

# Primer Sistema Ecológico de Gestión de Corriente Continua para Subestaciones de Potencia

Robinson Díaz<sup>1</sup>; Cesar Rincón<sup>2</sup>; Rodolfo García Sierra<sup>3</sup>; John Pérez<sup>4</sup>

CODENSA S.A. ESP<sup>1,2,3,4</sup>  
 Bogotá, Colombia<sup>1,2,3,4</sup>

rdiaz@endesacolombia.com.co<sup>1</sup>; crincon@endesacolombia.com.co<sup>2</sup>; rodolfo.garcia@enel.com<sup>3</sup>; john.perez@enel.com<sup>4</sup>

*(Resumen)* — Este documento describe la implementación del primer sistema ecológico de gestión de corriente continua en las subestaciones de alta tensión de CODENSA. Esta solución se diseñó para afrontar retos de sostenibilidad ambiental como son eficiencia energética y aprovechamiento de fuentes renovables de energía. Para esto se implementaron tecnologías de punta en soluciones de corriente continua. Se desarrolló una solución única capaz de realizar las funciones de conversión de corriente continua transformando los diseños actuales en unos con mejor desempeño, eficiencia y seguridad. Se incorporaron fuentes renovables en las subestaciones de potencia para soportar la carga eléctrica de equipos de comunicaciones. Se consideró como un elemento crítico el monitoreo de las baterías, buscando extender la duración de estas y evitar su trabajo en zonas de riesgo de pérdida de vida útil. Esto permite mejorar la eficiencia energética, disminuir el impacto ambiental y modernizar los diseños de subestaciones de potencia. El proyecto se desarrolló en la totalidad de las subestaciones de alta tensión de CODENSA.

**Palabras Claves:** alimentación de respaldo, cargador de baterías, monitorización de baterías, paneles fotovoltaicos, sistemas auxiliares de subestaciones, sistemas de corriente continua.

*(Abstract)* — The first ecological DC management system in the high voltage substations from CODENSA is described in this paper. This solution was designed to address environmental sustainability challenges such as energy efficiency and use of renewable energy sources. For achieve such goal, the latest technologies in solutions for DC systems were implemented. It was developed a unique solution capable to make the DC conversion functions transforming the existing designs in another ones with a better performance, efficiency and safety.

Renewable sources were incorporated in power substations to handle the electrical load of power communications equipment. It was considered the batteries monitoring as a critical element, seeking to extend its duration and to avoid its operation in areas with risk of useful lifetime loss. This approach allows improving energy efficiency, reducing environmental impact and modernizing the designs of power substations. The project was developed in all the high voltage substations from CODENSA.

**Key Words:** backup power, battery charger, battery monitoring, DC systems, solar panels, substation auxiliary systems.

## I. INTRODUCCIÓN

Componentes como los relés de protección son considerados como críticos en la operación de las subestaciones, mientras que la importancia de las baterías usualmente no es destacado. En realidad, los dispositivos de protección del sistema eléctrico no pueden operar de forma segura y fiable sin un sistema DC apropiadamente mantenido que sea suministrado por las baterías de la subestación. Las baterías funcionan como la columna vertebral de la subestación, y proveen la potencia para los relés de protección que activan los interruptores de potencia cuando se detecta una falla, además de alimentar otros componentes dentro de dichos equipos. En Norteamérica, la corporación NERC (North American Electric Reliability Corporation) ha adicionado una serie de requisitos obligatorios a su estándar de mantenimiento de sistemas de protección para mejorar la fiabilidad de los sistemas de baterías de subestaciones [1].

El corazón de la subestación es el banco de baterías. Si estas fallan se puede exponer a la subestación a una condición en la que los equipos de protección no disparen en caso de una falla [2].

Organizan:



Apoyan:



Los sistemas DC están instalados en las subestaciones eléctricas para proveer energía a los sistemas de control, protección, alarmas, comunicaciones y otros circuitos auxiliares críticos donde es esencial tener máxima confiabilidad en el suministro de energía. En el evento en el que el suministro AC falle, la electricidad en DC, que es almacenada en baterías con suficiente capacidad, entrega la potencia necesaria hasta que el suministro AC esté disponible nuevamente. Bajo estas condiciones, se requiere que las baterías alimenten las cargas que están conectadas para un período de aproximadamente 10 horas. Aunque este tiempo puede variar dependiendo de la subestación [3].

