

Design and Implementation of an Energy Management System Focused on the Control of Devices and Lights

Diseño e Implementación de un Sistema de Gestión de Energía Enfocado en el Control de Equipos y Luminarias

O. Pineda¹ S. Espinel¹ M. Ruiz¹

¹Universidad Politécnica Salesiana

E-mail: opineda@est.ups.edu.ec; sespinela@est.ups.edu.ec; mruizm@ups.edu.ec

Abstract

This document presents a research of electrical management systems for controlling appliances and attenuating lighting in smart buildings. For the control of household appliances were used measurement equipment called mPower. For the control of lighting system will be based on a RASPERRY PI data acquisition card which manage and reduce energy consumption. With these data a behavior of energy consumption is modeled, thus being able to minimize the energy using Pareto algorithm for the optimization. Finally, the consumption energy of lights and appliances has been reduced through the algorithm designed.

Index terms— Smart Environment, energy consumption pattern, energy management, optimization.

Resumen

En la presente investigación se desarrolla un sistema de gestión de energía eléctrica para controlar aparatos y atenuar la iluminación en edificios inteligentes. Para el control de electrodomésticos se utilizaron equipos de medición denominados mPower. Para el control del sistema de iluminación se basará en una tarjeta de adquisición de datos RASPERRY PI que gestiona y reduce el consumo de energía. Con estos datos se modela un comportamiento del consumo de energía, pudiendo así minimizar la energía utilizando el algoritmo de Pareto para la optimización. Finalmente, el consumo de energía de luces y electrodomésticos se redujo a través del algoritmo diseñado.

Palabras clave— ambientes inteligentes, patrón de consumo energético, gestión de energía, optimización.

Recibido: 09-05-2019, Aprobado tras revisión: 18-07-2019

Forma sugerida de citación: Pineda, O.; Espinel, S; Ruíz, M . (2019).: "Diseño e Implementación de un Sistema de Gestión de Energía Enfocado en el Control de Equipos y Luminarias ". Revista Técnica "*energía*". No. 16, Issue I, Pp. 56-63

ISSN On-line: 2602-8492 - ISSN Impreso: 1390-5074

© 2019 Operador Nacional de Electricidad, CENACE



1. INTRODUCCIÓN

Una parte importante de las redes eléctricas inteligentes son los sistemas de gestión de la energía (EMS). Los EMS permiten la integración de energías renovables a gran escala, tomando relevancia mundial ya que optimiza el consumo eléctrico brindando sostenibilidad ambiental y social, reduciendo el impacto económico gracias a la gestión de la demanda. Para formar un sistema de gestión de energía es necesario comunicaciones fiables, eficientes, seguras que permitan la transmisión de información entre todos los actores de la red [1], [2].

El consumo de energía por parte de dispositivos inteligentes en tareas de transmisión o retransmisión de datos se convierte en un tema complejo que debe abordarse cuando las personas, procesos, datos y cosas convergen en tiempo real. Las nuevas tendencias tecnológicas involucran dispositivos con la capacidad de tomar información del entorno, procesarla y enviarla a un sistema de procesamiento de información [3], [5].

La red de área doméstica (HAN) requiere velocidades de transmisión de 10 kbps hasta 1 Mbps y debe cubrir distancias entre 5 y 100 metros. Las comunicaciones entre los usuarios y el generador de energía eléctrica son proactivas y permiten generar energía en función del consumo en tiempo real. Los aparatos, televisores, sistemas de iluminación, medidores inteligentes, etc. están compuestos por sensores y actuadores que permiten la creación de sistemas de gestión de energía y de microgeneración [6].

Para proporcionar inteligencia a la red, se requieren dispositivos con monitoreo unificado, protocolos de medición y control, lo que resulta en decisiones asertivas en tiempo real sobre la demanda de energía del usuario.

Los avances tecnológicos en sistemas micro electromecánicos, comunicaciones inalámbricas y electrónica digital han desarrollado dispositivos de bajo costo y bajo consumo que pueden formar nodos multifuncionales. Los nodos multifuncionales están compuestos por sensores, procesadores de señal y componentes de comunicación.

