

ARTICLE HISTORY

Received 22 September 2022
Accepted 26 October 2022

Cristhian H. Bastidas Paz

Maestría en Electricidad
Pontificia Universidad Católica Del Ecuador
PUCESE
Esmeraldas, Ecuador
chbastidas@pucese.edu.ec

Héctor F. Chinchero Villacís

Maestría en Electricidad
Pontificia Universidad Católica Del Ecuador
PUCESE
Quito, Ecuador
hfchinchero@pucese.edu.ec

Sistema de Gestión de Energía para Edificios Inteligentes utilizando Generación Distribuida

Energy Management System for Smart Buildings using Distributed Generation

Sistema de Gestión de Energía para Edificios Inteligentes utilizando Generación Distribuida

Energy Management System for Smart Buildings using Distributed Generation

Cristhian H. Bastidas Paz

Maestría en Electricidad
Pontificia Universidad Católica Del
Ecuador PUCESE
Esmeraldas, Ecuador
chbastidas@pucese.edu.ec

Héctor F. Chinchero Villacís

Maestría en Electricidad
Pontificia Universidad Católica Del
Ecuador PUCESE
Quito, Ecuador
hfchinchero@pucese.edu.ec

Resumen— En este trabajo se presenta un sistema de gestión de energía para Edificios Inteligentes (EI) utilizando Generación Distribuida (GD). La propuesta permite reducir el consumo excesivo de energía que tienen los sistemas de iluminación, climatización y computación en el campus del edificio administrativo de la Universidad PUCESE. Se utiliza un sistema de control basado en el microcomputador raspberry, el cual permite establecer las condiciones de trabajo de manera autónoma. El sistema define un algoritmo de control basado en diferentes escenarios donde se determinan las reglas de energía para cada uno de los servicios del edificio. Como resultado, se reduce el consumo energético en un 50 % para cada uno de los sistemas, evidenciando una reducción en el pliego tarifario, y en la huella ecológica del edificio.

Palabras Clave— Generación Distribuida (GD), Edificio inteligente (EI), Microrredes, Sistema de Gestión de Energía.

Abstract— This paper presents an energy management system for Smart Buildings (SB) using Distributed Generation (DG). The proposal allows reducing the excessive energy consumption of lighting, air conditioning and computing systems at the campus of the administrative building at the University PUCESE. We employ a control system based on the raspberry microcomputer, which allows establishing the working conditions autonomously. The system defines a control algorithm based on different scenarios, where the energy rules for each of the building's services are determined. As a result, there is a 50 % reduction in energy consumption for each of the systems, evidencing a reduction in the energy bill and in the ecological footprint of the building.

Keywords— Distributed Generation (DG), Smart Building (SB), Microgrids, Energy Management System (EMS).

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento del consumo eléctrico a nivel mundial, ha generado mucho interés de investigación en el ámbito ambiental y tecnológico [1]. La generación de la energía para el consumo diario proviene de los combustibles fósiles, reacciones nucleares y grandes hidroeléctricas [2]. De este modo la energía convencional provoca diversos problemas ambientales como la contaminación del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) [2][3].

En la actualidad las tecnologías en microrredes superan las expectativas a nivel mundial entre los sectores gubernamentales, industriales y académicos, brindando diversos beneficios para la comunidad. Este es el caso de la confiabilidad, la eficiencia energética y la reducción de las emisiones de carbono [4]. Por otro lado, el transporte de la energía tiende a producir pérdidas a lo largo de su distribución. Como consecuencia, se requiere el uso de nuevos métodos de distribución a lo largo de la red, especialmente de los recursos distribuidos que se encuentran cerca al cliente [5]. De la misma forma, la penetración de recursos renovables se orienta a una energía más limpia, libre de las grandes centrales eléctricas, entregando una energía mejor interconectada [6].

En el mundo los edificios consumen un 40% de energía global [3][7]. Por consiguiente, los edificios residenciales son los responsables de un alto consumo de energía [7]. Al mismo tiempo dicho consumo de energía es uno de los principales problemas en la sociedad moderna. Un caso particular es el de los países desarrollados, que requieren el 31% y

35% de la generación de electricidad para el funcionamiento de edificios comerciales es Singapur y EE.UU respectivamente [8]. Dado el aumento de la población y urbanización mundial, se espera que estas cifras presenten un mayor crecimiento [8]. Ahora, para lograr la disminución del consumo excesivo de energía en estos edificios, las microrredes juegan un papel predominante, por lo que cada vez se van desarrollando nuevas soluciones de eficiencia energética en microrredes.

Las microrredes impulsan una estructura de flujo de energía distribuida [9]. La generación distribuida se desprende como un método de generación en apogeo [10]. De esta manera se convierte en un componente beneficioso a los consumidores por el bajo costo, la alta fiabilidad, calidad de energía y la eficiencia e independencia del suministro de energía [10].

La generación distribuida es un sistema de generación que permite a los recursos energéticos estar cerca de los consumidores. Sin embargo, este tipo de tecnología tiene relación a la producción de energía a pequeña escala [11]. El objetivo de esta generación es integrar energías limpias mediante el uso de tecnologías de control y comunicación. Por lo tanto, este tipo de red tiene como resultado un sistema inteligente, óptimo y amigable con el medio ambiente [12].

Se puede señalar que la generación distribuida comparte el criterio de reducir las pérdidas de la red, optimizar el perfil de voltaje y por ende ofrecer un respaldo de energía cuando ocurra un corte del suministro [13]. En todo caso, la implementación de la comunicación bidireccional y el flujo de energía a una red inteligente permite al consumidor la reducción de costos, baja de precios en tiempo real, y la oportunidad de venta de energía [14].

Es importante señalar que las microrredes en edificios pueden gestionar funciones de contingencia en la red, sobre todo las cargas locales se pueden respaldar por medio del control automatizado del sistema de gestión de energía del edificio [3][15]. De modo idéntico la optimización a nivel de distribución permite el equilibrio cuando existan picos de demanda energética y de esta manera es posible compensar la cantidad de generación necesaria en el consumo de cargas [6]. Por otro lado, un edificio está constituido por varios sistemas de consumo bien diferenciados, tal es el caso del sistema de iluminación, climatización, computación, entre otros [8]. Por esta razón, la necesidad de compensar el consumo en este tipo de sistemas, genera una amplia posibilidad de desarrollo de mecanismos para el control de

este tipo de consumo [3][8].

Las energías renovables responden a un recurso ilimitado y generación sostenible, sin embargo, la producción de electricidad no se puede controlar. Esta infraestructura requiere una generación dispersa y distribuida geográficamente [16]. Este tipo de energía se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables que son capaces de regenerarse por medios naturales como el sol, los vientos, volcanes, etc. [17].

