



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA
MEDICIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN DISPOSITIVOS DE
INTERNET DE LAS COSAS A NIVEL DOMICILIAR**

Diego Pablo Elias Cifuentes

Asesorado por MSc. Ing. Neftalí de Jesús Calderón Méndez

Guatemala, agosto de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA
MEDICIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN DISPOSITIVOS DE
INTERNET DE LAS COSAS A NIVEL DOMICILIAR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DIEGO PABLO ELIAS CIFUENTES

ASESORADO POR MSC. ING. NEFTALÍ DE JESÚS CALDERÓN MÉNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, AGOSTO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO a.i.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

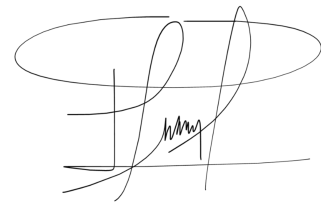
DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. José Aníbal Silva de los Angeles
EXAMINADOR	Ing. Mario Alberto Reyes Calderón
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Tiul Valenzuela
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA MEDICIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN DISPOSITIVOS DE INTERNET DE LAS COSAS A NIVEL DOMICILIAR

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 23 de abril de 2023.

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines, positioned above the printed name.

Diego Pablo Elias Cifuentes



EEPFI-PP-0423-2023

Guatemala, 23 de abril de 2023

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.

El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA MEDICIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN DISPOSITIVOS DE INTERNET DE LAS COSAS A NIVEL DOMICILIAR**, el cual se enmarca en la línea de investigación: **Internet de las cosas - Internet de las cosas**, presentado por el estudiante **Diego Pablo Elias Cifuentes** carné número **201801189**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Ingeniería Para La Industria Con Especialidad En Ciencias De La Computación.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Neftali De Jesús Calderon Mendez
Asesor(a)

null Carlos Gustavo Alonso
Coordinador(a) de Maestría

Mtro. Edgar Darío Alvaréz Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIME-0422-2023

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA MEDICIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN DISPOSITIVOS DE INTERNET DE LAS COSAS A NIVEL DOMICILIAR**, presentado por el estudiante universitario **Diego Pablo Elias Cifuentes**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

The image shows a handwritten signature in black ink over a circular official stamp. The stamp contains the text: "UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA", "DIRECCIÓN ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA", and "FACULTAD DE INGENIERIA".

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica

Guatemala, abril de 2023



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.60.2023

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA MEDICIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN DISPOSITIVOS DE INTERNET DE LAS COSAS A NIVEL DOMICILIAR**, presentado por: **Diego Pablo Elias Cifuentes** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera
Motivo: Orden de impresión
Fecha: 23/08/2023 19:05:11
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, agosto de 2023

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2023 Correlativo: 60 CUI: 3006175180101

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

- Mis padres** Pedro Pablo Elías y Eva Clemencia Cifuentes Ordoñez, por su amor, apoyo y sacrificios que me permiten alcanzar esta meta.
- Mis hermanos** Pedro y Vivian Elias, por su apoyo incondicional.
- Mis tíos** William y Gabriela Cifuentes, Juan Carlos Barrera, por su apoyo y ser de inspiración a lo largo de mi formación.
- Mi abuela** Magda Luz Ordoñez (q. e. p. d.) por todo el amor que en vida me brindó y por los principios y valores que inculcó en mí.
- Mi novia** Madelin Guzmán, por su apoyo incondicional, motivación e inspiración a lo largo de mi carrera.
- Mis amigos** Andrea García, Carlos Rosales, José Echeverría, Joyce Berganza, Luis Castillo, Diana Gutierrez, Diego Soria, Esteban Avendaño, Brandon Ben, Andrea Contreras y Diego Cifuentes por acompañarme y apoyarme a lo largo de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la vida y, a través de su eterna misericordia y sabiduría, permitirme lograr esta meta.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios y permitirme formar como profesional.
Catedráticos de la Facultad de Ingeniería	Por compartir los conocimientos necesarios y experiencias que me permiten formarme como profesional.
Mi familia	Por su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera, por siempre motivarme, exhortarme y creer en mí para alcanzar esta meta.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
4. OBJETIVOS	13
4.1. General	13
4.2. Específicos	13
5. JUSTIFICACIÓN	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	17
7. MARCO TEÓRICO.....	23
7.1. Internet de las cosas	23
7.1.1. Definición	23
7.1.2. Historia del internet de las cosas	24
7.1.2.1. Origen	24
7.1.2.2. Evolución	24

7.1.3.	Principios de funcionamiento.....	25
7.1.4.	Aplicaciones del internet de las cosas	27
7.1.4.1.	Entorno humano	27
7.1.4.2.	Hogares.....	28
7.1.4.3.	Espacios comerciales.....	28
7.1.4.4.	Oficinas	29
7.1.4.5.	Fábricas y entornos de producción.....	29
7.1.4.6.	Obras y entornos de producción a medida	30
7.1.4.7.	Vehículos	30
7.1.4.8.	Ciudades y entornos urbanos.....	31
7.1.4.9.	Exteriores	31
7.1.5.	Modelos de comunicación	32
7.1.5.1.	Dispositivo a dispositivo	32
7.1.5.2.	Dispositivo a la nube	34
7.1.5.3.	Dispositivo a puerta de enlace.....	36
7.1.5.4.	Envío de datos a través del <i>back end</i>	37
7.2.	Eficiencia energética	39
7.2.1.	Definición.....	39
7.2.2.	Objetivos de la eficiencia energética	39
7.2.3.	Beneficios de la eficiencia energética	40
7.2.3.1.	Económicos.....	40
7.2.3.2.	Sociales.....	41
7.2.3.3.	Tecnológicos	41
7.2.3.4.	Ambientales.....	41
7.2.4.	Regulación y legislación	41
7.2.4.1.	A nivel regional	42
7.2.4.2.	A nivel nacional	45
7.2.5.	Eficiencia energética a nivel domiciliar	46

	7.2.5.1.	Normalización de instalaciones eléctricas en baja tensión	46
	7.2.5.2.	Identificación y promoción de productos etiquetados de eficiencia energética	47
	7.2.5.3.	Sensibilización de los usuarios residenciales sobre buenas prácticas.	47
7.3.		Instrumentación eléctrica.....	48
	7.3.1.	Metrología.....	48
	7.3.2.	Tipos de instrumentos	49
	7.3.2.1.	Instrumentos activos y pasivos	49
	7.3.2.2.	Instrumentos análogos y digitales.....	50
	7.3.3.	Características de los instrumentos.....	50
	7.3.3.1.	Exactitud y precisión	50
	7.3.3.2.	Tolerancia	51
	7.3.3.3.	Escala	51
	7.3.3.4.	Linealidad	51
	7.3.3.5.	Umbral	52
	7.3.3.6.	Resolución	52
	7.3.3.7.	Calibración.....	52
	7.3.4.	Medición de voltaje	53
	7.3.4.1.	Voltímetro electromecánico	53
	7.3.4.2.	Voltímetro electrónico analógico	55
	7.3.4.3.	Voltímetro digital	56
	7.3.5.	Medición de corriente	56
7.4.		Algoritmos.....	57
	7.4.1.	Definición	57
	7.4.2.	Algoritmos de control	58
	7.4.2.1.	Algoritmos de control de energía	58

	7.4.2.2.	Algoritmos de control predictivo.....	59
7.4.3.		Modelos matemáticos para la optimización.....	59
	7.4.3.1.	Modelos de programación lineal.....	60
	7.4.3.2.	Modelos de regresión	60
7.4.4.		Aprendizaje automático	61
	7.4.4.1.	Aprendizaje supervisado	62
	7.4.4.2.	Aprendizaje no supervisado	62
	7.4.4.3.	Aprendizaje por refuerzo	63
7.4.5.		Redes neuronales	64
8.		ÍNDICE PROPUESTO DE CONTENIDOS.....	65
9.		METODOLOGÍA	71
	9.1.	Tipo de estudio.....	71
	9.2.	Diseño	71
	9.3.	Alcances	72
	9.3.1.	Perspectiva investigativa	73
	9.3.2.	Perspectiva técnica	73
	9.3.3.	Perspectiva de resultados	74
	9.4.	Variables	76
	9.5.	Fases del estudio	77
	9.5.1.	Fase 1: revisión de la literatura	78
	9.5.2.	Fase 2: diseño y construcción del prototipo	78
	9.5.3.	Fase 3: implementación del prototipo, recolección y validación de datos.....	80
	9.5.4.	Fase 4: análisis de datos, presentación de resultados y conclusiones	82
	9.6.	Técnicas de recolección de información	83

10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	85
11.	CRONOGRAMA.....	87
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	89
12.1.	Factibilidad operativa.....	89
12.2.	Factibilidad técnica	90
12.3.	Factibilidad económica	91
13.	REFERENCIAS.....	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Diagrama de módulos del prototipo de control energético.....	21
Figura 2.	Modelo de comunicación dispositivo a dispositivo	33
Figura 3.	Modelo de comunicación dispositivo a nube.....	35
Figura 4.	Modelo de comunicación dispositivo a puerta de enlace	37
Figura 5.	Modelo de comunicación de envío de datos por <i>back end</i>	38
Figura 6.	Mapa de políticas energéticas de América Latina y el Caribe	44
Figura 7.	Voltímetro electromecánico simple usando un galvanómetro.....	54
Figura 8.	Voltímetro electrónico analógico simple	55

TABLAS

Tabla 1.	Variables de estudio	76
Tabla 2.	Cronograma de actividades	87
Tabla 3.	Presupuesto para el desarrollo de la investigación.....	91

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Q	Quetzales

GLOSARIO

AWS	Amazon Web Services.
Actuador	Dispositivo que convierte energía eléctrica en fuerza mecánica.
Amperio	Unidad de medida de la corriente.
<i>Back End</i>	Área lógica de una página web.
BIPM	Oficina Internacional de Pesos y Medidas.
<i>Breaker</i>	Interruptor automático capaz de interrumpir el paso de corriente en un circuito.
Conectividad	Cualidad de un elemento que establece conexión con otro.
Consumo energético	Gasto total de energía eléctrica por un dispositivo o sistema.
Controlador	Componente que ejerce el control dentro de un sistema.
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Costo de operación	Costos necesarios para mantener un sistema en funcionamiento.
Dispositivo inteligente	Dispositivo que tiene la capacidad de conectarse a otro dispositivo o a la red misma.
Eficiencia	Capacidad para realizar o cumplir una función.
Energía eléctrica	Tipo de energía que se origina por la diferencia de potencial eléctrico entre dos regiones del espacio.
Entorno de producción	Entorno donde se realiza un proceso industrial con el fin de obtener materia prima.
IBSG	Grupo de soluciones empresariales basadas en Internet.
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
Instrumento	Objeto fabricado que sirve para realizar un trabajo o actividad.
Internet	Red informática de nivel mundial.
IoT	Internet de las cosas.

Mantenimiento correctivo	Tipo de mantenimiento que corrige fallos en el sistema.
Mantenimiento predictivo	Tipo de mantenimiento que prevé fallos en el sistema.
<i>Matter</i>	Estándar de conectividad creado por la Alianza de Estándares de Conectividad.
Microcontrolador	Circuito digital que integra un microprocesador.
Microprocesador	Circuito central y más complejo de un sistema informático.
Modelo de comunicación	Esquema utilizado para establecer un canal de comunicación.
Módulo	Elemento con función propia dentro de un sistema.
Nube	Conjunto de servidores a los que se accede a través de internet.
PID	Controlador Proporcional, Integral y Diferencial.
Potencia	Cantidad de trabajo por unidad de tiempo.
Productividad	Capacidad de producir.
Protocolo	Conjunto de reglas que conforman un estándar.

Prototipo	Primer ejemplar que se fabrica de un invento y que funciona de modelo.
Puerta de enlace	Dispositivo que actúa de interfaz de conexión entre dispositivos dentro de la red.
Radiofrecuencia	Ondas electromagnéticas de frecuencia superior utilizadas para aplicaciones de comunicaciones.
Red	Conjunto de dispositivos interconectados que comparten información.
Regulación	Ley emitida por el Estado con fines sociales, económicos, políticos y técnicos.
Sensor	Dispositivo sensible a una magnitud física capaz de convertirla en una magnitud eléctrica.
SI	Sistema Internacional.
Vatio	Unidad de medida de la potencia.
Voltio	Unidad de medida del voltaje.
Web	Conjunto de información que se encuentra en una dirección determinada de Internet.
Zigbee	Conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrico.

RESUMEN

A continuación, se presenta el diseño de investigación para el desarrollo e implementación de un prototipo que permitirá medir y optimizar el consumo energético en dispositivos del internet de las cosas a nivel domiciliario. Se aborda el tema mediante un enfoque mixto que combina métodos cuantitativos y cualitativos para obtener una visión completa de la problemática.

La investigación se inició con una revisión exhaustiva de la literatura sobre el internet de las cosas, la eficiencia energética, la instrumentación eléctrica y los algoritmos enfocados a la inteligencia artificial. Esta revisión proporciona los fundamentos teóricos necesarios para el diseño del prototipo y establece las bases para la definición de los objetivos y preguntas de investigación.

El diseño propuesto es de tipo experimental y contempla la manipulación controlada del estado de funcionamiento de los dispositivos para medir su efecto en el consumo energético. Se busca crear un prototipo embebido con circuitos electrónicos, microcontroladores y módulos de comunicación que permitan la interconexión con una aplicación web para visualizar los resultados obtenidos.

La importancia de este proyecto radica en su potencial para optimizar el funcionamiento de los ecosistemas domésticos basados en el internet de las cosas. Se espera que el prototipo propuesto permita automatizar tareas cotidianas, mejorar la eficiencia energética y reducir el consumo innecesario de recursos, lo que resultará en un ahorro económico y una menor huella ambiental.

En cuanto a las recomendaciones, se sugiere continuar la investigación para mejorar la precisión y eficacia del prototipo, así como establecer regulaciones y estándares que fomenten el uso responsable de la tecnología del internet de las cosas. También es fundamental sensibilizar a los usuarios sobre la importancia de la eficiencia energética y promover la colaboración interdisciplinaria para abordar los desafíos relacionados con esta tecnología emergente.

En resumen, este trabajo de investigación sienta las bases para el desarrollo de un prototipo que podría mejorar la forma en que los usuarios interactúan con los dispositivos inteligentes del hogar, promoviendo la eficiencia energética y contribuyendo a un futuro sostenible y consciente del medio ambiente.

1. INTRODUCCIÓN

El internet de las cosas es una tecnología que ha revolucionado la forma en que interactuamos con los dispositivos de uso diario al dotarlos de cualidades y funcionamientos propios de dispositivos informáticos. Esta tecnología ha proliferado en el ámbito domiciliario gracias a su bajo costo de implementación y su alta escalada en los últimos años. Sin embargo, la falta de regulación y legislación sobre el internet de las cosas y la ausencia de protocolos estandarizados en temas energéticos han llevado a un uso inconsciente de la tecnología y a un consumo desmedido de energía por parte de los dispositivos del internet de las cosas a nivel domiciliario.

Este excesivo consumo energético no solo implica un desaprovechamiento de los recursos energéticos, sino que también produce un aumento considerable en los costos de funcionamiento y limita la vida útil de los dispositivos, generando un exceso de desechos electrónicos. Además, la contaminación ambiental que se genera como consecuencia de esta problemática es un factor crítico que debe ser atendido a corto y mediano plazo.

En este contexto, surge la pregunta central de investigación: ¿Cómo medir y optimizar el consumo energético de los dispositivos del internet de las cosas a nivel domiciliario? Para responder a esta pregunta, se plantean preguntas auxiliares que abordan aspectos específicos del problema, como la obtención y análisis de datos sobre consumo energético, la implementación de algoritmos para automatizar el control de dispositivos y la presentación de resultados de optimización al usuario final.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es sentar las bases para el diseño e implementación de un prototipo que permita la medición y optimización del consumo energético en dispositivos internet de las cosas a nivel domiciliario. Para ello, se llevarán a cabo diferentes fases que incluyen el planteamiento metodológico para las etapas de recolección de datos, el análisis exploratorio y clasificatorio de los mismos, la implementación de algoritmos para automatizar el control de dispositivos y la creación de una aplicación web para la presentación y registro de los resultados obtenidos.