La red de sensores consta de una gran cantidad de nodos que se comunican a través de un cable o medio inalámbrico. Dado que una gran cantidad de nodos sensores se despliegan densamente, los nodos vecinos pueden estar muy cerca uno del otro. Por lo tanto, se espera que la comunicación multiusuario en redes de sensores consuma menos energía que la comunicación tradicional de un salto. Además, los niveles de potencia de transmisión pueden mantenerse bajos, lo que es altamente deseable en las comunicaciones en el hogar. La comunicación multi-salto también puede superar con eficacia algunos de los efectos de propagación de las señales experimentadas en la comunicación inalámbrica de larga distancia. Una de las limitaciones más importantes en los nodos de sensores es el requisito de

bajo consumo de energía [7], [10].

Los nodos sensores llevan fuentes de energía limitadas, generalmente insustituibles. Por lo tanto, mientras que las redes tradicionales pretenden lograr disposiciones de servicio de alta calidad (QoS), los protocolos de la red de sensores deberían centrarse principalmente en la conservación de energía. Deben tener mecanismos de compensación incorporados que brinden al usuario final la opción de extender la vida útil de la red al costo de un rendimiento más bajo o un mayor retraso en la transmisión [11], [13].

La Fig. 1 muestra que entre las aplicaciones de los dispositivos inteligentes están la medición de temperatura, humedad, condiciones de iluminación, microgeneración y sistemas de gestión de energía.

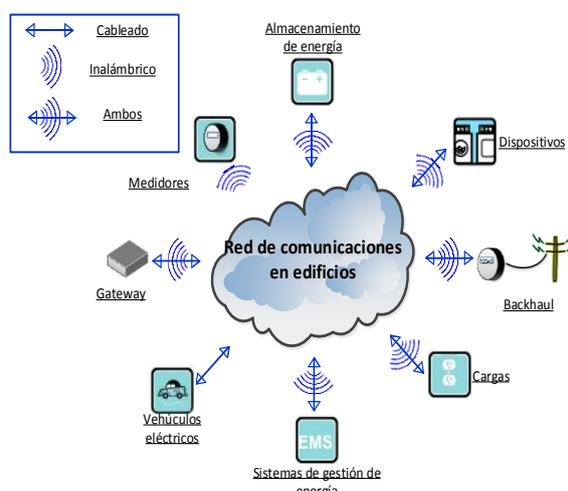


Figura 1: Comunicaciones en edificios

El documento está organizado de la siguiente manera. En el capítulo 2 se presenta el planteamiento del problema. En el capítulo 3 se describen los materiales y métodos empleados. En el capítulo 4 se presentan los resultados. En el capítulo 5 se analizan los resultados y finalmente se concluye en el capítulo 6.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para la transmisión de datos es necesario crear la red BAN (Building Area Network), la misma permite al sistema de gestión de energía (EMS) gestionar los equipos del entorno a través de varios medios de comunicaciones [14].

Los Sistemas de Gestión de Energía (EMS) son creados con el objetivo de optimizar, planificar y reducir costos energéticos en el sector residencial, comercial e industrial. Es un conjunto de políticas, análisis, algoritmos de optimización, hardware especializado y software capaces de mejorar objetivamente el consumo eléctrico reduciendo el costo y manteniendo el confort de los usuarios [15].

El escenario utilizado en la presente investigación está equipado con laptops, proyector, 6 Smart TV's,

módem, UPS, servidor, microondas, banco de baterías, panel solar, generador eólico, conexión a la red eléctrica, calefactor, dispensador de agua y equipos de comunicaciones.

La Fig. 2 muestra la oficina de pruebas modelado en tres dimensiones con todos sus componentes.



Figura 2: Modelo 3D del Smart Office

El ambiente de confort del personal no debe ser alterado por lo que es necesario tomar en cuenta la hora de entrada y salida de los mismos, los días festivos para establecer los tiempos de atenuación en las lámparas y desconexión de equipos en estado stand by.

Se deben considerar tres aspectos para el diseño del sistema de gestión de energía, los mismos se definen a continuación:

Aspecto económico: el consumo y costo de la energía deberá disminuir.

