

Implementation of Remote Control for the Opening and Closing of Reactive Compensation to the 13,8 kV Feeder of the Electrical Substation of Novacero S.A. by means of an ADVC-IOEX Card

Implementación de Control Remoto para la Apertura y Cierre de Compensación Reactiva al Alimentador de 13,8 kV de la Subestación Eléctrica de la Empresa Novacero S.A. mediante una Tarjeta ADVC-IOEX

A.S. Freire¹  0000-0002-2447-3369 H.G. Mullo²  0009-0009-9392-5603
 F.R. Arias²  0000-0002-5775-7800 J.J. Casa²  0009-0000-4498-8653

¹Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

E-mail: asfreiref@istx.edu.ec

²Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

E-mail: mullo.hector@yahoo.com, fernando.arias6251@utc.edu.ec, jhonny.casa6@utc.edu.ec

Abstract

The present work focuses on a practical application of remote control for the opening and closing of the reactive compensation tuned to the fifth harmonic at the output of the 13.8 kV distribution feeder of the Novacero S.A. electrical substation, through the migration from local control to remote control by means of a Schneider Electric U27 series recloser as a switch for its location in the yard. The process includes the use of the recloser in one-shot mode which is performed by the operator from the control room, in addition a SEL-551 protection relay is implemented which commands the recloser to open in the event of possible overcurrent faults by means of an ADVC-IOEX card located on the recloser board. This device helps to open and close the filter remotely in conjunction with the WSOS software of the equipment for the supervision and operation from a level 2 substation automation system. The result obtained through this automation system is to safeguard the safety of the operator from level 0 to level 1 automation, in addition to being able to monitor and supervise the variables measured inside the control room from level 2.

Index terms— Remote control, recloser, ADVC-IOEX Schneider Electric, reactive compensation, electrical substation.

Resumen

El presente trabajo se enfoca en una aplicación práctica de control remoto para la apertura y cierre de la compensación reactiva sintonizada a la quinta armónica en la salida del alimentador de distribución a 13,8 kV de la subestación eléctrica Novacero S.A., mediante la migración de control local a control remoto por medio de un reconectador marca Schneider Electric serie U27 como interruptor para su ubicación en patio. El proceso comprende con la utilización del reconectador en modo de un solo disparo que lo realiza el operador desde el cuarto de control, además se implementa un relé de protección SEL-551 que manda abrir el reconectador ante posibles fallas por sobrecorriente por medio de una tarjeta ADVC-IOEX ubicada en el tablero del reconectador, este dispositivo ayuda a la apertura y cierre del filtro de manera remota en conjunto con el software WSOS del equipo para la supervisión y operación desde un nivel 2 de sistemas de automatización de subestaciones. El resultado obtenido mediante este sistema de automatización es precautelar y salvaguardar la seguridad del operador llevando de un nivel 0 a nivel 1 de automatización, además de poder monitorear y supervisar las variables medidas dentro del cuarto de control desde un nivel 2.

Palabras clave— Control remoto, reconectador, ADVC-IOEX Schneider Electric, compensación reactiva, subestación eléctrica.

Recibido: 05-05-2024, Aprobado tras revisión: 11-06-2024

Forma sugerida de citación: Freire, A.; Mullo, H.; Arias, F.; Casa, J. (2024). "Implementación de control remoto para la apertura y cierre de compensación reactiva al alimentador de 13,8 kV de la subestación eléctrica de la empresa Novacero S.A. mediante una tarjeta ADVC-IOEX". Revista Técnica "energía". No. 21, Issue I, Pp. 84-93

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

Doi: <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v21.n1.2024.659>

© 2024 Operador Nacional de Electricidad, CENACE



Esta publicación está bajo una licencia internacional Creative Commons Reconocimiento – No Comercial 4.0



1. INTRODUCCIÓN

En la industria, los motores eléctricos generan potencia reactiva-inductiva ocasionando pérdidas en los elementos del sistema por efecto Joule. Mediante la ubicación óptima de bancos de condensadores u otros dispositivos de compensación, se mejora la eficiencia energética. El objetivo es la reducción de pérdidas de potencia y el control de voltaje, adicional de la mejora del factor de potencia en una subestación, incrementar la disponibilidad del alimentador para recibir carga, en el transformador la liberación en la capacidad en el suministro eléctrico de corrientes reactivas que representen pérdidas de energía con la empresa distribuidora evitar penalización y recargos por un bajo factor de potencia [1]. La finalidad de la compensación reactiva es aumentar la seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico, mediante la corrección del factor de potencia, el mejoramiento del perfil de voltaje y la disminución tanto en pérdidas técnicas de energía como en costos relacionados [2].

Novacero S.A., planta Lasso es una empresa siderúrgica que cuenta con trenes de laminación y hornos de arco eléctrico. En su mayoría de carga en el entorno industrial, cuenta con variadores de frecuencia, lámparas de descarga, soldadura por arco, rectificadores, entre otros [3]. Cargas que generan armónicos y alteran la onda sinusoidal original creando distorsiones que perturban el funcionamiento normal de los equipos, generados por la quinta armónica en el alimentador de 13,8 kV [4], para compensar la energía reactiva que necesitan los motores de la industria se tiene instalado un filtro pasivo sintonizado a la quinta armónica de manera de no entrar en resonancia al momento de realizar la compensación al alimentador.

