



**ANÁLISIS DE EFECTIVIDAD E IMPLEMENTACIÓN DE UN STATIC VAR  
GENERATOR EN LA EMPRESA RTD S.A.S**  
**Práctica empresarial en la modalidad de semestre de industria**

Mateo Giraldo Zuluaga

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniero Electricista

Asesores

Jaime Alejandro Valencia, Doctor (PhD) en Ingeniería Eléctrica  
Universidad de Antioquia

Pedro Pablo López Rodríguez, Ingeniero Electricista  
Ietek Ingeniería

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Eléctrica  
Medellín, Antioquia, Colombia

2024

---

Cita

Giraldo Zuluaga [1]

**Referencia**

- [1] M. Giraldo Zuluaga, "Análisis de efectividad e implementación de un Static VAR Generator en la empresa RTD S.A.S", Trabajo de grado profesional, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2024.

Estilo IEEE (2020)

---



**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. OBJETIVOS	11
A. Objetivo general	11
B. Objetivos específicos	11
III. MARCO TEÓRICO	12
TIPOS DE POTENCIA	12
POTENCIA ACTIVA	12
POTENCIA REACTIVA	12
POTENCIA APARENTE	12
FACTOR DE POTENCIA	13
CÁLCULO DEL FACTOR DE POTENCIA	13
STATIC VAR GENERATOR	14
MARCO REGULATORIO	15
CREG 015 de 2018	15
CREG 199 de 2019	15
IV. METODOLOGÍA	16
VISITA DE CONTEXTUALIZACIÓN	17
ENTREGA DE EQUIPOS A INSTALAR	20
STATIC VAR GENERATOR	20
TRANSFORMADORES DE CORRIENTE	21
RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACIÓN DEL COMPENSADOR	22
ENTORNO DE INSTALACIÓN:	22

REQUISITOS MEDIOAMBIENTALES:	22
ESPACIO DE FUNCIONAMIENTO:	22
COMPLEMENTO A LAS RECOMENDACIONES DE INSTALACIÓN:	23
MEDICIÓN PREVIA DE VARIABLES ELÉCTRICAS EN LAS SUBESTACIÓN DE INTERÉS	23
ELECCIÓN DE UBICACIÓN Y COMPONENTES	27
UBICACIÓN DEL SVG	27
UBICACIÓN DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE	27
INSTALACION	31
MEDICIÓN POSTERIOR DE VARIABLES ELÉCTRICAS EN LA SUBESTACIÓN DE INTERÉS	32
IX. ANALISIS DE RESULTADOS	35
X. CONCLUSIONES	39
REFERENCIAS	40

## LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 Esquema de funcionamiento SVG	15
Fig. 2 Subestación 2MVA	17
Fig. 3 Celda de Transformadores	18
Fig. 4 Placa características transformador 1	18
Fig. 5 Placa características transformador 2	19
Fig. 6 Gabinete de protecciones	19
Fig. 7 Static Var Generator	20
Fig. 8 Terminales de conexión SVG	20
Fig. 9 Transformador de corriente	21
Fig. 10 Placa característica transformador de corriente	21
Fig. 11 Esquema de conexión del módulo SVG	23
Fig. 12 Sensores de corriente	24
Fig. 13 Analizador de redes	24
Fig. 14 Consumo promedio de energía activa por hora en el intervalo 1	25
Fig. 15 Consumo promedio de energía reactiva por hora en el intervalo 1	25
Fig. 16 Consumo promedio de energía reactiva capacitiva por hora en el intervalo 1	26
Fig. 17 Consumo promedio de energía penalizada por hora en el intervalo 1	26
Fig. 18 Promedio de factor de potencia por hora en el intervalo 1	27
Fig. 19 Conexión transformadores de corriente	29
Fig. 20 Barrajes aguas arriba en gabinete de protecciones	29
Fig. 21 Barrajes aguas arriba en gabinete de protecciones	30
Fig. 22 Bornera cortocircuitable	30
Fig. 23 Esquema de conexión del módulo SVG	31
Fig. 24 Consumo promedio de energía activa por hora en el intervalo 2	32
Fig. 25 Consumo promedio de energía reactiva por hora en el intervalo 2	33
Fig. 26 Consumo promedio de energía reactiva capacitiva por hora en el intervalo 2	33
Fig. 27 Consumo promedio de energía penalizada en el intervalo 2	33
Fig. 28 Promedio de factor de potencia por hora en el intervalo 2	34
Fig. 29 Comparación consumo promedio de energía activa en ambos intervalos	35
Fig. 30 Comparación consumo promedio de energía reactiva en ambos intervalos	36

Fig. 31 Comparación consumo promedio de energía reactiva capacitiva en ambos intervalos	36
Fig. 32 Comparación del consumo total de energía reactiva capacitiva en ambos intervalos	37
Fig. 33 Comparación de energía penalizada en ambos intervalos	37
Fig. 34 Comparativo de energía total penalizada	38
Fig. 35 Comparativo factor de potencia en ambos intervalos	38

## SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

<b>SVG</b>	Static Var Generator
<b>TC</b>	Transformador de corriente
<b>CREG</b>	Comisión de Regulación de Energía y Gas

---

## RESUMEN

En donde hay procesos productivos como en una planta de producción, es en donde hay mayor presencia de energía reactiva. No obstante, es un deber de los usuarios controlarla porque aumenta las pérdidas de energía del sistema y no permite el aprovechamiento total de transporte de la red. Por lo anterior, el presente proyecto tiene como objetivo evaluar la efectividad de la instalación de un Static VAr Generator (SVG) en la empresa RTD S.A.S que está siendo penalizada por su alto consumo de energía reactiva capacitiva, según lo establecido por la CREG 015 de 2018 y CREG 199 de 2019.

Este análisis constara de tres fases principales, la fase previa donde se harán mediciones previas a la instalación; fase de instalación, la cual consta en todo el proceso de ejecución de la instalación del equipo SVG y una fase posterior, la cual consiste en realizar mediciones posteriores a la instalación para poder evidenciar la efectividad del equipo instalado.

La instalación del SVG permitirá a la empresa RTD S.A.S solventar el inconveniente existente, lo que se traduce en reducción de costos en la factura de energía y un aumento de la eficiencia energética dentro de las instalaciones.

***Palabras clave* — Energía reactiva, Static VAr Generator, Compensación, factor de potencia.**



---

ABSTRACT

In industrial settings such as production plants, the presence of reactive power is notably pronounced. Users are obligated to control reactive power as it amplifies energy losses within the system and impedes the full utilization of the network's capacity. Consequently, this project aims to assess the effectiveness of implementing a Static VAR Generator (SVG) at RTD S.A.S, a company facing penalties due to its high consumption of capacitive reactive power, as stipulated by CREG 015 of 2018 and CREG 199 of 2019.

The analysis comprises three primary phases: a pre-installation phase involving initial measurements, an installation phase encompassing the entire SVG installation process, and a post-installation phase conducting measurements to demonstrate the equipment's efficacy. The SVG installation will enable RTD S.A.S to address existing issues, resulting in reduced energy costs and enhanced energy efficiency within their facilities.

***Keywords*— Reactive power, Static VAR Generator, compensation, power factor.**

---

## I. INTRODUCCIÓN

En el sector industrial, es común que las fábricas requieran un alto consumo de energía eléctrica para su operación, lo que incluye el consumo de energía reactiva debido al tipo de cargas que manejan. En Colombia, las empresas que generan un alto consumo de energía reactiva son penalizadas por los operadores de red basados en la normativa estipulada por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), lo que representa un costo adicional en sus facturas de energía eléctrica.

En este proyecto, se analizará la instalación de un Static VAr Generator (SVG) en la empresa RTD S.A.S que está siendo penalizada por su alto consumo de energía reactiva. El SVG es un equipo que permitirá reducir el consumo de energía reactiva y eliminar las penalizaciones correspondientes.

Aunque el equipo ya ha sido adquirido previamente, es necesario medir la efectividad de la implementación del SVG en la empresa. Además, es fundamental realizar un análisis técnico detallado para garantizar una instalación adecuada y efectiva del equipo.

## II. OBJETIVOS

### *A. Objetivo general*

Evaluar la efectividad de la implementación de un Static VAr Generator (SVG) en la empresa RTD S.A.S penalizada por generar potencia reactiva capacitiva, con el fin de reducir el consumo de energía reactiva y eliminar las penalizaciones estipuladas por la CREG 015 de 2018 y la CREG 199 de 2019.

### *B. Objetivos específicos*

Realizar un análisis técnico previo a la instalación del SVG en la empresa RTD S.A.S.

Identificar y adquirir los materiales, herramienta y personal calificado necesario para la instalación del SVG, garantizando un control para la correcta ejecución.

Realizar la instalación del SVG siguiendo los requerimientos.

Evaluar la efectividad posterior a la instalación del SVG para reducir el consumo de energía reactiva y eliminar las penalizaciones correspondientes.

Presentar los resultados y conclusiones del proyecto en un informe final

### III. MARCO TEÓRICO

#### *TIPOS DE POTENCIA*

##### *POTENCIA ACTIVA*

Es la parte de la potencia eléctrica que se transforma para realizar trabajo útil, como lo puede ser trabajo mecánico, lumínico u otro tipo de energía útil. Es designada con la letra P y su unidad de medida son los vatios (W) [1]. La potencia activa se puede calcular utilizando la ecuación (1).

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos\theta \quad (1)$$

Donde:

$P$  = Potencia activa [W]

$V_L$  = Voltaje de línea [V]

$I_L$  = Corriente de línea [A]

$\theta$  = Angulo equivalente del factor de potencia [°]

##### *POTENCIA REACTIVA*

Es la parte de la potencia eléctrica que no se convierte en trabajo útil, sino que se intercambia continuamente entre la carga y la fuente, produciendo un campo magnético dando origen al flujo magnético necesario para su funcionamiento. Es designada mediante la letra Q y su unidad de medida son los voltamperios reactivos (VAr) [1]. La potencia reactiva se puede calcular utilizando la ecuación (2).

$$Q = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sen\theta \quad (2)$$

Donde:

$Q$  = Potencia reactiva [VAr]

$V_L$  = Voltaje de línea [V]

$I_L$  = Corriente de línea [A]

$\theta$  = Angulo equivalente del factor de potencia [°]

##### *POTENCIA APARENTE*

Es la magnitud total de la potencia eléctrica que fluye a través de un circuito eléctrico. La potencia aparente es la suma vectorial de la potencia activa y la potencia reactiva. La potencia aparente es la potencia eléctrica que realmente es absorbida por la carga. Esta potencia es solo útil cuando el factor de potencia es igual a la unidad, lo que nos indica que la potencia activa es igual

a la potencia aparente y no se tiene ningún consumo de energía reactiva. La potencia aparente es representada mediante la letra  $S$  y su unidad de medida es el voltamperio (VA) [2]. La potencia aparente se puede calcular utilizando la ecuación (3) y (4).