Confort: Los equipos deben estar disponibles para los usuarios en horarios de oficina, y no deben preocuparse por si alguno se quedó encendido, el nivel de comodidad de los mismos debe mantenerse o mejorar.

Vida útil de los equipos: la vida útil se disminuye con el uso constante sin embargo también se consideran 15 minutos de encendido antes de su uso cotidiano.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Conocidos los aspectos a tomar en consideración se ha diseñado el sistema de gestión de energía mediante dispositivos que permiten la lectura de parámetros eléctricos como voltaje, corriente, energía y factor de potencia. Los datos de cada lectura son enviados a través de comunicaciones inalámbricas, la tecnología utilizada es Wifi 802.11 en la frecuencia de 2.4 GHz. La información es almacenada en un servidor, en el mismo mediante una aplicación desarrollada en Android permite realizar el control de los tomacorrientes según el análisis de horarios en los cuales se pueden desconectar diferentes equipos que consumen energía innecesariamente. La Fig. 3 muestra el esquema del sistema diseñado he implementado en el cual todos los equipo son supervisados y controlados por medio de un dispositivo inteligente.

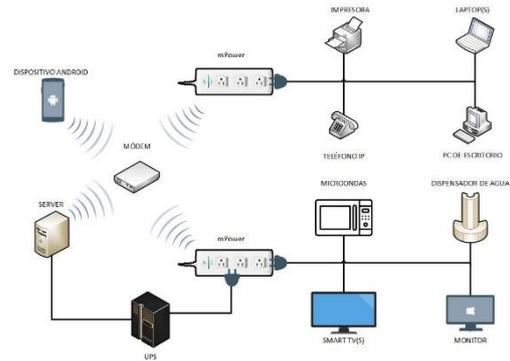


Figura 3: Disposición de equipos y comunicaciones

El algoritmo planteado para el sistema de gestión de energía tiene como objetivo minimizar el costo de energía eléctrica y maximizar el confort dentro de la edificación. A continuación se presenta el algoritmo propuesto.

Algoritmo 1: Sistema de gestión de energía

- Paso 1:** Importación de datos de entrada
- Paso 2:** Configuración inicial de tarifas costos fijos, impuestos y tarifa diurna (si aplica)
- Paso 3.** Selección de los dispositivos que pueden ser optimizados en el horario no laborable y fines de semana.
- Paso 4.** If (es_optimizable) → apagar el dispositivo en horarios establecidos.
- Paso 5.** Rango = Horas(uso)/Horas(Standby)
- Paso 6.** If (tarifa_diurna) → usar este precio para las horas de trabajo.
- Paso 7.** Calcular la tarifa mensual de los equipos usando la tarifa ingresada.
- Paso 8.** Agregar los costos fijos
- Paso 9.** Calculo de impuestos.
- Paso 10.** Presentación de resultados y comparaciones con el consumo inicial
- Paso 11.** Fin.

En la Fig. 4 se presenta el flujograma desarrollado para optimizar el consumo de energía eléctrica por los diversos dispositivos y equipos instalados.

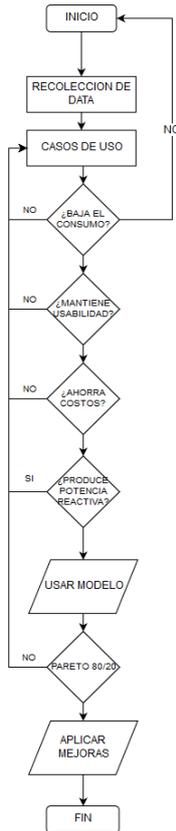


Figura 4: Flujograma de obtención de datos y modelado

4. RESULTADOS

La Tabla 1 presenta los resultados de la adquisición de datos detallada en potencia consumida en stand by, factor de potencia y el tiempo de consumo por día.

