

DIAGNÓSTICO DE LA CAPACIDAD TECNOLÓGICA DE LOS EQUIPOS
RECONECTADORES UTILIZADOS COMO SUPLENCIAS EN EL SDL DE LA
ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. E.S.P.

RICARDO ANDRÉS BELTRÁN ANGARITA
ALDEMAR FRANCISCO ARDILA SÁNCHEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
BUCARAMANGA

2025

DIAGNÓSTICO DE LA CAPACIDAD TECNOLÓGICA DE LOS EQUIPOS
RECONECTADORES UTILIZADOS COMO SUPLENCIAS EN EL SDL DE LA
ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. E.S.P.

RICARDO ANDRÉS BELTRÁN ANGARITA
ALDEMAR FRANCISCO ARDILA SÁNCHEZ

Trabajo de grado para optar al título de Especialización en Sistemas de Distribución de
Energía Eléctrica

Directora
Yulieth Jimenez Manjarres
Doctora en ingeniería

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
BUCARAMANGA

2025

DEDICATORIA

A Dios por la vida, la familia, la salud y todas las bendiciones que me concede, por permitirme dar un nuevo paso en mi camino profesional al lado de mis seres queridos.

A mi mamá por todo, por ser mi motivación e inspiración para cumplir nuevas metas, porque gracias a ti y lo que me has inculcado hoy puedo dedicarte un nuevo triunfo.

A mi novia por su amor incondicional, su comprensión y apoyo durante este proceso, gracias por estar siempre a mi lado y ser mi compañera de vida. ILY MAS.

Gracias.

Ricardo Beltrán

A mis padres, por su amor incondicional y constante apoyo a lo largo de mi vida, y a mi novia, por su amor y comprensión.

Gracias

Aldemar Ardila

AGRADECIMIENTOS

A la Electrificadora de Santander por promover oportunidades de estudio para sus empleados fomentado así nuestro crecimiento profesional y personal.

A nuestra directora Yulieth Jiménez por la disposición permanente, el apoyo incondicional y su valioso acompañamiento en este proceso.

A nuestro compañero German Neira por su paciencia, amabilidad y colaboración facilitándonos un espacio de consulta y acceso para realizar la validación de los reconectores.

Les agradecemos su apoyo y contribución en este proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	15
1.1 RECONECTADOR.....	15
1.2 SUPLENCIA.....	16
1.3 SINCRONISMO.....	17
1.4 TELECONTROL.....	17
1.5 INDICADORES DE CALIDAD MEDIA DEL SERVICIO.....	18
2. OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GENERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. EQUIPOS RECONECTADORES UTILIZADOS COMO SUPLENCIAS EN EL SDL ESSA Y SUS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.	21
3.1 LISTADO DE SUPLENCIAS	21
3.2 MARCAS Y REFERENCIAS	22
3.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	23
4. ALTERNATIVAS DE RECONECTADORES EN EL MERCADO.....	25
4.1 FABRICANTES RELEVANTES EN EL MERCADO	25
4.1.1 SEL (SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES).....	25
4.1.2 EATON.....	25
4.1.3 GE VERNOVA.....	25
4.1.4 NOJA POWER.	26
4.1.5 ABB.....	26
4.1.6 SIEMENS.....	26

4.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE RECONECTADORES EN EL MERCADO	26
4.2.1 Capacidad de validación y supervisión remota del sincronismo:.....	26
4.2.2 Protocolos de comunicación:.....	27
4.2.3 Compatibilidad con SCADA:.....	27
4.2.4 Validación de bajo voltaje: Se consideró la capacidad de los equipos para validar condiciones de bajo voltaje en la red. Esta es la función de protección de bajo voltaje (27).	27
5. REQUISITOS TÉCNICOS MÍNIMOS PARA RECONECTADORES DE SUPLENCIA	29
5.1 CHEQUEO DE SINCRONISMO (ANSI 25)	29
5.2 PROTECCIÓN DE BAJO VOLTAJE (27 ANSI).....	30
5.3 DOBLE PT (TRANSFORMADOR DE POTENCIAL) DE MEDIDA	31
5.4 DOBLE ALIMENTACIÓN AC	32
6. RECONECTADORES EN ESSA QUE CUMPLEN CON LOS REQUISITOS ESTABLECIDOS.....	34
6.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS RECONECTADORES CHARDON	35
6.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS RECONECTADORES ENTEC	35
6.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS RECONECTADORES SCHNEIDER	37
6.4 RESULTADOS	38
6.4.1 Reconnectadores que cumplen con requisitos técnicos establecidos.....	38
6.4.2 Potenciales suplencias con condiciones de sincronismo.	38
7. CONCLUSIONES.....	41
8. RECOMENDACIONES	43
REFERENCIAS.....	44

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Reconectador trifásico.....	15
Figura 2. Esquema de un reconectador de suplencia	17
Figura 3. Consulta “SUPLENCIAS ESSA”	22
Figura 4. Suplencias para validar	22
Figura 5. Conexión de doble PT de medida en reconectadores.....	32
Figura 6. Reconectador con doble alimentación AC	33
Figura 7. Software de gestión FTUMan para los reconectadores Chardon.....	35
Figura 8. Software de gestión ETIMS para los reconectadores ENTEC	36
Figura 9. Software de gestión WSOS5 para los reconectadores Schneider	37
Figura 10. Potenciales suplencias con condiciones de sincronismo.	39
Figura 11. Reconectadores de suplencia que cumplen requisitos técnicos definidos. ...	40

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Marcas y referencias de reconectores de suplencia en ESSA	23
Tabla 2. Características técnicas de los reconectores de suplencia en ESSA.....	23
Tabla 3. Características técnicas de los reconectores en el mercado.....	27
Tabla 4. Reconectores con doble PT	38
Tabla 5. Cantidad de potenciales suplencias con condiciones de sincronismo	39

GLOSARIO

CDC: centro de control

CREG: comisión de regulación de energía y gas

DMS: sistema de gestión de la distribución

DNA: demanda no atendida

ESSA: electrificadora de Santander

GIS: sistema de información geográfica

OR: operador de red del sistema de energía eléctrica

PT: transformador de potencial

RTU: unidades de control remoto

SCADA: control de supervisión y adquisición de datos

SDL: sistema de distribución local de energía eléctrica

SEP: sistema eléctrico de potencia

RESUMEN

TÍTULO: DIAGNÓSTICO DE LA CAPACIDAD TECNOLÓGICA DE LOS EQUIPOS RECONECTADORES UTILIZADOS COMO SUPLENCIAS EN EL SDL DE LA ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. E.S.P.*

AUTOR: RICARDO ANDRÉS BELTRÁN ANGARITA, ALDEMAR FRANCISCO ARDILA SÁNCHEZ**

PALABRAS CLAVE: RECONECTADORES, SUPLENCIAS, CHEQUEO DE SINCRONISMO, BAJO VOLTAJE, SUPERVISIÓN REMOTA.

DESCRIPCIÓN: Con la entrada en vigor de la resolución CREG 015 de 2018 las exigencias en cuanto a calidad y continuidad del servicio al Operador de Red (OR) son cada vez mayores, cuyo cumplimiento es medido mediante los indicadores de calidad media SAIDI Y SAIFI y su incumplimiento pueden llevar al OR a tener pérdidas económicas. Por tal motivo, es importante disminuir al máximo las interrupciones en el servicio que no obedezcan a trabajos programados o fallas en la red, tales como las interrupciones por traslados de carga. Estas interrupciones se presentan debido a que los dos circuitos involucrados en una suplencia no tienen condiciones de sincronismo entre sí. En este sentido, en la presente monografía se identificaron los reconectadores utilizados como suplencia en el SDL de ESSA, se realizó una revisión de reconectadores en el mercado con el fin de identificar nuevas tecnologías y funciones que puedan ser relevantes para la operación del SEP de ESSA, también se definieron requisitos técnicos mínimos desde el punto de vista de la operación del SEP para ser tenidos en cuenta en la adquisición futura de estos equipos y finalmente, se generó un listado con los reconectadores en el SDL de ESSA que cumplen con estos requisitos, especialmente la capacidad de validar el sincronismo y la posibilidad de llevar esta señal al centro de control para una toma de decisiones informada y sin necesidad de apagar uno de los dos circuitos involucrados. En consecuencia, se disminuye el aporte de este tipo de maniobras a los indicadores de calidad, evitando pérdidas económicas para la compañía y daños en los equipos ante cierres sin condiciones de sincronismo. Así pues, se logró identificar que, de los reconectadores instalados en ESSA como suplencias, un 78% tiene la capacidad de validar condiciones de sincronismo y mapear esta señal al centro de control.

*Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela De Ingenierías Eléctrica, Electrónica Y De Telecomunicaciones. especialización en sistemas de distribución de energía eléctrica. Directora: Yulieth Jimenez Manjarres. Doctora en Ingeniería

ABSTRACT

TITLE: DIAGNOSIS OF THE TECHNOLOGICAL CAPACITY OF THE RECLOSER EQUIPMENT USED AS SUPPLY IN THE SDL OF ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. E.S.P.*

AUTHOR: RICARDO ANDRÉS BELTRÁN ANGARITA, ALDEMAR FRANCISCO ARDILA SÁNCHEZ**

KEY WORDS: RECLOSERS, SUPPLY, SYNCHRO CHECK, UNDER VOLTAGE, REMOTE SUPERVISION.

DESCRIPTION: With the entry into force of Resolution CREG 015 of 2018, the requirements in terms of quality and continuity of service to the Distribution System Operator (DSO) are increasingly higher, whose compliance is measured through the average quality indicators SAIDI and SAIFI and its non-compliance may lead the DSO to have economic losses. Therefore, it is important to reduce as much as possible the interruptions in the service that are not due to programmed works or failures in the network, such as interruptions due to load transfers. These interruptions occur because the two circuits involved in a substitution do not have conditions of synchronism between them. This is the reason why through this monograph the reclosers used as substitutes in ESSA's SDL are identified, reclosers from the market are reviewed to identify new technologies and functions that may be relevant for the operation of ESSA's SDL, minimum technical requirements are also defined from the point of view of the operation of the SEP to be taken into account in the future acquisition of this equipment and, finally, a list of the reclosers in ESSA's SDL that meet these requirements is generated, especially the capacity to validate the synchronism and the possibility of taking this signal to the control center for informed decision making and without the need to shut down one of the two circuits involved. In consequence, the contribution of this type of maneuvers to the quality indicators reduces, avoiding economic losses for the company and damage to the equipment in the event of closures without synchronism conditions. Thus, it is possible to identify that 78% of the reclosers installed in ESSA as substitutes have the capacity to validate synchronism conditions and map this signal to the control center.

*Degree work

**Faculty of Physicomechanical Engineerings. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Specialization in electric power distribution systems. Director: Yulieth Jimenez Manjarres. Doctor in Engineering

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la distribución de energía eléctrica, la continuidad y calidad del suministro son aspectos cruciales para satisfacer las necesidades de los usuarios y cumplir con las exigencias regulatorias, las cuales son cada vez más exigentes para el Operador de Red (OR). La Resolución CREG 015 de 2018 expresa: “La meta anual con respecto a la calidad promedio del sistema de cada OR será calculada por la CREG como resultado de aplicar una reducción del 8% anual con respecto a los indicadores de referencia de cada OR” [1] Además, esta Resolución exige que “Los OR deben incluir las metas anuales de mejoramiento de la calidad y los proyectos de inversión acordes con dichas metas. Las inversiones corresponden a instalación de suplencias, instalación de equipos de telecontrol, sistemas de gestión de la distribución, etc.” [1]. En ese sentido, la creciente exigencia regulatoria obliga a las empresas de servicios públicos a buscar constantemente formas de mejorar la confiabilidad y eficiencia de sus sistemas de distribución de energía eléctrica.

En este contexto, los equipos reconectadores desempeñan un papel fundamental en la operación y mantenimiento de la red eléctrica. Estos dispositivos se utilizan para restablecer automáticamente el suministro eléctrico en caso de una interrupción y para aislar secciones defectuosas de la red. Cuando se emplean como suplencias, los reconectadores actúan como fuentes de respaldo, “cuyo objetivo es proveer energía durante interrupciones del servicio eléctrico” [2], provenientes de “eventos no programados que ocurren súbitamente” [3] y/o “eventos programados planeados por el OR” [3], lo que permite suplir la carga y disminuir la contribución a los indicadores de “duración total en horas de los eventos que en promedio percibe cada usuario del sistema de distribución local (SDL) de un OR” [1] (SAIDI) y “la cantidad total de los eventos que en promedio perciben todos los usuarios del SDL de un OR” [1] (SAIFI).

El incumplimiento de los indicadores de calidad puede acarrear sanciones económicas para la compañía, “ya que, en función de las mejoras o desmejoras alcanzadas en la calidad media del sistema con respecto a una meta establecida regulatoriamente, el OR será objeto de aplicación de un esquema de incentivos el cual, le permitirá aumentar su ingreso, o disminuirlo” [1]. Por ende, es crucial garantizar la disminución de dichos indicadores mitigando las suspensiones del servicio.

A la fecha en ESSA los traslados de carga entre dos circuitos resulta en la interrupción de uno de ellos, debido a que no se tiene certeza de que en el reconector de suplencia se cumplan las condiciones de sincronismo entre ambos circuitos. Para evitar estas interrupciones se requiere desplazar personal al lugar físico del reconector para validar localmente las condiciones de sincronismo, lo que resulta en costos de desplazamiento y ocupación de personal especializado en disponibilidad para la atención oportuna de eventos no programados. Aún realizada, esta validación en sitio no es garantía de que las condiciones de sincronismo se mantengan a lo largo del tiempo, ya que constantemente diferentes equipos de trabajo intervienen las redes para realizar mantenimiento, remodelación y expansión, lo que conlleva a la pérdida de sincronismo entre los circuitos. En momentos críticos, existe la posibilidad de que el reconector se cierre con ambos circuitos energizados, pero sin la adecuada sincronización, lo que puede ocasionar fallas y daños en los activos involucrados, resultando en el deterioro del patrimonio de la compañía. Para prevenir esta situación, es imprescindible asegurar la validación de sincronismo en los reectores de suplencia. Esta validación implica garantizar que en los circuitos asociadas a la suplencia las secuencias de fases, el valor eficaz, las fases y las frecuencias deben ser iguales [4].

La validación y supervisión remota del sincronismo en las suplencias se vuelve esencial para evitar cortes de energía durante los traslados de carga. Esta medida no solo mejora la percepción de los usuarios sobre el servicio ofrecido por la compañía, lo que eleva su reputación empresarial, sino que también permite a los operadores en el centro de control tomar decisiones fundamentadas, evitando así daños a los equipos y redes en caso de

cierres sin sincronismo. Además, mejora los indicadores de calidad media, garantizando incentivos que aumentan los ingresos de la compañía y liberan al personal especializado actualmente dedicado a esta validación.

Esta monografía, surgió de la necesidad de abordar la problemática actual de no contar con la capacidad de validar las condiciones de sincronismo de manera remota desde el centro de control y contribuir a la optimización del sistema de distribución de energía de ESSA. El estudio se fundamentó en la identificación de los equipos reconectores instalados en ESSA y sus características técnicas, así como la revisión de las alternativas tecnológicas disponibles en el mercado que permiten realizar la validación del sincronismo, la revisión y definición de los requisitos técnicos mínimos en reconectores, necesarios para garantizar la validación y supervisión remota del sincronismo. A partir de este análisis, se buscó identificar los equipos reconectores instalados en ESSA que permitan realizar la validación de sincronismo de manera remota, y así mejorar la eficiencia de sus operaciones, reducir las interrupciones del servicio y cumplir con las normativas vigentes, particularmente la Resolución CREG 015 de 2018.

Este trabajo se limitó al análisis de los equipos reconectores utilizados como suplencias en el SDL ESSA, es decir, no se abordaron otros dispositivos o sistemas de la red. La metodología empleada se basó en la recopilación y análisis de información técnica de los equipos reconectores, tanto los actualmente instalados en el SDL ESSA como los disponibles en el mercado. Se espera que los resultados de este trabajo proporcionen a ESSA una base sólida para la toma de decisiones en la adquisición e implementación de nuevas tecnologías que permitan modernizar su sistema de distribución y garantizar un servicio de energía eléctrica confiable y de alta calidad. A su vez, estos resultados pueden ser relevantes para otras empresas del sector que enfrentan desafíos similares en la gestión de sus sistemas de distribución.

1. CONCEPTOS BÁSICOS

En el presente capítulo se exponen los conceptos básicos que conciernen a la presente monografía, con el fin de proveer una base teórica para abordar el problema.

1.1 RECONECTADOR

Los reconectadores automáticos de circuitos son reconocidos por las compañías eléctricas de todo el mundo como un dispositivo esencial para lograr su objetivo principal: proporcionar la máxima continuidad del servicio eléctrico a sus clientes de manera sencilla y económica. Los reconectadores detectan e interrumpen las corrientes de falla y restablecen automáticamente el servicio después de que se haya producido un corte momentáneo [5].

Figura 1. Reconectador trifásico



Fuente: Tomado de [5]

En la Figura 1 se muestra un reconectador trifásico. Este tipo de reconectador es el que utiliza ESSA en sus redes de distribución.