El ingreso de la compensación reactiva para el alimentador del anillo de distribución de la empresa a 13,8 kV es maniobrado de manera local, el proceso se ejecuta cuando el factor de potencia se encuentra bajo los niveles mínimos permisibles de 0,92, evitando así penalización por bajo factor de potencia [5], a través de un disyuntor de apertura y cierre de contactos que se encuentra instalado en el centro de control y que es maniobrado de manera local, representado un peligro para el personal operativo que labora en la subestación, para dar solución a esta problemática se implementa un control de mando remoto para la operación de un reconector de la marca Schneider Electric serie U27, llevando desde un nivel 0 hasta un nivel 2 en sistemas de automatización de subestaciones.

El propósito es realizar maniobras de campo con mayor confiabilidad, seguridad, rapidez y el respaldo de maniobra en la bahía 13,8 kV y a su vez precautelar la vida y la seguridad, reduciendo la exposición del personal técnico a peligros potenciales en la subestación, en especial del operador que manipula este equipo maniobrado de manera local. El objetivo es adaptar un proceso de implementación de control remoto para

apertura y cierre de compensación reactiva al alimentador de 13,8 kV mediante una tarjeta ADV-IOEX en la subestación eléctrica de la empresa Novacero S.A., para optimizar parámetros de seguridad, confiabilidad y calidad del suministro eléctrico de la subestación. Este documento es organizado de la siguiente manera: el análisis de la teoría de la automatización de subestaciones y equipos utilizados para el control remoto de operación se presenta en la sección 2, el desarrollo de la implementación, diseño y configuración del equipo se discute en la sección 3 y finalmente las conclusiones y recomendaciones en la sección 4.

2. ANÁLISIS TEÓRICO

2.1 Revisión literaria

La norma internacional en subestaciones eléctricas para comunicación es el protocolo IEC 61850, que es diseñado para la interoperabilidad de los equipos de diferentes fabricantes dentro de una misma subestación, además de cumplir con requisitos de disponibilidad y seguridad, para la operación y control de sistemas, optimizando la transmisión de datos y el suministro de energía eléctrica [6].

En [7] manifiesta que los esquemas de automatización de distribución eléctrica dependen de ordenadores basados en subestaciones para el control en subestaciones primarias. A medida que varía la carga reactiva en los alimentadores, este esquema de compensación permite la colocación y dimensionamiento óptimo de condensadores variables en el tiempo.

En [8] determina la influencia de compensación reactiva en dos subestaciones peruanas para disminuir las pérdidas por transmisión eléctrica mediante la implementación de un banco de condensadores en el lado de baja tensión de las subestaciones, concluyen que el proyecto tuvo influencia positiva tanto en la parte económica mediante la reducción en la facturación, como en la parte técnica logrando elevar el factor de potencia de 0,77 a 0,95.

Proponen un método de compensación de potencia reactiva para mejorar la calidad de energía de un horno de arco eléctrico en un sistema de distribución de energía mediante un compensador estático y un filtro activo. Modifican el factor de potencia y equilibran las corrientes trifásicas. Los autores realizan una simulación para demostrar la viabilidad del método propuesto para una fábrica metalúrgica [9].

En [10] menciona que los sistemas electromecánicos encargados de proteger y controlar las redes eléctricas tienen limitantes que no permiten funcionalidades como la comunicación, la auto-supervisión ni la capacidad de monitoreo en tiempo real en la operación de redes eléctricas. A través de la automatización de subestaciones, se provee, entre otros, el control remoto de todo tipo de instalación eléctrica, añadiendo capacidad

adicional en la supervisión, monitoreo, registro, comunicación y medición, permitiendo mejorar la operación interna con el sistema externo.

En [11] manifiesta que la automatización de subestaciones tiene tres funciones, la primera es la recopilación de datos y transmitir información, la segunda es la protección que consiste en recopilar información del relé de protecciones o seccionadores con el fin de proteger los equipos, la tercera función consiste en realizar el control remoto de la operación del interruptor, seccionador u otros componentes con la finalidad de dar una respuesta rápida a las condiciones de operación.

En [12] analiza en detalle los requisitos y el diseño para el sistema SCADA y el sistema de automatización de una subestación, además menciona que estos equipos protegen de altas tensiones en fallos, perturbaciones y sobrecargas en la red eléctrica.

En [13], evalúa la implementación de tarjetas ADVC-IOEX SCHNEIDER para restaurar circuitos de alimentación de la subestación Celso Castellanos y no realizar complicadas maniobras manuales, concluyen que el tiempo de maniobra para la restauración por sistemas comunes es lento, esto se puede reducir mediante el uso de sistemas automatizados, lo que dará como resultado una disminución de fallas en el sistema de distribución.

En [14]. Implementa tarjetas ADVC-IOEX SCHNEIDER para control remoto de reconectado trifásico en media tensión bajo procedimientos electromecánicos. Logrado la restauración del sistema de distribución de cada circuito de alimentación sin recurrir a la bahía de maniobras. Concluye que con la ejecución del proyecto el sistema de distribución se vuelve más amigable.