De esta manera, el informe final inicia presentando los antecedentes de la investigación, en este capítulo se contiene un breve resumen de las investigaciones y resultados obtenidos por otros investigadores en áreas relacionadas y con objetivos similares a los de esta investigación. El siguiente capítulo contiene la justificación, en él se exponen los motivos y razonamientos planteados por los cuales el desarrollo de esta investigación resulta de suma importancia para el campo de investigación. Como capítulo siguiente se presentan los alcances, en este se detalla el impacto esperado de la investigación en tres puntos importantes, estos son en resultados, técnicos e investigativos.

Se continua con el capítulo del marco teórico, en este se exponen los fundamentos teóricos utilizados para el desarrollo de la investigación y cuyo conocimiento resulta de suma importancia para el entendimiento y correcto desarrollo de esta. El capítulo de marco teórico se divide en cuatro subcapítulos fundamentales, siendo estos internet de las cosas, eficiencia energética, instrumentación eléctrica y algoritmos.

El capítulo siguiente es el de presentación de resultados, en este capítulo se presenta a detalle el proceso de construcción e implementación del prototipo para su funcionamiento, por último, el capítulo de discusión de resultados, en

este se exponen los resultados obtenidos en cuanto a la medición y optimización del consumo energético en dispositivos del internet de las cosas y se realiza un análisis crítico con fundamento teórico y técnico sobre estos.

2. ANTECEDENTES

La creciente preocupación por el impacto ambiental como resultado de la incursión de los ecosistemas basados en el internet de las cosas no ha pasado desapercibida para la comunidad técnica y académica encargada de su desarrollo, al contrario, se ve al internet de las cosas como una oportunidad para implementar distintas técnicas con el objetivo de generar un impacto positivo en términos ambientales.

A continuación, se presentan una serie de trabajos de investigación para el diseño de sistemas digitales con el objetivo en común de regular el consumo energético en los ecosistemas basados en el internet de las cosas a nivel domiciliario, donde se emplean distintos protocolos y técnicas de implementación, mismas que se detallan en cada caso.

Por ejemplo, Caro, Prieto y Silva (2015) en su trabajo *Caracterización de un sistema domótico para minimizar el consumo energético, basado en el Internet de las cosas*, describen el proceso de caracterización de un sistema basado en la tecnología del internet de las cosas con el objetivo de minimizar el consumo energético a nivel domiciliario. Se expone el proceso de desarrollo del sistema de automatización residencial, mediante la aplicación de una metodología exploratoria. Se describe el diseño a seguir para la elaboración de una interfaz de usuario que funcione con el prototipo de controlador planteado, con el objetivo de gestionar los dispositivos y entregar un reporte sobre el consumo energético individual y colectivo dentro del ecosistema domótico. El resultado de la investigación es el diseño de un sistema domótico basado en la tecnología del

internet de las cosas que ofrece minimizar el consumo energético y propone una interfaz de interacción al usuario final.

Con un objetivo similar, pero utilizando un protocolo de comunicación más avanzado está Soto (2016), que en su trabajo *Diseño de arquitectura para el control y monitoreo del consumo energético en hogares mediante una red de datos ZigBee* propone, mediante una metodología enfocada en la investigación y desarrollo, el diseño de un sistema destinado al control y monitoreo del consumo energético en ecosistemas domésticos con la particularidad del uso de una red de datos *ZigBee*.

El sistema teórico se compone de dos partes; el *software*, que a su vez propone una arquitectura Modelo Vista Controlador (MVC), y el *hardware*, que se compone de la capa sensitiva, capa de conexión y capa de aplicación, es en esta última donde se integran tanto *hardware* como *software* y la única con la que el usuario final interactúa. El resultado de la investigación es el diseño de una arquitectura de alto nivel capaz de controlar y monitorear el consumo energético en hogares mediante una red de datos *ZigBee* lista para una futura implementación.

Por otro lado, buscando optimizar el consumo energético, pero priorizando la autonomía de los dispositivos empleados para dicho objetivo, Escobar y Villazón (2018) presentan en *Sistema de monitoreo energético y control doméstico basado en tecnología internet de las cosas*, una metodología enfocada al desarrollo y la arquitectura de un prototipo funcional llamado ChuchusMOTE, un sistema de control doméstico y de monitoreo de variables energéticas basado en la implementación de tecnología del internet de las cosas. ChuchusMOTE está conformado por nodos electrónicos, sensores y actuadores, tiene el objetivo principal de monitorear y controlar de forma autónoma y remota cargas eléctricas

electrónicas en entornos domóticos, a la vez que genera un registro y almacena en bases de datos entregando la posibilidad de un análisis histórico. Una de las principales particularidades de ChuchusMOTE es el uso de un protocolo de comunicación asíncrono, lo que le permite realizar muestreos aperiódicos o por evento, reduciendo así el consumo energético y el ancho de banda necesario para su operación.

Si bien existen distintas formas de regular el consumo energético utilizando el internet de las cosas, una forma bastante puntual es la de controlar un sistema al nivel de la instalación eléctrica domiciliar, este es el caso de Vega (2020) que implementa, a través de su trabajo *Sistema de información basado en el internet de las cosas (IoT) para mejorar la eficiencia energética en hogares y así contribuir a la reducción del impacto ambiental*, con una metodología basada en el método exploratorio-científico, un sistema que mediante la instalación de *breakers* o disyuntores compatibles con las tecnologías del internet de las cosas permite obtener datos en tiempo real sobre el consumo y comportamiento energético en un hogar.

Con los datos obtenidos, se implementa un sistema de toma de decisiones con el fin de crear una cultura de consumo para el sistema mismo. A la vez, permite realizar mediciones sobre el consumo energético total de un hogar y compararlo con el dato brindado en la facturación por parte de la empresa distribuidora de energía. Como resultado final se obtuvo un sistema que cumplió las expectativas planteadas al inicio de la investigación y que entregaba una mayor precisión sobre el dato de consumo energético total comparado al de la empresa distribuidora de energía.

El internet de las cosas permite su integración con otros campos de la tecnología, como la nube, a modo de crear aplicaciones más complejas y

avanzadas, tal como Jiménez y Cabrera (2020) lo presentan en su trabajo *Sistema de monitoreo remoto del consumo energético para hogares en la ciudad de Cuenca, basado en principios de IoT y servicios en la nube*, mismo que plantea el diseño de un sistema capaz de promover la optimización energética a través del uso de tecnologías basadas en el internet de las cosas e integrando aplicaciones en la nube. Mediante una metodología experimental, utilizando protocolos MQTT, o de comunicación máquina a máquina, e integrando los servicios web ofrecidos por Amazon (AWS) para aplicaciones en la nube.

Como resultado se obtiene un sistema, listo para la implementación, con la capacidad, no solo de medición y toma de decisión, sino de monitorizar, controlar y manipular el ecosistema domótico de forma remota a través del uso de aplicaciones web.

Tal como evidencian los distintos trabajos de investigación por parte de la comunidad técnica y académica, existen bastantes formas de implementar un sistema basado en el internet de las cosas con el objetivo principal de optimizar el consumo energético a nivel domiciliario, al mismo tiempo que las distintas alternativas en materia de tecnología hacen que cada una de las implementaciones se pueda acoplar a distintos objetivos en específico, como lo son los protocolos de comunicación a utilizar, el tipo de dispositivo a controlar, la estructura de interfaz gráfica o forma de interacción con el usuario final. La cantidad de soluciones posibles es bastante grande y ofrece un campo de investigación y desarrollo considerable a la comunidad técnica y académica.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El internet de las cosas es una tecnología que permite dotar de cualidades y funcionamientos propios de dispositivos informáticos a cualquier tipo de dispositivo convencional y de uso diario. El atractivo radica en la funcionalidad añadida que estos dispositivos adquieren, que van desde la automatización de procesos o tareas cotidianas, hasta la generación de datos útiles para el usuario (Evans, 2011).

El bajo costo de implementación y la alta escalada de la tecnología en los últimos años, en especial en el ámbito domiciliario, ha creado cierto grado de saturación en los ecosistemas digitales, lo que se traduce en un desaprovechamiento de la tecnología como tal. Si a esto se suma la falta de regulación y legislación sobre la tecnología del internet de las cosas y la falta de protocolos estandarizados en temas energéticos se obtiene un uso inconsciente de la tecnología.

Existe un consumo desmedido de energía por parte de las tecnologías asociadas al internet de las cosas a nivel domiciliario. Esto se evidencia en la falta de generación y registro de datos asociados por parte de los dispositivos, la ausencia de técnicas que den como resultado un ahorro de energía de forma autónoma y por la falta de desarrollo de nuevas tecnologías que permitan la operación a niveles de consumo relativamente bajos comparados al resto de tecnologías (Rohde & Schwarz, 2023).

Como consecuencia principal se desaprovechan los recursos energéticos, lo que produce un aumento considerable en la cantidad de energía consumida

por un ecosistema digital, por consiguiente, aumento en los costos de funcionamiento. Por otro lado, deterioro de los dispositivos de forma temprana, limitando la vida útil de estos y provocando aumento de desechos electrónicos.

Todas las consecuencias mencionadas tienen como factor común la contaminación al medio ambiente, razón principal por la cual la problemática planteada debe ser atendida a corto y mediano plazo.

Partiendo de la problemática presentada, se plantea la pregunta central de investigación.

- ¿Cómo medir y optimizar el consumo energético de los dispositivos del internet de las cosas a nivel domiciliar?

Y haciendo uso de la pregunta central de investigación, se plantean las preguntas auxiliares:

- ¿Cómo se obtienen los datos sobre consumo energético en ecosistemas domiciliarios basados en internet de las cosas?
- ¿Cómo determinar si los datos obtenidos sobre consumo energético en ecosistemas domésticos basados en internet de las cosas son aptos para la implementación de algoritmos que permitan automatizar el control de los dispositivos?
- ¿De qué forma se utilizan los datos sobre consumo energético en ecosistemas basados en internet de las cosas para lograr la implementación de algoritmos que permitan automatizar el control de los dispositivos?

- ¿Cómo se presentan los resultados de la optimización del consumo energético en dispositivos comúnmente utilizados en ecosistemas domésticos basados en internet de las cosas al usuario final?

4. OBJETIVOS

4.1. General

Implementar un prototipo para la medición y optimización del consumo energético en dispositivos de Internet de las cosas a nivel domiciliario.

4.2. Específicos

- Realizar la recolección de datos sobre consumo energético en dispositivos comúnmente utilizados en ecosistemas domésticos basados en internet de las cosas mediante la medición directa a través del uso de instrumentación eléctrica.
- Realizar un análisis exploratorio, depurativo, descriptivo y clasificatorio de los datos obtenidos sobre consumo energético en ecosistemas domésticos basados en el internet de las cosas.
- Implementar algoritmos que permitan automatizar el control de los dispositivos mediante la aplicación de modelos matemáticos y estadísticos sobre los datos de consumo energético en ecosistemas domésticos basados en el internet de las cosas.
- Implementar una aplicación *web*, y sus implicaciones, para la presentación y registro de los resultados obtenidos de la optimización del consumo energético en dispositivos comúnmente utilizados en ecosistemas domésticos basados en internet de las cosas

5. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se basa en la línea de investigación sobre el internet de las cosas, que se encuentra con una evidente tendencia, cada día son más los ecosistemas digitales domésticos que funcionan bajo los principios de esta tecnología, la acelerada escalada de la tecnología y la creciente demanda genera una saturación en los ecosistemas por la alta cantidad de dispositivos.

Si bien, se genera una saturación a nivel de redes de comunicaciones, ya existe una rama de la disciplina que se dedica a desarrollar e implementar protocolos estandarizados que con el objetivo de mitigar la misma, tales como *Zigbee* o *Matter*. Rama que no existe de forma definida cuando se trata de optimización del consumo energético.

La implementación de algoritmos que permitan automatizar el control de los dispositivos para medir y optimizar el consumo energético trae consigo un beneficio directo a la tecnología misma, porque permite automatizar tareas y procesos con el objetivo directo de evitar el funcionamiento de los dispositivos cuando no son necesarios y aprovecharlos de la mejor manera. Esto permite a los dispositivos conectados a una fuente de alimentación domiciliar disminuir la cantidad de energía consumida y, a los dispositivos portátiles alimentados mediante baterías, aumentar su tiempo de autonomía.

En ambos casos mencionados anteriormente los beneficios del ahorro energético son de índole económico, social y ambiental; por una parte, la disminución del consumo energético genera que los costos de operación de los dispositivos y, por consiguiente, de los ecosistemas digitales disminuya,

brindando mayor accesibilidad a la tecnología misma. Un mayor acceso a la tecnología se traduce en desarrollo e innovación para la sociedad involucrada en su implementación. A su vez, el ahorro energético permite alargar la vida útil de los dispositivos, disminuyendo la cantidad de desechos electrónicos generados y aminorando la cantidad de baterías desechadas, mismas que representan contaminantes graves al medio ambiente.

De esta forma, la implementación de un prototipo cuya finalidad sea la de medir y optimizar el consumo energético para controlar el estado de los dispositivos de un ecosistema domiciliario basado en el internet de las cosas supone una solución de baja dificultad de implementación, pues no requiere la modificación del modelo constructivo de ningún dispositivo; a la vez, al tratarse de un prototipo embebido, el costo de implementación es bajo; por último, brinda la oportunidad de conocer el estado actual e histórico, en términos de consumo energético, de cada dispositivo que compone el ecosistema doméstico, facilitando la identificación de irregularidades en su funcionamiento.

A través de la implementación de este prototipo se logra la optimización del funcionamiento de los ecosistemas domésticos basados en el internet de las cosas. Un ecosistema optimizado permite la implementación de más dispositivos, logrando automatizar y facilitar cada vez más tareas cotidianas para brindar comodidad, que es uno de los objetivos fundamentales del internet de las cosas, esto sin llegar a interferir en factores ambientales o económicos como consecuencia para el usuario final.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La evidente necesidad de regular el creciente consumo energético por parte de los dispositivos que componen un ecosistema digital requiere del diseño e implementación de soluciones que generen un ahorro de dicho consumo. Una de las soluciones viables para el país es la implementación de un prototipo basado en la tecnología del internet de las cosas, capaz de medir y optimizar el consumo energético de los ecosistemas digitales.

En Guatemala, existe la necesidad de disminuir la brecha de accesibilidad hacia la tecnología del internet de las cosas para la población en general, por tratarse de una tecnología capaz de generar desarrollo y oportunidades académicas y laborales para la población involucrada en su implementación. Esto se logra, en parte, a través de la disminución del costo de operación de un ecosistema digital, esta disminución del costo de operación es una consecuencia directa de la optimización del consumo energético aplicada a cada uno de los dispositivos que componen dicho ecosistema digital.

Para cubrir estas necesidades se propone la implementación de un prototipo basado en la tecnología del internet de las cosas que, en términos constructivos y económicos, con las características de sistema embebido que componen a dicho prototipo hacen que su fabricación sea bastante sencilla, y a la vez, al proponerse un diseño basado en componentes electrónicos existentes en el mercado local, el costo de fabricación disminuye considerablemente, generando una mayor accesibilidad hacia la población en general.

Para la implementación de la solución expuesta, se diseña un prototipo funcional compuesto por etapas con propósitos específicos, con la capacidad de interactuar con el usuario final a través de la implementación de una aplicación *web*, misma que recibe los requerimientos e instrucciones de parte del usuario, trasladándolos hacia el prototipo en forma de datos y, a la vez, recibe los resultados de parte del prototipo para posteriormente mostrarse de forma gráfica al usuario final.

Los módulos que componen al prototipo presentado se describen a continuación:

- Sensores

Este módulo contiene a los dispositivos encargados de medir las magnitudes eléctricas del entorno en el que se encuentra el dispositivo a controlar. A su salida entrega una señal analógica proporcional a la magnitud eléctrica medida.

- Adquisición de datos

Conformado por un conversor análogo a digital que traduce la señal entregada por los sensores a valores digitales entendibles por un microcontrolador.

- Modelo de toma de decisiones

Contenido en un microcontrolador, es el módulo encargado de generar señales de control sobre el dispositivo basándose en los datos obtenidos por los sensores, historial de funcionamiento y los requerimientos directos del usuario.

- Controlador

Compuesto por un conversor digital a análogo, recibe las señales de control generadas en el módulo anterior y las convierte a señales ejecutables por los actuadores.

- Actuadores

Este módulo contiene a los dispositivos capaces de ejecutar las instrucciones y que ejercen un tipo de control sobre el dispositivo al que se aplica el prototipo, tal como encender, apagar o atenuar.

- Dispositivo de acceso a la red

Este módulo contiene un dispositivo con la capacidad de conectarse de forma inalámbrica, mediante WI-FI, a la red domiciliar y de esta forma transmitir resultados y recibir instrucciones provenientes del usuario final de forma inmediata.

- Aplicación web

Se refiere a la aplicación que se ejecuta desde un servidor web a través de Internet y que funciona como la interfaz que permite al usuario final visualizar los resultados y generar instrucciones de control de forma remota.

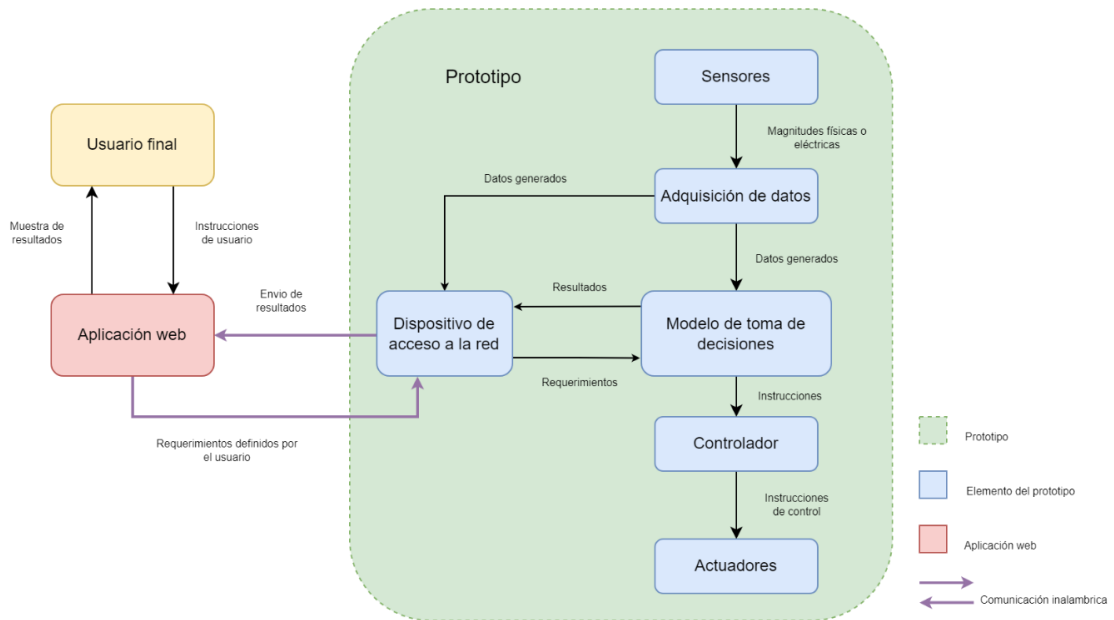
En la figura 1 se presenta el funcionamiento propuesto del prototipo, cada vez que los sensores realizan una lectura de las magnitudes eléctricas (voltaje y corriente) del dispositivo estas se convierten de valores análogos a digitales en una etapa de adquisición de datos, en este punto los datos son enviados a dos

módulos distintos, hacia el dispositivo de acceso a la red y al módulo de toma de decisiones para evaluar si dicho dispositivo necesita algún tipo de accionamiento, mismo que de requerirse se realiza mediante las instrucciones generadas por un controlador y ejecutadas por los actuadores respectivos.

Tal como se muestra en dicho esquema, el dispositivo de acceso a la red cumple la doble función de recibir los requerimientos del usuario y trasladarlos hacia la etapa de toma de decisiones y, a la vez, envía los resultados de la ejecución hacia la aplicación *web*, que finalmente se traducen a resultados gráficos entendibles para el usuario final. Es este dispositivo de acceso a la red el módulo en específico que convierte al prototipo en un dispositivo perteneciente a la categoría de dispositivos del internet de las cosas.

Figura 1.

Diagrama de módulos del prototipo de control energético



Nota. Diagrama que muestra el proceso completo de funcionamiento del prototipo. Elaboración propia, realizado con Lucidchart.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Internet de las cosas

El internet de las cosas marca la tendencia en la que una gran cantidad de dispositivos, por simples que sean, emplean servicios de comunicación ofrecidos por el internet. La mayoría de estos dispositivos no son usados directamente por humanos, sino que se instalan como componentes en hogares, edificios, vehículos o dispersos en el ambiente (Internet Architecture Board, 2015).

Desde esta perspectiva, se entiende como el punto de convergencia de las tendencias de computación y conectividad que han estado evolucionando a través del tiempo. Por ello, en la actualidad una amplia gama del sector industrial considera el potencial y beneficios que la implementación de la tecnología del internet de las cosas ofrece a sus productos y servicios.

7.1.1. Definición

El término internet de las cosas se utilizó por primera vez alrededor del año 1999 por Kevin Ashton, de origen inglés, catedrático del Instituto de Tecnología de Massachusetts y pionero de la tecnología, para describir un sistema compuesto por objetos del mundo físico que podían conectarse a Internet mediante el uso de sensores.

A partir de la década de 2010, se utiliza el término internet de las cosas para describir sistemas en los que la conexión a Internet, la capacidad de

procesamiento informático y de análisis de datos es aplicable a distintos dispositivos, objetos de uso cotidiano y sensores que, en principio, no se consideran ordenadores (Internet Society, 2015).

Aunque, en realidad no existe una definición unificada o estandarizada sobre lo que significa el internet de las cosas.

7.1.2. Historia del internet de las cosas

Si bien no existe una definición unificada para el internet de las cosas, resulta crucial conocer el origen del término y su evolución a lo largo del tiempo, así como la forma en que se ha ido adaptando a medida que esta tecnología ha avanzado.

7.1.2.1. Origen

Tiene sus orígenes en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés), cuando un grupo denominado Auto-ID realizaba investigaciones sobre la identificación usando radiofrecuencias (RFID) y el desarrollo de sensores, para ser utilizados en cadenas de suministro de las empresas y, de esta manera, rastrear las mercancías y llevar un control de inventario sin la necesidad de supervisión humana (Evans, 2011).

7.1.2.2. Evolución

Según el Grupo de soluciones empresariales basadas en Internet (IBSG, por sus siglas en inglés) de Cisco, el nacimiento del internet de las cosas es el punto en el tiempo en el que existieron más dispositivos y objetos conectados a Internet, que personas en el mundo (Evans, 2011).

Para el año 2003 había 500 millones de dispositivos capaces de conectarse a internet, contra 6.3 mil millones de personas en el mundo, para una proporción de 0.08 dispositivos por persona aproximadamente. Bajo la premisa presentada por Cisco IBSG, en este año aún no existía el internet de las cosas.

Impulsado por la creciente incursión de dispositivos inteligentes, como teléfonos, tabletas o computadoras portátiles, el primer registro de existencia del internet de las cosas data del año 2010 cuando la cantidad de dispositivos y objetos que podían acceder a Internet aumentó a 12.5 mil millones, contra una población mundial de 6.8 mil millones de personas, para una proporción aproximada de 1.84 dispositivos por persona.

A través de la extrapolación de los registros temporales de enrutamiento de Internet, Cisco IBSG estimó que la aparición del internet de las cosas se dio entre los años 2008 y 2009 (Evans, 2011).

7.1.3. Principios de funcionamiento

El internet de las cosas basa su funcionamiento en la posibilidad de conectar a la red distintos tipos de dispositivos haciendo uso de las tecnologías de Internet ya existentes. Aunque esta idea no es nueva, existen una serie de principios propios del internet de las cosas que hacen que la misma sea una tecnología de interés, con bastante crecimiento y desarrollo en la actualidad. Dichos principios son:

- Conectividad ubicua

Se refiere a la capacidad de conectarse a la red a alta velocidad y bajo costo, preferentemente de forma inalámbrica, con o sin licencia. Lo que genera una conectividad casi total, bajo cualquier contexto.

- Adopción generalizada de redes IP

El uso del protocolo IP hace que sea posible su conexión e interacción con cualquier red ya existente.

- Economía informática

Al ser una tecnología en pleno auge, atrae el interés de inversionistas e investigadores.

- Miniaturización

Los avances tecnológicos en la fabricación de dispositivos de menor tamaño permiten adaptar los mismos a objetos cotidianos sin importar su tamaño, lo que genera más aplicaciones.

- Avances en análisis de datos

La creación de algoritmos de procesamiento de datos permite la optimización del funcionamiento de los dispositivos.

- Auge de la computación de la nube

Permite la interacción con sistemas informáticos más potentes de forma remota, lo que aumenta la capacidad de procesamiento y control.

7.1.4. Aplicaciones del internet de las cosas

El McKinsey Global Institute (2015) enumera los nueve principales campos de aplicación para el internet de las cosas basándose en diversos parámetros, tales como tasas de adopción de la tecnología, tendencias económicas y demográficas, impacto económico y la probable evolución de la tecnología.

7.1.4.1. Entorno humano

Existen dos tipos de aplicaciones tecnológicas para el internet de las cosas que destacan en el ámbito humano. La primera aplicación es en el campo de la salud y la forma física. El internet de las cosas tiene un claro potencial transformador en la salud humana. El uso de dispositivos conectados para monitorizar continuamente signos vitales, o demás parámetros asociados a la salud, especialmente en individuos con padecimientos crónicos puede ayudar a mejorar el cumplimiento de terapias, tratamientos, evitar hospitalizaciones y complicaciones posteriores, mejorando así la calidad de vida del paciente en cuestión.

La segunda aplicación implica el uso del internet de las cosas para aumentar la productividad en entornos de trabajo, mediante la implementación de dispositivos de realidad aumentada, como gafas, las cuales pueden ser utilizadas en entornos de fabricación o laboratorio donde se muestran datos de inventarios, materiales o procedimientos de una forma más rápida y directa, sin

la necesidad de que el operario tenga que acudir a una computadora como tal para su consulta, en su lugar, estos datos aparecerían frente a él permitiéndole consultarlos en tiempo real (McKinsey Global Institute, 2015).

7.1.4.2. Hogares

Uno de los principales campos de aplicación del internet de las cosas en la actualidad se encuentra en sus aplicaciones a nivel domiciliario, que van desde electrodomésticos inteligentes, ambientes automatizados, la seguridad y control de acceso.

A medida que los dispositivos inteligentes de uso doméstico evolucionan, se espera que el impacto a la productividad sea mayor, por la comodidad que significan para el usuario la automatización de tareas domésticas cotidianas, permitiendo así, ahorrar el tiempo que, en condiciones normales, se destinaría a estas tareas. El segundo impacto de las aplicaciones domésticas del internet de las cosas está en la gestión energética, mediante la automatización de tareas, se lograría una reducción en los costos de operación de los electrodomésticos, dado que se puede gestionar el funcionamiento de los electrodomésticos en función de su utilidad específica (McKinsey Global Institute, 2015).

7.1.4.3. Espacios comerciales

Este campo de aplicación hace referencia a las tiendas, bancos, restaurantes y cualquier otro lugar donde los consumidores compran o venden y, a la vez, implementa métodos de autenticación de ingreso, sistemas de auto pago, ofertas en compras presenciales o la optimización de los inventarios (McKinsey Global Institute, 2015).

7.1.4.4. Oficinas

Las principales ventajas del uso del internet de las cosas en entornos de oficina son la seguridad y la gestión energética. Mediante el monitoreo de actividad en el espacio físico que compone una oficina, los operadores de edificios pueden supervisar las actividades en sus instalaciones y reducir la necesidad de monitoreo humano por agentes de seguridad.

A la vez, el monitoreo de actividades permitiría gestionar el funcionamiento de servicios no fundamentales, como iluminación o equipo de computación, para lograr una disminución de consumo energético (McKinsey Global Institute, 2015).

7.1.4.5. Fábricas y entornos de producción

Las fábricas, y demás entornos de producción estandarizados, como los sectores agrícolas y hospitalarios, representan el campo de mayor valor económico de las aplicaciones del internet de las cosas.

El principal valor de las aplicaciones del internet de las cosas en entornos de producción radica en el aumento y mejoras de la productividad, la automatización de procesos de control de calidad, el ahorro energético y la mejora de la eficiencia laboral. A la vez, la mejora en el mantenimiento de los equipos y maquinarias, la optimización del inventario y la salud y seguridad de los trabajadores también son fuentes de valor para las aplicaciones del internet de las cosas en este campo en específico (McKinsey Global Institute, 2015).

7.1.4.6. Obras y entornos de producción a medida

La aplicación del internet de las cosas en entornos de producción, como la minería, la extracción de petróleo y obras de construcción, han sido las primeras aplicaciones industriales para esta tecnología. Por ejemplo, hoy en día, una plataforma de perforación petrolífera típica puede utilizar un promedio de treinta mil sensores, que vigilan y monitorean decenas de sistemas. En la minería, el uso de vehículos auto conducidos, incluidos los vagones y camiones mineros, ayuda a racionalizar las operaciones, reduciendo costes y evitando la necesidad de exponer a operarios a condiciones extremas de trabajo.

La segunda fuente de valor en los entornos de producción radica en la mejora del mantenimiento de los equipos y maquinaria pesada. El uso de sensores para controlar el estado, en tiempo real, de la maquinaria permite a las empresas crear modelos de mantenimiento predictivos en función de las condiciones de trabajo, en lugar de tener que recurrir a mantenimientos correctivos que, por lo general, resultan más costosos (McKinsey Global Institute, 2015).

7.1.4.7. Vehículos

En el ámbito de los vehículos, el potencial de uso del internet de las cosas radica en la mejora y supervisión del rendimiento de aviones, trenes y otros vehículos de uso diario. Esta implementación tiene un mayor impacto si se evalúa desde el punto de vista comercial, como aerolíneas y transporte público, donde las mejoras son de tipo económicas dado la disminución de los costos de operación (McKinsey Global Institute, 2015).

7.1.4.8. Ciudades y entornos urbanos

Las ciudades representan un centro de experimentación e innovación a gran escala del internet de las cosas, con las iniciativas denominadas ciudades inteligentes, dado que las ciudades son grandes motores del crecimiento económico mundial. El internet de las cosas representa un beneficio para las ciudades en cuatro áreas específicas: transporte, seguridad pública y salud, gestión de recursos y prestación de servicios.

El transporte es el área de mayor integración del internet de las cosas con aplicaciones como la gestión del flujo del tráfico y la administración de vehículos autónomos. Una aplicación directa se basa en el ajuste de los horarios de los desplazamientos desde y hacia los lugares de trabajo en función de los datos de seguimiento en tiempo real del tráfico.

El siguiente gran impacto se produciría en el área de la salud por sus aplicaciones en la mejora de la calidad del aire y el agua, reduciendo los riesgos a la población por propagación de enfermedades y contaminación en general.

Por otro lado, la implementación de medidores inteligentes podría mejorar la detección de pérdidas de energía eléctrica y fugas de agua, mejorando así, la calidad de los servicios prestados a la población (McKinsey Global Institute, 2015).

7.1.4.9. Exteriores

Por exteriores se entiende a todos los demás campos de aplicación del internet de las cosas no contenidos en los ámbitos urbanos o de producción, es decir, que tienen lugar al aire libre entre entornos urbanos, o en entornos rurales.

En este campo se incluyen, por ejemplo, el uso del internet de las cosas para mejorar la ruta de barcos, aviones y demás transportes con rutas que atraviesan varios países, incluso intercontinentales. También supone su uso para el rastreo de contenedores y paquetes en tránsito (McKinsey Global Institute, 2015).

7.1.5. Modelos de comunicación

En el aspecto técnico resulta de suma importancia el conocimiento a nivel de infraestructura sobre la forma en que se conectan y comunican los dispositivos del internet de las cosas en función de los modelos de comunicación utilizados.

En el año 2015, el Comité de Arquitectura de Internet (IAB, por sus siglas en inglés) publicó el documento RFC 7452, en este se describen cuatro modelos de comunicación que utilizan los dispositivos del internet de las cosas para el envío y recepción de datos e instrucciones con el resto del entorno de Internet (Internet Society, 2015).

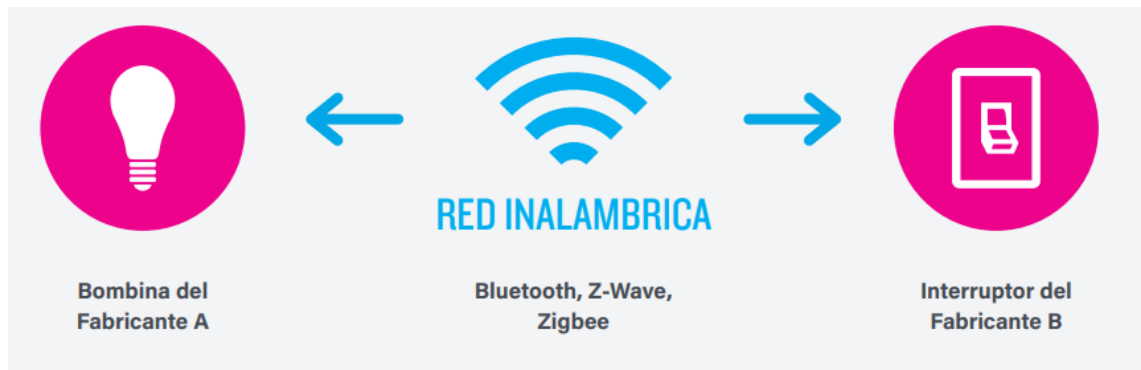
7.1.5.1. Dispositivo a dispositivo

Se refiere a un modelo de comunicación en el que dos dispositivos desarrollados por distintos fabricantes establecen una conexión para comunicarse e interoperar de forma directa.

La figura 2 describe el modelo de comunicación de dispositivo a dispositivo.

Figura 2.

Modelo de comunicación dispositivo a dispositivo



Nota. Esquema de funcionamiento del modelo de comunicación dispositivo a dispositivo. Adaptado de L. Chapin, S. Eldridge y K. Rose (2015). *The Internet of Things: An Overview. Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World*. Retrieved from Internet Society: (<https://www.internetsociety.org/resources/doc/2015/iot-overview/>), consultado el 1 de marzo de 2023. De dominio público.

Para cumplir con la expectativa de conexión entre dos dispositivos de distintos fabricantes, se exponen, en el documento RFC 7452, una serie de consideraciones a tomar en la fabricación de dispositivos que utilicen el modelo de comunicación de dispositivo a dispositivo:

- Definir las capas físicas que deben ser soportadas en función de la tecnología de comunicación a usar, como Bluetooth o IEEE 802.11.
- Definir el protocolo IP a utilizar, utilizando únicamente IPv6 o agregando soporte para IPv4 pensando en retrocompatibilidad.
- Definir el mecanismo de configuración de IP a integrar en el dispositivo.

- Definir las arquitecturas de comunicación compatibles en función de los dispositivos y sus limitaciones. Integrando un modelo clásico de cliente-servidor o un modelo de igual a igual.
- Definir un mecanismo de exploración y descubrimiento de servicios que permita integrar nuevos dispositivos.
- Definir el protocolo de capa de transporte, como UDP o TCP, que se utilizará para transmitir los datos e instrucciones.
- Definir el protocolo de capa de aplicación que se utilizará.
- Definir el modelo de datos que se utilizará para codificar la información.
- Definir las políticas de seguridad y privacidad que se utilizaran, identificando las posibles amenazas y describiendo los mecanismos de seguridad a implementar.

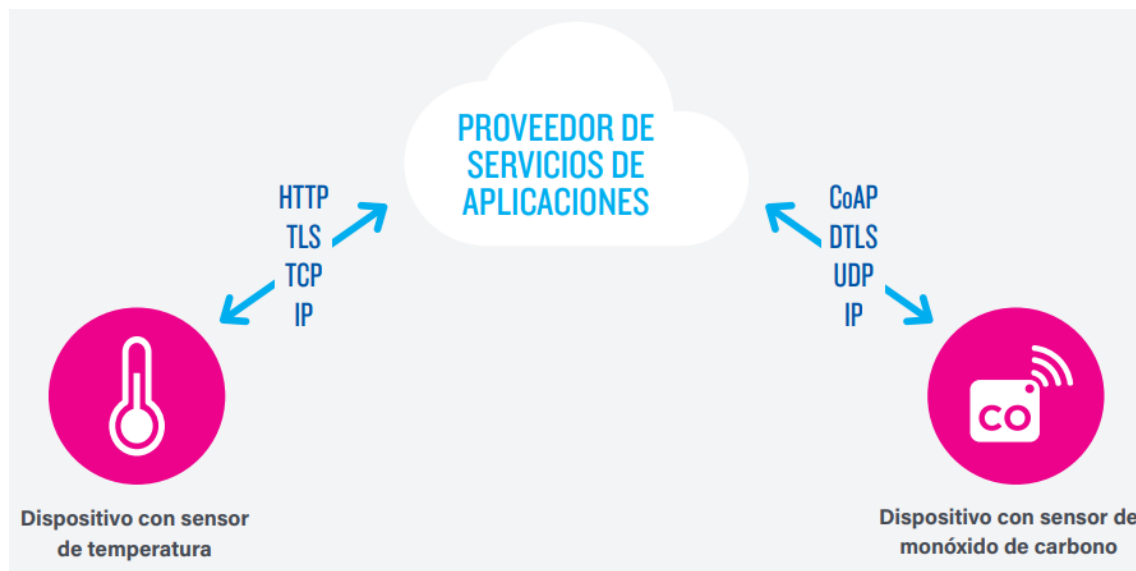
7.1.5.2. Dispositivo a la nube

Se refiere a un modelo de comunicación en el que cada dispositivo se conecta a un servicio proporcionado por la nube para el envío de datos y recepción de instrucciones, generalmente este servicio también es propiedad del desarrollador del dispositivo. En este caso, toda la comunicación se produce de forma interna en el proveedor y no es necesaria la interoperabilidad.

La figura 3 describe el modelo de comunicación del dispositivo a la nube.

Figura 3.

Modelo de comunicación dispositivo a nube



Nota. Esquema de funcionamiento del modelo de comunicación dispositivo a la nube. Adaptado de L. Chapin, S. Eldridge y K. Rose (2015). *The Internet of Things: An Overview. Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World*. Retrieved from Internet Society: (<https://www.internetsociety.org/resources/doc/2015/iot-overview/>), consultado el 1 de marzo de 2023. De dominio público.

Para facilitar la operación y comunicación de los dispositivos hacia el servicio en la nube proporcionado por el proveedor se utilizan los protocolos ya establecidos para el funcionamiento de Internet, esto reduce los costos de desarrollo e implementación y facilita, en caso de que existan cambios en el modelo de negocios del proveedor, la interoperación con dispositivos o servicios brindados por otros proveedores y evitando que los dispositivos en uso queden obsoletos o inutilizables (Internet Architecture Board, 2015).

Este modelo resulta conveniente cuando se utilizan tecnologías de radiofrecuencias de gran cobertura, como lo es el Wi-Fi basada en la norma IEEE 802.11 para usos domésticos.

7.1.5.3. Dispositivo a puerta de enlace

A menudo resulta necesario el uso de tecnologías de radiofrecuencia con menor cobertura, se requiere de alguna funcionalidad especial en la capa de aplicación, o bien, se requiere interoperabilidad con dispositivos que no necesariamente utilizan los protocolos establecidos de internet.

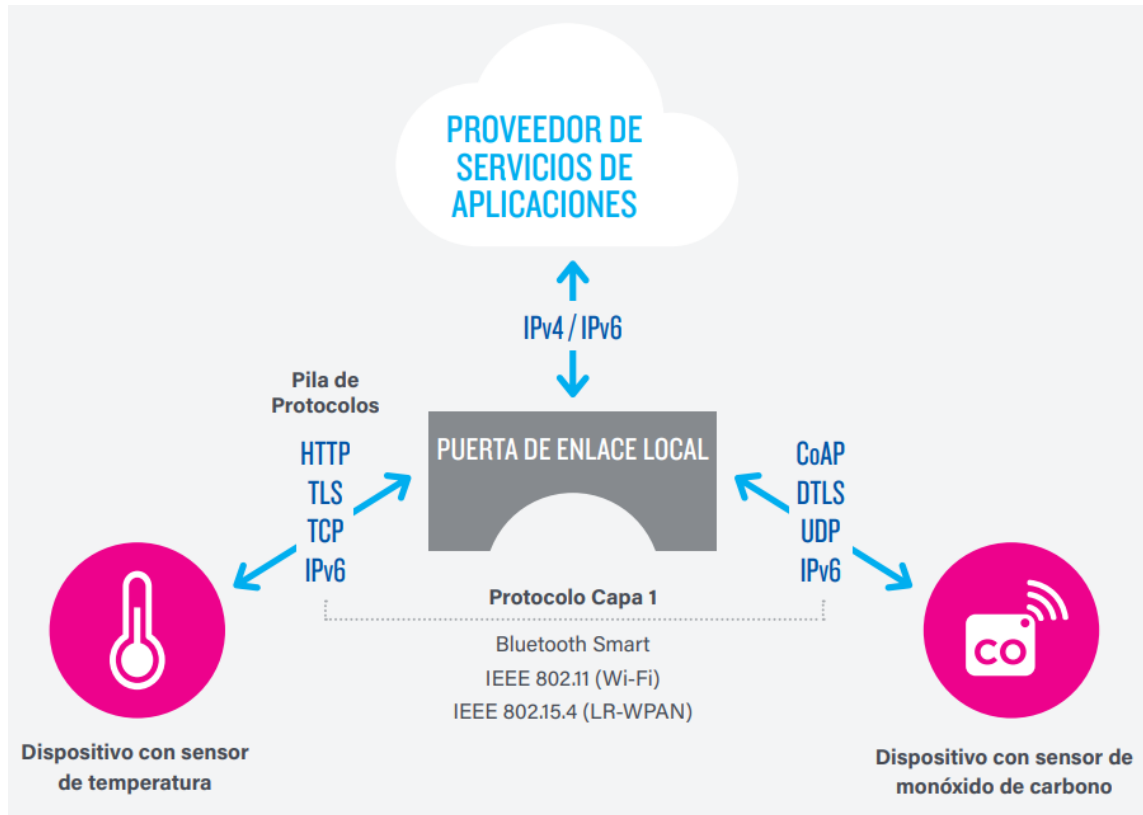
En los casos mencionados anteriormente, se hace evidente la necesidad del uso de un dispositivo que actúe como intermediario, o puerta de enlace, entre los dispositivos individuales y los servicios de la nube a los que necesitan acceder para el envío de datos o repetición de instrucciones. A los intermediarios generalmente se les denomina dispositivos *hub*. En redes domesticas generalmente se utiliza un teléfono inteligente como dispositivo *hub*.

El uso de dispositivos que actúan como puerta de enlace permite la interoperabilidad de dispositivos que no tienen la capacidad nativa de conectarse a Internet, permite interoperabilidad entre distintos protocolos propietarios y facilita la implementación de protocolos generales como *Z-Wave* o *Zigbee* (Internet Architecture Board, 2015).

La figura 4 describe el modelo de comunicación dispositivo a puerta de enlace.

Figura 4.

Modelo de comunicación dispositivo a puerta de enlace



Nota. Esquema de funcionamiento del modelo de comunicación dispositivo a puerta de enlace. Adaptado de L. Chapin, S. Eldridge y K. Rose (2015). *The Internet of Things: An Overview. Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World.* Retrieved from Internet Society: (<https://www.internetsociety.org/resources/doc/2015/iot-overview/>), consultado el 1 de marzo de 2023. De dominio público.

7.1.5.4. Envío de datos a través del *back end*

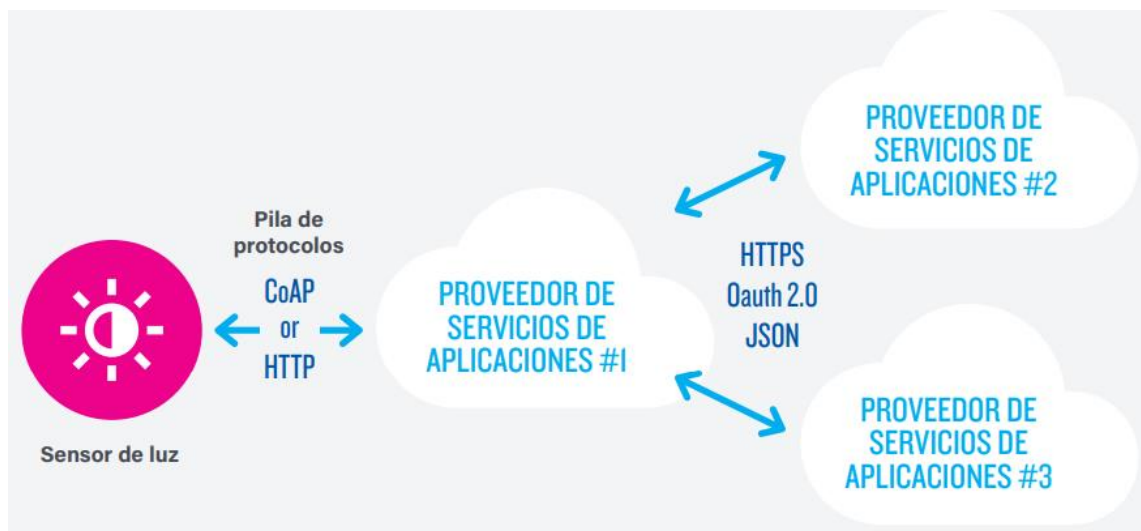
Este modelo se presenta como una expansión del modelo dispositivo a la nube, en donde los dispositivos cargan datos y reciben instrucciones de un solo servicio otorgado por el desarrollador. El modelo de envío de datos a través del

back end permite compartir datos y obtener resultados basados en varias fuentes sin limitarse a un solo fabricante o dispositivo, otorgando la posibilidad de tratar a un grupo de dispositivos basados en el internet de las cosas como a un sistema, con un objetivo en común y permitiendo al usuario otorgar permisos de acceso para terceros hacia los datos generados por sus dispositivos para resultados más elaborados (Internet Architecture Board, 2015).

La figura 5 describe el modelo de envío de datos a través del *back end*.

Figura 5.

Modelo de comunicación de envío de datos por back end



Nota. Esquema de funcionamiento del modelo de comunicación de envío de datos a través del *back end*. Adaptado de L. Chapin, S. Eldridge y K. Rose (2015). *The Internet of Things: An Overview. Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World*. Retrieved from Internet Society: (<https://www.internetsociety.org/resources/doc/2015/iot-overview/>), consultado el 1 de marzo de 2023. De dominio público.

7.2. Eficiencia energética

La eficiencia energética se basa en la tendencia y conciencia generada de forma individual y colectiva sobre el uso adecuado de los recursos energéticos disponibles, con la finalidad primordial de disminuir el impacto ambiental y económico generado por la obtención de los recursos utilizados para la producción de estos recursos energéticos.

7.2.1. Definición

Se entiende por eficiencia energética al uso adecuado de los recursos disponibles para la generación y uso de la energía, en este caso energía eléctrica, mediante la implementación de técnicas, prácticas o aplicaciones que permiten conocer los niveles de consumo energético en un entorno determinado, y que se logra mediante la modificación del funcionamiento y operación de los bienes o servicios, haciendo uso de estudios económicos, que disminuyen costos y aumentan la productividad (Rosales, y Cifuentes, 2016).

7.2.2. Objetivos de la eficiencia energética

Para Guatemala, los objetivos a lograr mediante la implementación de prácticas que conlleven a lograr niveles estandarizados de eficiencia energética se listan en el Plan Nacional de Eficiencia Energética 2019-2032, del Ministerio de Energía y Minas (2020), los cuales se centran en lograr un impacto ambiental y económico principalmente. Siendo dichos objetivos:

- Optimizar el consumo energético
- Emplear fuentes renovables para la producción de energía eléctrica

- Concientizar respecto a la importancia y los beneficios de un consumo energético responsable
- Lograr una reducción de consumos energéticos
- Reducir la contaminación producto de la producción de energía eléctrica.