Tabla 1: Consumo de energía por equipo

Equipo	Potencia (W)		fp	Tiempo de uso (h/día)
	Stand by	Uso		
Iluminación	0	88	0,950	9,5
Server	--	87	0,604	24
UPS	43	45,4	0,676	24
Regleta	4	4	0,565	24
Dispensador	0	38	0,999	4
Microondas	3,08	1433	0,950	0,1
Smart TV	2,1	235	0,898	3
Impresora	5,4	538	0,950	0,2
Laptops	15,8	30	0,560	6
Teléfono	2,25	2,25	0,909	0,2

Modem	4	4	0,930	9,5
Cargadores	4	10	0,410	3
Desktop	21	74	0,604	4

Para modelar el consumo de potencia por equipo se realizaron registros durante el transcurso de dos semanas, las potencias obtenidas del consumo se presenta en la Fig. 5.

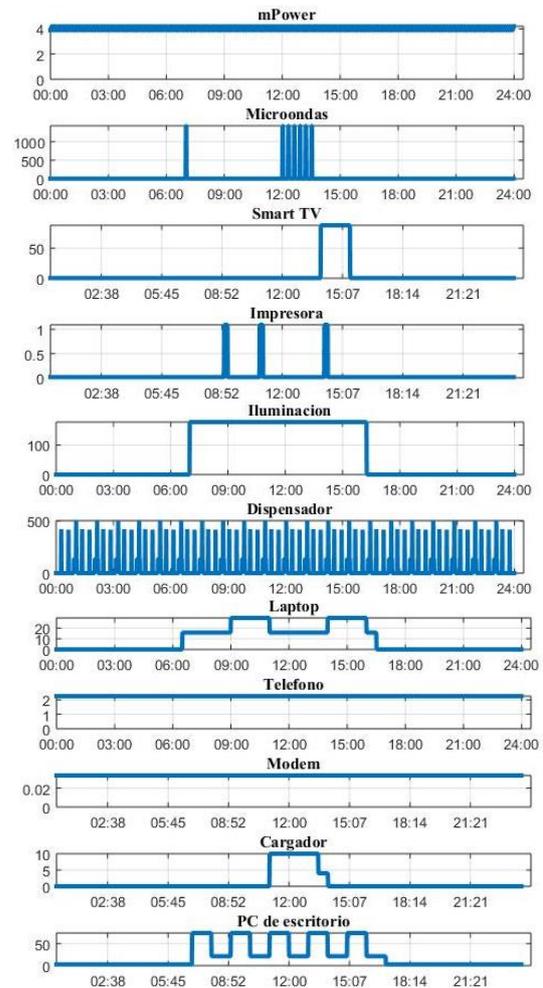


Figura 5: Consumo de Potencia(W) tipo por equipo

Mediante el algoritmo de Pareto, de acuerdo a la premisa de “Sólo es necesario que aproximadamente el 20% de los equipos se mantengan con energía durante todo el día, el resto puede ser optimizado”, la gráfica de optimización Pareto se muestra en la Fig. 6.

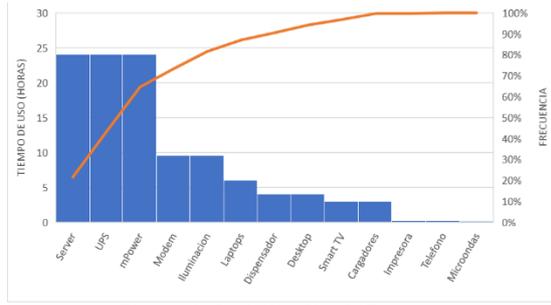


Figura 6: Optimización de Pareto

De acuerdo a la gráfica de Pareto y las necesidades del usuario sólo 3 equipos han sido considerados para mantenerse operando en la noche. La Fig. 7 muestra las gráficas de calendarización por cada equipo. Se presenta tres opciones, la primera es que existen horarios en los que mantener los equipos encendidos no es necesario (0), horarios en el que mantener los equipos encendidos es opcional (1) y horarios en el que los equipos necesariamente deben estar encendidos.