2.1 Sistemas de automatización de subestaciones

Los sistemas de automatización de subestaciones (SAS) permiten la supervisión y monitoreo en tiempo real de los equipos instalados en campo de la subestación, y de sí mismo, es decir, cuenta con una autosupervisión, además del control en modo local y remoto de todos los componentes de la subestación [15]. Para alcanzar un control jerárquico de todos los componentes, como de control y supervisión, se requiere un enfoque de tres niveles que se detalla a continuación [16].

2.1.1 Nivel 0

Es el nivel de patio, donde se encuentran los equipos de campo, como seccionadores y disyuntores, el control de estos equipos se realiza de manera local, desde los gabinetes de patio.

2.1.2 Nivel 1

Es el nivel de relés – IED´s (Dispositivos electrónicos inteligentes), el control de operación es por medio del IED, sirven para proteger y controlar los equipos instalados en campo. En los tableros del cuarto de control podemos encontrar la integración de varios tipos de IED`s en uno solo.

2.1.3 Nivel 2

Es el nivel de subestación, donde se encuentra un HMI que incorpora a todos los IED´s para el control, supervisión y adquisición de datos de una subestación. El control se realiza de manera remota, precautelando la seguridad de los operadores.

Desde este nivel se puede obtener la información como:

- Estado de los equipos de campo (abierto o cerrado).
- Valores analógicos de medición (voltajes, corrientes y más).
- Niveles de aceite.
- Consumo de energía.

2.1.4 Nivel 3

Es el nivel de centro de control – SCADA, es la concentración de información de varios centros de control de varias subestaciones, de manera de controlar y supervisar y adquirir información de manera directa desde este nivel.

2.2 Reconector Schneider Electric

El Reconector Schneider es un dispositivo crucial en la industria eléctrica y en la gestión de la distribución de energía. Se compone de elementos como sensores de corriente y tensión, un controlador lógico programable (PLC) y un interruptor.

En resumen, los reconectores son dispositivos diseñados para restablecer automáticamente el suministro eléctrico en caso de interrupciones temporales, también pueden ser utilizados como interruptores de un solo disparo, todo configurado mediante el software WSOS [17].

2.3 Controlador Schneider ADVC

El controlador ADVC Schneider es un conjunto de módulos que permite configurar, monitorear, controlar, leer y mostrar información acerca del estado de operación del reconector automático de circuitos (ACR) [18].

2.4 Tarjeta expansora de entradas y salidas ADVC-IOEX Schneider

La IOEX (Input Output Expander Module) es un accesorio del controlador ADVC que permite asignar señales de control de dispositivos externos, alimentada con tensión propia para la IOEX [19].



2.5 Relé de protección SEL-551

Son dispositivos electrónicos direccionados a mantener un alto nivel del servicio eléctrico. Son dispositivos de protección, control y monitoreo, utilizados en la industria de energía eléctrica para garantizar la operación segura y confiable de sistemas de distribución y transmisión eléctrica. El SEL-551 proporciona protección contra sobrecorriente hasta cuatro disparos de reconexión en un paquete compacto. El relé mide las corrientes de fase y neutro, mas no las tensiones [20].

3. DESARROLLO

La presente aplicación práctica se realiza en la subestación de la empresa industrial Novacero S.A., justamente en la barra de medio voltaje a 13,8 kV con una compensación reactiva de 2,65 MVAR por un filtro pasivo sintonizado a la quinta armónica para la carga no lineal que cuenta la empresa, de manera de cumplir un factor de potencia en el PCC (Punto de común acoplamiento) de 0,92.

Para la ejecución del proyecto se siguió la siguiente metodología, como se observa en la Fig. 1.

La planta actual se conforma simplificada como el diagrama unifilar de la Fig. 2.

La compensación reactiva mencionada entra en operación cuando la carga a nivel de 13,8 kV tiene un factor de potencia menor al 0,92, lo cual el operador de turno debe realizar la entrada del filtro de compensación de manera manual, proceso que conlleva un peligro al momento de realizar la apertura y cierre del disyuntor ubicado dentro del cuarto de control (ver Fig. 3).