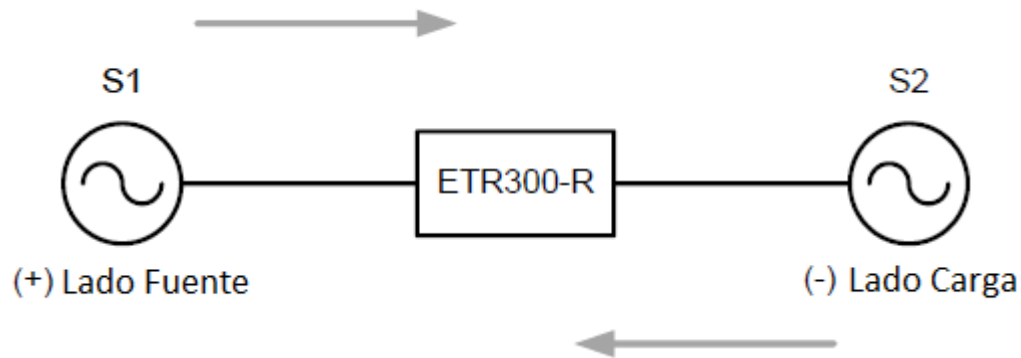
1.2 SUPLENCIA

En el ámbito de sistemas de distribución de energía eléctrica el término suplencia consiste en cambiar de manera temporal la fuente de alimentación de un circuito, lo que significa que es posible realizar un traslado de carga hacia otro circuito, siendo energizado desde la misma subestación o desde otra [6]. Esto es una estrategia operativa que permite mantener el suministro de energía eléctrica a los usuarios, en caso de que se presenten fallas o durante mantenimientos programados.

La maniobra de suplencia se puede realizar con los dos circuitos energizados o con uno de ellos desenergizado. Esto implica que existen diferentes protocolos para garantizar la seguridad de las maniobras, de modo que se deben tener en cuenta aspectos como: la deshabilitación de los recierres automáticos en las subestaciones asociadas, la magnitud de la carga de los circuitos tanto del que se traslada como del que recibe la carga, la capacidad de los equipos y sus límites operativos (capacidad amperimétrica de los conductores, capacidad de los transformadores de potencia) [6]. Otra característica importante, la cual motivó el presente trabajo es la validación del sincronismo ya sea de forma manual o si el equipo reconectador que funciona como suplencia cuenta con la función para realizar dicha validación de forma remota.

En la Figura 2 se muestra un esquema básico de una suplencia con sus dos circuitos involucrados, donde en caso de que uno de los dos circuitos se abra, el otro puede asumir la totalidad o parte de la carga del circuito que se abre.

Figura 2. Esquema de un reconectador de suplencia



Fuente: Adaptado de [7]

Las suplencias son importantes por cuanto ofrecen un respaldo para poder brindar continuidad y calidad del servicio de energía eléctrica, minimizando las interrupciones, reduciendo pérdidas económicas para los OR, además ofrecen flexibilidad y adaptabilidad de la red lo que es de suma importancia teniendo en cuenta el aumento en la demanda de energía.

1.3 SINCRONISMO

Se refiere a la coincidencia en frecuencia, fase y magnitud de voltaje entre dos o más fuentes de corriente, alterna [4]. Esta coincidencia es esencial para poder conectar dos circuitos que son alimentados por fuentes diferentes. Con base en la experiencia asociada al sistema eléctrico de potencia (SEP) de ESSA, se considera que cuando la diferencia de tensión entre dos circuitos es de más o menos el 5%, la diferencia del ángulo de fases sea menor a 10° y la frecuencia y secuencia sean iguales los sistemas están en sincronismo [6].

1.4 TELECONTROL

Un sistema de telecontrol es un conjunto de equipos que permite a un operador remoto controlar el funcionamiento de un sistema. Se utiliza para controlar y monitorear equipos

y señales de entrada / salida en locaciones remotas mediante el uso de tecnologías de comunicación como radio o fibra óptica [8]. ESSA maneja un sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) el cual permite monitorear en tiempo real la operación del sistema eléctrico de potencia.

Dentro de los protocolos disponibles de telecontrol, ESSA utiliza el protocolo DNP3 (*Distributed Network Protocol Version 3.3*) el cual es un estándar de telecomunicaciones que define las comunicaciones entre estaciones maestras, unidades de telemetría remotas (RTU) y otros dispositivos electrónicos inteligentes (IED). DNP3 fue diseñado específicamente para aplicaciones SCADA. Estas implican la adquisición de información y el envío de comandos de control entre dispositivos informáticos separados físicamente. Está diseñado para transmitir paquetes de datos relativamente pequeños de manera confiable y los mensajes involucrados llegan en una secuencia determinista. En este sentido, es diferente de los protocolos de propósito más general, como FTP, que es parte de TCP/IP, que puede enviar archivos bastante grandes, pero de una manera que generalmente no es tan adecuada para el control SCADA. DNP3 cuenta con el respaldo de una gran cantidad de proveedores y usuarios en las industrias de electricidad, infraestructura hídrica y otras en América del Norte, América del Sur, Sudáfrica, Asia y Australia. En Europa, DNP3 compite con el protocolo IEC 60870-5-101, que se usa ampliamente en esa región y que comparte un origen común con DNP3. Sin embargo, el protocolo IEC se limita a la industria de distribución eléctrica, mientras que DNP3 ha encontrado aplicaciones industriales más amplias en las industrias de petróleo y gas, agua/aguas residuales y seguridad [9]

1.5 INDICADORES DE CALIDAD MEDIA DEL SERVICIO

Estos indicadores en los sistemas de distribución tienen como objetivo cuantificar la calidad del servicio de energía percibida por todos los usuarios que están conectados a un OR. Estos indicadores se centran en la continuidad del suministro con métricas de

duración y frecuencia de las interrupciones. En el capítulo 5 de la CREG 015 de 2018 se establecen los siguientes indicadores de calidad media:

- SAIDI: representa la duración total en horas de los eventos que en promedio percibe cada usuario del SDL de un OR, hayan sido o no afectados por un evento, en un período anual [1].
- SAIFI: representa la cantidad total de los eventos que en promedio perciben todos los usuarios del SDL de un OR, hayan sido o no afectados por un evento, en un período anual [1].

2. OBJETIVOS

Los sistemas de distribución de ESSA presentan el problema de que, para realizar un traslado de carga entre dos circuitos se requiere apagar uno de estos debido a la incertidumbre de la existencia de condiciones de sincronismo en los reconectores de suplencia de forma local o remota desde el Centro de Control. La presente monografía contribuye a solucionar este problema y para ello se definen los siguientes objetivos.

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diagnosticar la capacidad en cuanto a validación y supervisión remota del sincronismo de los equipos reconectores utilizados como suplencias en el SDL ESSA, a partir del establecimiento de requisitos técnicos mínimos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los equipos reconectores utilizados como suplencias en el SDL ESSA y sus características técnicas.
- Revisar las alternativas tecnológicas de equipos reconectores disponibles en el mercado, centrándose en su capacidad para realizar la validación y supervisión remota del sincronismo.
- Establecer requisitos técnicos mínimos para la adquisición de equipos reconectores utilizados como suplencias.
- Seleccionar los equipos reconectores instalados como suplencias en el SDL ESSA, que cumplan con los requisitos técnicos mínimos establecidos, para utilizarlos como insumo en la integración futura de estas señales hacia el centro de control.

En el capítulo 3 se identifican los reconectores utilizados como suplencias en ESSA y sus características técnicas. Posteriormente, en el capítulo 4 se revisan las alternativas

de equipos reconectores disponibles en el mercado con la capacidad de validar el sincronismo. Luego, en el capítulo 5 se establecen los requisitos mínimos para la adquisición de reconectores. Por último, en el capítulo 6 se seleccionan los reconectores de suplencia en ESSA que cumplen con los requisitos técnicos mínimos definidos.

3. EQUIPOS RECONECTADORES UTILIZADOS COMO SUPLENCIAS EN EL SDL ESSA Y SUS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.

En este capítulo se presentan los equipos reconectores utilizados como suplencias en el SDL ESSA a la fecha, clasificados por marcas y referencias. Adicionalmente, se expone el proceso que se llevó a cabo para obtener la información aquí expuesta.

3.1 LISTADO DE SUPLENCIAS

De acuerdo con la Resolución CREG 015 de 2018, el sistema de gestión de la distribución (DMS) deberá estar compuesto entre otros, por un sistema de información geográfico, GIS [1]. Para el caso de ESSA este sistema es la base de datos de inventario de todos los activos de su sistema eléctrico. A partir de la consulta preestablecida “SUPLENCIAS ESSA” en la base de datos, se obtuvo el listado de las suplencias existentes en el SDL ESSA, la cual contiene el código de los circuitos involucrados, el código del apoyo físico donde se ubica la suplencia y el tipo de equipo utilizado, como cajas cortacircuitos, cuchillas monopolares, seccionalizadores o los equipos que nos conciernen en el presente documento, los reconectores.