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3)$$

$$S = V \cdot I \quad (4)$$

Donde:

$S$  = Potencia aparente [VA]

$P$  = Potencia activa [W]

$Q$  = Potencia reactiva [VAr]

$V$  = Tensión [V]

$I$  = Corriente [A]

### *FACTOR DE POTENCIA*

El factor de potencia es una medida de la eficiencia energética, la cual indica la relación entre la energía que se utiliza de manera efectiva y la energía eléctrica consumida por un circuito o equipo. Se representa por las siglas FP y es un valor sin dimensiones que solo puede variar entre 0 y 1, ya sea inductivo o capacitivo, y es determinado por las cargas conectadas en una instalación eléctrica. Si el factor de potencia se acerca a la unidad, se dice que su componente reactivo es bajo. Por otro lado, si el factor de potencia se aproxima a cero, hay una gran componente reactiva, lo que conlleva a mayores pérdidas. Es importante tener en cuenta que, si la carga es predominantemente inductiva, el factor de potencia está en retraso, mientras que, si la carga es predominantemente capacitiva, el factor de potencia está en adelanto [3].

### *CÁLCULO DEL FACTOR DE POTENCIA*

Para obtener el valor del factor de potencia, se utiliza la relación entre los valores demandados de potencia activa (kW) y de potencia aparente (kVA) en un periodo de tiempo [3].

$$FP = \frac{P}{S} \quad (5)$$

Donde:

$FP$  = Factor de potencia

$P$  = Potencia activa [W]

$S$  = Potencia aparente [VA]

---

### *STATIC VAR GENERATOR*

Los Static VAr Generators (SVG) son dispositivos que se utilizan para producir una salida reactiva variable en diferentes configuraciones de circuitos mediante el uso de tiristores de alta potencia, capacitores y reactores. El SVG es un dispositivo autónomo que extrae corriente reactiva controlable de una fuente de alimentación alterna y tiene una entrada de control que puede ser una corriente reactiva, impedancia o señal de referencia de potencia que el SVG establecerá en su salida. El SVG se puede ver como un amplificador de potencia que reproduce fielmente la señal de referencia a un nivel de potencia deseado. Cuando se equipa con controles especiales externos que derivan la referencia necesaria para su entrada de los requisitos operativos y las variables predominantes del sistema de energía, se convierte en un Compensador Estático de Var (SVC). La estructura y el tipo de generador de VAr determinarán las características de operación básicas, mientras que las características externas controlarán las capacidades funcionales del compensador estático de VAr, como el control de voltaje, el control del factor de potencia y la amortiguación de las oscilaciones de potencia [4].

El SVG consiste en una colaboración entre sus componentes claves, presentando una solución avanzada para la gestión de potencia reactiva. El trabajo en conjunto reside en que el transformador de corriente externo actúa como un "ojo", detectando la corriente de carga. El cerebro del SVG, una Unidad de Procesamiento Digital de Señales (DSP), analiza y calcula el contenido de potencia reactiva. Luego entran en acción los transistores (IGBT) que cumplen la función como el "corazón" del SVG, generando la corriente de compensación para ajustar inductancia o capacitancia. Esta coordinación logra una compensación precisa de la potencia reactiva, asegurando un rendimiento óptimo en la red eléctrica [5].

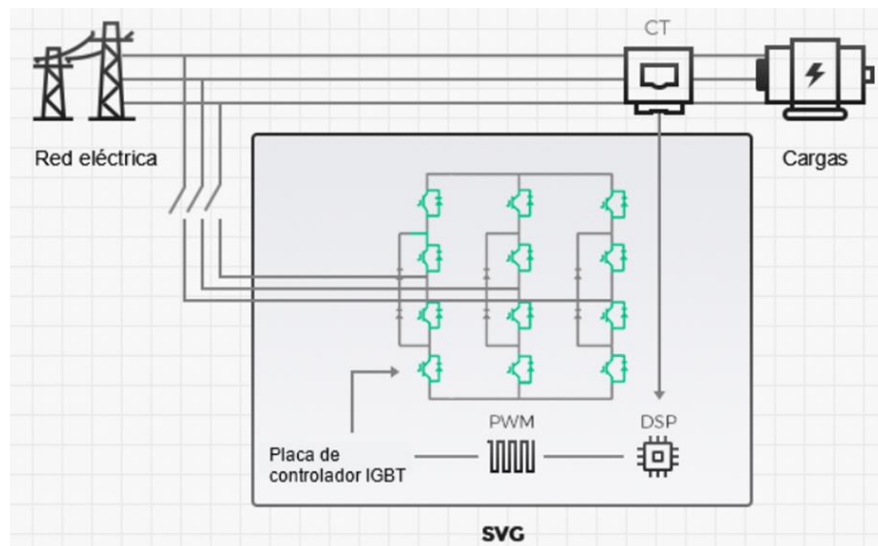


Fig. 1 Esquema de funcionamiento SVG

Nota. Fuente <https://en.sinexcel.com/sp/power/svg.php>

## MARCO REGULATORIO

### *CREG 015 de 2018*

En la resolución 015 del 2018, en el capítulo 12 llamado "Costos de transporte de energía reactiva", se establece que, si el transporte de energía reactiva excede el límite establecido durante 10 días o menos en cualquier horario, se aplicará un costo adicional determinado por un factor M que empezará en 1. Si el transporte de energía reactiva excede el límite durante más de 10 días en un mes calendario, el factor M se mantendrá en 1 durante los primeros 12 meses después de la entrada en vigor de la regulación. Después del primer año, el factor M aumentará mensualmente en una unidad hasta que alcance el valor de 12. Si la condición no se presenta durante seis meses consecutivos, la variable se reiniciará en 1 [6].

### *CREG 199 de 2019*

En la resolución 199 de 2019 se especifica que se modifican algunos aspectos de la Resolución CREG 015 de 2018, con fundamento en la causal de grave error en su cálculo, de conformidad con el artículo 126 de la Ley 142 de 1994, aspectos que pueden ser corregidos sin publicación previa del proyecto, dado que dicho procedimiento se cumplió con anterioridad; sin embargo, en este caso particular la Comisión consideró conveniente publicarlo para conocer todos los efectos e implicaciones que los ajustes y correcciones puedan tener [7].

---

#### IV. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se realizarán diferentes actividades las cuales estarán supervisadas por los asesores y diferentes personas que se encuentran involucradas en este.

Inicialmente se debe hacer una visita a la planta para realizar una contextualización del proceso, dentro de esta actividad será de vital importancia realizar un adecuado levantamiento y caracterización de las instalaciones presentes en la subestación.

Se deberá remitir a la normativa CREG y demás fuentes de información para realizar una correspondiente revisión bibliográfica con el fin de encontrar la información que logre explicar el cómo y por qué se efectúan las penalizaciones debido al consumo de potencia reactiva. Además, se deben revisar las fichas técnicas y manuales de uso del equipo a instalar para identificar la correcta forma de instalación.

Luego de esta visita se deberán concretar diferentes reuniones con asesores y el soporte técnico del distribuidor del equipo, para que por medio de estas reuniones se expongan y se aclaren las diferentes dudas que surjan respecto a la correcta instalación.

Se debe realizar mediciones previas, esta medición consiste en instalar el analizador de redes por un periodo de tiempo sustancial con el cual determinar un perfil de carga y verificar el estado en el que se encuentra trabajando la planta.

Se obtendrán los datos por medio de la medida con el analizador de redes y se contrastarán con los datos suministrados por el comercializador de energía (VATIA), y se documentarán los resultados obtenidos en la medición previa a la instalación. Además, se busca lograr identificar cuáles son las posibles causales de la penalización existente.

Teniendo todas las observaciones aclaradas, se procederá a hacer la lista de materiales, herramientas y personal necesario para ejecutar esta actividad de manera adecuada. Se procederá a realizar la instalación del SVG ya teniendo todo lo necesario para llevar a cabo esta labor.

Luego de la instalación se debe realizar de nuevo las mediciones por un periodo similar a las mediciones previas, para poder contrastar ambos perfiles y así lograr evidenciar la efectividad del SVG.

Finalmente, se deberá documentar los resultados obtenidos y el correspondiente análisis en el cual se evidencien los causales y soluciones halladas en todo el proceso.



## V. RESULTADOS

### *VISITA DE CONTEXTUALIZACIÓN*

Inicialmente se llevó a cabo una visita para conocer detalladamente el entorno de trabajo, las actividades necesarias y el material requerido para poder llevar a cabo dichas actividades. Durante esta visita se hizo un reconocimiento de la subestación eléctrica (Fig. 1). La subestación de interés posee una capacidad instalada de 2 MVA y está compuesta por dos transformadores trifásicos cada uno de 1 MVA.

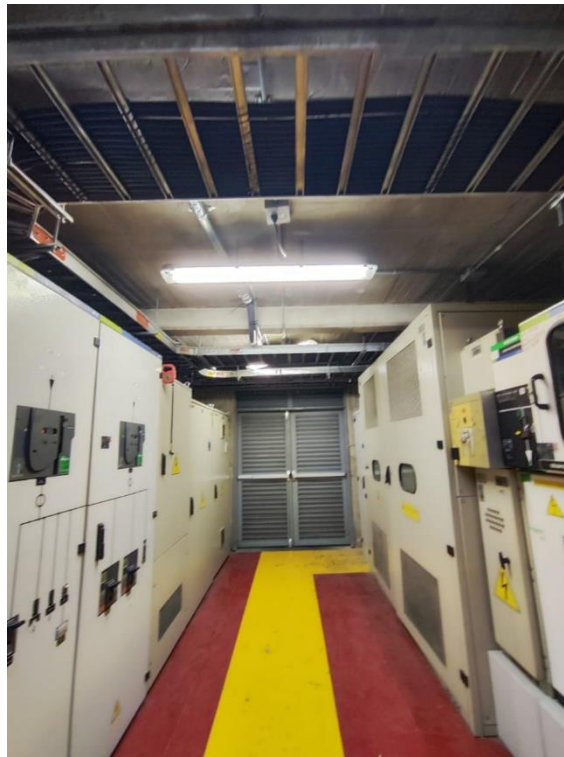


Fig. 2 Subestación 2MVA

Dentro de la subestación se examinaron los transformadores presentes en ella (Fig. 2), y se identificaron sus características a través de la placa de datos correspondiente (Fig. 3 y Fig. 4).