En todas las subestaciones de potencia debe existir un sistema de alimentación auxiliar. La potencia AC se requiere para alimentar las cargas de las instalaciones de la subestación, alumbrado, calefacción, ventilación equipos de comunicación, mecanismos de operación de los interruptores, calentadores anticondensación y motores. Pero más importante aún es la alimentación DC, la cual se usa para alimentar servicios esenciales como son las bobinas de disparo de los interruptores y relés, el sistema SCADA y los equipos de comunicación. Aquí, las baterías juegan un papel fundamental, pues son las que permiten almacenar la electricidad para luego entregar la potencia DC requerida durante el período de tiempo requerido dentro de los límites de tensión especificados. Estos sistemas de respaldo deben diseñarse considerando una variedad de aspectos todos de gran relevancia. Debe tenerse en cuenta el tipo de cargador de baterías, la capacidad de las baterías, sus características, su dimensión, el sitio de instalación, las condiciones de seguridad, entre otros [4].

En este documento se describe un nuevo sistema para servicios auxiliares en subestaciones de potencia. Este sistema provee una gran variedad de funciones lógicas innovadoras para mejorar el ciclo de vida de las baterías. Una de ellas es el diagnóstico de baterías, la cual es ejecutada con cierta periodicidad. Todo este montaje se hace con el fin de fortalecer uno de los componentes más críticos en las subestaciones AT/MT de la empresa CODENSA que es el sistema de servicios auxiliares [5].

## II. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

A principio de siglo ha surgido una preocupación de la sociedad internacional y colombiana asociada a la sostenibilidad ambiental de diversos aspectos del modelo de vida que hasta el siglo pasado era considerado adecuado. En este marco conceptual, se han identificado una serie de daños producto del uso de baterías para almacenamiento de energía, al mismo tiempo se ha promovido desde el gobierno nacional, la incorporación de fuentes de energía renovable que sustituyan otras como el ACPM. En diversos ámbitos de los procesos industriales se ha realizado estos cambios. En particular el sector eléctrico es precisamente unos de los llamados a liderar el cambio de paradigmas asociados al uso de fuentes renovables y la generación de residuos dañinos al medio ambiente. En esta búsqueda se han encontrado en los sistemas de gestión de corriente continua que soportan en las subestaciones de potencia del sistema de alta tensión, unas condiciones técnicas que permiten visualizar que la carga de

los elementos asociados al telecontrol y comunicaciones podrían ser alimentados de una forma tal que cumplan la función de prolongar la vida útil de las baterías estacionarias utilizadas en estos sistemas y adicionalmente incorporar las fuentes renovables de energía de tal forma que el sistema de gestión de corriente continua pueda integrar el cuidado del medio ambiente desde el diseño mismo de las subestaciones de potencia. Este proyecto nace inicialmente de una serie de problemas que se han ido identificando en las subestaciones de potencia, donde nuevas condiciones ambientales y diseños aislados de las consideraciones ambientales presentaban espacio para ser investigados.

Es interesante resaltar que existen métodos para aumentar la confiabilidad de estas soluciones tales como duplicar los equipos (criterio N-1), sin embargo, efectivamente crean nuevas demandas de baterías. Por otro lado, el uso de circuitos de suplencias para alimentar las cargas eléctricas de servicios auxiliares desde otros circuitos de subestaciones diferentes a la intervenida, implican afectaciones debido a la creación de nuevos tendidos de redes eléctricas adicionales afectando el medio ambiente en zonas rurales y creando una entropía mayor a la que se pretende disminuir. Como se puede validar la búsqueda de soluciones ecológicas en la fase de diseño de subestaciones eléctricas implica la revisión de una serie de supuestos en los diseños eléctricos dominantes por años. Hoy en día, el conocimiento de los impactos ambientales entrega nuevas herramientas de diseño de soluciones de subestaciones eléctricas no disponibles en el pasado manteniendo la competitividad respecto a otras opciones.