En total a la fecha se cuentan con 687 suplencias en el SDL de ESSA, en la Figura 3 se muestra un fragmento de la consulta “SUPLENCIAS ESSA” y los datos más relevantes para el análisis que pretende este documento.

Figura 3. Consulta “SUPLENCIAS ESSA”

NOMBRE CIRCUITO	NOMBRE CIRCUITO_1	PINTADO APOYO	NOMBRE ESTRUCTURA
28 507 SUR 7	28 504 SUR 4	2949032	INTERRUPTOR TRIFASICO SWITCH EN SF6 POSTE SENCILLO CON REPISA
10 508 CONUCOS 8	12 503 BOSQUE 3	1134949	INTERRUPTOR TRIFASICO CUCHILLAS MONOPOLARES SIN APAGACHISPAS HORIZONTAL SOLAS
10 508 CONUCOS 8	12 503 BOSQUE 3	1133837	INTERRUPTOR TRIFASICO SWITCH EN SF6 POSTE SENCILLO CON REPISA
79 501 SAN GIL 1	79 511 SAN GIL 3	4263324	INTERRUPTOR TRIFASICO COORTACIRCUITOS CON APAGA CHISPAS SIN AISLADOR TIPO ESTACION S
24 504 PALENQUE 4	11 504 CANEYES 4	1091620	INTERRUPTOR TRIFASICO RECONECTADOR POSTE SENCILLO

Fuente: Elaboración propia

De esta consulta se filtraron únicamente las suplencias que utilizan reconectores como equipo de maniobra, y así se obtuvo el archivo base para el diagnóstico que se realiza en el presente documento y el cual cuenta con un total de 237 registros.

3.2 MARCAS Y REFERENCIAS

Para poder identificar las marcas de cada uno de los equipos reconectores que se obtuvieron en la consulta mostrada en la Figura 3, fue necesario cruzar esta base de datos con una base de datos suministrada por el equipo de trabajo de Soporte a las tecnologías de la operación (STO), donde mediante el código del apoyo físico se obtuvo la marca, referencia, la IP del equipo y el nombre configurado por STO. En la Figura 4 se muestra la tabla con un fragmento de la información resultado del cruce realizado.

Figura 4. Suplencias para validar

NOMBRE CIRCUITO	NOMBRE CIRCUITO_1	PINTADO APOYO	TIPO DE EQUIPO	MARCA	REFERENCIA	NOMBRE RECO	ip
24 504 PALENQUE 4	11 504 CANEYES 4	1091620	RECONECTADOR POSTE SENCILLO	ENTECH	ETR300-R600	SExp_11504-24504_LaRinconada	IP1
10 512 CONUCOS 12	05 502 VILLAS 2	1237195	RECONECTADOR POSTE SENCILLO	Entec	ETR300-EVRC2A	S_05502-10512_Zapamanga	IP2
426 MI NAS - CODIESEL - CONUCOS	409 PA LENQUE - TREFILCO	3048543	RECONECTADOR POSTE SENCILLO	Chardon	FTU-R200i	S_L409-L426_Codiesel	IP3
451 VI LCHES - KILÓMETRO 8	467 BA RRANCA - KM 8 LN 5	8311781	RECONECTADOR POSTE SENCILLO	Schneider	ADVC	SExp_L451-L467_ElOcho	IP4
13 503 EL CUARENTA (40)	65 504 PUENTE MURCIA	3775232	RECONECTADOR POSTES EN H CME	Entec	ETR300-R02	SExp_13503-65504_LaFortuna	IP5

Fuente: Elaboración propia

De la información obtenida se eliminaron 5 registros de reconectores de suplencia que no son propiedad de ESSA y que por ende ESSA no controla, para así poder identificar las marcas, referencias y cantidades de los equipos reconectores usados como suplencia presentes en el SDL y operados por ESSA, resultados que se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Marcas y referencias de reconectores de suplencia en ESSA

Marca/Referencia	Recuento
Chardon	4
FTU-R200i	4
ENTEC	226
ETR300-EVRC2A	6
ETR300-R02	6
ETR300-R600	214
Schneider	2
ADVC	2
Total	232

Fuente: Elaboración propia

Dentro de la información recopilada fue encontrada una referencia que no existe en el mercado Chardon FTU-R2000i, se informó esta novedad al equipo de trabajo STO para ser corregida en su base de datos.

3.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

La Tabla 2 expone las características técnicas de los reconectores de cada una de las referencias de la Tabla 1, luego de la revisión a los manuales de usuario que entrega el proveedor.

Tabla 2. Características técnicas de los reconectores de suplencia en ESSA

Marca	Chardon		ENTEC		Schneider
Referencia	RTU-R200i	ETR300-EVRC2A	ETR300-R02	ETR300-R600	ADVC
Características					
<i>Voltage (kV)</i>	15.5 - 38	15-38	38	38	2-25
<i>Frequency (Hz)</i>	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60
<i>Current (A)</i>	800	800	800	800	800
<i>Interruption Current(kA)</i>	16	50	50	600	12.5
<i>Power Supply (V)</i>	240	110/220	110/220 0	110/220	110/220/2 40

<i>Battery Voltage (Vdc)</i>	24	24	24	24	SIN DATO
Funciones de protección					
<i>Phase Fast/Delay Time Overcurrent (51P)</i>	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Definite Time Over current</i>	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Phase Instantaneous Overcurrent (50P1)</i>	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Inrush Restraint</i>	SI	SI	NO	SI	SI
<i>Phase Directional Control</i>	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Sensitive Earth Fault (50SG)</i>	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Intermittent Earth Fault (IEF)</i>	SI	NO	NO	NO	NO
<i>Broken Conductor</i>	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Open Phase</i>	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Voltage (27)</i>	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Voltage (59)</i>	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Frequency (81U)</i>	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Frequency (81O)</i>	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Frequency (81RF)</i>	SI	SI	NO	SI	NO
<i>Synchro' Check (25)</i>	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Hotline Tag</i>	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Breaker Failure Protection</i>	SI	NO	NO	NO	NO
<i>Fault Locator</i>	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Auto Reclosing (79)</i>	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Cold Load Pickup</i>	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Multiple Setting Groups</i>	SI	6	2	SI	10
<i>Battery & Charger Monitoring</i>	SI	SI	SI	SI	SI
<i>SCADA Communication</i>	SI	SI	SI	SI	SI

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 2 se evidencia que todos los reconectores de suplencia instalados en el SDL de ESSA cuentan con la protección *Synchro' Check (25)*, la cual permite validar el sincronismo, objetivo principal del presente trabajo.

4. ALTERNATIVAS DE RECONECTADORES EN EL MERCADO

Con el fin de identificar nuevas tecnologías y funciones que puedan ser relevantes para la operación del SEP de ESSA con un enfoque en la capacidad de validar el sincronismo, en este capítulo se revisan diferentes alternativas tecnológicas de equipos reconectadores disponibles en el mercado. A continuación, se describen las marcas más comunes y las características técnicas de los reconectadores encontrados.

4.1 FABRICANTES RELEVANTES EN EL MERCADO

Para la identificación de fabricantes de reconectadores se consideraron compañías reconocidas en el mercado, con amplia experiencia en el diseño, fabricación y comercialización de equipos usados en los sistemas de distribución de energía eléctrica, tales como:

4.1.1 SEL (SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES). Las capacidades de protección avanzadas del reconectador 651RA admiten el aislamiento de fallas y la restauración de alta velocidad coordinados. El disparo trifásico o monofásico reduce al mínimo las interrupciones de servicio del cliente y mejora los valores de fiabilidad. La tecnología Arc Sense™ mejora la seguridad pública y reduce al mínimo los peligros de incendio ocasionados por los conductores derribados [10].

4.1.2 EATON. El reconectador NOVA es un reconectador de interrupción de vacío trifásico que combina con éxito cuatro tecnologías patentadas: encapsulamiento cicloalifática-epóxico, interruptor de vacío de alto rendimiento, mecanismo de menor potencia confiable y un control automático de reconectador de microprocesador [5].

4.1.3 GE VERNOVA. El R650 contiene un módulo electrónico de accionamiento exclusivo que se ha adaptado específicamente al dispositivo reconectador G&W Viper-ST. Este diseño proporciona un reenganche automático confiable de 4 disparos. R650 admite

opciones de interfaz física de puerto de fibra y Ethernet redundantes y una amplia gama de protocolos estándar de la industria para la comunicación [11].