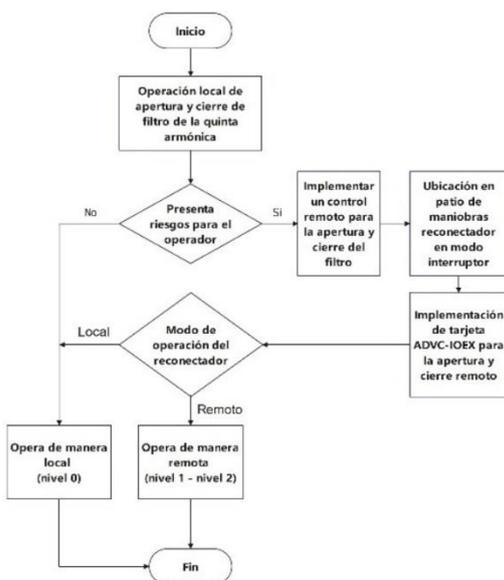


Figura 1: Diagrama de flujo de la metodología propuesta

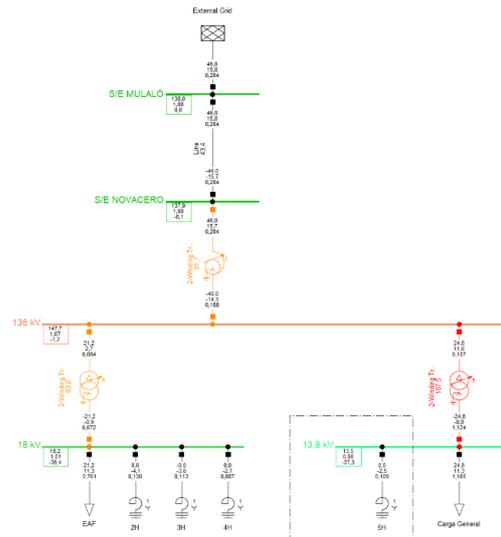


Figura 2: Diagrama unifilar de la subestación eléctrica de la empresa Novacero S.A.



Figura 3: Disyuntor Miami Breaker 17,5 kV/ 630 A/ 95 kV-Bil / Isc 16 kA

Debido al inconveniente que representa realizar las maniobras, se ha visto la necesidad de implementar un control remoto para la operación de la entrada y salida de la compensación reactiva. El proceso cuenta con los siguientes procedimientos:

1. Salida de operación del disyuntor de la Fig. 4, debido a que es un interruptor para interiores y colocación de un reconector marca Schneider serie U27 en patio.
2. Implementar un control de operación remota para llevar de un nivel 0 a un nivel 1 y 2.
3. Parametrización de protecciones y medición del filtro pasivo.

3.1 Cambios ejecutados en equipos de potencia

Debido a que el disyuntor de la Fig. 2 es para interiores, se implementa un reconector de la marca Schneider serie U27 (ver Fig. 4) configurado como interruptor para realizar un solo disparo de manera local o remota.



Figura 4: Colocación de reconectador en patio de la subestación eléctrica Novacero S.A.

Los trabajos realizados dan como resultado la instalación del reconectador en patio (ver Fig. 5), para efectuar su control de manera local. El reconectador cuenta con su propio tablero de control que se puede manipular de manera local. La finalidad de esta práctica es que los equipos de potencia se encuentren en patio y sean operados dentro del cuarto de control.



Figura 5: Reconectador Schneider serie U27 27 kV/ 630 A/ 125 kV-Bil / Isc 12 kA instalado en patio

3.2 Implementación de operación remota

Para pasar de un nivel 0 a un nivel 1 y 2 en un sistema de automatización de subestaciones, se procede a llevar las señales analógicas y digitales del equipo a operar hacia el cuarto de control para su supervisión y control.

El proceso contempla la instalación del módulo ADVC-IOEX de la marca Schneider Electric al tablero de control local del reconectador instalado en patio, el mismo que sirve como PLC (Controlador Lógico Programable), las señales de entrada están compuestas por las señales de pulsadores de abierto y cerrado más una señal de apertura enviada desde el relé de protección ante posibles fallas, las salidas del IOEX serán avisos para luces piloto que indican la entrada o salida del filtro pasivo.

Las comunicaciones entre reconectador y medidor de energía al switch de la subestación se realizan por protocolo DNP3 TCP/IP, en la computadora de operaciones se instala el software WSOS para la configuración del IOEX, operación y supervisión del reconectador en patio (ver Fig. 6).

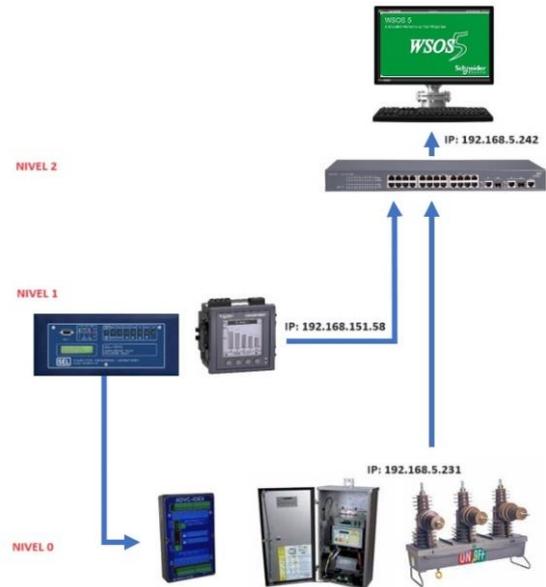


Figura 6: Implementación del SAS para operación y supervisión del reconectador de compensación reactiva

3.2.1 Conexión de ADVC-IOEX control nivel 1

El control de manera remota consiste en operar el reconectador desde el cuarto de control, físicamente desde los controles del tablero. La implementación del circuito de control se visualiza en la Fig. 7.