En las subestaciones de potencia existen del orden de 60 celdas que implican riesgos para el medio ambiente en caso que su vida útil sufra cambios repentinos de diversos tipos entre ellos la temperatura y otras condiciones ambientales. Este problema ha sido estudiado por años, sin embargo, a la fecha dado que continúa siendo una solución de almacenamiento de energía bien aceptada, se hace necesario su uso intensivo cuando se requiere almacenar cantidades de energía suficientes para las funciones de control y protección de equipos ante fallos en las redes de alimentación principales de la subestación.

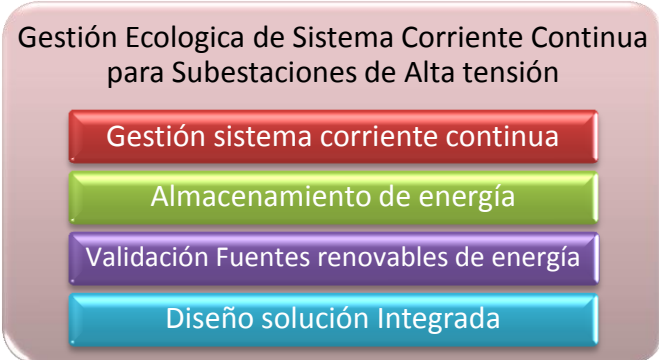


Fig. 1. Aspectos generales para el desarrollo del proyecto de gestión ecológica del sistema de corriente continua para subestaciones de alta tensión en CODENSA. Fuente: Propia.

Organizan:



Apoyan:



### III. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

En este proyecto se propuso desarrollar e implementar un sistema de gestión de corriente continua ecológico para las subestaciones de alta tensión de CODENSA desde el punto de vista de incorporación de fuentes de energía renovables y disminución de generación de residuos, con el fin de realizar la operación de la red de manera más eficiente, limpia y segura. El desarrollo de la solución se dividió en cuatro partes, según como se indica en la Fig. 1.

#### A. Gestión del sistema corriente continua

Para determinar el esquema final para la gestión del sistema corriente continua se estableció el estado actual del mismo dentro de la empresa. Allí se determinó que este sistema en las subestaciones de potencia del sistema de alta tensión de CODENSA, implicaba una gestión local para las actividades de diagnóstico de características de equipos críticos como baterías, cargadores, y otros. Los elementos anteriores poseían características técnicas sin la capacidad de interoperabilidad requerida para realizar operaciones más complejas de análisis, como validación de otras variables previa a su operación o consideraciones especiales como variaciones en la carga de forma automática, autovalidando nuevos elementos de transferencia de potencia. Se buscaron entonces alternativas donde se incluyó la exploración de equipos y ofertas tecnológicas existentes. Así inicialmente se validaron propuestas de gestión de corriente continua de distintos proveedores entre ellos GE, EATON, y ELTEK. Al profundizar la búsqueda se identificó la opción de mejorar los equipos para gestión de corriente continua existentes con los equipos más actualizados del mismo proveedor. Esta opción contemplaba la renovación de los equipos de gestión de corriente continua por la versión moderna sin realizar ninguna alteración a los diseños existentes. Así entonces se desarrolló una aplicación y se renovaron los equipos asociados a la gestión de corriente continua, siendo ELTEK el fabricante que ofreció las funciones requeridas (Fig. 2).

#### B. Almacenamiento de energía

En este apartado fue de gran importancia evaluar todas las opciones de almacenamiento existentes. Principalmente, se evaluó la tecnología de baterías estacionarias. Las tipologías de baterías usadas tradicionalmente en aplicaciones estacionarias son las baterías de níquel-cadmio y las de plomo-ácido, a las que hay que añadir recientemente las de ión-litio y las de níquel-hidruro metálico. Entre todas éstas, actualmente las más utilizadas son las baterías de plomo-ácido. La selección de uno u otro tipo puede ser de carácter económico o técnico, o una combinación de ambas.

Así entonces, se determinaron dos opciones a considerar para los equipos de almacenamiento:

1. Implementar una solución de almacenamiento equivalente.
2. Implementar una solución de almacenamiento basada en otra tecnología.



Fig. 2. Equipo de gestión para el sistema de corriente continua implementado en el proyecto.



Fig. 3. Solución de almacenamiento seleccionada para el sistema ecológico de corriente continua. Este equipo tiene características de alta calidad que permiten alargar su vida útil disminuyendo el impacto ambiental.