4.1.4 NOJA POWER. El Reconectador OSM de NOJA Power representa el estado del arte en interruptores de distribución. Esta robusta unidad proporciona seguridad, confiabilidad e innovación sin par, con una reputación inigualable a otro equipo de distribución. Puesto a prueba a través de más de 99,000 instalaciones alrededor del globo en 106 países en todo el rango de temperatura industrial, este modelo de acero inoxidable cosecha su reputación como uno de los mejores Reconectores del mundo [12].

4.1.5 ABB. El reconectador de vacío GridShield es un dispositivo avanzado que funciona en tres fases. Consta de tres interruptores de vacío, cada uno accionado por un actuador magnético independiente. Estos componentes, junto con los sensores de voltaje y corriente, están incrustados en un polo fabricado con un material especial llamado polímero epóxico ciclo alifático hidrófobo (HCEP) [13].

4.1.6 SIEMENS. Los reconectores al vacío 3AD combinan la tecnología del corte en vacío más actual con un control electrónico. Son el fruto de décadas de experiencia en la construcción de interruptores de potencia, el desarrollo de relés de protección y la planificación de redes. Los reconectores de Siemens cumplen todos los requisitos para aplicaciones en exteriores según las normas IEEE C37.60 e IEC 62271-111 para reconectores [14].

4.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE RECONECTADORES EN EL MERCADO

Se revisó la ficha técnica y manuales de algunos modelos pertenecientes a las marcas anteriormente descritas, se prestó especial atención a las siguientes características:

4.2.1 Capacidad de validación y supervisión remota del sincronismo: Se verificó si los equipos tienen la capacidad de medir y comparar la frecuencia, el ángulo de fase y el

voltaje en ambos lados del punto de conexión antes de cerrar el circuito. Esta es la función de protección chequeo de sincronismo (25).

4.2.2 Protocolos de comunicación: Se identificaron los protocolos de comunicación que soporta los equipos, por ejemplo, DNP3, IEC 61850, Modbus.

4.2.3 Compatibilidad con SCADA: Se identificó que cada modelo de reconectador se pueda integrar con los sistemas SCADA existentes en ESSA para la supervisión y el control remoto.

4.2.4 Validación de bajo voltaje: Se consideró la capacidad de los equipos para validar condiciones de bajo voltaje en la red. Esta es la función de protección de bajo voltaje (27).

En la Tabla 3 se consolida la lista de características y funciones de protección de los equipos reconectores trifásicos de los diferentes fabricantes mencionados en el numeral 4.1, donde se resaltan en negrita las características listadas anteriormente.

Tabla 3. Características técnicas de los reconectores en el mercado

Marca	SEL	EATON	GE VERNOVA	NOJA	ABB	Siemens
Referencia	651RA	NOVA	Multilin R650	OSM	GridShield 3P/3SP	Vacuum Recloser 3AD
Características						
<i>Voltage (kV)</i>	15	15 a 38	15 a 38	15 a 38	15 a 38	12 a 38
<i>Frequency (Hz)</i>	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60	50/60
<i>Current (A)</i>	600- 1200	630-800	600-1200	40,063,08 0,001,250	800	200, 400, 630, 800
<i>Interruption Current (kA)</i>	16	12,5	25	12,5,16,20 /25	12,5-15	12.5 a 16
<i>Power Supply (V)</i>	120/240	120/240	120/240	120/240	120	110/240
<i>Battery Voltage (Vdc)</i>	12	24	24	24/48	SIN DATO	SIN DATO
Funciones de protección						
<i>Phase Fast/Delay Time Overcurrent (51P)</i>	SI	SI	SI	SI	SI	NO

<i>Definite Time Over current</i>	SI	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Phase Instantaneous Overcurrent (50P1)</i>	SI	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Inrush Restraint</i>	SI	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Phase Directional Control</i>	SI	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Sensitive Earth Fault (50SG)</i>	NO	SI	NO	SI	SI	SI
<i>Intermittent Earth Fault (IEF)</i>	NO	NO	NO	NO	NO	NO
<i>Broken Conductor</i>	NO	NO	SI	SI	SI	SI
<i>Open Phase</i>	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Voltage (27)	SI	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Voltage (59)</i>	SI	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Frequency (81U)</i>	SI	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Frequency (81O)</i>	SI	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Frequency (81RF)</i>	SI	NO	SI	SI	NO	NO
Synchro' Check (25)	SI	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Hotline Tag</i>	SI	NO	NO	SI	SI	NO
<i>Breaker Failure Protection</i>	SI	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Fault Locator (21)</i>	SI	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Auto Reclosing (79)</i>	SI	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Cold Load Pickup</i>	SI	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Multiple Setting Groups</i>	SI	SI	SI	SI	SI	SI
<i>Battery & Charger Monitoring</i>	SI	SI	NO	SI	SI	SI
SCADA Communication	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3 se puede evidenciar que todos los reconectores de las diferentes marcas consultadas cuentan con la función de protección *Synchro' Check (25)*, la cual es el objetivo principal de este trabajo. Adicionalmente, se puede ver que la mayoría de los equipos reconectores en el mercado comparten una gran cantidad de características técnicas.

5. REQUISITOS TÉCNICOS MÍNIMOS PARA RECONECTADORES DE SUPLENCIA

A continuación, se presentan los requisitos técnicos que, de acuerdo con esta monografía y basado en la experiencia, se consideraron relevantes para la operación del sistema eléctrico y son de gran importancia tanto para la toma adecuada de decisiones en el CDC como para el análisis de trabajos programados sobre el SDL de ESSA.

Debido a que la normalidad de los equipos utilizados como suplencias es normalmente abierta (NA), estos equipos no suelen parametrizarse con ajustes de protección de sobre corriente, simplemente se dejan como corte y maniobra debido a que por su naturaleza el flujo a través de él puede variar considerablemente dependiendo de la carga a suplir, partiendo de esta condición, a continuación, se listan las características que se consideraron relevantes para la operación del SDL de ESSA para monitorear parámetros que actualmente no están siendo monitoreados y que son de vital importancia. Las demás características propias de la protección del SDL y la comunicación de los equipos no son alcance del presente documento.

5.1 CHEQUEO DE SINCRONISMO (ANSI 25)

Dentro de la operación del sistema eléctrico es común trasladar carga de un circuito a otro a través de una suplencia también denominada transferencia, con el fin de garantizar la estabilidad del sistema durante un trabajo programado, disminuir la cargabilidad de un activo ante una contingencia o despejar un activo que se requiere intervenir. Actualmente en ESSA para realizar esta maniobra se pueden dar dos escenarios:

- Apagar uno de los dos circuitos involucrados: esta decisión contribuye en el aumento de los indicadores de calidad SAIDI y SAIFI, lo que puede llevar a la compañía a tener incentivos negativos dado el ajuste que se realiza año tras año

en las metas de estos indicadores que son cada vez más exigentes, traduciéndose a su vez en pérdidas económicas para la compañía.

- Asumir condiciones de sincronismo: en aquellas suplencias ubicadas en zonas de fácil acceso se desplaza personal especializado en trabajos con tensión para validar las condiciones de sincronismo y una vez confirmadas son informadas al centro de control. El gran inconveniente de esta metodología es que los circuitos son intervenidos permanentemente por diferentes equipos de trabajo encargados del mantenimiento, la expansión y reposición de la red; dichas actividades, al requerir desconectar y conectar los conductores, pueden generar la pérdida de sincronismo, y durante una futura maniobra al cerrar la suplencia sin estas condiciones puede generarse el disparo de uno o de los dos circuitos involucrados. Eso puede ocasionar daños que conlleven mayores tiempos de demanda no atendida (DNA) y por ende una mayor contribución al aumento en los indicadores SAIDI y SAIFI, además del deterioro en los activos del SDL de ESSA y por ende un detrimento al patrimonio de la compañía.

En este sentido, contar con la posibilidad de validar el sincronismo desde el centro de control es de suma importancia, para evitar daños al realizar un cierre de una suplencia sin condiciones de sincronismo y/o evitar apagar uno de los dos circuitos para hacer un traslado de carga. Es aquí donde la función de protección chequeo de sincronismo (ANSI 25) es de suma importancia. La función de comprobación de sincronismo se utiliza cuando tanto el circuito del lado de la fuente como el del lado de la carga están energizados, si se permanece en estado asíncrono durante el tiempo de espera establecido, el equipo no se cerrará [7].

5.2 PROTECCIÓN DE BAJO VOLTAJE (27 ANSI)

Cuando se realizan traslados de carga entre dos circuitos pueden presentarse bajos niveles de voltaje, debido a los niveles de voltaje en la subestación del circuito que recibe

la carga, el calibre del conductor en la troncal del circuito fuente y la carga que recibe del circuito a suplir.

