

Diseño de una solución de eficiencia energética y compensación de energía reactiva basada en filtros armónicos activos (APF) para diferentes sedes de un usuario final de carácter institucional

Carlos Daniel Poveda Peña

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Electricista

Director

Manuel José Ortiz Rangel

Magister en Ingeniería Eléctrica

Codirector

Gabriel Ordóñez Plata

Doctor en Ingeniería Industrial, área Ingeniería Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingenierías físicomecánicas

Escuela de Ingeniería eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones

Bucaramanga

2025

### **Dedicatoria**

Dedico este logro a mis padres, Claudia Peña y Carlos Poveda; a mi hermano, Santiago Poveda; a mis abuelos, Jaime Peña y Elsa Rincón; y a mi tía, Viviana Peña, quienes me han apoyado incondicionalmente a lo largo de mi vida. Siempre creyeron en mí y se esforzaron para que nunca me faltara nada. Agradezco de todo corazón a Dios por darme una familia tan valiosa, y también le dedico este logro a Él, quien me levantó en los peores momentos de mi vida. Todo lo que soy es fruto de su voluntad.

Carlos Daniel Poveda Peña

### **Agradecimientos**

Agradezco primeramente a Dios por permitirme llegar hasta este punto, por sostenerme en cada etapa del camino y por brindarme la fortaleza necesaria para superar los desafíos. A mi familia, por ser el pilar que me ha apoyado en cada paso que he dado, por su amor incondicional y por creer siempre en mí.

Al M.I.E. Manuel José Ortiz Rangel, por su guía en esta etapa final de mi formación, por sus valiosas opiniones académicas y personales que me motivaron a ser un profesional ético e íntegro. Su tiempo y atención son un recuerdo profundamente apreciado.

Al codirector, Dr. Gabriel Ordóñez Plata, por su disposición y acompañamiento durante mi paso por la academia y en el cierre de este proceso formativo.

Carlos Daniel Poveda Peña

## Tabla de Contenido

Introducción .....	18
1. Objetivos.....	19
1.1 Objetivos General.....	19
1.2 Objetivos Específicos .....	20
2. Diagnóstico de la situación.....	20
2.1 Descripción general edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja.....	22
2.1.1 Análisis anual de consumos energéticos, edificio de biblioteca.....	22
2.1.2 Análisis mensual de consumos energéticos, edificio de biblioteca.....	23
2.1.3 Análisis diario de consumos energéticos, edificio de biblioteca.....	24
2.1.4 Análisis mapas de calor de consumos energéticos, edificio de biblioteca.....	27
2.2 Pronóstico edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja.....	28
2.2.1 Pronóstico de consumos de energía activa e inductiva, edificio de biblioteca. ....	28
2.2.2 Pronóstico de penalizaciones económicas por energía reactiva inductiva penalizada, edificio de biblioteca.....	29
2.3 Control del diagnóstico edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja. ....	30
2.3.1 Alternativa filtro activo armónico, edificio de biblioteca.....	30
2.3.2 Alternativa banco de condensadores, edificio de biblioteca. ....	32
2.3.3 Alternativa compensación en carga, edificio de biblioteca.....	34
2.4 Análisis de alternativas edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja.....	35
2.5 Prescripción de la solución tipo APF, edificio de biblioteca. ....	37
2.6 Análisis plan de inversión de la solución tipo APF, edificio de biblioteca. ....	37
2.7 Análisis del impacto de la solución tipo APF en cargabilidad, edificio de biblioteca.....	38
3. Edificio de aulas, sede Barrancabermeja. ....	39

3.1	Descripción general edificio de aulas, sede Barrancabermeja. ....	39
3.1.1	Análisis anual de consumos energéticos, edificio de aulas. ....	39
3.1.2	Análisis mensual de consumos energéticos, edificio de aulas. ....	40
3.1.3	Análisis diario de consumos energéticos, edificio de aulas. ....	41
3.1.4	Análisis de mapas de calor de los consumos energéticos, edificio de aulas. ....	42
3.2	Pronóstico edificio de aulas, sede Barrancabermeja. ....	44
3.2.1	Pronóstico de consumos de energía activa e inductiva, edificio de aulas. ....	44
3.2.2	Pronóstico de penalizaciones económicas por inductiva penalizada, edificio de aulas. ....	45
3.3	Control del diagnóstico edificio aulas, sede Barrancabermeja. ....	45
3.3.1	Alternativa filtro activo armónico APF, edificio de aulas. ....	46
3.3.2	Alternativa banco de condensadores, edificio de aulas. ....	47
3.3.3	Alternativa compensación en carga, edificio de aulas. ....	48
3.4	Análisis de alternativas edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja. ....	48
3.5	Prescripción de la solución banco de condensadores, edificio de aulas. ....	50
3.6	Análisis plan de inversión de la solución APF, edificio de aulas. ....	50
3.7	Análisis del impacto de la solución banco de condensadores, edificio de aulas. ....	51
4.	Edificio de coliseo, sede Bucaramanga. ....	52
4.1	Descripción general edificio de coliseo, sede Bucaramanga. ....	52
4.1.1	Análisis anual de consumos energéticos, edificio de coliseo. ....	52
4.1.2	Análisis mensual de consumos energéticos, edificio de coliseo. ....	53
4.1.3	Análisis diario de consumos energéticos, edificio de coliseo. ....	54
4.1.4	Análisis mapas de calor de consumos energéticos, edificio de coliseo. ....	55
4.2	Pronóstico edificio de coliseo, sede Bucaramanga. ....	56
4.2.1	Pronóstico de consumos de energía activa e inductiva, edificio de coliseo. ....	56
4.2.2	Pronóstico penalizaciones económicas por capacitiva penalizada, edificio de coliseo. ....	57

4.3	Control del diagnóstico edificio coliseo, sede Bucaramanga. ....	58
4.3.1	Alternativa filtro activo armónico APF, edificio de coliseo. ....	58
4.4	Prescripción de la solución APF, sede coliseo. ....	60
4.5	Análisis plan de inversión de la solución APF, sede coliseo. ....	60
4.6	Análisis del impacto de la solución APF, edificio de coliseo. ....	62
5.	Recomendaciones.....	63
6.	Conclusiones .....	63
	Referencias Bibliográficas.....	65

**Lista de Tablas**

TABLA 1. Resumen de fronteras comerciales analizadas ..... 21

TABLA 2. Resumen anual edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja ..... 22

TABLA 3. Resumen 2024 edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja ..... 23

TABLA 4. Resumen 2025 edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja ..... 23

TABLA 5. Caracterización de cargas edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja ..... 30

TABLA 6. Análisis de escenarios de contaminación armónica, biblioteca Barrancabermeja ..... 31

TABLA 7. Modelos propuestos bancos de condensadores, edificio de biblioteca.....31

TABLA 8. Modelos propuestos etapa fija, edificio de biblioteca Barrancabermeja ..... 33

TABLA 9. Alternativas de solución, edificio de biblioteca ..... 35

TABLA 10. Características técnicas APF. .... 36

TABLA 11. Costo de inversión inicial (CAPEX) solución tipo APF, sede Barrancabermeja ..... 37

