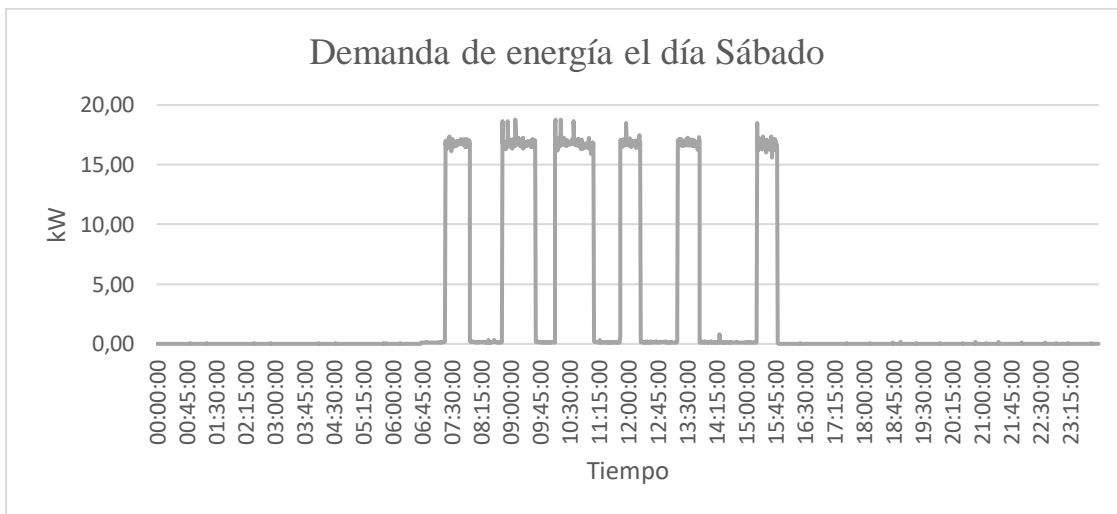
Perfil de demanda de secadora Braun, para los miércoles, jueves y viernes.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27.

Perfil de demanda de secadora Braun, para los sábados.



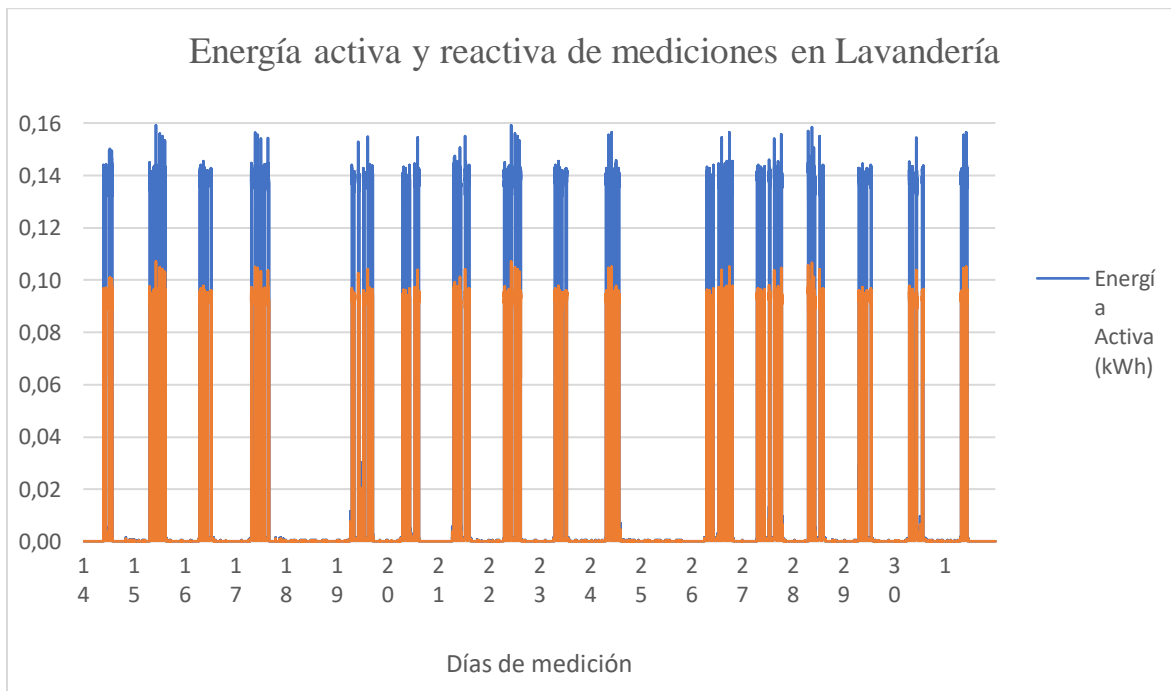
Fuente: Elaboración propia.

1.3.3. Energía

Para el análisis de consumo de energía, se utilizan como base los datos recolectados con el prototipo construido; el dispositivo es capaz de realizar mediciones de voltaje de fase y corriente de línea para los sistemas trifásicos, de este modo para hacer el estudio de energía es necesario calcular el consumo, tomando en cuenta el valor de la demanda, el intervalo de medición de cada dato de 30 segundos y convertir las unidades de segundos a horas. Al aplicar este método el perfil de energía para cada día es el mismo que el de la demanda, pero con diferentes valores, sin embargo, es posible visualizar el comportamiento a lo largo del periodo de estudio.

Figura 28.

Comportamiento de energía activa y reactiva de secadora Braun.



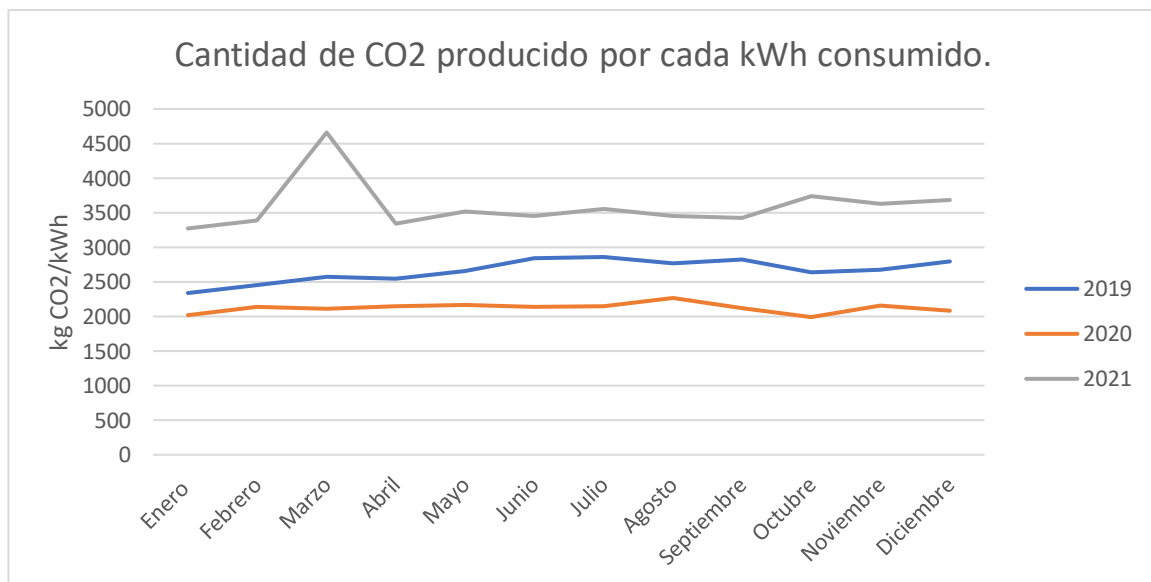
Fuente: Elaboración propia.

Nuevamente es posible evidenciar los periodos en los cuales la secadora Braun se mantiene en funcionamiento con valores entre los 0.14 kWh y 0.16 kWh, además el tener un factor de potencia cercano a 0.83, el comportamiento de la energía reactiva es muy similar a la energía activa con la diferencia de que los valores son cercanos a los 0.10 kVArh, los periodos en donde la energía tienen valores cercanos a cero corresponden a las horas nocturnas y al consumo correspondiente al domingo.

Un dato importante del análisis de la energía es el impacto ambiental que se genera con la producción de esta, de acuerdo con el Instituto Meteorológico Nacional, es posible calcular el efecto de la energía eléctrica con las emisiones de CO2 al aplicar una serie de factores multiplicativos para obtener los kilogramos de CO2 por cada kWh. (Instituto Meteorológico Nacional, 2021)

Figura 29.

Cantidad de CO2 producida por cada kWh consumido.



Fuente: Elaboración propia.

Es evidente que la producción de CO₂ a lo largo de los años es relativamente constante a excepción del año 2021 que presenta un aumento relevante en el mes de marzo, sin embargo, al realizar un análisis más preciso, se puede observar que del año 2020 al 2021 el aumento es de aproximadamente un 60% debido al aumento de consumo de energía y que el factor multiplicativo presenta un cambio considerable (0.0282 en 2020 a 0.0400 en 2021) pero al comparar el año 2019 (factor multiplicativo de 0.365) con el año 2020 se observa que hay una reducción en la cantidad de CO₂ producido de aproximadamente un 80%, estos datos evidencian que es importante establecer medidas correctivas para el uso y consumo de la energía eléctrica del centro médico, de esta forma se obtendría mejoras en el costo final de la factura eléctrica y se reduciría la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmosfera.

1.3.4. Base energética

Después de realizar el análisis de los datos obtenidos del uso del prototipo de medición de energía y de los datos históricos, es posible establecer los perfiles de demanda y consumo de energía eléctrica del Hospital San Francisco de Asís y de la zona de lavandería, específicamente de la secadora con mayor incidencia en el perfil energético de esta área, estos perfiles permiten establecer las bases energéticas para poder desarrollar posibles mejoras en el rendimiento energético del centro médico.

1.3.4.1. Línea base energética

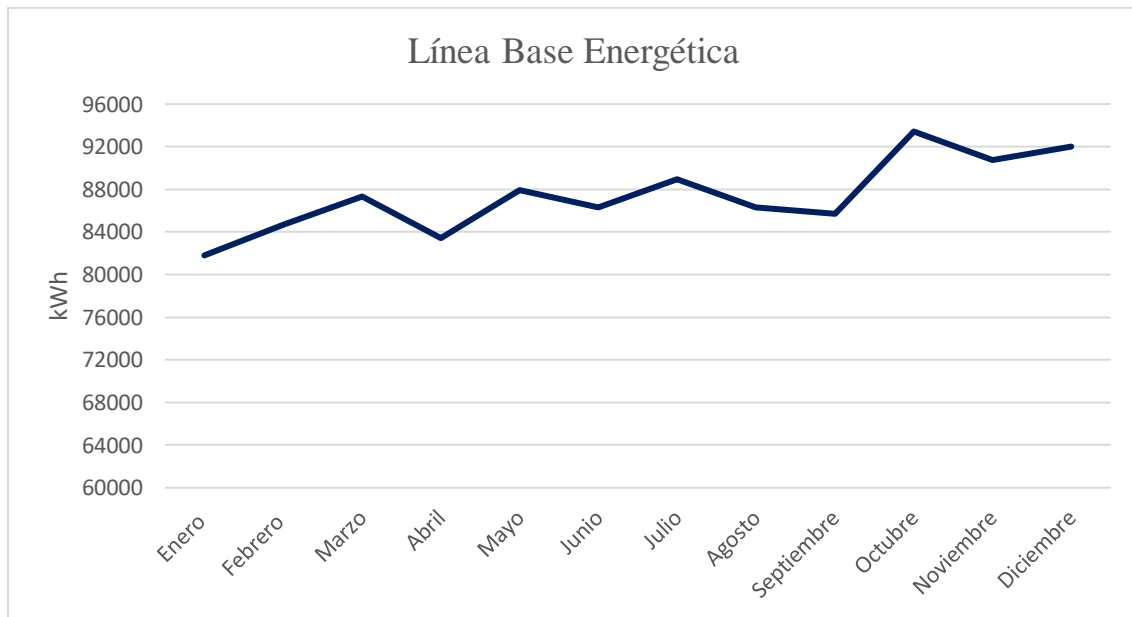
Según indica la norma para determinar correctamente una línea base, es necesario identificar un periodo de tiempo adecuado para la toma de datos y análisis de estos, de manera que se pueda identificar claramente el comportamiento y estado energético del sistema, en este caso es posible identificar diferentes líneas base divididas en el estado general del Hospital San Francisco de Asís, consumo de energía del equipo crítico para los días lunes y martes, consumo de energía

del equipo crítico para los días miércoles, jueves y viernes y consumo de energía del equipo crítico para los sábados.

Al tener una serie de datos históricos correspondientes al consumo y demanda de energía en los últimos 3 años del centro médico, se facilita en gran medida la obtención de la línea base, ya que se puede establecer el comportamiento del consumo de energía a lo largo de estos años y así lograr identificar el comportamiento general de los sistemas. Como se observa en la siguiente figura, se establece el periodo de estudio a partir de enero del 2021 hasta diciembre del 2021, debido a que es el año más reciente y permite establecer un escenario de estudio actualizado y acorde con el comportamiento histórico.

Figura 30.

Línea base energética, Hospital San Francisco de Asís.



Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento del consumo de energía tiende al alza a lo largo del año, incrementando gradualmente hasta llegar al mes de octubre, se observa un pequeño aumento entre los meses de abril a septiembre coincidiendo con la época del año con más precipitaciones y disminución de temperatura, luego se llega al pico máximo de consumo en los últimos meses del año. Un análisis más detallado se puede destinar al comportamiento del área más crítica del centro médico, basado en las mediciones realizadas es posible identificar tres líneas base diarias, la primera abarca los lunes y martes, la segunda los miércoles, jueves y viernes y la tercera línea el sábado, en general las tres rondan en valores máximos de 0.13 kWh a 0.14 kWh, sin embargo, el periodo de funcionamiento del equipo varía considerablemente, en la figura 31 se establece que para el inicio de la semana el funcionamiento de la secadora ronda los 8 ciclos de trabajo por días, mientras que para el resto de semana se tienen aproximadamente 6 ciclos.

Figura 31.

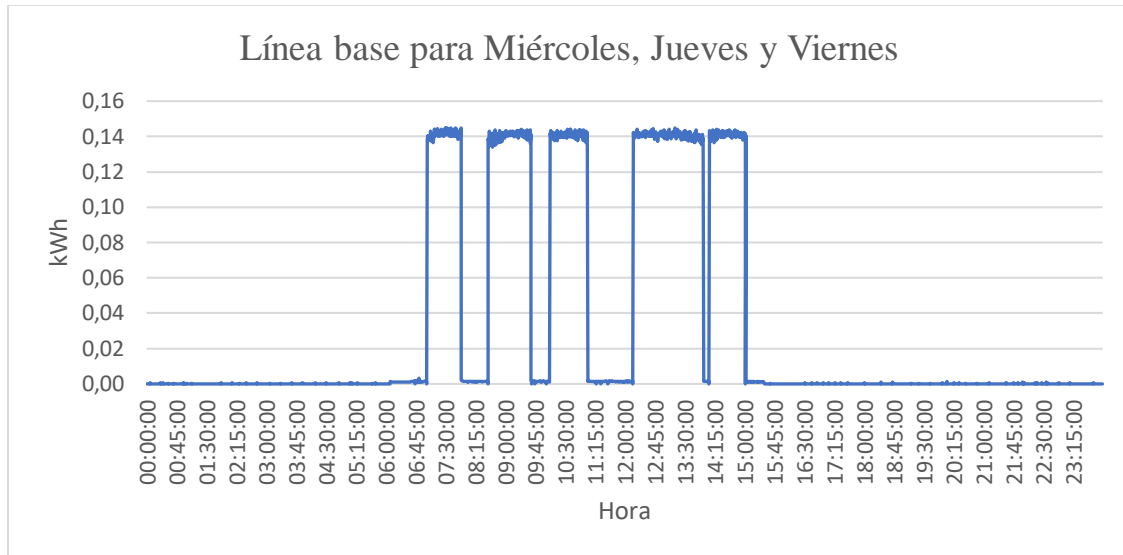
Línea base energética para lunes y martes.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 32.

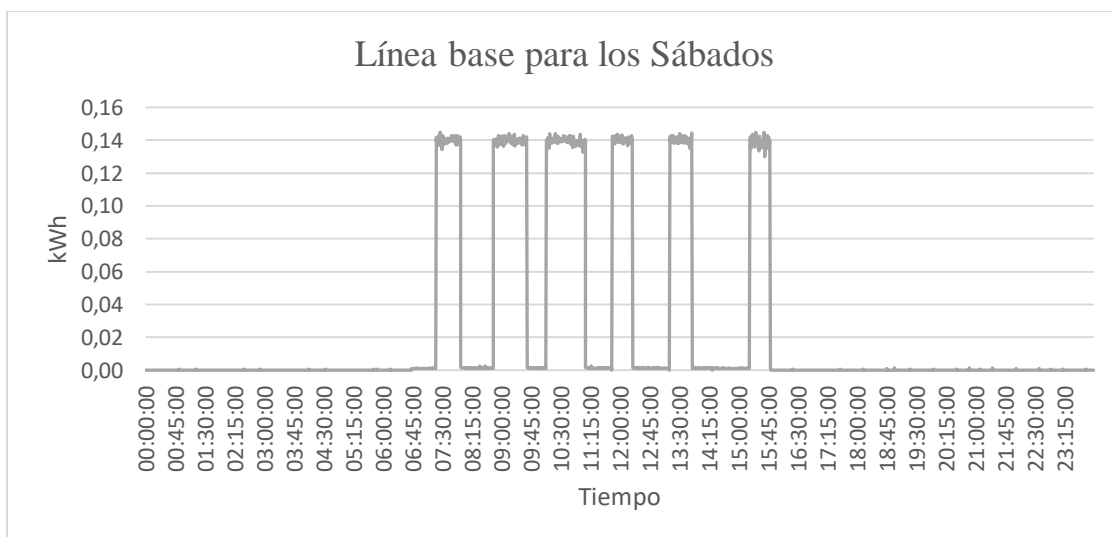
Línea base energética para miércoles, jueves y viernes.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 33.

Línea base energética para sábados.



Fuente: Elaboración propia.

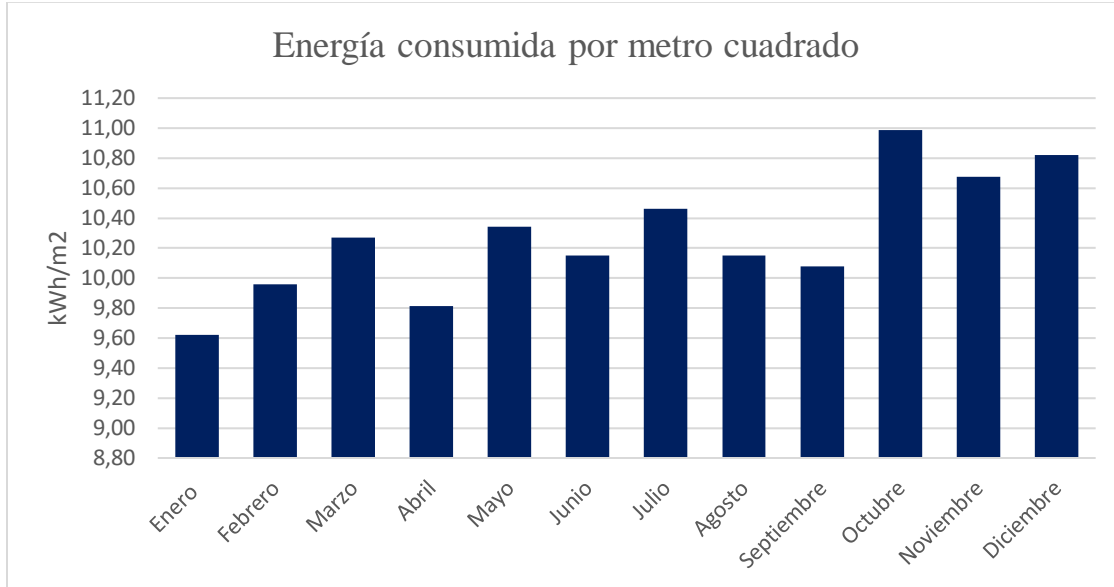
1.3.4.2. Indicadores energéticos

Los indicadores de desempeño energético son herramientas que permiten identificar las características y comportamiento del consumo, demanda y uso de la energía, que al compararlo con un intervalo de tiempo determinado da como resultado el estado energético actual del edificio, de esta forma es posible determinar posibles planes de mejora y ahorro de energía. Es importante establecer los indicadores energéticos adecuados, ya que no todos se adaptan a la actividad productiva del centro médico. En este caso, se podrán determinar varios indicadores para conocer y evaluar al Hospital San Francisco de Asís con otros hospitales del país.

Como se mencionó anteriormente el comportamiento de demanda y consumo de energía del centro médico es muy constante, sin embargo, al comparar estos datos con el área total del centro médico se obtiene que el valor promedio de energía es de 10.28 kWh/m², mientras que para la demanda de energía es de 0.027 kW/m². Un dato importante que permite comparar a este centro médico con otros hospitales del país es el consumo de energía anual por metro cuadrado, en este caso al conocer la línea base energética se pueden sumar los consumos de todos los meses y dividirlos entre el área total para obtener un valor de 123.32 kWh/m² anual.

Figura 34.

Indicador de energía por metro cuadrado.

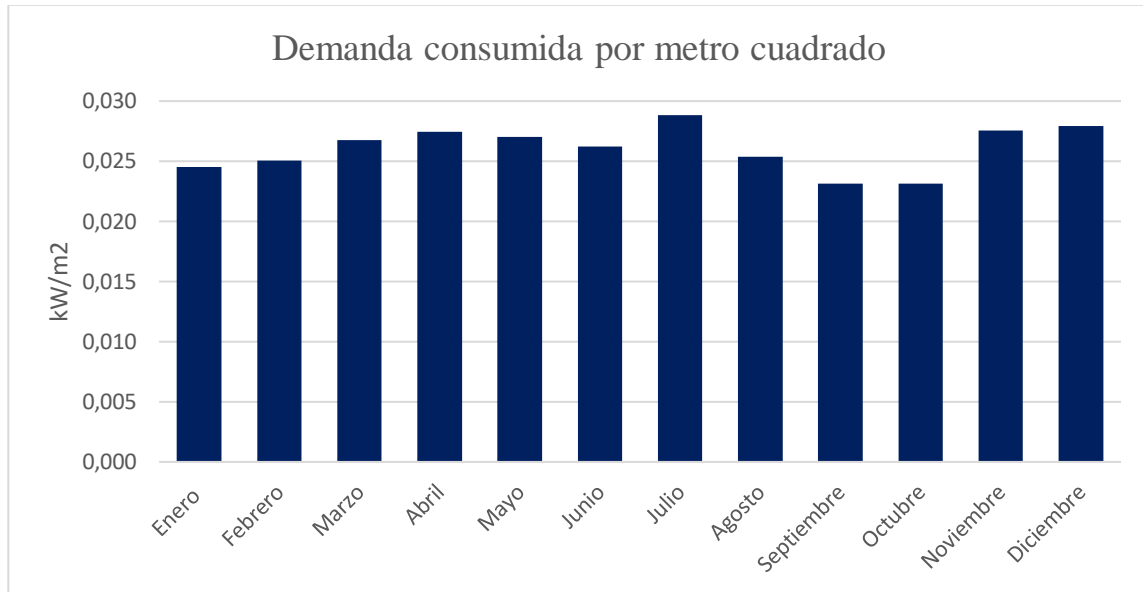


Fuente: Elaboración propia.

Al comparar el consumo anual del Hospital San Francisco de Asís con centros médicos como el Hospital San Rafael de Alajuela con un consumo anual cercano a los 190 kWh/m² es evidente que el estado energético del centro medio es verdaderamente sobresaliente. Por otra parte, si se compara este dato con hospitales europeos con consumos anuales de 150 kWh/m² y altos estándares de atención médica se observa una diferencia de hasta 27 kWh/m²/año.

Figura 35.

Indicador de demanda por metro cuadrado.

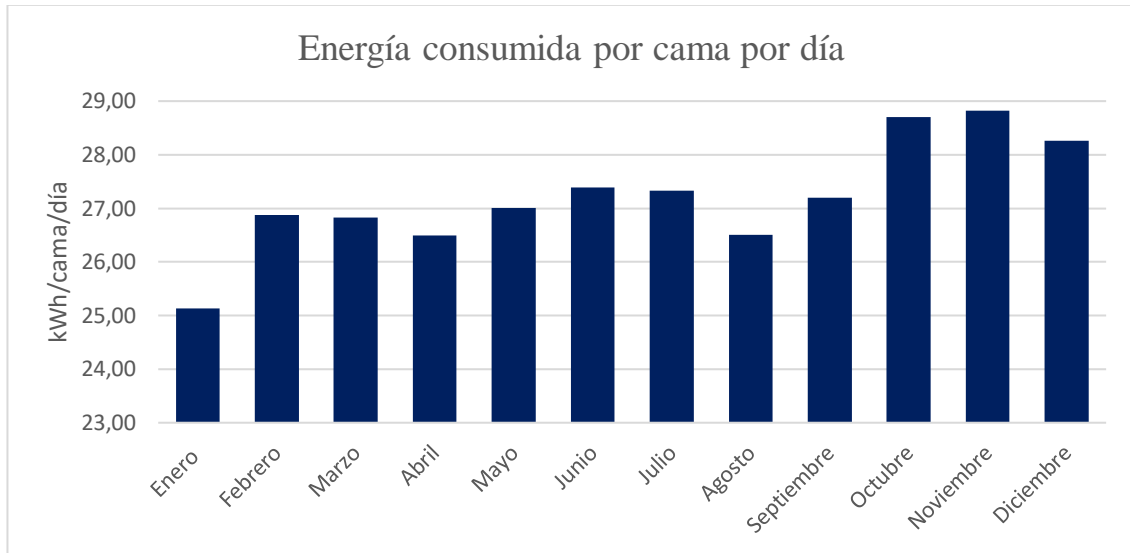


Fuente: Elaboración propia.

Otro indicador importante para analizar es el consumo y demanda que tiene el centro médico por cada cama de hospitalización, este dato no suele ser muy común en los análisis energéticos, sin embargo, es bastante relevante para establecer comparaciones con otros centros médicos.

Figura 36.

Indicador de energía consumida por cama al día.

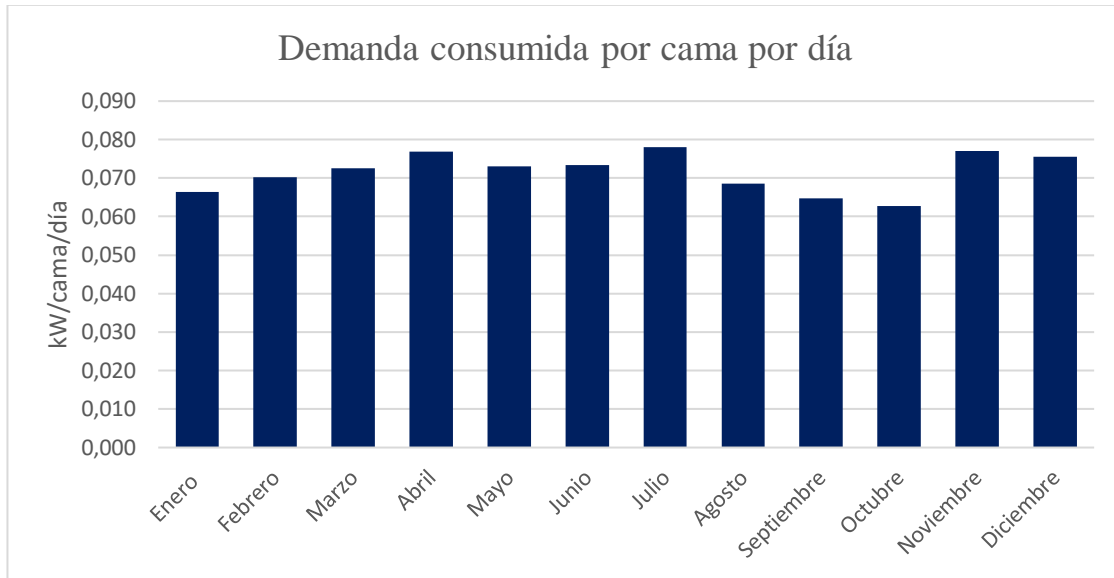


Fuente: Elaboración propia.

Este valor se ve directamente afectado por la cantidad y afluencia de pacientes hospitalizados, ya que entre más alto sea este número, mayor cantidad de camas serán ocupadas llegando al máximo de 105 en total, históricamente enero es un mes con poca afluencia, sin embargo, los últimos meses del año si presenta una elevación considerable con un promedio de 27,21 kWh/cama al día. En el caso de la demanda consumida por cama al día, los valores son más constantes con un promedio de 0.072 kW/cama al día.

Figura 37.

Indicador de demanda consumida por cama al día.

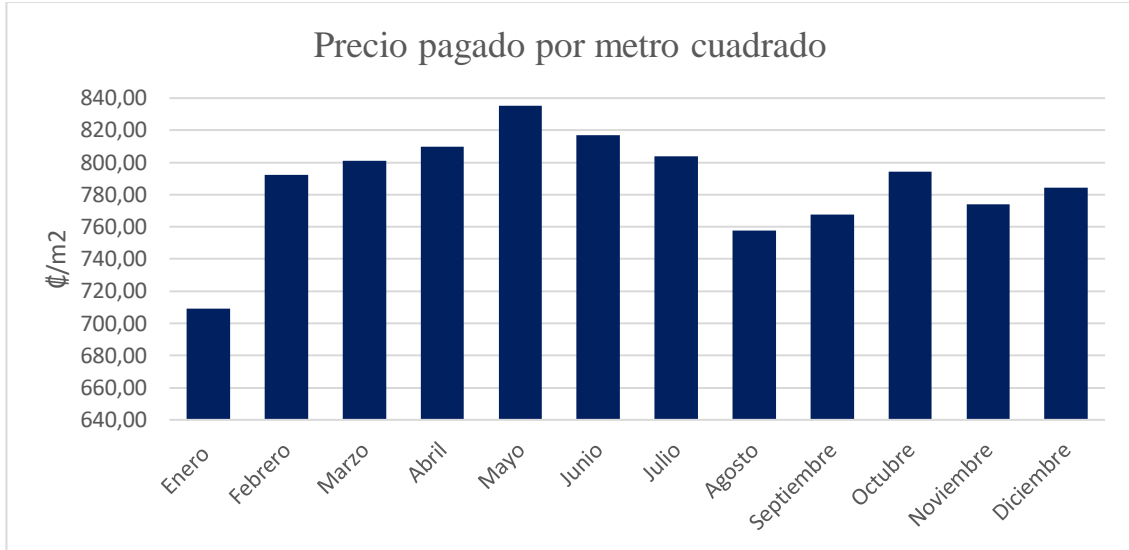


Fuente: Elaboración propia.

Al comparar estos indicadores energéticos con el Hospital San Rafael de Alajuela (48.83 kWh/cama/día) se observa una diferencia de 21.62 kWh/cama/día, ahora bien al realizar la comparativa con centros médicos de Colombia (31.2 kWh/cama/día), Chile (30.89 kWh/cama/día), España (36.76 kWh/cama/día), Canadá (389 kWh/cama/día), Estados Unidos (376 kWh/cama/día) es claro que el Hospital San Francisco de Así se encuentra en un lugar privilegiado, es importante destacar que la calidad de energía y atención al paciente es diferente en todos los países, sin embargo, es un buen punto de comparación para desarrollar posibles mejoras.

Figura 38.

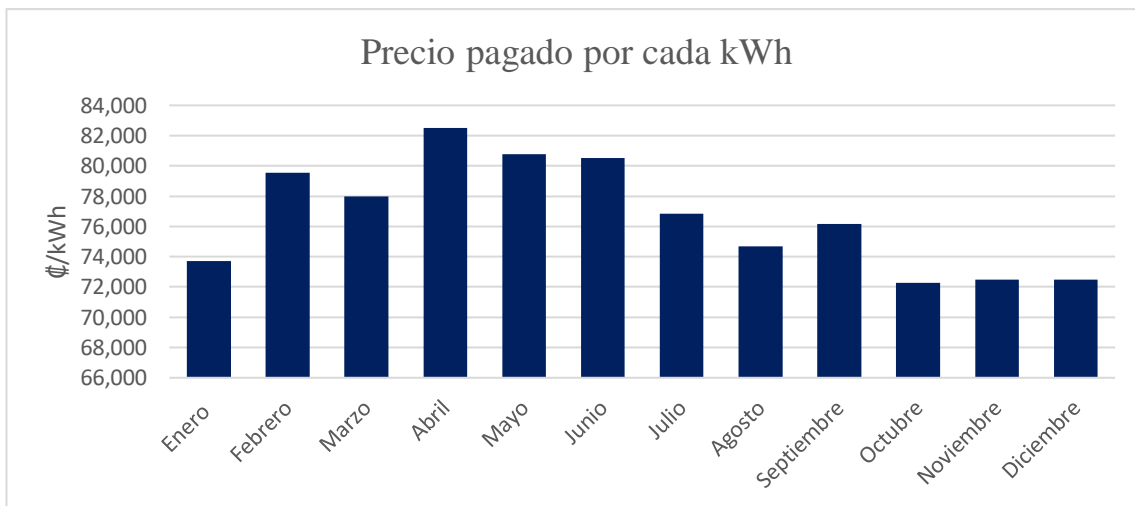
Indicador de precio pagado por metro cuadrado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 39.

Indicador de precio pagado por energía.

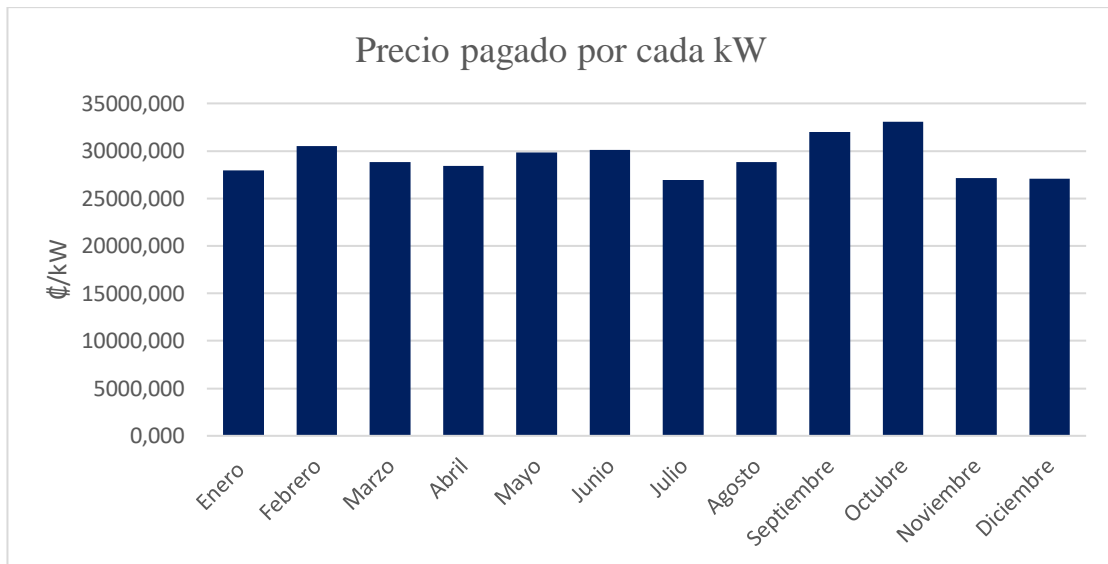


Fuente: Elaboración propia.