Actualmente en ESSA estas condiciones son dadas a conocer al centro de control por el técnico de localidad, por lo que entre haber realizado las maniobras de suplencia y tener conocimiento de los bajos voltajes puede pasar un tiempo considerable. Así, mantener bajos valores de voltaje por un tiempo prolongado puede generar daños en equipos de clientes o una parada en procesos productivos, lo que puede derivar en quejas y reclamos hacia la compañía. Con el fin de disminuir los tiempos para identificar esta condición, es necesario implementar el uso de la protección de bajo voltaje en los reconectores usados como suplencia. La función de bajo voltaje en caso de que la tensión nominal se mantenga por debajo de una tensión determinada durante un cierto tiempo, dos elementos de subtensión realizan una operación de disparo o alarma [7].

Para este trabajo lo que se busca es que la condición de bajo voltaje genere una alarma y no un disparo y así permitir validar esta condición desde el centro de control una vez realizadas las maniobras de traslado de carga.

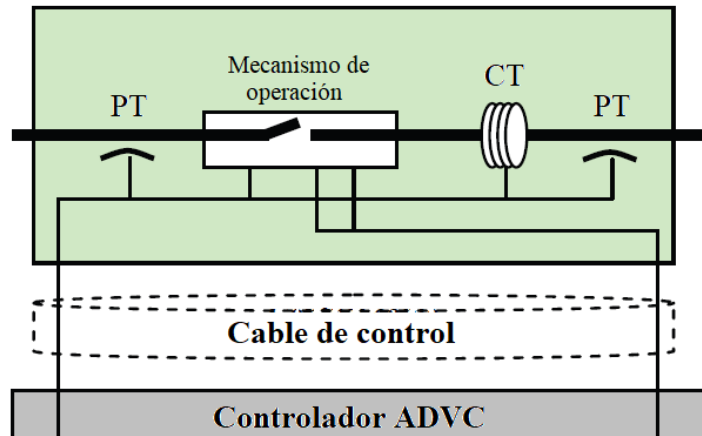
5.3 DOBLE PT (TRANSFORMADOR DE POTENCIAL) DE MEDIDA

Esta característica es necesaria para garantizar el funcionamiento de las protecciones de sincronismo y bajo voltaje anteriormente mencionadas, ya que “cuando el sensor de voltaje del lado de la carga está instalado solo en una fase o en ninguna de las fases, las siguientes funciones realizadas por la medición de voltaje se operan incorrectamente: Synchronism Check, Under and Over Voltage Protection” [7]. Es por esto por lo que se requiere la presencia de los dos PT de medida en el tanque del reconector.

En la Figura 5 se muestra la conexión típica de los equipos de medida en reconectores con doble PT, donde se evidencia medida de valor de voltaje tanto por el lado fuente como por el lado carga, lo que para los reconectores que se utilizan como suplencia,

permiten medir parámetros de tensión tanto para el circuito del lado fuente como el circuito del lado carga.

Figura 5. Conexión de doble PT de medida en reconectores



Fuente: Adaptado de [15]

5.4 DOBLE ALIMENTACIÓN AC

Cuando un reanclador de suplencia tiene una única alimentación AC conectada a uno de los dos circuitos, si este circuito se apaga por una maniobra y no se tienen las baterías en buen estado, el reanclador puede quedar sin energía y por ende perder la supervisión remota desde el centro de control. En esos casos se requiere trasladar personal a sitio para realizar las maniobras de manera local, hecho que puede tomar un tiempo considerable dependiendo de la ubicación de la suplencia y por ende un aumento en los indicadores de calidad SAIDI y SAIFI que, como se ha mencionado anteriormente, puede generar pérdidas económicas para la empresa y contribuir a una mala percepción por parte de los clientes. Por tal motivo, contar con alimentación AC conectada a cada uno de los circuitos relacionados con las suplencias como se evidencia en la Figura 6 es de vital importancia para evitar una pérdida de la supervisión remota del equipo.

Figura 6. Reconector con doble alimentación AC



Fuente: GIS ESSA

6. RECONECTADORES EN ESSA QUE CUMPLEN CON LOS REQUISITOS ESTABLECIDOS

De acuerdo con el capítulo anterior los requisitos técnicos que se requieren para una mejor gestión del SDL de ESSA desde el centro de control son los siguientes:

- Chequeo de sincronismo (ANSI 25)
- Protección de bajo voltaje (ANSI 27)
- Doble PT de medida

Para efectos de este trabajo se identificaron los reconectores usados como suplencias en el SDL de ESSA que cumplen con tres de los cuatro requisitos técnicos definidos en el capítulo 5, chequeo de sincronismo (ANSI 25), protección de bajo voltaje (ANSI 27) y doble PT de medida, el cuarto requisito correspondiente a la existencia de la doble alimentación AC se deja como iniciativa de implementación para aquellos reconectores que no la tengan, ya que aunque es de suma importancia, el no contar con dicha característica no limita la función de bajo voltaje ni tampoco la función de sincronismo que es el eje fundamental del presente trabajo.

Como se muestra en la Tabla 2 todos los reconectores instalados como suplencias en ESSA cuentan con la protección de sincronismo y bajo voltaje, y como se mencionó en el numeral 5.3 para garantizar el funcionamiento de estas dos características se requiere la existencia de doble PT en el tanque del reconector.

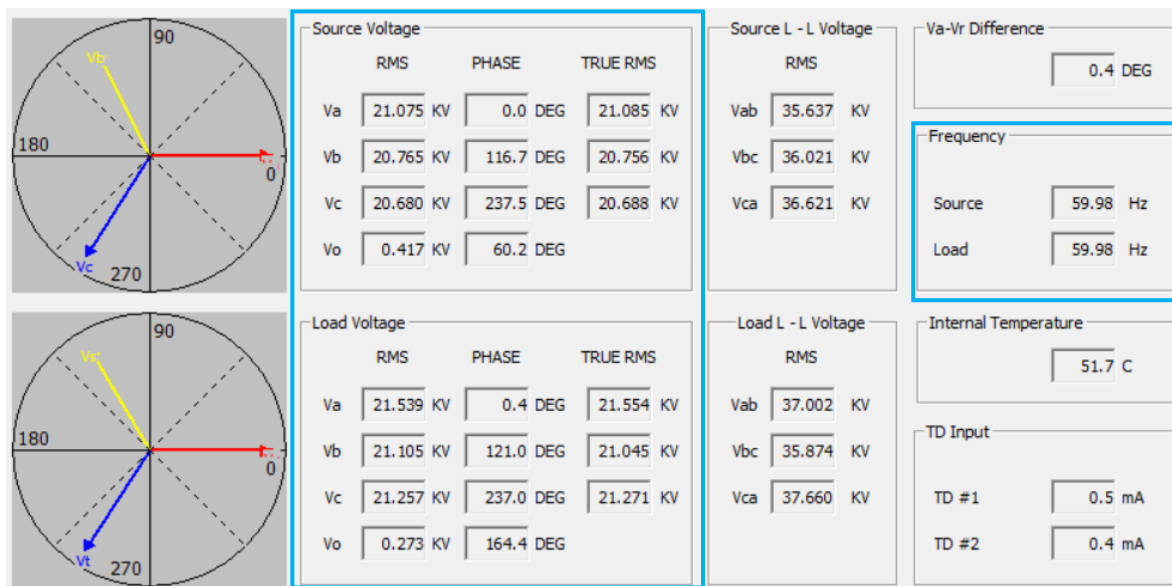
En los manuales de los equipos no se menciona concretamente la existencia o no de los dos PT en el tanque del reconector y dado que los controles de estos equipos pueden tener diferentes tanques, se hizo necesario validar directamente en cada equipo la existencia del doble PT, lo que pudo hacerse mediante los softwares de gestión correspondientes.

A continuación, se muestran los software de gestión de cada uno de los reconectores instalados en el SDL de ESSA, donde para identificar la existencia del doble PT fue necesario validar que el equipo reconector se encontrara abierto (estado normal de una suplencia) y se registraran valores de tensión, fase y frecuencia tanto en el lado fuente como en el lado carga.

6.1 CARACTERISTICAS TÉCNICAS RECONECTADORES CHARDON

Para los reconectores marca Chardon se utilizó el Software FTUMan, tal como se muestra en la Figura 7. Allí se visualizan valores de magnitud de tensión, fase y frecuencia, tanto en el lado carga como en el lado fuente.

Figura 7. Software de gestión FTUMan para los reconectores Chardon



Fuente: Tomado del software FTUMan

6.2 CARACTERISTICAS TÉCNICAS RECONECTADORES ENTEC

Para los reconectores marca ENTEC se utilizó el software ETIMS, como se evidencia en la Figura 8, donde la pestaña "Analogue Values1" despliega los valores de magnitud

de tensión y fases, y en la pestaña “*Analogue Values2*” se encuentran los valores de frecuencia en el lado de la fuente y de la carga.

