

Plataformas de Control Inteligente de Iluminación Interior integrados en Sistemas de Distribución LVDC

J. I. Guamán C. L. Vargas M. G. García A. Ríos

Universidad Técnica de Ambato

E-mail: jguaman0585@uta.edu.ec, cvargas0028@uta.edu.ec,

a.ríos@uta.edu.ec, marioggarcia@uta.edu.ec

Resumen

En la actualidad, el uso ineficiente de la energía eléctrica en los hogares, comercios, escuelas e industrias requiere la implementación de políticas, mecanismos e innovaciones tecnológicas de uso racional de la energía. En este sentido, la implementación de nuevos sistemas de distribución de baja tensión en corriente continua, denominados en terminología anglosajona Low Voltage Direct Current, LVDC, se presenta como una solución tecnológica de ahorro y eficiencia energética para los usuarios finales y las empresas distribuidoras de energía eléctrica. La aparición de los nuevos sistemas de distribución LVDC ha incentivado el desarrollo de innovadores sistemas y componentes de suministro eléctrico a baja tensión en corriente continua, que se aplican a sistemas de iluminación, centros de datos y espacios interiores.

Las experiencias existentes de sistemas de distribución LVDC han demostrado que la reducción de pérdidas de energía es proporcional al incremento de los niveles de tensión en continua. Además, los sistemas de conversión AC/DC presentan mayores pérdidas que los sistemas de conversión DC/DC. Por tanto, la implementación de sistemas LVDC son comparativamente más eficientes que los sistemas de distribución tradicionales a corriente alterna. La integración masiva de los sistemas de distribución LVDC permitirá reducir significativamente las pérdidas de energía y elevar la eficiencia de los usuarios finales de energía.

En este artículo, se describe la implementación de una plataforma cloud de control y gestión de un sistema aislado de distribución LVDC que alimenta a cargas de iluminación. Asimismo, se presenta el desarrollo conceptual de la integración del sistema LVDC con un sistema de generación renovable, que suministra corriente continua al sistema de iluminación.

Palabras clave— LVDC, FPGA, energías renovables, corriente directa.

Abstract

Currently, inefficient use of electricity in homes, businesses, schools and industries requires the implementation of policies, mechanisms and technological innovations of rational use of energy. In this sense, the implementation of new distribution systems, low-voltage direct current, denominated in English terminology Low Voltage Direct Current, LVDC is presented as a technological solution for energy saving and efficiency for end users and energy distribution companies power. The emergence of new distribution systems LVDC has encouraged the development of innovative systems and components for power to low voltage DC, which apply to lighting systems, datacenters and interior spaces.

Existing experiences LVDC distribution systems have shown that reducing energy loss is proportional to increased levels of DC voltage. In addition, conversion systems AC / DC have higher losses than conversion systems DC / DC. Therefore, the implementation of LVDC systems are comparatively more efficient than traditional distribution systems to alternating current. The massive integration of LVDC distribution systems will significantly reduce energy losses and increase the efficiency of energy end users.

In this article, the implementation of a cloud platform control and management of an isolated distribution system that feeds LVDC lighting loads is described. Also, the conceptual development of integration of LVDC system with a renewable generation, which supplies current to the lighting system is presented.

Index terms— LVDC, FPGA, renewable energy, DC

Recibido: 01-09-2016, Aprobado tras revisión: 09-12-2016

Forma sugerida de citación: Guamán J.; Vargas C.; García M.; Ríos A. (2017). "Plataformas de Control Inteligente de Iluminación Interior integrados en Sistemas de Distribución LVDC". Revista Técnica "energía". No. 13, Pp. 169-178

ISSN 1390-5074.

1. INTRODUCCIÓN

El elevado consumo energético de los sistemas convencionales de iluminación ha impulsado a los países más industrializados a elaborar e implementar planes y programas de sustitución de las obsoletas luminarias por innovadoras tecnologías de iluminación. En este sentido, las luminarias LEDs juegan un importante papel en el proceso de sustitución de luminarias poco eficientes y permiten una significativa reducción del consumo energético.

En los últimos años, se ha realizado un importante esfuerzo tecnológico y de inversión económica para comprobar las ventajas de la integración de edificios comerciales con sistemas de distribución de baja tensión en corriente continua, en términos anglosajones, denominados Low Voltage Direct Current, LVDC. Los sistemas de distribución LVDC implementados demuestran que las pérdidas de energía se reducen proporcionalmente al incremento de los niveles de tensión en continua, aplicado a las secciones de los cables. Adicionalmente, los sistemas de conversión AC/DC presentan mayores pérdidas que los sistemas de conversión DC/DC. En Alemania, en el año 2015, se finalizó la instalación del primer sistema de distribución LVDC para un edificio de oficinas, con todas sus cargas alimentadas por corriente continua, sustituyendo los sistemas de conversión AC/DC por DC/DC en las cargas eléctricas.