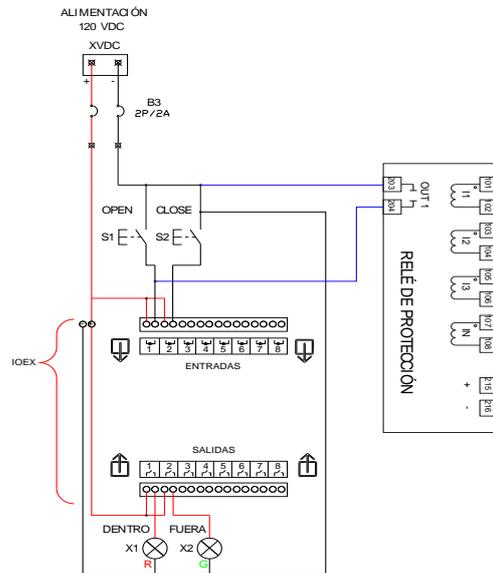


Figura 7: Circuito de control eléctrico para apertura y cierre de manera remota

Como se observa en la Fig. 7, las señales de apertura se conectan en paralelo con la del relé de protección en un contacto NA (Normalmente Abierto) para posibles fallas que pudieran ocurrir al filtro pasivo. Como resultado de las conexiones realizadas de la Fig. 7 se obtiene el resultado de la Fig. 8.



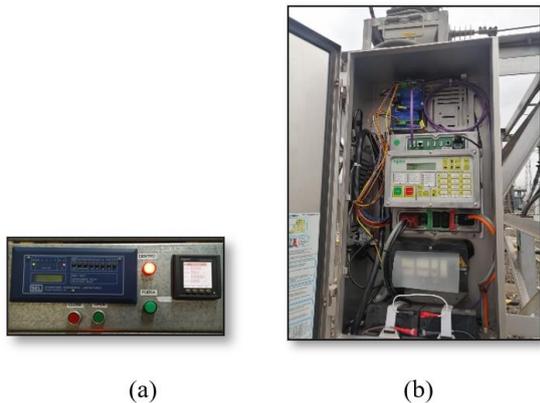


Figura 8: Conexión física: (a) Instalación del relé de protección en conjunto con el medidor de energía; (b) Instalación de módulo ADVC-IOEX en tablero de reconector

3.2.2 Configuración de ADVC-IOEX

Mediante la comunicación Ethernet entre el tablero de control del reconector al Switch, podemos enlazar la comunicación y crear el interruptor digitando la dirección IP asignada (ver Fig. 9).

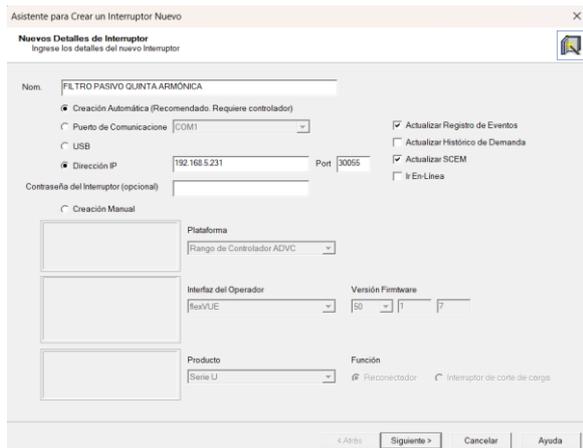


Figura 9: Creación de interruptor nuevo mediante el programa WSOS

Una vez realizada la creación del interruptor, se procede a configurar la IOEX previamente instalado. En la barra de herramientas en la pestaña Customise/IOEX/Configure ADVC IOEX Mappings, se obtienen las siguientes pantallas de configuración (ver Fig. 10). Para este proyecto, a base de las conexiones de control vistas en la Fig. 7, la configuración del ADVC-IOEX es la siguiente:

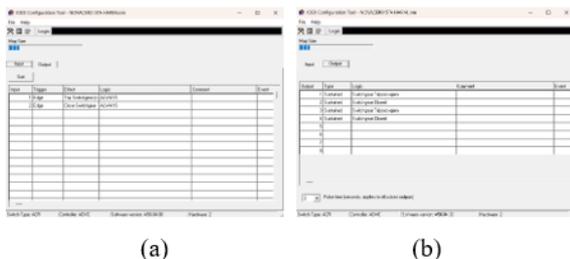


Figura 10: Configuración del ADVC-IOEX: (a) Señales de entrada; (b) Señales de salida

3.2.3 Supervisión y control nivel 2

Una vez creado el reconector como interruptor con el software WSOS, el usuario puede controlar por computadora la apertura y cierre del interruptor en patio (ver Fig. 11) y de la misma manera poder supervisar los parámetros medidos como voltajes, corrientes y potencias, etc. que ofrece el tablero ADVC del reconector (ver Fig. 12).