Figura 8. Software de gestión ETIMS para los reconectores ENTEC

The image shows two screenshots of the ETIMS software interface, specifically the 'Measurement & Control' window. The top screenshot displays voltage data for both source and load, while the bottom screenshot displays frequency data.

Top Screenshot: Voltage Data

Category	Phase	Analogue Values1	Analogue Values2	Demand Values	Status & Controls
FUENTE VOLTAJE FASE-TIERRA					
	A	7.93	...	0	...
	B	7.76	...	-119	...
	C	7.91	...	120	...
FUENTE VOLTAJE FASE-FASE					
	AB	13.56	...	30	...
	BC	13.64	...	-89	...
	CA	13.72	...	150	...
FUENTE VOLTAJE-SECUENCIA					
	V1	7.87	...	0	...
	V2	0.00	...	0	...
	3V0	0.00	...	0	...
CARGA VOLTAJE FASE-TIERRA					
	R	7.75	...	0	...
	S	7.71	...	-120	...
	T	7.77	...	119	...
CARGA VOLTAJE FASE-FASE					
	RS	13.40	...	30	...
	ST	13.45	...	-90	...
	TR	13.39	...	150	...
CARGA VOLTAJE-SECUENCIA					
	V1	7.74	...	-0	...
	V2	0.00	...	0	...
	3V0	0.00	...	0	...

Bottom Screenshot: Frequency Data

Category	Parameter	Analogue Values1	Analogue Values2	Demand Values	Status & Controls
FREQUENCY					
	Source	60.03	...		
	Source Rate	-0.03	...		
	Load	60.03	...		
	Load Rate	0.00	H...		
	Slip	0.04	...		
	Slip Angle	14.40	...		

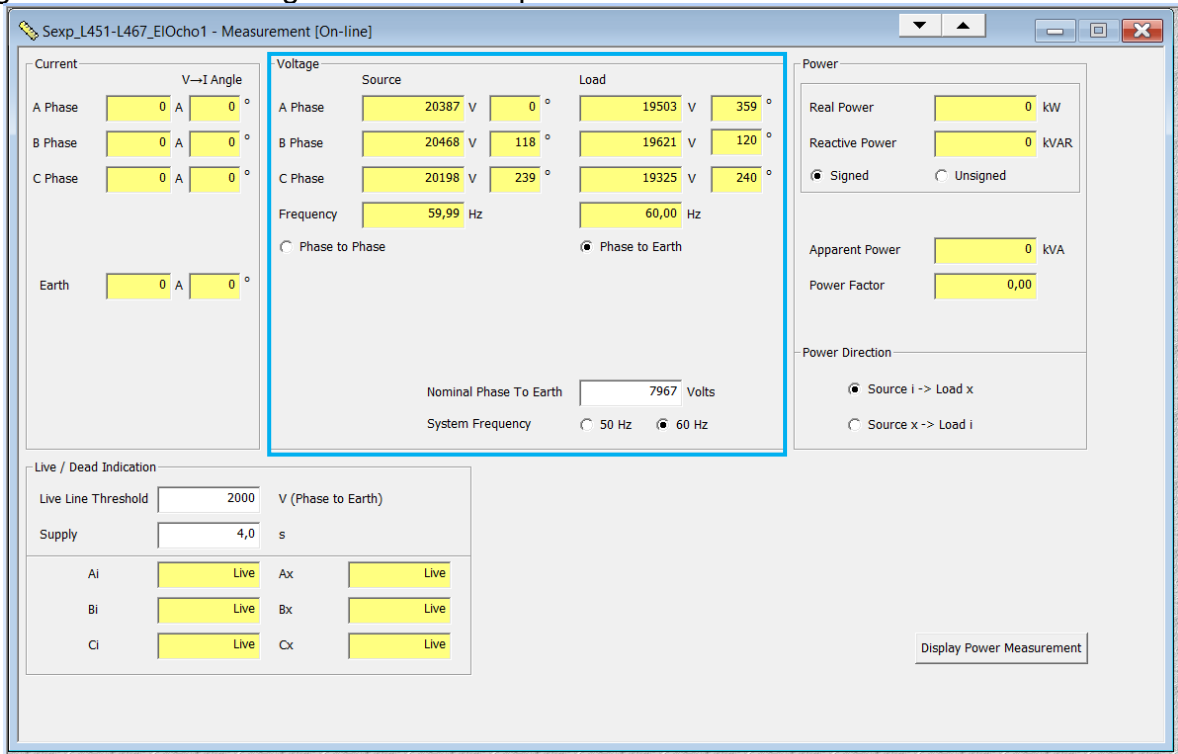
Both screenshots include a control panel on the right with an 'Auto Update' checkbox, a refresh interval set to '8 sec', and 'Update' and 'Close' buttons.

Fuente: Tomado del software ETIMS

6.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS RECONECTADORES SCHNEIDER

Para los reconectores marca Schneider se utilizó el software WSOS5. En la Figura 9 se evidencian los valores de magnitud de tensión, fase y frecuencia tanto en el lado fuente como en el lado de la carga.

Figura 9. Software de gestión WSOS5 para los reconectores Schneider



Fuente: Tomado del software WSOS5

6.4 RESULTADOS

A continuación, se expone el procedimiento y los resultados obtenidos tanto de los reconectores utilizados como suplencias en el SDL de ESSA que cumplen con los requisitos técnicos establecidos en el capítulo 5, como aquellos que son potenciales suplencias con condiciones de sincronismo.

6.4.1 Reconectores que cumplen con requisitos técnicos establecidos. Una vez validados los 232 reconectores en cada uno de los softwares de gestión, se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la Tabla 4. Así, se tienen 183 reconectores de suplencia de los cuales se tiene certeza de que tiene doble PT y, por tanto, puede ser habilitada la función de sincronismo y bajo voltaje para llevar dichas señales hasta el centro de control y poder hacer la validación remota. Además, existen 49 registros que no fue posible validar debido a que el software de gestión no permitió la conexión remota al equipo, de modo que se dejan para revisión en sitio por parte del equipo de Soporte a las tecnologías de la operación (STO).

Tabla 4. Reconectores con doble PT

Validación	Cantidad
Reconectores con doble PT	183
Reconectores sin identificar	49

Fuente: Elaboración propia.

6.4.2 Potenciales suplencias con condiciones de sincronismo. En el numeral 6.4.1 se presentan los reconectores de suplencia en el SDL ESSA que cuentan con dos PT en el tanque y con las protecciones de sincronismo y bajo voltaje disponibles para ser habilitadas. Sin embargo, para poder garantizar el cierre de dichas suplencias con ambos circuitos energizados se debe validar que los circuitos involucrados cuenten con condiciones de sincronismo entre sí. Para lo que concierne al presente trabajo se validó el grupo de conexión de los transformadores de potencia que alimentan cada circuito

involucrado en la suplencia. Las diferencias permitidas entre los voltajes, fases y frecuencias tanto del circuito del lado fuente como del circuito del lado carga no son alcance del presente trabajo y deben ser establecidas por el equipo de Control, medida y protección de ESSA.

A partir del modelo eléctrico del SEP de ESSA en el software *Digsilent Power Factory* se obtuvo un exporte donde se encuentran los transformadores de cada subestación y su respectivo grupo de conexión, luego a cada circuito se le asoció el transformador que lo alimenta y su respectivo grupo de conexión, para así validar si los dos circuitos involucrados en la suplencia tienen el mismo grupo de conexión y por tanto se les puede garantizar las condiciones de sincronismo.

En la Figura 10 se presentan los resultados obtenidos al cruzar la base de datos de reconectores de suplencia con la de grupos de conexión de los transformadores de cada circuito.

Figura 10. Potenciales suplencias con condiciones de sincronismo.

NOMBRE CIRCUITO	TRF1	GRUPO1	NOMBRE CIRCUITO_1	TRF2	GRUPO2	PINTADOAPOYO	TIPO DE EQUIPO	MARCA	REFERENCIA	IGUAL GRUPO
24 504 PALENQUE 4	24T7	Dyn11	11 504 CANEYES 4	11T1	Dyn11	1091620	RECONECTADOR POSTE SENCILLO	ENTEC	ETR300-R600	SI
10 512 CONUCOS 12	10T2	Dyn11	05 502 VILLAS 2	05T1	Dyn11	1237195	RECONECTADOR POSTE SENCILLO	Entec	ETR300-EVRC2A	SI
13 503 EL CUARENTA (40)	13T1	Dyn11	65 504 PUENTE MURCIA	65T1	Dyn1	3775232	RECONECTADOR POSTES EN H CME	Entec	ETR300-R02	NO

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5 se resume la cantidad de suplencias cuyos circuitos son alimentados por transformadores de potencia con el mismo grupo de conexión y, por tanto, son potenciales suplencias con condiciones de sincronismo.