La integración de fuentes renovables de generación, sistemas de distribución LVDC y circuitos de iluminación LED, prometen ser uno de los sistemas más eficientes en los próximos años. La irrupción de las luminarias LED, así como, los avances tecnológicos de los sistemas de electrónicos de control y monitorización, y la paulatina introducción de las plataformas Cloud han convergido en el desarrollo e implementación de avanzados sistemas de gestión, operación y control de los sistemas interiores y exteriores de iluminación. Estos sistemas presentan excepcionales funcionalidades, entre las que destacan:

- Control del flujo luminoso
- Medición del consumo de energía eléctrica
- Detección y localización de fallos
- Integración automatizada de la iluminación natural
- Diagnóstico del estado de las luminarias
- Visualización de la información obtenida

Además de permitir una supervisión, gestión y control de los sistemas de iluminación LED, las plataformas cloud computing garantizan la óptima integración de sistemas domóticos automatizados y la programación del control de la iluminación en interiores, en función de las necesidades de luminosidad y de la aportación de luz solar natural, proporcionando un ahorro adicional a la simple sustitución de luminarias LED.

2. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN LVDC

La mayoría de las cargas eléctricas en baja tensión de los edificios residenciales y comerciales necesitan de adaptadores externos e/o internos, que adaptan la tensión alterna de la red eléctrica de suministro a la tensión continua de operación interna de los dispositivos electrónicos de los aparatos eléctricos domésticos – ordenadores, equipos de comunicación, dispositivos de entretenimiento e iluminación. En el año 2008, la producción mundial de adaptadores externos fue de 3,2 billones. Ese mismo año Estados Unidos importó 737 millones de adaptadores externos y se retiraron de circulación 434 millones de adaptadores, de los cuales sólo se reciclaron el 12,6%. Los restantes 379 millones de adaptadores externos se transformaron en residuos contaminantes para el medio ambiente [1]. Es importante indicar, que no se incluyen los balastos electrónicos y dispositivos de conversión AC/DC internos.

Los dispositivos de conversión AC/DC presentan elevadas pérdidas de energía, reduciendo la eficiencia total de la red eléctrica de baja tensión en edificios residenciales y comerciales. Diversos estudios indican que las pérdidas en los adaptadores externos e internos de los aparatos eléctricos pueden alcanzar hasta el 30% de la potencia real consumida [2, 3]. Entre las ventajas de implementar una red eléctrica LVDC para edificios residenciales y comerciales destacan:

- Se minimizan los dispositivos de conversión AC/DC, reduciendo las pérdidas de energía y elevando la fiabilidad y eficiencia de la red eléctrica de baja tensión.
- Se evitan dispositivos de corrección del factor de potencia y de compensación de armónicos.
- Se reducen los costes de integración de tecnologías renovables en los edificios residenciales y comerciales, puesto que se evitan dispositivos de conversión DC/AC y AC/DC.
- La tensión de alimentación de los dispositivos, proporciona un nivel superior de seguridad

eléctrica, así como, de monitorización, control y gestión inteligente de la demanda de las redes eléctrica. El usar una señal digital permite tener un mayor control, debido a que se puede aplicar circuitos lógicos y tener un control más lineal a comparación de los sistemas AC.

La selección de la tensión nominal de los sistemas LVDC es particularmente importante para una reducción adicional en pérdidas de energía. La selección de un nivel de tensión nominal estándar en continua igual a 380 – 400 V DC mejora en un 30% la eficiencia de la red eléctrica de baja tensión comparada con una tensión nominal de 400 V AC, según Energe Alliance – consorcio que agrupa a más de 80 organizaciones dedicadas a la estandarización de sistemas LVDC y microrredes – [3, 4].

La tensión nominal estándar de 380 – 400 V DC presenta las siguientes ventajas [5, 6]:

- Es un 7% más eficiente que la tensión alterna de 415 V AC.
- Requiere un 33% menos de espacio.
- Reduce la inversión de instalación en un 15%.
- Exige menos sección de cable en comparación con la tensión de 48 V DC.
- Se reducen significativamente las pérdidas por efecto joule en los cables en relación a la tensión estándar de 48 V DC, para una misma potencia suministrada.

En los últimos años, la incesante reducción del precio de los paneles fotovoltaicos y de las pequeñas turbinas eólicas ha propiciado la integración de sistemas híbridos de generación renovable en edificios residenciales y comerciales, conformando los denominados edificios de emisiones cero [7, 8, 9]. Los sistemas renovables proporcionan un suministro eléctrico en corriente continua, que permite suministrar energía a las cargas electrónicas de baja tensión, sin necesidad de disponer de dispositivos de conversión AC/DC, evitando así elevadas pérdidas de energía.

No obstante, debido a la variabilidad del recurso solar y eólico es necesario dimensionar un sistema de almacenamiento que garantice el suministro de energía eléctrica de los edificios residenciales y comerciales, en periodos de no simultaneidad con el recurso renovable. En el futuro, los sistemas renovables de generación eléctrica y los sistemas LVDC deberán converger para optimizar el aprovechamiento de los recursos renovables y reducir las pérdidas de energía en los dispositivos de conversión AC/DC en los edificios residenciales y comerciales.

Asimismo, para elevar la fiabilidad de los sistemas LVDC en edificios residenciales y comerciales se deberá disponer de una conexión automatizada a la red eléctrica convencional en corriente alterna, que garantice la continuidad de suministro energético necesario a las cargas en corriente continua, si la descarga máxima de las baterías alcanza el límite máximo admisible, y proceda a las recarga del sistema de almacenamiento, en caso de ausencia de recurso solar y eólico durante largos periodos de tiempo.