TABLA 12. Análisis inversión solución tipo APF, sede Barrancabermeja ..... 37

TABLA 13. Resumen anual edificio de aulas, sede Barrancabermeja..... 39

TABLA 14. Resumen 2024 edificio de aulas, sede Barrancaberjema ..... 39

TABLA 15. Caracterización de cargas edificio de aulas, sede Barrancabermeja.....46

TABLA 16. Análisis de escenarios de contaminación armónica, biblioteca Barrancabermeja ..... 46

TABLA 17. Modelos propuestos bancos de condensadores, edificio de Biblioteca ..... 46

TABLA 18. Modelos propuestos etapa fija, edificio de biblioteca ..... 47

TABLA 19. Alternativas de solución, edificio de aulas ..... 48

TABLA 20. Características técnicas del banco de condensadores . .... 49

TABLA 21. Costo de inversión inicial (CAPEX) banco de condensadores, edificio de aulas .....	49
TABLA 22. Análisis inversión solución banco de condensadores, edificio de aulas .....	50
TABLA 23. Resumen anual edificio de coliseo, sede Bucaramanga.....	52
TABLA 24. Resumen 2025 edificio de coliseo, sede Bucaramanga.....	52
TABLA 25. Caracterización de cargas edificio de coliseo, sede Bucaramanga.....	58
TABLA 26. Análisis de escenarios de contaminación armónicas, biblioteca Barrancabermeja.....	59
TABLA 27. Características técnicas APF .....	59
TABLA 28. Costo de inversión inicial (CAPEX) solución APF, edificio coliseo.....	60
TABLA 29. Análisis inversión solución APF, sede coliseo.....	60

**Lista de Figuras**

FIGURA 1. Reporte consumo 20 de abril de 2024 edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja ..... 24

FIGURA 2. Reporte consumo mayo de 2025 edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja ..... 25

FIGURA 3. Reporte consumo mayo 1 de 2025 edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja ..... 25

FIGURA 4. Mapa de calor del consumo de energía reactiva inductiva durante mayo de 2025 edificio de biblioteca..... 26

FIGURA 5. Mapa de calor del consumo de energía reactiva inductiva penalizada durante mayo de 2025 edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja ..... 27

FIGURA 6. Pronostico del consumo de energía activa 2025, edificio de biblioteca ..... 28

FIGURA 7. Pronostico del consumo de energía reactiva inductiva 2025, edificio de biblioteca..... 28

figura 8. pronóstico 2025 penalizaciones económicas por inductiva penalizada, edificio de biblioteca ..... 29

FIGURA 9. Mapa de calor de corriente reactiva inductiva penalizada durante mayo 2025, edificio de biblioteca..... 30

FIGURA 10. Mapa de calor inductiva penalizada con alternativa a5, edificio de biblioteca..... 32

FIGURA 11. Mapa de calor registros capacitivos con alternativa a5, edificio de biblioteca ..... 32

FIGURA 12. Mapa de calor inductiva penalizada con alternativa a4, edificio de biblioteca..... 33

FIGURA 13. Mapa de calor registros capacitivos con alternativa a4, edificio de biblioteca ..... 34

FIGURA 14. Análisis de cargabilidad, edificio de biblioteca ..... 38

FIGURA 15. Reporte de consumo durante diciembre de 2024 edificio de aulas, sede Barrancabermeja ..... 40

FIGURA 16. Reporte consumo diciembre 20 de 2024 edificio de aulas, sede Barrancabermeja ..... 41

FIGURA 17. Mapa de calor consumo de energía activa diciembre de 2024 edificio de aulas, ..... 42

FIGURA 18. Mapa de calor consumo de energía reactiva inductiva penalizada diciembre de 2024 edificio de aulas, sede Barrancabermeja ..... 42

FIGURA 19. Pronostico consumo de energía activa 2025, edificio de aulas ..... 43

FIGURA 20. Pronostico consumo de energía reactiva 2025, edificio de aulas ..... 44

FIGURA 21. Pronóstico 2025 penalizaciones económicas por inductiva penalizada, edificio de aulas ..... 44

FIGURA 22. Mapa de calor corriente inductiva penalizada diciembre 2024, edificio de aulas ..... 45

FIGURA 23. Análisis de cargabilidad, edificio de aulas ..... 51

FIGURA 24. Reporte consumo enero de 2025 edificio de coliseo, sede Bucaramanga..... 53

FIGURA 25. Reporte consumo enero 1 de 2025 edificio de coliseo, sede Bucaramanga ..... 53

FIGURA 26. Mapa de calor consumo de energía activa enero de 2025 edificio de coliseo ..... 54

FIGURA 27. Mapa de calor consumo de energía capacitiva penalizada enero de 2025 edificio de coliseo.... 55

FIGURA 28. Pronostico consumo de energía activa 2025, edificio de coliseo ..... 56

FIGURA 29. Pronostico consumo de energía reactiva 2025, edificio de coliseo ..... 56

FIGURA 30. Pronóstico 2025 penalizaciones económicas por inductiva penalizada, edificio de aulas ..... 57

FIGURA 31. Mapa de calor corriente capacitiva penalizada enero 2025, edificio de coliseo..... 58

FIGURA 32. Análisis de cargabilidad, edificio de coliseo..... 61

### **Lista de Apéndices**

**NOTA: Ver Apéndices adjuntos en el repositorio institucional.**

APÉNDICE 1. Reportes anuales, cuenta de la biblioteca.

APÉNDICE 2. Reporte registros durante 5 días de energía capacitiva, cuenta de la biblioteca.

APÉNDICE 3. Mapas de calor de energía activa, reactiva inductiva y reactiva inductiva penalizada durante 2022, cuenta de la biblioteca.

APÉNDICE 4. Mapas de calor de energía activa, reactiva inductiva y reactiva inductiva penalizada durante 2023, cuenta de la biblioteca.

APÉNDICE 5. Mapas de calor de energía activa, reactiva inductiva y reactiva inductiva penalizada durante 2024, cuenta de la biblioteca.

APÉNDICE 6. Mapas de calor de energía activa, reactiva inductiva y reactiva inductiva penalizada durante 2025, cuenta de la biblioteca.

APÉNDICE 7. Formulación teórica dimensionamiento de filtros activos.

APÉNDICE 8. Formulación teórica distorsión armónica total – THD.

APÉNDICE 9. Resultados del modelado en Excel para la alternativa A1 banco de condensadores, cuenta de la biblioteca.

APÉNDICE 10. Resultados del modelado en Excel para la alternativa A3 banco de condensadores, cuenta de la biblioteca.

APÉNDICE 11. Resultados del modelado en Excel para la alternativa A5 banco de condensadores, cuenta de la biblioteca.

APÉNDICE 12. Resultados del modelado en Excel para la alternativa A1 compensación en carga, cuenta de la biblioteca.

APÉNDICE 13. Resultados del modelado en Excel para la alternativa A2 compensación en carga, cuenta de la biblioteca.

APÉNDICE 14. Resultados del modelado en Excel para la alternativa A3 compensación en carga, cuenta de la biblioteca.

APÉNDICE 15. Resultados del modelado en Excel para la alternativa A4 compensación en carga, cuenta de la biblioteca.

APÉNDICE 16. Resultados del modelado en Excel para la alternativa A5 compensación en carga, cuenta de la biblioteca.

APÉNDICE 17. Ficha técnica del filtro activo tipo APF.

## DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN 15 DE ENERGÍA REACTIVA

APÉNDICE 18. Reportes anuales, cuenta de aulas.

APÉNDICE 19. Mapas de calor de energía activa, reactiva inductiva y reactiva inductiva penalizada durante 2023, cuenta de aulas.

APÉNDICE 20. Mapas de calor de energía activa, reactiva inductiva y reactiva inductiva penalizada durante 2024, cuenta de aulas.

APÉNDICE 21. Mapas de calor de energía activa, reactiva inductiva y reactiva inductiva penalizada durante 2025, cuenta de aulas.

APÉNDICE 22. Resultados del modelado en Excel para la alternativa A1 banco de condensadores, cuenta de aulas.

APÉNDICE 23. Resultados del modelado en Excel para la alternativa A3 banco de condensadores, cuenta de aulas.

APÉNDICE 24. Resultados del modelado en Excel para la alternativa A5 banco de condensadores, cuenta de aulas.

APÉNDICE 25. Resultados del modelado en Excel para la alternativa A1 compensación en carga, cuenta de aulas.

APÉNDICE 26. Resultados del modelado en Excel para la alternativa A3 compensación en carga, cuenta de aulas.

APÉNDICE 27. Resultados del modelado en Excel para la alternativa A5 compensación en carga, cuenta de aulas.

APÉNDICE 28. Ficha técnica capacitor Can SDY 10/12 kVAR.

APÉNDICE 29. Ficha técnica capacitor Can SDY 15.5/18.6 kVAR.

APÉNDICE 30. Ficha técnica capacitor Can SDY 28.8/34.6 kVAR.

APÉNDICE 31. Reportes anuales, cuenta de coliseo.

APÉNDICE 32. Mapas de calor de energía activa, reactiva capacitiva y reactiva capacitiva penalizada durante 2024, cuenta de coliseo.

APÉNDICE 33. Mapas de calor de energía activa, reactiva capacitiva y reactiva capacitiva penalizada durante 2025, cuenta de coliseo.

## Resumen

**Título:** Diseño de una solución de eficiencia energética y compensación de energía reactiva basada en filtros armónicos activos (APF) para diferentes sedes de un usuario final de carácter institucional.<sup>1</sup>

**Autor:** Carlos Daniel Poveda Peña.<sup>2</sup>

**Palabras Clave:** Calidad de energía, Compensación de energía reactiva, Eficiencia energética, Filtros Armónicos Activos (APF).

**Descripción:** Este proyecto surge como respuesta a una problemática energética identificada en el sistema eléctrico de tres sedes de la institución educativa UIS que, con el paso del tiempo, ha experimentado un crecimiento significativo en su infraestructura y en la incorporación de tecnologías. Este desarrollo ha traído consigo un aumento en la presencia de cargas altamente inductivas —como sistemas de climatización, equipos de cómputo, iluminación electrónica y dispositivos de laboratorio— que han afectado directamente la calidad del suministro eléctrico. Como consecuencia, se ha registrado un consumo de energía reactiva inductiva con oportunidad de penalizaciones económicas recurrentes por el transporte de energía no productiva.

Frente a este panorama, el proyecto propone el diseño de una solución integral de eficiencia energética y compensación de energía reactiva, basada en el uso de Filtros Armónicos Activos (APF). Esta solución se apoya en el análisis detallado de matrices energéticas históricas, con el fin de caracterizar y predecir el comportamiento eléctrico de cada sede y evaluar la viabilidad técnica y económica de su implementación. El objetivo es mejorar la calidad del suministro eléctrico, reducir la cargabilidad de los transformadores, reducir las pérdidas por energía reactiva y eliminar o mitigar las penalizaciones económicas. Todo esto con el propósito de lograr una operación institucional más eficiente, sostenible y alineada con los lineamientos regulatorios vigentes.

---

<sup>1</sup> Trabajo de grado.

<sup>2</sup> Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Manuel José Ortiz Rangel, Magister en Ingeniería Eléctrica. Codirector: Gabriel Ordóñez Plata, PhD en Ingeniería Industrial.

**Abstract**

**Title:** Design of an energy efficiency and reactive power compensation solution based on active power filters (APF) for different facilities of and institutional end user.<sup>3</sup>

**Author(s):** Carlos Daniel Poveda Peña <sup>4</sup>

**Key Words:** Power quality, Compensation, Energy efficiency, Active Power Filters (APF).

**Description:** This project arises in response to an energy-related issue identified within the electrical systems of three campuses of the educational institution UIS. Over time, these facilities have undergone significant infrastructure expansion and technological integration. This development has led to an increased presence of highly inductive loads—such as HVAC systems, computing equipment, electronic lighting, and laboratory devices—which have directly impacted the quality of the electrical supply. As a result, there has been a notable consumption of inductive reactive energy, with recurring risks of financial penalties due to the transmission of non-productive energy.

To address this situation, the project proposes the design of a comprehensive solution focused on energy efficiency and reactive power compensation, based on the implementation of Active Power Filters (APF). The solution is supported by a detailed analysis of historical energy matrices to characterize and predict the electrical behavior of each campus and assess the technical and economic feasibility of the proposed implementation. The objective is to enhance power quality, reduce transformer loading, minimize reactive energy losses, and eliminate or mitigate financial penalties. Ultimately, the project aims to achieve a more efficient and sustainable institutional operation, aligned with current regulatory frameworks.

---

<sup>3</sup> Degree Work

<sup>4</sup> Faculty of Engineering Physicochemical, School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Electric Engineering. Director: Manuel José Ortiz Rangel, Master's in Electrical Engineering. Codirector: Gabriel Ordóñez Plata, PhD in Industrial Engineering

## **Introducción**

La calidad de la energía eléctrica es un componente esencial en la operación de sistemas eléctricos modernos, especialmente en entornos institucionales donde la continuidad del servicio, la eficiencia operativa y la protección de los equipos sensibles son factores críticos. En los últimos años, el crecimiento acelerado de la infraestructura tecnológica en instituciones educativas ha traído consigo un aumento significativo en la presencia de cargas no lineales. Equipos como sistemas de climatización, computadores, iluminación electrónica y dispositivos de laboratorio generan distorsiones en la forma de onda de corriente y voltaje, afectando directamente la estabilidad del sistema eléctrico.

Estas distorsiones, conocidas como armónicos, junto con el consumo excesivo de energía reactiva, provocan una serie de consecuencias técnicas y económicas: sobrecarga de transformadores, reducción de la vida útil de los equipos, interrupciones no programadas y penalizaciones económicas por parte del operador de red. En este contexto, la eficiencia energética y la calidad del suministro eléctrico se convierten en prioridades estratégicas para las instituciones, no solo por razones técnicas, sino también por su impacto en la sostenibilidad operativa y financiera.

Frente a esta problemática, han surgido diversas tecnologías de compensación, entre las que se destacan los bancos de capacitores y los Filtros Armónicos Activos (APF). Estos últimos representan una solución avanzada y flexible, capaz de adaptarse dinámicamente a las condiciones del sistema, mitigando armónicos y compensando energía reactiva en tiempo real. Su implementación permite mejorar el factor de potencia, reducir el contenido armónico total (THD) y liberar capacidad en los transformadores, lo que se traduce en una operación más eficiente y confiable.

# DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN 19 DE ENERGÍA REACTIVA

Este proyecto se desarrolla en tres sedes de la institución que ha evidenciado un deterioro progresivo en la calidad de su suministro eléctrico, reflejado en altos niveles de consumo de energía reactiva inductiva y penalizaciones económicas recurrentes. A partir del análisis de matrices energéticas históricas, se propone el diseño de una solución integral basada en APF de la marca, con el objetivo de caracterizar el comportamiento eléctrico de cada sede y evaluar la viabilidad técnica y económica de la implementación.

El proyecto se enmarca en el cumplimiento de la normativa vigente en Colombia, particularmente la Resolución CREG 101 035 de 2024<sup>5</sup>, que establece requisitos mínimos de eficiencia energética y calidad del servicio para usuarios conectados al Sistema Interconectado Nacional. De esta manera, la propuesta no solo responde a una necesidad técnica, sino también a una responsabilidad institucional de operar bajo criterios de sostenibilidad, eficiencia y cumplimiento regulatorio.

---

<sup>5</sup> CREG 101 035 de 2024 “Mediante la cual se establecen nuevas condiciones para el control del factor de potencia y la penalización por consumo de energía reactiva, promoviendo el uso racional y eficiente de la energía eléctrica y garantizando la calidad del servicio en el Sistema Interconectado Nacional”.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivos General**

Diseñar una solución de eficiencia energética y compensación de energía reactiva inductiva y capacitiva, basada en el análisis de matrices energéticas disponibles, con el propósito de mejorar la calidad de la energía, optimizar la cargabilidad de los transformadores y reducir las penalizaciones económicas derivadas del transporte de energía reactiva.

## 1.2 Objetivos Específicos

Analizar las matrices de consumo de energía activa e inductiva en las fronteras comerciales de tres sedes de un usuario institucional, identificando los patrones de consumo, evaluando la existencia de sistemas de compensación actuales y determinando las principales fuentes de distorsión armónica y energía reactiva.

Determinar las posibles alternativas de solución, realizando una comparación detallada entre estas alternativas para identificar la opción que genere el mayor impacto positivo en el sistema de cada sede.

Estimar un plan de inversión, considerando la prescripción de la solución, asegurando la viabilidad técnica y económica de la implementación.

Evaluar el impacto de la solución en la calidad de la energía y la cargabilidad de los transformadores, mediante la comparación de los parámetros eléctricos antes y después de la instalación de los APF.

## 2. Diagnóstico de la situación

En el departamento de Santander se encuentra la Universidad Industrial de Santander (UIS), una institución que ha avanzado en la modernización de sus instalaciones mediante la incorporación de nuevas tecnologías, tales como sistemas de iluminación eficiente, equipos de climatización, equipos de cómputo y UPS. Este desarrollo, aunque positivo desde el punto de vista académico y operativo, ha generado impactos directos sobre la calidad del suministro eléctrico.

Actualmente, la universidad cuenta con sedes en los municipios de Bucaramanga, Barbosa, Barrancabermeja, Socorro, Málaga, Piedecuesta y Floridablanca. De estas, se han identificado tres fronteras comerciales con diversidad de cargas: una orientada al ambiente de aprendizaje, otra de apoyo a la misión institucional y una dedicada a la actividad deportiva.

## DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN 21 DE ENERGÍA REACTIVA

Estas edificaciones presentan problemas relacionados con el consumo excesivo de energía reactiva, lo que ha derivado en penalizaciones económicas anuales de hasta 145 millones de pesos, como se muestra en la Tabla 2.

El presente diagnóstico se enfoca en tres edificaciones específicas: el edificio de aulas de Barrancabermeja, el edificio de biblioteca de Barrancabermeja y el edificio coliseo de Bucaramanga. Para cada una de ellas se propone realizar un análisis detallado de los consumos energéticos, a partir de las matrices proporcionadas por el comercializador Ruitoque S.A. E.S.P., incluyendo energía activa, energía reactiva inductiva y energía reactiva capacitiva. Este análisis tiene como propósito caracterizar el comportamiento eléctrico de cada sede, identificar patrones de consumo, evaluar condiciones críticas y establecer las bases técnicas necesarias para seleccionar la solución de compensación más adecuada en cada caso.

Cabe aclarar que este trabajo corresponde a una investigación académica, por lo que se fundamenta en criterios técnicos, comerciales y financieros disponibles al momento de su desarrollo. La información base para el diseño y evaluación de soluciones fue suministrada por Schneider Electric, empresa que facilitó el acceso a documentación técnica, precios de referencia y criterios de dimensionamiento.

Con el fin de ampliar el espectro de análisis y evitar sesgos hacia una única marca, se intentó contactar a dos fabricantes adicionales de filtros activos de potencia. Sin embargo, no se obtuvo respuesta ni acceso a información técnica o comercial por parte de estas empresas, lo que limitó la posibilidad de realizar comparaciones más amplias.

# DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA 22

**Tabla 1. Resumen de fronteras comerciales analizadas.**

Frontera comercial	Cargas principales	Naturaleza de la Carga	Comentarios Relevantes
Biblioteca	Iluminación, Equipos de cómputo, Aire acondicionado (con variadores), otros (motores, resistivos)	No lineal (drivers LED, balastos electrónicos), No lineal (fuentes conmutadas), No lineal (VFD, inversores)	Alta contribución de armónicos por iluminación masiva y cómputo simultáneo. Los VFD generan armónicos permanentes dependientes de la carga mecánica. Los Equipos lineales no generan distorsión significativa.
Aulas	Iluminación LED, Equipos TIC (portátiles, routers, cargadores), Aires acondicionado tipo split	No lineal (drivers LED con o sin PFC), No lineal (fuentes conmutadas), Mixto: con o sin inversores / VFD	La distorsión depende de la calidad de drivers LED y presencia de PFC. TIC individuales generan bajo aporte, pero en conjunto son relevantes. Los aires acondicionados sin VFD aportan menos armónicos, con VFD los incrementan.
Coliseo	Iluminación LED, sistemas de sonido y audiovisuales, ventilación y climatización	No lineal (drivers LED, SMPS alta potencia), Mixto (amplificadores lineales y fuentes conmutadas), No lineal (VFD), lineal (motores directos)	La Iluminación depende de la calidad del driver y si incluye PFC Los sistemas de sonido presentan Alta distorsión por uso de amplificadores y fuentes conmutadas. En ventilación Los VFD aportan armónicos permanentes; motores directos generan solo factor de potencia bajo.

## 2.1 Descripción general edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja.

La sede corresponde a la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander (UIS) ubicada en Barrancabermeja, espacio donde se concentra una parte significativa de la comunidad estudiantil para el desarrollo de actividades académicas y misionales. El sistema eléctrico de la sede presenta una alta presencia de cargas no lineales, entre las que se destacan equipos de cómputo, sistemas de iluminación y equipos de climatización, lo que genera condiciones desfavorables para la calidad del suministro eléctrico.

### 2.1.1 Análisis anual de consumos energéticos, edificio de biblioteca.

Se dispone de registros históricos de consumo energético desde febrero de 2022 hasta mayo de 2025, los cuales permiten caracterizar el comportamiento eléctrico actual de esta sede. A partir del análisis de estos datos, se evidencia una tendencia creciente aproximadamente del

**DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN 23  
DE ENERGÍA REACTIVA**

46 % en el consumo de energía activa y energía reactiva inductiva entre los años 2022 y 2024, según el reporte anual consignado en la **Tabla 2**. Este comportamiento ha derivado en penalizaciones económicas cada vez más significativas, conforme a lo establecido en la Resolución CREG 101 035 de 2024. Los valores consolidados de consumo anual se encuentran disponibles en el **APÉNDICE 1**.