Fig. 3 Celda de Transformadores

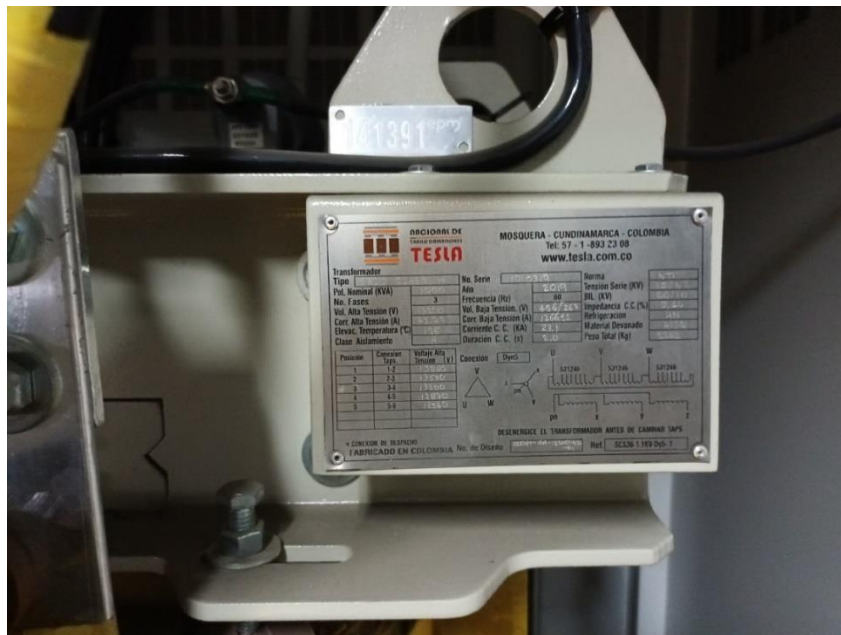


Fig. 4 Placa características transformador 1

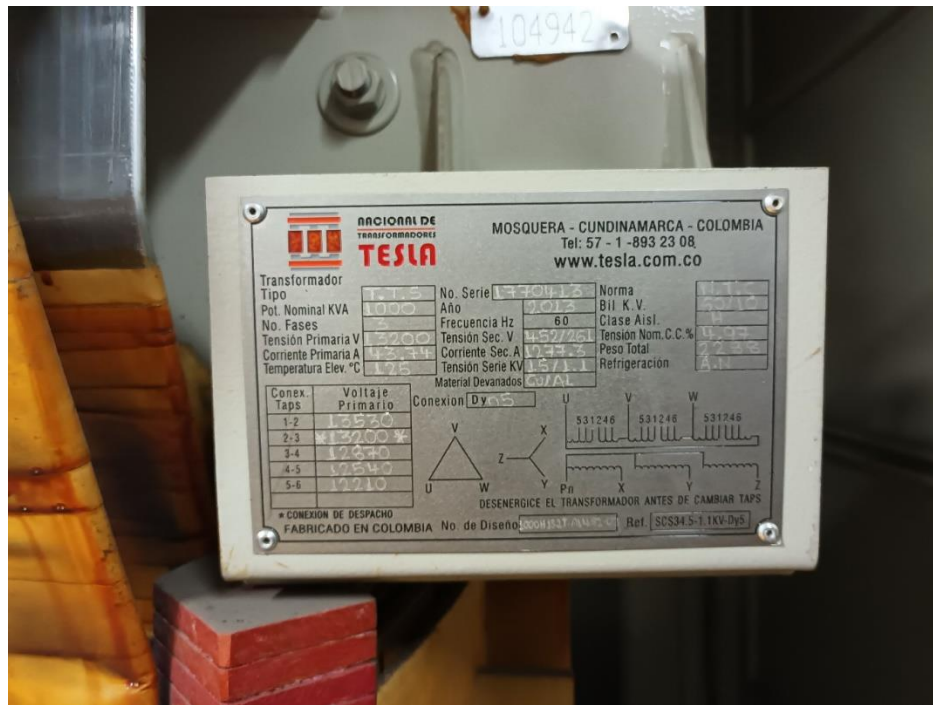


Fig. 5 Placa características transformador 2

También se llevó a cabo la inspección de los gabinetes de protecciones existentes, evaluando el espacio disponible y sus condiciones para la futura implementación del SVG (Fig. 5).



Fig. 6 Gabinete de protecciones

### *ENTREGA DE EQUIPOS A INSTALAR*

El proyecto consiste en la instalación de los equipos, SVG y transformadores de corriente (TC), suministrados por un proveedor de la empresa RTD S.A.S, por lo que se realizó la recepción de estos, además de las recomendaciones para la adecuada instalación.

### *STATIC VAR GENERATOR*

Durante la inspección, se verificaron las dimensiones del equipo (Fig. 6) y los tipos de entradas disponibles para garantizar una conexión adecuada (Fig. 7).



Fig. 7 Static Var Generator

Nota. Fuente <https://www.energy-xprt.com>

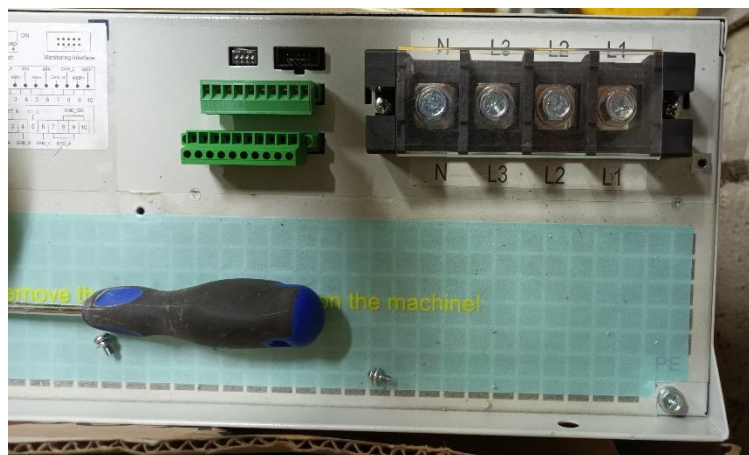


Fig. 8 Terminales de conexión SVG

### *TRANSFORMADORES DE CORRIENTE*

Se recibieron transformadores de corriente proporcionados por el proveedor, a los cuales se les realizó una inspección visual y caracterización. En esta inspección se logró observar que se trata de un transformador de núcleo partido o núcleo abierto (Fig. 8), que posee una relación de transformación de 1500/5 A y, además, la clase de precisión es de 0.5 (Fig. 9).



Fig. 9 Transformador de corriente



Fig. 10 Placa característica transformador de corriente

---

## *RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACIÓN DEL COMPENSADOR*

### *ENTORNO DE INSTALACIÓN:*

- El sistema está diseñado para instalarse en interiores.
- Mantenga la habitación limpia y bien ventilada.
- Evite mantener el sistema en interiores antes de la instalación.
- La ventilación interna permite el enfriamiento de aire inteligente; no bloquee las rejillas.

### *REQUISITOS MEDIOAMBIENTALES:*

- La temperatura ambiente para el SVG debe estar entre -10 °C y 40 °C; en caso de exceder este rango, se debe proporcionar un dispositivo radiante de calefacción adicional.
- Evite entornos con polvo espeso, polvo conductor, gas corrosivo, o explosivo.
- No coloque el SVG en ambientes con campo magnético fuerte, radiación nuclear o interferencia de radio frecuencia de alta potencia de otros dispositivos.
- La humedad ambiental debe ser inferior al 95%; no permita goteo, vapor ni agua condensada para evitar daños permanentes y riesgos para la seguridad.
- La altitud de instalación debe ser <1.500 m; si es mayor, utilice el dispositivo después de la reducción.
- Evite vibraciones drásticas, impactos violentos o grandes inclinaciones durante la instalación para prevenir fallas permanentes.

### *ESPACIO DE FUNCIONAMIENTO:*

- Durante la instalación, garantice suficiente espacio para facilitar el funcionamiento, permitir ventilación y radiación térmica.
- La distancia desde la pared no debe ser inferior a 500 mm, y desde el techo no debe ser inferior a 300 mm.
- El sistema solo se instala en concreto u otras superficies no inflamables.

*COMPLEMENTO A LAS RECOMENDACIONES DE INSTALACIÓN:*

- El breaker de maniobra al que se conecta el compensador debe ser de 100 A.
- Se requiere un cable calibre No 2 AWG soldado flexible.
- Los TC deben instalarse aguas abajo de la potencia del compensador, preferiblemente después del banco de condensadores si está activo; en ausencia de un banco de condensadores, los TC deben quedar aguas abajo del compensador.
- Un TC para cada fase, en el sentido de la corriente.
- Si el compensador se instala dentro de un tablero, asegúrese de que tenga una ventilación efectiva.

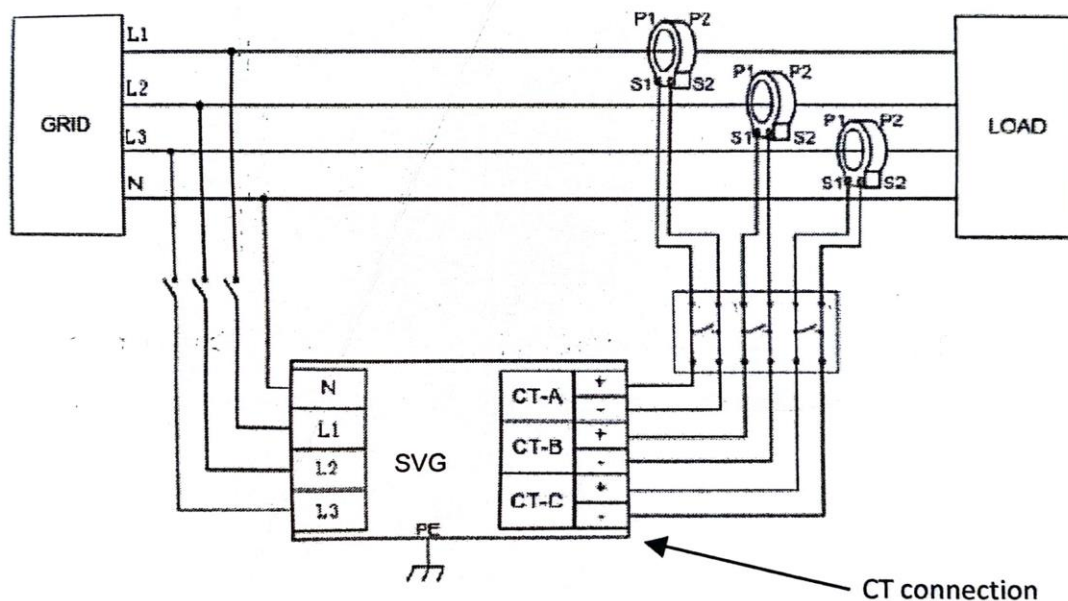


Fig. 11 Esquema de conexión del módulo SVG

*MEDICIÓN PREVIA DE VARIABLES ELÉCTRICAS EN LAS SUBESTACIÓN DE INTERÉS*

El siguiente paso fue crucial para obtener mediciones precisas de potencia. Se procedió con la instalación del analizador de redes, considerando la particularidad de tener dos transformadores en paralelo. Dado que no se contaba con un dispositivo de transferencia, fue necesario realizar dos medidas independientes, asignando un espacio de tiempo idéntico y cargas similares. Esta estrategia permitió evaluar el comportamiento de cada transformador y del sistema en su conjunto, asegurando una recopilación de datos exhaustiva y representativa.

Con esta medida se obtendrá el consumo de energía activa, energía reactiva y energía reactiva capacitiva. Además, por parte del comercializador de energía se logrará obtener los datos de energía penalizada y el factor de potencia.

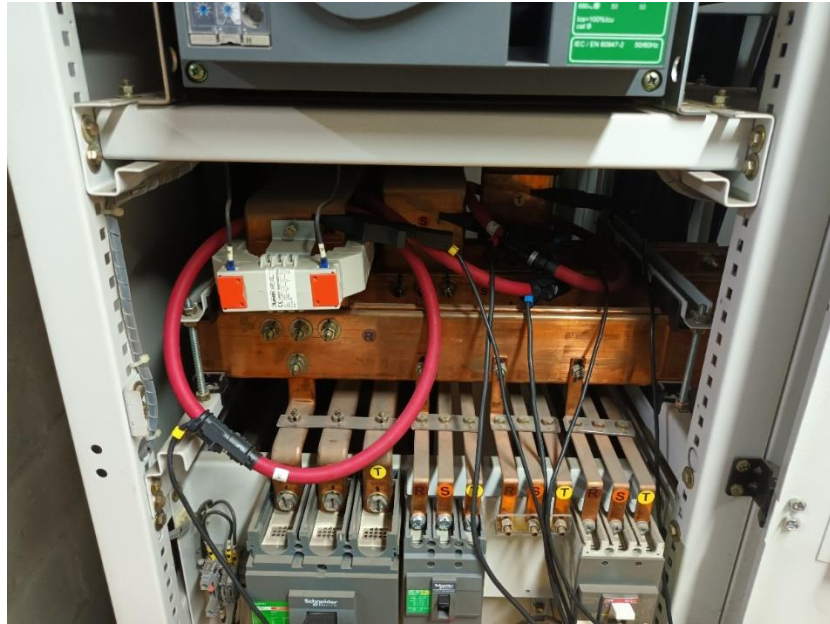


Fig. 12 Sensores de corriente



Fig. 13 Analizador de redes



Estas actividades preparatorias sientan las bases para la implementación eficiente del SVG, respaldadas por un análisis detallado de las condiciones previas y mediciones precisas de potencia.

Después de realizar la medida, se obtuvieron los siguientes resultados. Estos resultados consisten en el promedio de energía por hora de los días previos a la instalación del SVG.

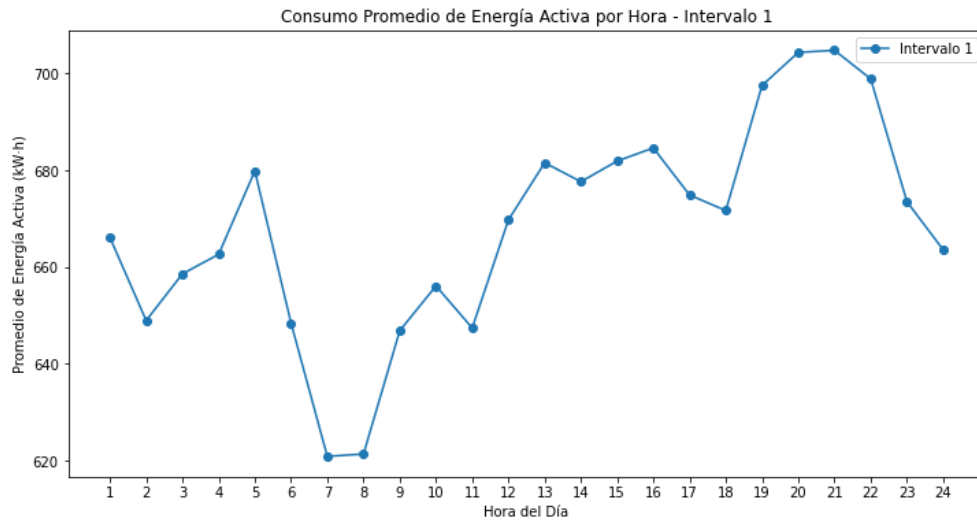


Fig. 14 Consumo promedio de energía activa por hora en el intervalo 1

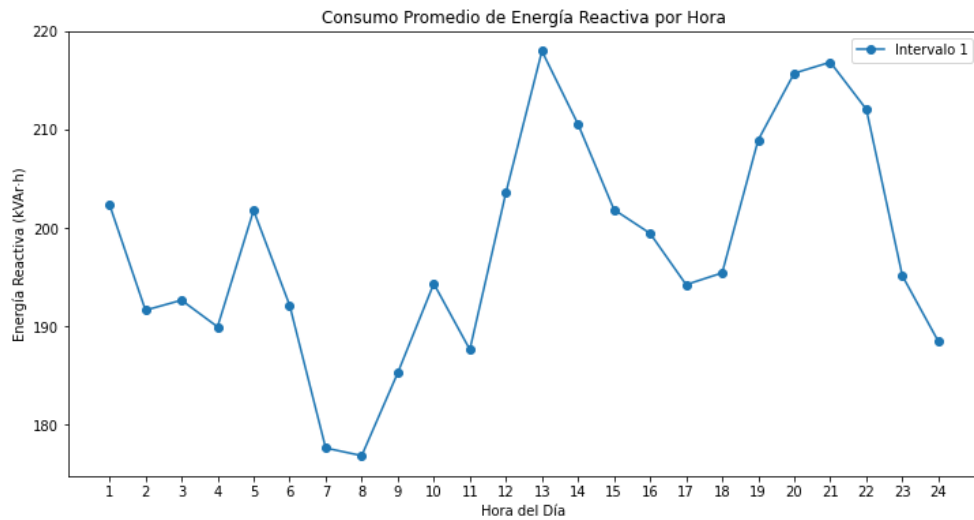


Fig. 15 Consumo promedio de energía reactiva por hora en el intervalo 1

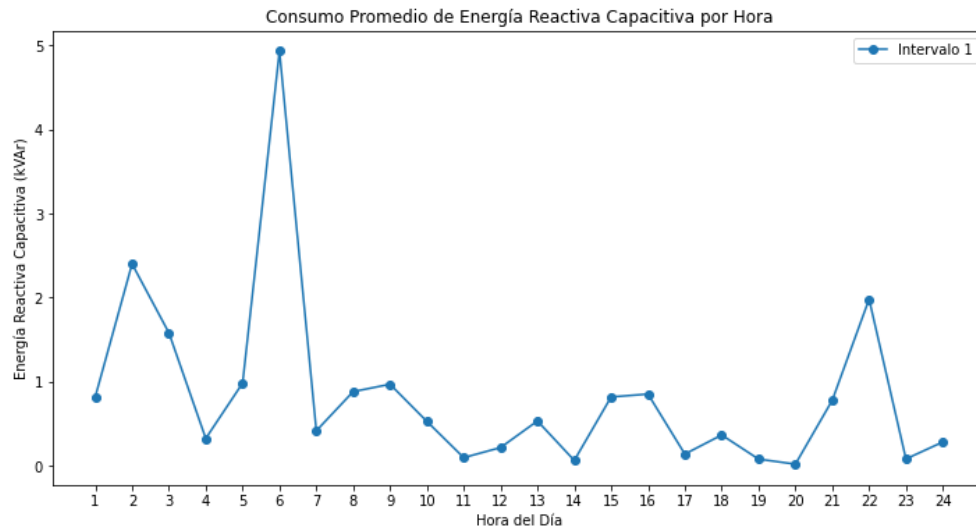


Fig. 16 Consumo promedio de energía reactiva capacitiva por hora en el intervalo 1

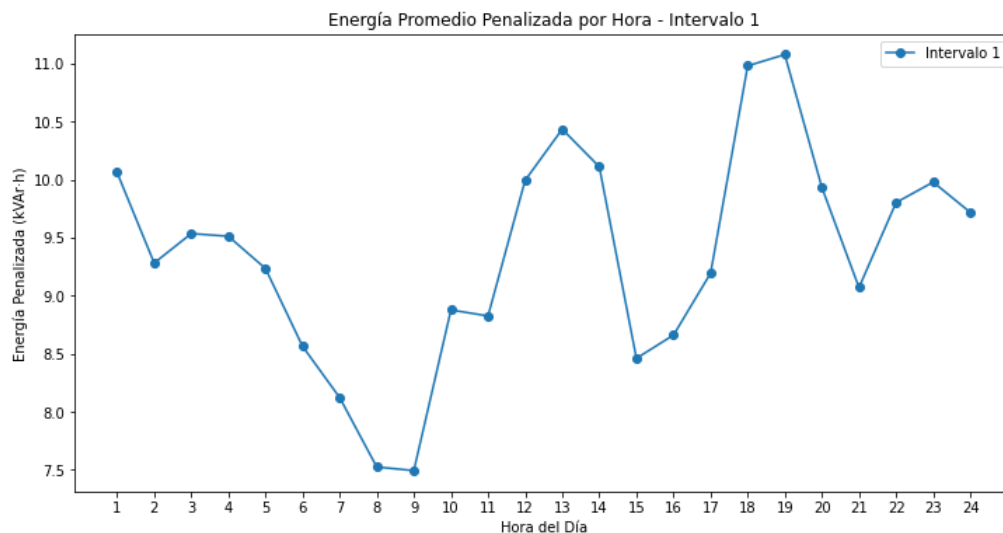


Fig. 17 Consumo promedio de energía penalizada por hora en el intervalo 1

La (Fig. 17) presenta el comportamiento del factor de potencia en la subestación eléctrica, donde se destacan los límites establecidos por la normativa colombiana. Esta normativa específica que el factor de potencia debe oscilar entre 0.9 y 1 para cumplir con los estándares. Se observa que, durante la mayor parte del tiempo de medición, el factor de potencia se encuentra al límite o fuera de este rango aceptado, subrayando la necesidad de corregir el factor de potencia de la instalación.

Es importante resaltar que el objetivo de la compensación a realizar por intereses particulares de la compañía será llevar el factor de potencia asociado a la instalación eléctrica de la subestación a un rango de [0.95 a 1] o valores lo más cercanos posible a este.

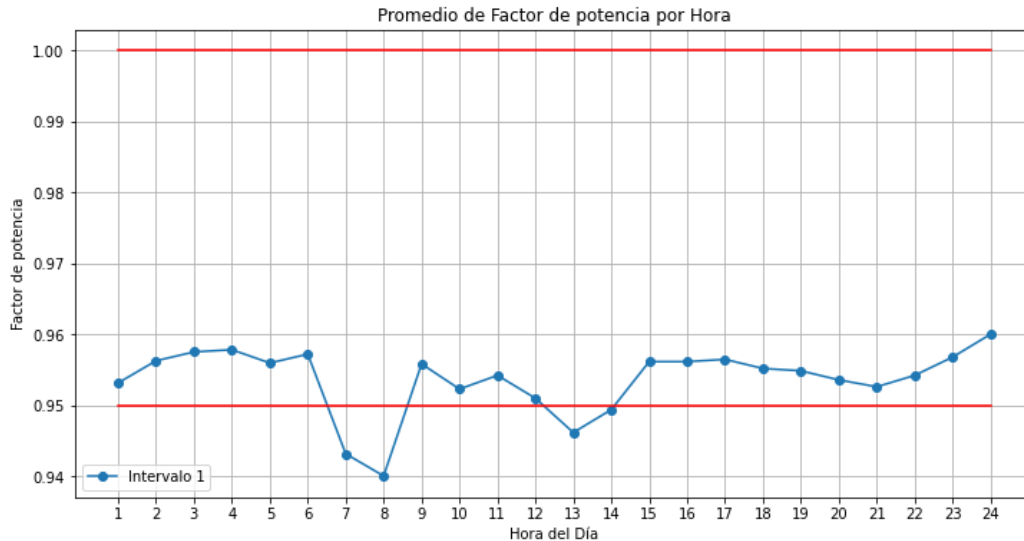


Fig. 18 Promedio de factor de potencia por hora en el intervalo 1

### *ELECCIÓN DE UBICACIÓN Y COMPONENTES*

Luego de analizar las recomendaciones para la instalación del SVG suministradas por el proveedor, se procedió a buscar e idear la mejor manera de implementación en la subestación de interés.

#### *UBICACIÓN DEL SVG*

Para cumplir con este requisito se evaluaron tres opciones: Fabricar un gabinete, instalar en una pared disponible dentro de la subestación y al exterior de la subestación. Dentro de la subestación existe un espacio disponible en el cual cumpliría la primera y segunda opción de manera adecuada, pero hablando con el cliente no fue posible seleccionar alguna de las dos opciones, debido a que próximamente ingresaría a la planta una nueva máquina la cual requerirá una celda de alimentación, se tuvo que evaluar junto al cliente cual era la mejor opción y cual requería mayor prioridad. Después de plantear las diferentes opciones se optó por asignarle ese espacio disponible a la nueva máquina, por lo tanto, la tercera opción fue la seleccionada. La parte externa de la subestación cuenta con un espacio adecuado para cumplir los requerimientos y no genera efectos negativos para todo lo que conlleva la instalación y correcto funcionamiento del SVG.

#### *UBICACIÓN DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE*

Según el esquema de conexión que requiere el SVG, se debe disponer de una posición donde se pueda medir toda la carga presente, la conexión de potencia y medida (TC) deben estar

aguas arriba del banco de capacitores presente en la subestación. Además, cada fase debe tener su medida de corriente.

La configuración presente en la subestación no es adecuada para la instalación de los tres transformadores debido a que al ser una subestación con dos transformadores en paralelo y la ubicación donde se encuentran los barrajes la medida no sería adecuada, ya que las cargas están distribuidas alrededor de los barrajes. Además, el espacio disponible en esos barrajes no es suficiente para la instalación de los transformadores.

Una vez solventada la problemática del espacio para el SVG, surgieron impedimentos que debían ser revisados de manera detallada, tales como: la cantidad de transformadores, relación de transformación, esquema de conexión de los transformadores y la ubicación de los transformadores.

Los anteriores impedimentos surgen a partir de que no se tienen unos barrajes aguas abajo del transformador donde se concentren las tres fases y toda la carga instalada, se optó por la opción de seis transformadores para obtener la medida de todas las fases. Al optar por esta opción se requirió también cambiar la relación de transformación de 1500/5 A con la cual venían los transformadores suministrados. Después de realizar una revisión en el mercado, se optó por el uso de transformadores con una relación de 3000/5 A.

Adicionalmente, para construir el nuevo esquema de conexión, se evaluaron diferentes opciones y maneras de conexión, se llegó a la conclusión de que el esquema donde la medida tendría el menor error posible sería con una conexión en serie entre las fases de ambos transformadores, como lo muestra la (Fig. 18).

Finalmente, la ubicación de los transformadores. Para este punto solo se tenía dos opciones, en los barrajes aguas arriba del barraje de cargas y en los bornes de baja de los transformadores. Como se puede apreciar en las (Fig. 19) y (Fig. 20), el espacio disponible en los barrajes aguas arriba no era suficiente para la instalación de los transformados, por lo que se tuvo que optar por la segunda opción, en bornes de secundario del transformador, ya que la celda contaba con el espacio suficiente.

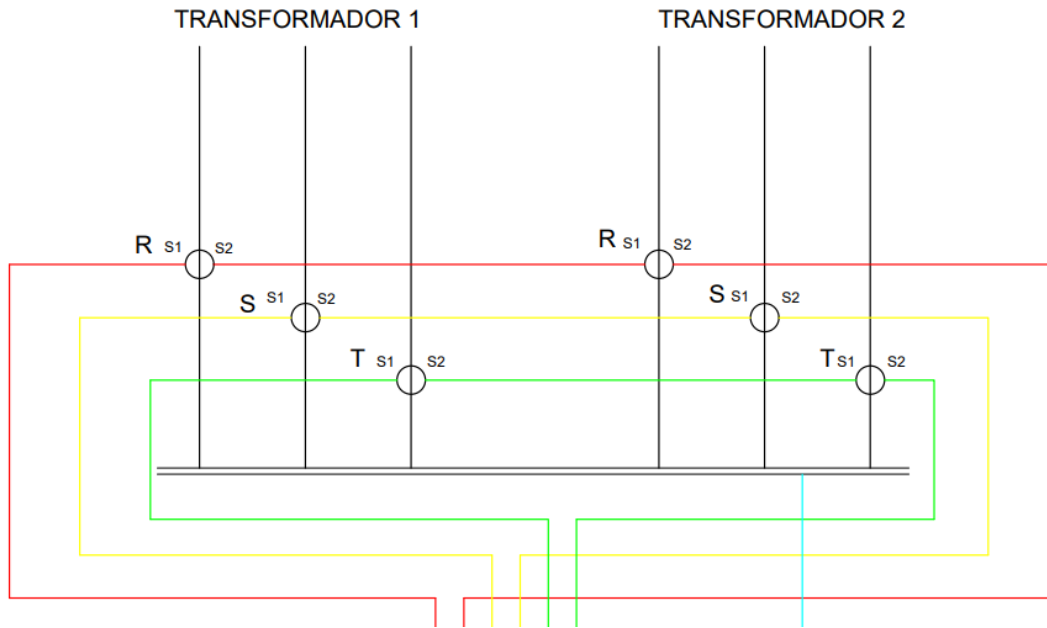


Fig. 19 Conexión transformadores de corriente

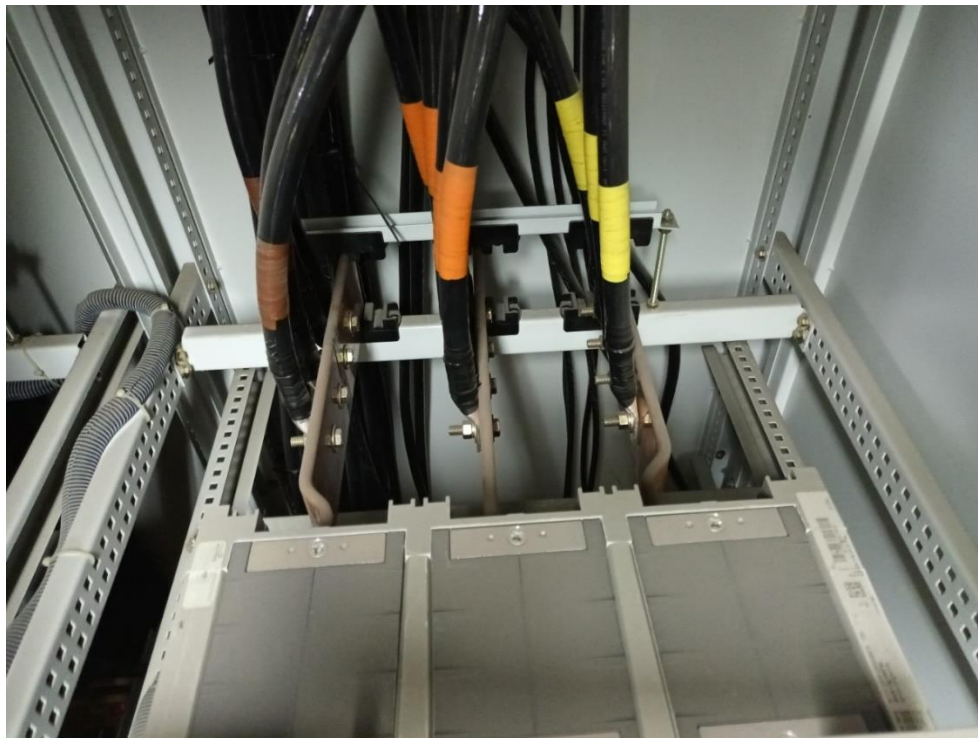


Fig. 20 Barrajes aguas arriba en gabinete de protecciones



Fig. 21 Barrajes aguas arriba en gabinete de protecciones

Algo que se evidencio y no se había especificado en las recomendaciones de instalación, fue el uso de un medio de desconexión para las señales de los TC, por lo que se debió adentrar en una búsqueda y consulta para definir cuál era el dispositivo adecuado para este tipo de uso. Después de la búsqueda, se encontró que ese medio de desconexión se debía realizar por medio de una bornera cortocircuitable (Fig. 21).