Además, el diseño e implementación de un sistema inteligente de monitorización, control y gestión de la generación renovable de energía y de la demanda permitiría la elaboración e integración de innovadoras estrategias de control y gestión, con el objetivo de maximizar el empleo de energía renovable y minimizar el número de conexiones a la red eléctrica convencional de corriente alterna. En la Fig. 1, se presentan el esquema general de un sistema LVDC aplicable a edificios residenciales y comerciales, que disponen de fuentes renovables de generación eléctrica – solar y eólica –; sistemas de almacenamiento – baterías, condensadores y vehículos eléctricos –; cargas eléctricas en corriente alterna y continua; un módulo de conexión automatizada a la red eléctrica convencional y un sistema inteligente de monitorización, control y gestión de la generación y de la demanda eléctrica [11].

El mencionado sistema se podría complementar con un sistema avanzado de gestión y control desde la nube, que, además, permita visualizar la información adquirida y presentar reportes diarios, semanales, mensuales y anuales del comportamiento del sistema integrado energías renovables/LVDC/cargas eléctricas inteligentes.

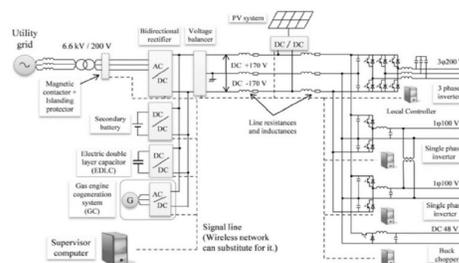


Figura 1: Esquemas generales de sistemas LVDC con integración de energías renovables y sistemas de control [10, 11]

3. EXPERIENCIAS INTERNACIONALES DE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS LVDC

Entre las experiencias más destacables de integración de sistemas renovables de generación eléctrica en sistemas LVDC destacan [12, 13, 14]:

El Proyecto Europeo I+D denominado “DC Components and Grid (DCC+G)” que tiene como objetivo principal el desarrollo de sub-sistemas y componentes altamente eficientes para un sistema LVDC, con una tensión estandarizada de 380V DC. El proyecto permitirá demostrar los beneficios técnicos y económicos de la implementación de redes eléctricas LVDC y el impacto en el incremento de la eficiencia de los edificios comerciales. Por tanto, el proyecto participa en el cumplimiento del objetivo de la Comisión Europea que todos los edificios de nueva construcción de la Unión Europea a partir del año 2012 deberán responder a los criterios de edificios de emisiones cero. Dentro del proyecto ya se ha implementado un prototipo de suministro eléctrico en corriente continua en el edificio de oficinas del Instituto Fraunhofer, en Erlangen, Germany, Fig. 2 [12].

El prototipo implementado de sistema LVDC se compone de un sistema de iluminación DC, una fuente de alimentación en DC para una infraestructura de computación, un cargador DC para un vehículo eléctrico, un sistema de micro-cogeneración en DC, sistemas fotovoltaicos con MPPT, un rectificador central y una unidad de control de la red así como una unidad de monitorización mixta AC/DC. El prototipo permite demostrar que un sistema LVDC, con una tensión nominal de 380V DC, reduce las pérdidas de conversión y eleva la eficiencia de la red interna de distribución en comparación con una red eléctrica convencional AC.

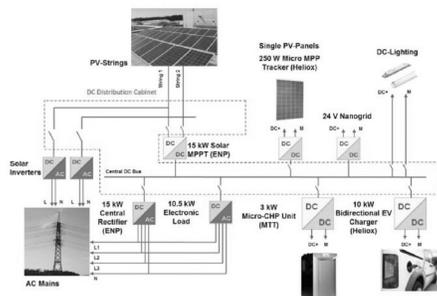


Figura 2: Sistema LVDC implementado en una oficina de edificios del Instituto Fraunhofer, en Erlangen, Germany [12]

Asimismo, el Departamento de Investigación de Philips ha desarrollado la primera instalación de pruebas de un sistema LVDC para suministrar energía a dispositivos de iluminación LED con una tensión nominal de 380 V DC, en Eindhoven, Países Bajos, Fig. 3 [13]. La instalación de iluminación dispone de 54 luminarias empotradas descendentes LuxSpace LED de 37 W cada una, que conforman una carga en corriente continua de 2 kW. Las luminarias LED disponen de nuevos adaptadores de conversión DC/DC para una tensión nominal de entrada de 380 V

DC. La instalación de prueba y testeo cuenta con un suministro híbrido compuesto por un equipo rectificador central de 2 kW, así como, por una instalación solar fotovoltaica de 2 kW, Fig. 3 [13]. Para realizar un estudio comparativo de la eficiencia de los sistemas LVDC se ha instalado un segundo sistema de iluminación solar en corriente alterna, con varios dispositivos inteligentes de medición de potencia. Las lecciones aprendidas de las pruebas realizadas en la instalación implementada en los Países Bajos descritas permiten concluir:

- Los sistemas LVDC son de fácil instalación y mantenimiento, no exigen excesivos conocimientos especiales adicionales.
- El equipo prototipo rectificador central de 2000 W es alrededor de 1% más eficiente que un rectificador para dispositivo LED de 39 W alimentado a una tensión nominal de 230 V AC.
- El convertidor DC prototipo del sistema solar fotovoltaico de 2 kW tiene una eficiencia del 97%, similar al de un inversor solar trifásico de 12 kW AC conectado a la red. Por tanto, es importante considerar que el inversor solar de 12 kW opera a una tensión DC de entrada elevada, habitualmente de 610 V DC, en relación a los 250 V DC del convertidor de 2 kW, con seguimiento del máximo punto de potencia.
- Finalmente, la ventaja en términos de eficiencia de la red eléctrica en continua es tan elevada como el valor de energía solar empleado, debido a las menores pérdidas absolutas en el rectificador central.