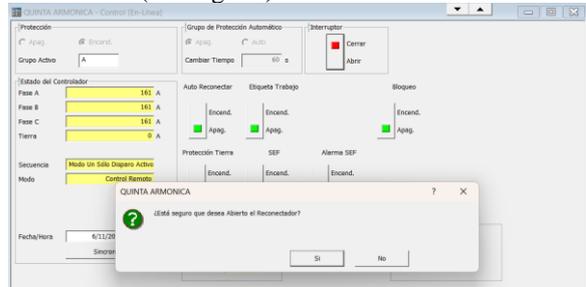


Figura 11: Mando remoto de disparo del reconector

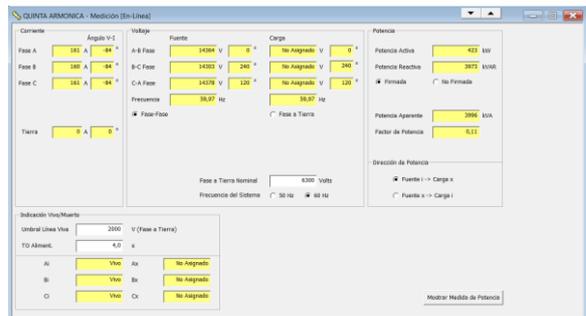


Figura 12: Visualización de mediciones del reconector en tiempo real

3.3 Protección y medición

El filtro pasivo cuenta con su equipo de protección y medición al ubicar transformadores de corriente y potencial (TC's y TP's) cerca de la barra de 13,8 kV. Las señales analógicas de voltaje y corriente son conectadas al medidor de energía PM5340 y a un relé de protección SEL-551 (ver Fig. 12), las características de los equipos utilizados son las siguientes (ver Tabla 1 y Tabla 2):

Tabla 1: Características de TC's y TP's utilizados

	Marca	Relación	Burden	Clase
Transformador de potencial	Howest	8400/120 V	30 VA	0,2
Transformador de corriente	Camsco	400/5 A	5 VA	1,0
Transformador de corriente residual	Sadtem	30/5 A	20 VA	0,5

Tabla 2: Características de relé de protección y medidor de energía utilizados

	Marca	Serie
Relé de protección	SEL	551
Medidor de energía	Schneider Electric	PM5340

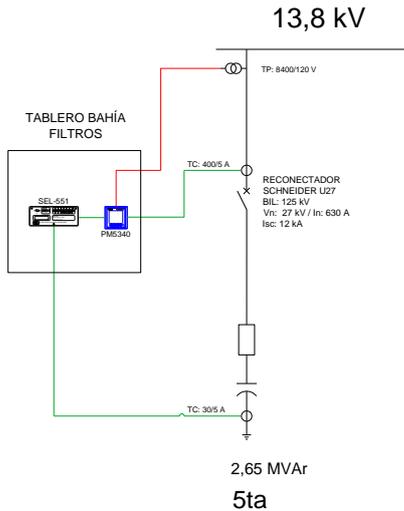


Figura 13: Diagrama unifilar de la conexión de protección y medición para el filtro de la quinta armónica

La Fig. 13 presenta una conexión en serie de las señales de corriente que pasan por el relé y medidor, además se toman las señales de corriente por parte del transformador de corriente residual. Las conexiones trifilares de la Fig. 13 se aprecian en la Fig. 14.

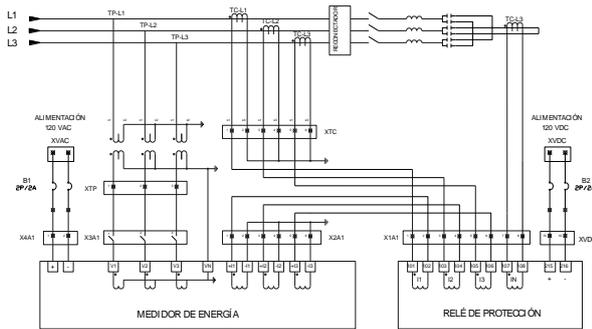


Figura 14: Diagrama trifilar de la conexión de protección y medición para el filtro de la quinta armónica

3.3.1 Protección de sobrecorriente

De manera que el relé de protección proteja el reductor y el filtro pasivo instalados en patio, se realiza con la parametrización del relé SEL-551, la función 50 instantánea y 51 de sobrecorriente temporizada.

Los datos del filtro pasivo recolectados en sitio tienen las siguientes características (ver Tabla 3):

Filtro Pasivo		5ta Armónica
Qc	kVAr	2.646,00
f	Hz	60,00
V	V	11.832,00
Xc	Ω	52,91
hs		4,85
XL	Ω	2,25
Qfiltro	kVAr	3759,23

Para la protección de sobrecorriente temporizada 51, se utiliza la ecuación 1 y 2:

$$I_n = \frac{Q_{filtro}}{\sqrt{3} \cdot V_n} = \frac{3759,23 \text{ kVAr}}{\sqrt{3} \cdot 13,8 \text{ kV}} = 157,27 \text{ A} \quad (1)$$

$$I_{pickup \text{ sec-51}} = \frac{I_n \cdot 1,25}{RTC} = \frac{157,27 \text{ A} \cdot 1,25}{80} = 2,5 \text{ A sec} \quad (2)$$

Para la protección de sobrecorriente instantánea 50 se utiliza la ecuación 3:

$$I_{pickup \text{ sec-50}} = \frac{I_n \cdot 1,20 \cdot 4}{RTC} = \frac{157,27 \text{ A} \cdot 1,20 \cdot 4}{80} = 9,4 \text{ A sec} \quad (3)$$

Para la protección residual 50N se considera la falla de un capacitor del banco de capacitores, se utiliza la ecuación 4:

$$I_n = \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot V_n} = \frac{441 \text{ kVAr}}{\sqrt{3} \cdot 13,8 \text{ kV}} = 18,45 \text{ A} \quad (4)$$

Para mejorar el ajuste antes que se dispare, el fusible del capacitor se ajusta a un valor de 15 amperios primarios (ver ecuación 5):

$$I_{pickup \text{ sec-50N}} = \frac{15 \text{ A}}{RTC} = \frac{15 \text{ A}}{6} = 2,5 \text{ A sec} \quad (5)$$

La parametrización del relé SEL-551 se realiza con los siguientes datos expuestos en la Tabla 4.