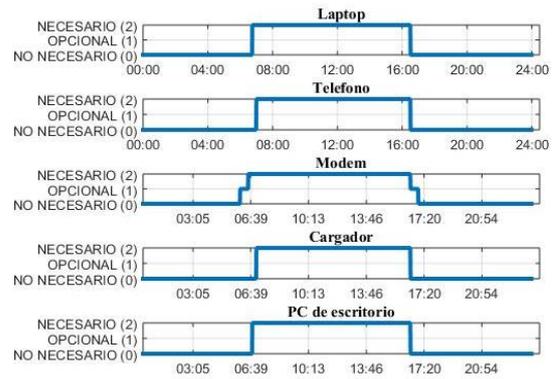


Figura 7: Calendario de uso por equipo

5. Valores estándar de iluminación

Las mediciones estándar para la iluminación de algunas residencias se muestran en la Tabla 3 combinando sensores, tiempo, controlador inteligente y otros dispositivos.

La vivienda inteligente y la estrategia de control de iluminación se basa en los valores de iluminación descritos en la Tabla 2 [16]:

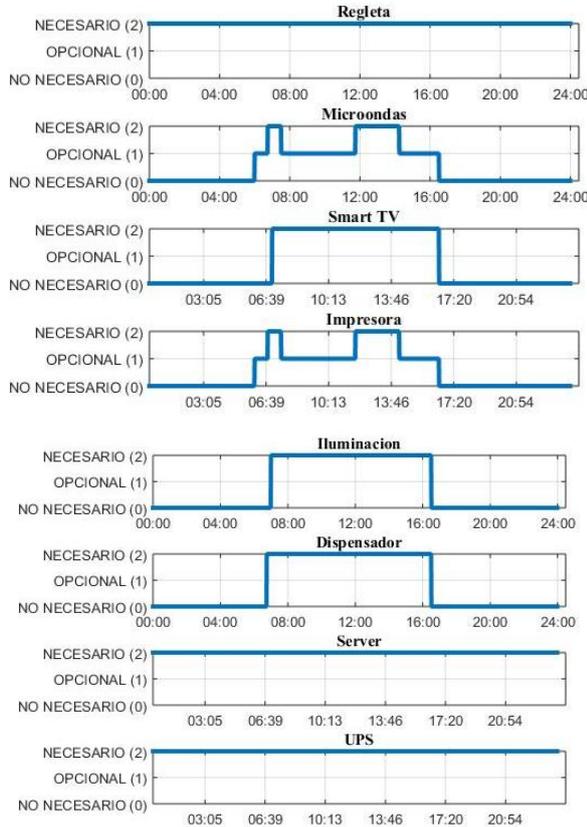


Tabla 2: Valores estándar de iluminación
VALORES ESTÁNDAR EN ILUMINACIÓN

Tipo de Lugar		Altura desde un lugar plano (cm)	Valor estándar de Iluminación (LX)
Salón	Actividades generales	75 cm sobre el piso	100
	Escribiendo y leyendo	75 cm sobre el piso	300
Cuarto	Actividades generales	75 cm sobre el piso	75
	En la cama leyendo	75 cm sobre el piso	150
Comedor		75 cm sobre el piso	150
Cocina	Actividades generales	75 cm sobre el piso	100
	Encimera	75 cm sobre el piso	150

6. FLUJOGRAMA DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

La Fig. 8 muestra el flujoograma donde la señal inicia desde el ordenador (Raspberry Pi) con una instrucción inicializada y gestionada en Python todas las variables son capturadas por el sensor de irradiación luminosa, que se

envían al ordenador. Los datos en el ordenador son monitoreados, controlados, examinados, y acumulados en labview, para luego ser transmitidos al sistema de conmutación donde efectuara la atenuación de las lámparas led, fluorescentes, etc. A través de un acoplador de potencia. La irradiación emitida por las lámparas son reiteradamente medidas por el sensor, para nuevamente repetir el proceso, el tiempo de este proceso es de 1.5 segundos.

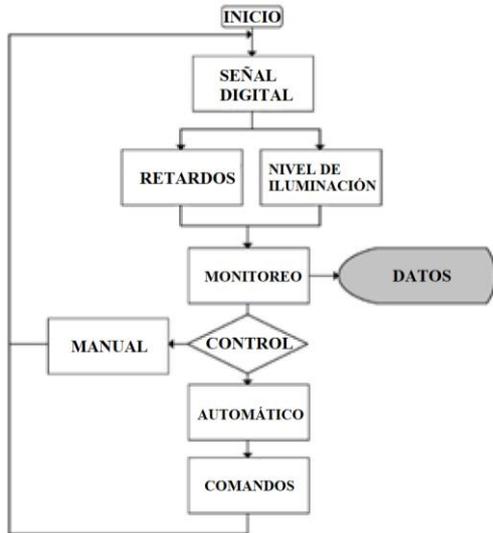


Figura 8: Control de potencia lámpara fluorescente 3*32 [w]

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La investigación está montada con tres tipos de lámparas, fluorescentes, leds no atenuables y leds atenuables.