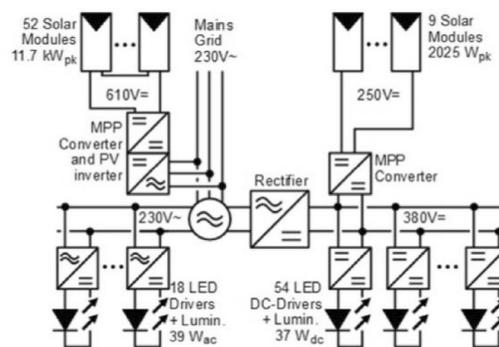


Figura 3: Instalación de prueba y testeo de un sistema LVDC implementado en Eindhoven, Países Bajos [13]

4. SISTEMAS DE ILUMINACIÓN DE ESPACIOS INTERIORES

La iluminación, representa aproximadamente el 20% del consumo de energía a nivel mundial [14].

El promedio de energía eléctrica utilizada para la iluminación en espacios interiores de escuelas, oficinas, hospitales, edificios residenciales e industrial es el 15% del total de la energía consumida al año [15]. En Estados Unidos, el consumo eléctrico en los sistemas de iluminación de los hogares representa entre el 6% y 20% del consumo eléctrico total [16]. Países industrializados como Japón también tienen un alto consumo de energía a los sistemas de iluminación indoor con un 13% de participación del total de consumo eléctrico final. En Europa, Estados y Japón existen importantes planes de sustitución de luminarias incandescentes por nuevas tecnologías de iluminación de bajo consumo energético, denominadas luminarias LED [17], dispositivos de iluminación de estado sólido.

En la actualidad, la tecnología LED de luz blanca fría presenta valores de eficiencia lumínica superior a 250 lm/W, cuadruplica la eficacia de las lámparas fluorescentes residenciales y hasta, aproximadamente, cuarenta veces la eficiencia de las lámparas incandescentes. La tecnología LED de luz blanca permite disponer de sistemas de iluminación eficientes en comparación con los edificios residenciales, comerciales e industriales que disponen de instalaciones de iluminación convencionales [18]. Los sistemas de LVDC reducen el número de adaptadores electrónicos y las elevadas pérdidas en el proceso de conversión interno AC/DC de los dispositivos LED, en relación a las redes AC de baja tensión [19]. Asimismo, la alimentación de dispositivos LED desde un sistema LVDC evita la necesidad de los componentes electrónicos de rectificación y filtrado inherentes a las luminarias LED con dispositivos de conversión AC/DC. Cada luminaria LED en un sistema LVDC dispone de un dispositivo de conversión DC/DC, que adapta la tensión de alimentación a la tensión interna. Además, se obtienen excepcionales ahorros energéticos si el sistema se combina con sistemas renovables de generación eléctrica en DC [18].

Una aplicación práctica de los sistemas LVDC de iluminación LED son los espacios interiores de oficinas, espacios abiertos o supermercados que disponen de un elevado número de luminarias, conectadas a una línea de baja tensión, Fig. 4. Finalmente, un ahorro adicional de energía se obtiene con la implementación de sistemas inteligentes de control de la luminosidad de las luminarias LED, en función de la maximización de la integración de luz natural en espacios interiores de edificios [19].



Figura 4: Distintos ambientes con iluminación basada en tecnología LED [19]

5. PLATAFORMAS DE GESTIÓN DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN EN INTERIORES

En los últimos años, la acelerada introducción de las luminarias LED en los sistemas de iluminación de edificios y los avances electrónicos ha permitido que se desarrollen y comercialicen sistemas inteligentes de gestión y control de iluminación [20]. Además, la integración de sistemas de energía renovable en sistemas LVDC proporciona un nuevo paradigma de investigación y desarrollo tecnológico. Entre las experiencias existentes en plataformas de gestión de iluminación interior destacan:

En [20], se presenta una plataforma de gestión de la iluminación en un edificio de oficinas, denominado ENCELIUM Energy Mananment Systems, Fig. 5. La plataforma se basa en un nuevo estándar de tecnología del consorcio Emerge Alliance para los sistemas LVDC en edificios y se compone de:

- FlexZone DC, un innovador sistema LVDC que garantiza el suministro eléctrico desde la fuente DC a los dispositivos de iluminación, sensores y otros dispositivos eléctricos en un espacio interior a monitorizar y gestionar.
- Módulos de alimentación, compuestos de cables e interconexiones de datos y transmisión de información, y control de iluminación.

El principal beneficio del sistema LVDC de iluminación es la capacidad de reconfigurar la intensidad lumínica de las áreas de trabajo sin necesidad de cableado, puesto que se puede realizar mediante sistemas inalámbricos como el bluetooth, actuando de forma directa en la fuente de iluminación sin necesidad de otros dispositivos electrónicos de conversión [21].