Tabla 4: Parámetros cargados al relé SEL-551

RELÉ	SEL-551	
DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN	QUINTA ARMÓNICA	
PROTECCIÓN 50 INSTANTÁNEA	RTC	80
	Ajuste 50 (A.sec)	9,4
	Ajuste de tiempo (ciclos)	9
PROTECCIÓN 51 TEMPORIZADA	RTC	80
	Ajuste 51 (A.sec)	2,5
	Dial:	0,5
	Tipo de curva.	U2
PROTECCIÓN 50N INSTANTÁNEA	RTC	6
	Ajuste 50N (A.sec)	2,5

Las curvas de protección 50, 51 y 50N se visualizan en la Fig. 15.

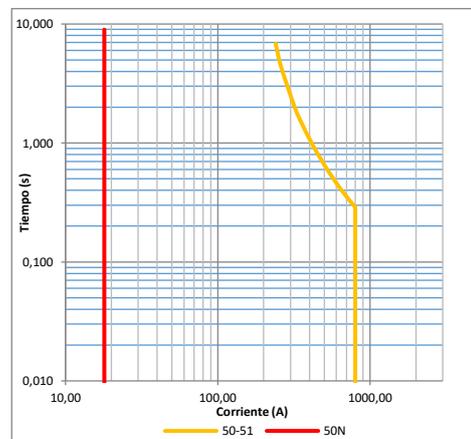


Figura 15: Curvas de protección del relé SEL-551

Como resultado, tenemos el tablero de control de filtros armónicos con la implementación de un control remoto de apertura y cierre de compensación reactiva al alimentador de 13,8 kV dentro del cuarto de control de la subestación eléctrica Novacero (ver Fig. 16).



Figura 16: Tablero de control de compensación reactiva de la quinta armónica (cuadro de color rojo)

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La implementación de un reconectador en patio de equipos primarios para el ingreso de compensación reactiva en el alimentador de 13,8 kV permitió que los operadores y técnicos de mantenimiento de la subestación eléctrica de la empresa Novacero S.A. ya no estén expuestos ante posibles accidentes como el arco eléctrico al operar los equipos localmente, llevando de un nivel 0 hasta un nivel 2 en sistemas de automatización de subestaciones implementando el control de apertura y cierre desde el cuarto de control y supervisión de los parámetros medidos.

El reconectador se utiliza como interruptor de un solo disparo, para este proyecto implementado se configuró de esa manera, debido a que se necesitan aperturas y recierres, no requiere recierre, para operar de manera remota se deberá colocar el tablero ADVC del reconectador en modo remoto para que el proceso de automatización opere desde el cuarto de control, de esta manera el reconectador abrirá sus contactos en las condiciones como apertura desde el tablero de control o mediante el programa WSOS del equipo y además ante posibles fallas vistas por el relé de protección.

Si bien se cuenta con un control de mando remoto donde el operador de turno visualice los rangos adecuados de factor de potencia, contando con la seguridad de realizar la entrada y salida de compensación reactiva si se lo requiere, se recomienda sumar la implementación de un control automático para la conexión y desconexión de los filtros para evitar el proceso de supervisión, mejorando la conexión y

desconexión automática según requiera el sistema de alimentación a 13,8 kV.

5. AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento a los compañeros de trabajo que conforman la subestación eléctrica de la empresa Novacero S.A. que por medio de su ayuda de trabajo técnico y profesional se pudo realizar la ejecución y puesta en servicio del proyecto presentado.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. O. Velásquez, "Análisis para la compensación de potencia reactiva del alimentador circuito dos perteneciente a la subestación vía Quevedo de la CNEL EP unidad de negocio Santo Domingo," 2016. [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6265>
- [2] F. R. Tipán, "Determinación de la compensación reactiva en paralelo en sistemas de transmisión usando resultados de sensibilidad y curvas QV," p. 30, 2020.
- [3] Novacero, "Primer reporte de sostenibilidad y responsabilidad social empresarial. Un enfoque centrado en la persona," Latacunga, 2013. [Online]. Available: <https://www.novacero.com/wp-content/uploads/2021/05/ReporteRSENovacero2013.pdf>
- [4] ARCERNNR, "Resolución Nro. ARCERNNR-003/2023," vol. 20, p. 35, 2023, [Online]. Available: www.controlrecursosyenergia.gob.ec
- [5] ARCONEL, "Regulación No. CONELEC 004/01 1," pp. 1-7, 2012.
- [6] Mario Benítez Lobato, "Implementación práctica del protocolo IEC 61850 en subestaciones eléctricas," 2017. [Online]. Available: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70641/fichero/4.+IEC-61850.pdf>
- [7] J. C. Peñaherrera, "Automatización de subestaciones e integración al sistema SCADA," 2007. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/181>
- [8] M. Hernández, "Elección de un sistema de automatización en subestaciones eléctricas mediante un modelo multicriterio," 2022.
- [9] S. Mnukwa and A. K. Saha, "Implementation of Substation SCADA and Automation Systems in the Port of Durban," 2018 *IEEE PES/IAS PowerAfrica, PowerAfrica 2018*, pp. 214-219, 2018, doi: 10.1109/PowerAfrica.2018.8521141.
- [10] J. J. GRAINGER, S. CIVANLAR, and S. H. LEE, "OPTIMAL DESIGN AND CONTROL

SCHEME FOR CONTINUOUS CAPACITIVE COMPENSATION OF DISTRIBUTION FEEDERS,” *Computer (Long Beach, Calif.)*, pp. 3271–3278, 1983, doi: 10.1109/mc.2020.2974641.