**Tabla 2. Resumen anual edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja.**

RESUMEN DE INDICADORES 2022 - 2025								
AÑO	kWh	kVarh	kVarh PEN.	kVarh (C)	MES PEN.	FACTOR	TARIFA P.	\$ PEN. COP
2022	126,212	112,418	52,318.00	0.00	11	1	185,86	10,147,474
2023	234,095	188,456	76,035.00	0.00	12	6	189,27	67,161,651
2024	235,145	209,900	96,159.00	1,419.00	12	12	185,23	145,032,667
2025	113,513	106,016	50,553.00	0.00	5	12	194.6	120,228,032

**2.1.2 Análisis mensual de consumos energéticos, edificio de biblioteca.**

El comportamiento mensual de esta sede presenta dos perfiles diferenciados. Durante los años 2022 y 2023 se observan patrones de consumo atípicos para un usuario institucional, atribuibles a condiciones de operación no estándar. Los reportes correspondientes se encuentran en el **APÉNDICE 1**. Por otro lado, los años 2024 y 2025 muestran registros más representativos de una operación institucional regular, con picos de consumo en los meses: febrero, marzo, abril, mayo, agosto, septiembre, octubre y noviembre, que presentan mayor actividad académica.

**Tabla 3. Resumen 2024 edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja.**

RESUMEN DE INDICADORES								
MES	kWh	kVarh	kVarh PEN.	kVarh (C)	DIAS PEN.	FACTOR	TARIFA P.	\$ PEN.
1	6,633	5,775	3,003.00		31	6	179.50	3,234,231
2	25,073	22,473	10,197.00		29	6	178.63	10,928,941
3	26,407	22,895	10,114.50		31	6	187.65	11,387,916
4	27,806	23,456	9,999.00	1,419.00	30	6	189.69	11,380,262
5	23,331	21,325	9,906.60		31	6	182.62	10,854,860
6	15,754	14,764	7,177.50		30	7	180.20	9,053,699
7	16,771	15,246	7,114.80		31	8	189.66	10,795,144
8	19,417	17,411	7,992.60		31	9	189.52	13,632,818
9	21,186	18,566	8,236.80		30	10	180.61	14,876,484
10	21,325	18,850	8,461.20		31	11	181.17	16,862,072
11	19,246	17,563	8,203.80		30	12	188.88	18,594,405
12	12,197	11,576	5,751.90		31	12	194.60	13,431,837
<b>TOTAL</b>	<b>235,145</b>	<b>209,900</b>	<b>96,159</b>	<b>1,419</b>	<b>366</b>			<b>145,032,667</b>

## DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA 24

En la **Tabla 3**, correspondiente al año 2024, se destaca un registro de energía reactiva capacitiva en el mes de abril, comportamiento no habitual en esta sede, lo que sugiere un intento fallido de compensación de energía inductiva.

**Tabla 4. Resumen 2025 edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja.**

RESUMEN DE INDICADORES								
MES	kWh	kVarh	kVarh PEN.	kVarh (C)	DIAS PEN.	FACTOR	TARIFA P.	\$ PEN.
1	7,649	8,184	4,676.10		31	12	186.89	10,486,996
2	24,578	22,156	10,071.60		28	12	194.60	23,519,200
3	28,367	25,582	11,616.00		31	12	187.98	26,202,908
4	22,315	20,467	9,612.90		30	12	207.53	23,939,582
5	30,604	29,627	14,576.10		31	12	206.27	36,079,346
6						12		
7						12		
8						12		
9						12		
10						1		
11						1		
12						1		
<b>TOTAL</b>	113,513	106,016	50,553		151			120,228,032

En la **Tabla 4**, correspondiente al año 2025, se identifican los valores más críticos de energía inductiva penalizada, especialmente durante febrero, marzo, abril y mayo, los meses de mayor actividad institucional, lo que traduce en una necesidad urgente de compensación de energía reactiva inductiva.

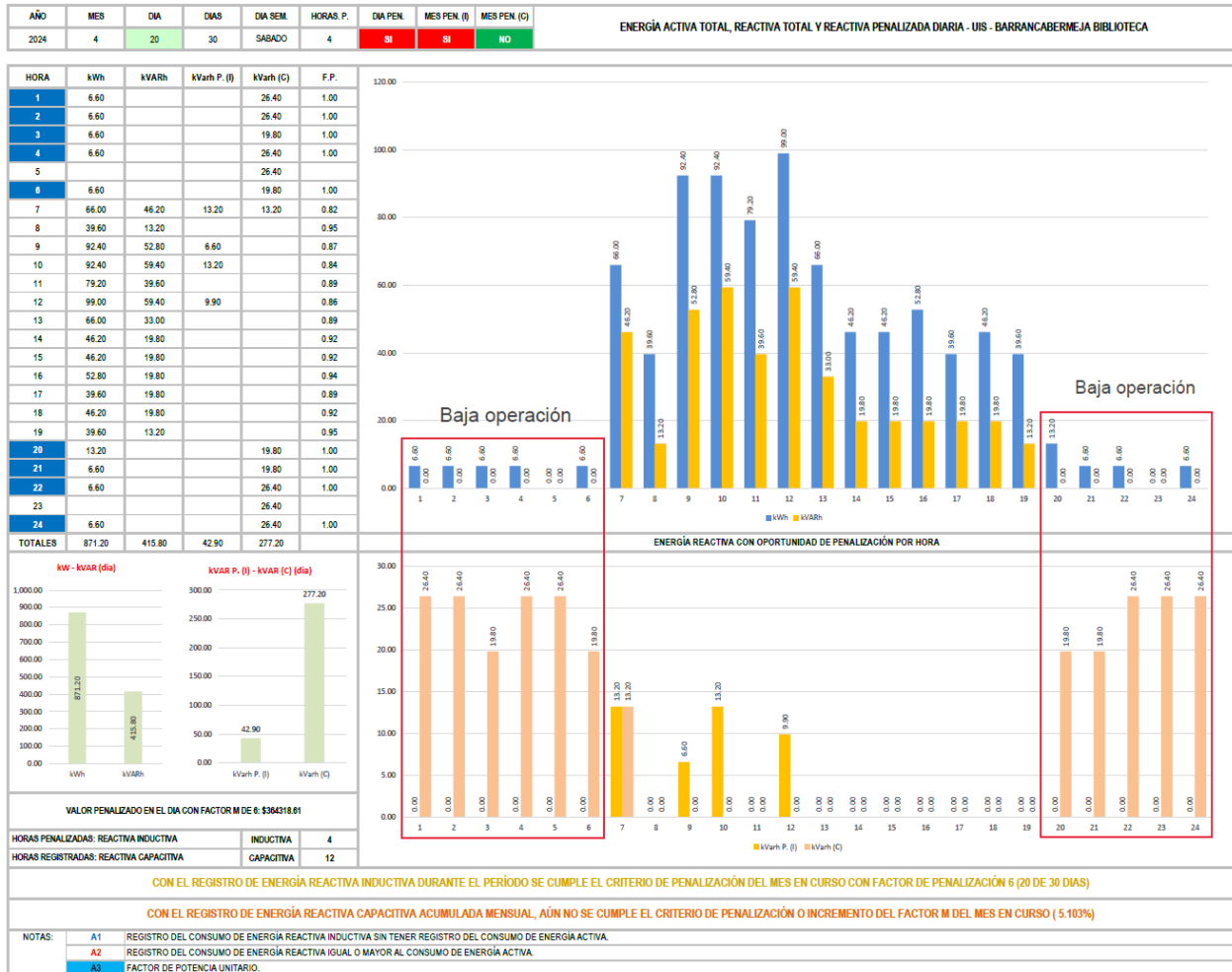
### 2.1.3 Análisis diario de consumos energéticos, edificio de biblioteca.