La Fig. 9 muestra que las tres lámparas fluorescentes pueden ser controladas mediante el uso de electrónica de potencia. Existe un umbral debajo del cual la lámpara trabaja con un parpadeo. El consumo de potencia de una lámpara fluorescente controlando en niveles de iluminación en los diferentes espacios puede representar hasta un 35% de ahorro energético.

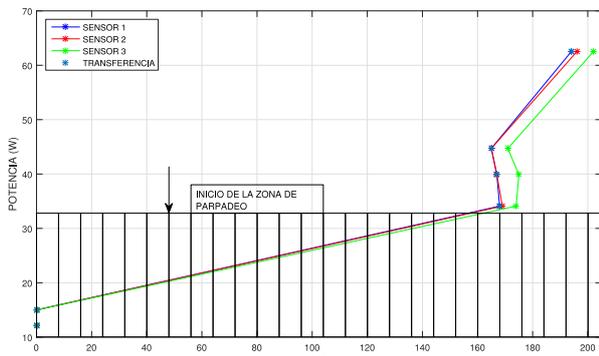


Figura 9: Control de potencia lámpara fluorescente 3*32 [w]

La Fig. 10 muestra el control de una lámpara 3*9 watts de luz led blanca no atenuable donde se puede evidenciar que igualmente existe un umbral del cual no se puede disminuir la potencia debido a que empieza el parpadeo de la misma. Los asteriscos señalados en la

figura muestran los niveles propuestos en el sistema y programados para ciertos niveles de atenuación.

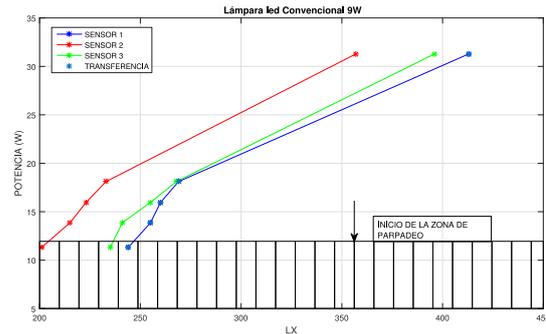


Figura 10: Control de potencia lámpara led 3*9[w]

La tabla 4 muestra que el foco led no atenuable trabaja de manera eficiente solo en tres niveles. En los siguientes comienza con la zona de parpadeo. Los cuatro últimos niveles emiten irradiación variable, pero con un mínimo consumo.

Tabla 3: Mediciones de un foco led convencional

Lámpara Led de 8.5 w no atenuable		
	POTENCIA (w/h)	SENSOR (LUX)
Niveles de potencia atenuables	9,03	232
	4,3	114
	4,6	107
Niveles de potencia no atenuables inicio de zona de parpadeo	3,24	Variable
	2,8	Variable
	2,48	Variable
	2,29	Variable
	1,62	Variable
	1,25	Variable
	1,14	Variable
	0	Variable
	0	Variable
	0	Variable

En la Fig. 11 se muestra que las lámparas led atenuables tienen una calidad de iluminación menor a las convencionales.

Los niveles de potencia están entre 30w dividido para 3 lámparas y un rango de iluminación de 225 a 250 lx por cada lámpara.

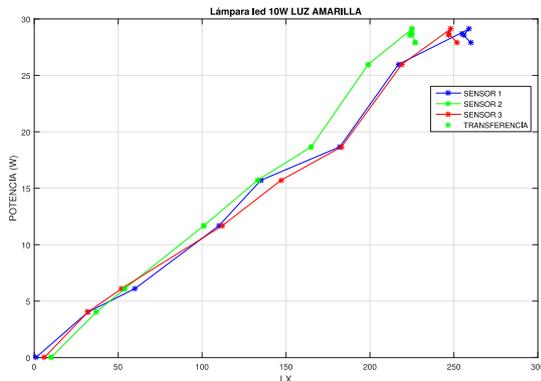


Figura 11: Control de potencia lámpara led atenuable 3*9[w]

La tabla 4 muestra el cálculo de energía anual consumida con el sistema de gestión de iluminación y sin el sistema de gestión de iluminación.