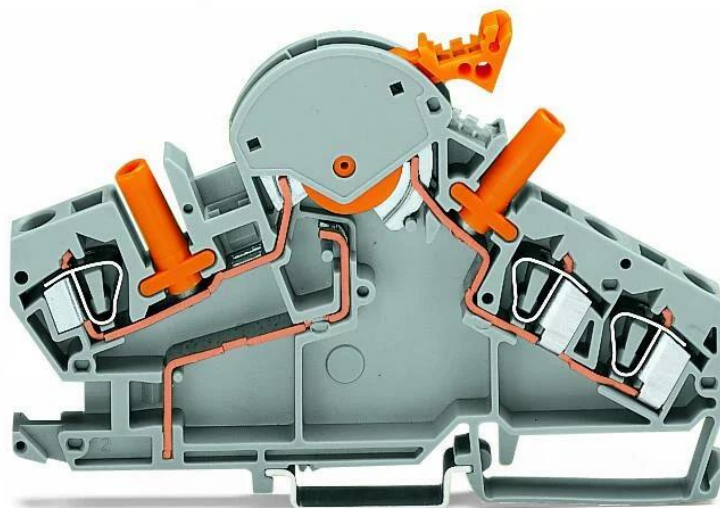


Fig. 22 Bornera cortocircuitable

Nota: Fuente <https://www.wago.com>

Finalmente, se logró definir este nuevo esquema de conexión y los elementos requeridos para la ejecución del mismo (Fig. 22).

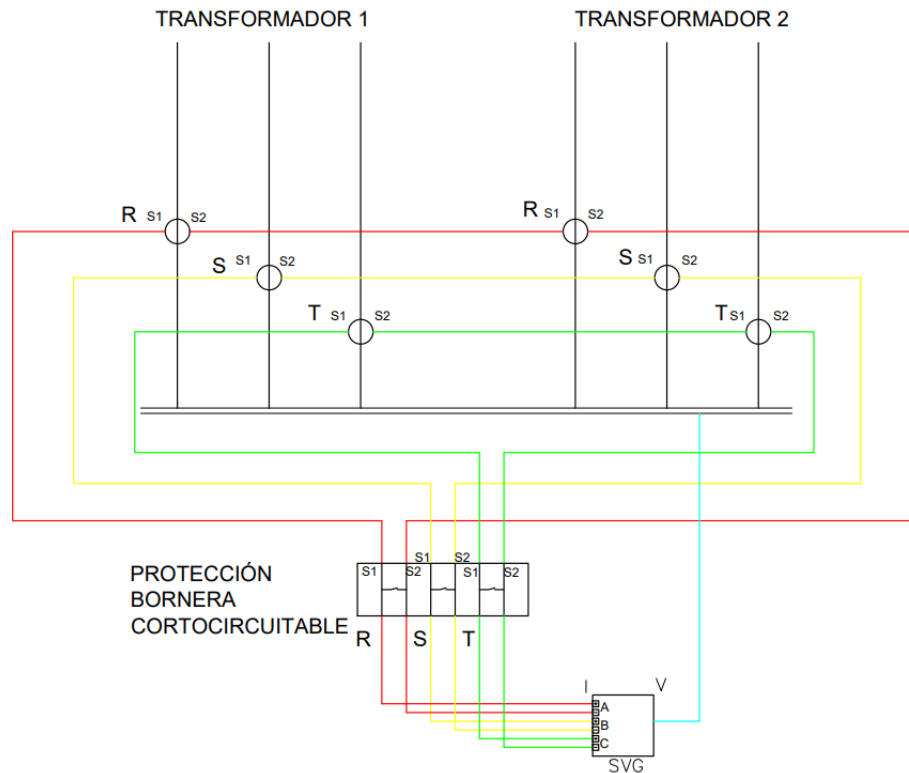


Fig. 23 Esquema de conexión del módulo SVG

### INSTALACION

Se definió el listado de materiales y componentes requeridos para llevar a cabo la implementación del SVG. Esta lista comprende los diferentes tipos de cableado requerido, la canalización necesaria, en este caso se usó tubería metálica y coraza, elementos de fijación y los componentes previamente especificados (transformadores de corriente, bornera cortocircuitable, protección de maniobra, etc).

Adicionalmente, se contó con un equipo de trabajo técnico al cual se le proporcionó una explicación detallada del proceso de instalación para que no se presentaran percances. También se llevó a cabo un acompañamiento a los técnicos donde se hacía una verificación, para que el proceso de instalación se ejecutará como se tenía planeado.

La instalación consistió inicialmente en realizar el montaje del SVG en el espacio elegido, teniendo en cuenta todas las recomendaciones solicitadas. En este caso el SVG se instaló en la pared adyacente a la subestación. Luego, se procedió a instalar toda la canalización necesaria, una

canalización para el cableado de potencia y otra canalización para el cableado de señal. Posteriormente se procedió a llevar el cableado de potencia y señal, desde los barrajes donde se iba a inyectar y desde el punto donde se iba a tomar la media, hasta la ubicación del SVG.

Por último, se instaló la protección de 100 A la cual estaba conectada a los barrajes donde llegaban todas las cargas del sistema y los TC que iban a rodear los alimentadores salientes de los bornes de los transformadores.

### *MEDICIÓN POSTERIOR DE VARIABLES ELÉCTRICAS EN LA SUBESTACIÓN DE INTERÉS*

Luego de haber realizado la instalación y la entrada en servicio del SVG, se procedió nuevamente a la instalación del analizador de redes para obtener las medidas de las variables de interés y realizar una evaluación del funcionamiento del SVG.

Después de tener la medición en tiempo y carga similar a la medida previa, se obtuvieron los siguientes resultados de las diferentes variables.

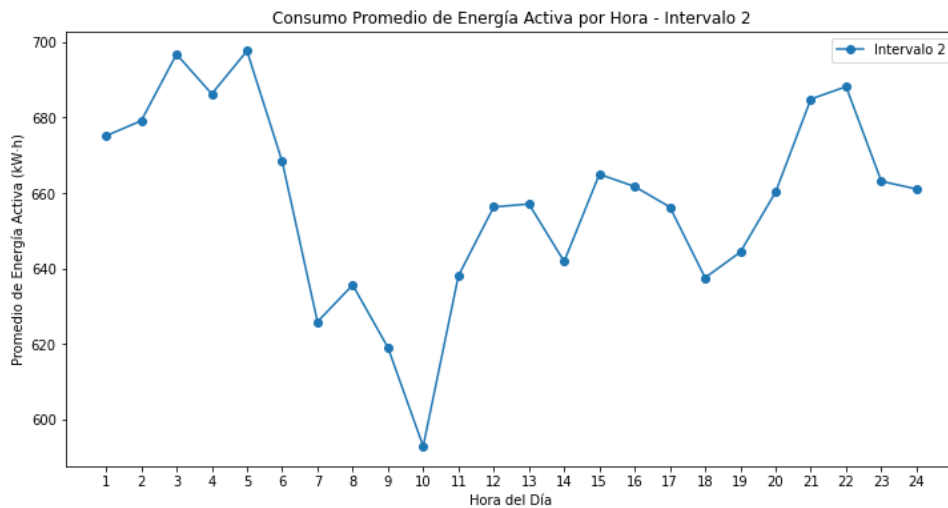


Fig. 24 Consumo promedio de energía activa por hora en el intervalo 2



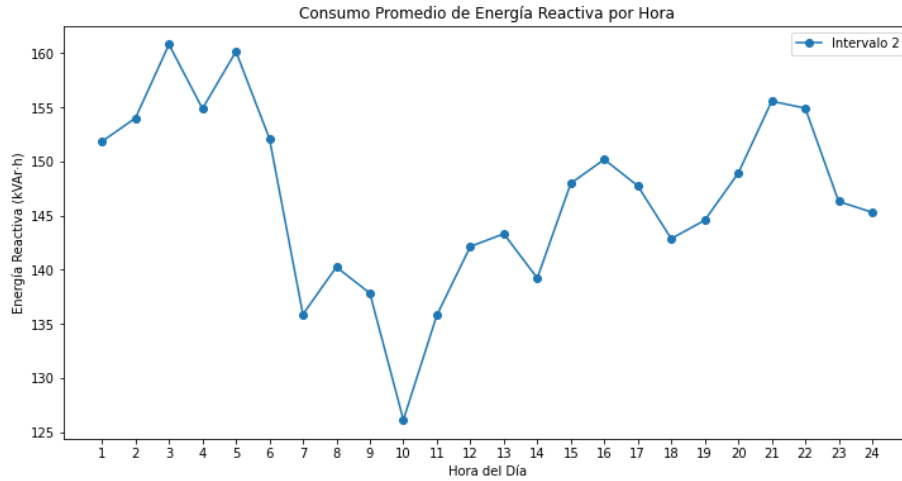


Fig. 25 Consumo promedio de energía reactiva por hora en el intervalo 2

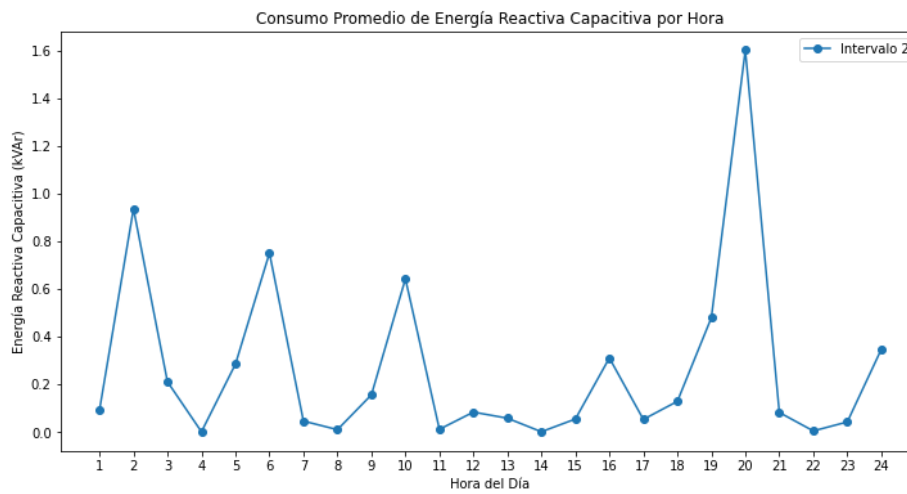


Fig. 26 Consumo promedio de energía reactiva capacitiva por hora en el intervalo 2