Teniendo en cuenta la información recopilada y el análisis técnico respectivo, se identificó que la opción más recomendable era realizar un cambio de paradigma y optar por la alternativa de almacenamiento basada en baterías, resaltando que se mejoraron los requisitos de los equipos para así compatibilizar su uso con las nuevas prácticas medioambientales y asegurar que su funcionamiento en conjunto con los demás equipos permita mejorar su vida útil, logrando de esta manera mitigar los impactos ambientales (Fig. 3).

#### C. Validación fuentes renovables de energía

En esta etapa del proyecto, se estudiaron las diferentes alternativas de equipos de generación basados en recursos renovables. Con base en los estudios realizados por la UPME en su Atlas de Radiación Solar [6], se determinó que la tecnología más apta para implementar en esta solución son los paneles solares fotovoltaicos. Una vez validado el tipo de energía renovable a utilizar fue necesario revisar los riesgos que conllevaba acercar fuentes renovables a los entornos de subestaciones. En este sentido, fue necesario validar riesgos de incendio (ya que las corrientes en DC son muy altas para capacidades de potencia relativamente bajas), los espacios disponibles no solo de instalación sino para gestión de mantenimiento de las mismas subestaciones, siendo este un punto clave de limitación de sitios de implementación. En cuanto a instalación de equipos en altura fue necesario revisar las condiciones actuales de los soportes lo que podría llevar a riesgos colaterales eléctricos

Organizan:



Apoyan:





y mecánicos que se debieron descartar sitio a sitio. Finalmente, para la instalación de los paneles solares fotovoltaicos se incorporarán las mejores prácticas asociadas a la EPA y NERC, dentro del mejoramiento de la infraestructura. Adicional a los equipos de generación, se debió considerar la selección del controlador solar de carga. En este sentido, se siguió la filosofía del proyecto de usar tecnología que permita elevar la eficiencia, que en este caso está relacionada con el aprovechamiento de la mayor cantidad de potencia generada por los paneles solares. Por tal motivo se eligió un equipo que incorpora un algoritmo de seguimiento de máxima potencia o MPPT (por sus siglas en inglés). La Fig. 4 y Fig. 5 muestran respectivamente los paneles solares implementados en la solución y el controlador solar de carga tipo industrial de alta eficiencia. Estos equipos ofrecen las más altas prestaciones a nivel de generación de energía eléctrica fotovoltaica.



Fig. 4. Paneles solares fotovoltaicos de alta eficiencia instalados en las subestaciones de alta tensión de CODENSA para el sistema ecológico de gestión de corriente continua.



Fig. 5. Controlador de carga solar incluido dentro del sistema ecológico de gestión de corriente continua. Este equipo permite aprovechar de una mejor manera y con una alta eficiencia la potencia generada por los paneles solares fotovoltaicos.

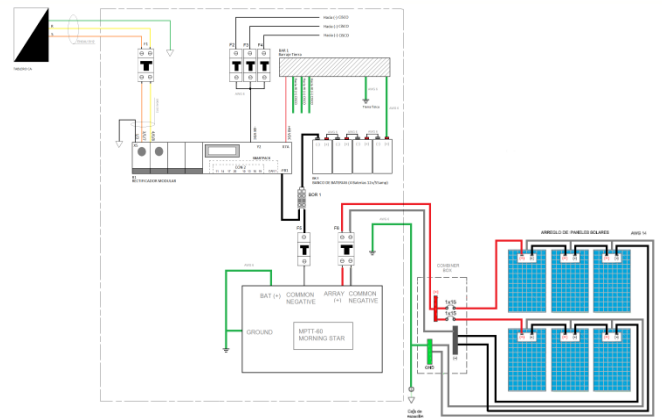


Fig. 6. Diseño final para el sistema de gestión ecológica de corriente continua en subestaciones. Fuente: Propia.