Los sistemas de energía solar poseen celdas fotovoltaicas, que convierten la luz solar en energía eléctrica de manera sostenible, con un impacto mínimo en el ámbito ambiental [18]. El sistema solar está constituido por los paneles solares, un inversor que convierte la corriente continua en corriente alterna y baterías que se cargan por medio del panel fotovoltaico, el cual entrega el voltaje al inversor y puede suministrar energía al consumidor final [19].

Los sistemas de energía eólica convierten la fuerza del viento a energía mecánica por el movimiento de rotación de sus aspas. Por lo tanto, esta energía se convierte en eléctrica. Está constituido por aerogeneradores que transforman el movimiento del rotor mecánico a energía eléctrica, se puede acoplar sistemas rectificadores e inversores para mantener el flujo de energía [20].

El objetivo primordial de la gestión de energía es minimizar el consumo energético, así como reducir los costos de la energía eléctrica con un impacto menor en el medio ambiente. Por otro lado, se puede agregar un control a esta gestión para que interactúe con las respectivas cargas de manera óptima [21]. La gestión de energía en edificios utiliza la información del consumo de energía de los equipos, para implantar estrategias en el control ambiental y gestión de equipos. Este aspecto permite obtener una jerarquía de confort ante el usuario [22]. Una de las estrategias de la gestión es que los recursos renovables puedan satisfacer la demanda de carga en los edificios de una manera eficiente [23].

La generación distribuida en Ecuador se atribuye a varios paradigmas difíciles de procesar. Por otro lado, este tipo de generación proporciona un abanico de oportunidades a nivel del desarrollo técnico. Por lo tanto, existen proyectos en ejecución como se pueden destacar la generación solar, eólica, los medidores bidireccionales y electrolíneas, que proporcionan una estabilidad y progreso al sistema eléctrico de potencia [24].

Por parte de los medidores bidireccionales, se cuenta con una tecnología capaz de registrar el consumo energético. Si la energía no es consumida en su totalidad por el usuario, permite entregar esta energía al sistema eléctrico de potencia o a su vez vender dicho recurso. Este tipo de procedimiento tiene el respaldo en la resolución ARCONEL 042/18. También, en el caso de las electrolíneas en el Ecuador se tiene la oportunidad de contar con este tipo de proyecto, para proporcionar de energía a los vehículos eléctricos que existen en el país [25].

En este trabajo se presenta un prototipo de gestión de energía inteligente para optimizar el consumo generado por varios sistemas. Se utiliza la automatización de los sistemas para disminuir la actividad diaria usando energías renovables. Entre las fuentes utilizadas están la energía solar con paneles fotovoltaicos, fuente eólica y la red de baja tensión. Con estos elementos se consigue implementar metodologías de generación distribuida para determinar el momento de uso de los determinados sistemas. Este trabajo se realiza en base al campus de la Pontificia Universidad Católica Del Ecuador Sede En Esmeraldas en el edificio del área administrativa, que es el área de mayor consumo de energía.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera: En la Sección II presentamos los trabajos relacionados. La Sección III explica la metodología de investigación y la implementación de la propuesta. En la sección IV, se discuten los resultados obtenidos. Finalmente, las conclusiones de este trabajo se explican en la Sección V.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

Un primer estudio científico griego titulado "A Simulation Platform for Smart Microgrids in University Campuses", presentado por Elenkova M. et al. [26], propone una plataforma de simulación basada en una interfaz gráfica de usuario que permite el análisis de campus universitarios inteligentes, incorporando fuentes de energías renovables y redes inteligentes. Esta plataforma de simulación está constituida de distintos submodelos como son: el registro de perfiles de carga, una instalación fotovoltaica, sistema de almacenamiento de energía por batería, un sistema de gestión de energía de microrredes inteligentes y un análisis financiero. Una vez realizada la simulación se pudo comprobar la reducción de la demanda energética del campus en los meses de primavera y verano, donde la generación fotovoltaica es muy significativa y a su vez debido al control estratégico de cargas

en el edificio, concluyendo que esta plataforma de simulación propuesta facilita la integración de varios submodelos que constituyen a la estructura de consumo de energía del edificio y reduce la demanda energética del mismo. Este estudio contribuye al tema central de la investigación propuesta, en la reducción del consumo energético del edificio mediante el control de cargas específicas de manera inteligente y por medio de la introducción de fuentes de energías renovables como lo es la fotovoltaica.

La segunda investigación científica española titulada "Planning and Operational energy optimization solutions for Smart Buildings", presentado por Sembroiz D. et al. [27], pretende optimizar la energía en un edificio inteligente por medio de un modelo de red de sensores inalámbricos y solucionar los problemas de funcionamiento real del edificio según el comportamiento de sus ocupantes. Este modelo está constituido por dos secciones importantes. La primera se refiere a la colocación estratégica de distintos tipos de sensores para recopilar datos mediante la comunicación de puertas de enlaces. La segunda sección se destaca por establecer un modelo del comportamiento de los ocupantes por medio de una acción determinada de históricos por medio de escenarios reales, ya sea de tiempo, o de ocupación de las áreas donde el personal de trabajo del edificio se moviliza. Como resultado obtenido en la primera sección se considera un ahorro energético mediante la distribución de sensores en las áreas del edificio, los cuales transmiten datos de distintas variables para realizar la automatización de dichas instalaciones según sea la necesidad requerida por el usuario final. En la segunda sección, se tiene como resultado el encendido y apagado de la iluminación del edificio de manera autónoma cuando el ocupante ingrese o salga del área correspondiente. Así mismo, el sistema actúa en el control de los aires acondicionados para que la habitación esté a la temperatura deseada cuando lleguen los ocupantes y lo mantiene a un nivel adecuado según la temperatura ambiente. Concluyendo este modelo es capaz de identificar las ubicaciones óptimas para diferentes tipos de sensores y puertas de enlaces, optimizando el consumo de energía por medio de los comportamientos del usuario, y respondiendo como consecuencia de los mismos. El aporte de esta investigación a nuestro tema principal es en la ubicación de sensores estratégicamente en las áreas del edificio para una mejor identificación y acción de las variables a ejecutarse. A más de ello, influye en el control de escenarios de nuestra propuesta para la ejecución de acciones de los ocupantes del edificio.