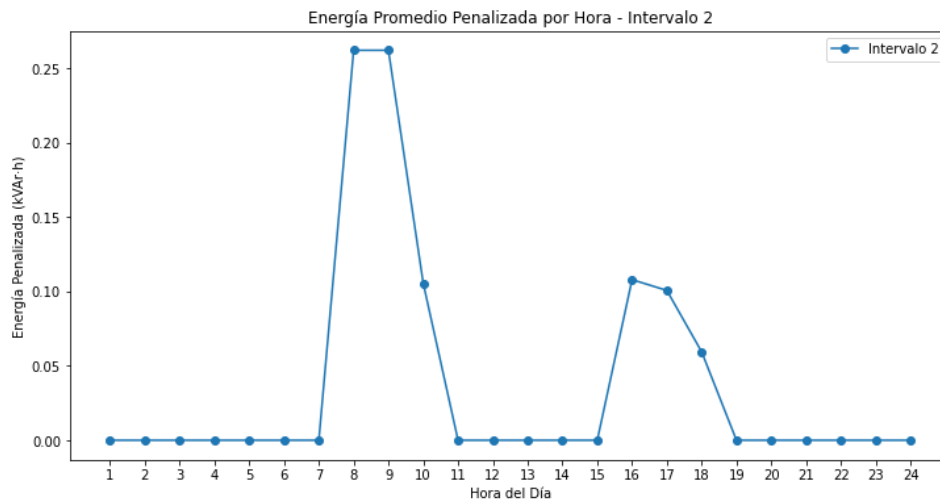


Fig. 27 Consumo promedio de energía penalizada en el intervalo 2

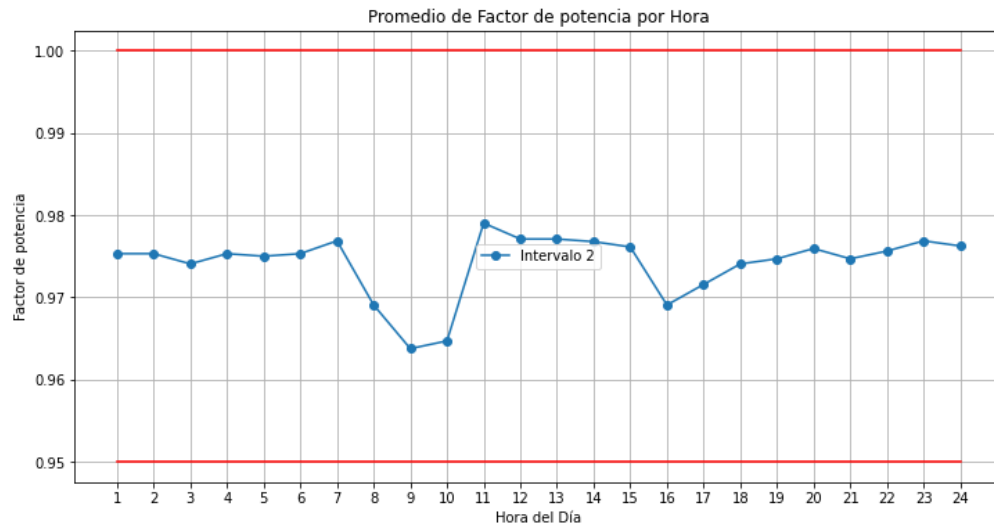


Fig. 28 Promedio de factor de potencia por hora en el intervalo 2

## IX. ANALISIS DE RESULTADOS

Con las medidas de las variables eléctricas obtenidas luego de la puesta en funcionamiento del SVG, se realizó la comparación de todos los parámetros para así poder realizar una evaluación y determinar si la instalación del compensador fue exitosa o no.

En la (Fig. 28), se observa las curvas de consumo de energía activa en los dos intervalos medidos, se puede evidenciar que la carga fue similar en ambos intervalos de tiempo por lo que el análisis de las demás variables será válido.

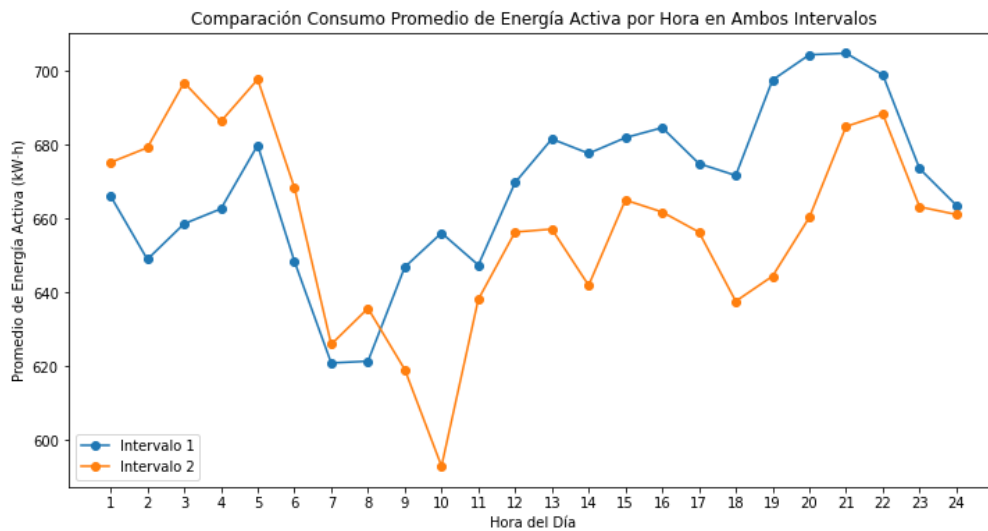


Fig. 29 Comparación consumo promedio de energía activa en ambos intervalos

Según la (Fig. 29). El promedio de consumo de energía reactiva en el intervalo posterior a la instalación del compensador disminuyó de gran manera. Se obtuvo una disminución promedio del 25.79% respecto al intervalo previo a la puesta en funcionamiento del SVG.

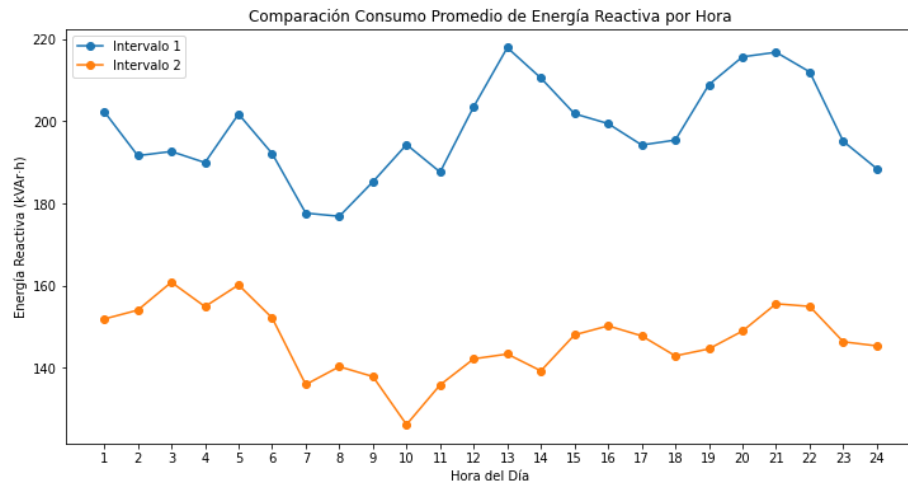


Fig. 30 Comparación consumo promedio de energía reactiva en ambos intervalos

En las (Fig. 30) y (Fig. 31), se evidencia de igual manera que la energía reactiva, una reducción de la energía reactiva capacitiva posterior a la puesta en marcha del SVG. Esa disminución se encuentra alrededor del 68.13%.

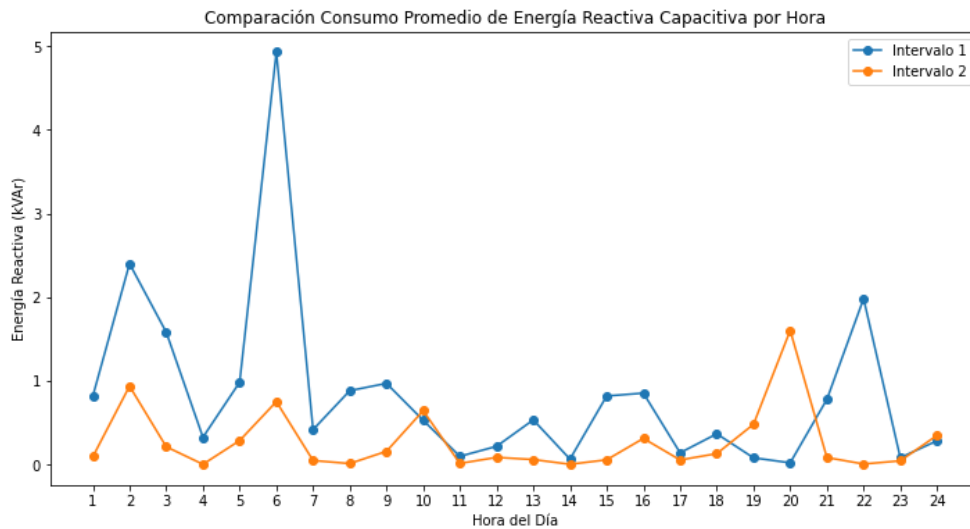


Fig. 31 Comparación consumo promedio de energía reactiva capacitiva en ambos intervalos

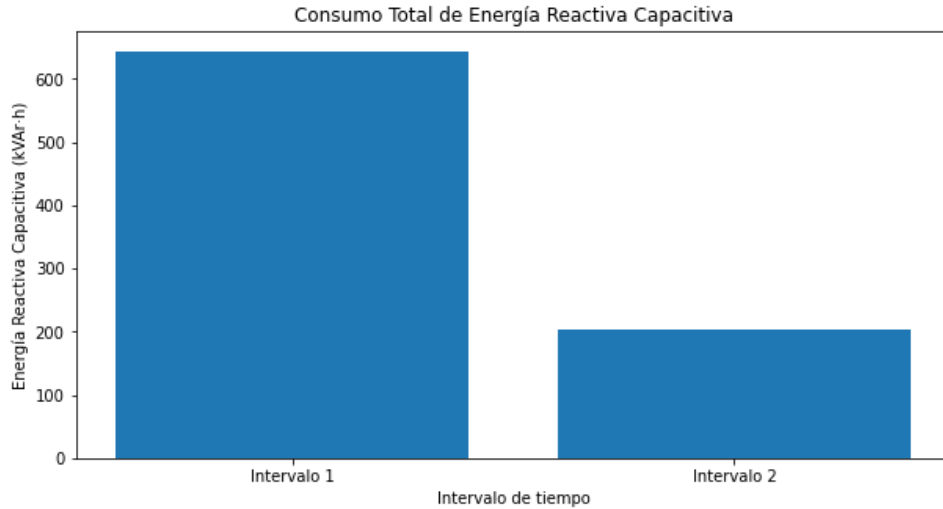


Fig. 32 Comparación del consumo total de energía reactiva capacitiva en ambos intervalos

En sintonía a los parámetros revisados previamente, la energía penalizada por el operador de red presento una considerable reducción luego de la instalación del SVG como se puede constatar en las (Fig. 32) y (Fig. 33). La energía total penalizada presento una disminución del 98.83%, lo cual demuestra que la instalación del SVG fue un acierto.