- [11] Y. W. Liu, S. H. Rau, C. J. Wu, and W. J. Lee, “Improvement of Power Quality by Using Advanced Reactive Power Compensation,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 54, no. 1, pp. 18–24, 2018, doi: 10.1109/TIA.2017.2740840.
- [12] K. C. Cairo, “Influencia de la compensación reactiva en las sub estaciones Bolivar y San Jerónimo en la disminución de las pérdidas de transmisión de energía en la empresa minera Catalina Huanca, Ayacucho-2019,” 2019. [Online]. Available: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20500.12394/7114/1/IV_FIN_109_TE_Cairo_Huaranga_2019.pdf
- [13] J. Culqui, H. Caicedo, and D. Pulloquinga, “Implementación De Tarjetas Advc-Ioex Schneider Implementation of Advc-Ioex Schneider Cards for Restoration of Power Supply Circuits in Celso,” no. 2343–6115, pp. 55–68, 2020.
- [14] Danny Pulloquinga, “Análisis e implementación de tarjetas aDVC- IOEX SCHNEIDER para comando remoto de reconectador trifásico de media tensión tipo nulec u27 schneider en la subestación Celso Castellano, ubicado en Lago Agrio de la empresa corporación nacional de electricidad,” 2019.
- [15] E. Terán, “Guía de conceptos , características y funciones de los sistemas de automatización de subestaciones,” pp. 1–61, 2017.
- [16] M. A. Toscano Palacios, “Automatización de una subestación Electrica utilizando Protocolo IEC 61850 y el ICCP para el envio de datos,” *Univ. Ricardo Palma*, p. 91, 2010.
- [17] M. Ready and M. Ready, “Release Notes – WSOS5,” *Management*, vol. 14, no. April, pp. 1–6, 2009.
- [18] Schneider Electric, “ADVC Controller Range Operations Manual,” p. 260, 2009.
- [19] I. Output and E. Ioex, “IOEX Installation guide 1 Introduction,” 2010.
- [20] Schweitzer Engineering Laboratories, “SEL-551 Overcurrent / Reclosing Relay,” p. 278, 2022.



Armando Freire Freire. - Nació en Latacunga, Ecuador en 1994. Curso sus estudios secundarios en el Instituto Tecnológico Ramón Barba Naranjo. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico de la Universidad Técnica de Cotopaxi en 2020. Recibió su título de Magíster en electricidad con mención en sistemas eléctricos de potencia de la Universidad Técnica de Cotopaxi en 2023. Actualmente desempeña el cargo de docente a tiempo completo en el Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi. Sus campos de investigación están relacionados con las energías renovables, calidad de energía, coordinación de protecciones, mantenimiento y operación de equipos de potencia.



Héctor Mullo Pulloquinga. - Nació en Latacunga, Ecuador en 1987. Curso sus estudios secundarios en la Institución Dr. Trajano Naranjo Iturralde. Recibió su título de Ingeniero eléctrico de la Universidad Técnica de Cotopaxi en 2015. Recibió su título de Magister en Electrónica y Automatización de la Universidad Tecnológica Israel en 2022. Actualmente desempeña el cargo de operador y técnico de mantenimiento de la Subestación Eléctrica Novacero S.A. planta Lasso. Sus campos de investigación están relacionados con la Electrónica y Automatización para Sistemas de Control de Procesos Industriales, Calidad de Energía, Operación y Mantenimiento de Equipos de Potencia.



Fernando Arias Atiaja. - Nació el 02 de septiembre de 1980. Curso los estudios tecnológicos en el Instituto Tecnológico Superior Ramón Barba Naranjo; título de Tecnólogo en Mantenimiento Eléctrico y Control Industrial. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico de la Universidad Técnica de Cotopaxi en 2021. Recibió su título de Magíster en electricidad con mención en Sistemas Eléctricos de Potencia de la Universidad Técnica de Cotopaxi en 2023. Sus campos de investigación están relacionados con la automatización industrial, eficiencia energética, calidad de energía, protección ambiental y sistemas eléctricos de potencia.



Jhonny Casa Toctaguano. - Nació en Latacunga, Parroquia Tanicuchi, Ecuador en 1995. Curso sus estudios secundarios en la Institución Ramón Barba Naranjo. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico de la Universidad Técnica de Cotopaxi en 2023. Actualmente desempeña el cargo de Residente Eléctrico en el proyecto Jardín Azuayo, ubicado en Cuenca. Sus campos de investigación están relacionados con la Electrónica y Automatización para sistemas de control de procesos industriales, diseño y construcción de redes eléctricas, calidad de energía.