#### D. Diseño final de la solución

El diseño final de la solución contempló la incorporación de equipos avanzados de electrónica de potencia para el control de la energía eléctrica proveniente de los paneles solares y para la gestión de la carga y descarga de las baterías estacionarias como se describió en los numerales anteriores. La Fig. 6 muestra el diseño final construido con base en la metodología expuesta en esta sección. El sistema de gestión de corriente continua ofrece 3 fuentes de alimentación para las cargas eléctricas de telecontrol y telecomunicaciones. El rectificador es un equipo que ofrece la capacidad de controlar dichas fuentes de alimentación ofreciendo flujo constante de corriente ya que no permite que la tensión DC cruce por cero en ningún momento, sea cual sea la fuente que se encuentre disponible. Los paneles solares entregan una potencia DC que es convertida a 48VDC por el controlador solar de carga. La energía generada no sólo mantiene cargadas las baterías sino que en el escenario donde exista alguna contingencia y el recurso solar se encuentre disponible será la fuente de alimentación principal de las cargas DC de telecontrol y telecomunicaciones. No obstante, tanto las baterías como los paneles solares son las fuentes de respaldo, ya que la energía proveniente de los servicios auxiliares (fuente AC) será la que tenga la prioridad más alta. El diseño propuesto ofrece un aporte innovador en el sentido de aprovechar las fuentes de energía renovable para aumentar la redundancia en las fuentes de respaldo de los equipos críticos de telecontrol y telecomunicaciones.

Así mismo, el sistema de gestión de corriente continua cuenta con la capacidad de transmitir los datos del estado de los equipos al sistema SCADA en el Centro de Control. La Fig. 7 muestra la arquitectura de comunicaciones para el control de los equipos, mientras que la Fig. 8 muestra la arquitectura de comunicaciones para la monitorización de las variables y la gestión del mantenimiento de los equipos.

Organizan:



Apoyan:



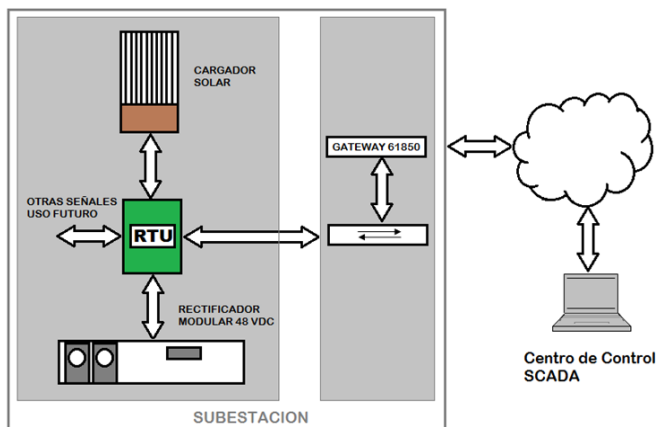


Fig. 7. Arquitectura de comunicaciones para el control de los dispositivos del sistema de gestión de corriente continua.



Fig. 9. Ubicación de los paneles solares dentro de una de las subestaciones de alta tensión de CODENSA. Usualmente se instalaron arreglos de 9 paneles solares para una potencia pico de 2655 Watts.

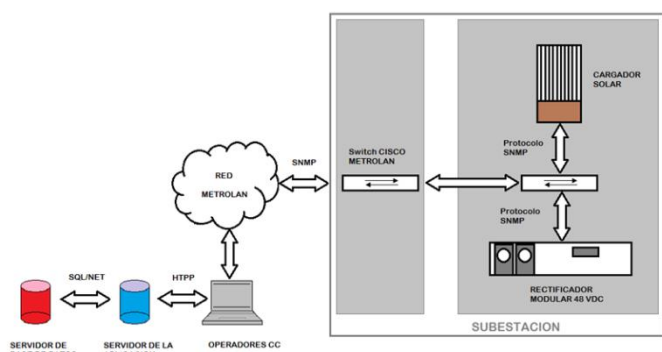


Fig. 8. Arquitectura de comunicaciones para el mantenimiento de los dispositivos del sistema de gestión de corriente continua.

#### IV. RESULTADOS

En la Fig. 9 y Fig. 10 se observan respectivamente los paneles solares instalados en una de las subestaciones del sistema de alta tensión de CODENSA y la distribución interna de los equipos en el gabinete del sistema de gestión de corriente continua.