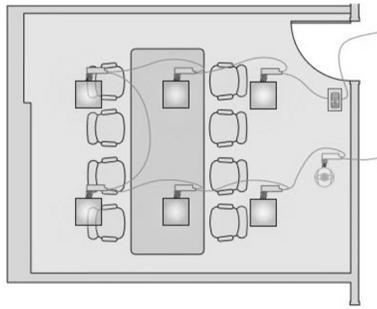


Figura 5: Plataforma ENCELIUM para un sistema LVDC de iluminación LED [21]

En [22], se desarrolló un sistema de control de iluminación de tipo LED conectada a una fuente de generación continua. Entre las ventajas de un sistema de iluminación LED destacan:

- El ahorro de costes se reduce al incorporar un sistema de control regulable e inteligente de iluminación LED. Se mejora la eficiencia de un sistema de iluminación LED en diversos entornos de funcionamiento, tales como exposiciones, ambientes cálidos, sala de recepciones, etc. - La plataforma de gestión inteligente de iluminación LED evita problemas de intermitencia lumínica, garantizando una iluminación agradable al usuario. El brillo puede controlarse con precisión para satisfacer las necesidades del usuario en un lugar y tiempo específico, maximizando el uso de luz natural.

- Además, el control de iluminación en diferentes escenarios permite elevar la vida útil de diferentes componentes del sistema de iluminación LVDC: fuentes de generación y dispositivos de iluminación.

- La plataforma de gestión inteligente permite adoptar en una luz más tenue y prolongar el tiempo de vida de la luminaria LED. Pruebas realizadas en las luminarias LED demuestran que una reducción del 10% en el brillo duplica la vida útil de la luminaria, mientras que una caída del 50% puede extender la vida útil en 20 veces.

- Los modos de iluminación preestablecidos se almacenan en la memoria de microcontrolador para un fácil mantenimiento. La comunicación que realiza el sistema se puede observar en la Fig. 6.

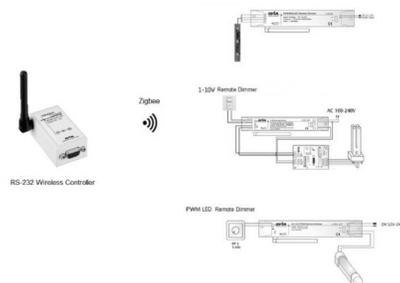


Figura 6: Comunicación entre la señal de un mando inalámbrico y los respectivos reguladores de luz remota [22]

La empresa Tridonic en [23], presenta un innovador sistema de gestión de iluminación, de la iluminación en espacios interiores, que proporciona una perfecta combinación de sensores, unidades de control y lámparas inteligentes.

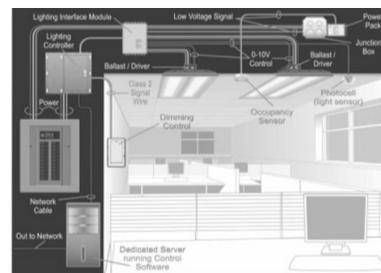
La plataforma de gestión inteligente representa una solución de iluminación muy avanzada, que con ayuda de dispositivos DALI – dispositivos de control, que implementa un innovador control de un conjunto de luminarias LED, alimentados por un sistema LVDC. La plataforma de gestión se compone de:

- Una interface conecDIM, puerta de enlace que une las líneas DALI que permite la interoperabilidad entre todos los dispositivos estándar DALI. El control inalámbrico lo realiza un enrutador WiFi – en serie con un dispositivo iOS o Android. Una vez conectado a Internet, el sistema carga todos los datos a la nube de iluminación desde el conecDIM.

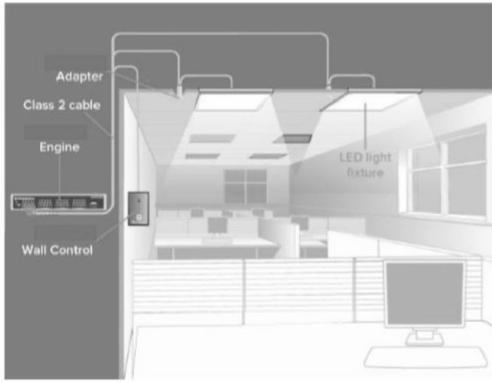
La plataforma de gestión de iluminación en la nube permite un servicio en línea continuo desde cualquier lugar, entre las más importantes funcionalidades de la plataforma de control destacan:

- monitorización remota del sitio
- gestión de la programación astronómica
- mantenimiento,
- pruebas de iluminación de emergencia,
- control de la energía,
- copias de seguridad remota,
- gestión y presentación de informes

En la Fig. 7. [24], se observa las ventajas de la implementación de sistemas LVDC de iluminación LED, en relación a los sistemas convencionales. Los sistemas LVDC permiten un mejor control y una significativa reducción de dispositivos de conversión, AC/DC, garantizando una mayor eficiencia y elevada sostenibilidad energética.



a)



b)

Figura 7: Comparación de un sistema convencional frente a un sistema LVDC de Iluminación LED [25]

La Fig. 7a, muestra el sistema convencional alterna y el elevado número de dispositivos de conversión AC/DC y módulos necesarios para el control de iluminación. Los sistemas de control de un sistema de iluminación LED conectados a un sistema LVDC son más sencillos de instalar y configurar, Fig. 7b.

6. IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA CLOUD DE GESTIÓN DE UN SISTEMA LVDC RENOVABLE PARA LEDs CONTROLABLES

Actualmente, en la Universidad Técnica de Ambato, UTA, en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, FISEI, el grupo de investigación REWA-RD, Renewable Energy and Web Architecture – Research and Development, ha implementado una plataforma de gestión y control desde la nube de un sistema de iluminación, que se alimenta desde fuentes renovables de generación eléctrica y un sistema de distribución LVDC. La Plataforma Cloud que se encuentra en operación está diseñada bajo la arquitectura Open Stack que integra un Controller Node, Compute Node, un servicio de imagen Storage Node y objetos de almacenamiento de Open Stack. Las aplicaciones como Dashboard, Keystone y Quantum permiten tener un la implementación rápida de sistemas de gestión y control de forma remota [26]. En la Fig. 8, se presenta la arquitectura de la plataforma cloud implementada en la FISEI, UTA.

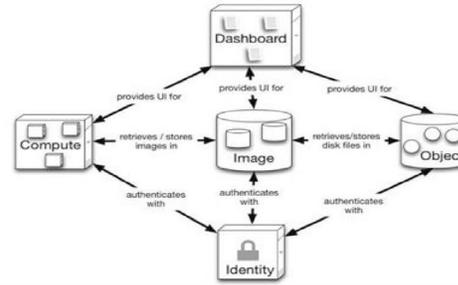


Figura 8: Diagrama de bloques de la arquitectura Open Stack[26]

Actualmente, la plataforma cloud realiza la gestión y monitorización de un sistema solar aislado, conformado por un panel de 327 Wp, un regulador/inversor de 20A, un sistema de acumulación de 130 Ah y 12V de tensión continua. En breve, se conectará una mini turbina eólica de 400W y 48V, que permitirá incrementar la disponibilidad de energía eléctrica para suministrar al sistema de iluminación basado en LEDs. La implementación de una plataforma de gestión de un sistema de iluminación LED, alimentada desde un sistema híbrido renovable eólico-solar a través de un sistema de distribución LVDC se presenta en la Fig. 9.

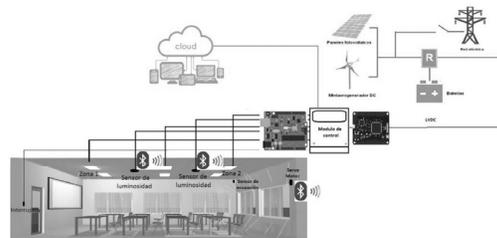


Figura 9: Esquema general de la plataforma de control inteligente de sistema LVDC de iluminación LED

La plataforma cloud de gestión y control de un sistema LVDC renovable para LEDs controlables se compone de:

- Un sistema de control de iluminación LED basado en una microcontrolador programable Arduino y FPGA
- Un sistema de sensores instalados en el exterior e interior, que permiten recolectar información sobre luminosidad, para atenuar la intensidad de luz del sistema de iluminación LED.

- Un sistema domótico coordinado con el sistema de las luminarias, en función de la información recolectada por los sensores de la iluminación exterior.
- Una plataforma CloudIoT de registro, almacenamiento, gestión y visualización de la información.
- Un sistema renovable híbrido eólico-solar que suministra energía en corriente continua al sistema de iluminación LEDs a través de un sistema LVDC.

La plataforma cloud permitirá administrar la energía suministrada desde las fuentes renovables de forma eficiente, proporcionando una iluminación adecuada en el espacio interior. Asimismo, la integración de un sistema domótico y de un control de iluminación gestionada desde la nube permitirá maximizar el uso de luz natural y minimizar el consumo de energía renovable, incrementando la vida útil de las baterías.

Uno de los aspectos más importantes del proceso de implementación de sistema LVDC renovable para LEDs controlables es la redistribución de luminarias en las aulas donde se implementará el prototipo, que garantice el cumplimiento de los estándares de iluminación en centros de aprendizaje en el Ecuador. La redistribución de las luminarias se ha realizado mediante la simulación de las áreas de alumbrado con ayuda del software DIALux. El mencionado software emplea normas europeas y permite evaluar el espectro de iluminación generado por cada una de las tecnologías de iluminación actualmente existentes. Este estudio previo permite realizar una correcta redistribución de la iluminación permitiendo maximizar el aprovechamiento de la luz natural en las aulas del edificio de la facultad.

La información de la intensidad lumínica en el interior y exterior es registrado por un conjunto de sensores inalámbricos, que transmiten la información a través de una comunicación bluetooth al Arduino. La lógica funcional del sistema de control de iluminación es generada mediante una tarjeta FPGA, que a través de un Arduino, actúa sobre el nivel de iluminación de las lámparas LED mediante un PWM. Asimismo, el Arduino controla el ángulo de apertura de las persianas para aprovechar la luz natural. El proyecto proporcionará información relevante sobre la reducción del consumo eléctrico en iluminación interior y de las pérdidas en el sistema LVDC, en comparación con un sistema convencional en corriente alterna.