Finalmente, en un tercer estudio científico de la India titulado "Real Time Energy Management System for Smart Buildings to Minimize the Electricity Bill", planteado por Chauhan R. et al. [28] se ejecuta una simulación de un sistema de gestión de consumo energético por medio de una microrred inteligente. Esta propuesta se basa tanto en la gestión de la fuente de energía como de la carga, priorizando al consumidor de operación de la misma en horas pico u horas regulares. Este modelo de simulación realiza un seguimiento del uso de la energía de electrodomésticos específicos. Además, los sensores de temperatura están instalados para determinar la temperatura de las áreas del edificio, así como sensores de proximidad para detectar el ingreso y salida de los ocupantes del mismo. Estos datos son recopilados por medio de una unidad terminal remota (RTU) para luego ingresarlos al sistema Scada y a un sistema fotovoltaico de respaldo para la fuente antes mencionada. El resultado que se obtiene en la simulación es que los sensores instalados ayudan al sistema fotovoltaico a compensar la energía de la red convencional por medio de la microrred instalada en el edificio, en donde se describen intervalos de horas durante el día de trabajo para el ingreso de la energía fotovoltaica sin necesidad de la otra fuente energética externa. Así, se genera una eficiencia energética con la operación de una energía renovable reduciendo el consumo del mismo. Se concluye que el modelo de simulación brinda flexibilidad en el control automático, y en la decisión de ejecutar la energía fotovoltaica según la demanda del consumo de energía para llegar a una eficiencia total energética. Este estudio científico se relaciona al tema de investigación en la implantación de una microrred con respaldo de energía fotovoltaica, en un escenario que comprende la energía convencional, y un sistema que realiza el control autónomo tanto en horas normales como en horas pico.

III. METODOLOGÍA E IMPLEMENTACIÓN

El presente estudio científico empleó una metodología de tipo analítica que consistió en tres fases:

1. Auditoría energética, que permite evaluar el consumo de los sistemas de energía que comprende la planta baja del edificio administrativo de la Pontificia Universidad Católica Sede Esmeraldas.
2. Automatización de las áreas del edificio con sensores de control, que permite reducir el consumo de las áreas de manera

eficiente.

3. Diseño de un sistema de control de gestión de energía acompañado del uso de energías renovables, que permite la compensación energética de la red eléctrica convencional por medio de un sistema de generación distribuida.

A. FASE I: AUDITORÍA ENERGÉTICA

Para la elaboración de la auditoría energética se utilizó la técnica de la observación, que consistió en visitar las instalaciones del edificio administrativo e inspeccionar los recursos eléctricos que lo constituyen. Se obtuvo un registro de 9 áreas distribuidas en la planta baja. Cada una de ellas conforman 3 sistemas para el funcionamiento del edificio como son: el de iluminación, climatización y de computación.

En la Figura 1 se observa el plano de las instalaciones del edificio administrativo donde se realizó el estudio y el registro de las áreas que lo constituyen.



Fig. 1. Plano de las instalaciones del edificio administrativo.

Una vez establecidos los sistemas de cada área, se procedió a realizar una ficha técnica de los consumos de cada uno de los elementos eléctricos.

En la Tabla I, se muestra esta ficha con los registros de potencia de trabajo según sus características técnicas y el tiempo de funcionamiento por horas diarias de cada uno de los elementos eléctricos que lo constituyen.

TABLA I. FICHA TÉCNICA DEL CONSUMO DEL EDIFICIO

Área del Edificio: Secretaría General					
Días	Dispositivos	Cantidad	Potencia [W]	Horas de Consumo [h]	T o t a l Consumo [Wh]
Lunes	Luces led	12	50	10	29700
	Aire Acondic.	2	1000	10	
	Computadoras	4	92	10	
	Luces led baño	1	20	1	
Martes	Luces led	12	50	10	29700
	Aire Acondic.	2	1000	10	
	Computadoras	4	92	10	
	Luces led baño	1	20	1	
Miércoles	Luces led	12	50	10	29700
	Aire Acondic.	2	1000	10	
	Computadoras	4	92	10	
	Luces led baño	1	20	1	
Jueves	Luces led	12	50	10	29700
	Aire Acondic.	2	1000	10	
	Computadoras	4	92	10	
	Luces led baño	1	20	1	
Viernes	Luces led	12	50	10	29700
	Aire Acondic.	2	1000	10	
	Computadoras	4	92	10	
	Luces led baño	1	20	1	
Sábado	Luces led	12	50	0	0
	Aire Acondic.	2	1000	0	
	Computadoras	4	92	0	
	Luces led baño	1	20	0	
Domingo	Luces led	12	50	0	0
	Aire Acondic.	2	1000	0	
	Computadoras	4	92	0	
	Luces led baño	1	20	0	
Consumo Semanal					148500

B. FASE II: AUTOMATIZACIÓN

Para poder reducir el consumo de cada área del edificio, se han establecido las operaciones de control para la automatización, según la necesidad de los usuarios.

Se propone la manipulación de los tres sistemas antes mencionados para reducir las horas de funcionamiento de cada uno de los elementos que los componen. Por lo tanto, se puede llegar a un nivel de ahorro energético, manteniendo los niveles de confort, mediante la implementación de un sistema de control superior a lo que se tenía antes de lo establecido en los servicios iniciales del edificio, como se observa en la Tabla II. Luego, se determinó los niveles de automatización correspondientes a cada sistema del edificio por medio del análisis de zonas de cobertura establecidas en los

puntos de mayor concurrencia por el usuario. También, para la elaboración de los niveles de automatización se estableció distintas condiciones: manual, automático, regulado y periódico, que también se describen en la Tabla II.

Se puede destacar que estos niveles de automatización se ejecutaron para las 9 áreas que conforman el edificio. Se ha obtenido una reducción de las horas de consumo por cada elemento eléctrico. De esta manera, por medio de la automatización se ha logrado obtener menos horas de uso progresivo de cada componente.

TABLA II. NIVELES DE AUTOMATIZACIÓN

Niveles de Automatización	Iluminación	Climatización	Computación
Control Manual	Encendido y apagado por interruptor.	Encendido, apagado y regulación por termostato de pared para la regulación del clima.	NA
Control Automático	Encendido y apagado automático por detección de presencia con sensor de movimiento.	Encendido y apagado automático por detección de presencia en función de la temperatura.	NA
Control Regulado	Regulación del nivel de iluminación por escena en función de luz exterior.	Regulación en función de la temperatura.	NA
Control Periódico	Encendido y apagado por programación horaria.	Encendido y apagado por programación horaria.	Programación horaria.
Control de abastecimiento eléctrico	NA	NA	Control de los circuitos. eléctricos de manera remota

C. FASE III: DISEÑO DEL SISTEMA DE GESTIÓN

Para establecer la operación del sistema de gestión se plantean los siguientes componentes:

1. Un plan de acción de mejora continua por medio de la norma ISO 50001.
2. Diagrama esquemático.
3. Descripción de escenarios.
4. Diagrama de flujo y Prototipo Final

1. Plan de acción de mejora continua

Este tipo de plan representa las políticas energéticas necesarias para cumplir con los

objetivos planteados, la finalidad es de mejorar el desempeño del edificio en los procesos energéticos. El objetivo sistemático de este plan es de reducir el consumo de energía por medio de procesos estandarizados según la norma ISO 50001 y el desarrollo sustentable del edificio.