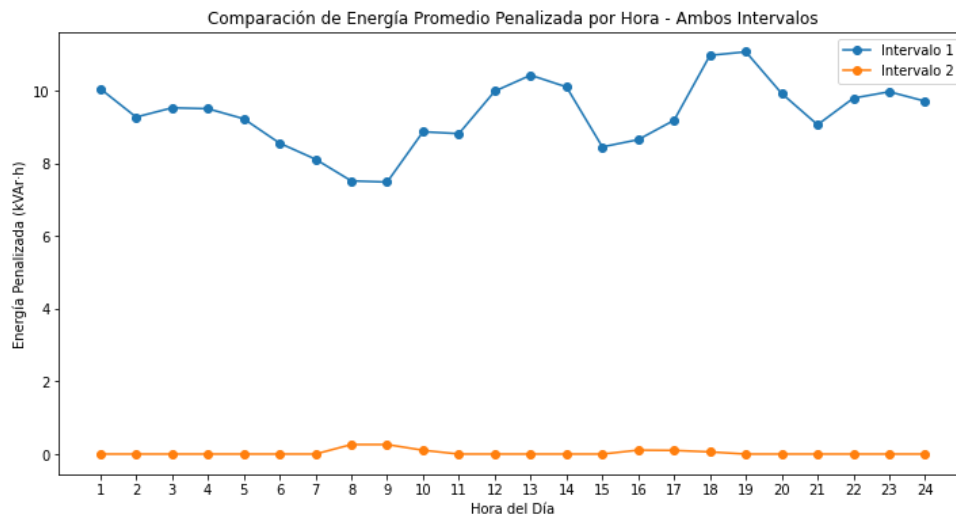


Fig. 33 Comparación de energía penalizada en ambos intervalos

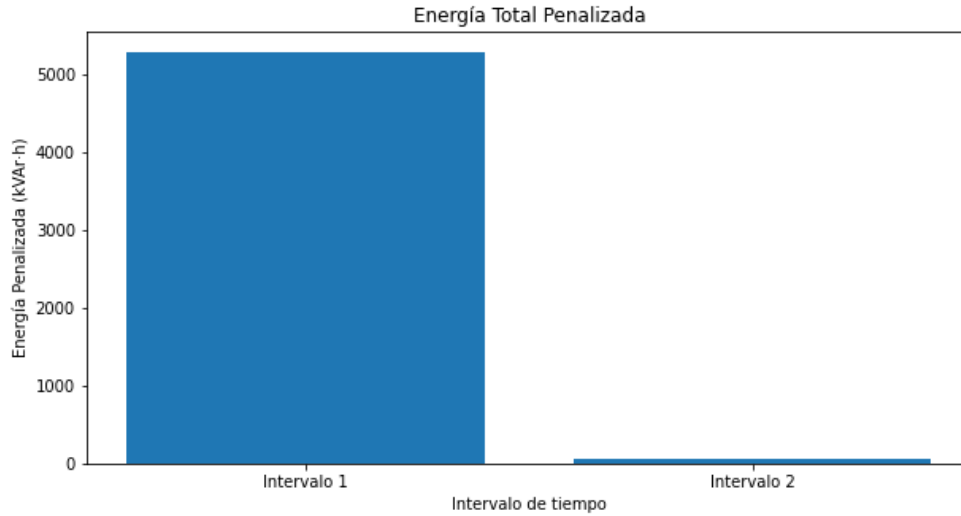


Fig. 34 Comparativo de energía total penalizada

Finalmente, el ultimo parámetro con el cual se evaluó la puesta en servicio del SVG es el factor de potencia. En la (Fig. 34), se puede evidenciar que se presentó corrección en el factor potencia respecto al factor de corrección inicial. Este parámetro es de vital importancia ya que tener un buen factor de corrección genera grandes beneficios, como lo es la reducción de perdidas eléctricas en los conductores por el efecto Joule y perdidas por caída tensión, las cuales repercuten en la facturación de energía y además evitan penalizaciones.

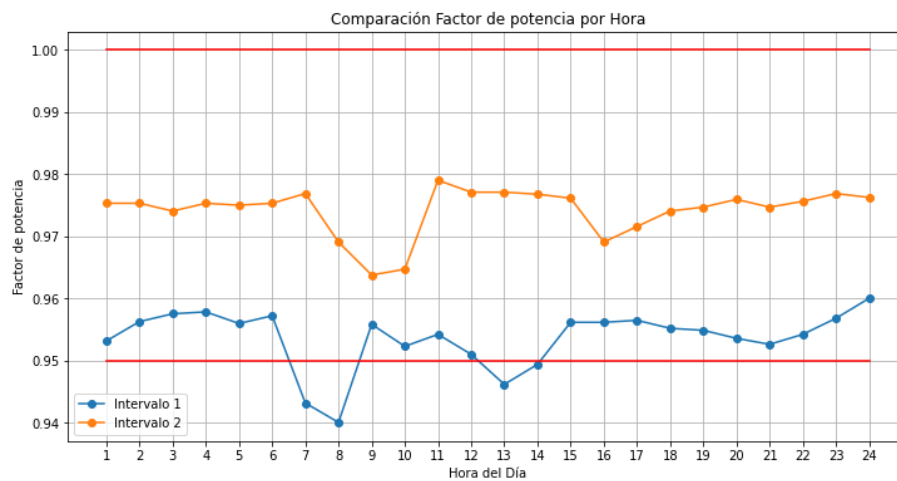


Fig. 35 Comparativo factor de potencia en ambos intervalos

---

## X. CONCLUSIONES

Desde un enfoque técnico, se argumenta que una instalación eléctrica bien dimensionada puede funcionar normalmente con un bajo factor de potencia. Sin embargo, esta perspectiva plantea una sobrecarga en las redes eléctricas, generando pérdidas económicas considerables y llevando a sanciones en caso de exceder los límites de factor de potencia establecidos, como en el caso de Colombia (0.9 a 1) inductivo. En este caso, la empresa RTD S.A.S, que opera en el sector industrial con cargas inductivas, reconoce la necesidad de compensar la energía reactiva para evitar penalizaciones según las normativas de la CREG 015 de 2018 y CREG 199 de 2019.

La fase de análisis técnico detallado, que incluyó la revisión de normativas, la selección cuidadosa de equipos y la planificación de la instalación, resultó fundamental para el éxito del proyecto. Un enfoque meticuloso en cada etapa contribuyó a la efectividad y eficiencia del proyecto.

Después de la instalación del SVG, se observó una reducción significativa en el consumo de energía reactiva y, por ende, en las penalizaciones asociadas, como se evidencia en los resultados de las mediciones posteriores en comparación con las mediciones previas. Además, contribuyó a mejorar el factor de potencia, lo que indica una mayor eficiencia energética en las operaciones de la empresa. Esta mejora tiene implicaciones directas en la reducción de pérdidas eléctricas y en la optimización del consumo de energía.

La comparación entre las mediciones previas y posteriores demuestra la efectividad del SVG como solución tecnológica para la compensación de energía reactiva, destacando su capacidad para reducir significativamente los costos asociados a penalizaciones por consumo de energía reactiva.

## REFERENCIAS

- [1] J.M. Higuera. “Elaboración de una aplicación para la selección de componentes eléctricos para la conformación de un banco de condensadores automático para la corrección del factor de potencia para la empresa DISPROEL S.A”. Informe final pasantía. 2019. Disponible en: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/16335/1/HigueraCardenasJuanManuel2019.pdf>.
- [2] J.Flechas. “Repasando algunas recomendaciones para la selección de condensadores en baja tensión”. Boletín informativo electrónicos. Línea Productiva – ISAGEN. Quinta entrega. 2019. Disponible en: <https://docplayer.es/68675579-Recomendaciones-para-seleccion-de-condensadores-en-baja-tension-jairo-flechas-villamil-genelec-de-colombia-s-a-s.html>
- [3] D. Restrepo Osorio, "DIMENSIONAMIENTO DE BANCOS DE CAPACITORES AUTOMÁTICOS PARA LAS SUBESTACIONES ELÉCTRICAS 14,15 y 16 DE LA EMPRESA COMPAÑÍA DE EMPAQUES S.A.", Trabajo de grado, Universidad de Antioquia, Medellín, 2020.
- [4] N. G. Hingorani y L. Gyugyi, Understanding FACTS. IEEE, 1999. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1109/9780470546802>
- [5] “CALIDAD DE ENERGÍA - Sinexcel”. Sinexcel. Accedido el 13 de enero de 2024. [En línea]. Disponible: <https://en.sinexcel.com/sp/power/svg.php>
- [6] CREG - Comisión de Regulación de Energía y Gas. Resolución 015 de 2018. Disponible en: [http://apolo.creg.gov.co/publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/65f1aaf1d57726a90525822900064dac/\\$file/creg015-2018.pdf](http://apolo.creg.gov.co/publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/65f1aaf1d57726a90525822900064dac/$file/creg015-2018.pdf)
- [7] CREG - Comisión de Regulación de Energía y Gas. Resolución 199 de 2019. Disponible en: [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/8e8bebd0bc9a25fd052584e1006a1f91/\\$FILE/Creg199-2019.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/8e8bebd0bc9a25fd052584e1006a1f91/$FILE/Creg199-2019.pdf)