Tabla 4: Energía anual consumida de un foco led atenuable

POTENCIA A (W/h)	Horas de uso en el día	Energía diaria consumida (W/h)	Energía anual consumida (kW/h)
9,30	2,00		---
9,56	2,00	19,11	---
9,53	2,00	19,06	---
9,70	2,00	19,41	---
8,66	1,00	8,66	---
6,22	1,20	7,47	---
5,24	1,10	5,76	---
3,89	1,10	4,28	---
2,04	0,80	1,63	---
1,34	0,80	1,07	---
0,00	1,00	0,00	---
	15,00	86,46	31,12
Sin atenuación			
	15	139,5	50,220

La Fig. 12 presenta en azul el sistema sin gestión de la demanda, se puede evidenciar que en horarios desde las 17:00 hasta las 6:00 el consumo de energía es de equipos de comunicaciones, equipos de calefacción, servidores. En naranja se muestra la medición del mismo sistema aplicando la gestión de energía, equipos de comunicaciones switches, access points, calefactores de agua y equipos en stand by han sido apagados.

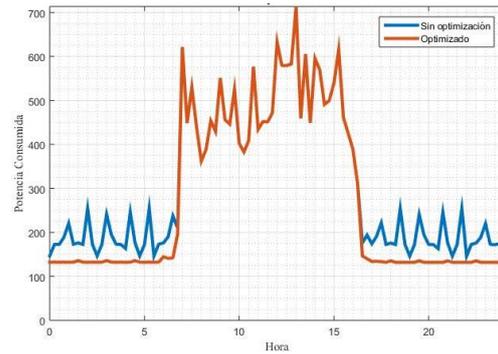


Figura 12: Consumo de energía con el SGE implementado

Del mismo modo para los días no laborales y feriados se obtuvo la Fig. 13, se puede evidenciar que existen equipos que se apagaron debido a que no son usados en ciertas horas.

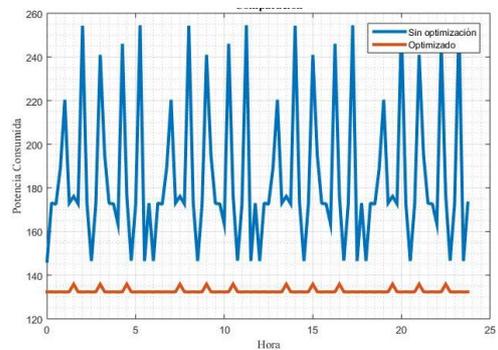


Figura 13: Gestión de energía en días no laborales.

Dando como resultado un ahorro promedio mensual estimado del 13.85%.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El objetivo principal de maximizar la economía y reducir la cantidad de energía consumida manteniendo el confort, se logró con un porcentaje de ahorro de casi el 14% simplemente manteniendo desconectados los equipos en las horas en que no se usan, lo que nos muestra la efectividad del sistema y que se puede lograr optimizar esto incluso más dependiendo de cuantos dispositivos estemos dispuestos a desconectar.

La información que guarda el servidor es extensa y se considera para un futuro trabajo hacer el uso de tecnologías como BIGDATA y análisis de datos predictivos para automatizar y reducir tiempos de investigación.