Con base en la particularidad detectada durante 5 días de abril de 2024 (**Tabla 3**), se realiza un análisis para uno de los días en que se presentó registro de energía capacitiva. En la **Figura 1**, se observa que durante las horas de baja operación (madrugada y noche), el comercializador reportó excedentes de energía capacitiva en la frontera comercial, mientras que durante las horas de operación normal (día), se registraron momentos sin energía inductiva penalizable, condición no reportada previamente. El comportamiento sugiere un intento de

# DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN 25 DE ENERGÍA REACTIVA

compensación que operó durante cinco días, como se evidencia en los reportes consignados en el **APÉNDICE 2**, pero que salió de operación posiblemente por presencia de armónicos, fallas de conexión, deterioro del equipo u otros.

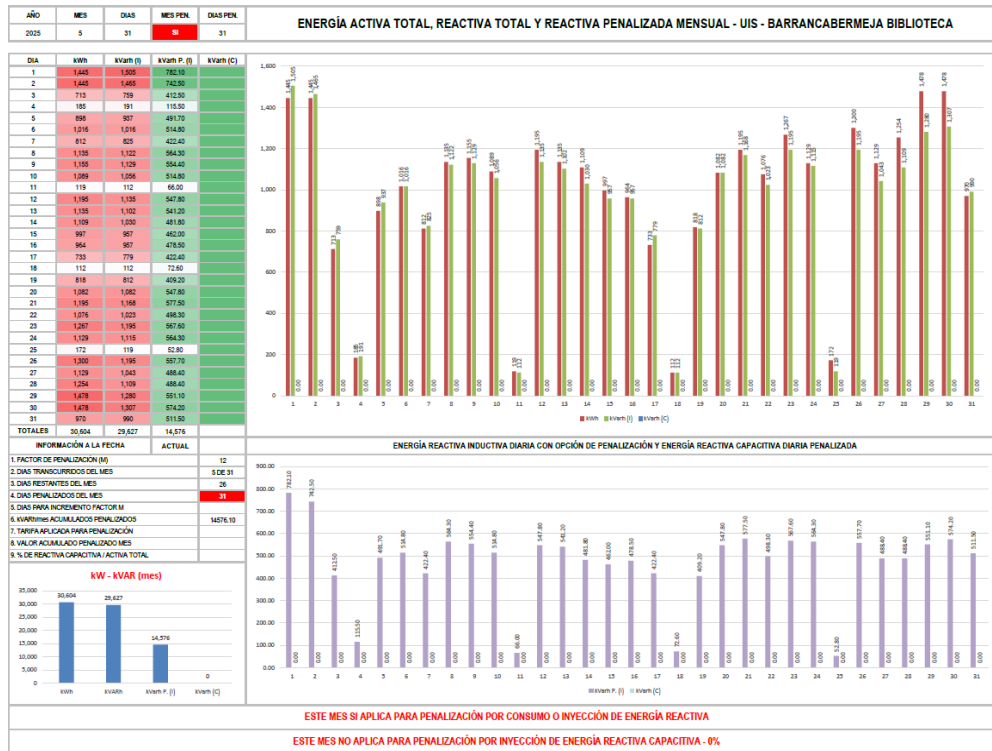
**Figura 1. Reporte consumo 20 de abril de 2024 edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja.**



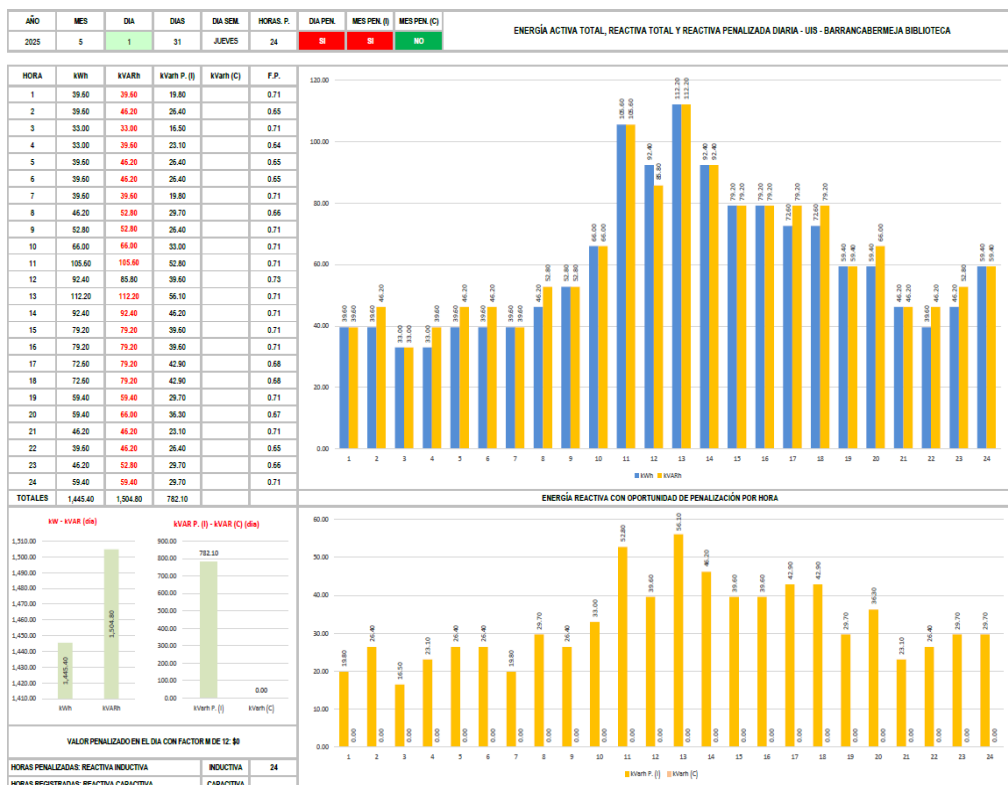
En la **Figura 2** se muestra el comportamiento general del consumo energético durante mayo de 2025, mes en el que se registraron los valores más altos de penalización económica. Como caso de estudio, se analiza el día 1 de mayo, el cual presentó el mayor consumo de energía reactiva inductiva penalizada. En la **Figura 3** se detalla el comportamiento horario de la energía activa, energía reactiva inductiva, energía penalizada y el factor de potencia, el cual se mantuvo por debajo de 0,90 durante todo el día, incumpliendo lo establecido en la Resolución CREG 101 035 de 2024.

# DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN 26 DE ENERGÍA REACTIVA

**Figura 2. Reporte consumo mayo de 2025 edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja.**



**Figura 3. Reporte consumo mayo 1 de 2025 edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja.**



# DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN 27 DE ENERGÍA REACTIVA

Este comportamiento evidencia que la sede está siendo penalizada de forma continua (durante las 24 horas), tanto en condiciones de alta operación como en momentos de baja demanda, lo que podría estar asociado a pérdidas por magnetización del transformador principal.

## 2.1.4 Análisis mapas de calor de consumos energéticos, edificio de biblioteca.

Como complemento al diagnóstico, se presentan los mapas de calor que permiten visualizar los días y horas críticas en términos de consumo de energía reactiva inductiva, con el fin de identificar los picos máximos a compensar.

**Figura 4. Mapa de calor del consumo de energía reactiva inductiva durante mayo de 2025, edificio de biblioteca.**

2025																								DIAS		31				
kVarh INDUCTIVOS TOTALES REGISTRADOS POR DIA Y HORA (YA COMPENSADOS) - UIS - BARRANCABERMEJA BIBLIOTECA																								kVarh TOT.						
DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTAL DIA	MIN.	MAX.			
1	JU	39.6	46.2	33.0	39.6	46.2	46.2	39.6	52.8	52.8	66.0	105.6	85.8	112.2	92.4	79.2	79.2	79.2	59.4	66.0	46.2	46.2	52.8	59.4	1,504.80	33.0	112.2			
2	VI	52.8	46.2	46.2	46.2	33.0	39.6	52.8	66.0	79.2	79.2	79.2	72.6	79.2	79.2	79.2	72.6	66.0	66.0	59.4	52.8	52.8	46.2	39.6	1,465.20	33	79.2			
3	SA	6.6		6.6	6.6		33.0	46.2	72.6	59.4	59.4	59.4	66.0	46.2	39.6	52.8	52.8	59.4	46.2	19.8	6.6	6.6		6.6	6.6	759.00	6.6	72.6		
4	DO	6.6		6.6	6.6	6.6			39.6	52.8	6.6		6.6	6.6	6.6		6.6	6.6				6.6	6.6		6.6	6.6	191.40	6.6	52.8	
5	LU	6.6	6.6		6.6	26.4	72.6	46.2	39.6	46.2	46.2	66.0	59.4	59.4	59.4	66.0	59.4	59.4	66.0	59.4	46.2	19.8	6.6	6.6	6.6	937.20	6.6	72.6		
6	MA	6.6	6.6		6.6	6.6	46.2	46.2	52.8	59.4	66.0	72.6	66.0	72.6	72.6	72.6	59.4	72.6	59.4	59.4	26.4		6.6	6.6	6.6	1,016.40	6.6	72.6		
7	MI	6.6		6.6	6.6	6.6	39.6	46.2	59.4	59.4	59.4	46.2	46.2	39.6	46.2	66.0	59.4	46.2	39.6	26.4			6.6	6.6	6.6	825.00	6.6	66		
8	JU		6.6	6.6	6.6		46.2	72.6	79.2	79.2	85.8	85.8	85.8	59.4	46.2	46.2	79.2	85.8	72.6	59.4	52.8	52.8	6.6	6.6		1,122.00	6.6	85.8		
9	VI	6.6	6.6		6.6	6.6	19.8	72.6	46.2	59.4	72.6	85.8	79.2	66.0	59.4	72.6	79.2	72.6	79.2	66.0	66.0	59.4	39.6	6.6		1,128.60	6.6	85.8		
10	SA	6.6	6.6	6.6		6.6	26.4	66.0	79.2	85.8	79.2	85.8	79.2	85.8	72.6	79.2	72.6	79.2	72.6	39.6	6.6		6.6	6.6	6.6	1,056.00	6.6	85.8		
11	DO		6.6	6.6	6.6		6.6	6.6	6.6	6.6		6.6	6.6	6.6		6.6	6.6		6.6	6.6		6.6	6.6		6.6	6.6	112.20	6.6	6.6	
12	LU		6.6	6.6		26.4	79.2	66.0	59.4	72.6	72.6	59.4	66.0	79.2	85.8	85.8	79.2	66.0	59.4	52.8	26.4	6.6	6.6		6.6	6.6	1,135.20	6.6	85.8	
13	MA	6.6	6.6		6.6	6.6	46.2	52.8	52.8	66.0	72.6	79.2	79.2	66.0	59.4	85.8	79.2	99.0	79.2	59.4	66.0	19.8	6.6		6.6	1,102.20	6.6	99		
14	MI	6.6	6.6		6.6	6.6	33.0	39.6	39.6	39.6	39.6	72.6	79.2	79.2	79.2	85.8	85.8	79.2	85.8	66.0	59.4	26.4	6.6		6.6	1,029.60	6.6	85.8		
15	JU	6.6		6.6	6.6	6.6	6.6	72.6	66.0	66.0	59.4	66.0	59.4	66.0	52.8	59.4	72.6	66.0	59.4	59.4	52.8	33.0	6.6		6.6	957.00	6.6	72.6		
16	VI	6.6	6.6		6.6	6.6	13.2	66.0	66.0	79.2	72.6	79.2	52.8	66.0	46.2	39.6	39.6	52.8	66.0	52.8	46.2	39.6	39.6	6.6	6.6	957.00	6.6	79.2		
17	SA		6.6	6.6		6.6	6.6	33.0	72.6	79.2	79.2	72.6	66.0	6.6	6.6	72.6	72.6	66.0	59.4	46.2		6.6	6.6	6.6		778.80	6.6	79.2		
18	DO	6.6	6.6		6.6	6.6	6.6		6.6	6.6		6.6	6.6	6.6		6.6	6.6		6.6	6.6		6.6	6.6		6.6	6.6	112.20	6.6	6.6	
19	LU	6.6	6.6	6.6		6.6	6.6	66.0	72.6	66.0	59.4	46.2	39.6	46.2	39.6	46.2	33.0	59.4	59.4	59.4	52.8	19.8	6.6	6.6		811.80	6.6	72.6		
20	MA	6.6	6.6		6.6	6.6	33.0	59.4	66.0	79.2	79.2	72.6	79.2	59.4	59.4	79.2	72.6	79.2	66.0	66.0	59.4	33.0	6.6		6.6	1,082.40	6.6	79.2		
21	MI	6.6	6.6		6.6	6.6	33.0	66.0	66.0	85.8	85.8	85.8	85.8	79.2	72.6	72.6	85.8	85.8	85.8	66.0	46.2	26.4	6.6		6.6	1,158.20	6.6	85.8		
22	JU	6.6		6.6	6.6		39.6	59.4	46.2	52.8	66.0	72.6	66.0	66.0	66.0	72.6	99.0	92.4	79.2	59.4	52.8		6.6	6.6		1,023.00	6.6	99		
23	VI	6.6		6.6	6.6	6.6	39.6	59.4	66.0	79.2	79.2	79.2	66.0	66.0	66.0	79.2	85.8	99.0	85.8	59.4	59.4	52.8	39.6		6.6	1,194.60	6.6	99		
24	SA	6.6		6.6	6.6	6.6	19.8	99.0	85.8	79.2	85.8	85.8	85.8	85.8	79.2	85.8	72.6	79.2	72.6	52.8	6.6		6.6	6.6		1,115.40	6.6	99		
25	DO	6.6	6.6		6.6	6.6	6.6		6.6	6.6	6.6	6.6		6.6	6.6		6.6	6.6		6.6	6.6		6.6	6.6		6.6	6.6	118.80	6.6	6.6
26	LU	6.6		6.6	6.6		33.0	79.2	72.6	59.4	72.6	72.6	66.0	72.6	72.6	72.6	85.8	85.8	85.8	79.2	72.6	52.8	33.0	6.6		1,194.60	6.6	85.8		
27	MA	6.6		6.6	6.6	6.6	39.6	46.2	39.6	66.0	72.6	72.6	79.2	72.6	59.4	79.2	85.8	66.0	79.2	59.4	39.6	39.6	13.2	6.6		1,042.80	6.6	85.8		
28	MI	6.6	6.6	6.6		6.6	33.0	66.0	59.4	66.0	26.4	79.2	85.8	85.8	85.8	85.8	92.4	79.2	79.2	46.2	39.6	46.2	19.8		6.6	1,108.80	6.6	92.4		
29	JU	6.6		6.6	6.6		39.6	66.0	66.0	72.6	79.2	79.2	99.0	85.8	85.8	92.4	92.4	85.8	79.2	79.2	66.0	59.4	26.4		6.6	1,280.40	6.6	99		
30	VI	6.6		6.6	6.6	6.6	26.4	66.0	59.4	79.2	85.8	79.2	79.2	85.8	79.2	85.8	79.2	92.4	99.0	85.8	72.6	66.0	33.0	26.4		1,306.80	6.6	99		
31	SA	6.6	6.6		6.6	6.6	19.8	66.0	79.2	79.2	79.2	72.6	79.2	79.2	79.2	72.6	79.2	66.0	79.2	13.2		6.6	6.6	6.6		990.00	6.6	79.2		
TOTALES		257.4	211.2	198.0	244.2	270.6	943.8	1,636.8	1,729.2	1,920.6	1,900.8	2,039.4	1,973.4	1,874.4	1,755.6	1,960.2	2,099.2	2,059.2	1,993.2	1,570.8	1,260.6	864.6	442.2	250.8	211.2	29,627.4	DIAS R.	31		