En la actualidad la nube en operación, funciona como una plataforma de monitoreo y gestión de un sistema renovable aislado. La plataforma presenta de forma gráfica los valores medidos en forma remota y proporciona una rápida apreciación del estado actual de los componentes del sistema de generación solar fotovoltaico. Asimismo, permite desplegar registros de los valores medidos durante un tiempo establecido por el usuario, similares a los sistemas comerciales de monitoreo de sistemas fotovoltaicos conectados a red. La visualización gráfica y análisis de las variables monitorizadas proporciona la información adecuada para evaluar el comportamiento del sistema fotovoltaico aislado y prevenir eventos de desconexión que afecten al suministro de energía. Además, permite conocer los valores de generación de la instalación fotovoltaica y el consumo energético de los usuarios.



Figura 10: Informes gerenciales presentados por la plataforma de control. [26]

En la Fig. 10, se presentan la pantalla de visualización de registro de información de la plataforma cloud de monitorización y gestión desarrollada para un sistema renovable aislado. Se observan magnitudes del sistema renovable monitorizado como voltaje, intensidad, y temperatura del ambiente, en rojo, amarillo y azul, respectivamente.

La plataforma cloud existente es la primera fase de ejecución de la propuesta de plataforma cloud de gestión y control de un sistema LVDC renovable para LEDs controlables, y servirá de base para la elaboración, implementación y testeo de la plataforma de gestión y control del sistema inteligente de iluminación y de monitorización del funcionamiento del sistema de distribución LVDC.

7. CONCLUSIONES

La implementación de sistemas de distribución LVDC en el suministro de data centers, sistemas de iluminación, y edificios de emisiones cero representa una de las mejores propuestas para la optimización del

consumo final de energía en edificios residenciales y comerciales.

La Universidad Técnica de Ambato, ha iniciado el proceso de implementación de una plataforma cloud de gestión y control de un sistema de iluminación LEDs alimentado desde un sistema LVDC renovable en una aula del edificio de la facultad de Ingeniería Sistemas Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato. En una primera fase de la ejecución del proyecto se ha implementado una plataforma cloud de monitorización, almacenamiento, gestión y visualización de las magnitudes de operación de un sistema solar fotovoltaico aislado que suministra energía eléctrica a grupo de luminarias. El control del sistema de iluminación se encuentra en proceso de implementación con ayuda de una tarjeta FPGA, que a través de un Arduino, actúa sobre el nivel de iluminación de las luminarias. Asimismo, se prevé que el Arduino controle el ángulo de apertura de las persianas para maximizar el aprovechamiento de la luz natural. El uso de fuentes de energía renovables en sistemas de distribución LVDC para iluminación, permitirá una reducción sustancial de las pérdidas de energía, debido a que al disminuir los dispositivos de conversión se maximiza el ahorro de energía obtenido gracias a la sustitución de luminarias ineficientes por sistemas de iluminación con tecnología LED.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, SENESCYT, por su especial apoyo en el desarrollo de la presente propuesta, gracias a la financiación del Proyecto de Investigación PROMETEO: “*Evaluación Técnico-Económica y Medioambiental de la Integración de Energías Renovables y Técnicas de Diseño y Gestión Eficiente en Sistemas de Edificación y Transporte Sostenibles, Aplicación Práctica a la Ciudad de Ambato*”, así como a la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Técnica de Ambato, DIDE, por su apoyo a la financiación del Proyecto de Investigación denominado “*Diseño e Implementación de un Sistema Monitoreo Remoto para las Instalaciones Fotovoltaicas Aisladas de las Comunidades Amazónicas del Ecuador*”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Brian Patterson and Paula Ziegenbein, “DC power distribution favors LED lighting”, LEDsmagazine.com, January-February 2009.
- [2] Michael Stelts, “The Necessity for LVDC Power in Home Entertainment”, IEC TC100.
- [3] BJ Sonnenberg, “380VDC eco system – current status of development”, LVDCRedefining Electricity, First International Conference on Low Voltage Direct Current, New Delhi, India, 26-27 October 2015.
- [4] <http://www.emergealliance.org/Home.aspx>, página web de Emerge Alliance,
- [5] European Telecommunications Standards Institute: Environmental Engineering (EE); Power supply interface at the input to telecommunications and datacom (ICT) equipment; Part 3: Sub-part 1: Direct current source up to 400 V, European Standard ETSI EN 300 132-3-1 V2.1.1, 2012.
- [6] Tilo Pueschel, “The first DC micro grid in a commercial building in Germany”, LVDC-Redefining Electricity, First International Conference on Low Voltage Direct Current, New Delhi, India, 26-27 October 2015.
- [7] Voss, Musall, “Net zero energy buildings”, 2nd Edition, 2012.
- [8] Vagelis Vossos, Karina Garbesi and Hongxia Shen, “Energy savings from direct-DC in U.S.residential buildings”, Volume 68, Part A, January 2014, Pages 223–231.
- [9] U. Boeke and M. Wendt, “Direct Current (DC) Supply Grids for LED Lighting, LED Lighting, October 2015.
- [10] Lubna Mariam, Malabika Basu, and Michael F. Conlon, “A Review of Existing Microgrid Architectures”, Hindawi Publishing Corporation Journal of Engineering, Volume 2013, Article ID 937614, 8 page
- [11] H. Kakigano, Y. Miura, T. Ise: “Low-Voltage Bipolar-Type DC Microgrid for Super High Quality Distribution” in IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 25, pp. 3066-3075, Dec. 2010.
- [12] Ulrich Boeke and Leopold Ott, “Impact of a ± 380 V DC Power Grid Infrastructure on Commercial Building Energy Profiles”, White paper of the DCC+G project, 2014.
- [13] Bernd Wunder, Leopold Ott, Marek Szpek, Ulrich Boeke and Roland Weiß, “Energy efficient DC-grids for commercial buildings”, INTELEC, International Telecommunications Energy Conference Proceedings, September 2014.
- [14] R. Weiss, L. Ott and U. Boeke, “Energy efficient low-voltage DC-grids for commercial buildings”, First IEEE International Conference on Direct Current Microgrids (ICDCM), June 2015.
- [15] Leslie, Russell P.; Conway, Kathryn M., “The lighting pattern book for homes”, Chapter People, Energy, and Light, Rensselaer Polytechnic Institute, 2007.