Luego de la implementación de este proyecto, se pueden destacar los siguientes resultados:

1. Se implementó una solución de gestión de corriente continua para alimentar servicios de comunicaciones, utilizando equipos monitorizados para facilitar la gestión ambiental.
2. Se logró tener disponible la monitorización del estado de las baterías asociadas a estos sistemas de corriente continua en subestaciones de alta tensión.
3. Se incorporaron fuentes renovables de energía donde fue viable técnicamente dentro de las subestaciones de alta tensión de CODENSA.
4. Se implementó un nuevo diseño que promueve y establece criterios de mitigación de impactos ambientales en las nuevas subestaciones de alta tensión de Codensa.



Fig. 10. Distribución interna de los equipos en el gabinete del sistema de gestión de corriente continua y aspecto exterior del mismo. Los diseños implementados cumplen con todas las normas de instalaciones eléctricas dentro subestaciones de alta tensión..

Por otro lado, es importante resaltar algunos impactos generados fruto de esta propuesta. Estos impactos están relacionados con creación de nuevas capacidades y diseños con menos impacto ambiental.

1. Se crearon nuevas capacidades a los proveedores locales en este tipo de tecnologías dado que todo el proyecto fue desarrollado con ingeniería nacional.
2. Se disminuyeron los daños en baterías estacionarias por mal funcionamiento, mitigando riesgos de impactos ambientales por este tipo de situaciones mal identificadas.
3. Se crearon nuevos diseños electrónicos de integración de fuentes renovables en entornos como las subestaciones eléctricas de alta tensión de CODENSA.
4. Se formó personal calificado en gestión ambiental y modelos de mejoramiento de diseños de sistemas de gestión ecológica de corriente continua.

Organizan:



Apoyan:



5. Se impactó positivamente en la eficiencia energética ante la incorporación de nuevos elementos en el diseño de las soluciones de gestión de corriente continua.

En términos operativos se puede destacar que durante el año 2014 se instalaron 60 soluciones de monitorización del sistema de 48VDC con las cuales se han impactado positivamente indicadores como la efectividad del telecontrol y la disponibilidad del telecontrol. Respecto al primero se han logrado valores de hasta el 90% y en el segundo de hasta 97%, lo que demuestra las ventajas operacionales que ofrecen soluciones de gestión de corriente continua en las subestaciones.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este documento se presentó todo el proceso realizado para el diseño, instalación y puesta en marcha del sistema ecológico de gestión de corriente continua para las cargas de telecontrol y telecomunicaciones de las subestaciones de alta tensión de CODENSA. Se describió la motivación que llevó a ejecutar el proyecto, así como su objetivo y la metodología implementada en el mismo. Se destacaron los logros operativos alcanzados con la instalación de estos nuevos equipos así como la importancia de incorporar aspectos medioambientales en el diseño de soluciones de este tipo.

No solamente el hecho de incorporar fuentes de energía renovable en los sistemas de gestión de corriente continua hace que estas soluciones sean ecológicas o más amigables con el medio ambiente, sino también consideraciones como prolongar el ciclo de vida de las baterías y usar equipos con altos porcentajes de eficiencia. De la combinación adecuada de todas estas características depende el éxito del proyecto en términos de reducción del impacto medioambiental, que fue una de las principales condiciones en la ejecución del proyecto.

## REFERENCIAS

- [1] M. Powell, "Dominion : Charged Up and Ready to Go," *T&D World Magazine*, pp. 1–5, 25-Jun-2014.
- [2] G. Wright, "Substation Batteries Play a Role in Reliability," *T&D World Magazine*, pp. 1–4, 05-Jun-2013.
- [3] NSW DET, "Install and maintain substation DC systems - Learner Guide," 2009.
- [4] B. J. Hardy, "Substation Auxiliary Power Supplies," in *Transmission and distribution electrical engineering*, Fourth Edi., Elsevier, 2012, pp. 115–148.
- [5] R. Calone, G. Di Lembo, and A. Fatica, "Power supply station for Auxiliary Services in Primary Substations," *Electr. Distrib. - Part 1, 2009. CIRED 2009. 20th Int. Conf. Exhib.*, pp. 1–3, 2009.
- [6] C. Sánchez, F. Rodríguez, E. Collante, and O. Simbaqueva, "Atlas de radiación solar de Colombia." UPME, pp. 13–22, 1993.

Organizan:



Apoyan:

