

Planteamiento de alternativas de reducción de los consumos de energía reactiva en fronteras
auxiliares de Emgesa

Gabriel Andrés García Quintero

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electricista

Director:

Edison Andrés Soto Ríos

Doctor en Ingeniería

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de telecomunicaciones

Bucaramanga

2022

Agradecimientos

Al llegar al final del camino y observar los resultados obtenidos solo queda una palabra por decir: ¡Gracias!.

A mi madre Cristina Quintero por esas palabras que me diste cuando iniciaba la carrera “no importa las veces que tengamos que intentarlo si es lo que quieres lo haremos”, las cuales quedaron marcadas en mi memoria y fueron mi inspiración en los momentos que más lo necesitaba.

A mi padre Luciano García por enseñarme el carácter y la determinación, por enseñarme que ningún esfuerzo es en vano todo tiene su resultado, por enseñarme a jamás rendirme sin dar lo mejor de mí.

A mis hermanos Cesar, Claudia y José, por estar conmigo en todo el camino que e recorrido para llegar hasta este momento, siendo para mi un ejemplo a seguir, haciéndome crecer con la determinación por el estudio de Beto, con la bondad de Claudia y las enseñanzas de José, sin darse cuenta dieron las mejores partes de ustedes para ser de mí una mejor persona.

A mi amiga Silvia Cuevas con la que recorrí toda mi vida universitaria convirtiéndose en mas que una amiga una hermana.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Objetivos	13
1.1 Objetivo General	13
1.2 Objetivos específicos	13
2. Marco Regulatorio	14
3. Metodología	15
3.1 Recopilación de datos históricos	15
3.2 Panorama general frente a la regulación	16
3.2.1 Cálculo de la energía reactiva excedente	17
3.2.2 Cálculo de días por mes penalizados	17
3.2.3 Cálculo del Factor M	17
3.2.4 Priorización de fronteras auxiliares	18
3.3 Caracterización del consumo de energía	20
3.3.1 Consumo promedio	20
3.3.2 Factor de potencia	21
3.3.3 Porcentaje de incidencia	21
3.4 Identificación de las fronteras auxiliares con problemas de medida	22
4. Resultados	22
4.1 Análisis estadístico frente a la regulación	22

4.1.1 Identificación de las fronteras auxiliares	23
4.1.2 Análisis estadístico de las fronteras auxiliares.....	23
4.2 Caracterización de los consumos de energía de las fronteras auxiliares	24
4.2.1 Fronteras auxiliares prioridad 1	26
4.2.1.1 Caracterización de la frontera auxiliar Termozipa.....	26
4.2.1.2 Caracterización de la frontera auxiliar Muña.....	32
4.2.1.3 Caracterización de la frontera auxiliar Guavio.	35
4.2.2 Fronteras auxiliares prioridad 2	36
4.2.2.1 Caracterización de la frontera auxiliar Paraiso.	36
4.2.2.2 Caracterización de la frontera auxiliar Guaca.....	37
4.2.2.3 Caracterización de la frontera auxiliar Salto II.	38
4.2.2.4 Caracterización de la frontera auxiliar Darío Valencia.....	39
4.2.2.5 Caracterización de la frontera auxiliar Tequendama.	40
4.2.2.6 Caracterización de la frontera auxiliar Charquito y Limonar.	41
5. Oportunidades de mejora	43
5.1 Identificación de oportunidades de mejora.....	43
5.2.1 Acciones correctivas	43
5.2.1.1 Frontera auxiliar Paraiso.	43
5.2.1.2 Frontera auxiliar Guavio.	44
5.2.1.3 Frontera auxiliar Charquito y Limonar.	44
5.2.2 Acciones operativas	44
5.2.2.1 Frontera auxiliar Muña.	45
5.2.2.2 Frontera auxiliar Termozipa.	45

6. Conclusiones	47
Referencias Bibliográficas	48

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Cuadrantes de consumo de energía (tomado del diagrama de consumo PME)	16
Figura 2. Fronteras con mayor costo económico nivel de tensión 3.....	25
Figura 3. Fronteras con mayor costo económico nivel de tensión 4.....	25
Figura 4. Diagrama unifilar de las fronteras auxiliares Termozipa (tomada de Enel).....	27
Figura 5. Diagrama unifilar bombas Muña (tomada de Enel)	33
Figura 6. Diagrama unifilar de las fronteras auxiliares Guavio (Tomada de Enel).....	35
Figura 7. Grafica de consumos superiores al valor nominal frontera auxiliar Paraiso	37
Figura 8. Grafica de consumo de energía de la frontera auxiliar Charquito.....	41
Figura 9. Grafica de consumo de energía de la frontera auxiliar Limonar	42
Figura 10. Proyección de aumento del factor M con rotación de fronteras 2022-2025.....	46

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Parámetros del costo de transporte de energía reactiva	14
Tabla 2. Tabla dinámica días penalizados por mes.....	18
Tabla 3. Niveles de tensión (tomada de la CREG 097)	19
Tabla 4. Tarifa del costo de transporte de energía reactiva promedio (tomado de las facturas enviadas por Codensa)	19
Tabla 5. Códigos y nombres fronteras auxiliares.....	23
Tabla 6. Cantidad de meses penalizadas las fronteras auxiliares 2020-2021	24
Tabla 7. Priorización de fronteras	26
Tabla 8. Caracterización de consumo de energía promedio sin generación.	28
Tabla 9. Caracterización de consumo de energía promedio con una unidad de generación.	28
Tabla 10. Caracterización de consumo de energía promedio con dos unidades de generación. .	29
Tabla 11. Caracterización de consumo de energía promedio con tres unidades de generación. .	30
Tabla 12. Caracterización de consumo de energía promedio con cuatro unidades de generación.	31
Tabla 13. Caracterización de consumo de energía promedio sin encender las bombas	33
Tabla 14. Caracterización de consumo de energía promedio encendiendo bombas con banco de condensadores	34
Tabla 15. Caracterización de consumo de energía promedio encendiendo bombas sin banco de condensadores	34

Tabla 16. Caracterización de la frontera auxiliar Guavio	36
Tabla 17. Caracterización de la frontera auxiliar Guaca.....	37
Tabla 18. Caracterización de la frontera auxiliar Salto II.....	38
Tabla 19. Caracterización de la frontera auxiliar Darío Valencia	39
Tabla 20. Caracterización de la frontera auxiliar Tequendama	40

Resumen

Título: Planteamiento de alternativas de reducción de los consumos de energía reactiva en fronteras auxiliares de Emgesa.*

Autor: Gabriel Andrés García Quintero.**

Palabras Clave: Energía, Frontera, Penalizar.

Descripción:

Por medio de resoluciones publicadas por la CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas) como lo son la CREG 015 del 2018 y sus modificaciones (CREG 199 del 2019 y CREG 195 del 2020) se establece la metodología de penalización del costo de transporte de energía reactiva (CTER). Por medio de una ecuación costos la cual depende de tres parámetros: cantidad de energía reactiva transportada en exceso (ER), cargo por uso de sistema de distribución para el transporte de energía reactiva (D) y Factor M el cual multiplica la ecuación de costo de transporte de energía reactiva, incrementando en una unidad por mes facturado (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2018).

Debido a estas resoluciones se realizará una recopilación de datos históricos de consumos de energía activa y reactiva de las fronteras auxiliares y se confrontarán conforme a la CREG 015/2018, para establecer la energía reactiva excedente y el número de meses facturados por frontera de auxiliares.

Por lo cual se propondrá alternativas de reducción de energía reactiva excedente y frenar el aumento del factor M, para de esta manera disminuir el impacto de esta nueva resolución en el cobro de energía no activa.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de telecomunicaciones
Director: Edison Andrés Soto Ríos Doctor en Ingeniería

Abstract

Título: Approach of alternatives to reduce reactive energy consumption in auxiliary borders of Emgesa*.

Author: Gabriel Andrés García Quintero**

Key Words: Energy, Border, Penalize.

Description:

Through resolutions published by the CREG (Energy and Gas Regulation Commission) such as CREG 015 of 2018 and its modifications (CREG 199 of 2019 and CREG 195 of 2020), the methodology for penalizing the cost of transporting gas is established. reactive energy (CTER). By means of a cost equation which depends on three parameters: amount of reactive energy transported in excess (ER), charge for use of the distribution system for the transport of reactive energy (D) and Factor M which multiplies the cost equation of reactive energy transport, increasing by one unit per billed month (Energy and Gas Regulation Commission, 2018).

Due to these resolutions, a collection of historical data on active and reactive energy consumption of the auxiliary borders will be carried out and they will be compared in accordance with CREG 015/2018, to establish the surplus reactive energy and the number of months billed by auxiliary border.

Therefore, alternatives will be proposed to reduce excess reactive energy and stop the increase in the M factor, in order to reduce the impact of this new resolution on the collection of non-active energy.

* Project of Grade

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de telecomunicaciones
Director: Edison Andrés Soto Ríos Doctor en Ingeniería

Introducción

La CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas) con el objetivo de tener una mejora en la calidad de la energía propone resoluciones como la CREG 015 del 2018 en la cual se encuentra inmersa en el capítulo 12, la nueva metodología de penalización del costo de transporte de energía reactiva (CTER) tendrá fuertes penalizaciones económicas para aquellos usuarios que tengan un consumo excesivo de esta energía, debido a que el exceso de energía reactiva trae consigo problemas de pérdida de potencia útil como también de su rendimiento, bajo factor de potencia, caídas de tensión, calentamiento en los conductores y perturbación en la red eléctrica. La empresa ENEL al contar con 17 puntos de consumo de energía externo (fronteras auxiliares) de las diferentes centrales de generación corre el riesgo de aumentar sus pérdidas económicas por el consumo en exceso de energía reactiva, esto se debe a que en el año 2021 se pagó una suma de 1.300 millones de pesos por coste de transporte de energía reactiva, y conforme a la regulación vigente se establece que se pague hasta 12 veces el valor inicial, debido a la implementación de un escalar “factor M” que multiplica la ecuación de costos y el cual irá aumentando mensualmente en una unidad hasta alcanzar el valor de 12.

Debido a lo cual se realiza una recopilación de datos históricos de los consumos de energía de las fronteras auxiliares para posteriormente implementar un análisis estadístico de los mismos, conforme a la regulación, identificando que las 17 fronteras auxiliares de Enel son penalizadas por el consumo en exceso de energía reactiva, incumpliendo la regulación.

Debido a esto se hace necesario la búsqueda de soluciones de mejora orientadas a mitigar la energía reactiva excedente mejorando así el factor de potencia, por lo cual este trabajo se centra

en el análisis de los consumos de energía de las fronteras auxiliares caracterizando dos escenarios comunes en la operación de las centrales de generación; con carga (mayor consumo de energía) y en vacío (consumo mínimo de energía), identificando las fronteras en estado crítico las cuales representan mayores pérdidas económicas, para finalmente proponer soluciones de mejora que pueden ser catalogadas en acciones correctivas las cuales están conformadas por la revisión y validación de las medidas tomadas por el medidor y acciones operativas las cuales dependen de la facilidad de la central de generación para realizar maniobras operativas priorizando la operación por confiabilidad de la central, ayudando de esta manera a mitigar la energía reactiva excedente mejorando los márgenes económicos de las centrales.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Proponer alternativas de reducción de los consumos de energía reactiva de las fronteras auxiliares de Emgesa.

1.2 Objetivos específicos

Analizar el consumo de energía reactiva de las fronteras de auxiliares de Emgesa conforme a la regulación CREG 015 en los años 2020 y 2021.

Caracterizar los consumos de energía activa, reactiva y factor de potencia promedio de las fronteras de auxiliares de Emgesa en los escenarios con carga máxima y mínima carga.

Identificar y evaluar oportunidades de mejora orientadas a mitigar la energía reactiva excedente y frenar el aumento del factor M para aquellas fronteras que presenten mayor criticidad.

2. Marco Regulatorio

Por medio de resoluciones publicadas por la CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas) como lo son la CREG 015 del 2018 y sus modificaciones (CREG 199 del 2019 y CREG 195 del 2020) se establece la metodología de penalización del costo de transporte de energía reactiva (CTER) y las condiciones con las que se calcula este cobro, ver Tabla 1

Tabla 1.

Parámetros del costo de transporte de energía reactiva

Sistemas	Ecuación de costo	Condiciones para calcular la energía reactiva excedente	Factor M
STR (sistema de transmisión regional)	$CTER_{u,n,h,m,j} = ER_{u,h,m,j} * D_{n,h,m}$ <p>Donde:</p> <p>ER u,h,m,j: energía en exceso.</p> <p>D n,h,m: Cargo por transporte de energía.</p> <p>M: Variable M que aumenta en una unidad y varía entre 1 y 12.</p>	<p>Energía Inductiva: cuando la energía reactiva inductiva consumida sea mayor al 50% de la energía activa consumida.</p> <p>Energía Capacitiva: Cuando se presente transporte de energía reactiva capacitiva. *Se exceptúa el pago de costo de transporte de energía reactiva cuando se encuentre generando.</p>	<p>la cual tendrá las siguientes condiciones:</p> <p>* el mes contara como mes penalizado para el aumento del factor M cuando tenga más de 10 con energía reactiva excedente en un mismo mes calendario. * Para el año 2021 tendrá 12 meses con un valor igual a 1. * Aumenta hasta llegar a un valor igual a 6 y si se mantiene por 12 meses el siguiente mes se incrementará hasta llegar a un valor de 12.</p>

Sistemas	Ecuación de costo	Condiciones para calcular la energía reactiva excedente	Factor M
			* si la energía reactiva en exceso desaparece durante más de tres meses consecutivos la variable se reinicia a 1

3. Metodología

Este capítulo tiene como propósito dar a conocer cuál fue el proceso trazado y desarrollado, los programas y fórmulas utilizados para llevar a cabo la ejecución de los objetivos propuestos.

3.1 Recopilación de datos históricos

Debido a que los medidores conectados en las fronteras auxiliares externas de Enel toman señales de tensión y corriente, donde a partir de ellas se obtiene la señal de energía y se asigna un nombre y un código SIC, los cuales son los códigos de importación en donde se almacena los datos en formato horaria de la señal, por lo cual se realiza una búsqueda en los informes diarios de Enel encontrando los nombres y los códigos SIC de las señales de consumo de energía de las fronteras auxiliares externas.

Utilizando la información recopilada de los datos históricos de consumo de energía de las fronteras auxiliares externas de Enel, las cuales son tomadas por medidores avanzados conectados a la salida de las fronteras auxiliares midiendo el consumo de energía en sus cuatro cuadrantes

(Figura 1). Estas medidas son leídas y analizadas por el software Power Monitoring Expert (PME) de Schneider Electric, el cual se encarga de recolectar, monitorear, organizar los datos y presentar la información de una manera fácil y óptima. Por ello, por medio de este software se realiza la búsqueda de los datos de consumo de energía horaria de las fronteras auxiliares externas desde el año 2020 hasta el año 2021, para seguidamente crear un informe de descarga en formato Excel para su posterior análisis.

Figura 1.

Cuadrantes de consumo de energía (tomado del diagrama de consumo PME)



3.2 Panorama general frente a la regulación

Teniendo como base los datos de consumo de energía de las fronteras auxiliares en los años 2020 y 2021, se realiza un análisis estadístico por medio del software Excel identificando las fronteras que incumplan las condiciones de consumo de energía propuestas por la regulación vigente, encontrando valores como energía reactiva excedente (Inductiva y capacitiva), número de días por mes penalizado y aumento del factor M.

3.2.1 Cálculo de la energía reactiva excedente

Para realizar este cálculo teniendo los datos de consumo de energía en forma horaria en formato Excel, se organiza la información de los consumos en sus cuatro cuadrantes y posteriormente se evalúa la energía excedente con las condiciones vistas en la Tabla 1.

3.2.2 Cálculo de días por mes penalizados

Para el cálculo de días por mes penalizado se utiliza un contador de días en el software Excel el cual indica si presento energía reactiva excedente en algún periodo del día (24 periodos) y así mismo para todos los días del mes, de esta manera se identifica la cantidad de días penalizado por mes.

3.2.3 Cálculo del Factor M

El cálculo del factor M al ser la parte de la ecuación del costo de transporte de energía reactiva la cual tiene el mayor impacto, se calcula por medio del software Excel utilizando la herramienta “tabla dinámica” la cual se encarga de cuantificar la cantidad de días penalizados (encontrado en el numeral 3.2.2) dando como resultado la cantidad de días penalizados por mes (Tabla 2), identificando los meses que tengan más de 10 días penalizados y con ello el aumento del Factor M como indica la regulación.

Tabla 2.*Tabla dinámica días penalizados por mes*

Fecha	Días penalizados por mes	Mes Penalizado
2020		
Enero	28	Penalizado
Febrero	13	Penalizado
Marzo	25	Penalizado
Abril	30	Penalizado
Mayo	31	Penalizado
Junio	30	Penalizado
Julio	31	Penalizado
Agosto	31	Penalizado
Septiembre	30	Penalizado
Octubre	31	Penalizado
Noviembre	30	Penalizado
Diciembre	31	Penalizado
2021		
Enero	31	Penalizado
Febrero	28	Penalizado
Marzo	31	Penalizado
Abril	30	Penalizado
Mayo	31	Penalizado
Junio	30	Penalizado
Julio	31	Penalizado
Agosto	31	Penalizado
Septiembre	30	Penalizado
Octubre	31	Penalizado
Noviembre	30	Penalizado
Diciembre	31	Penalizado

3.2.4 Priorización de fronteras auxiliares

La priorización de fronteras consiste en separar las fronteras auxiliares externas en dos categorías, prioridad 1 y prioridad 2, de acuerdo con los siguientes parámetros:

- 1) Energía reactiva excedente: es la cantidad de energía reactiva que incumple las condiciones propuestas por la regulación CREG 015.
- 2) Cantidad de meses penalizados por año: es la encargada del aumento del factor M.
- 3) Nivel de tensión: La importancia del nivel de tensión al que pertenecen las fronteras se debe a la tarifa de transporte de energía reactiva(\$/kVAh), la cual varía dependiendo al nivel de tensión nominal al que esté conectado. (Tabla 3)

Tabla 3.

Niveles de tensión (tomada de la CREG 097)

Nivel de tensión	Tension nominal
Nivel1	$V_n \leq 1 \text{ kV}$
Nivel 2	$1 \text{ kV} \leq V_n < 30 \text{ kV}$
Nivel 3	$30 \text{ kV} \leq V_n < 57,5 \text{ kV}$
Nivel 4	$57,5 \text{ kV} \leq V_n < 220 \text{ kV}$
Nivel 5	$V_n \geq 220 \text{ kV}$

En la categoría prioridad 1 se encuentran las fronteras que tengan mayor exceso de energía reactiva, mayor cantidad de meses penalizados y que se encuentren a un nivel de tensión bajo. Debido a que la tarifa de transporte de energía reactiva es mayor para niveles bajos (Tabla 4), las fronteras restantes serán categorizadas como prioridad 2.

Tabla 4.

Tarifa del costo de transporte de energía reactiva promedio (tomado de las facturas enviadas por Codensa)

Niveles de tensión	\$/kVAh
Nivel 1	175,9
Nivel 2	122,4

Nivel 3	103,5
Nivel 4	27,5

3.3 Caracterización del consumo de energía

Se realiza una caracterización de los consumos de energía de las fronteras auxiliares externas conforme a la recopilación de datos históricos realizada anteriormente, en escenarios de operación con carga máxima (cuando la mayor parte de los equipos se encuentren consumiendo) y con carga mínima (cuando solo se está consumiendo servicios auxiliares y algunos equipos). En los estados de operación servicio o parada de la central de generación asociada a estas fronteras. Identificando la energía activa consumida promedio, energía reactiva excedente, factor de potencia y porcentaje de incidencia de los escenarios en el año, se exceptúa de esta caracterización aquellas fronteras que presenten problemas en la medición.

3.3.1 Consumo promedio

Para el cálculo del consumo promedio se utiliza la información recolectada de consumos de energía en los 4 cuadrantes y el cálculo de la energía excedente de las fronteras auxiliares, para posteriormente caracterizarlos en los cuatro escenarios de operación descritos a continuación:

Servicio y carga mínima: Escenario en el cual la frontera de generación se encuentra generando y el consumo de energía activa sea mínimo para la operación, el cual varía dependiendo de la frontera auxiliar.

Servicio y carga máxima: Escenario en el cual la frontera de generación se encuentra generando y el consumo de energía activa sea máximo para la operación, el cual varía dependiendo de la frontera auxiliar.

Parada y carga mínima: Escenario en el cual la frontera de generación se encuentra sin generar y el consumo de energía activa sea mínimo para la operación, el cual varía dependiendo de la frontera auxiliar.

Parada y carga Máxima: Escenario en el cual la frontera de generación se encuentra sin generar y el consumo de energía activa sea máximo para la operación, el cual varía dependiendo de la frontera auxiliar.

3.3.2 Factor de potencia

Para el cálculo del factor de potencia se utiliza la siguiente ecuación:

$$FP = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

Donde:

FP: Factor de potencia

P: Potencia activa

Q: Potencia no activa

Con la cual se calcula el FP en los escenarios mencionados anteriormente.

3.3.3 Porcentaje de incidencia

El porcentaje de incidencia hace referencia al porcentaje entre los periodos analizados del 2021(8760 periodos) con respecto a los periodos en los que se presentan los escenarios planteados en la Sección 3.3.1.

3.4 Identificación de las fronteras auxiliares con problemas de medida

Por medio de la recopilación de datos históricos de los consumos de energía de las fronteras auxiliares realizada anteriormente, se identifican fronteras las cuales presentan consumos de energía que no corresponden con las cargas asociadas a ellas. Las causas de estos casos particulares comúnmente se deben a los elementos de medida, los cuales al no estar correctamente calibrados con la señal toma la medida de manera errónea, para estas fronteras se proponen acciones correctivas las cuales se encargan de verificar los equipos asociados a la medición.

4. Resultados

4.1 Análisis estadístico frente a la regulación

El presente capítulo se centra en la recopilación de datos históricos de consumo de energía por medio de la base de datos PME de ENEL y en el análisis estadístico de los consumos conforme a la regulación vigente.

4.1.1 Identificación de las fronteras auxiliares

De acuerdo con los datos obtenidos en el módulo de recopilación de datos históricos, se identificaron los códigos, nombres y nivel de tensión de las 17 fronteras auxiliares que hacen parte de ENEL (ver Tabla 5).

Tabla 5.

Códigos y nombres fronteras auxiliares

Codigo	Nombre	Nivel de tensión
Frt10384	Charquito AUX	1
Frt10928	Guaca TA1 AUX	3
Frt10929	Guaca TA2 AUX	3
Frt10947	Ubala AUX	2
Frt11006	Muña 3 TA1 AUX	4
Frt11007	Muña 3 TA2 AUX	4
Frt11026	Paraiso TA1 AUX	3
Frt11027	Paraiso TA2 AUX	3
Frt11148	Termozipa TAG1 AUX	3
Frt11149	Termozipa TAG2 AUX	3
Frt11151	Torres de Enfriamiento AUX	3
Frt21686	Dario Valencia AUX	2
Frt22538	Salto II AUX	3
Frt10945	Guavio TA1 AUX	4
Frt10946	Guavio TA2 AUX	4
Frt29314	Tequendama AUX	3
Frt10977	Limonar AUX	3

4.1.2 Análisis estadístico de las fronteras auxiliares

De acuerdo con los resultados obtenidos en el módulo panorama general, se identifican las fronteras que incumplen regularmente las condiciones propuestas por la regulación vigente, dando

como resultado la cantidad de meses por año en los cuales las fronteras auxiliares son penalizadas (ver Tabla 6).

Tabla 6.

Cantidad de meses penalizadas las fronteras auxiliares 2020-2021

Frontera	Nombre	2020	2021
Frt10384	Charquito AUX	6	4
Frt10928	Guaca TA1 AUX	12	12
Frt10929	Guaca TA2 AUX	12	12
Frt10947	Ubala AUX	12	12
Frt11006	Muña 3 TA 1 AUX	12	12
Frt11007	Muña 3 TA 2 AUX	12	12
Frt11026	Paraiso TA1 AUX	12	12
Frt11027	Paraiso TA2 AUX	12	12
Frt11148	Termozipa TAG1 AUX	12	12
Frt11149	Termozipa TAG2 AUX	12	12
Frt11151	Termozipa Torres de Enfriamiento AUX	12	12
Frt21686	Dario Valencia AUX	12	12
Frt22538	Salto II AUX	12	12
Frt10945	Guavio TA1 AUX	12	12
Frt10946	Guavio TA2 AUX	12	12
Frt29314	Tequendama AUX	12	12
Frt19977	Limonar	12	12

4.2 Caracterización de los consumos de energía de las fronteras auxiliares

De acuerdo con los resultados obtenidos en la sección de caracterización de consumos de energía se realiza la priorización de fronteras teniendo como base las facturas de los meses de enero 2020 hasta marzo del 2021 identificando las fronteras que presenten mayores costos económicos por energía reactiva excedente (ver Figuras 2 y 3).

Figura 2.

Fronteras con mayor costo económico nivel de tensión 3

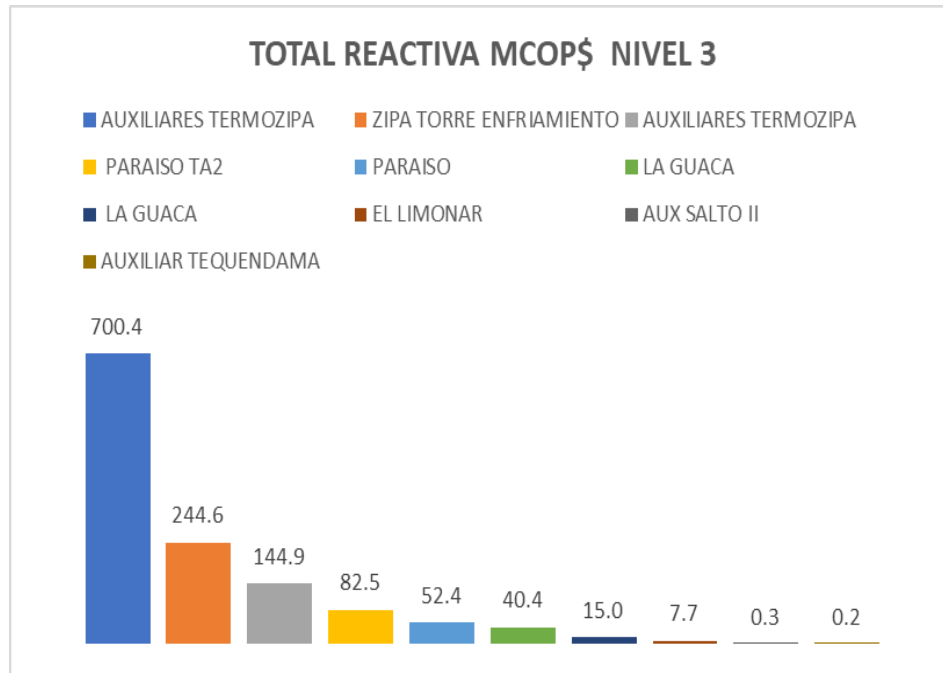
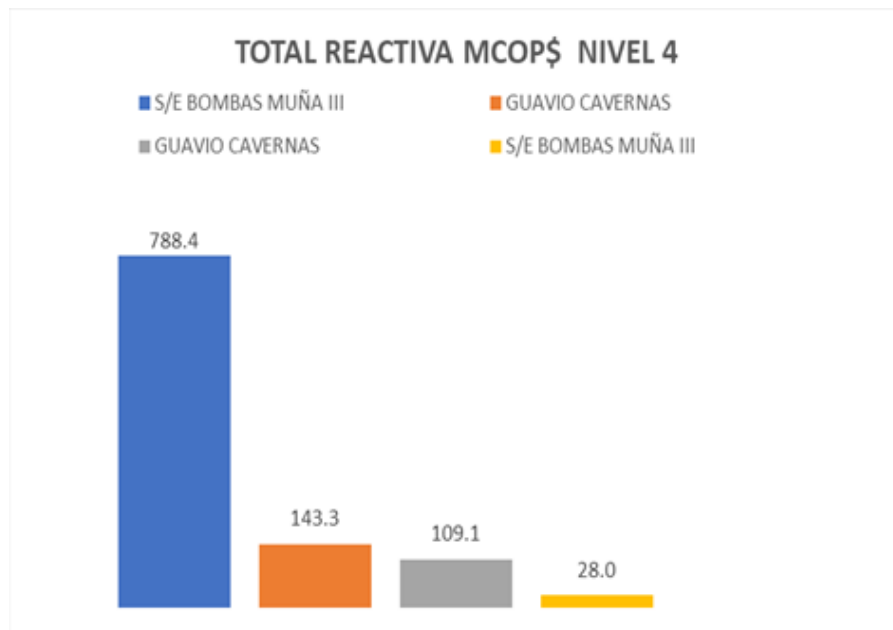


Figura 3.

Fronteras con mayor costo económico nivel de tensión 4



Dando como resultado en la prioridad 1 la cantidad de 7 fronteras las cuales representan el 76,3% del costo de transporte de energía reactiva y en la prioridad 2 quedando 10 fronteras representando el 23,7% restante (ver Tabla 7).

Tabla 7.

Priorización de fronteras

Priorización	Frontera Auxiliar
Prioridad 1	Muña 3 TA1 AUX
	Muña 3 TA2 AUX
	Termozipa TAG1 AUX
	Termozipa TAG2 AUX
	Termozipa Torres de Enfriamiento AUX
	Guavio TA1 AUX
	Guavio TA2 AUX
Prioridad 2	Charquito AUX
	Guaca TA1 AX
	Guaca TA2 AX
	Ubala AUX
	Dario Valencia AUX
	Paraiso TA1 AUX
	Paraiso TA2 AUX
	Salto II AUX
	Tequendama AUX
	Limonar AUX

4.2.1 Fronteras auxiliares prioridad 1

4.2.1.1 Caracterización de la frontera auxiliar Termozipa. La central de generación de energía térmica Termozipa cuenta con 3 fronteras auxiliares (TAG1, TAG2 y Torres de

Enfriamiento) las cuales pueden rotar entre ellas para asumir el consumo de las cargas auxiliares de la central de generación o asumirla entre ellas (ver Figura 4).

Figura 4.

Diagrama unifilar de las fronteras auxiliares Termozipa (tomada de Enel)



Donde los consumos de energía de las fronteras auxiliares son afectados cuando la central de generación se encuentre en servicio en alguna de sus 4 unidades (unidad 2,3,4,5). Por lo cual se realiza la caracterización de los consumos en los siguientes escenarios:

1) Sin Generación: Caracterización del consumo de energía promedio de cada frontera auxiliar cuando las unidades de generación se encuentren paradas (ver Tabla 8).

Tabla 8.*Caracterización de consumo de energía promedio sin generación.*

Transformador	Energía activa consumida kWh	Energía reactiva consumida en exceso kVAh	FP	Porcentaje de incidencia
TAG1	501,1	121,4	0,8	64%
TAG2	494,7	120,1	0,8	55%
TTF	195,0	64,3	0,73	54%

2) Generación en una unidad: Caracterización del consumo de energía promedio de cada frontera auxiliar cuando solo una unidad se encuentre generando (ver Tabla 9).

Tabla 9.*Caracterización de consumo de energía promedio con una unidad de generación.*

TAG1					
	Generación MWh	Energía activa consumida kWh	Energía reactiva consumida en exceso kVA	FP	Incidencia
Unidad 2	18,77	957,238	251,15	0,79	25%
Unidad 3	35,6	1380,37	255,19	0,83	
Unidad 4	40,25	1097,34	180,04	0,83	
Unidad 5	31,74	871,04	92,108	0,86	
TAG2					
	Generación MWh	Energía activa consumida kWh	Energía reactiva consumida en exceso kVA	FP	Incidencia
Unidad 2	18,77	965,65	254,24	0,79	34%
Unidad 3	35,6	1228,71	223,29	0,83	
Unidad 4	40,25	1,123,125	192,81	0,83	
Unidad 5	31,74	601,55	80,06	0,85	

TTF					
	Generación MWh	Energía activa consumida kWh	Energía reactiva consumida en exceso kVA	FP	Incidencia
Unidad 2	18,77	323,78	79,32	0,8	
Unidad 3	35,6	715,88	170,45	0,8	35%
Unidad 4	40,25	118,17	232,38	0,81	
Unidad 5	31,74	575,27	137,38	0,8	

3) Generación en dos unidades: Caracterización del consumo de energía promedio de cada frontera auxiliar cuando dos unidades se encuentre generando, la agrupación de estas unidades se realiza de acuerdo con la operación normalizada de la central de generación (ver Tabla 10).

Tabla 10.

Caracterización de consumo de energía promedio con dos unidades de generación.

TAG1					
	Generación MWh	Energía activa consumida kWh	Energía reactiva consumida en exceso kVA	FP	Incidencia
Unidad 2	23,21	1575	390,7	0,8	2%
Unidad 3					
Unidad 4	52,066	1125,78	195,2	0,83	
Unidad 5					

TAG2					
	Generación MWh	Energía activa consumida kWh	Energía reactiva consumida en exceso kVA	FP	Incidencia
Unidad 2	23,21	1587	373,09	0,8	2%
Unidad 3					
Unidad 4	52,066	1188,38	213,48	0,83	
Unidad 5					

TTF					
	Generación MWh	Energía activa consumida kWh	Energía reactiva consumida en exceso kVA	FP	Incidencia
Unidad 2	23,21	932,67	190,78	0,82	2%
Unidad 3					
Unidad 4	52,066	3078,45	534,62	0,83	
Unidad 5					

4) Generación en tres unidades: Caracterización del consumo de energía promedio de cada frontera auxiliar cuando tres unidades se encuentre generando, la agrupación de estas unidades se realiza de acuerdo con la operación normalizada de la central de generación (ver Tabla 11).

Tabla 11.

Caracterización de consumo de energía promedio con tres unidades de generación.

TAG1					
	Generación MWh	Energía activa consumida kWh	Energía reactiva consumida en exceso kVA	FP	Incidencia
Unidad 3	54,43	2228	364,17	0,83	2%
Unidad 4					
Unidad 5					
TAG2					
	Generación MWh	Energía activa consumida kWh	Energía reactiva consumida en exceso kVA	FP	Incidencia
Unidad 3	54,43	2273,67	354,27	0,84	2%
Unidad 4					
Unidad 5					

TTF					
	Generación MWh	Energía activa consumida kWh	Energía reactiva consumida en exceso kVA	FP	Incidencia
Unidad 3					
Unidad 4	54,43	1946,39	398,47	0,82	2%
Unidad 5					

5) Generación en cuatro unidades: Caracterización del consumo de energía promedio de cada frontera auxiliar cuando las 4 unidades de generación se encuentren generando, tabla 12.

Tabla 12.

Caracterización de consumo de energía promedio con cuatro unidades de generación.

TAG1					
	Generación MWh	Energía activa consumida kWh	Energía reactiva consumida en exceso kVA	FP	Incidencia
Unidad 2	34,31				
Unidad 3	52,44				
Unidad 4	51,4	3007,45	655,97	0,81	7%
Unidad 5	54,78				

TAG2					
	Generación MWh	Energía activa consumida kWh	Energía reactiva consumida en exceso kVA	FP	Incidencia
Unidad 2	34,31				
Unidad 3	52,44				
Unidad 4	51,4	3049,31	618,3	0,82	7%
Unidad 5	54,78				

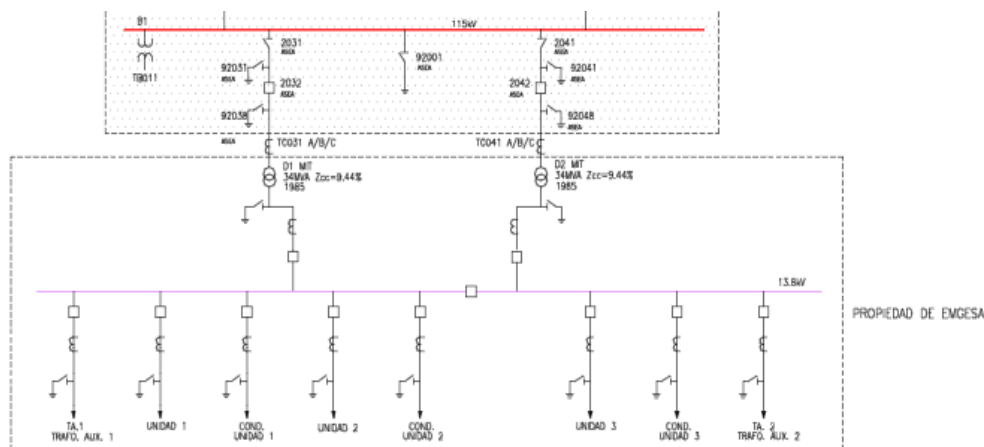
TTF					
	Generación MWh	Energía activa consumida kWh	Energía reactiva consumida en exceso kVA	FP	Incidencia
Unidad 2	34,31				
Unidad 3	52,44				
Unidad 4	51,4	2786,26	612,31	0,81	7%
Unidad 5	54,78				

Dando como resultado que la central tiene energía reactiva en exceso en todo momento debido a que el factor de potencia es menor a 0,89 el cual es el factor de potencia mínimo para no tener penalidad, se observa un aumento de la energía reactiva excedente dependiendo del número de unidades que se encuentren en servicio, siendo el escenario sin generación el que tiene consigo menor energía reactiva excedente y presenta mayor incidencia

4.2.1.2 Caracterización de la frontera auxiliar Muña. La central de bombeo de Muña está conformada por tres bombas y acompañada de cada bomba se encuentra un banco capacitivo con el fin de compensar la energía reactiva cuando entren las bombas en operación (ver Figura 5).

Figura 5.

Diagrama unifilar bombas Muña (tomada de Enel)



Donde se encuentran conectados en la misma barra las fronteras auxiliares TA1 y TA2 por donde se suministra la energía de las cargas auxiliares y de la alimentación de las bombas, por lo cual se realiza la caracterización de los consumos en los siguientes escenarios:

1) **Sin encender las bombas:** En este escenario se caracterizan los consumos propios de la central (iluminación, aire acondicionado y cargadores de batería, etc.) cuando las bombas no se encuentren en servicio (ver Tabla 13).

Tabla 13.

Caracterización de consumo de energía promedio sin encender las bombas

Consumos promedio Bombas Muña				
Frontera auxiliar	Energía activa kWh	Energía reactiva kVAh	Energía reactiva en exceso kVAh	FP
TA1	92,1	75,2	32,2	0,60
TA2	53,5	36,7	11,4	0,78

2) **Encendiendo las bombas con banco de condensadores:** En este escenario se caracteriza los consumos de energía cuando las bombas se encuentren en funcionamiento y al mismo tiempo se encuentre activo el banco de condensadores (ver Tabla 14).

Tabla 14.

Caracterización de consumo de energía promedio encendiendo bombas con banco de condensadores

Frontera auxiliar	Consumos promedio Bombas Muña			
	Energía activa kWh	Energía reactiva kVAh	Energía reactiva en exceso kVAh	FP
TA1	7378,6	3467,2	0,00	0,91
TA2	7131,7	3213,9	0,00	0,91

3) **Encendiendo las bombas sin banco de condensador:** En este escenario se caracteriza los consumos de energía cuando las bombas se encuentren en funcionamiento, pero no se encuentre activo el banco de condensadores (ver Tabla 15).

Tabla 15.

Caracterización de consumo de energía promedio encendiendo bombas sin banco de condensadores

Frontera auxiliar	Consumos promedio Bombas Muña			
	Energía activa kWh	Energía reactiva kVAh	Energía reactiva en exceso kVAh	FP
TA1	8072,3	7837,3	3801,2	0,72
TA2	10708,8	10130,9	4776,5	0,73

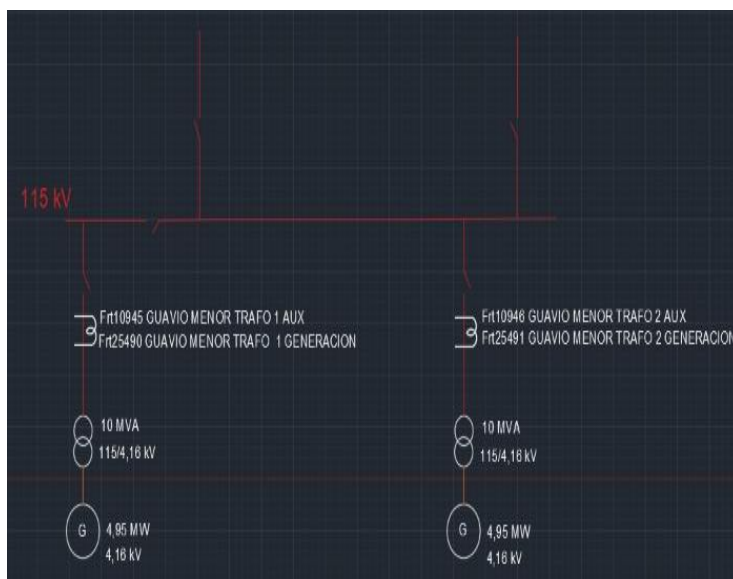
Dando como resultado el escenario más desfavorable en el momento que se enciendan las bombas sin su respectivo banco de condensador dando un excedente promedio de 3467,20

[kVAh], lo cual ocurre cuando se encuentran los bancos en revisión o inconvenientes en sus interruptores.

4.2.1.3 Caracterización de la frontera auxiliar Guavio. En la central de Guavio se encuentran instalados dos medidores bidireccionales los cuales se encargan de tomar la medida de los consumos de auxiliares y de generación, conforme a ello los medidores tienen en el mismo punto de medida la frontera de generación y la frontera de servicios auxiliares (ver Figura 6).

Figura 6.

Diagrama unifilar de las fronteras auxiliares Guavio (Tomada de Enel)



Por lo cual se presenta el caso que se encuentre la central en generación y al mismo tiempo se consuma energía reactiva de la red, conforme a esta situación se realiza la caracterización de los consumos de las fronteras auxiliares exceptuando los periodos en los que haya generación como lo estipula la regulación (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2018) (ver Tabla 16).

Tabla 16.*Caracterización de la frontera auxiliar Guavio*

Frontera	Escenario	Energía activa	Energía	FP
		consumida kWh	inductiva excedente kVAh	
TA1	Vacío	12,8	0,4	0,88
	Carga	735,8	187,9	0,79
TA2	Vacío	16,41	52,5	0,269
	Carga	608,3	157,8	0,79

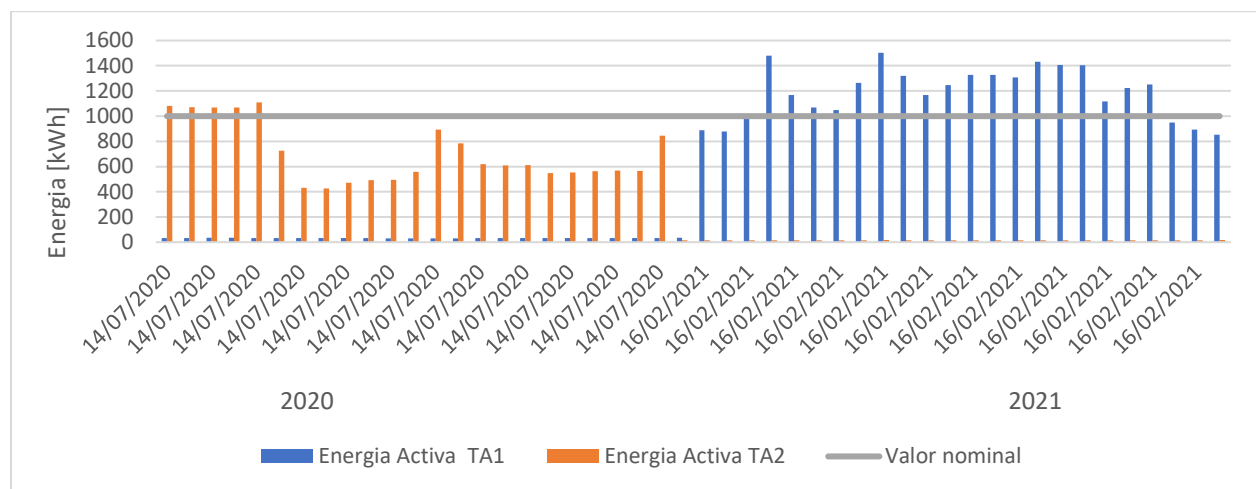
Dando como resultado energía reactiva excedente en todos los periodos de tiempo debido a que el factor de potencia es menor a 0,89 el cual es el factor de potencia mínimo para no tener penalidad, siendo el TA2 el escenario en vacío el que presenta el factor de potencia más bajo.

4.2.2 Fronteras auxiliares prioridad 2

4.2.2.1 Caracterización de la frontera auxiliar Paraiso. La central de Paraiso cuenta con tres unidades de generación donde se encuentra instalados dos fronteras auxiliares TA1, TA2 por las cuales se suministra el consumo de energía de servicios auxiliares de la central, de acuerdo con la caracterización de los datos obtenidos en el módulo recopilación de datos históricos se encuentra un error en la señal, debido a que los transformadores TA1 y TA2 tienen un valor nominal de 1 [MWh] y se observan consumos de energía superiores a el valor nominal (ver Figura 7).

Figura 7.

Grafica de consumos superiores al valor nominal frontera auxiliar Paraiso



4.2.2.2 Caracterización de la frontera auxiliar Guaca. La central de Guaca cuenta con tres unidades de generación donde se encuentran instaladas dos fronteras auxiliares TA1 y TA2, las cuales pueden rotar entre ellas para suministrar la energía de servicios auxiliares. Se realiza la caracterización de los consumos de acuerdo con los resultados obtenidos del módulo caracterización de consumos de energía (ver Tabla 17).

Tabla 17.

Caracterización de la frontera auxiliar Guaca

ESCENARIOS DE OPERACIÓN TA1					
Generación	TRF auxiliares	Energía activa consumida kWh	Energía reactiva consumida en exceso kVAh	Fp	Periodos
Servicio	Vacío	2,9	12,8	0,2	12,7%
Servicio	Carga	380,3	64,7	0,8	49,7%
Parada	Vacío	2,9	13,0	0,2	1,5%
Parada	Carga	151,2	23,0	0,8	36,1%

ESCENARIOS DE OPERACIÓN TA2					
Generación	TRF auxiliares	Energía activa consumida kWh	Energía reactiva consumida en exceso kVAh	Fp	Periodos
Servicio	Vacío	2,8	14,2	0,2	56,5%
Servicio	Carga	440,6	78,1	0,8	5,8%
Parada	Vacío	2,9	16,0	0,1	36,1%
Parada	Carga	163,9	22,0	0,8	1,6%

Dando como resultado energía reactiva excedente en todos sus periodos de tiempo debido a que el factor de potencia es menor a 0,894 el cual es el factor de potencia mínimo para no tener penalidad, siendo el escenario en vacío el cual presenta un factor de potencia mas bajo y el escenario con carga se presenta mayormente en el TA1 que en el TA2 concluyendo mayor utilización del TA1.

4.2.2.3 Caracterización de la frontera auxiliar Salto II. La central de Salto II cuenta con una unidad de generación y se encuentra instalada una frontera auxiliar por la cual se suministra la energía de servicios auxiliares, se realiza la caracterización de los consumos de acuerdo con los resultados obtenidos del módulo caracterización de consumos de energía (ver Tabla 18).

Tabla 18.

Caracterización de la frontera auxiliar Salto II

ESCENARIOS DE OPERACIÓN					
Generación	TRF auxiliares	Energía activa consumida kWh	Energía reactiva consumida en exceso kVAh	Fp	Periodos
Servicio	Vacío	1,2	2,3	0,38	18,6%
Servicio	Carga	28,4	7,04	0,81	1,4%

Generación	TRF auxiliares	ESCENARIOS DE OPERACIÓN		Fp	Periodos
		Energía activa consumida kWh	Energía reactiva consumida en exceso kVAh		
Parada	Vacío	0,36	0,6	0,41	0,6%
Parada	Carga	28,6	7,1	0,84	79,4%

Dando como resultado energía reactiva excedente en todos los periodos de tiempo debido a que el factor de potencia es menor a 0,894 el cual es el factor de potencia mínimo para no tener penalidad, siendo el escenario de vacío el cual presente un factor potencia más bajo y el escenario de carga el que presenta mayor incidencia.

4.2.2.4 Caracterización de la frontera auxiliar Darío Valencia. La central Darío Valencia cuenta con tres unidades de generación y se encuentra instalada una frontera auxiliar por la cual se suministra la energía de servicios auxiliares. Se realiza la caracterización de los consumos de acuerdo con los resultados obtenidos del módulo caracterización de consumos de energía (ver Tabla 19).

Tabla 19.

Caracterización de la frontera auxiliar Darío Valencia

Generación	TRF auxiliares	ESCENARIOS DE OPERACIÓN		Fp	Periodos
		Energía activa consumida kWh	Energía reactiva consumida en exceso kVAh		
Servicio	Vacío	3,1	21,4	0,13	55,1%
Servicio	Carga	111,6	35,4	0,76	23,3%
Parada	Vacío	0	0	0	0,0%
Parada	Carga	76,84	12,6	0,83	21,5%

Dando como resultado energía reactiva excedente en todos sus periodos de tiempo debido a que el factor de potencia es menor a 0,894 el cual es el factor de potencia mínimo para no tener penalidad, donde el escenario generacion y consumo minimo no se caracterizo debido a que no se presento esta condición, siendo el escenario en vacio el cual presenta el factor potencia mas bajo con una incidencia del 55,1%.

4.2.2.5 Caracterización de la frontera auxiliar Tequendama. La Central Tequendama cuenta con dos unidades de generación y se encuentra instalada una frontera auxiliar por la cual se suministra la energía de servicios auxiliares. Se realiza la caracterización de los consumos de acuerdo con los resultados obtenidos del módulo caracterización de consumos de energía (ver Tabla 20).

Tabla 20.

Caracterización de la frontera auxiliar Tequendama

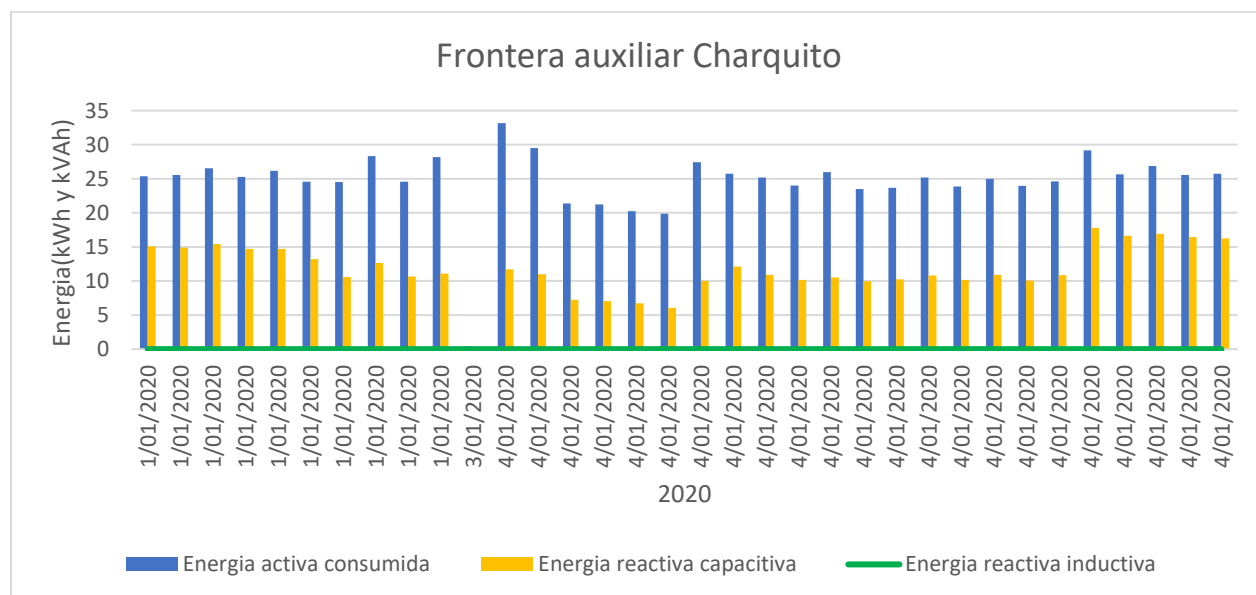
Generación	TRF auxiliares	ESCENARIOS DE OPERACION		Fp	Periodos
		Energía activa consumida kWh	Energía reactiva consumida en exceso kVAh		
Servicio	Vacío	1,4	1,67	0,51	75,7%
Servicio	Carga	145,13	31,8	0,81	7,0%
Parada	Vacío	1,39	1,62	0,515	1,1%
Parada	Carga	70,62	11,2	0,892	16,2%

Dando como resultado energía reactiva excedente en todos sus periodos de tiempo debido a que el factor de potencia es menor a 0,894 el cual es el factor de potencia mínimo para no tener penalidad, siendo el escenario de vacío el que presenta un factor potencia más bajo y el escenario de carga el de mayor incidencia.

4.2.2.6 Caracterización de la frontera auxiliar Charquito y Limonar. La central de Charquito cuenta con una unidad de generación y se encuentra instalada una frontera auxiliar. Por otra parte, la central de limonar cuenta con dos unidades de generación y se encuentra instalada una frontera auxiliar. Las dos unidades de generación suministran la energía de servicios auxiliares. De acuerdo con la caracterización de los datos obtenidos en el módulo de recopilación de datos históricos, se considera que puede existir un erro en los sistemas de medición, debido a que su consumo de energía presenta en reiterados periodos energía reactiva excedente de tipo capacitivo mayor a la energía reactiva tipo inductiva, lo cual no corresponde con las cargas asociadas a estas centrales, como se muestra en la Figura 8 para la central de Charquito y la Figura 9 para la central de limonar.

Figura 8.

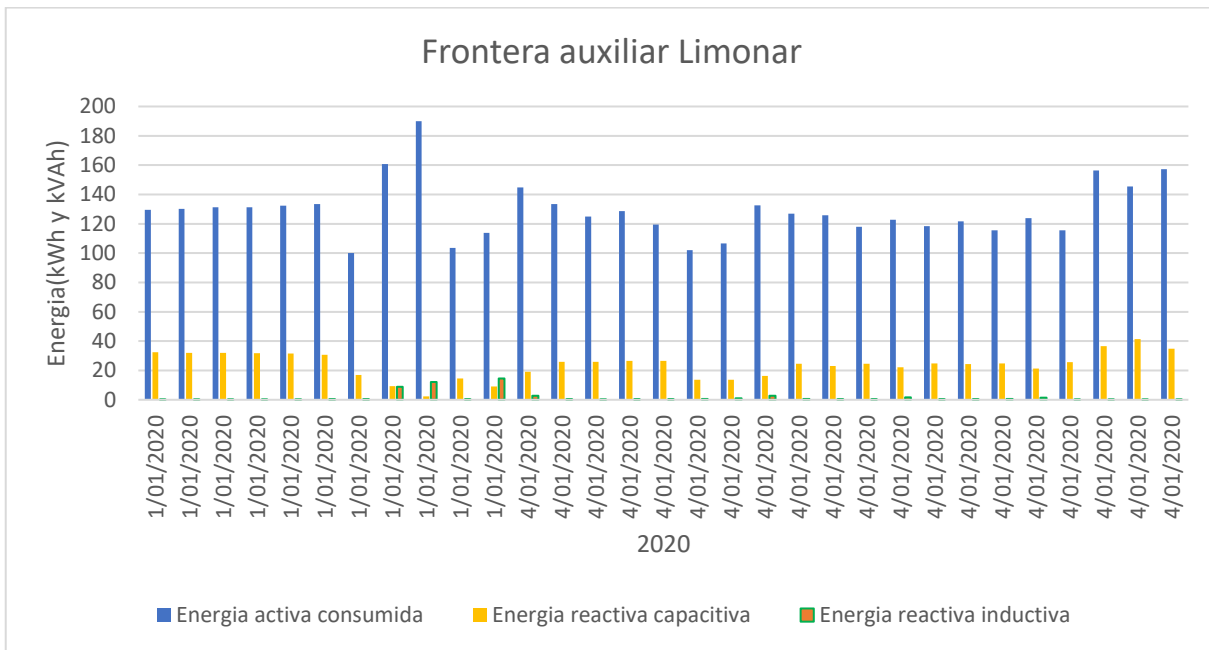
Grafica de consumo de energía de la frontera auxiliar Charquito



Dando como resultado energía reactiva excedente en todos los periodos debido a que según la regulación (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2018) se penaliza todos los periodos que tengan energía reactiva capacitiva.

Figura 9.

Grafica de consumo de energía de la frontera auxiliar Limonar



Dando como resultado energía reactiva excedente en todos los periodos debido a que de acuerdo con la regulación (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2018) se penaliza todos los periodos que tengan energía reactiva capacitiva.

5. Oportunidades de mejora

5.1 Identificación de oportunidades de mejora

El presente capítulo se centra en proponer posibles soluciones a los problemas encontrados en las fronteras auxiliares en las secciones 4.2.1 y 4.2.2 categorizando dichas acciones en dos categorías correctivas y operativas.