Analizar el efecto que conlleva el rendimiento energético con el factor económico es muy importante, ya que todo proyecto u organización se ve directamente ligado con el uso que se le da al dinero. Como se observa en la figura anterior, el mayor costo por metro cuadrado se tiene en el mes de mayo, con un valor de 835 ¢/m², mientras que para finales y principios del año el costo disminuye a un promedio de 787 ¢/m².

Figura 40.

Indicador de precio pagado por demanda.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, el efecto de la demanda y la energía en la factura eléctrica se puede observar en las figuras anteriores, el comportamiento del precio de la energía se ve afectado según sea el consumo de energía a lo largo del año, con un valor promedio de 76.67 ¢/kWh, mientras que el costo por cada kilowatt es bastante constante a lo largo del tiempo pero con un costo mucho mayor cercano a los 29 200 ¢/kW, evidenciando la importancia de atacar directamente el consumo de demanda

antes del consumo de energía, de esta forma al lograr un ahorro sustancial en la demanda energética del centro médico la factura eléctrica disminuirá considerablemente.

CAPÍTULO IV

En este capítulo se desarrolla ampliamente el diseño y construcción del prototipo de medición de datos en tiempo real de demanda y consumo energético para el equipo con mayor criticidad obtenido del análisis de las auditorías energéticas y balances de energía. Este será un plan piloto diseñado por etapas de construcción tomando como base el dispositivo utilizado para la toma de datos utilizados en el capítulo 3.

El dispositivo diseñado cuenta con diferentes elementos que permiten la toma de valores de corriente y voltaje para cada fase de alimentación del equipo; para lograr realizar el tratamiento adecuado de estos valores se utiliza un módulo de Arduino UNO que procesa los valores cada 30 segundos y los almacena de forma segura en una memoria Micro SD; para la toma de datos de corriente se utilizan 3 sensores de corriente alterna modelo SCT-013, los cuales son capaces de medir corrientes de línea de hasta 100 A cada uno, finalmente para la toma de datos de tensión se aplican 3 sensores modelo ZMPT101B, los cuales permiten recibir una señal de tensión AC de hasta 250 V y convertida mediante un pequeño transformador y demás elementos a una señal CD aceptada por el Arduino.

1.1. Descripción de prototipo de medición de energía

Como se mencionó anteriormente el diseño y elaboración del dispositivo se plantea por etapas de construcción, siendo la etapa 4 la última en cuanto a la construcción del dispositivo para el desarrollo del proyecto, sin embargo, se establecen posibles mejoras en las etapas siguientes

para lograr optimizar al máximo el funcionamiento y desarrollo del equipo. A continuación, se describen las etapas establecidas junto con los resultados obtenidos en cada una de ellas.

1.1.1. Etapa 1, Diseño y desarrollo de cálculos

Para dar inicio con el diseño del prototipo es importante establecer cuáles son todos los elementos necesarios para la construcción del dispositivo, sin dejar de lado conectores, tornillos, terminales, resistencias de carga y demás artefactos electrónicos necesarios para transmitir las señales de entrada de los sensores al módulo central. Como se observa en la tabla 4, son necesarios diferentes elementos para la construcción del dispositivo base, sin embargo, es necesario realizar una serie de cálculos para obtener los valores de resistencias necesarios según las características del equipo que se desea analizar.

Se sabe que la potencia activa trifásica de funcionamiento de la Secadora marca Domus es de 26.61 kW a una tensión de línea de 208V y un fp de 0.83, de manera que al despejar la corriente (I_{rms}) de la ecuación de potencia trifásica se obtiene el siguiente resultado:

$$P = \sqrt{3} * VL * IL * fp$$

$$IL = \frac{P}{\sqrt{3} * VL * fp}$$

Al sustituir los valores obtenidos de los datos de placa del equipo se tiene una corriente $I_{rms} = 89 \text{ A}$

$$I_{rms} = \frac{26.61 * 1000}{\sqrt{3} * 208 * 0.83}$$

$$I_{rms} = 89 \text{ A}$$

Ahora, es necesario transformar la corriente Irms a una corriente pico Ipico multiplicando el resultado por raíz de dos.

$$I_{pico} = \sqrt{2} * 89$$

$$I_{pico} = 126A$$

Según la ficha técnica de los sensores SCT-013, estos poseen un pequeño transformador que permite reducir la corriente que se obtiene del lado secundario con 2 000 vueltas a un valor mucho más pequeño en el lado primario con solo 1 vuelta, al aplicar la relación del transformador a la corriente pico que se calculó anteriormente, se obtiene el siguiente valor de corriente en el lado secundario del transformador.

$$I_s = \frac{N_p * I_p}{N_s}$$

$$I_s = \frac{1 * 126}{2000}$$

$$I_s = 0.063A$$

Finalmente, al aplicar la Ley de Ohm es posible obtener la resistencia de carga necesaria para la corriente de salida del sensor, sin embargo, es importante destacar que las entradas analógicas del módulo Arduino tienen un voltaje máximo de 5 V, por lo que es necesario realizar el cálculo de resistencia de carga con este valor.

$$R_c = \frac{V}{I_s}$$

$$R_c = \frac{5}{0.0625}$$

$$R_c = 79.36 \Omega$$

El valor óptimo de resistencia de carga sería de 80Ω , sin embargo, los valores disponibles en el mercado son un poco escasos, por lo que para la construcción del prototipo se utilizaron resistencias de carga de 100Ω para cada sensor, también es necesario un pequeño circuito de offset con un condensador de $10 \mu\text{F}$ y resistencias de $10 \text{k}\Omega$.

Tabla 4.*Elementos necesarios para la construcción del dispositivo de medición de energía.*

Cantidad	Descripción	Función
1	Arduino UNO	Procesar los datos obtenidos de los sensores de tensión y corriente mediante el código de programación.
3	Sensor de corriente no invasivo SCT-013 AC (0A - 100A)	Censar los valores de corriente de línea de cada de las 3 fases de conexión eléctrica.
3	Sensor de tensión ZMPT101B AC (0V - 250V)	Medir los valores de tensión de cada una de las tres fases de conexión eléctrica.
1	Cobertor de acrílico	Dar cobertura contra golpes y aislar al prototipo de posible humedad presente en el lugar.
20	Jumper Macho-Hembra	Conexión entre sensores y el módulo central de procesamiento de datos.
20	Jumper Macho-Macho	Conexión entre sensores y el módulo central de procesamiento de datos.
5 m	Cable USB	Brindar energía eléctrica al dispositivo, además de permitir la conexión entre el Arduino y el computador para la configuración del funcionamiento del dispositivo.
1	Proto Kit Arduino UNO	Base de construcción para los circuitos de rectificación de señales de sensores.
1	Modulo adaptador de tarjeta Micro SD	Permite la conexión y almacenamiento de datos provenientes del módulo central.
6	Resistencia 100 ohm	Ayudan con el tratamiento de la señal de entrada de los sensores de corriente, para que sea adecuada para el Arduino.
3	Resistencia 10k ohm	
3	Capacitor Electrolítico 10uF	
1	Memoria MicroSD 62GB	Almacenamiento de datos.
5	Cable TSJ	Conexión entre los sensores de tensión y los disyuntores termomagnéticos de cada fase eléctrica.
10	Conectores tipo banana	Conexión externa entre los sensores y el prototipo.
10	Terminales de conexión	
23	Tornillos	Fijación de todos los elementos con el cobertor de acrílico.

Fuente: Elaboración propia.

1.1.2. Etapa 2, Programación de Arduino y conexión de prueba de los sensores SCT-013 y ZMPT101B.

Una vez realizados los cálculos necesarios se procede con la creación del código de programación del Arduino UNO, para obtener los datos de corriente y tensión ya rectificadas; al tener una conexión trifásica es necesario programar cada sensor por aparte para obtener datos realmente cercanos con la realidad. Cada módulo ZMP y SCT necesita de una librería específica para obtener el mayor provecho posible, por lo que es necesario su instalación previa a la escritura del código.

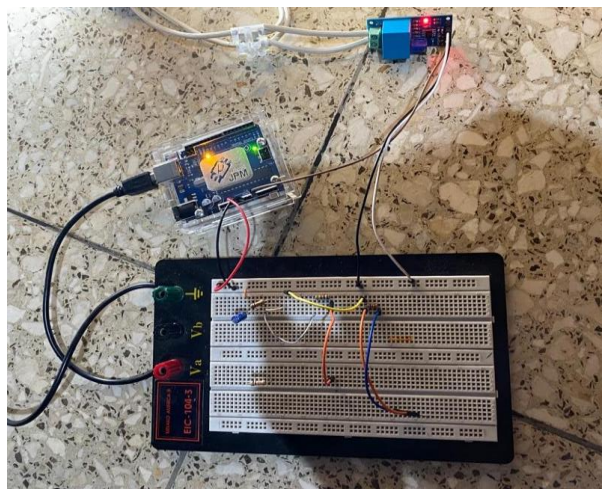
Este código de programación es capaz de unificar todos los módulos y sensores mencionados en la tabla 4, como se observa en el apéndice 2 el código está diseñado para crear un archivo de Excel y guardar en la memoria MicroSD los datos obtenidos de los tres sensores de corriente y tensión con lapsos de 30 segundos a partir de encendido el dispositivo. Cuando exista una falla en la alimentación del prototipo o se desconecte, este es capaz de cerrar el archivo con los datos anteriores y cuando tenga nuevamente una fuente de alimentación eléctrica sigue ingresando valores a partir de la última posición guardada.

Un dato importante del uso de los sensores SCT-013 y la librería Emolib, es que se debe establecer un valor de calibración de cada sensor para ajustar la medida con el valor real, la forma más práctica y rápida de realizar la calibración es colocar un amperímetro en la línea que se desee analizar y ajustar poco a poco la medida de salida del sensor. Una vez el código de programación es compilado correctamente por la plataforma de Arduino es posible cargar el archivo al Arduino UNO y realizar medida de prueba para ajustar todos los valores, con ayuda de una protoboard y un bombillo se pueden realizar las primeras mediciones del prototipo, para comprobar que las conexiones de los elementos electrónicos, sensores y los valores de calibración son los indicados.

Para lograr visualizar los datos de una forma sencilla el código permite habilitar el monitor serial disponible en la plataforma de Arduino como método de verificación de datos y calibración, sin embargo, el dispositivo funciona correctamente sin necesidad de una conexión directa a una computadora.

Figura 41.

Primera conexión y prueba de prototipo de medición de energía.



Fuente: Elaboración propia.

1.1.3. Etapa 3, Optimización de circuitos.

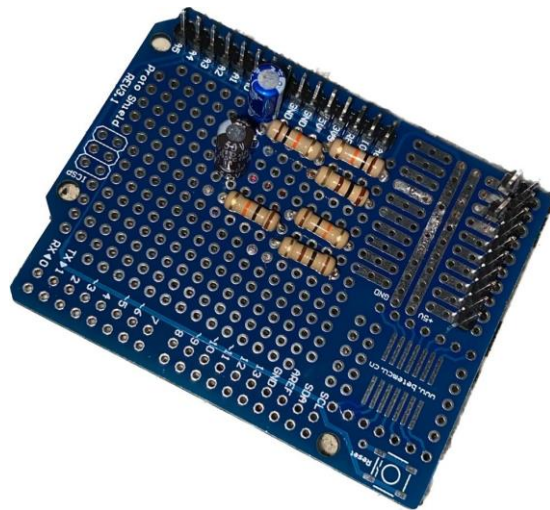
El objetivo de esta etapa es sustituir el uso de la protoboard y demás elementos provisionales por un circuito definitivo, para esto se utiliza el Proto Kit que consta de una placa base de Arduino con orificios previamente estañados que permiten ubicar los componentes necesarios según sea la necesidad y anclarlos a la placa con soldadura a base de estaño.

Distribuir los pines de alimentación y tierra de los circuitos con las conexiones incluidas en la placa permite realizar una distribución óptima para los elementos, favoreciendo la conexión

ordenada y segura dentro del dispositivo. En la siguiente imagen se puede observar la construcción de dos de los 3 circuitos necesarios para el tratamiento de la señal obtenida de los sensores SCT-013, con ayuda de los pines de conexión se adecuan los puertos para facilitar la conexión con el Arduino Uno, además que se estandariza el tipo de conexión mediante jumpers en el interior de dispositivo.

Figura 42.

Diseño de circuitos de rectificación de señal de corriente.



Fuente: Elaboración propia.

1.1.4. Etapa 4. Diseño y construcción de protección externa de acrílico.

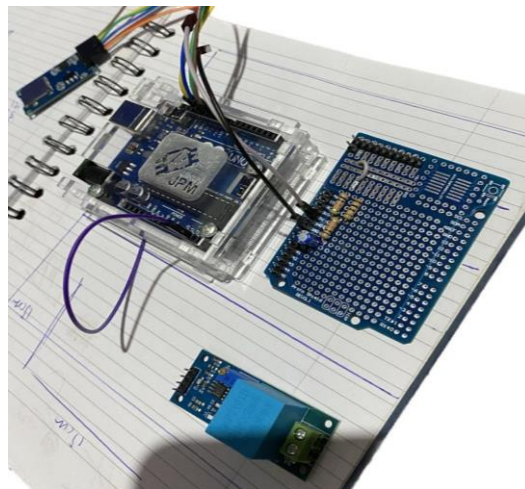
En este punto el prototipo ya es un elemento funcional capaz de realizar mediciones y almacenar los datos en la memoria Micro SD, sin embargo, al estar compuesto por diferentes módulos y circuitos es necesario unificar todo en un solo dispositivo. Es importante tomar en cuenta todos los factores que podrían influir en el correcto funcionamiento del sistema para el diseño de la cubierta exterior, aspectos como la ubicación que tendrá el dispositivo, las condiciones

climáticas, ventilación, humedad, vibraciones, alimentación eléctrica y acceso a los puertos de carga y descarga de datos influyen directamente en la concepción del diseño, por lo que se debe realizar de la forma más eficiente posible.

El diseño propuesto toma en cuenta todas las condiciones mencionadas anteriormente; debido a que el dispositivo debe formar parte del sistema eléctrico de la zona de lavandería, las medidas exteriores son adecuadas para ubicar el dispositivo dentro del tablero eléctrico, sin que interfiera con las conexiones existentes.

Figura 43.

Toma de medidas y ubicación final de módulos.



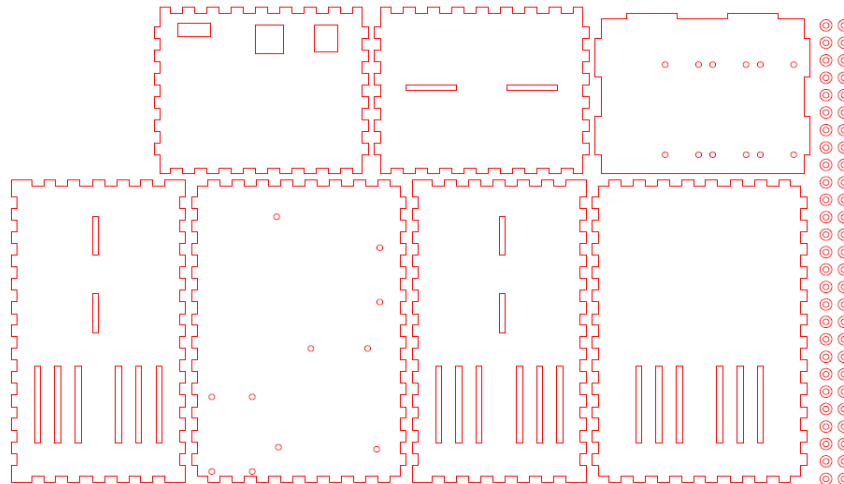
Fuente: Elaboración propia.

La distribución interna del dispositivo está dividida en dos niveles, en la base se sujetan mediante tornillos el módulo central de Arduino, el módulo adaptador de tarjeta MicroSD y los circuitos construidos en la etapa 3, esta distribución facilita las conexiones principales entre los módulos y el Arduino, además que permite una buena circulación del aire dentro del dispositivo evitar el sobrecalentamiento. En la parte superior están ubicados los sensores ZMPT101B junto

con los puertos de conexión de las líneas de tensión y sensores SCT-013, de esta forma se tiene fácil acceso en caso de que se deba modificar una conexión o calibrar los sensores de tensión.

Figura 44.

Diseño de cubierta externa.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, después de realizar las conexiones necesarias e incorporar la cubierta externa, el dispositivo queda listo para la toma de datos de energía eléctrica en la zona de lavandería del Hospital San Francisco de Asís, como resultado final el dispositivo es completamente funcional y portátil, permitiendo que este pueda ser transportado fácilmente a cualquier zona en donde sea necesario desarrollar un análisis de consumo de energía eléctrica.

Figura 45.

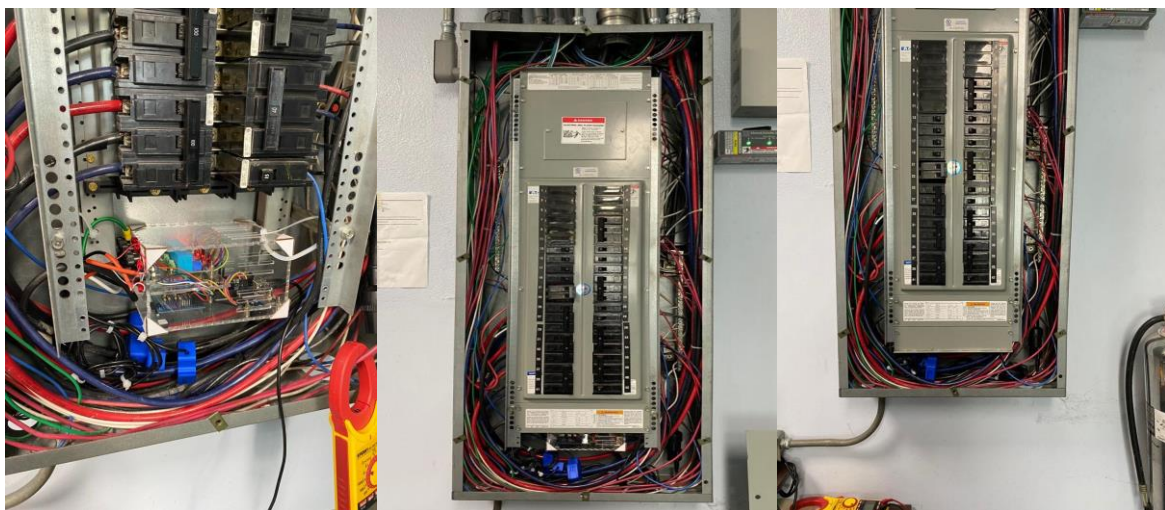
Prototipo de medición de energía.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 46.

Conexión final de prototipo de medición de energía.



Fuente: Elaboración propia.

1.1.5. Etapa 5. Mejoras de almacenamiento y transmisión de datos.

A partir de esta etapa se plantean posibles mejoras que permitirían optimizar aún más el diseño del dispositivo base, mejorando el rango de aplicación del prototipo y la conectividad para la toma de datos desde la nube.

El Hospital San Francisco de Asís, es un centro médico que se caracteriza por ser uno de los primeros en manejar todas sus bases de datos de forma virtual, sin embargo, debido al hackeo que afectó a varias de las entidades públicas más importantes del país, las redes de telecomunicación fueron forzadas a cerrarse para minimizar los daños producidos por este altercado. Este hecho generó repercusiones en el diseño del prototipo, ya que originalmente se esperaba construir un dispositivo en el cual los datos tomados fueran almacenados directamente en la nube para poder tener acceso a ellos en cualquier lugar y momento, mientras que el almacenamiento en la memoria Micro SD sería una opción secundaria como forma de respaldo de los datos.

Por esta razón el prototipo únicamente cuenta con almacenamientos físico en la memoria Micro SD, sin embargo, cuando ya se tenga una conexión estable a internet inalámbrica en el centro médico será posible adaptar a la programación del Arduino el módulo WIFI ESP8266, el cual permitiría al dispositivo conectarse a la red al recibir y transmitir datos en tiempo real a una dirección previamente establecida.

Este módulo requiere de una programación adicional basada en comandos AT, para la conexión a la red inalámbrica y establecer la dirección IP de destino, estos comandos tienen como finalidad la comunicación entre módems y redes telefónicas, por lo que se ha destinado como un lenguaje estándar para la comunicación en telecomunicaciones. Afortunadamente la base de datos

de Arduino permite una conexión efectiva con las librerías TCP y UDP para crear servidores, almacenar y transmitir datos, enlazar tarjetas SD, etc. Las aplicaciones de este módulo son infinitas y permitirían al dispositivo mejorar el alcance de su aplicación en diferentes sistemas que requieran rigurosamente de monitoreo en tiempo real.

Figura 47.

Modulo WIFI ESP8266.



Fuente: (Granados, 2017)

Figura 48.

Ejemplos de comandos AT para la programación del módulo ESP8266.

Comando	Respuesta	Función
AT - Probar iniciación correcta		
AT	OK	Prueba si el módulo responde correctamente
AT+RST - Reinicia el módulo		
AT+RST	OK	Resetéa el módulo
AT+CWMODE - Modo Wifi		
AT+CWMODE=?	+CWMODE:(1-3) OK	Lista los modos validos
AT+CWMODE?	+CWMODE:modo OK	Pregunta en que modo AP esta actualmente el módulo
AT+CWMODE=modo	OK	Establece el módulo en el modo dado 1 = Modo estación (cliente) 2 = Modo AP (huésped) 3 = Modo AP + Estación (modo dual)

Fuente: (Granados, 2017)

1.1.6. Etapa 6. Mejoras en la capacidad de toma de datos.

La capacidad de diseño de cada sistema eléctrico es un aspecto muy importante que interfiere en la selección de conductores eléctricos, protección termomagnética, canalización, etc., ya que según varíe la carga del circuito, este tendrá que ser diseñado para diferentes valores de corriente eléctrica. Para el diseño del dispositivo de medición de energía, el valor de la carga que se desee analizar es una variable que afecta directamente en la selección de los sensores de medición de corriente eléctrica.

Como se indicó anteriormente, los sensores SCT-013 tienen una capacidad máxima de medición de 100A, por lo que, si se destina a analizar un sistema con valores de corriente de línea superiores a este, se correrían varios riesgos relacionados con la calidad de los datos y la integridad de funcionamiento de los dispositivos de medición. Un ejemplo real de aplicación es el análisis de todo el sistema eléctrico del área de lavandería, para este caso se tendrían valores de corriente de línea muy cercanos a los 300A ya que los motores de cada equipo de limpieza al iniciar su funcionamiento generan corrientes de arranque muy elevadas.

Una solución a este problema es uso de sensores con capacidades de medición más altas en comparación a los SCT-013, sin embargo, este cambio de equipo hace necesario recalcular las resistencias de carga, construir nuevamente la placa de circuitos de rectificación de señal y adquirir terminales de conexión puedan trabajar de forma segura con esta magnitud de corriente, sin mencionar que el costo de adquisición de estos elementos sería más elevado ya que al ser más robustos el precio de cada uno de ellos es mayor.

La aplicación de esta etapa es realmente factible cuando sea posible invertir una mayor cantidad de dinero para el diseño y construcción del dispositivo; de esta forma se podría garantizar

que el prototipo base puede funcionar para el análisis de energía en cualquier sistema eléctrico indiferentemente del tipo de cargas eléctricas que este posea, ya que no sería necesario modificar el código base de programación.

CAPÍTULO V

1.1. Análisis técnico-financiero

1.1.1. Análisis técnico

Uno de los principales objetivos de la elaboración del proyecto es establecer cuál es el estado energético actual de las instalaciones del Hospital San Francisco de Asís, para esto se plantea un plan piloto a base de un prototipo de medición de energía eléctrica que permitirá visualizar el estado del centro médico en tiempo real, mediante la trasmisión de datos a la red. El desarrollo de este dispositivo trae muchas ventajas para el centro médico, ya que se podría gestionar un ahorro energético para la reducción de costos, además que permite una atención más especializada para el mantenimiento de los equipos.

Este sistema al contar con sensores y módulos que transforman las mediciones en datos que reflejan el estado energético del edificio, permite a los colaboradores planificar de una mejor forma las intervenciones de mantenimiento de cada equipo analizado por el dispositivo; al ser un sistema de monitoreo en tiempo real es posible identificar posibles anomalías en el sistema y analizar cuáles son las principales causas de estos problemas. Si es posible identificar desperfectos en el sistema cuando están iniciando o dando señales de su existencia, el tiempo de acción del personal se reduce considerablemente al poder planificar una intervención oportuna a los equipos.

Es evidente que el personal debe tener conocimientos básicos sobre el funcionamiento del dispositivo y del sistema eléctrico general de las instalaciones, afortunadamente el centro médico

cuenta con el departamento de mantenimiento, con trabajadores capacitados para la atención a posibles averías y mantenimiento de las instalaciones y equipos de todas las áreas del hospital. El dispositivo en su etapa base puede ser instalado de forma fácil y rápida siempre que se tenga conocimiento de las conexiones eléctricas de cada equipo, en caso contrario, la capacitación puede ser desarrollada fácilmente por parte de la jefatura del departamento ya que cuenta con un amplio conocimiento del funcionamiento de todos los sistemas del centro médico.

Una vez se empleen las etapas de mejora desarrolladas en el capítulo 4, sería necesario el uso de aplicaciones para el análisis de los datos provenientes de la red, sin embargo, se facilitarían aún más las actividades de mantenimiento ya que se tendría acceso desde cualquier dispositivo con conexión a internet; en caso de que surjan cambios inusuales en el consumo energético de los equipos, la atención del departamento sería prácticamente inmediata, lo que ayudaría directamente con el buen funcionamiento de los sistemas, se alargaría la vida útil de los equipos y se reducirían los paros inesperados en el funcionamiento normal de estos.

El avance de la tecnología ha permitido con el paso del tiempo poder diseñar dispositivos para el monitoreo en tiempo real de diferentes equipos y sistemas completos; se prevé que en un futuro no muy lejano estos sistemas puedan ser completamente autosuficientes, sin embargo, para poder desarrollar estos dispositivos siempre será indispensable contar con personas capacitadas y aún más importante tener una base sólida de conocimiento ingenieriles, este es uno de los principales fundamentos técnicos para el desarrollo del proyecto, ya que es la base para lograr establecer un análisis indicado del estado energético actual del establecimiento, conocer cuál es el comportamiento de consumo normal del centro médico sería el inicio para establecer posibles planes de mejora y ahorros en el consumo y demanda en cada área edificio.

En la etapa base, el prototipo puede ser utilizado en cualquier área del centro médico para realizar análisis específicos de consumo energético, esto aplicado a largo plazo permitiría el desarrollo de un modelo de gestión de energía en cada lugar del edificio, de esta forma se podría optimizar al máximo el ahorro energético y conocer el comportamiento de consumo de todo el centro médico, dando origen a una red local de monitoreo en tiempo real.

1.1.2. Análisis financiero

Como se menciona en el capítulo anterior, el diseño y construcción del dispositivo fue planificado para utilizar elementos de bajo costo económico y que tuvieran la capacidad de manejar sistemas de alta potencia eléctrica sin sufrir deterioro. Para determinar el costo total del proyecto es importante tomar en cuenta varios factores importantes como el tiempo destinado a la realización del diseño y construcción, ya que se deben hacer cortes y diversos procesos de soldaduras en los conductores y terminales.

Como se observa en la siguiente tabla el costo total del prototipo de medición es bastante bajo tomando en consideración que los equipos de medición de calidad de energía poseen precios sumamente elevados. Al ser diseñado con elementos de fácil acceso a nivel nacional el costo de adquisición se reduce considerablemente ya que se evita el pago de transporte y demás costos de nacionalización. El centro médico al ser una institución no lucrativa que recibe fondos del estado se debe de seguir ciertos protocolos para la solicitud de compra de cualquier dispositivo y de ser posible cubrir el costo de estos a partir de ahorros, sin embargo, esta inversión inicial permitiría realizar el análisis energético de todo el edificio, haciendo posible identificar el comportamiento base de cada zona. Como se menciona en la sección de Base energética, al conocer estos datos es posible establecer mejoras en el consumo y demanda de energía, afectando directamente en la factura eléctrica.

Tabla 5.

Costo de contratación y diseño de prototipo de medición en tiempo real.

Cantidad	Unidad	Descripción	Costo Unitario	Costo Total
1	Und	Arduino UNO	¢ 26 135,45	¢ 26 135,45
3	Und	Sensor de corriente no invasivo SCT-013 AC (0 - 100A)	¢ 7 840,00	¢ 23 520,00
1	Und	Cobertor de acrílico	¢ 17 000,00	¢ 17 000,00
20	Und	Jumper Macho-Hembra	¢ 1 342,00	¢ 1 342,00
20	Und	Jumper Macho-Macho	¢ 1 342,00	¢ 1 342,00
1	Und	Cable USB	¢ 3 355,00	¢ 3 355,00
1	Und	Proto Kit Arduino UNO	¢ 3 489,20	¢ 3 489,20
1	Und	Placa de conexión de adaptador de tarjeta Micro SD, Arduino	¢ 1 150,00	¢ 1 150,00
6	Und	Resistencia 100 ohm	¢ 322,08	¢ 1 932,48
3	Und	Resistencia 10k ohm	¢ 80,52	¢ 241,56
3	Und	Capacitor Electrolítico 10uF	¢ 201,30	¢ 603,90
1	Und	Memoria MicroSD 62GB	¢ 9 000,00	¢ 9 000,00
5	m	Cable TSJ	¢ 1 612,00	¢ 8 060,00
3	Und	Modulo sensor de tensión AC	¢ 3 992,45	¢ 11 977,35
10	Und	Conectores tipo banana	¢ 650,00	¢ 6 500,00
10	Und	Terminales de conexión	¢ 127,00	¢ 1 270,00
24	Und	Tornillos	¢ 20,00	¢ 480,00
1	Und	Estaño para soldadura	¢ 1 200,00	¢ 1 200,00
1	Und	Cautín para soldar	¢ 5 000,00	¢ 5 000,00
9	Día	Mano de Obra	¢ 14 381,27	¢ 129 431,43
			Total	¢ 253 030,37

Fuente: Elaboración propia

Al implementar el prototipo de medición en todas las áreas del hospital se tendría que realizar una inversión aproximada de ¢ 7 500 000, aplicando todas las mejores antes mencionadas en el capítulo IV, si se compara este valor con el costo de facturación eléctrica mensual del centro médico, sería posible cubrir por completo esta inversión en menos de un año y medio si se establece un ahorro de ¢ 500 000 mensuales, al poner en marcha el modelo de gestión de energía propuesto.

Tabla 6.*Costo mensual promedio dividido por zonas.*

Zona	Costo promedio mensual
Lavandería	₡ 1 313 058,10
Emergencias	₡ 665 529,97
Quirófanos	₡ 1 064 341,88
Centro de Acopio	₡ 612 788,78
Pabellón pediatría	₡ 460 744,76
Centro de equipos	₡ 484 598,51
Recursos humanos	₡ 193 227,38
Administración	₡ 111 546,97
Dpto. Compras	₡ 102 706,80
Pabellón Mixto	₡ 326 982,77
Pabellón Maternidad	₡ 356 820,22
Capilla	₡ 6 854,01
Dirección Enfermeras	₡ 107 990,22
Suministro de agua	₡ 153 487,04
MTO, Presupuesto y Transportes	₡ 73 134,84
Laboratorio clínico y Farmacia	₡ 200 781,07
Cocina	₡ 101 746,13
Taller	₡ 40 917,27
Admisión	₡ 208 760,83
Radiología	₡ 107 004,94

Fuente: Elaboración propia

Otro aspecto importante es el impacto económico de la puesta en marcha del dispositivo de medición en la zona de lavandería, partiendo del supuesto de que la totalidad del prototipo sea cubierta por el centro médico, ya que para el desarrollo del proyecto todos los costos asociados al diseño y construcción del dispositivo fueros cubiertos de forma personal. Según la siguiente tabla, el costo promedio relacionado con el sector de lavandería es de alrededor de ₡ 1 300 000 al mes, si se mantiene el supuesto de que se planifique a futuro un ahorro del 7% del total de la facturación mensual. El costo del dispositivo podría ser cubierto en menos de tres meses, de esta forma se evidencia que el desarrollo del proyecto es verdaderamente rentable, aplicando de forma correcta el buen uso del modelo de gestión de energía en el centro médico.

CAPÍTULO VI

1.1. Recomendaciones

A partir del desarrollo del proyecto en el Hospital San Francisco de Asís, surgen varias recomendaciones desde el punto de vista técnico e ingenieril, para asegurar el correcto funcionamiento y aplicación de los procesos propuestos, que debido al alcance general no fueron posibles llevar a cabo, dichas recomendaciones se detallan a continuación:

- La aplicación del prototipo de medición se destinó únicamente al equipo crítico del sector de lavandería, sin embargo, es recomendable realizar el estudio en toda el área para realizar el análisis correspondiente.
- Aplicar las mejoras descritas en el capítulo IV prototipo de medición de energía para alargar el alcance de medición y toma de datos.
- Una vez se restablezca la conexión a internet en el centro médico es recomendable realizar la programación del dispositivo para tener acceso en tiempo real a los datos de energía y demanda de los dispositivos.
- Adquirir y construir dispositivos de medición para ser instalados en una segunda etapa en todas las zonas del centro médico, creando de esta forma una red de sistemas de medición en tiempo real de demanda y energía de todos los equipos en funcionamiento dentro de las instalaciones.
- Realizar el análisis de datos respectivo al menos una vez al mes para verificar el buen funcionamiento del sistema eléctrico y del dispositivo de medición.
- Desarrollar informes anuales del comportamiento mensual de los sistemas eléctricos analizados por el dispositivo, para facilitar la identificación de posibles oportunidades de mejora.

- Ingresar dentro del plan de mantenimiento del centro médico todos los dispositivos de medición de energía con intervenciones de al menos cada año.
- Estudiar la posibilidad de crear un turno nocturno en el sector de lavandería para disminuir el costo asociado a la demanda y consumo de energía de los equipos de lavado y secado al funcionar en el periodo de tarifa nocturna.
- Realizar el estudio correspondiente para la conexión de la autoclave del Sector del centro de Acopio a la red de vapor existente en las instalaciones.
- Identificar en todos los tableros eléctricos del centro médico los circuitos con sus respectivos disyuntores termomagnéticos.
- Realizar en todos los tableros eléctricos que así lo necesiten un reacomodo de conductores eléctricos para evitar posibles problemas a futuro.
- Hacer uso adecuado y concientizado de todos los equipos del centro médico para evitar consumos de energía y demanda innecesarios.
- Utilizar energías renovables como método adicional de ahorro de energía en los lugares y proyectos que sea posible

1.2. Conclusiones

El desarrollo de un sistema de gestión de energía en establecimientos como hospitales, trae consigo una serie de ventajas que favorecen tanto a los colaboradores como a los pacientes, ya que permite establecer mejoras continuas en el servicio de atención e infraestructura, al destinar el dinero proveniente de los posibles ahorros energéticos directamente a trabajos de renovación y mantenimiento del centro médico. Además, al establecer un análisis continuo de los equipos se garantiza el correcto funcionamiento de estos y en caso de ser necesario la detección temprana de posibles fallas.

Conocer el estado energético actual del centro médico mediante indicadores y aplicación de líneas base es la primera etapa para planificar posibles mejoras en el rendimiento energético del edificio, de manera que es posible identificar y entender de forma más clara los pasos a seguir para encontrar los focos de mejora en el rendimiento energético; como caso específico del centro médico, enfocar las actividades en modificar el uso y disminuir la demanda de los equipos que así lo permitan generaría un gran ahorro económico, ya que es un rubro que impacta directamente en la factura eléctrica.

Los modelos de gestión de energía, a pesar del gran avance de la tecnología en los últimos años son realmente escaso en los centros médicos del país, ya que no es parte de la cultura nacional establecer análisis energéticos de forma rutinaria; es claro que realizar intervenciones en los centros médicos resulta un tanto difícil, ya que requiere de un plan elaborado de logística para evitar afectar el servicio de atención de pacientes, sin embargo, si se planifica de forma adecuada, basados en los criterios establecidos con los indicadores energéticos y líneas base energéticas el resultado será verdaderamente favorable para todo el hospital en general

A pesar de la total ausencia de una base energética en el Hospital San Francisco de Asís, el estado energético del centro médico hasta el año 2021 es realmente favorable al comparar los resultados con otros hospitales a nivel nacional e internacional, se observan diferencias de hasta 66.68 kWh/m² anual a favor del centro médico, sin embargo, esto no quiere decir que sea innecesario el desarrollo de un modelo de gestión de energía, al contrario, es indispensable aprovechar estos resultados y recursos existentes para desarrollar planes de mejora a futuro, ya que de esta forma será posible mantener esta condición a lo largo de varios años.

El uso de tecnologías inteligentes para desarrollar un sistema de monitoreo en tiempo real de consumo y demanda de energía es una herramienta que facilita en gran medida la toma de datos

necesarios para el análisis energético; gracias a la versatilidad que caracteriza este tipo de dispositivos es posible evidenciar el comportamiento de los sistemas eléctricos desde cualquier lugar, facilitando el trabajo del personal de ingeniería y mantenimiento del centro médico. Aunque el uso de este dispositivo no genera un ahorro energético directamente, permiten que los estudios destinados al desarrollo de las bases e identificación de posibles mejoras sea mucho más preciso y confiable.

Se construyó un prototipo de medición de energía como alternativa ante la escasez de dispositivos para el análisis de calidad de energía, este permite conocer el estado energético de los dispositivos y sistemas eléctricos del centro médico por tan solo una fracción del costo económico; aunque su funcionamiento sea básico en comparación a otros dispositivos, es posible desarrollar una red de equipos de medición enlazados entre sí, instalados en todas las zonas del centro médico, de esta forma todo el hospital estaría monitoreado de forma continua, dando lugar a una gran cantidad de posibles oportunidades de ahorro energético, comprobando de esta forma la factibilidad económica del dispositivo.

El impacto económico del desarrollo de un modelo de gestión de energía es muy significativo cuando se aplica de forma correcta a todos los sistemas del edificio, en este caso se realizó un análisis de los comportamientos bases de los sistemas eléctricos del centro médico, para establecer a futuro planes e intervenciones para la mejora en el consumo y demanda de los equipos, de esta forma será evidente que el desarrollo de modelo de gestión está relacionado directamente con la facturación eléctrica, evidenciando que realmente es factible la inversión para la construcción de este sistema.

Bibliografía

- Albuja Espinoza, L. A., & Soria Acosta, P. D. (2017). *Elaboración de un Sistema de gestión energética para el hospital Baca Ortiz de Quito, según normativa INEN NTE ISO 50001*. 352.
- Arana Alay, C. R. (2020). *Diagnóstico y rediseño de las instalaciones eléctricas del hospital Nacional de Chimaltenango*. 2507(February), 1–9.
- Bambarén Alatrística, C., & Alatrística Gutiérrez, M. del S. (2014). *Impacto ambiental de un hospital Público en la ciudad de Lima, Perú*. 712–715.
- Barboza Sánchez, L., Viloría Silva, A., & Vásquez, C. (2018). *Políticas públicas en el sector suministro de energía e indicadores energéticos del desarrollo sostenible en Latinoamérica*. 21.
- Beraún Espíritu, M. M. (2021). La eficiencia energética en tiempos de pandemia basado en el consumo energético en hospitales del Perú. *Visionarios En Ciencia y Tecnología*, 91–125. <https://doi.org/10.47186/visct.vi0.76>
- Blanco López, A. T., & Gutiérrez, J. A. (2019). *Estudio de eficiencia energética en el sistema eléctrico del hospital Antonio Lenin Fonseca, ubicado en el departamento de Managua*.
- Castillo Obreque, G. R. (2018). *REVISIÓN ENERGÉTICA EDIFICIO C DE LA USM JMC, SEGÚN REQUERIMIENTOS DE LA NORMA ISO 50001 SOBRE SISTEMAS DE GESTIÓN ENERGÉTICA*. July, 1–23.
- Chas Amil, M. L. (2010). *LA ELABORACIÓN DE ESTADÍSTICAS ENERGÉTICAS. COMPARACIÓN DEL BALANCE ENERGÉTICO GALLEGO Y DE OTRAS*

COMUNIDADES AUTÓNOMAS.

Enríquez Herrador, R. (2009). *Guía de Usuario de Arduino*.

Faz, I. A. (2010). *Diseño de un Sistema de Medición y Calidad de Energía mediante el software Sentron Powermanager para un edificio inteligente*.

Fernández Gómez, J. (2021). *Eficiencia energética en el sector industrial*.

Fernández Perea, I. (2019). Análisis de consumos energéticos y estudio de la instalación fotovoltaica para autoconsumo de energía eléctrica en un hospital. *Zaguan.Unizar.Es*, 2021, 0–43. <http://zaguan.unizar.es/TAZ/EUCS/2014/14180/TAZ-TFG-2014-408.pdf>

García Vicente, S., Llopis González, A., & Suárez Varela, M. (2016). *Implantación de los sistemas de gestión medioambiental voluntarios en la red hospitalaria española : estado actual (2015)*. 16(2015), 92–102.

Gómez Chaves, E. (2020). *Propuesta de un sistema de gestión de energía en edificios (BEMS) para la Hospital Carlos Luis Valverde Vega de la Caja Costarricense del Seguro Social*.

Granados, C. U. (2017). Programando directamente un ESP8266. *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona-España*, 52.

Herranz Herrero, J. C., & Sánchez Allende, J. (2015). Una mirada al mundo Arduino. *Tecnología y Desarrollo*, 13(0), 21. https://revistas.uax.es/index.php/tec_des/article/view/617

Hoppe Lanchang, H. A. (2021). *Diseño de un Sistema de Medición y Calidad de Energía mediante el software Sentron Powermanager para un edificio inteligente*.

Hospital Clínica Bíblica. (2020). *Premio Más Salud Menos Huella*. <https://www.clinicabiblica.com/es/premio-mas-salud-menos-huella>

- Instituto Meteorológico Nacional. (2021). Factores de emisión de gases de efecto invernadero. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.662052>
- Lara Izaguirre, B. I., Acosta Pintor, D. C., Ramírez Aguilar, C., & Vidal Becerra, E. (2019). Línea de base energética: Estudio en hospital público. *Tectzapic*, 5(2).
- Loaiza Pereira, S. I. (2020). *Modelo de Gestión de la Energía para el Sistema de Vapor del Hospital San Juan de Dios bajo los Criterios de la Norma INTE / ISO 50001*. 225. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/12310/TFG_Sebastián_Loaiza_Pereira.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- López Varela, M. J. (2016). *Caracterización energética del Hospital Militar Cmdte Manuel Piti Fajardo para la implementación de la norma ISO 50001*.
- Marín Quemada, J. (2008). Política energética en la UE: el debate entre la timidez y el atrevimiento. *Información Comercial Española, ICE: Revista de Economía*, 842, 65–76.
- Martí, J., & Tiers, T. (2009). *Eficiencia energética en hospitales Una realidad compleja pero factible*. 50–53.
- Ministerio de Ambiente y Energía - Gobierno de Costa Rica. (2015). Plan Nacional de Energía 2015-2030. In *Plan Nacional De Plan Nacional De Observación*.
- Moller, S. (2020). *Intervenciones sociosanitarias y uso de las tecnologías de la industria 4.0 para enfrentar la enfermedad por coronavirus América Latina (COVID-19) en y el Caribe*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45868-intervenciones-sociosanitarias-uso-tecnologias-la-industria-40-enfrentar-la>
- Monteza Rojas, L. E. (2020). *Implementar un plan de auditoría y eficiencia energética del*

Hospital Regional Lambayeque, basado en la norma ISO 50001 para reducir los consumos energéticos.

Muñoz Rosenberg, B. (2019). *Gestión de residuos sólidos y de energía caso de estudio: Hospital regional de Concepción Dr. Guillermo Grant Benavente.*

Narváez Cartagena, J. L., & Robayo Vega, N. F. (2022). *Diseño e implementación de un sistema para mantenimiento preventivo con sensores en un sistema de climatización tipo split utilizando hardware de bajo costo con IOT.*

Pallacan Manque, L. (2018). *REVISIÓN ENERGÉTICA EN EDIFICIO H DE LA USM SEDE VIÑA DEL MAR, SEGÚN REQUERIMIENTOS DE LA NORMA ISO 50001 SOBRE SISTEMAS DE GESTIÓN DE ENERGÍA. July, 1–23.*

Pérez Ospina, S. (2018). *Práctica Profesional Hospital San Vicente Fundación Rionegro Natalia Velásquez Saldarriaga. 88.*

Posada Restrepo, E., Cañas, S. Á., Saenz Tejada, G., Valencia Galeano, G., & Monsalve Ñustes, V. (2014). *EL ANÁLISIS DE OPORTUNIDADES Y DE COSTO BENEFICIO EN LA REALIZACIÓN DE AUDITORÍAS ENERGÉTICAS.*

Quintero López, J. G., & Noreña Buritica, C. A. (2018). *GUÍA DE IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA.*

Rey Hernández, J. M., Rey Hernández, A., Velasco, E., San José, J., & Rey Martínez, F. J. (2017). *Propuesta de la certificación energética, mediante simulación dinámica, como herramienta de gestión energética ISO 50001 Versus auditoria energética en edificios. Iii Congreso Iberoamericano Energia Ambiente Y Tecnologia Cieemat, 343.*

<http://uvadoc.uva.es/handle/10324/25500>

Secretaria Intenacional ISO. (2011). *Norma Internacional ISO 50002*.

Secretaria Intenacional ISO. (2014a). *Norma Internacional ISO 50003*.

Secretaria Intenacional ISO. (2014b). *Norma Internacional ISO 50006*.

Secretaria Intenacional ISO. (2020). *Norma Internacional ISO 50004*.

Ttacca Hualla, J. P., & Mostajo Sotomayor, A. M. (2017). Estudio De La Eficiencia Energética En Los Sistemas Hospitalarios De Salud – Hospital II Ayaviri. *Repositorio Institucional UNA-PUNO*, 133.

Valdez Martínez, J. S., Villanueva Tavira, J., Beltrán Escobar, A. M., Contreras Calderón, E., Alcalá Barojas, I., López Vega, L. J., & Beltrán Román, G. (2020). *Desarrollo de un sistema de telemonitoreo de parámetro eléctrico basado en sistemas embebidos de bajo costo*.

Vargas Calderón, J. E. (2021). *Modelo de Gestión Energética para el Consumo Eléctrico y Combustible Fósil del Campus Central Sede Cartago del Instituto Tecnológico de Costa Rica bajo la norma INTE/ISO 50001*.

Vásquez Rodríguez, R. E. (2012). Estrategias para lograr ahorro energético en el Hospital San Rafael de Alajuela". *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 2013–2015.

Viñachi Sánchez, J. A., & Cusquillo Iza, J. X. (2018). *EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UNA EDIFICACIÓN Y PROPUESTA DE MEJORAMIENTO A TRAVÉS DE LA ARQUITECTURA PASIVA*.

Yapur, I. M., Murillo, E., & Guzmán, N. (2014). *Criterios para la implementación eléctrica de un quirófano integrado o inteligente*.

Apéndices

Apéndice 1. Auditorias energéticas

Figura 49.

Auditoria energética en Lavandería.

Lavandería										
Cantidad	Tipo de equipo	Id	Estado	Marca	Modelo	Descripción	Uso diario (h)	Uso mensual (h)	Potencia (kW)	Consumo de energía (kWh)
1	LA	1334903	Activo	Braun	300PT-PFG	Secadora	6	156	26,61	4152
1	LA	1334904	Activo	Domus	DTT-80	Secadora	6	156	21,62	3372
1	LA	1334905	Activo	Domus	DTT-80	Secadora	6	156	21,62	3372
1	AC	1363563	Activo	Vegga	DF600-DW	Abanico	4	104	0,2	21
1	AC	1152005	Activo	Vegga	VP160-C	Abanico	5	130	0,07	9,1
1	AC	1149599	Activo	Vegga	VP160-C	Abanico	4	104	0,07	7,28
1	AC	1152001	Activo	Vegga	VO-16	Abanico	5	130	0,06	7,8
1	AC	1152004	Activo	Vegga	VO-17	Abanico	5	130	0,06	7,8
1	CO	862616	Activo	Atlas	RTA0923VMFS0	Refrigeradora	16	480	0,65	312
1	CO	3648559	Activo	Whirlpool	WMS07ZDHS	Microondas	1	26	1,2	31,2
1	TV	3648560	Activo	Sankey	CLED-32SID5	Televisor	1	26	0,048	1,248
12	L	-	Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	9	234	0,045	126,36
2	L	-	Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	3	78	0,045	7,02
1	C	944439	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	909544	Activo	ACER	SA220Q	Monitor	4	104	0,024	2,496
1	L	-	Activo	Tecnolite	12YDLED430MV30B	Luminaria	1	26	0,012	0,312
1	AC	1303562	Activo	Vegga	DF600-DW	Abanico	9	234	0,2	46,8
1	AC	1149598	Activo	Vegga	VP160-C	Abanico	2	52	0,07	3,64
1	LA	1334895	Activo	Eco Star	eco2000	Dosificador de químicos	4	104	0,03	3,12
1	LA	1334896	Activo	Eco Star	eco2000	Dosificador de químicos	4	104	0,03	3,12
1	LA	1334901	Activo	Braun	200NMTVP-2	Lavadora	5	130	22	2810
1	LA	1334903	Activo	Clean Cycle Systems	LLB-4	Extractor de pelusa	4	104	0,65	67,6
1	LA	1334902	Activo	Braun	200NMTVP-3	Lavadora	5	130	22	2810
1	AC	1152002	Activo	Vegga	VP160-C	Abanico	4	104	0,07	7,28
6	L	-	Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	4	104	0,045	28,08
1	AC	96599	Activo	TMT	OF-916	Abanico	2	52	0,055	2,86
1	AC	13622524	Activo	Daikin	FTKS12SL216	aire Acondicionado tipo Split	4	104	1,15	119,6
1	C	1362567	Activo	HP	1MR69C	Impresora	1	26	0,03	0,78
1	C	977844	Activo	ThinkCentre	M79	CPU	9	234	0,45	105,3
1	C	977845	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
Total										17498

Fuente: Elaboración propia

Figura 50.

Auditoria energética en Sala de Emergencias.

Emergencias										
Cantidad	Tipo de equipo	Id	Estado	Marca	Modelo	Descripción	Uso diario (h)	Uso mensual (h)	Potencia (kW)	Consumo de energía (kWh)
10	L	-	Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	12	360	0,045	162
38	L	-	Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	18	540	0,045	923,4
8	L	-	Activo	Tecnolite	27HLED1162V30G	Luminaria	12	360	0,027	77,76
1	AC	1419095	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	3	90	1,125	101,25
1	C	944450	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944495	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	12	360	0,028	10,08
1	AC	1419096	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	3	90	1,125	101,25
1	C	944451	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944496	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	12	360	0,028	10,08
1	AC	1419097	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	3	90	1,125	101,25
1	C	944452	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944497	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	12	360	0,028	10,08
1	AC	1419098	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	4	120	1,125	135
1	C	944453	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944498	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	12	360	0,028	10,08
1	C	1362569	Activo	HP	1MR69C	Impresora	2	60	0,03	1,8
1	EE	157894	Activo	Gima	Visio 4000	Equipo de diagnóstico	18	540	0,034	18,36
1	EE	189745	Activo	Sinebi	16100	Negatoscopio	4	120	0,019	2,28
1	AC	1419099	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	3	90	1,125	101,25
1	C	944454	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944499	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	12	360	0,028	10,08
1	C	1362570	Activo	HP	1MR69C	Impresora	2	60	0,03	1,8
1	EE	157895	Activo	Gima	Visio 4000	Equipo de diagnóstico	18	540	0,034	18,36
1	EE	189746	Activo	Sinebi	16100	Negatoscopio	4	120	0,019	2,28
1	AC	1419100	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	3	90	1,125	101,25
1	C	944455	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944500	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	12	360	0,028	10,08
1	C	1362571	Activo	HP	1MR69C	Impresora	4	120	0,03	3,6
1	EE	157896	Activo	Gima	Visio 4000	Equipo de diagnóstico	18	540	0,034	18,36
1	EE	189747	Activo	Sinebi	16100	Negatoscopio	4	120	0,019	2,28
1	AC	1419101	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	3	90	1,125	101,25
1	C	944457	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944501	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	12	360	0,028	10,08
1	C	1362572	Activo	HP	1MR69C	Impresora	4	120	0,03	3,6
1	EE	157897	Activo	Gima	Visio 4000	Equipo de diagnóstico	18	540	0,034	18,36

1	EE	189748	Activo	Sinebi	16100	Negatoscopio	4	120	0,019	2,28
1	AC	1419102	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	3	90	1,125	101,25
1	C	944458	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944502	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	12	360	0,028	10,08
1	C	1362573	Activo	HP	1MR69C	Impresora	4	120	0,03	3,6
1	EE	157898	Activo	Gima	Visio 4000	Equipo de diagnóstico	18	540	0,034	18,36
1	EE	189749	Activo	Sinebi	16100	Negatoscopio	4	120	0,019	2,28
1	AC	1419103	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	3	90	1,125	101,25
1	C	944459	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944503	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	12	360	0,028	10,08
1	C	1362574	Activo	HP	1MR69C	Impresora	4	120	0,03	3,6
1	EE	157899	Activo	Gima	Visio 4000	Equipo de diagnóstico	12	360	0,034	12,24
1	EE	189750	Activo	Sinebi	16100	Negatoscopio	4	120	0,019	2,28
1	AC	1419104	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	4	120	1,125	135
1	C	944460	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944504	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	12	360	0,028	10,08
1	C	1362574	Activo	HP	1MR69C	Impresora	4	120	0,03	3,6
1	EE	157899	Activo	Gima	Visio 4000	Equipo de diagnóstico	18	540	0,034	18,36
1	EE	189750	Activo	Sinebi	16100	Negatoscopio	4	120	0,019	2,28
1	C	944461	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944505	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	12	360	0,028	10,08
1	C	944462	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944506	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	12	360	0,028	10,08
1	C	1362567	Activo	HP	1MR69C	Impresora	4	120	0,03	3,6
1	EE	1456839	Activo	Edan	iM80	Monitor de signos	18	540	0,14	75,6
8	L	-	Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	20	600	0,045	216
1	C	944463	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944507	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	12	360	0,028	10,08
1	EE	1456840	Activo	Edan	iM80	Monitor de signos	12	360	0,14	50,4
1	EE	1468795	Inactivo	Edan	iM81	Monitor de signos	12	360	0,14	50,4
1	EE	1468796	Inactivo	Edan	iM82	Monitor de signos	12	360	0,14	50,4
1	EE	1378635	Activo	Arietta	S60	Ultrasonido	8	240	0,58	139,2
1	EE	1204564	Activo	Seisa Med	TruLight 5500	Luz de Quirófano	10	300	0,195	58,5
1	EE	1334804	Activo	MedVue	MV1 A	Balanza	15	450	0,015	6,75
1	C	1362568	Activo	HP	1MR69C	Impresora	4	120	0,03	3,6
1	EE	157893	Activo	Gima	Visio 4000	Equipo de diagnóstico	18	540	0,034	18,36

1	EE	1204563	Activo	Seisa Med	TruLight 5500	Luz de Quirófano	10	300	0,195	58,5
1	EE	1456840	Activo	Edan	iM80	Monitor de signos	18	540	0,14	75,6
1	EE	1456841	Activo	Edan	iM80	Monitor de signos	18	540	0,14	75,6
1	EE	1456842	Activo	Edan	iM80	Monitor de signos	18	540	0,14	75,6
1	EE	1456843	Activo	Edan	iM80	Monitor de signos	18	540	0,14	75,6
1	EE	1456844	Activo	Edan	iM80	Monitor de signos	18	540	0,14	75,6
1	EE	1456845	Activo	Edan	iM80	Monitor de signos	18	540	0,14	75,6
1	EE	1456846	Activo	Edan	iM80	Monitor de signos	18	540	0,14	75,6
1	EE	1456847	Activo	Edan	iM80	Monitor de signos	18	540	0,14	75,6
1	EE	1456848	Activo	Edan	iM80	Monitor de signos	18	540	0,14	75,6
1	EE	1456849	Activo	Edan	iM80	Monitor de signos	18	540	0,14	75,6
1	EE	1456850	Activo	Edan	iM80	Monitor de signos	18	540	0,14	75,6
1	EE	1456851	Activo	Edan	iM80	Monitor de signos	18	540	0,14	75,6
1	EE	1456852	Activo	Edan	iM80	Monitor de signos	18	540	0,14	75,6
1	EE	1456853	Activo	Edan	iM80	Monitor de signos	18	540	0,14	75,6
1	EE	1456854	Activo	Edan	iM81	Monitor de signos	18	540	0,14	75,6
1	AC	1102775	Activo	Westinghouse	030K	Aire Acondicionado tipo Cassette	4	120	4,3	516
1	AC	1102776	Activo	Westinghouse	030K	Aire Acondicionado tipo Cassette	4	120	4,3	516
1	AC	1152005	Activo	Vegga	VO-17	Abanico	3	90	0,06	5,4
1	AC	1152006	Activo	Vegga	VO-17	Abanico	3	90	0,06	5,4
1	C	944464	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944508	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	12	360	0,028	10,08
1	C	1362569	Activo	HP	1MR69C	Impresora	2	60	0,03	1,8
1	C	1362570	Activo	HP	1MR69C	Impresora	2	60	0,03	1,8
1	C	944465	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944509	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	12	360	0,028	10,08
1	C	944466	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944510	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	12	360	0,028	10,08
1	C	944467	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944511	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	12	360	0,028	10,08
1	EE	1378636	Activo	Arietta	S60	Ultrasonido	12	360	0,58	208,8
1	EE	1378637	Activo	Arietta	S60	Ultrasonido	12	360	0,58	208,8
1	EE	1252247	Activo	Mortara	Eli 280	Electrocardiógrafo	6	180	0,02	3,6
1	EE	717648	Inactivo	Mortara	Eli 280	Electrocardiógrafo	5	150	0,02	3
1	EE	717649	Inactivo	Mortara	Eli 280	Electrocardiógrafo	5	150	0,02	3
1	TV	-	Activo	TCL	40S65AI	Televisor	8	240	0,075	18
									Total	8869

Fuente: Elaboración propia

Figura 51.

Auditoria energética en Quirófanos.

Quirófanos										
Cantidad	Tipo de equipo	Id	Estado	Marca	Modelo	Descripción	Uso diario (h)	Uso mensual (h)	Potencia (kW)	Consumo de energía (kWh)
30	L	-	Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	12	360	0,045	486
1	Q	-	Activo	-	-	Quirófano	15	450	5	2250
1	Q	-	Activo	-	-	Quirófano	7	210	5	1050
1	Q	-	Activo	-	-	Quirófano	7	210	5	1050
1	Q	-	Activo	-	-	Sala de recuperación	10	300	5	1500
1	AC	1303538	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	4	120	1,125	135
1	AC	1303539	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	4	120	1,125	135
1	AC	15895623	Activo	Lennox	LCH072H4BN3Y	Aire acondicionado tipo Paquete	15	450	6	2700
1	AC	15895624	Activo	Lennox	LCH072H4BN3Y	Aire acondicionado tipo Paquete	7	210	6	1260
1	AC	15895626	Activo	Lennox	LCH072H4BN3Y	Aire acondicionado tipo Paquete	7	210	6	1260
1	AC	15895627	Activo	Lennox	LCH072H4BN3Y	Aire acondicionado tipo Paquete	10	300	6	1800
1	C	1345789	Activo	HP	1MR69C	Impresora	1	30	0,03	0,9
1	C	1345790	Activo	HP	1MR69C	Impresora	1	30	0,03	0,9
1	C	967855	Activo	HP	RP5800	CPU	18	540	0,24	129,6
1	C	978554	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	12	360	0,028	10,08
1	C	967856	Activo	HP	RP5800	CPU	18	540	0,24	129,6
1	C	978555	Activo	ACER	SA220Q	Monitor	12	360	0,024	8,64
1	C	967857	Activo	HP	RP5800	CPU	18	540	0,24	129,6
1	C	978556	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	12	360	0,028	10,08
1	C	967858	Activo	HP	RP5800	CPU	18	540	0,24	129,6
1	C	978557	Activo	ACER	SA220Q	Monitor	12	360	0,024	8,64
									Total	14184

Fuente: Elaboración propia

Figura 52.

Auditoria energética en Centro de acopio.

Centro de Acopio

Cantidad	Tipo de equipo	Id	Estado	Marca	Modelo	Descripción	Uso diario (h)	Uso mensual (h)	Potencia (kW)	Consumo de energía (kWh)
9	L	-	Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	5	150	0,045	60,75
2	L	-	Activo	Tecnolite	12YDLED430MV30B	Luminaria	5	150	0,012	3,6
1	E	1223939	Activo	Tuttnauer	IOVU-752S	Autoclave	9	270	30	8100
1	P	-	Activo	-	-	Balanza	5	150	0,012	1,8
									Total	8166

Fuente: Elaboración propia

Figura 53.

Auditoría energética en Recursos Humanos.

Recursos humanos

Cantidad	Tipo de equipo	Id	Estado	Marca	Modelo	Descripción	Uso diario (h)	Uso mensual (h)	Potencia (kW)	Consumo de energía (kWh)
15	L	-	Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	4	104	0,045	70,2
18	L	-	Activo	Tecnolite	12YDLED430MV30B	Luminaria	4	104	0,012	22,464
1	AC	13622897	Activo	Daikin	FTKS12SL216	Aire Acondicionado tipo Split	4	104	1,15	119,6
1	AC	13622898	Activo	Daikin	FTKS12SL216	Aire Acondicionado tipo Split	4	104	1,15	119,6
1	C	1362589	Activo	HP	1MR69C	Impresora	1	26	0,03	0,78
1	C	944481	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944520	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
1	C	944482	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944521	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
1	AC	13622897	Activo	Daikin	FTKS12SL216	Aire Acondicionado tipo Split	4	104	1,15	119,6
1	C	944483	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944522	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
1	C	944484	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944523	Activo	ACER	SA220Q	Monitor	6	156	0,024	3,744
1	C	944485	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944524	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
1	C	944486	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944525	Activo	ACER	SA220Q	Monitor	6	156	0,024	3,744
1	C	944487	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944526	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
1	C	944488	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944527	Activo	ACER	SA220Q	Monitor	6	156	0,024	3,744
1	C	944489	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944528	Activo	ACER	SA220Q	Monitor	6	156	0,024	3,744

1	AC	13622897	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	4	104	1,125	117
1	AC	13622898	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	4	104	1,125	117
1	AC	13622899	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	4	104	1,125	117
1	C	944529	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
1	C	944490	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944530	Activo	ACER	SA220Q	Monitor	6	156	0,024	3,744
1	C	944491	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944531	Activo	ACER	SA220Q	Monitor	6	156	0,024	3,744
1	C	944492	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	AC	13622900	Activo	Daikin	FTKS12SL216	Aire Acondicionado tipo Split	4	104	1,15	119,6
1	C	1362590	Activo	HP	1MR69C	Impresora	1	26	0,03	0,78
1	C	944493	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944532	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
1	C	944493	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944533	Activo	ACER	SA220Q	Monitor	6	156	0,024	3,744
1	C	944495	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944534	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
1	C	944496	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944535	Activo	ACER	SA220Q	Monitor	6	156	0,024	3,744
1	C	944497	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944536	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
1	AC	13622901	Activo	Westinghouse	030K	Aire Acondicionado tipo Cassette	4	104	4,3	447,2
1	AC	13622902	Activo	Daikin	FTKS12SL216	Aire Acondicionado tipo Split	3	78	1,15	89,7
1	AC	13622903	Activo	Daikin	FTKS12SL216	Aire Acondicionado tipo Split	3	78	1,15	89,7
1	C	1362591	Activo	HP	1MR69C	Impresora	1	26	0,03	0,78
									Total	2575

Fuente: Elaboración propia

Figura 54.

Auditoria energética en Administración.

Administración

Cantidad	Tipo de equipo	Id	Estado	Marca	Modelo	Descripción	Uso diario (h)	Uso mensual (h)	Potencia (kW)	Consumo de energía (kWh)
10	L	-	Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	4	104	0,045	46,8
4	L	-	Activo	Tecnolite	12YDLED430MV30B	Luminaria	4	104	0,012	4,992
1	AC	1362289	Activo	Daikin	FTKS12SL216	Aire Acondicionado tipo Split	4	104	1,15	119,6
1	AC	1362290	Activo	Daikin	FTKS12SL216	Aire Acondicionado tipo Split	4	104	1,15	119,6
1	C	1362783	Activo	HP	1MR69C	Impresora	1	26	0,03	0,78
1	C	1362784	Activo	HP	1MR69C	Impresora	1	26	0,03	0,78
1	C	1362785	Activo	HP	1MR69C	Impresora	1	26	0,03	0,78
1	C	944577	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944545	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
1	C	944578	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944546	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
1	C	944579	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944547	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
1	C	944580	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944548	Activo	ACER	SA220Q	Monitor	6	156	0,024	3,744
1	C	944581	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944549	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
1	AC	1362291	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	5	130	1,125	146,25
1	AC	1362292	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	4	104	1,125	117
1	AC	1362293	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	4	104	1,125	117
1	AC	1362294	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	3	78	1,125	87,75
1	AC	1362295	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	3	78	1,125	87,75
1	AC	1362296	Activo	Westinghouse	030K	Aire Acondicionado tipo Cassette	3	78	4,3	335,4
									Total	1486

Fuente: Elaboración propia

Figura 55.

Auditoria energética en Departamento de compras.

Dpto. Compras

Cantidad	Tipo de equipo	Id	Estado	Marca	Modelo	Descripción	Uso diario (h)	Uso mensual (h)	Potencia (kW)	Consumo de energía (kWh)
16	L	-	Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	4	104	0,045	74,88
6	L	-	Activo	Tecnolite	12YDLED430MV30B	Luminaria	4	104	0,012	7,488
1	AC	1152569	Activo	Vegga	VO-16	Abanico	2	52	0,06	3,12
1	AC	1362569	Activo	Westinghouse	030K	Aire Acondicionado tipo Cassette	4	104	4,3	447,2
1	C	1362785	Activo	HP	1MR69C	Impresora	1	26	0,03	0,78
1	C	944856	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944741	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
1	C	944857	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944742	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
1	C	944858	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944743	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
1	C	944859	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944744	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
1	C	944860	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944745	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
1	C	944861	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944746	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
1	C	944862	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944747	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
1	C	944863	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944748	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	6	156	0,028	4,368
1	AC	1362569	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	4	104	1,125	117
1	AC	1362570	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	4	104	1,125	117
1	AC	1362571	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	4	104	1,125	117
									Total	1369

Fuente: Elaboración propia

Figura 56.

Auditoria energética en Pabellón Mixto.

Pabellón Mixto

Cantidad	Tipo de equipo	Id	Estado	Marca	Modelo	Descripción	Uso diario (h)	Uso mensual (h)	Potencia (kW)	Consumo de energía (kWh)
53	L	-	Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	12	360	0,045	858,6
1	C	944867	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944753	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	16	480	0,028	13,44
1	C	944868	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944754	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	16	480	0,028	13,44
1	C	944869	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944755	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	16	480	0,028	13,44
1	C	944870	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944756	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	16	480	0,028	13,44
1	C	944871	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944757	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	16	480	0,028	13,44
1	C	944872	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944758	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	16	480	0,028	13,44
1	C	1362790	Activo	HP	1MR69C	Impresora	3	90	0,03	2,7
1	C	1362791	Activo	HP	1MR69C	Impresora	2	60	0,03	1,8
1	C	1362792	Activo	HP	1MR69C	Impresora	3	90	0,03	2,7
1	CO	862616	Activo	Atlas	RTA0923VMFS0	Refrigeradora	18	540	0,65	351
10	AC	-	Activo	Telstar	TVC048110MD	Abanico de techo	6	180	0,065	117
18	EE	-	Activo	Edan	iM80	Monitor de signos	18	540	0,14	1360,8
1	TV	3648963	Activo	Sankey	CLED-32SID5	Televisor	5	150	0,048	7,2
26	EE	-	Activo	Savion	Galileo	Camas eléctricas	3	90	0,23	538,2
4	EE	-	Inactivo	Savion	Galileo	Camas eléctricas	3	90	0,23	82,8
									Total	4357

Fuente: Elaboración propia

Figura 57.