Para cumplir con el ciclo de mejora continua se establece requisitos medulares que son: planificar, hacer, verificar y actuar. En la Tabla III ciclo PHVA, se observa a detalle este tipo de requisitos.

TABLA III. CICLO PHVA

Edificio Administrativo	
Planificar	Se realizó una auditoría energética y se verificó el comportamiento de cada área de consumo del edificio.
Hacer	Por medio de la automatización de las áreas del edificio.
Verificar	Con la ayuda del microcomputador se monitorea los procesos de gestión de la energía
Actuar	El sistema de gestión ofrece un balance energético con la ayuda de las energías renovables y la red convencional eléctrica.

2. Diagrama esquemático del sistema de gestión

El sistema de gestión de energía está constituido por 3 bloques principales para su ejecución, como se muestra en la Figura 2. El primer bloque es el tipo de fuente que se va a utilizar, el segundo es el sistema de control, y el tercero el edificio de estudio.

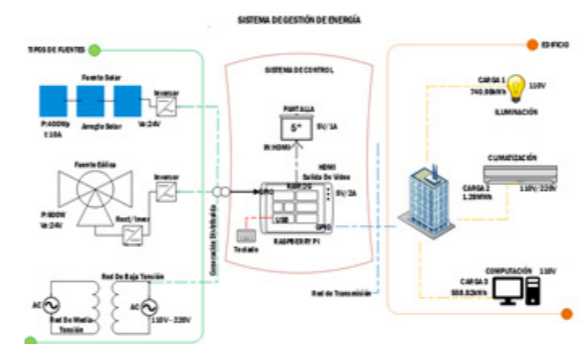


Fig. 2. Diagrama esquemático

El primer bloque está compuesto por las fuentes de energía, solar, eólica y red de baja tensión. Por otro lado, el bloque de control contiene un microcomputador Raspberry, que tiene en sus terminales de entradas y salidas los puertos GPIO con los cuales se gestiona los servicios de automatización. Para visualizar las acciones de este microcomputador se

tiene una pantalla de 5" para observar los comandos ejecutados. Este controlador se conecta a la red del edificio por medio de transmisión full dúplex. El tercer bloque está distribuido en tres sistemas correspondientes a la iluminación, climatización y computación con sus respectivas demandas de carga.

En los tipos de fuente se dispone una fuente solar que está constituida por un arreglo de paneles cuyas características son las siguientes: el panel es de tipo mono-cristalino de 72 células de 158mm, voltaje de operación 24V, corriente de potencia máxima 10.02A, potencia de 400Wp, eficiencia de 20.61%, dimensiones de 1980x1002x40mm, marca Eco Green Energy y vida útil de más de 25 años. En la fuente eólica se tiene un aerogenerador de la marca ZONHAN, que proporciona una potencia de 600W, con arranque desde vientos de 2.1m/s a una velocidad de potencia de 14m/s, voltaje de operación de 24V, 3 aspas en su rotor y de material de fibra de vidrio con aluminio.

La red de baja tensión tiene un voltaje de operación de 110V/220V según sea la demanda. El sistema de control es un microcomputador de desarrollo Raspberry pi 4B, con una memoria RAM de 2gb, procesador ARM cortex-A72, frecuencia de reloj 1.5Ghz, conectividad bluetooth 5.0, Wi-fi 802.11ac y gigabit ethernet 10/100. Dispone una alimentación de 5V/2A y sus puertos de entrada y salida por medio de los pines GPIO para su conexión. Utiliza un lenguaje de programación Python para la ejecución de las líneas de comandos del prototipo. En cuanto a las cargas del edificio se tiene tres tipos que son iluminación, climatización y computación. Con un consumo mensual por sistema de 740.98kWh, 1.28MWh y 558.82kWh respectivamente.

3. Descripción de escenarios

Para implementar el sistema de gestión de energía se elaboran distintos algoritmos de funciones que se traducen en escenarios de control para cada tipo de evento, sean estos diarios, semanal o una fecha programada específica. Cada área del edificio esta constituido por equipos eléctricos que cumplen una determinada función. En la investigación se determina las áreas de mayor consumo. Por lo tanto, se especifica los equipos eléctricos distribuidos en las 3 áreas de mayor consumo del edificio, como se indica en la Tabla IV:

TABLA IV. EQUIPOS ELÉCTRICOS

Áreas de mayor consumo	Equipos eléctricos
------------------------	--------------------

Secretaría general	-Luces led
	-Aires Acondic.
	-Computadoras
	-Luces led baño
Financiero	-Luces led
	-Aire Acondic.
	-Luz led bodega
	-Luz led baño
Sala de profesores	-Luces led
	-Aire Acondic.
	-Computadoras

Para la estimación de las reglas de energía del edificio se puede observar la composición de los diferentes escenarios, constituidos por los sistemas de iluminación, climatización y computación, donde cada sistema consume una demanda específica mensual de 740.98kWh, 1.280MWh y 558.824kWh respectivamente. Cada sistema ejecuta una operación de funcionamiento según sea la necesidad del escenario que se encuentre. Por lo tanto, estos escenarios constituyen el sistema de gestión de energía del edificio con su respectiva funcionalidad y operatividad para alcanzar la eficiencia energética esperada.

Para establecer el tipo de fuente de energía que va a satisfacer la demanda de cada sistema del edificio, se estableció en territorio, según los datos técnicos predeterminados, la energía renovable que cumple con las condiciones y normas específicas en la investigación, como se observa en la Tabla V.

TABLA V. CRITERIO DE DISCRIMINACIÓN DE FUENTE

Escenario por contexto amanecer	Tipo de fuente	Criterio de discriminación de fuente	Cumplimiento con la norma ISO 50001
Sistema de iluminación	Solar	Recurso solar alto. Consumo bajo.	Aplica
Sistema de climatización	Red de baja Tensión	Flujo constante. Nivel de potencia alto consumo.	Aplica
Sistema de computación	Eólica	Recurso viento alto (mayo-diciembre). Consumo medio.	Aplica

Por lo tanto, se describe cada uno de los escenarios que forman parte de las diferentes reglas de energía del edificio, que está constituido por el consumo mensual, el nivel

de operación, la función que ejecuta y el tipo de fuente que necesita para su funcionamiento. Ahora, se desarrollan los escenarios por contexto amanecer y atardecer, por contexto sueño, y por contexto vacaciones y feriados, como se observa en la Tabla VI, Tabla VII y Tabla VIII, respectivamente.