Las mediciones tomadas entre las lámparas led y lámparas fluorescentes son muy notables y el uso de lámparas led ayuda a minimizar un consumo de energía considerablemente y aún más eficiente si estas usan sistemas automáticos que permiten el uso de iluminación inteligente. El ahorro con sistemas automáticos de

lámparas fluorescentes es del 10,55 %, de led no atenuables es del 36,33% y de led atenuables es de 38,03% claramente las lámparas led atenuables son más energéticas si hablamos en porcentajes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Ruiz, P. Masache, and E. Inga, "Optimal Communications for Smart Measurement of Electric Energy Reusing Cellular Networks," in 2018 International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS), 2018, pp. 198–204.
- [2] J. Okae, J. Du, E. K. Akowuah, G. Appiah, and E. K. Anto, "The Design and Realization of Smart Energy Management System based on Supply-Demand Coordination," IFAC-PapersOnLine, vol. 50, no. 1, pp. 195–200, 2017.
- [3] P. R. S. Suryavanshi, K. Khivensara, G. Hussain, N. Bansal, and V. Kumar, "Home Automation System Using Android and WiFi," vol. 3, no. 10, pp. 8792–8794, 2014.
- [4] M. Mile, P. Lakade, S. Mashayak, P. Katkar, and A. B. Gavali, "Design of Smart Home Automation System using Android Application : A Literature Review," vol. 2, no. 1, pp. 2–5.
- [5] S. R. Hernández and P. C. García, "Definition of a home automation system for energy management and efficiency," Proc. - 2010 IEEE Electron. Robot. Automot. Mech. Conf. CERMA 2010, pp. 568–573, 2010.
- [6] M. G. R. Maldonado, "Wireless Sensor Network for Smart Home Services Using Optimal Communications," 2017 Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci., pp. 27–32, 2017..
- [7] W. C. Turner and S. Doty, Energy Management Handbook. 2007.
- [8] E. R. Sanseverino et al., "Energy Management Systems and tertiary regulation in hierarchical control architectures for islanded microgrids," 2015 IEEE 15th Int. Conf. Environ. Electr. Eng., pp. 144–149, 2015.
- [9] Y. Huang, H. Tian, and L. Wang, "Demand response for home energy management system," Int. J. Electr. Power Energy Syst., vol. 73, pp. 448–455, 2015.
- [10] W.-T. Li et al., "Demand Response Management for Residential Smart Grid: From Theory to Practice," IEEE Access, vol. 3, pp. 2431–2440, 2015.
- [11] ISO, "ISO 50001 Energy Management Systems," vol. 50015, pp. 1–12, 2014.
- [12] F. Cicirelli, G. Fortino, A. Guerrieri, G. Spezzano, and A. Vinci, "Metamodeling of Smart Environments: from design to implementation," Adv. Eng. Informatics, vol. 33, pp. 274–284, 2017.
- [13] H. F. Rashvand, J. M. Alcaraz Calero, and ebrary, Inc, Distributed sensor systems: practice and applications. John Wiley & Sons, Ltd., 2012.

- [14] Y. Ajaji and P. André, "Thermal comfort and visual comfort in an office building equipped with smart electrochromic glazing: An experimental study," Energy Procedia, vol. 78, pp. 2464–2469, 2015.
- [15] J. S. Vardakas, N. Zorba, and C. V. Verikoukis, "A Survey on Demand Response Programs in Smart Grids: Pricing Methods and Optimization Algorithms," IEEE Commun. Surv. Tutorials, vol. 17, no. 1, pp. 152–178, 2015.
- [16] Y. Liang, Z. Jia, H. Yao, and J. Chen, "Housing Intelligent Lighting Control Strategy Research," pp. 728–731, 2014.



Orlando Andrés Pineda Valdivieso.- Ingeniero eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana, Estudiante de Maestría en Big Data y Business Analytics. Su trabajo se basa en automatización, sistemas de gestión de energía, ahorro energético y fuentes renovables.



Santiago Xavier Espinel Álvarez. - Ingeniero eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en automatización y monitorización, sistemas de gestión de energía, ahorro energético e iluminación inteligente.



Milton Gonzalo Ruiz Maldonado.- Es Profesor investigador de la Universidad Politécnica Salesiana Ecuador Sede Quito. En 2015 se gradúa de Ingeniero Eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana Quito - Ecuador. En el año 2016 recibió su Maestría en Redes de Comunicaciones por la Pontificia Universidad Católica, Quito - Ecuador. Actualmente se encuentra cursando el doctorado en la Universidad de Ferrara - Italia sobre diagnóstico de fallas en sistemas eléctricos de potencia.