5.2.1 Acciones correctivas

Las acciones correctivas se establecen para las fronteras auxiliares se considera que se presentan errores en la medición de los consumos de energía, por lo cual se proponen soluciones de mejora de la medida como revisión de lectura del software Primeread, revisión de los transformadores de corriente y potencia e identificación de equipos que podrían estar causando errores en la medición de los parámetros de potencia y energía, conforme a esto se proponen soluciones para cada frontera auxiliar.

5.2.1.1 Frontera auxiliar Paraiso. Después de una verificación de lectura en el software Primeread y revisión de los medidores, se identifica un equipo de propiedad de Codensa el cual se trata de un transformador de corriente de interposición. Este equipo fue conectado para la realización de pruebas pero no se realizó su desconexión, por lo tanto como solución de mejora se

recomienda la desconexión de este equipo, debido a su relación de transformación aumenta la corriente, incrementando el consumo de energía medido en la frontera auxiliar.

5.2.1.2 Frontera auxiliar Guavio. En la central de Guavio mencionada en la Sección 4.2.1 la frontera auxiliar cuenta con un medidor bidireccional el cual mide la energía activa consumida y la energía activa que genera la central. Por lo tanto, como solución de mejora se recomienda excluir de la penalización los periodos que se encuentren con generación como lo estipula la regulación (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2018), debido a que se evidencia que en las facturas no se está excluyendo los periodos con generación, impactando fuertemente los márgenes económicos de la central.

5.2.1.3 Frontera auxiliar Charquito y Limonar. Las centrales de Charquito y Limonar al tener un error similar en la medida visto anteriormente en la Sección 4.2.1 tienen una misma propuesta de mejora. Por lo tanto, como solución se recomienda una revisión de la configuración fasorial del cuadrante de medida tanto en el Software Primeread como en los medidores (CT's y PT's) verificando que se tomó el cuadrante de manera correcta, debido a que puede ser un error de configuración.

5.2.2 Acciones operativas

Las acciones operativas se establecen para las fronteras en las cuales debido al diseño de la central, se pueden realizar maniobras operativas de la mano de los operadores, por lo tanto se

propone instaurar instrucciones operativas con el fin de mejorar el costo de transporte de energía reactiva en las centrales.

5.2.2.1 Frontera auxiliar Muña. La central de bombeo de Muña conforme al diseño visto en la Figura 5 en la Sección 4.2.1, está compuesta por 3 bombas y 3 bancos capacitivos, debido a ello se proponen las siguientes instrucciones operativas para el manejo de las bombas con el fin de mitigar la energía reactiva excedente.

- Las bombas 1,2 y 3 de Muña deben entrar en servicio con su respectivo banco de condensadores, el cual se debe energizar inmediatamente después de la entrada en servicio de las bombas.

- Mediante una autorización por parte del jefe de central y validación por parte de mantenimiento eléctrico, en caso de falla, indisponibilidad o mantenimiento de algún banco de condensador procurar dar arranque con el banco de otra unidad, en el caso del banco de condensadores 3 realizar el acoplamiento en la barra de 13,8 [kV], buscando siempre que los condensadores se conecten después de que las bombas se energicen y se desconecten cuando estas son desenergizadas.

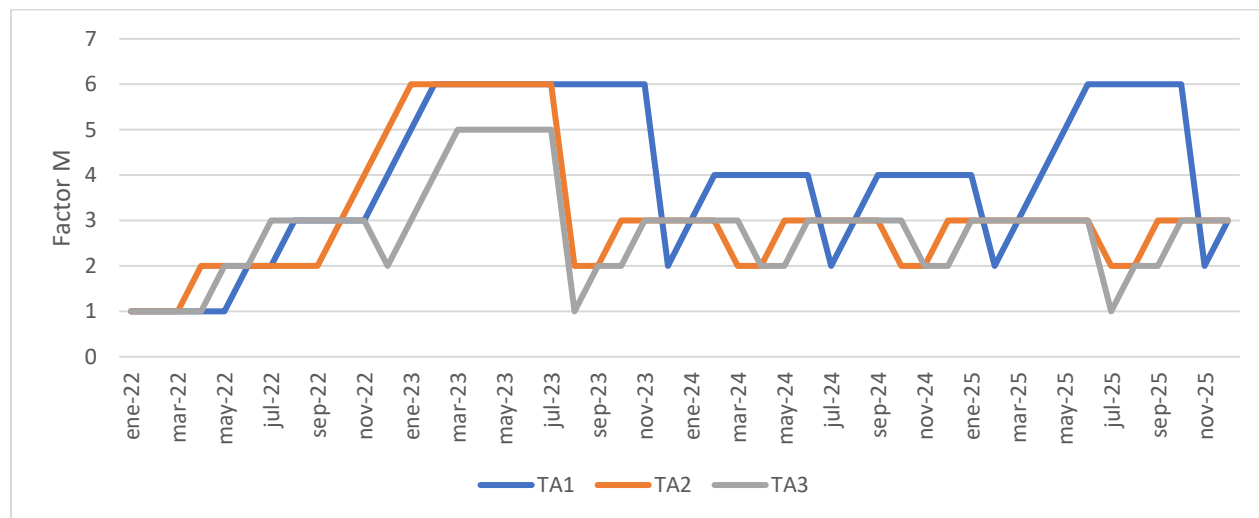
5.2.2.2 Frontera auxiliar Termozipa. La central de Termozipa al contar con tres fronteras auxiliares por donde se alimenta el consumo de servicios auxiliares y su diseño visto en la Figura 4 en la Sección 4.2.1, se propone la siguiente instrucción operativa cuando las unidades de generación se encuentren con baja generación, debido a que en esta condición se puede asumir el consumo por solo una frontera auxiliar.

- Implementar una rotación de fronteras auxiliares, es decir alimentar los consumos de servicios auxiliares solo por una frontera auxiliar, de tal forma que mensualmente se penalice

solamente la frontera que asume toda la carga y no las tres fronteras, con el objetivo de disminuir el aumento del factor M, excluyendo de dicha rotación a los meses que tengan mayor generación, debido a que en esos meses se necesitara de las tres fronteras auxiliares por lo cual serán penalizadas las tres. En la Figura 10 se realiza una proyección del aumento del factor M para las tres fronteras por medio de una proyección de generación entregada por la central de Termozipa desde Enero 2022 hasta el 2025, donde se puede observar como el factor M llega un máximo de 6 y se restaura a un valor de 1 en las tres fronteras auxiliares, disminuyendo así el costo de transporte de energía reactiva.

Figura 10.

Proyección de aumento del factor M con rotación de fronteras 2022-2025



6. Conclusiones

- Cumpliendo con el primer objetivo con la aplicación de la metodología de caracterización y análisis de los consumos de las fronteras auxiliares de Emgesa se identifica que las fronteras incumplen las condiciones propuestas por la CREG 015/2018 en la mayor parte del tiempo en todos los escenarios propuestos.

- Cumpliendo con el segundo objetivo se identifica los consumos de energía promedio de las fronteras auxiliares en los escenarios propuestos.

- Cumpliendo con el segundo objetivo se identifica que en las fronteras auxiliares el incumplimiento presentado a las condiciones propuestas por la regulación se debe a problemas en la medida y en la interpretación de la regulación.

- Cumpliendo con el tercer objetivo para garantizar la mejor eficiencia del transporte de energía en el sistema interconectado y evitar penalizaciones se requiere implementar las acciones correctivas, operativas y realizar inversiones de compensadores de energía no activa.

- Con la entrada en su totalidad de la regulación CREG 015 y el aumento del factor M los márgenes económicos de las centrales de generación pueden ser afectados por los consumos de las fronteras auxiliares.

Referencias Bibliográficas

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2018). *CREG 015. Por la cual se establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el sistema interconectado nacional*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía . Obtenido de [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)

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2019). *CREG 199. Por la cual se modifican algunas disposiciones de la Resolución CREG 015 de 2015*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía. Obtenido de [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)

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2020). *CREG 195. Por la cual se modifican algunas disposiciones de la Resolución CREG 015 de 2018*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía. Obtenido de [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/aca3a1823706552605258609006ebfe5/\\$FILE/Creg195-2020.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/aca3a1823706552605258609006ebfe5/$FILE/Creg195-2020.pdf)