7.2.3. Beneficios de la eficiencia energética

El Plan nacional de Eficiencia Energética 2019-2032, del Ministerio de Energía y Minas (2020) divide en cuatro categorías fundamentales los beneficios obtenidos de la implementación de políticas que conduzcan a la eficiencia energética, siendo de tipo económicos, sociales, tecnológicos y ambientales.

7.2.3.1. Económicos

- Aumento de la productividad y competitividad empresarial
- Mayor acceso a mercados protegidos por barreras arancelarias
- Disminuye la necesidad de inversión en el sector energético
- Reduce los gastos de importación de materias primas
- Reduce los presupuestos públicos, liberando recursos
- Aumenta la garantía de abastecimiento energético.

7.2.3.2. Sociales

- Disminuye el monto facturado por energía eléctrica en los hogares
- Facilita el acceso a fuentes modernas de energía.

7.2.3.3. Tecnológicos

- Impulsa la mejora tecnológica y la innovación.

7.2.3.4. Ambientales

- Reduce los daños ocasionados al medio ambiente
- Disminuye el uso de recursos no renovables.

7.2.4. Regulación y legislación

La correcta aplicación de métodos y prácticas destinados a mejorar la eficiencia energética en cualquier sector requiere una comprensión profunda de las regulaciones y leyes que rigen el uso y consumo de energía a nivel regional y nacional.

Estas regulaciones y leyes pueden abarcar una amplia gama de aspectos, desde estándares de eficiencia para equipos y sistemas, hasta políticas de incentivos y medidas para promover el ahorro energético.

7.2.4.1. A nivel regional

En América Latina, los temas de energías renovables y eficiencia energética suponen un fuerte potencial en la búsqueda por mitigar los efectos negativos del creciente consumo energético y la adopción de las sociedades de modelos más energéticamente dependientes.

Sin embargo, a pesar de los constantes debates sobre la importancia y la necesidad de dar a las energías renovables y a la eficiencia energética un sitio de mayor protagonismo en las políticas energéticas de los países de Latinoamérica, su impacto no ha sido significativo. Esto supone un fracaso en la formulación de las políticas públicas de cada país, así como de la cooperativa internacional, para incorporar patrones de desarrollo sustentables (NU. CEPAL, 2003).

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), de las Naciones Unidas, mediante el análisis de las fortalezas y debilidades de los programas implementados en cada país, en temas de eficiencia energética, concluye que uno de los principales inconvenientes es la falta de indicadores e información que permitan analizar el impacto de la legislación de índole energética implementadas en cada país, de una forma cuantitativa, completa e integrada. Especialmente en los países de América Latina y el Caribe, la calidad de los datos estadísticos y los indicadores de desempeño que permiten cuantificar los resultados de los programas nacionales resultan deficientes e incompletos.

La CEPAL ha estructurado el programa regional denominado Base de Indicadores de Eficiencia Energética para América Latina y el Caribe (BIEE), con el objetivo primordial de producir un conjunto de indicadores metodológicamente

consistentes, que permitan medir el impacto y la evolución de los programas nacionales de eficiencia energética en los países de la región (NU. CEPAL, 2016).

Para el año 2023, solamente nueve de los treinta y tres países que componen la región cuentan con programas activos de eficiencia energética a nivel legislativo, siendo estos: Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, México, Panamá, Paraguay y Uruguay. Y solamente un país de la región se encuentra en una fase de propuesta de iniciativa de Ley, que es Honduras (NU. CEPAL, 2023).

La figura 6 describe un mapa de América Latina y el Caribe, en función del avance en la implementación de políticas energéticas en cada país.

7.2.4.2. A nivel nacional

En el año 2018, el Ministerio de Energía y Minas se plantea y propone presentar una propuesta de Ley sobre Eficiencia Energética, incluido su reglamento, buscando crear una rama técnica especializada en el tema de eficiencia energética, siempre bajo la supervisión del Ministerio de Energía y Minas como ente rector del sector energético del país.

Dicha rama técnica especializada será la responsable de cuidar el cumplimiento de la Ley, Reglamento y Norma que se establezca para velar por los temas específicos de eficiencia energética que repercutan en el país.

En cuanto a las normas técnicas, se prevé adoptar estándares que ya funcionan a nivel internacional para facilitar e impulsar su implementación en los distintos sectores consumidores de energía en el país (Ministerio de Energía y Minas, 2020).

Sin embargo, para el año 2023, Guatemala aún no cuenta con una regulación establecida para el tema de ahorro y eficiencia energética por la falta de la aprobación de una Ley, Reglamento o Norma, por parte del Organismo Legislativo, que establezca las técnicas y metodologías a implementar para lograr un nivel de eficiencia energética de forma estandarizada, por lo cual, la implementación de cualquier técnica que conduzca a la eficiencia energética, en el país, es de carácter voluntario.

7.2.5. Eficiencia energética a nivel domiciliario

En Guatemala, el consumo energético a nivel domiciliario se clasifica en tres categorías, siendo las aplicaciones eléctricas, la cocción de alimentos y las aplicaciones térmicas.

Las aplicaciones eléctricas abarcan todos los sistemas de instalaciones eléctricas residenciales, y equipos electrodomésticos conectados a estos, así como los sistemas de iluminación dentro y fuera de la residencia.

Las aplicaciones térmicas abarcan los sistemas de calefacción, aire acondicionado y el calentamiento de agua que no se utiliza para cocción de alimentos.

La cocción de alimentos se separa del apartado de aplicaciones eléctricas y de aplicaciones térmicas porque representa la mayor proporción de demanda del recinto domiciliario.

El nivel de demanda de cada una de las categorías varía conforme a la región y situación socioeconómica del país (Ministerio de Energía y Minas, 2020).

Las técnicas y acciones por implementar para lograr niveles de eficiencia energética a nivel residencial se presentan a continuación

7.2.5.1. Normalización de instalaciones eléctricas en baja tensión

El primer paso para lograr un nivel de aprovechamiento de los recursos energéticos a nivel domiciliario es la normalización de las instalaciones eléctricas

mediante la implementación de normativas aprobadas por las entidades correspondientes, velando por garantizar la protección de la integridad física y la vida de los ocupantes del recinto, la protección de la integridad física y funcionalidad de los equipos residenciales y la reducción de fugas en el abastecimiento de energía eléctrica (Ministerio de Energía y Minas, 2020).

7.2.5.2. Identificación y promoción de productos etiquetados de eficiencia energética

En la actualidad, existen herramientas comerciales proporcionadas por los fabricantes, que consiste en implementar etiquetas de eficiencia energética, dichas etiquetas contienen información sobre los niveles de consumo energético propios del dispositivo y la eficiencia lograda en su uso. Este tipo de etiquetas, aunque no son obligatorias para el fabricante, requieren darse a conocer y ser familiarizadas con los usuarios finales para un mejor aprovechamiento (Ministerio de Energía y Minas, 2020).

7.2.5.3. Sensibilización de los usuarios residenciales sobre buenas prácticas

Las acciones necesarias para lograr un nivel de eficiencia energética a nivel domiciliario no son todas de índole técnica, y tampoco requieren todas de una inversión económica. Las acciones de eficiencia energética también contemplan las buenas prácticas desarrolladas por los usuarios en los espacios ocupacionales del recinto.

Dichas acciones, entre otras, son: mantener apagadas las luminarias en los ambientes y horarios que no son requeridos, mantener desconectados los electrodomésticos cuyo uso no es tan frecuente, migrar a tecnologías más

recientes cuando las antiguas requieran ser sustituidas (Ministerio de Energía y Minas, 2020).

7.3. Instrumentación eléctrica

En el campo de la ingeniería, y demás ciencias experimentales, la mayoría de las veces se hace necesario el uso de instrumentos. Estos no son más que una extensión de las facultades humanas que, mediante la interacción con un entorno físico, permite cuantificar una cantidad desconocida que, en primera instancia, no era posible mediante el uso de las facultades sensoriales humanas (Cooper & Helfrich, 1991).

Bajo esta definición, de forma general, se puede afirmar que un instrumento es un dispositivo útil para determinar el valor o magnitud de una cantidad o variable. Y de forma específica, un instrumento de medición eléctrico se define como un tipo de instrumento que es útil para cuantificar magnitudes resultantes de la interacción eléctrica en un entorno físico, tales como voltaje, corriente o resistencia.

7.3.1. Metrología

Se define a la metrología como la rama de la ciencia encargada del estudio de las mediciones, y sus aplicaciones, de forma teórica y experimental, mediante la creación de estándares conocidos como sistemas de unidades.

Creada durante la Convención del Metro, en el año, el ente regulador para el Sistema Internacional de Unidades (SI) es la Oficina de Pesas y Medidas Internacionales (BIPM), y nace como una institución intergubernamental, científica y permanente encargada de velar, entre otros, por el cumplimiento,

actualización y definición de las medidas pertenecientes al Sistema Internacional de Unidades (BIPM, 2018).

7.3.2. Tipos de instrumentos

Generalmente, se suele hacer una división entre los tipos de instrumentos en función de sus parámetros constructivos, funcionales u operatorios.

7.3.2.1. Instrumentos activos y pasivos

Esta clasificación hace referencia a la forma en la que la magnitud a medir interactúa con la salida del instrumento, siendo estas, de forma directa o indirecta.

Un instrumento pasivo es aquel donde dicha interacción es de forma directa, es decir, la salida es netamente el efecto causado por la magnitud a medir sobre el elemento medidor.

Un instrumento activo es aquel donde la interacción se produce de forma indirecta, es decir, la magnitud a medir modula una segunda magnitud, proveniente de una fuente externa de energía, resultando en una segunda magnitud medida que genera una salida en el instrumento.

Entre las ventajas que presenta un instrumento pasivo resaltan la simplicidad de uso, facilidad de calibración, el bajo costo y la durabilidad del instrumento a cambio de sacrificar parámetros como resolución. Mientras que en un instrumento activo destacan una mejor resolución y mayor confiabilidad en las mediciones, a cambio de un mayor costo de fabricación (Morris, 2002).

7.3.2.2. Instrumentos análogos y digitales

Esta clasificación, generalmente, es válida únicamente para instrumentos activos cuyo funcionamiento es de naturaleza eléctrica.

Un instrumento análogo es un instrumento cuya salida varía de forma continua cuando existen cambios en su entrada, es decir, posee valores infinitos, dentro de la escala soportada, para la magnitud medida.

Un instrumento digital es un instrumento cuya salida varía de forma discreta cuando existen cambios significativos en su entrada, es decir, posee valores finitos dentro de la escala soportada. Esto produce que los cambios en la salida del instrumento sean en forma de escalones consecutivos y equidistantes (Morris, 2002).

Esta clasificación toma importancia a medida que avanzan las tecnologías de microprocesadores y microcontroladores, permitiendo a los instrumentos dotes de procesamiento, manejo y almacenamiento de los datos medidos.

7.3.3. Características de los instrumentos

En el ámbito de la instrumentación eléctrica, todos los instrumentos empleados deberán cumplir una serie de características esenciales para ser considerados útiles y eficientes en su aplicación.

7.3.3.1. Exactitud y precisión

La exactitud se define como el grado de aproximación de una medición al valor real de la magnitud medida. Mientras que la precisión es el grado de

correspondencia entre un conjunto de mediciones iteradas por un instrumento, o un grupo de estos.

La exactitud se deriva en la conformidad, que es el grado de aceptación a una medida, y el número de cifras significativas que el dispositivo es capaz de emplear para la medición.

En muchos casos, la conformidad es necesaria pero la precisión no es suficiente por la falta de cifras significativas. De forma análoga, la precisión no es suficiente para afirmar la exactitud de una medida (Cooper & Helfrich, 1991).

7.3.3.2. Tolerancia

La tolerancia, que en gran sentido depende de la exactitud, se define como el valor máximo de error permitido entregado en una medición o en un valor esperado. A la vez, define el valor máximo de desviación permitido en un proceso iterado de manufacturación (Morris, 2002).

7.3.3.3. Escala

La escala se define como el rango de valores comprendidos entre el valor mínimo y máximo que un instrumento es capaz de medir (Morris, 2002).

7.3.3.4. Linealidad

La linealidad se define como la propiedad de un instrumento al variar su salida de forma proporcionalmente directa a la entrada en toda su escala. Una buena linealidad garantiza una mayor exactitud, especialmente en los valores cercanos al máximo y mínimo de la escala utilizada (Morris, 2002).

7.3.3.5. Umbral

El umbral se refiere al nivel mínimo que una variable física debe cambiar para que dicho cambio sea detectado por el instrumento, generalmente cuando la entrada de este se encuentra en cero (Morris, 2002).

7.3.3.6. Resolución

La resolución se refiere al cambio mínimo de la entrada que el instrumento es capaz de detectar para generar un cambio observable en la salida. Ligado a la exactitud de forma que, una mayor resolución garantiza una mayor cercanía al valor real medido (Morris, 2002).

7.3.3.7. Calibración

La calibración se refiere al proceso por el cual se gradúa un instrumento a través de la comparación directa con un segundo instrumento, cuyos parámetros son plenamente conocidos y que, generalmente, se utiliza únicamente para procesos de calibración.

La calibración se realiza mediante el ajuste o configuración de los elementos mecánicos, eléctricos, hidráulicos, o demás, del instrumento a modo de obtener los resultados esperados en su salida, en función de los valores de entrada aplicados (Morris, 2002).

El proceso de calibración resulta de suma importancia para salvaguardar la integridad de los datos medidos y, de esta forma, no alterar los resultados obtenidos de forma directa o indirecta en un proceso de investigación o experimentación.

7.3.4. Medición de voltaje

Definiendo al voltaje como la diferencia de potencial eléctrico entre dos regiones del espacio, o bien, como el trabajo, por unidad de carga, realizado por un campo eléctrico para desplazar dicha carga. A su unidad de medida se le denomina voltio.

A los instrumentos de medición que funcionan cuantificando los efectos producidos por la aplicación de una diferencia de potencial eléctrica entre sus terminales se les denomina voltímetros (Cooper & Helfrich, 1991).

7.3.4.1. Voltímetro electromecánico

Este tipo de voltímetro fue el primero en utilizarse y funciona por el principio de interacción entre cuerpos cargados que, en este caso, resultan en componentes mecánicos sometidos a cargas eléctricas.

Aunque existen varios tipos de voltímetros electromecánicos, los más conocidos son los que utilizan bobinas móviles, denominadas galvanómetros, que funcionan mediante los principios de inducción electromagnética (Morris, 2002).

El funcionamiento de estos voltímetros se basaba en una bobina de alambre fino suspendida en un campo magnético que produce un imán permanente, la bobina gira en el campo magnético cuando se hace circular una corriente sobre ella y, a la vez, la elasticidad del alambre ejerce un torque contrario al giro producido por el campo magnético creado, lo que devuelve la bobina a su estado inicial cuando la fuente de voltaje es retirada. Mediante la cuantificación del giro producido en la bobina se asocia un valor de voltaje a la

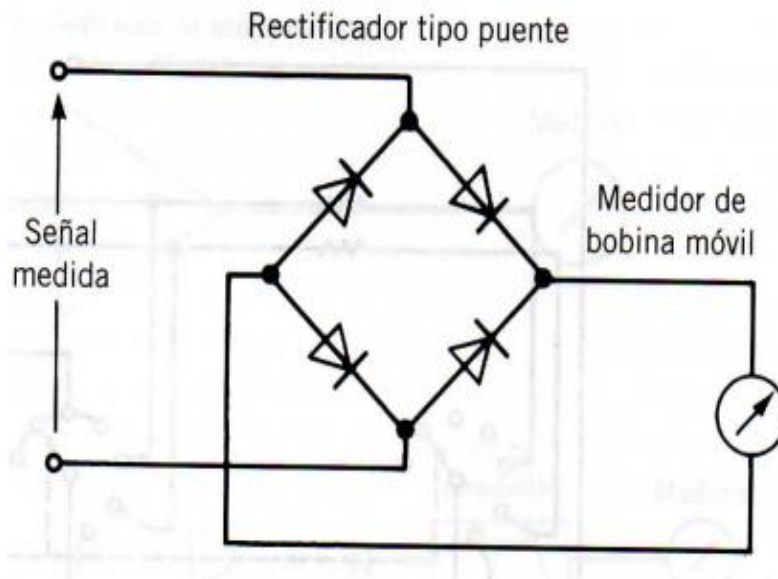
entrada haciendo uso de una escala previamente cuantificada (Cooper& Helfrich, 1991).

Cabe destacar que el análisis presentado anteriormente resulta útil para la medición de corriente directa, en caso se desee medir voltajes en corriente alterna, hará falta agregar una etapa de rectificación al circuito medidor

La figura 7 muestra un circuito eléctrico que emplea un galvanómetro para crear un voltímetro capaz de realizar mediciones de voltaje en corriente directa y alterna.

Figura 7.

Voltímetro electromecánico simple usando un galvanómetro



Nota. Diagrama esquemático de un voltímetro electromagnético simple utilizando un galvanómetro. Obtenido de A. Morris (2002). *Principios de mediciones e instrumentación.* (p.139). Pearson Educación

7.3.4.2. Voltímetro electrónico analógico

El voltímetro electrónico analógico se presenta como una variación del voltímetro electromecánico basado en el uso de un galvanómetro que, mediante la introducción de una etapa análoga de amplificación, permite la lectura de voltajes más pequeños y ofrece una mayor resolución en comparación con este primero.

Para la medición de voltaje en corriente alterna, se obtienen tres formas de medición, siendo la medición de valores picos, la medición de valores promedios y la medición de respuesta en voltaje equivalente RMS. En todos los casos anteriores se emplea una etapa de rectificación antes de la etapa de medición (Morris, 2002).

La figura 8 muestra el esquema de un voltímetro electrónico analógico simple.

Figura 8.

Voltímetro electrónico analógico simple



Nota. Diagrama esquemático de un voltímetro electrónico simple. Obtenido de A. Morris (2002). *Principios de mediciones e instrumentación.* (p.141). Pearson Educación

7.3.4.3. Voltímetro digital

El funcionamiento de un voltímetro digital se basa en el uso de circuitos electrónicos que convierten la entrada de voltaje análoga a valores digitales mediante técnicas de modulación análogo-digital (ADC).

En este tipo de voltímetros se ofrece la mayor exactitud, resolución y precisión, razón por la cual, y apoyados de los avances en desarrollo tecnológico, son los más utilizados a nivel industrial y académico.

Al igual que con las pasadas clasificaciones, se requiere de una etapa de rectificación previa para la medición de voltaje en corriente alterna.

7.3.5. Medición de corriente

Se define a la corriente como el flujo de cargas eléctricas a través de un material o región del espacio y, a la fuente de dichas cargas como fuente potencial. A su unidad de medida se le denomina amperio.

A los instrumentos de medición que funcionan cuantificando los efectos producidos por la aplicación de una corriente eléctrica a través de sus terminales se les denomina amperímetros (Cooper & Helfrich, 1991).

Para la medición de corriente se puede utilizar el voltímetro electromecánico simple de bobina móvil, pero con una conexión en serie al flujo de corriente en el sistema. Este tipo de amperímetro resulta útil para mediciones que van desde el orden de los miliamperios, hasta un amperio y, en caso de requerirse una escala mayor de medición, se puede agregar una resistencia de

derivación en paralelo a dicha bobina móvil, evitando así, la saturación de corriente sobre la misma (Morris, 2002).

7.4. Algoritmos

En el contexto del internet de las cosas, los algoritmos desempeñan un papel fundamental para lograr la automatización y la toma de decisiones inteligentes.

Los algoritmos dentro del IoT pueden variar en complejidad y funcionalidad, desde simples reglas de activación y desactivación de dispositivos hasta complejas rutinas de aprendizaje automático y análisis de datos.

7.4.1. Definición

Es el conjunto de operaciones que conllevan un orden sistemático y definido que, cuando se ejecutan, se obtiene un resultado determinado y preciso en un número finito de pasos (IEEE, 1990).

Esto afirma la idea de que, un algoritmo es un procedimiento establecido y preciso que, sin importar el número de veces que se ejecute, su resultado es específico y se logra en un número determinado de pasos. Además, la definición brindada por IEEE (1990) destaca la importancia de que el mismo sea ordenado y sistematizado para que el resultado obtenido sea lógico y esté dentro de lo esperado.

7.4.2. Algoritmos de control

Esta clasificación de algoritmos se utiliza en sistemas de control de tiempo real y hace referencia a aquellos procedimientos o rutinas que se utilizan para coordinar y sincronizar la ejecución de tareas y procesos en un sistema, con el objetivo de garantizar un óptimo rendimiento y correcto funcionamiento.

Estos algoritmos pueden ser utilizados para controlar el flujo de datos, la asignación de recursos, la planificación de tareas, la coordinación de procesos y la operación de dispositivos o equipos pertenecientes a dicho sistema para, de esta manera, influir en los resultados obtenidos de la operación en conjunto del sistema.

Estos algoritmos también se utilizan para coordinar la ejecución de procesos en sistemas complejos, y resultan de suma importancia para la coordinación y el control en tiempo real para garantizar un óptimo desempeño en sistemas complejos o de alta demanda (Laplante & Ovaska, 2018).

En resumen, los algoritmos de control se utilizan para garantizar que los procesos se ejecuten de manera correcta, en un orden preestablecido y con los recursos optimizados.

7.4.2.1. Algoritmos de control de energía

Los algoritmos de control de energía son utilizados en aplicaciones cuyo objetivo fundamental es la optimización del consumo energético en dispositivos o sistemas complejos. Estos permiten modificar el estado de funcionamiento del dispositivo o sistema, de manera controlada y adaptativa, para lograr un nivel de eficiencia de la energía que le es suministrada.

Entre los algoritmos de control de energía más utilizados son los algoritmos de control PID. Este tipo de control que basa su funcionamiento en una señal de retroalimentación se utiliza ampliamente a nivel industrial para controlar o regular el comportamiento de los sistemas dinámicos. Un controlador PID está formado por un controlador proporcional (P), uno integral (I) y un derivativo (D) que, mediante la combinación, ajustan la señal de control de salida y minimizan el error entre el valor deseado y el valor real obtenido.

7.4.2.2. Algoritmos de control predictivo

Se conoce como control predictivo, en el contexto de consumo energético, a la técnica utilizada comúnmente para la gestión de energía de una forma inteligente y con el objetivo de lograr un nivel de eficiencia energética y reducir costos de operación de dispositivos o sistemas complejos.

Su funcionamiento se basa en el uso de modelos matemáticos y estadísticos con datos recolectados a través de sensores, u otras fuentes, para posteriormente utilizar técnicas de aprendizaje automático y de esta forma predecir el comportamiento futuro del consumo energético del dispositivo o sistema a examinar, para anticipar mediante acciones de control y lograr los niveles de eficiencia requeridos por el usuario final.

7.4.3. Modelos matemáticos para la optimización

Para lograr una gestión eficiente de la energía se utilizan distintos modelos matemáticos que permiten la optimización del consumo energético, por ello, a continuación, se presentan algunos de los modelos matemáticos más comunes en aplicaciones de optimización.

7.4.3.1. Modelos de programación lineal

Se trata de modelos matemáticos utilizados para resolver problemas de optimización lineales en donde se busca maximizar o minimizar una función lineal sujeta a un conjunto de restricciones lineales. Se utilizan de forma amplia, en el contexto energético, para la gestión y planificación, programación de la producción y optimización de la energía eléctrica.

En términos simples, un modelo de programación lineal es una función lineal que representa un problema en el que se busca optimizar alguna variable sujeta a restricciones lineales. A la función lineal que se busca optimizar se le conoce como función objetivo (Bertsimas & Tsitsiklis, 1997).

En el contexto energético, los modelos de programación lineal pueden ser utilizados para optimizar el uso de la energía de dispositivos o sistemas. En este caso, la función objetivo deberá ser el costo de energía consumida y las restricciones podrían ser el límite de la capacidad máxima de los dispositivos y el tiempo máximo de operación de estos.

7.4.3.2. Modelos de regresión

Los modelos de regresión son utilizados para modelar la relación entre una variable dependiente y una, o más, variables independientes. Se trata de una técnica de análisis de datos que permite predecir el comportamiento de distintos fenómenos fuera de los intervalos de observación directa mediante el conocimiento de la tendencia dentro del intervalo de observación directa.

Existen distintos métodos de modelos de regresión, entre los que destacan los lineales, polinomiales, múltiples, no paramétricos y los exponenciales (Weisberg, 2014).

En el contexto energético, los modelos de regresión utilizan el principio de que el consumo energético depende de otros factores que pueden influir en el comportamiento de los dispositivos o sistemas, tales como la temperatura, humedad, iluminación o el uso de otro dispositivo. Estos modelos permiten cuantificar el nivel de alteración que cada factor presenta en el medio, lo que a su vez permite predecir su impacto en el consumo energético. De esta manera, se puede obtener una visión más completa del consumo energético y, por tanto, diseñar políticas y estrategias más efectivas para optimizar su uso.

7.4.4. Aprendizaje automático

Es una rama de la informática que nace de la construcción de algoritmos que permiten a los sistemas informáticos aprender y mejorar a través de la experiencia. Este tipo de algoritmos no se programan de forma explícita para una o más tareas específicas, sino que utilizan algoritmos que les permiten analizar datos y extraer patrones, esto con el objetivo de generar la capacidad en el sistema de tomar decisiones basadas en las experiencias pasadas y así mejorar su rendimiento con el tiempo, o en cada iteración del sistema.

El aprendizaje automático también se puede definir como el proceso de resolver un problema práctico mediante la recolección de datos y la construcción de algoritmos matemáticos o estadísticos basados en dicho conjunto de datos con el objetivo de dar solución al problema inicial a través de la iteración y la experimentación (Burkov, 2019).

Dentro del aprendizaje automático existen distintos tipos de aprendizaje, o entrenamiento, empleado por los algoritmos, entre los cuales Burkov (2019) destaca los siguientes.

7.4.4.1. Aprendizaje supervisado

Se define como el tipo de aprendizaje en el que se proporciona al modelo de aprendizaje una entrada, que puede ser cualquier tipo de dato, como una base de datos, una imagen, un audio o demás. El modelo de aprendizaje aprende a relacionar la entrada con la salida deseada mediante la construcción de una función matemática y haciendo un mapeo entre la entrada y la salida obtenida y, a la vez, este resultado se usa para predecir resultados futuros (Burkov, 2019).

Entre los algoritmos de aprendizaje supervisado, Burkov (2019) destaca la regresión lineal, regresión logística, los árboles de decisión, las redes neuronales y las máquinas de vectores de soporte.

En resumen, el aprendizaje supervisado se utiliza cuando se cuenta con los datos de entrada al sistema y la salida entrena un modelo de predicciones sobre las nuevas entradas.

7.4.4.2. Aprendizaje no supervisado

Es un tipo de aprendizaje automático donde no se proporciona ningún tipo de dato a la entrada del modelo durante las fases de entrenamiento, su funcionamiento se basa en aprender patrones o estructuras de los datos de la entrada por sí solo.

A diferencia del aprendizaje supervisado, donde sí se requiere de una entrada de datos para el entrenamiento, el aprendizaje no supervisado resulta más complejo ya que la respuesta no es del todo predecible en un inicio, razón por la cual se requiere de mayor tiempo de entrenamiento y atención en la fase de desarrollo del modelo para así garantizar el correcto funcionamiento de este (Burkov, 2019).

7.4.4.3. Aprendizaje por refuerzo

Se basa en el uso de un modelo experimental que interactúa con un ambiente y aprende a tomar decisiones mediante la retroalimentación otorgada haciendo uso de recompensas y castigos.

Este tipo de aprendizaje tiene la finalidad de encontrar un punto de equilibrio en el que el modelo maximiza sus recompensas en cada iteración del experimento. Para lograr dicho objetivo el modelo debe, de alguna forma, experimentar y explorar el ambiente en el que se encuentra y aprender qué acciones son las que traen mayor beneficio en cada situación. Al proceso se le conoce como exploración y explotación, y es la principal característica de este tipo de aprendizaje (Burkov, 2019).

A diferencia del aprendizaje supervisado y no supervisado, en este no existe un conjunto de datos de entrenamiento, en su lugar, el sistema interactúa con el entorno y de esta manera obtiene una señal que indica si su acción genera un beneficio o no. A partir de estas señales el modelo aprende a tomar decisiones (Sutton & Barto, 2015).

Este tipo de aprendizaje resulta ser de los más utilizados en una variedad de aplicaciones, como videojuegos, robótica, control de procesos y finanzas.

Entre los algoritmos por refuerzo más comunes, Burkov (2019) destaca *Q-Learning*, *SARSA* y *Actor-Critic*.

7.4.5. Redes neuronales

Se entienden como modelos matemáticos que se inspiran en la estructura y funcionamiento del cerebro humano. Consiste en una serie de capas de nodos que se interconectan y reciben entradas y realizan cálculos para producir una salida. Cada capa procesa la información y es trasladada para que sea más útil en la tarea de aprendizaje en cuestión. El aprendizaje de una red compuesta por neuronas se realiza mediante el ajuste de los denominados pesos de las conexiones entre los nodos, esto permite a la red adaptarse a los datos de entrada para el entrenamiento y mejorar la capacidad de la obtención de datos nuevos.

Las redes neuronales son utilizadas en un sinnúmero de aplicaciones, como el reconocimiento facial o de voz, procesamiento de imágenes, traducción automática y aplicaciones de seguridad como la detección de fraudes.

A medida que se desarrollan nuevas técnicas y modelos neuronales se han logrado avances significativos en muchos campos de aplicación, como la salud o las finanzas, esto ha llevado a una explosión de interés en el aprendizaje profundo y su implicación con las redes neuronales (Goodfellow, Bengio & Courville, 2016).

8. ÍNDICE PROPUESTO DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES

2. JUSTIFICACIÓN

3. ALCANCES

3.1. Resultados

3.2. Técnicos

3.3. Investigativos

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Internet de las cosas

4.1.1. Definición

4.1.2. Historia del internet de las cosas

4.1.2.1. Origen

4.1.2.2. Evolución

- 4.1.3. Principios de funcionamiento
- 4.1.4. Aplicaciones del internet de las cosas
 - 4.1.4.1. Entorno humano
 - 4.1.4.2. Hogares
 - 4.1.4.3. Espacios comerciales
 - 4.1.4.4. Oficinas
 - 4.1.4.5. Fábricas y entornos de producción
 - 4.1.4.6. Obras y entornos de producción a medida
 - 4.1.4.7. Vehículos
 - 4.1.4.8. Ciudades y entornos urbanos
 - 4.1.4.9. Exteriores
- 4.1.5. Modelos de comunicación
 - 4.1.5.1. Dispositivo a dispositivo
 - 4.1.5.2. Dispositivo a la nube
 - 4.1.5.3. Dispositivo a puerta de enlace
 - 4.1.5.4. Intercambio de datos a través del *back end*
- 4.2. Eficiencia energética
 - 4.2.1. Definición
 - 4.2.2. Objetivos de la eficiencia energética
 - 4.2.3. Beneficios de la eficiencia energética
 - 4.2.3.1. Económicos
 - 4.2.3.2. Sociales
 - 4.2.3.3. Tecnológicos
 - 4.2.3.4. Ambientales
 - 4.2.4. Regulación y legislación
 - 4.2.4.1. A nivel regional
 - 4.2.4.2. A nivel nacional

- 4.2.5. Eficiencia energética a nivel domiciliario
 - 4.2.5.1. Normalización de instalaciones eléctricas en baja tensión
 - 4.2.5.2. Identificación y promoción de productos etiquetados de eficiencia energética
 - 4.2.5.3. Sensibilización de los usuarios residenciales sobre buenas prácticas
- 4.3. Instrumentación eléctrica
 - 4.3.1. Metrología
 - 4.3.2. Tipos de instrumentos
 - 4.3.2.1. Instrumentos activos y pasivos
 - 4.3.2.2. Instrumentos análogos y digitales
 - 4.3.3. Características de los instrumentos
 - 4.3.3.1. Exactitud y precisión
 - 4.3.3.2. Tolerancia
 - 4.3.3.3. Escala
 - 4.3.3.4. Linealidad
 - 4.3.3.5. Umbral
 - 4.3.3.6. Resolución
 - 4.3.3.7. Calibración
 - 4.3.4. Medición de voltaje
 - 4.3.4.1. Voltímetro electromecánico
 - 4.3.4.2. Voltímetro electrónico analógico
 - 4.3.4.3. Voltímetro digital
 - 4.3.5. Medición de corriente
- 4.4. Algoritmos
 - 4.4.1. Definición
 - 4.4.2. Algoritmos de control

- 4.4.2.1. Algoritmos de control de energía
- 4.4.2.2. Algoritmos de control predictivo
- 4.4.3. Modelos matemáticos para la optimización
 - 4.4.3.1. Modelos de programación lineal
 - 4.4.3.2. Modelos de regresión
- 4.4.4. Aprendizaje automático
 - 4.4.4.1. Aprendizaje supervisado
 - 4.4.4.2. Aprendizaje no supervisado
 - 4.4.4.3. Aprendizaje por refuerzo
- 4.4.5. Redes neuronales

5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 5.1. Diseño y construcción del prototipo
 - 5.1.1. Definición de los requerimientos del prototipo
 - 5.1.2. Diseño del prototipo
 - 5.1.3. Construcción del prototipo
 - 5.1.4. Creación de aplicación web
 - 5.1.4.1. Infraestructura
 - 5.1.4.2. Diseño de aplicación
 - 5.1.4.3. Funcionamiento
 - 5.1.4.4. Creación de usuario
 - 5.1.5. Pruebas de laboratorio
 - 5.1.6. Validación de funcionamiento
 - 5.1.6.1. Medición de voltaje y corriente
 - 5.1.6.2. Control de dispositivos
 - 5.1.6.3. Conectividad
 - 5.1.6.4. Integración con aplicación web
 - 5.1.7. Presentación final de prototipo
- 5.2. Implementación del prototipo

- 5.2.1. Instalación
 - 5.2.1.1. Pruebas de funcionamiento
 - 5.2.1.2. Pruebas de conectividad
 - 5.2.1.3. Pruebas de integración con aplicación web
- 5.2.2. Recolección y análisis de datos
 - 5.2.2.1. Validación de datos
 - 5.2.2.2. Análisis exploratorio de datos
 - 5.2.2.3. Análisis depurativo de datos

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- 6.1. Medición del consumo energético en dispositivos del internet de las cosas
- 6.2. Optimización del consumo energético en dispositivos del internet de las cosas
- 6.3. Eficiencia del prototipo para medición y optimización del consumo energético en dispositivos del internet de las cosas
- 6.4. Análisis de futuras mejoras al diseño del prototipo para medición y optimización del consumo energético en dispositivos del internet de las cosas
- 6.5. Análisis de futuras mejoras a la operación del prototipo para medición y optimización del consumo energético en dispositivos del internet de las cosas

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo de estudio

El presente trabajo de investigación se plantea de tipo mixto, combinando tanto métodos cuantitativos como cualitativos. Esto permitirá medir el consumo energético de los dispositivos del internet de las cosas de una manera objetiva y precisa a través de instrumentación eléctrica, pero también permitirá conocer el impacto en la percepción y comportamiento de los usuarios en relación con el consumo energético en el ambiente domiciliar.

9.2. Diseño

Basándose en la naturaleza de los objetivos generales y específicos, se propone un diseño de investigación de tipo experimental, que se basa en la manipulación de una o más variables independientes para medir su efecto en las variables dependientes asociadas.

Para el caso en específico del trabajo de investigación presentado se busca manipular el estado de los dispositivos, en cuanto a su funcionamiento, haciendo uso de un prototipo y así medir el efecto logrado en el consumo energético de estos. Para ello se requiere la recolección de datos sobre consumo energético en dispositivos del internet de las cosas, mediante la medición directa usando instrumentación eléctrica, luego implementar el uso de algoritmos de control basados en modelos matemáticos y estadísticos y, por último, analizar los datos y resultados obtenidos.

Por otro lado, aunque parezca que el proceso de recolección de datos sobre consumo energético no se trata de un proceso experimental, por no manipularse los mismos, se requiere automatizar dicha recolección de datos, manipulando el estado de funcionamiento del mismo prototipo, por lo mismo, este procedimiento sí se considera de tipo experimental.

Por último, un diseño experimental permite verificar la eficacia del prototipo diseñado mediante la comparación directa del consumo energético de un dispositivo en específico, antes y después de su implementación.

9.3. Alcances

El presente trabajo de investigación se plantea con un alcance de tipo descriptivo, dado que se desea caracterizar el consumo energético de los dispositivos del internet de las cosas y, de una forma sistemática y detallada, describir el proceso de diseño y construcción de un prototipo capaz de medir y optimizar el consumo energético de estos dispositivos.

A la vez, se desea exponer y documentar el proceso de implementación del prototipo, enfocándose en la recolección y análisis de datos obtenidos y de los resultados logrados sobre el entorno de aplicación deseado, mismo que en esta investigación se limita al doméstico y a los dispositivos del internet de las cosas comúnmente utilizados en dicho entorno.

En la parte final de la implementación, el alcance de la investigación se tornará de tipo explicativa, porque se desea analizar y explicar los resultados obtenidos de la comparación directa de los resultados obtenidos antes y después de la implementación del prototipo, de esta forma determinar su eficacia y utilidad en un entorno real.

9.3.1. Perspectiva investigativa

- Definir los conceptos relacionados a la tecnología del internet de las cosas, así como su implementación a nivel domiciliario, los protocolos de comunicación utilizados, los beneficios de su uso cotidiano y demás conceptos aplicados durante el desarrollo de la implementación.
- Describir el proceso y la metodología utilizada en la investigación y desarrollo de prototipos capaces de funcionar bajo los conceptos de la tecnología del internet de las cosas.
- Presentar las ventajas de la implementación de sistemas basados en el internet de las cosas cuyo propósito se centra en la medición y optimización del consumo energético a nivel domiciliario.

9.3.2. Perspectiva técnica

- Plantear los modelos matemáticos y estadísticos para la toma de decisiones basados en los datos obtenidos del entorno domiciliario.
- Crear un algoritmo de control basados en los modelos matemáticos y estadísticos planteados.
- Diseñar un circuito electrónico digital, basado en un microcontrolador, capaz de contener y ejecutar el algoritmo de control creado, así como de almacenar los datos generados.
- Diseñar un circuito electrónico capaz de medir las variables eléctricas, como voltaje y corriente, que se suministran a un dispositivo en específico.

- Diseñar un circuito electrónico de potencia capaz de ejecutar las instrucciones de control para modificar el estado de funcionamiento de un dispositivo en específico.
- Integrar un módulo de acceso a la red que dote de conectividad hacia Internet al prototipo.
- Integrar el algoritmo y los circuitos electrónicos creados en un prototipo que cumpla con los requerimientos de funcionalidad y conectividad propios de la tecnología del internet de las cosas.
- Implementar e instalar los requerimientos necesarios para el funcionamiento de una aplicación web con la capacidad de conectividad hacia el prototipo diseñado.

9.3.3. Perspectiva de resultados

Prototipo de dispositivo electrónico basado en la tecnología del internet de las cosas, capaz de medir y optimizar el consumo eléctrico de dispositivos a nivel domiciliario. Dicho prototipo se presenta en dos formas:

- Enchufe inteligente

Enchufe instalable entre un tomacorriente convencional y la espiga de alimentación del dispositivo a controlar.

- Interruptor inteligente

Interruptor instalable en sustitución de cualquier interruptor convencional empotrado en pared.

En ambos casos mencionados anteriormente las funcionalidades son las siguientes:

- Medir de forma directa la potencia eléctrica suministrada al dispositivo eléctrico conectado.
- Encender, apagar o atenuar el funcionamiento del dispositivo controlado de forma manual o autónoma mediante la variación de la potencia eléctrica suministrada.
- Acceso a Internet a través de la red domiciliar para intercomunicación, envío y recepción de datos e instrucciones.
- Conectividad con aplicación *web* para la visualización de resultados, datos históricos y configuraciones del sistema.

Como resultado de la implementación, el usuario final del prototipo basado en el internet de las cosas puede:

- Automatizar y programar tareas cotidianas a través del prototipo haciendo uso de rutinas basadas en condiciones del entorno, como horario, temperatura o actividad.

- Obtener datos reales sobre el consumo eléctrico del dispositivo que se conecta al prototipo.
- Disminuir los costos de operación del dispositivo conectado al prototipo basado en el internet de las cosas.

9.4. Variables

En la tabla 1 se presentan las variables involucradas en el desarrollo de cada una de las fases del estudio a desarrollar.

Tabla 1.

Variables de estudio

Variables	Definición	Subvariables	Indicadores
Consumo energético	Se define como la cantidad de energía eléctrica consumida por un dispositivo durante su operación. Es la variable principal de la investigación, dado que lo que se busca es medir y optimizar.	<ul style="list-style-type: none"> ● Voltaje suministrado ● Corriente consumida ● Potencia ● Tiempo de uso ● Costo de la energía eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> ● Porcentaje de optimización ● Consumo por cada dispositivo ● Variación del consumo ● Costo por uso de cada dispositivo
Dispositivos	Hace referencia a los dispositivos que serán objeto de estudio en la investigación.	<ul style="list-style-type: none"> ● Tipo de dispositivo ● Potencia nominal ● Fabricante ● Vida útil ● Costo ● Configuración 	<ul style="list-style-type: none"> ● Cantidad de dispositivos ● Frecuencia de uso ● Finalidad del dispositivo ● Consumo promedio ● Tiempo de respuesta ● Nivel de seguridad

Continuación de la tabla 1.

Variab les	Definición	Subvariables	Indicadores
Estado del dispositivo	Se refiere al estado de funcionamiento del dispositivo, siendo este encendido, apagado o atenuado. Resulta importante para comprender la forma en que los usuarios interactúan con los dispositivos.	<ul style="list-style-type: none"> ● Tiempo encendido ● Tiempo apagado ● Porcentaje de atenuación 	<ul style="list-style-type: none"> ● Comportamiento del usuario ● Horario de uso de los dispositivos ● Cantidad de dispositivos por estado ● Número de fallos por dispositivo
Aplicación Web	La implementación de una aplicación web para la presentación y registro de los resultados obtenidos de la optimización del consumo energético es un elemento clave en la investigación. Se considera de tipo cualitativa	<ul style="list-style-type: none"> ● Funcionalidades ● Interfaz de usuario ● Accesibilidad ● Fiabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> ● Disponibilidad ● Estabilidad ● Capacidad de procesamiento y registro ● Rapidez

Nota. Listado de variables de estudio con subvariables e indicadores asociados. Elaboración propia, realizado con Excel.

9.5. Fases del estudio

Con el objetivo de lograr una comprensión exhaustiva de los aspectos clave de la investigación, se propone la división del estudio en cuatro fases distintas. Cada una de estas fases juega un papel fundamental en el desarrollo y ejecución de la investigación.

9.5.1. Fase 1: revisión de la literatura

Esta etapa se considera crucial, como en cualquier investigación, ya que permite identificar y recopilar información relevante sobre el tema de estudio en cuestión, que para este estudio se subdivide en: el internet de las cosas, optimización del consumo energético, instrumentación eléctrica y algoritmos de optimización.

Durante esta fase, la revisión de la literatura se centra en la recopilación y consulta de textos académicos, informes técnicos, documentos institucionales y oficiales, revistas y demás tipos de publicaciones científicas.

A la vez, en esta fase se deberá definir una estrategia para la búsqueda y recolección de la información siempre buscando clasificarla, en cuanto a utilidad y confiabilidad, para asegurarse de obtener la información más relevante y reciente en cada uno de los temas.

Una vez recopilada la información necesaria, se deberá realizar un análisis crítico buscando identificar las fortalezas y debilidades de cada subdivisión del estudio, luego, la información se debe sintetizar cuidando de destacar las tendencias que influyen en la noción de los resultados esperados.

9.5.2. Fase 2: diseño y construcción del prototipo

En esta fase de estudio se deberá diseñar y desarrollar el prototipo para medir y optimizar el consumo energético cumpliendo con los requerimientos que ayuden a lograr los objetivos de la investigación.

Para lograr un correcto diseño y construcción del prototipo, esta fase contempla las siguientes etapas:

- Definición de los requisitos del prototipo

Se deben definir los requisitos de funcionamiento y operación teniendo en cuenta los objetivos de la investigación y las necesidades a cubrir en cuanto a la medición y optimización del consumo energético. Esto incluye definir las características y especificaciones técnicas del prototipo. En esta etapa la información necesaria se recopila a través de observación, encuestas, entrevistas y análisis documental.

- Diseño del prototipo

Se debe diseñar el prototipo haciendo uso de los requisitos de funcionamiento definidos en la etapa anterior. Esto implica la selección de los componentes electrónicos necesarios para la medición de voltaje y corriente, microcontroladores, módulo de comunicación y los materiales constructivos del chasis que contendrá el prototipo finalizado. Se realizan los diagramas eléctricos y electrónicos de cada uno de los módulos y el diseño constructivo del chasis.

- Construcción del prototipo

Se realiza la construcción del circuito electrónico o eléctrico de cada uno de los módulos y se integran en uno solo. Se construye el chasis que contendrá al prototipo e integrando con el circuito electrónico construido anteriormente. Se programan los microcontroladores necesarios para lograr la comunicación y la integración de los algoritmos de control de dispositivos y de optimización del consumo energético

- Creación de la aplicación *web*

Involucra el desarrollo de una aplicación *web*, haciendo uso de una infraestructura como servicio en la nube, que permita al usuario monitorear y consultar el funcionamiento del prototipo. Esta etapa contempla el diseño de una interfaz gráfica de usuario, la creación de una base de datos para el almacenamiento de los registros, la implementación de los algoritmos de optimización y la configuración de seguridad de esta, así como la conectividad necesaria para su interacción con el prototipo

- Pruebas de laboratorio

En esta etapa se realizan las pruebas necesarias para determinar el funcionamiento individual de cada uno de los módulos del prototipo y la compatibilidad en conjunto, también se realizan las calibraciones necesarias y se verifica la conexión hacia la aplicación *web*.

9.5.3. Fase 3: implementación del prototipo, recolección y validación de datos

En esta fase se deberá implementar el prototipo en un entorno doméstico real y se recopilarán los datos necesarios para validar su eficacia y eficiencia en la medición y optimización del consumo energético.

Es de suma importancia tener a consideración las limitaciones y desafíos que implica el trabajar en un entorno real no controlado y, de esta manera, prevenir cualquier imprevisto que pudiera surgir durante el desarrollo de la fase para así no afectar los resultados finales de la investigación.

La fase de implementación del prototipo, recolección y validación de los datos se divide en las siguientes etapas:

- Instalación del prototipo

Una vez construido el prototipo se debe instalar en un entorno real. Se debe garantizar que el mismo se encuentre en un correcto funcionamiento y que su efecto sobre el dispositivo a controlar es el esperado, en cuanto a la manipulación del estado de funcionamiento, realizando pruebas de encendido, apagado y atenuado según corresponda.

- Recolección de datos

Una vez el prototipo se encuentre instalado y funcionando, se debe empezar a crear un registro de datos sobre consumo eléctrico, mediante la medición directa a través de los módulos dedicados del prototipo.

- Validación de los datos

Una vez recolectados los datos se debe realizar una validación para asegurarse de que son precisos y confiables. Se debe verificar la coherencia de los datos con los resultados esperados.

- Ajustes y mejoras

En caso de que los datos obtenidos no sean coherentes, o favorables para lograr los resultados esperados, se deberán realizar los ajustes en cuanto a calibración o condiciones de operación, para mejorar la calidad de los datos obtenidos.

En resumen, la fase de implementación del prototipo, recolección y validación de datos resulta de suma importancia para el cumplimiento del objetivo general de la investigación, razón por la cual se debe velar por la integridad de los datos obtenidos en dicha fase.

9.5.4. Fase 4: análisis de datos, presentación de resultados y conclusiones

En esta fase se deberá evaluar la eficacia del prototipo implementado mediante el análisis de los datos recolectados durante la fase anterior. Para ello, se lleva a cabo una interpretación objetiva de los resultados obtenidos a partir de la aplicación de técnicas estadísticas adecuadas.