TABLA VI. CONTEXTO AMANECEER Y ATARDECER

Escenario Por Contexto Amanecer y Atardecer	Iluminación	Climatización	Computación
Consumo	740.98kWh	1.280MWh	558.824kWh
Operación	50%	30%	50%
Función	Iluminar pasillo de ingreso: 6 lámparas LED de 50W. Iluminar área de secretaria general: 12 luces LED de 50W.	Encender los aires acondicionado a un nivel de confort del 10% en el entorno de la secretaria general: 2.	Activar el circuito donde se encuentran las computadoras en el entorno de la secretaria general: 4 PC.
Función	Iluminar la oficina de financiero: 10 luces LED de 50W.	Encender los aires acondicionados a un nivel de confort del 20% en la oficina financiera: 2.	Activar el circuito donde se encuentran las computadoras de la oficina financiera: 15 PC.
Función	Iluminar el entorno de la sala de profesores y la de idiomas: 48 lámparas fluorescentes de 17W.	Encender los aires acondicionados a un nivel de confort del 25% en el entorno de la sala de profesores y de idiomas: 4	Activar el circuito donde se encuentran las computadoras en el entorno de la sala de profesores y de idiomas: 18 PC.
Tipo De Fuente	Solar	Red De Baja Tensión	Eólica
Backup	Eólica	Solar + Eólica	Red De Baja Tensión
Restricción	Si sucede algún evento no planificado desactivar todas las funciones según sea el caso		

TABLA VII. ESCENARIO POR CONTEXTO SUEÑO

Escenario Por Contexto Sueño	Iluminación	Climatización	Computación
Consumo	740.98kWh	1.280MWh	558.824kWh
Operación	30%	0%	0%

Función	Iluminar pasillo de ingreso: 4 lámparas LED de 50W.	-Apagar todos los sistemas de clima en todas las áreas.	-Apagar los circuitos de todas las áreas.
Función	Apagar las luces de todas las áreas.		
Tipo De Fuente	Solar	NA	NA
Backup	Eólica	NA	NA
Restricción	Si sucede algún evento no planificado desactivar todas las funciones según sea el caso		

TABLA VIII ESCENARIO POR CONTEXTO VACACIONES Y FERIADOS

Escenario Por Contexto Vacaciones y Feriados	Iluminación	Climatización	Computación
Consumo	740.98kWh	1.280MWh	558.824kWh
Operación	20%	0%	0%
Función	Iluminar el pasillo general: 4 luces LED de 50W, a partir de las 19:00PM	-Apagar todos los sistemas de clima en todas las áreas.	-Apagar los circuitos de todas las áreas.
Función	Iluminar el parqueadero: 4 luces LED de 100W.		
Tipo De Fuente	Solar	NA	NA
Backup	Eólica	NA	NA
Restricción	Si sucede algún evento no planificado desactivar todas las funciones según sea el caso		

4. Diagrama de flujo y Prototipo Final

El proceso del escenario por contexto amanecer se ejemplifica por medio de un diagrama de

flujo como se muestra en la Figura 3.

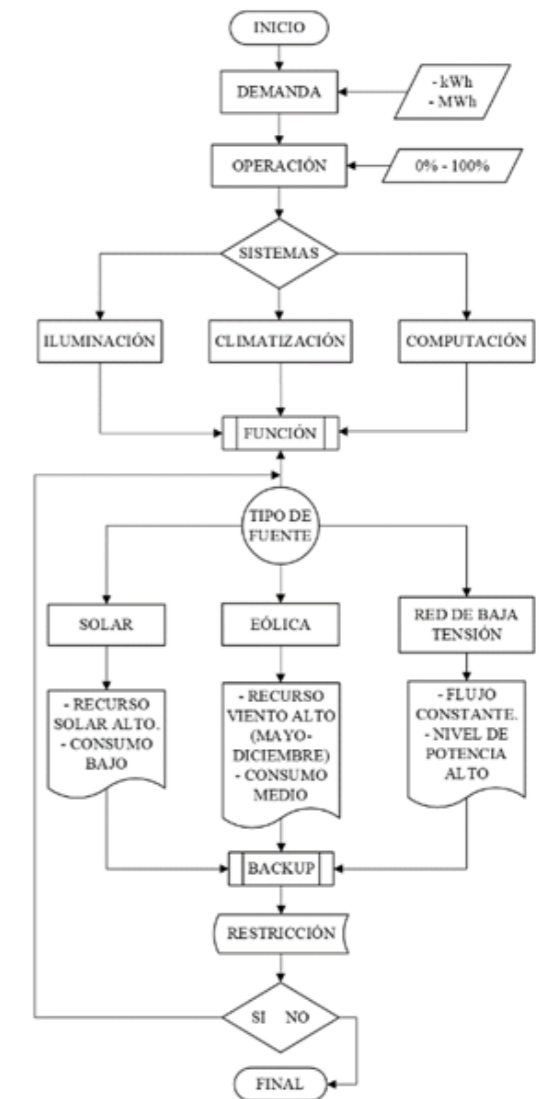


Fig. 3. Diagrama de flujo del escenario por contexto amanecer

Como primer paso se tiene el inicio del proceso, donde el escenario tiene una demanda medida en kWh y MWh. Por lo tanto, se necesita una operación del proceso que oscila de 0% al 100% según sea el caso. Se plantean los 3 sistemas que conforman el edificio: la iluminación, climatización y computación. Esto conlleva a realizar una determinada función en las áreas del edificio con la activación de órdenes específicas para cada sistema. El proceso contempla el uso de fuentes de energías renovables y convencionales según sea el caso de ejecución, si este tipo de fuente no llega a satisfacer la necesidad se tiene un respaldo que permite compensar la fuente de energía inicial con una de respaldo para operar con normalidad sin dejar de suministrar energía al edificio. En el caso de que por alguna razón

de lo planificado se presenta una restricción, el sistema debe regresar a ejecutar la función que sea necesaria para ese punto, caso contrario finaliza el proceso.

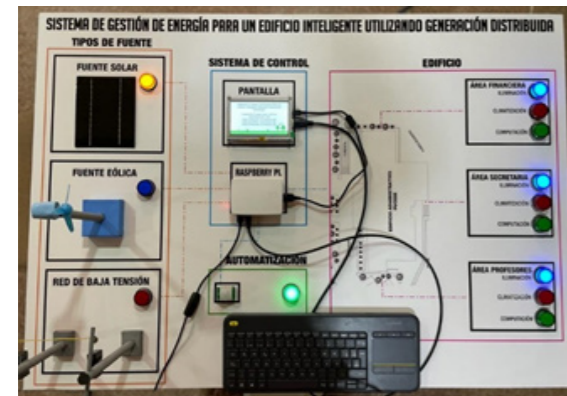


Fig. 4. Prototipo final

En la Figura 4 se puede observar el prototipo final de la investigación. El sistema está constituido por la red de baja tensión y dos tipos de fuentes renovables solar y eólica. El sistema de control por medio de un microcomputador raspberry y una pantalla para visualizar acciones. La etapa de automatización por medio de un sensor de movimiento y el edificio se representa por las tres áreas de mayor consumo, el área financiera, secretaría general y sala de profesores e idiomas, subdividida por sus sistemas de iluminación, climatización y computación.