Tabla 5. Cantidad de potenciales suplencias con condiciones de sincronismo

Validación	Cantidad
Suplencias con condiciones de sincronismo	199
Suplencias sin condiciones de sincronismo	27

Fuente: Elaboración propia.

Para aquellas suplencias cuyos circuitos son alimentados por transformadores de potencia con distinto grupo de conexión, mediante movimientos de fases por alta y baja del transformador se puede modificar uno de los dos grupos para garantizar las condiciones de sincronismo. Esta posibilidad no se profundiza en el presente trabajo ya que está fuera del alcance establecido.

Finalmente, a partir de la información encontrada se consolidó el entregable final resultado del presente trabajo, del cual se muestra un fragmento en la Figura 11. Este entregable contiene un total de 232 registros y para cada registro muestra los circuitos involucrados, los grupos de conexión de los transformadores de potencia que alimenta cada circuito, el código físico del apoyo donde se encuentra el reconectador, la marca y referencia del reconectador, la IP del equipo entre otra información relevante.

Figura 11. Reconectores de suplencia que cumplen requisitos técnicos definidos.

NOMBRE CIRCUITO	GRUPO1	NOMBRE CIRCUITO_1	GRUPO2	PINTADOAPOYO	TIPO DE EQUIPO	MARCA	REFERENCIA	ip	IGUAL GRUPO	Doble PT
24 504 PALENQUE 4	Dyn11	11 504 CANEYES 4	Dyn11	1091620	RECONECTADOR	ENTEC	ETR300-R600	IP1	SI	SI
10 512 CONUCOS 12	Dyn11	05 502 VILLAS 2	Dyn11	1237195	RECONECTADOR	Entec	ETR300-EVRC2A	IP2	SI	SIN DATOS
13 503 EL CUARENTA (40)	Dyn11	65 504 PUENTE MURCIA	Dyn1	3775232	RECONECTADOR	Entec	ETR300-R02	IP5	NO	INDEFINIDO

Fuente: Elaboración propia.

Las columnas “IGUAL GRUPO” y “DOBLE PT” permiten filtrar los potenciales equipos reconectores con condiciones de sincronismo, de los cuales se validó que cuenten con doble PT en el tanque, al igual que aquellas suplencias a las que se les debe modificar el grupo de conexión y aquellos reconectores a los que se les debe validar la existencia del doble PT en sitio ya que no permitieron ser accedidos remotamente.

Con este insumo se busca que los equipos de trabajo correspondientes puedan comenzar con la gestión tanto de la activación y parametrización de las protecciones de bajo voltaje y de sincronismo como con el mapeo de dichas señales al centro de control.

7. CONCLUSIONES

Se identificó que el 78% de los reconectores instalados como suplencias en el SDL de ESSA tienen la posibilidad de realizar la validación de sincronismo, información que puede ser llevada al centro de control para tomar decisiones informadas, evitar daños en los activos y demanda no atendida (DNA) innecesaria debido a un cierre sin condiciones de sincronismo.

Se identificó un riesgo tecnológico debido a que más del 90% de los equipos reconectores instalados como suplencias en el SDL de ESSA son de la misma marca y referencia, lo que en caso de una obsolescencia de estos equipos o pérdida de soporte pone en riesgo la supervisión y operación del sistema eléctrico de la compañía.

El insumo generado a través de esta monografía permite consultar los reconectores de suplencia en el SDL de ESSA que son potenciales suplencias con condiciones de sincronismo, puesto que cuentan con doble PT y sus circuitos son alimentados por transformadores de potencia con el mismo grupo de conexión, también permite identificar aquellos reconectores a los que no se pudo validar la existencia del doble PT debido a que no se pudo acceder remotamente al equipo, así que se debe consultar directamente en sitio.

Se identificaron aquellas suplencias, cuyos circuitos son alimentados por transformadores con diferente grupo de conexión para tomar acción correctiva de ser posible y así garantizar el sincronismo.

El tener activada la función de chequeo de sincronismo en los reconectores de suplencia, permite validar el sincronismo en tiempo real, así posterior a la intervención de la red por parte de un equipo de trabajo de ESSA el centro de control puede validar de manera inmediata que no se genere la pérdida de las condiciones de sincronismo del circuito intervenido con sus circuitos de suplencia, y en caso de que estas condiciones se

pierdan tomar acciones preventivas y/o correctivas de manera inmediata. Como trabajo futuro, se propone una revisión mediante simulaciones en software de flujo de potencia para establecer los valores de tensión, fases y frecuencias para los circuitos de todas las suplencias en el SDL de ESSA y así poder determinar cuáles cumplen con los parámetros mínimos de estas variables que permitan configurar las funciones de sincronismo y bajo voltaje.

8. RECOMENDACIONES

Aunque las características definidas en el presente documento se analizaron para los reconectores de suplencia, se recomienda hacerlas extensivas para los demás reconectores sobre los circuitos, ya que para la gestión del sistema eléctrico es valioso poder validar el sincronismo y bajo voltaje en distintos puntos de la red, así como contar con un respaldo AC para los reconectores ante fallas en una de las fuentes.

Adicional a la activación de la protección de sincronismo que bloquea el cierre del reconector, se recomienda al equipo de trabajo STO que mapee una señal visual al SCADA sobre el equipo en cuestión para que desde el centro de control se identifique la existencia o no del sincronismo entre circuitos de forma intuitiva.

Es necesario que el equipo de control, medida y protección defina y configure los límites para cada una de las variables de tensión, fase y frecuencia con las que se permita realizar el cierre de un reconector de suplencia con sus dos circuitos energizados.

Se recomienda diversificar las marcas de los equipos reconectores que se adquieren en ESSA y así mitigar el riesgo tecnológico identificado.

Se recomienda que en el proceso de definición de características y compra de reconectores se realice una consulta con todos los actores que intervengan en la gestión de dichos equipos, desde quien los compra, pasando por quien los mantiene, y los opera, hasta quien se encarga de su disposición final. Esto es con el fin de integrar aquellas necesidades que se identifican desde diferentes roles en la compañía y que aportan a una mejor gestión de los activos.

REFERENCIAS

- [1] Comisión de regulación de Energía y Gas, «Por la cual se establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional,» 2018.
- [2] Ministerio de Minas y Energía, «Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE,» Bogotá, 2013.
- [3] Comisión de Regulación de Energía y Gas, «Por la cual se establece el Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica, como parte del Reglamento de Operación del Sistema Interconectado Nacional,» Bogotá, 1998.
- [4] J. F. Mora, Máquinas eléctricas, 6 ed., Madrid: Mcgraw-hill, 2008.
- [5] Eaton, «eaton.com,» 2025. [En línea]. Available: <https://www.eaton.com/co/es-mx/catalog/medium-voltage-power-distribution-control-systems/nova-three-phase-recloser.html>. [Último acceso: 26 Enero 2025].
- [6] Electrificadora de Santander ESSA, *Manual de Operación*, 2023.
- [7] Entec Electric & Electronic C., LTD, *Recloser control ETR300-R user´s manual*, 2022.
- [8] E. Pájaro Castro y M. Ruíz Pianata, «Automatización de redes eléctricas de distribución de energía eléctrica en baja tensión, estado del arte,» 2003.
- [9] IDC Technologies, «Modern scada protocols,» British Library Cataloguing in Publication Data, Burlington, 2004.
- [10] Schweitzer Engineering Laboratories, Inc, «selinc.com,» 2022. [En línea]. Available: <https://selinc.com/api/download/111332/?lang=es>. [Último acceso: 25 Enero 2025].
- [11] Ge Vernova, «gevernova.com,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.gevernova.com/grid-solutions/multilin/catalog/r650.htm>. [Último acceso: 25 Enero 2025].

- [12] Noja Power, «f.hubspotusercontent10.net,» NOJA Power Switchgear Pty Ltd, 2022. [En línea]. Available: <https://f.hubspotusercontent10.net/hubfs/20135717/comulsa/Catalogos%20PDF%20File/Catalogos%20Chile/NOJA%20POWER-Reconectador%20OSM.pdf>. [Último acceso: 25 Enero 2025].
- [13] ABB, «library.e.abb.com,» 2023. [En línea]. Available: https://library.e.abb.com/public/aabb79c064ff4f3eb6d838e868472f29/1VAL265401-MB%20Rev%20D_GridShield_Instruction_Manual%20_US%20Letter.pdf. [Último acceso: 25 Enero 2025].
- [14] Siemens, «assets.new.siemens.com,» 2016. [En línea]. Available: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:3d1b34874418eda7ba68c7b395a8cc594621e898/catalog-hg-11-42-recloser-es.pdf>. [Último acceso: 25 Enero 2025].
- [15] Nu-Lec Industries Pty Ltd, «ADVC Controller Range OPERATION MANUAL,» 2009.