Dado el enfoque descriptivo de la investigación, se hace necesario emplear técnicas de análisis estadístico descriptivo, como medidas de tendencia central, desviación estándar, análisis de varianza, correlación y regresión, según se requiera. Asimismo, se emplean técnicas estadísticas inferenciales para la validación de los objetivos planteados en la investigación.

Una vez realizado el análisis de los datos, se procede a la presentación de los resultados obtenidos de manera clara y concisa, en función de los objetivos de la investigación. Para ello, se sugiere la creación de tablas, gráficos y diagramas que permitan una fácil visualización de los resultados.

Finalmente, se deberá concluir sobre la eficacia del prototipo, en base a su desempeño y se discutirán los resultados obtenidos. Asimismo, se identifican las limitaciones sufridas durante la investigación y se propondrán direcciones futuras para el área de investigación abarcada.

9.6. Técnicas de recolección de información

Dada la naturaleza de la investigación, se sugiere utilizar una combinación de técnicas de recolección de información cuantitativa y cualitativa para obtener un panorama completo del estudio a realizar, estas se enumeran a continuación:

- **Medición directa**

Se utilizará principalmente para recolectar los datos sobre consumo energético de los dispositivos del internet de las cosas, haciendo uso de instrumentación eléctrica, tales como módulos capaces de medir voltaje y corriente, integrados en el mismo prototipo.

- **Encuestas**

Estas podrían utilizarse para obtener datos sobre las características de los dispositivos del internet de las cosas a nivel domiciliario, tales como las actitudes y percepciones de los usuarios con relación al consumo energético de sus dispositivos.

- **Entrevistas**

Las mismas pueden ser aplicadas sobre expertos en la materia y usuarios para obtener información más detallada sobre los patrones de uso de los dispositivos del internet de las cosas y los hábitos de consumo energético a nivel domiciliario.

- Observación

Puede ser utilizada para registrar de forma directa el comportamiento de los dispositivos del internet de las cosas, mediante la implementación de dispositivos externos que hagan las veces de observador, como cámaras o sensores instalados.

- Análisis documental

Deberá ser utilizada para examinar la documentación técnica, manuales y demás asociados a los dispositivos a controlar y sus modos de operación, para de esta forma perfeccionar la manera de optimizar su consumo.

- Experimentación controlada

Los mismos se proponen para, dentro de ambientes controlados, evaluar el impacto y la utilidad de diferentes técnicas de optimización y modos de consumo energético de los dispositivos.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para el análisis de los datos recopilados en las distintas fases de estudio se utilizarán las técnicas descritas a continuación:

- Diagramas de diseño

Para la presentación, de forma gráfica, de los resultados de las fases de diseño y construcción del prototipo, haciendo uso de diagramas de componentes para la descripción y funcionamiento, a nivel individual e integrado, de cada uno de los módulos que componen el prototipo. A la vez, mediante el uso de diagramas de flujo se propone la explicación del funcionamiento de los algoritmos de control de los dispositivos y de optimización de consumo energético de estos. Para ello se propone el uso del *software* Lucidchart.

- Análisis estadístico

- Descriptivo: para el análisis de los datos obtenidos en la fase de implementación, mediante el cálculo de la media, desviación estándar, covarianza y demás parámetros sobre las variables de tipo cuantitativo involucradas en el desarrollo de la investigación. Para ello se propone el uso del lenguaje de programación R.
- Inferencial: para realizar pruebas de hipótesis sobre los resultados obtenidos en cuanto a la optimización del consumo energético de los dispositivos, así como el análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existen diferencias significativas entre los resultados

obtenidos sobre distintos tipos de dispositivos. Por otro lado, análisis de regresión para predecir resultados sobre consumo energético a plazos de tiempo mayores a los observados de forma directa. A la vez, el uso de análisis de correlación para determinar el grado de dependencia entre grupos de variables involucradas en el desarrollo de la investigación. Para ello se propone el uso del *software* Minitab

- Análisis comparativo

Para la presentación, mediante tablas, de la comparativa de los datos obtenidos sobre consumo energético en los dispositivos antes y después de la implementación del prototipo. Para ello se propone el uso del *software* Excel.

- Gráficas

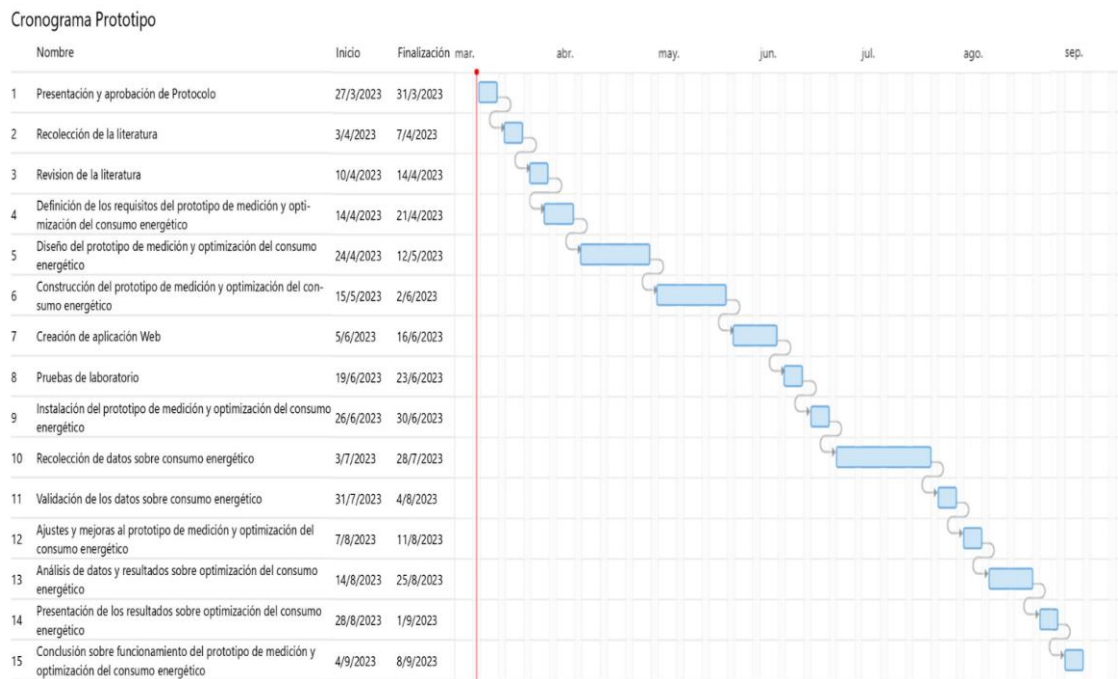
Para la presentación de los resultados intermedios y finales en el desarrollo de cada una de las fases de la investigación, estas serán gráficas de dispersión, de tendencia, de barras, histogramas y demás según lo requieran los datos o resultados que se desean presentar. Para ello se propone el uso del lenguaje de programación R y el uso de librerías como ggplot2.

11. CRONOGRAMA

En la figura 9 se presenta el cronograma de actividades a ejecutar durante el desarrollo de la investigación, el diseño e implementación del prototipo.

Tabla 2.

Cronograma de actividades



Nota. Tabla que presenta cronograma de actividades para el desarrollo de la investigación. Elaboración propia, realizado en Project.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

La correcta ejecución de la investigación requiere un análisis riguroso de su factibilidad en los aspectos operativos, técnicos y económicos. Es fundamental determinar si los recursos necesarios están disponibles y si las condiciones son propicias para llevar a cabo el estudio de manera efectiva y exitosa.

12.1. Factibilidad operativa

Para la factibilidad operativa se ha evaluado la disponibilidad del recurso humano necesario para el desarrollo de la presente investigación. Si bien su desarrollo concierne a un solo investigador, se ha considerado la preparación académica, capacitación extracurricular y la experiencia profesional en el diseño e implementación de prototipos.

También se contempla el asesoramiento, por parte de un profesional asignado especialista en el área de investigación, para el estudio y resolución de problemas complejos que pudieran surgir durante el desarrollo de la investigación.

Además, se dispone del ambiente domiciliario adecuado para la instalación y el funcionamiento del prototipo durante las fases de implementación y recolección de datos. Esto garantiza que el prototipo se ejecute en condiciones óptimas y que los resultados obtenidos sean precisos y fiables, sin verse afectados por factores externos que no hayan sido considerados en el diseño de investigación.

Por último, se contempla la posibilidad de fallos o interrupciones en la operación del prototipo y, por la naturaleza del ambiente domiciliario, se cuenta con acceso directo, sin necesidad de autorizaciones o trámite de permisos, en todo momento al prototipo para su reinicio, reconfiguración o calibración, según sea el caso.

En conclusión, se cuenta con los recursos necesarios para operar y llevar a cabo la investigación de una manera eficiente y eficaz.

12.2. Factibilidad técnica

Para la factibilidad técnica, se ha evaluado la disponibilidad de las herramientas e infraestructura necesarias para la construcción del prototipo. Se cuenta con el *software* necesario para el diseño y programación del prototipo, así como el necesario para simulación y diagramación de los circuitos electrónicos. También se cuenta con acceso a los componentes electrónicos necesarios para su construcción, los cuales se encuentran disponibles en el mercado local.

Sin embargo, no se cuenta con un laboratorio especializado para la realización de experimentos ni con el equipo de medición profesional necesario para los mismos, tales como osciloscopios, generadores de señales o infraestructura de red. A pesar de esto, existe la posibilidad de asistir a un laboratorio especializado para el desarrollo de la investigación en caso de requerirse mediciones específicas que no puedan ser realizadas con los recursos disponibles.

En conclusión, se considera que se cuenta con la factibilidad técnica necesaria para la realización de la investigación, aunque se requiere de la asistencia de laboratorios especializados en caso de necesitar pruebas más específicas o profesionales.

12.3. Factibilidad económica

Para la factibilidad económica se ha evaluado la disposición de los recursos económicos necesarios para el desarrollo de la investigación, el diseño e implementación del prototipo.

Los recursos económicos serán aportados por el investigador durante el desarrollo de la investigación, de acuerdo con la planificación y conforme sean necesarios. El monto total se distribuirá durante un periodo aproximado de seis meses, razón por la cual el monto total no representa una limitante para el desarrollo de la investigación. Para la correcta administración de los recursos económicos, en la tabla II, se presenta un presupuesto que contempla, de forma general y con un margen de error, los recursos económicos necesarios en cada una de las fases del desarrollo de la investigación.

Tabla 3.

Presupuesto para el desarrollo de la investigación

Recurso	Costo
Componentes electrónicos	Q. 1 000.00
Licencias de <i>software</i>	Q. 600.00
Servicios en la nube	Q. 200.00
Uso de laboratorios	Q. 300.00
Impresión de protocolo	Q. 400.00
Computadora	Q. 7,000.00
Asesoramiento	Q. 2,000.00
Total	Q. 11,500.00

Nota. Detalle del presupuesto para la realización de la investigación. Elaboración propia, realizado en Excel.

En conclusión, se considera que se cuenta con la factibilidad económica necesaria para el desarrollo de la investigación de forma efectiva y sin inconvenientes.

Luego de evaluar los factores operativos, técnicos y económicos para el desarrollo de la investigación destinada a la implementación de un prototipo capaz de medir y optimizar el consumo energético de dispositivos del internet de las cosas a nivel domiciliario, se puede concluir que existen las condiciones necesarias para realizar la investigación de manera factible y viable en el plazo establecido y con los recursos contemplados en el marco metodológico. La disponibilidad de conocimientos, herramientas e infraestructuras necesarias para el desarrollo del prototipo aumenta la probabilidad de éxito en los resultados, garantizando una ejecución eficiente y eficaz de la investigación.

13. REFERENCIAS

- Bertsimas, D., & Tsitsiklis, J. (1997). *Introduction to linear optimization* [Introducción a la optimización lineal]. Athenea Scientific.
- Burkov, A. (2019). *The Hundred-Page Machine Learning Book* [El libro de cien páginas sobre aprendizaje automático].
- Caro, D., Prieto, E., & Silva, M. (2015). *Caracterización de un sistema domótico para minimizar el consumo energético, basado en el internet de las cosas*. [Tesis de pregrado, Universidad Piloto de Colombia]. Archivo digital.
<http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/1061>
- Cooper, W., & Helfrich, A. (1991). *Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición*. Prentice-Hall Hispanoamericana.
- Escobar G., & Villazón, A. (2018). Sistema de monitoreo energético y control domótico basado en tecnología internet de las cosas. *Desarrollo e Investigación, Universidad Privada Boliviana*, 8(1) 103–116.
http://www.scielo.org.bo/pdf/riyd/v18n1/v18n1_a09.pdf
- Evans, D. (2011). *Internet de las cosas, Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo*. <http://audentia-gestion.fr/cisco/IoT/internet-of-things-iot-ibsg.pdf>

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning* [Aprendizaje profundo]. MIT press.

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (1990). *IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology* [Glosario estándar del IEEE de terminología de ingeniería de software]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/159342>

International Bureau of Weights and Measures. (2018). *Compendium des principales règles et pratiques applicables au BIPM* [Compendio de las principales normas y prácticas aplicables al BIPM]. <https://www.bipm.org/documents/20126/44107685/compendium-FR.pdf/1da38ec8-64a3-af87-03b8-b5cf4f05f898>

Internet Architecture Board. (2015). *Architectural Considerations in Smart Object Networking* [Aspectos arquitectónicos de las redes de objetos inteligentes]. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7452>

Internet Society. (2015). *The Internet of Things: An Overview. Understanding the Issues and Challenges of a More Connected World* [El internet de las cosas: Una visión general. Comprendiendo los problemas y retos de un mundo más conectado]. <https://www.internetsociety.org/resources/doc/2015/iot-overview/>

Jiménez, P., & Cabrera, J. (2020). Sistema de monitoreo remoto del consumo energético para hogares en la ciudad de Cuenca, basado en principios de IoT y servicios en la nube. *Polo del Conocimiento*, 5(51), 443-458. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7659382.pdf>

Laplante, P., & Ovaska, S. (2018). *Real-Time Systems Design and Analysis* [Diseño y análisis de sistemas en tiempo real]. Wiley.

McKinsey Global Institute. (2015). *The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype* [El internet de las cosas: más allá de la exageración].

https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/technology%20media%20and%20telecommunications/high%20tech/our%20insights/the%20internet%20of%20things%20the%20value%20of%20digitizing%20the%20physical%20world/unlocking_the_potential_of_the_internet_of

Ministerio de Energía y Minas. (2020). *Plan nacional de Eficiencia Energética 2019-2032*. <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/08.-Plan-Nacional-de-Eficiencia-Energetica.pdf>

Morris, A. (2002). *Principios de mediciones e instrumentación*. Pearson Educación.

NU. CEPAL. (2003). *Energías renovables y eficiencia energética en América Latina y el Caribe: restricciones y perspectivas*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6426/S039642_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y

NU. CEPAL. (2016). *Monitoreando la eficiencia energética en América Latina*. http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40505/S1600876_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- NU. CEPAL. (2023). *Base de Información de Eficiencia Energética*. <https://biee-cepal.enerdata.net/es/policymapper/energy-efficiency-programmes.html>
- Rohde & Schwarz. (marzo de 2023). *Medidas de consumo de energía en IoT*. https://www.rohde-schwarz.com/es/soluciones/test-and-measurement/wireless-communication/iot-m2m/iot-power-consumption-testing/tematica-de-medidas-de-consumo-de-energia-en-iot_233864.html
- Rosales, R., y Cifuentes, J. (2016). *Eficiencia energética*. Universidad de San Carlos de Guatemala. <https://core.ac.uk/reader/35294530>
- Soto, J. (2016). *Diseño de arquitectura para el control y monitoreo del consumo energético en hogares mediante una red de datos Zigbee*. *Cuaderno Activa*, 8(1), 143-151. <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/337/372>
- Sutton, R., & Barto, A. (2015). *Reinforcement Learning: An Introduction* [Aprendizaje por refuerzo: Introducción]. Bradford.
- Vega, J. (2020). *Sistema de información basado en el internet de las cosas (IOT) para mejorar la eficiencia energética en hogares y así contribuir a la reducción del impacto ambiental*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Archivo digital. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/15535>

Weisberg, S. (2014). *Applied Linear Regression* [Regresión lineal aplicada].
Wiley.