Para este caso de ejemplo se tiene una de las reglas de energía planteada en el escenario por contexto amanecer. Se observa en la Figura 4, que el microcomputador ordena la activación de la fuente solar, siempre y cuando el sensor de movimiento detecte presencia. Por otro lado, activa los sistemas de iluminación para cada área del edificio según sea su demanda. Por lo tanto, esta acción la realiza para cada regla de energía. También, en la pantalla se puede visualizar el accionar del microcomputador, y las iteraciones que realiza por medio del sistema operativo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta investigación se pudieron determinar los resultados obtenidos para el área de mayor consumo de energía del edificio administrativo, la disminución del consumo energético y la reducción del pliego tarifario.

A. ÁREA DE MAYOR CONSUMO DEL EDIFICIO

Mediante la estimación teórica se determinó las tres áreas de mayor consumo del edificio administrativo, estas áreas son las de mayor consumo energético. Los equipos eléctricos que provocan este fenómeno deben implementar técnicas de ahorro de energía con ayuda de los servicios programados en el prototipo, con lo cual se logra disminuir un 50% del consumo inicial. A continuación, se presenta en la Figura 5 el resultado analítico gráfico del consumo mensual.

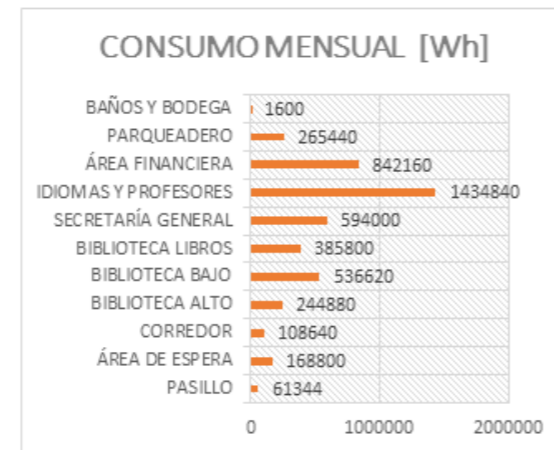


Fig. 5. Áreas de consumo mensual del edificio

En la Figura 5 se puede observar que las áreas de mayor consumo del edificio administrativo es la sala de idiomas y profesores con un consumo de 1.43MWh, seguido del área financiera con 842.16kWh y por último el área de secretaría general con 594kWh. Este tipo de consumo se produce porque estas áreas tienen una mayor cantidad de equipos eléctricos y sus consumos son elevados debido al tiempo de funcionamiento diario necesario. Según Elenkova [26], mediante el registro de los perfiles de carga por medio de la medición de la potencia de los equipos eléctricos se puede determinar en que área se encuentra el consumo máximo de energía; en este caso fue de los laboratorios. Con respecto al caso de estudio se tiene el mismo registro de cargas pero con una técnica diferente como lo es la ficha técnica de observación de cada equipo eléctrico para cada área de la edificación que determinaron que el área de mayor consumo es la sala de idiomas y profesores.

B. DISMINUCIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO

En la Figura 6 se observa el consumo inicial del edificio administrativo por medio de la ficha técnica. Se puede observar que el mayor causante del consumo excesivo de dichas áreas es el sistema de climatización con un

consumo de 635kWh, seguido del sistema de iluminación con 340kWh y por último el sistema de computación con 186kWh.

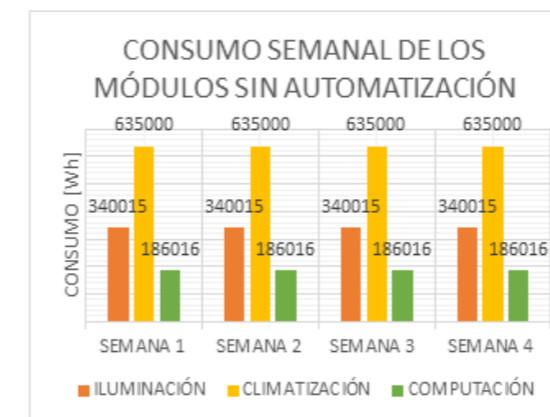


Fig. 6. Consumo inicial de energía del edificio

Como se puede ver en la Figura 6, los componentes del sistema de climatización provocan un pico elevado de potencia en la red eléctrica convencional. Por lo tanto, estos valores aportan sustancialmente al problema de consumo. El prototipo diseñado brinda una solución gestionando el consumo de la energía de manera óptima y eficiente de acuerdo al algoritmo propuesto por escenarios.

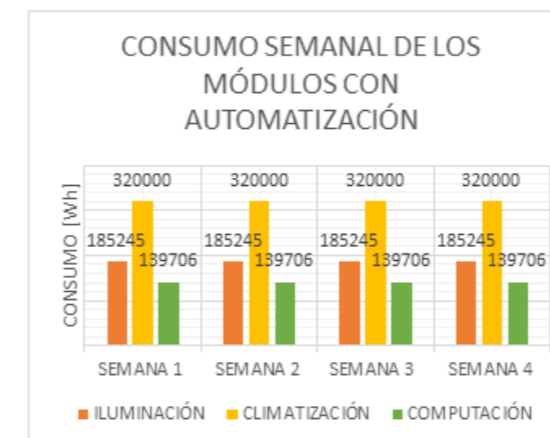


Fig. 7. Sistemas del edificio con automatización

Ahora, cuando entra en funcionamiento el sistema de automatización de las áreas del edificio con ayuda de los niveles de automatización, intervienen sensores preestablecidos para lograr disminuir los consumos de cada área como se observa en la Figura 7. El control se logra mediante el cambio del tiempo de trabajo en los equipos eléctricos, principalmente de los tres sistemas con mayor consumo excesivo.

Comparando la Figura 6 con la Figura 7, se

observa como los valores de los consumos semanales disminuyen de 635kWh a 320kWh en el sistema de climatización. Este tipo de reducción se debe gracias a la ayuda de la automatización de los equipos que permiten al usuario disponer de un nivel de confort establecidos por las operaciones de control programadas.

Analizando estos resultados se puede afirmar una reducción de consumo energético conseguida con el prototipo propuesto. De hecho, se obtiene un equilibrio energético y una eficiencia sostenible en las áreas del edificio, haciéndolo ecoamigable. Sembroiz [27] proporciona un sistema estratégico de colocación de sensores según la movilidad de los usuarios dentro de un edificio, el cual genera un ahorro energético de apenas 20% en el sistema de iluminación del mismo. Similarmente, en este trabajo, se obtiene una técnica de colocación de sensores de movimiento, pero en los ingresos de cada área del edificio. Esto permite controlar el acceso del usuario al momento de ingresar en dicha área, activando los sensores de temperatura que controlan la activación de los aires acondicionados, permitiendo una disminución del consumo energético del 50%.