Auditoria energética en Pabellón de maternidad.

Pabellón Maternidad

Cantidad	Tipo de equipo	Id	Estado	Marca	Modelo	Descripción	Uso diario (h)	Uso mensual (h)	Potencia (kW)	Consumo de energía (kWh)
40	L	-	Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	12	360	0,045	648
1	C	944873	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944759	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	16	480	0,028	13,44
1	C	944874	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944760	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	16	480	0,028	13,44
1	C	944875	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944761	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	16	480	0,028	13,44
1	C	944876	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944762	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	16	480	0,028	13,44
10	EE	-	Activo	Arietta	S60	Ultrasonido	5	150	0,58	870
3	EE	-	Inactivo	Confort Cuff	55846JR8	Ultrasonido	4	120	0,6	216
1	C	1362797	Activo	HP	1MR69C	Impresora	2	60	0,03	1,8
1	C	1362798	Activo	HP	1MR69C	Impresora	2	60	0,03	1,8
1	CO	862616	Activo	Atlas	RTA0923VMFS0	Refrigeradora	18	540	0,65	351
6	AC	-	Activo	Telstar	TVC048110MD	Abanico de techo	6	180	0,065	70,2
17	EE	-	Activo	Edan	iM80	Monitor de signos	18	540	0,14	1285,2
1	TV	3648963	Activo	Sankey	CLED-32SID5	Televisor	5	150	0,048	7,2
3	EE	-	Inactivo	Savion	Galileo	Camas eléctricas	3	90	0,23	62,1
24	EE	-	Activo	Savion	Galileo	Camas eléctricas	3	90	0,23	496,8
									Total	4755

Fuente: Elaboración propia

Figura 58.

Auditoria energética en Pabellón de pediatría.

Pabellón pediatría

Cantidad	Tipo de equipo	Id	Estado	Marca	Modelo	Descripción	Uso diario (h)	Uso mensual (h)	Potencia (kW)	Consumo de energía (kWh)
50	L	-	Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	12	360	0,045	810
1	C	944878	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944763	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	16	480	0,028	13,44
1	C	944879	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944764	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	16	480	0,028	13,44
1	C	944880	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944765	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	16	480	0,028	13,44
1	C	944881	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944766	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	16	480	0,028	13,44
5	EE	-	Activo	Arietta	S60	Ultrasonido	4	120	0,58	348
1	C	1362797	Activo	HP	1MR69C	Impresora	2	60	0,03	1,8
1	CO	862616	Activo	Atlas	RTA0923VMFS0	Refrigeradora	17	510	0,65	331,5
1	AC	1362178	Activo	Westinghouse	030K	Aire Acondicionado tipo Cassette	5	150	4,3	645
14	EE	-	Activo	Edan	iM80	Monitor de signos	18	540	0,14	1058,4
1	TV	3648963	Activo	Sankey	CLED-32SID5	Televisor	3	90	0,048	4,32
2	EE	-	Inactivo	Savion	Galileo	Camas eléctricas	4	120	0,23	55,2
8	EE	-	Activo	Savion	Galileo	Camas eléctricas	4	120	0,23	220,8
5	EE	-	Activo	Ningbo	YP-2200B	Incubadoras neonatales	16	480	0,8	1920
									Total	6140

Fuente: Elaboración propia

Figura 59.*Auditoria energética en Centro de equipos.*

Centro de equipos

cantidad	Tipo de equipo	Id	Estado	Marca	Modelo	Descripción	Uso diario (h)	Uso mensual (h)	Potencia (kW)	Consumo de energía (kWh)
14	L	-	Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	14	420	0,045	264,6
1	E	1223940	Activo	Tuttnauer	IOVU-600S	Autoclave	5	150	18	2700
1	E	1223941	Activo	Tuttnauer	IOVU-600S	Autoclave	5	150	18	2700
1	C	944158	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944256	Activo	ACER	SA220Q	Monitor	14	420	0,024	10,08
1	C	944159	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944257	Activo	ACER	SA220Q	Monitor	14	420	0,024	10,08
1	AC	1362569	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	5	150	1,125	168,75
1	AC	1362570	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	5	150	1,125	168,75
1	E	587493	Inactivo	Hualian	FS-198	Selladora	3	90	0,3	27
1	E	587494	Inactivo	Hualian	FS-199	Selladora	3	90	0,3	27
1	E	587495	Activo	Hualian	FS-200	Selladora	4	120	0,3	36
									Total	6458

Fuente: Elaboración propia

Figura 60.*Auditoria energética en Capilla.*

Capilla

cantidad	Tipo de equipo	Id	Estado	Marca	Modelo	Descripción	Uso diario (h)	Uso mensual (h)	Potencia (kW)	Consumo de energía (kWh)
15	L		Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	3	78	0,045	52,65
1	C	944160	Activo	HP	RP5800	CPU	6	156	0,24	37,44
1	C	944274	Activo	ACER	SA220Q	Monitor	2	52	0,024	1,248
									Total	91

Fuente: Elaboración propia

Figura 61.*Auditoria energética en Dirección de enfermería.*

Dirección Enfermeras

Cantidad	Tipo de equipo	Id	Estado	Marca	Modelo	Descripción	Uso diario (h)	Uso mensual (h)	Potencia (kW)	Consumo de energía (kWh)
10	L	-	Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	12	360	0,045	162
1	C	945789	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944780	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	18	540	0,028	15,12
1	C	945790	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944781	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	18	540	0,028	15,12
1	C	945791	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944782	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	18	540	0,028	15,12
1	C	945792	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944783	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	18	540	0,028	15,12
1	C	945793	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944784	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	18	540	0,028	15,12
1	AC	1362569	Activo	Ciac	CH50LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	5	150	1,125	168,75
1	AC	1362570	Activo	Ciac	CH50LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	5	150	1,125	168,75
									Total	1439

Fuente: Elaboración propia

Figura 62.

Auditoria energética en Suministro de agua.

Suministro de agua

Cantidad	Tipo de equipo	Id	Estado	Marca	Modelo	Descripción	Uso diario (h)	Uso mensual (h)	Potencia (kW)	Consumo de energía (kWh)
2	L		Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	2	60	0,045	5,4
1	AP	785469	Activo	4SR	4SR13G/20	Bomba Sumergible	10	300	1,2	360
1	AP	785470	Activo	4SR	4SR13G/20	Bomba Sumergible	10	300	1,2	360
1	AP	785471	Activo	4SR	4SR13G/20	Bomba Sumergible	10	300	1,2	360
1	AP	785472	Activo	4SR	4SR13G/20	Bomba Sumergible	10	300	1,2	360
1	CC	1234866	Activo	-	-	Sistema de control	20	600	1	600
									Total	2045

Fuente: Elaboración propia.

Figura 63.

Auditoria energética en Mantenimiento, Presupuesto y Transporte.

MTO, Presupuesto y Transportes

Cantidad	Tipo de equipo	Id	Estado	Marca	Modelo	Descripción	Uso diario (h)	Uso mensual (h)	Potencia (kW)	Consumo de energía (kWh)
12	L	-	Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	8	208	0,045	112,32
9	C	895547	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	505,44
9	C	965587	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	5	130	0,028	32,76
3	C	1358874	Activo	HP	1MR69C	Impresora	1	26	0,03	2,34
1	AC	1362569	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	4	104	1,125	117
1	AC	1362570	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	4	104	1,125	117
1	AC	1362570	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	3	78	1,125	87,75
									Total	975

Fuente: Elaboración propia

Figura 64.

Auditoria energética en Taller de Mantenimiento.

Taller de Mto

ad	Tipo de equipo	Id	Estado	Marca	Modelo	Descripción	Uso diario (h)	Uso mensual (h)	Potencia (kW)	Consumo de energía (kWh)
6	L	-	Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	6	156	0,045	42,12
10	L	-	Activo	Tecnolite	I2YDLED430MV30B	Luminaria	6	156	0,012	18,72
1	AC	13622563	Activo	Daikin	FTKS12SL216	Aire Acondicionado tipo Split	6	156	1,15	179,4
1	AC	13622987	Activo	Daikin	FTKS12SL216	Aire Acondicionado tipo Split	6	156	1,15	179,4
1	C	1362145	Activo	HP	1MR69C	Impresora	4	104	0,03	3,12
1	C	944487	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944568	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	7	182	0,028	5,096
1	C	944469	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944569	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	7	182	0,028	5,096
									Total	545

Fuente: Elaboración propia

Figura 65.

Auditoria energética en Radiología.

Radiología

Cantidad	Tipo de equipo	Id	Estado	Marca	Modelo	Descripción	Uso diario (h)	Uso mensual (h)	Potencia (kW)	Consumo de energía (kWh)
8	L	-	Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	9	234	0,045	84,24
12	L	-	Activo	Tecnolite	I2YDLED430MV30B	Luminaria	9	234	0,012	33,696
1	AC	13622855	Activo	Daikin	FTKS12SL216	Aire Acondicionado tipo Split	7	182	1,15	209,3
1	AC	13622856	Activo	Daikin	FTKS12SL216	Aire Acondicionado tipo Split	7	182	1,15	209,3
1	C	1362523	Activo	HP	1MR69C	Impresora	5	130	0,03	3,9
1	C	944578	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944579	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	7	182	0,028	5,096
1	C	944580	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944581	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	7	182	0,028	5,096
1	AC	1362278	Activo	Daikin	FTKS12SL216	Aire Acondicionado tipo Split	7	182	1,15	209,3
1	AC	13622879	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	7	182	1,125	204,75
1	C	1362514	Activo	HP	1MR69C	Impresora	5	130	0,03	3,9
1	C	944586	Activo	ACER	SA220Q	Monitor	17	442	0,024	10,608
1	C	944425	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	AC	13622919	Activo	Daikin	FTKS12SL216	Aire Acondicionado tipo Split	5	130	1,15	149,5
1	C	1362525	Activo	HP	1MR69C	Impresora	4	104	0,03	3,12
1	C	944475	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944789	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	7	182	0,028	5,096
1	C	944756	Activo	HP	RP5800	CPU	9	234	0,24	56,16
1	C	944732	Activo	ACER	SA220Q	Monitor	7	182	0,024	4,368
1	C	1362789	Activo	HP	1MR69C	Impresora	5	130	0,03	3,9
									Total	1426

Fuente: Elaboración propia

Figura 66.

Auditoría energética en Admisión.

Admisión

Cantidad	Tipo de equipo	Id	Estado	Marca	Modelo	Descripción	Uso diario (h)	Uso mensual (h)	Potencia (kW)	Consumo de energía (kWh)
20	L	-	Activo	Tecnolite	PAN-LED-L/45/40/S	Luminaria	15	450	0,045	405
26	L	-	Activo	Tecnolite	I2YDLED430MV30B	Luminaria	15	450	0,012	140,4
1	C	1362589	Activo	HP	1MR69C	Impresora	5	150	0,03	4,5
1	C	944481	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944520	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	19	570	0,028	15,96
1	C	944482	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944521	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	19	570	0,028	15,96
1	AC	13622897	Activo	Daikin	FTKS12SL216	Aire Acondicionado tipo Split	4	120	1,15	138
1	C	944483	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944522	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	18	540	0,028	15,12
1	C	944484	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944523	Activo	ACER	SA220Q	Monitor	18	540	0,024	12,96
1	AC	13622897	Activo	Ciac	CH43LX018-H3H1C	Aire Acondicionado tipo Split	5	150	1,125	168,75
1	C	1362591	Activo	HP	1MR69C	Impresora	5	150	0,03	4,5
1	C	944531	Activo	ACER	SA220Q	Monitor	17	510	0,024	12,24
1	C	944492	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	AC	13622900	Activo	Daikin	FTKS12SL216	Aire Acondicionado tipo Split	4	120	1,15	138
1	C	1362590	Activo	HP	1MR69C	Impresora	5	150	0,03	4,5
1	C	944495	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944534	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	18	540	0,028	15,12
1	C	944496	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944535	Activo	ACER	SA220Q	Monitor	18	540	0,024	12,96
1	C	944497	Activo	HP	RP5800	CPU	24	720	0,24	172,8
1	C	944536	Activo	HP	9TT20AA	Monitor	18	540	0,028	15,12
1	AC	13622902	Activo	Daikin	FTKS12SL216	Aire Acondicionado tipo Split	4	120	1,15	138
1	AC	13622903	Activo	Daikin	FTKS12SL216	Aire Acondicionado tipo Split	4	120	1,15	138
1	C	1362591	Activo	HP	1MR69C	Impresora	5	150	0,03	4,5
									Total	2782

Fuente: Elaboración propia

Figura 67.

Muestra de datos generados por el prototipo de medición.

COM3

```
10:02:56.597 -> Iniciando SD ...inicializacion exitosa
10:03:26.103 -> Voltage 1: 120.40, Voltage 2: 117.47, Voltage 3: 119.44, Corriente 1: 57.68, Corriente 2: 57.94, Corriente 3: 58.19
10:03:56.135 -> Voltage 1: 116.72, Voltage 2: 114.92, Voltage 3: 115.04, Corriente 1: 56.86, Corriente 2: 56.93, Corriente 3: 57.14
10:04:26.155 -> Voltage 1: 115.74, Voltage 2: 115.55, Voltage 3: 116.51, Corriente 1: 56.75, Corriente 2: 57.06, Corriente 3: 57.28
10:04:56.176 -> Voltage 1: 116.13, Voltage 2: 122.47, Voltage 3: 118.06, Corriente 1: 57.20, Corriente 2: 57.55, Corriente 3: 57.51
10:05:26.201 -> Voltage 1: 116.34, Voltage 2: 120.93, Voltage 3: 116.99, Corriente 1: 56.75, Corriente 2: 56.73, Corriente 3: 57.08
10:05:56.208 -> Voltage 1: 116.82, Voltage 2: 121.36, Voltage 3: 117.68, Corriente 1: 56.59, Corriente 2: 56.58, Corriente 3: 56.97
10:06:26.222 -> Voltage 1: 114.21, Voltage 2: 117.02, Voltage 3: 116.71, Corriente 1: 57.21, Corriente 2: 57.14, Corriente 3: 57.32
10:06:56.256 -> Voltage 1: 116.35, Voltage 2: 121.93, Voltage 3: 115.92, Corriente 1: 57.34, Corriente 2: 57.19, Corriente 3: 57.73
10:07:26.274 -> Voltage 1: 115.45, Voltage 2: 119.95, Voltage 3: 114.78, Corriente 1: 58.01, Corriente 2: 58.45, Corriente 3: 58.29
10:07:56.266 -> Voltage 1: 120.46, Voltage 2: 117.20, Voltage 3: 118.11, Corriente 1: 57.55, Corriente 2: 57.83, Corriente 3: 57.92
10:08:26.285 -> Voltage 1: 116.87, Voltage 2: 121.54, Voltage 3: 118.11, Corriente 1: 56.88, Corriente 2: 57.34, Corriente 3: 57.38
10:08:56.279 -> Voltage 1: 120.50, Voltage 2: 120.23, Voltage 3: 117.03, Corriente 1: 57.20, Corriente 2: 57.52, Corriente 3: 57.54
10:09:26.322 -> Voltage 1: 116.34, Voltage 2: 120.48, Voltage 3: 117.13, Corriente 1: 55.98, Corriente 2: 56.41, Corriente 3: 57.05
10:09:56.320 -> Voltage 1: 115.10, Voltage 2: 117.28, Voltage 3: 116.44, Corriente 1: 58.77, Corriente 2: 59.01, Corriente 3: 59.02
10:10:26.364 -> Voltage 1: 119.65, Voltage 2: 119.95, Voltage 3: 116.44, Corriente 1: 0.88, Corriente 2: 0.72, Corriente 3: 0.52
10:10:56.390 -> Voltage 1: 118.82, Voltage 2: 119.64, Voltage 3: 120.34, Corriente 1: 0.86, Corriente 2: 0.82, Corriente 3: 0.50
10:11:26.370 -> Voltage 1: 121.25, Voltage 2: 119.78, Voltage 3: 119.66, Corriente 1: 0.75, Corriente 2: 0.67, Corriente 3: 0.46
10:11:56.395 -> Voltage 1: 119.02, Voltage 2: 123.88, Voltage 3: 120.13, Corriente 1: 0.76, Corriente 2: 0.62, Corriente 3: 0.39
```

Fuente: Elaboración propia

Apéndice 2. Código de programación del prototipo

Figura 68.