- [16] Mary Yamada Kelsey Stober Navigant Navigant, "Adoption of Light-Emitting Diodes in Common Lighting Applications", U.S. Department of Energy Solid-State Lighting Program. July 2007.
- [17] Comisión Europea, "Acelerando el despliegue de tecnologías de iluminación innovadoras", Bruselas diciembre 2012.
- [18] Ferdinando S.; Iacopo G.; Giacomo F.; "Maintenance and Energy Optimization of Lighting Systems for the Improvement of Historic Buildings: A Case Study", Sustainability Journal, Open Access. Septiembre 2015.
- [19] Navigant C., "Energy Savings Forecast of Solid-State Lighting in General Illumination Applications", U.S. Department of Energy, August 2014.
- [20] Aura, "Association of Universities for Research in Astronomy", International Year of Light 2015. Agosto 2015
- [21] Merge Alliance, "Installation Examples Based on Applications of the 24V DC Emerge Alliance Standard", Installed between 2008-2010.
- [22] Eberhard Waffenschmidt, "Direct current (DC) supply grids for LED-Lighting" Cologne University of Applied Science, Cologne, Germany, 2015
- [23] Ulrich Boeke, Matthias Wendt, Lennart Yseboodt, "Combined Solar and AC Mains Powered LED Lighting System", 14th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'11), Birmingham, United Kingdom, 30.Aug.-1. Sept.2011
- [24] Yutao Zhou; Nadarajah Narendran, "Photovoltaic-powered light-emitting diode lighting systems", Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, 2005. Ceiling Systems "Case study for Optima Engineering DC Flex Zone", Armstrong Corporation, 2015.
- [25] Philips, "Sistemas de control y LEDs", 2015
- [26] Wen-Tsai Sung and Jia-Syun Lin, "Design and Implementation of a Smart LED Lighting System Using a Self Adaptive Weighted Data Fusion Algorithm", Department of Electrical Engineering, National Chin-Yi University of Technology, Open Access sensor, 2013.
- [27] Jesús Guamán, Carlos Vargas, Ruben Nogales, David Guevara, Mario García, Alberto Ríos, "Solar Manager: Plataforma Cloud de Adquisición, Tratamiento y Visualización de Información de Sistemas Fotovoltaicos Aislados", Revista Ingenius, Edición 15, Universidad Politécnica Salesiana, Junio 2016.



Jesús Guamán Molina.- Nació en Latacunga, Ecuador en 1990. Recibió su título de Ingeniero Electrónico y Comunicaciones de la Universidad Técnica de Ambato en el año 2015. Es Investigador en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato.



Calos Vargas Guevara.- Nació en Ambato, Ecuador en 1991. Recibió su título de Ingeniero Electrónico y Comunicaciones de la Universidad Técnica de Ambato en el año 2015. Es Investigador en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato.



Mario García Carrillo. Obtuvo el Título de ingeniero en Electricidad especialidad Electrónica, en la Universidad Politécnica del litoral en 1997. Master en Docencia Universitaria Magister en "Docencia Universitaria y Administración Educativa" Universidad Tecnológica Indoamérica. Diploma Superior en Teoría, Diseño y Evaluación Curricular por la Universidad Técnica de Ambato. Magister en Redes y Telecomunicaciones por la Universidad Técnica de Ambato.



Alberto Ríos Villacorta. Ingeniero Eléctrico en Sistemas y Redes Eléctricas por el Instituto Politécnico de Bielorrusia, 1993. Master en Energías Renovables por la Universidad Europea de Madrid, 2004. Dr. Ingeniero Eléctrico por la Universidad Carlos III de Madrid, 2007. Profesor Ayudante de la Universidad Carlos III de Madrid, 1998-2001. Profesor Adjunto de la Universidad Europea de Madrid, 2001-2014. Director Técnico de Energy to Quality, Laboratorio de Ensayos de Turbinas Eólicas y Simulaciones de parques Eólicos, 2005-2006. Director del Master Oficial de Energías Renovables de la Universidad Europea de Madrid, 2007-2011. Actualmente es Investigador Postdoctoral de Universidad Técnica de Ambato desde el año 2014, en calidad de Investigador Prometeo, SENESCYT, Ecuador.