C. REDUCCIÓN DEL PLIEGO TARIFARIO Y MENOR HUELLA ECOLÓGICA

Se ha demostrado que con la ayuda de las energías renovables, y el uso de generación distribuida se puede compensar el pliego tarifario que se paga en la factura del consumo eléctrico. Por medio de las reglas de control establecidos en la metodología por escenarios, se logró compensar el uso de la energía convencional eléctrica, para que entre en funcionamiento la renovable que no tiene ningún costo por generación. De esta manera, el sistema ayuda a disminuir la huella ecológica puesto que el uso constante de energía renovable aporta en contaminar menos el medio ambiente, así como tener menos dependencia de la red de baja tensión.

Por otro lado, este prototipo ejecuta acciones específicas según el algoritmo de control. Establece qué tipo de fuente de energía se debe usar y qué sistema debe accionar.

Adicionalmente, se ha encontrado que el respaldo de energía implementado puede ser capaz de compensar la demanda de los sistemas. Al revisar los costos asociados al consumo original del edificio y del consumo del mismo con el sistema propuesto en este trabajo, se determina que el sistema permite

obtener un ahorro económico en el consumo total del edificio.

El sistema de gestión de energía propuesto por Chauhan [28], se basa en la demanda en horas pico de consumo por medio de una simulación, obteniendo una disminución en la tarifa eléctrica mensual. En la práctica, en nuestro estudio se tiene el mismo sistema de gestión de energía pero implementado en un microcomputador tipo raspberry pi 4, que ejecuta las opciones de control en horas pico de consumo, intercalando las energías convencionales y renovables de acuerdo a la demanda, y así disminuir el pliego tarifario.

V. CONCLUSIONES

Con esta investigación se propone un sistema de control de energía óptimo con la finalidad de reducir el consumo que generan los sistemas de iluminación y climatización en el edificio, que son los principales actores del consumo eléctrico.

En este estudio se ha determinado que las áreas de mayor consumo son la sala de idiomas y profesores con un consumo mayor de 1MWh, seguido del área financiera con un consumo mayor de 800kWh y por último el área de secretaría general con un consumo mayor de 500kWh.

El prototipo propuesto controla el sistema de gestión de energía del edificio administrativo por medio de un microcomputador raspberry. Por otro lado, con la ayuda de varios sensores electrónicos se aporta con la automatización de las áreas del edificio. De esta manera, el sistema de gestión ejecuta acciones de compensación en el escenario por contexto amanecer. En el estudio se pudo evidenciar la reducción del 50% de los consumos iniciales por parte de cada área del edificio en los 3 sistemas de análisis establecidos, como es el de iluminación, climatización y computación.

El pliego tarifario es un aspecto muy importante a la hora de establecer los consumos diarios por parte de los usuarios. Por lo tanto, por medio de la utilización de las energías renovables y del algoritmo implementado en el microcomputador, se ha conseguido reducir dicha tarifa de consumo. El prototipo implementado pudo establecer la reducción del pago en la planilla de consumo energético mensual del edificio.

El algoritmo propuesto en el estudio corresponde al escenario por contexto amanecer, el cual ejecuta reglas de control

a los distintos servicios del edificio. Por lo tanto, establece una eficiencia energética al funcionamiento de los recursos eléctricos y brinda un respaldo distribuido a los tipos de fuente que alimentan al edificio.

Este trabajo es un aporte importante en el ámbito de la generación distribuida, el cual plantea alternativas y oportunidades muy prometedoras en términos de eficiencia, sostenibilidad y estabilidad energética en los edificios, más aún considerando el creciente interés de desarrollo de la generación distribuida por parte de CELEC en el Ecuador.

REFERENCIAS

- [1] G. Chen, F. L. Lewis, E. N. Feng, y Y. Song, «Distributed Optimal Active Power Control of Multiple Generation Systems», *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 62, n.o 11, pp. 7079-7090, nov. 2015, doi: 10.1109/TIE.2015.2431631.
- [2] W. Jian y C. Dongying, «Distributed Control of Power Generation System», en 2012 International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring, Zhangjiajie, Hunan, China, mar. 2012, pp. 253-256. doi: 10.1109/CDCIEM.2012.66.
- [3] H. F. Chinchero y J. M. Alonso, «A Review on Energy Management Methodologies for LED Lighting Systems in Smart Buildings», en 2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Madrid, Spain, jun. 2020, pp. 1-6. doi: 10.1109/EEEIC/ICPSEurope49358.2020.9160796.
- [4] M. Hong, X. Yu, N.-P. Yu, y K. A. Loparo, «An Energy Scheduling Algorithm Supporting Power Quality Management in Commercial Building Microgrids», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, n.o 2, pp. 1044-1056, mar. 2016, doi: 10.1109/TSG.2014.2379582.
- [5] J. Xavier Serrano Guerrero y G. Escriva, «Simulation Model for Energy Integration of Distributed Resources in Buildings», *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 13, n.o 1, pp. 166-171, ene. 2015, doi: 10.1109/TLA.2015.7040644.