Código de programación en Arduino del prototipo.

```
.
#include "EmonLib.h" // Librería de sensor de corriente
#include <Filters.h> // Librería de sensor de voltaje
#include <SD.h> // Librería de módulo SD

EnergyMonitor SCT0131; // Se define el sensor de corriente 1
EnergyMonitor SCT0132; // Se define el sensor de corriente 2
EnergyMonitor SCT0133; // Se define el sensor de corriente 3

File datos; // Se define la variable para la creación del archivo . csv

float Frecuencia = 60; // Se define la frecuencia a 60 Hz
float ventana = 40.0/Frecuencia;

float intercept = -0.04; // Ajustes de sensor de tensión
float slope = 0.0405;

float tension; // Se definen variables de tensión
float tension2;
float tension3;

int S3 = 0;
int S2 = 0;
int S1 = 0;
int p1 = 0;
int p2 = 0;
int p3 = 0;
int pt = 0;
```



```

int i = 0;

unsigned long periodo = 30000; // Toma de datos cada 2 segundos
unsigned long periodo1 = 0;
unsigned long periodo2 = 30000;
unsigned long periodo12 = 0;
unsigned long periodo3 = 30000;
unsigned long periodo13 = 0;

unsigned long periodoc = 30000;
unsigned long periodoic = 0;
unsigned long periodoc2 = 30000;
unsigned long periodoic2 = 0;
unsigned long periodoc3 = 30000;
unsigned long periodoic3 = 0;

void setup() {

  SCT0131.current(A3, 27.5); // Se definen los pines de entrada para los sensores de corriente, y su calibración
  SCT0132.current(A4, 27.5);
  SCT0133.current(A5, 27.5);

  Serial.begin(9600);
  delay(500);

  Serial.print("Iniciando SD ..."); // Se inicia el modulo SD
  if (!SD.begin(4)) {
    Serial.println("No se pudo inicializar");
    return;
  }
}

void loop() {

  RunningStatistics inputStats; // Base de cálculo de valor RMS de sensores de tensión.
  inputStats.setWindowSecs( ventana );

  RunningStatistics inputStats2;
  inputStats2.setWindowSecs( ventana );

  RunningStatistics inputStats3;
  inputStats3.setWindowSecs( ventana );

  while(true){ // Bucle para la toma de datos

    datos= SD.open("Datos.csv", FILE_WRITE); //Se abre el archivo .csv

    S1 = analogRead(A0); // Se establece pin A0 para sensor de tensión 1
    inputStats.input(S1);

    if((unsigned long)(millis() - periodo1) >= periodo) {

      periodo1 = millis();
      tension = intercept + slope * inputStats.sigma(); // Se calibra el offset y la amplitud
      tension= tension*(40.3231);

      i= i+1;

      if (tension <100){
        tension =0;
      }
    }
  }
}

```

```

    Serial.print( "\tVoltage 1: " );
    Serial.print( tension );
    Serial.print( ", " );
    datos.print( tension );
    datos.print( ", " );
}

S2 = analogRead(A1); // Se establece pin A0 para sensor de tensión 2
inputStats2.input(S2);

if((unsigned long)(millis() - periodoi2) >= periodo2) {

    periodoi2 = millis();
    tension2 = intercept + slope * inputStats2.sigma(); // Se calibra el offset y la amplitud
    tension2= tension2*(40.3231);

    if (tension2 <100){
        tension2 =0;
    }
    Serial.print( "\tVoltage 2: " );
    Serial.print( tension2 );
    Serial.print( ", " );
    datos.print( tension2 );
    datos.print( ", " );

}

S3 = analogRead(A2); // Se establece pin A0 para sensor de tensión 3
inputStats3.input(S3);

if((unsigned long)(millis() - periodoi3) >= periodo3) {

    periodoi3 = millis();
    tension3 = intercept + slope * inputStats3.sigma(); // Se calibra el offset y la amplitud
    tension3= tension3*(40.3231);

    if (tension3 <100){
        tension3 =0;
    }
    Serial.print( "\tVoltage 3: " );
    Serial.print( tension3 );
    Serial.print( ", " );
    datos.print( tension3 );
    datos.print( ", " );

}

if((unsigned long)(millis() - periodoic) >= periodoc) {

    periodoic = millis();

    double Irms1 = SCT0131.calcIrms(100); // Se toman los datos de corriente 1
    if (Irms1 <0.30){
        Irms1 =0;
    }
    pl= tension*Irms1*1;

    Serial.print( "\tCorriente 1: " );
    Serial.print( Irms1 );
    Serial.print( ", " );
}

```

```

    datos.print( Irms1 );
    datos.print( "," );
}

if((unsigned long)(millis() - periodoic2) >= periodoc2) {

    periodoic2 = millis();

    double Irms2 = SCT0132.calcIrms(100);           // Se toman los datos de corriente 2
    if (Irms2 <0.30){
        Irms2 =0;
    }
    p2= tension2*Irms2*1;

    Serial.print( "\tCorriente 2: " );
    Serial.print( Irms2 );
    Serial.print( "," );

    datos.print( Irms2 );
    datos.print( "," );
}

if((unsigned long)(millis() - periodoic3) >= periodoc3) {

    periodoic3 = millis();

    double Irms3 = SCT0133.calcIrms(100);           // Se toman los datos de corriente 3
    if (Irms3 <0.30){
        Irms3 =0;
    }

    p3= tension3*Irms3*1;

    pt= p1+p2+p3;

    Serial.print( "\tCorriente 3: " );
    Serial.print( Irms3 );
    Serial.print( "\n" );

    datos.print( Irms3 );
    datos.print( "\n" );
}

datos.close();                                     // Se cierra el archivo
}
}

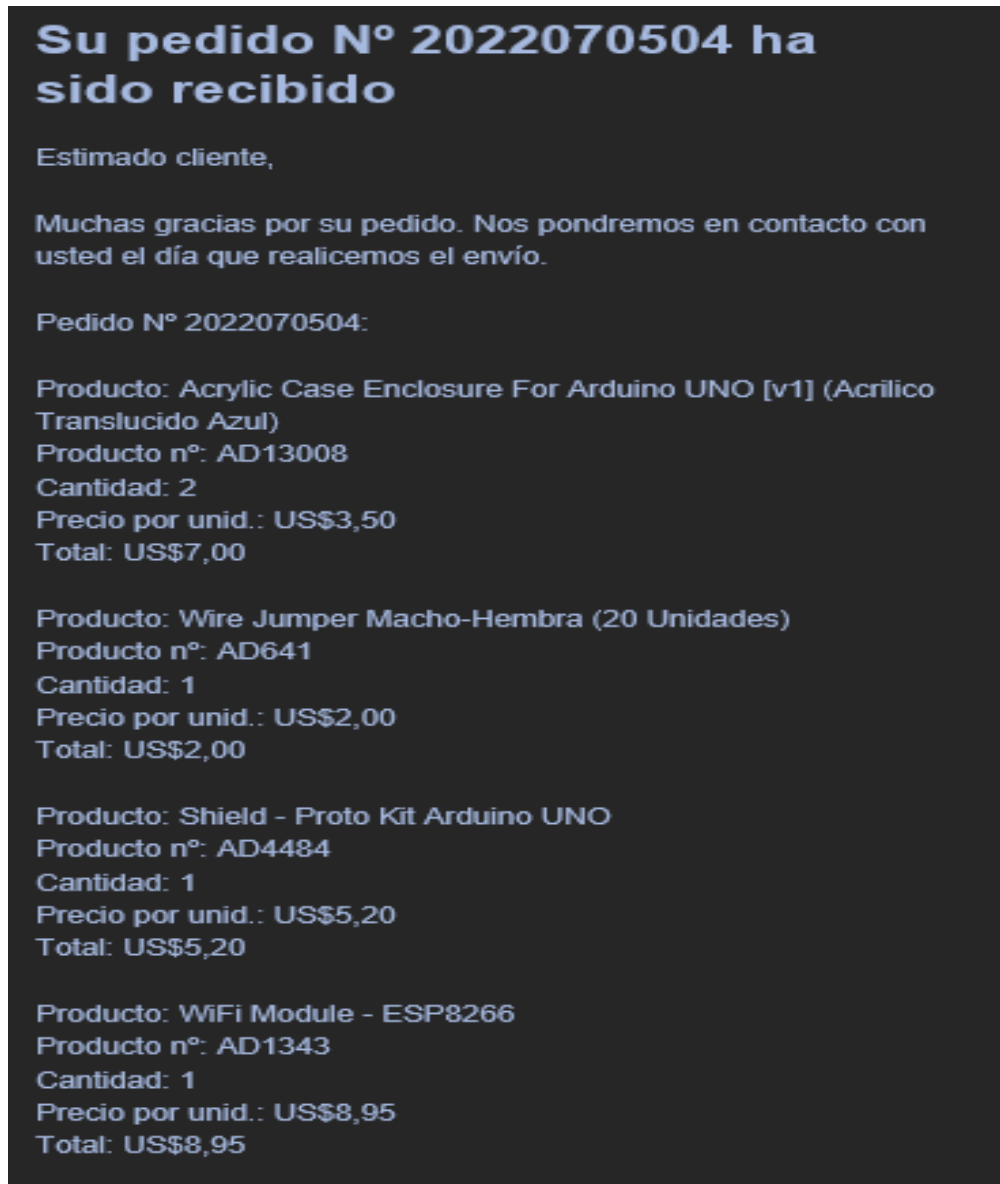
```

Fuente: Elaboración propia

Apéndice 3. Facturación de elementos principales del prototipo de medición.

Figura 69.

Factura de compra de materiales, MicroJPM.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 70.

Factura de compra de materiales, MicroJPM (Continuación).

Producto: 100Ω ½W Resistencia
Producto n°: AD10375
Cantidad: 8
Precio por unid.: US\$0,06
Total: US\$0,48
Producto: 200Ω 1W Resistencia
Producto n°: AD11345
Cantidad: 8
Precio por unid.: US\$0,12
Total: US\$0,96
Producto: 10KΩ 1W Resistencia
Producto n°: AD11416
Cantidad: 10
Precio por unid.: US\$0,12
Total: US\$1,20
Producto: 10uF @ 50V Capacitor Electrolitico
Producto n°: AD6690
Cantidad: 1
Precio por unid.: US\$0,30
Total: US\$0,30
Tipo de pago: SINPE Móvil BAC COLONES (+506 7109 8828):
US\$0,00
Método de envío: EMS Courier Correos de Costa Rica (Todo el
territorio nacional): US\$6,00
Total: US\$32,09

Fuente: Elaboración propia.

Figura 71.

Factura de compra de materiales, DBU Electronics.

DETALLES DEL PEDIDO				
Pedido: DLUYQKKTM Realizado el 27/07/2022 18:06:52				
Pago: Pagos por transferencia bancaria				
Referencia	Producto	Precio unitario	Cantidad	Precio total
D11801	Sensor de corriente SCT013	7.840,00 CRC	1	7.840,00 CRC
D10601	Módulo microSD	1.150,00 CRC	1	1.150,00 CRC
Productos				8.990,00 CRC
Descuentos				0,00 CRC
Embalaje de regalo				0,00 CRC
Transporte				3.000,00 CRC
Impuestos totales pagados				1.034,25 CRC
Total pagado				11.990,00 CRC

Fuente: Elaboración propia.

Figura 72.

Factura de compra de materiales, CR Cibernética.

Número de orden: #55442

Código	Detalle	Cant.	Precio unit.	Monto Tot.	Dto. *	Subtot.	Impptos.	Total
COM-CB1232	AC Voltage Sensor Module	3	\$5.95	\$17.85	\$0.00	\$17.85	Impuesto al Valor Agregado (Tarifa general 13% = \$2.32 , \$2.32) Total impuestos : \$2.32	\$20.17
IM120628007	Non-invasive AC Current Sensor SCT-013 (100A MAX)	2	\$14.95	\$29.90	\$0.00	\$29.90	Impuesto al Valor Agregado (Tarifa general 13% = \$3.88 , \$3.88) Total impuestos : \$3.88	\$33.78
shipping-sku	shipping-name	1	\$6.00	\$6.00	\$0.00	\$6.00	Impuesto al Valor Agregado (Tarifa general 13% = \$0.78 , \$0.78)	\$6.78
Total Exonerado								\$0.00
Total de bienes exonerados de IVA								\$0.00
Total de servicios exonerados de IVA								\$0.00
Total de venta								\$53.75
Total de descuentos								\$0.00 = %0.00
Total neto de venta								\$53.75
Total impuestos								\$6.98
Total factura								\$60.73
Equivalente a								€41019.67

Fuente: Elaboración propia.

Anexos

Figura 73.

Datos de placa secadora marca BRAUN.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 74.

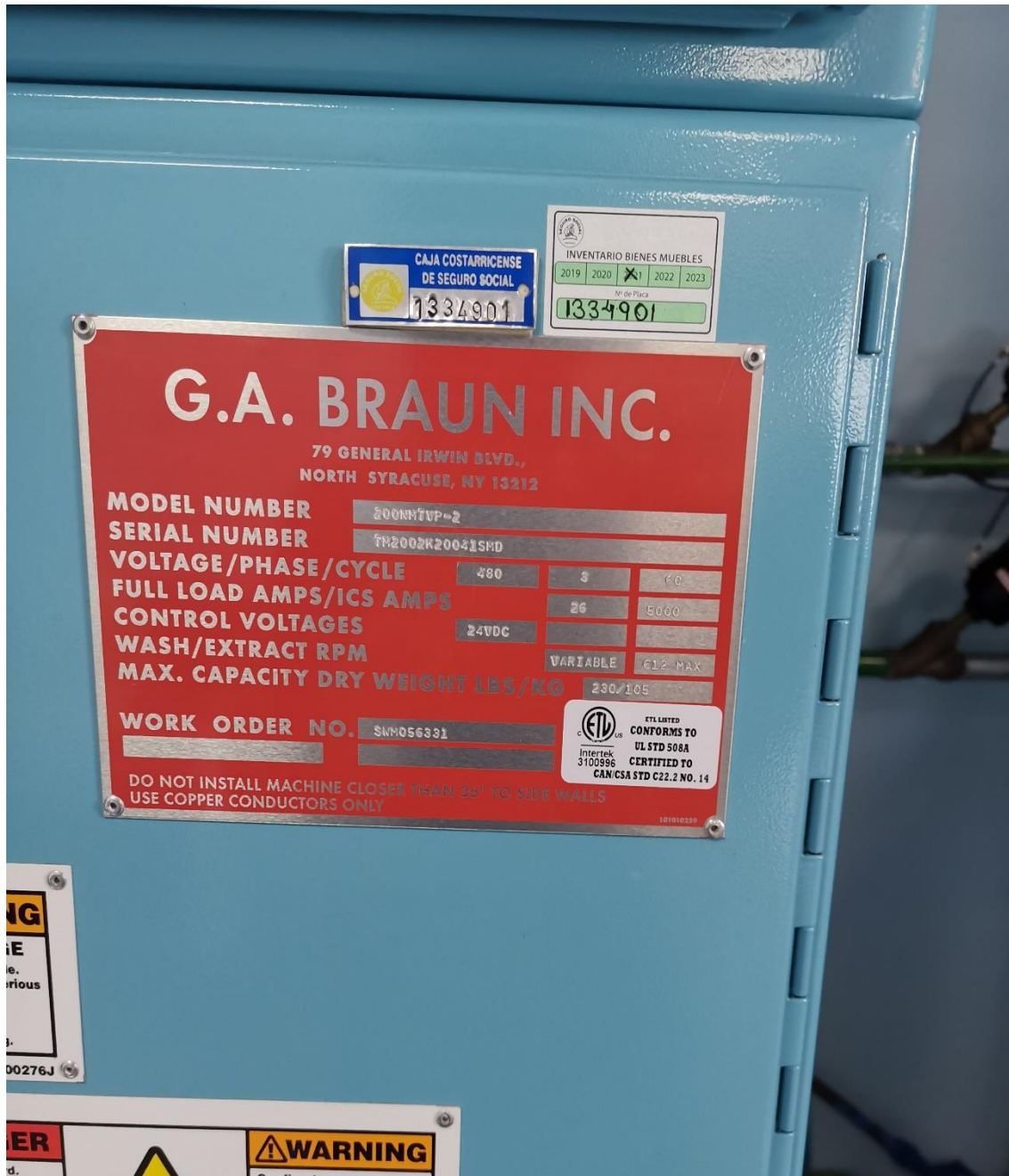
Secadora marca BRAUN.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 75.

Datos de placa lavadora marca BRAUN.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 76.

Datos de placa secadora DOMUS.

CONEXIONES		ELÉCTRICA	VAPOR/ GAS	ELÉCTRICA	VAPOR/ GAS	ELÉCTRICA	VAPOR/ GAS
Tensión 230V - I + N + T	Nº x mm2 / A	-	-	-	-	-	-
Tensión 230V - III + T	Nº x mm2 / A	-	4 x 2,5 / 20A	-	4 x 2,5 / 32A	-	4 x 2,5 / 32A
Tensión 400V - III + N + T	Nº x mm2 / A	5 x 35 / 100A	5 x 1,5 / 20A	5 x 50 / 125A	5 x 1,5 / 32A	5 x 50 / 125A	5 x 1,5 / 32A
Ø Entrada gas	BSP	3/4"		3/4"		3/4"	
Ø Entrada vapor	BSP	1"		1"		1"	
Ø Condensación (Modelo vapor)	BSP	1"		1"		1"	
DIMENSIONES / DIMENSIONES CON EMBALAJE							
Ancho neto / Ancho bruto	mm	1.270/1.330		1.270/1.330		1.270/1.330	
Profundidad neta / Profundidad bruta	mm	1.106/1.185		1.366/1.445		1.598/1.705	
Altura neta / Altura bruta	mm	2.380/2.150		2.380/2.150		2.380/2.150	
Altura sin calefacción	mm	1.950		1.950		1.950	
Peso neto / Peso bruto	Kg	395/430		529/575		657/715	
OTROS							
Caudal máximo aire COMFORT	m3/h	3.000		3.000		3.000	
Ø Evacuación vahos	mm	300		300		300	
Nivel Sonoro COMFORT	dB	67		67		67	

Fuente: Elaboración propia