- [6] T. Wang, D. O'Neill, y H. Kamath, «Dynamic Control and Optimization of Distributed Energy Resources in a Microgrid», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 6, n.o 6, pp. 2884-2894, nov. 2015, doi: 10.1109/TSG.2015.2430286.
- [7] E. Rezaei y H. Dagdougui, «Optimal Real-Time Energy Management in Apartment Building Integrating Microgrid With Multizone HVAC Control», *IEEE Trans. Ind. Inform.*, vol. 16, n.o 11, pp. 6848-6856, nov. 2020, doi: 10.1109/TII.2020.2972803.
- [8] Q. D. La, Y. W. E. Chan, y B.-H. Soong, «Power Management of Intelligent Buildings Facilitated by Smart Grid: A Market Approach», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 7, n.o 3, pp. 1389-1400, may 2016, doi: 10.1109/TSG.2015.2477852.
- [9] G. Chen, F. L. Lewis, E. N. Feng, y Y. Song, «Distributed Optimal Active Power Control of Multiple Generation Systems», *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 62, n.o 11, pp. 7079-7090, nov. 2015, doi: 10.1109/TIE.2015.2431631.
- [10] Z. Kai, L. Kexue, Y. Naipeng, J. Yuhong, L. Wenjun, y Q. Lihan, «The impact of distributed generation and its parallel operation on distribution power grid», en 2015 5th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), Changsha, China, nov. 2015, pp. 2041-2045. doi: 10.1109/DRPT.2015.7432575.
- [11] M. Rodríguez Gámez, A. Vázquez Pérez, W. M. A. Saltos Arauz, y J. Ramos Guardarrama, «El Potencial Solar y la Generación Distribuida en la Provincia de Manabí en el Ecuador», *Rev. Investig. En Energ. Medio Ambiente Tecnol. RIEMAT ISSN 2588-0721*, vol. 2, n.o 2, p. 41, dic. 2017, doi: 10.33936/riemat.v2i2.1143.
- [12] E. E. Gaona García, C. L. Rodríguez Trujillo, y H. E. Rojas Cubides, «Infraestructura De Comunicaciones En Microrredes Eléctricas», *Redes Ing.*, vol. 5, n.o 2, p. 28, nov. 2014, doi: 10.14483/2248762X.8044.
- [13] Y. Tan y Z. Wang, «Incorporating Unbalanced Operation Constraints of Three-Phase Distributed Generation», *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 34, n.o 3, pp. 2449-2452, may 2019, doi: 10.1109/TPWRS.2019.2895559.
- [14] S. Kahrobaee, S. Asgarpoor, y W. Qiao, «Optimum Sizing of Distributed Generation and Storage Capacity in Smart Households», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, n.o 4, pp. 1791-1801, dic. 2013, doi: 10.1109/TSG.2013.2278783.
- [15] F. Gonzalez-Espin, V. Valdivia, D. Hogan, D. Diaz, y R. F. Foley, «Operating modes of a commercial and industrial building microgrid with electrical generation and storage», en 2014 IEEE 5th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), Galway, Ireland, jun. 2014, pp. 1-5. doi: 10.1109/PEDG.2014.6878647.
- [16] P. De Mergelina González-Santander y I. Lemus-Aguilar, «Current Innovation Sources Driving The Spanish Electric Power Sector», *Ing. E Investig.*, vol. 41, n.o 3, p. e85377, may 2021, doi: 10.15446/ing.investig.v41n3.85377.
- [17] P. Primo y M. Chiappe, «Renewable energies as tools for rural development», *Agrociencia Urug.*, vol. 4, n.o 20, oct. 2020, doi: 10.31285/AGRO.24.119.
- [18] L. V. Bender, R. K. Leitzke, J. R. de Freitas, E. G. da Cunha, y I. T. Salamoni, «Estudo da paridade econômica e do desempenho energético de fachadas solares fotovoltaicas no extremo sul do Brasil», *Ambiente Construído*, vol. 20, n.o 4, pp. 489-508, dic. 2020, doi: 10.1590/s1678-86212020000400484.
- [19] J. Steyl y V. S. S. Yadavalli, «Minimising Electricity Costs By Developing An Effective Combination Of Alternative Energy Sources», *South Afr. J. Ind. Eng.*, vol. 31, n.o 4, dic. 2020, doi: 10.7166/31-4-2328.
- [20] J. D. Araya Rodríguez, J. J. Rojas, y G. Richmond-Navarro, «Integración de un sistema de almacenamiento de energía en un parque eólico, estudio de caso», *Rev. Tecnol. En Marcha*, ago. 2022, doi: 10.18845/tm.v35i7.6333.
- [21] D. Madathil et al., «An Energy Management Control Strategy for Efficient Scheduling of Domestic Appliances in Residential Buildings», en 2019 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT), Vellore, India, mar. 2019, pp. 1-6. doi: 10.1109/i-PACT44901.2019.8960067.

- [22] Y.-H. Lo y H.-C. Yang, «Establishment of cloud energy management evaluation framework of campus buildings», en 2018 IEEE International Conference on Applied System Invention (ICASI), Chiba, abr. 2018, pp. 78-81. doi: 10.1109/ICASI.2018.8394381.
- [23] A. M. Al-Ghaili, H. Kasim, N. M. Al-Hada, B. N. Jorgensen, M. Othman, y J. Wang, «Energy Management Systems and Strategies in Buildings Sector: A Scoping Review», IEEE Access, vol. 9, pp. 63790-63813, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3075485.
- [24] S. Chamba, W. Vargas, D. Echeverría, y J. Riofrio, «Regulación Primaria de Frecuencia Mediante Sistemas de Almacenamiento de Energía con Baterías en el Sistema Eléctrico Ecuatoriano», Rev. Téc. Energ., vol. 19, n.o 1, pp. 13-21, jul. 2022, doi: 10.37116/revistaenergia.v19.n1.2022.506.
- [25] L. F. Tipán y J. A. Rumipamba, «Medidor Inteligente de Energía Eléctrica utilizando la Tarjeta Electrónica Raspberry Pi», Rev. Téc. Energ., vol. 14, n.o 1, ene. 2018, doi: 10.37116/revistaenergia.v14.n1.2018.165.
- [26] M. Z. Elenkova, T. A. Papadopoulos, A. I. Psarra, y A. A. Chatzimichail, «A simulation platform for smart microgrids in university campuses», en 2017 52nd International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Heraklion, ago. 2017, pp. 1-6. doi: 10.1109/UPEC.2017.8231998.
- [27] D. Sembroiz, D. Careglio, S. Ricciardi, y U. Fiore, «Planning and operational energy optimization solutions for smart buildings», Inf. Sci., vol. 476, pp. 439-452, feb. 2019, doi: 10.1016/j.ins.2018.06.003.
- [28] R. K. Chauhan, B. S. Rajpurohit, L. Wang, F. M. G. Longatt, y S. N. Singh, «Real Time Energy Management System for Smart Buildings to Minimize the Electricity Bill», International J. Emerg. Electr. Power Syst., vol. 18, n.o 3, p. 15, 2017, doi: 10.1515/ijeeps-2016-0238.

AUTHORS



Cristhian Bastidas

Cristhian H. Bastidas Paz, graduado en Ingeniería Electrónica Digital y Telecomunicaciones por la Universidad Tecnológica Israel (2014), y Máster en Electricidad Mención Energías Renovables y Eficiencia Energética en la Pontificia Universidad Católica Del Ecuador Sede Esmeraldas (2022). Investigador en los sistemas de Televisión de última generación. Actualmente propietario del servicio técnico Audhiovision en la ciudad de Esmeraldas.



Héctor Chinchero

Héctor F. Chinchero, graduado en Ingeniería Electrónica, Automatización y Control por la Universidad de las Fuerzas Armadas de Ecuador (ESPE) en 2003 y Máster en Domótica y Hogar Digital por la Universidad Politécnica de Madrid en 2005, España. Realizó el Doctorado en Energía y Control de Procesos en la Universidad de Oviedo, España. Actualmente es investigador Post Doctoral en la Universidad de Oviedo dentro del Grupo de Investigación en Conversión Eficiente de Energía, Electrónica Industrial e Iluminación (CE3I2). También es director de I+D+i en CINTELAM Campos Inteligentes de América Cia. Ltda y Docente del Programa de Maestría en Electricidad de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador PUCE Sede Esmeraldas. Sus áreas de interés en investigación son sistemas de conversión de energía, sistemas de iluminación LED, domótica, inmótica y entornos inteligentes.