A continuación, en la **Figura 5** se ilustra la energía reactiva inductiva penalizada, atribuida principalmente al funcionamiento de los sistemas de iluminación, equipos de cómputo y aire acondicionado.

# DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN 28 DE ENERGÍA REACTIVA

**Figura 5. Mapa de calor del consumo de energía reactiva inductiva penalizada durante mayo de 2025 edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja.**

2025		kVarh INDUCTIVOS PENALIZADOS POR DIA Y HORA (YA COMPENSADOS) - UIS - BARRANCABERMEJA BIBLIOTECA																								DIAS PEN.	DIAS	31	
5																										31			
DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTAL DIA	MIN.	MAX.		
1	JU	19.8	26.4	16.5	23.1	26.4	26.4	19.8	29.7	26.4	33.0	52.8	39.6	56.1	46.2	39.6	39.6	42.9	42.9	29.7	36.3	23.1	26.4	29.7	29.7	782.10	16.5	56.1	
2	VI	33.0	23.1	26.4	26.4	16.5	23.1	33.0	33.0	39.6	36.3	39.6	29.7	42.9	39.6	33.0	39.6	33.0	33.0	33.0	26.4	29.7	29.7	19.8	23.1	742.50	16.5	42.9	
3	SA	3.3		6.6	3.3		19.8	23.1	42.9	29.7	29.7	29.7	36.3	23.1	19.8	29.7	29.7	33.0	26.4	9.9	3.3	3.3		6.6	3.3	412.50		42.9	
4	DO	3.3		6.6	3.3	3.3		23.1	29.7	3.3		6.6	3.3	3.3		3.3	3.3			6.6	3.3			3.3	3.3	115.50		29.7	
5	LU	3.3	3.3		6.6	13.2	42.9	26.4	16.5	23.1	23.1	29.7	29.7	33.0	33.0	26.4	29.7	36.3	33.0	29.7	6.6	3.3	6.6	3.3	6.6	3.3	491.70		42.9
6	MA	3.3	3.3		3.3	6.6	23.1	23.1	29.7	26.4	33.0	36.3	29.7	39.6	39.6	33.0	33.0	23.1	36.3	33.0	36.3	13.2		6.6	3.3	514.80		39.6	
7	MI	3.3		3.3	6.6	3.3	19.8	26.4	29.7	29.7	29.7	19.8	23.1	23.1	23.1	19.8	36.3	26.4	29.7	26.4	23.1	13.2		3.3	3.3	422.40		36.3	
8	JU		6.6	3.3	3.3		26.4	39.6	39.6	33.0	42.9	39.6	42.9	29.7	26.4	16.5	36.3	39.6	36.3	33.0	29.7	29.7	6.6	3.3		564.30		42.9	
9	VI	3.3	6.6		3.3	3.3	13.2	42.9	23.1	26.4	36.3	42.9	36.3	36.3	29.7	33.0	36.3	29.7	36.3	29.7	36.3	29.7	19.8			554.40		42.9	
10	SA	3.3	3.3	3.3		3.3	16.5	33.0	39.6	39.6	33.0	39.6	33.0	42.9	36.3	39.6	36.3	42.9	36.3	16.5	3.3	6.6		3.3	3.3	514.80		42.9	
11	DO		3.3	3.3	3.3		6.6	3.3	3.3	6.6		3.3	3.3	3.3		3.3	3.3		6.6	3.3		3.3		3.3	3.3	66.00		6.6	
12	LU		6.6	3.3		16.5	42.9	36.3	29.7	29.7	36.3	33.0	26.4	33.0	39.6	33.0	36.3	29.7	33.0	33.0	26.4	16.5	3.3	3.3		547.80		42.9	
13	MA	3.3	6.6		3.3	3.3	26.4	26.4	26.4	33.0	29.7	39.6	36.3	36.3	29.7	39.6	29.7	46.2	36.3	29.7	42.9	6.6	6.6		3.3	541.20		46.2	
14	MI	3.3	6.6		3.3	3.3	19.8	16.5	16.5	19.8	13.2	33.0	39.6	39.6	36.3	36.3	39.6	29.7	36.3	33.0	33.0	13.2	6.6		3.3	481.80		39.6	
15	JU	3.3		3.3	3.3	3.3	3.3	36.3	33.0	33.0	23.1	29.7	26.4	39.6	23.1	26.4	33.0	29.7	26.4	33.0	26.4	19.8	3.3		3.3	462.00		39.6	
16	VI	6.6	3.3		3.3	6.6	3.3	36.3	36.3	39.6	36.3	36.3	26.4	39.6	19.8	16.5	16.5	26.4	33.0	26.4	23.1	19.8	16.5		6.6	478.50		39.6	
17	SA		3.3	3.3		3.3	3.3	16.5	36.3	42.9	42.9	36.3	33.0	3.3	3.3	39.6	42.9	39.6	33.0	26.4			6.6	3.3	3.3	422.40		42.9	
18	DO	6.6	3.3		3.3	6.6	3.3	3.3		6.6	3.3		6.6	3.3	3.3		3.3	3.3			3.3	3.3		3.3	3.3	72.60		6.6	
19	LU	3.3	6.6	3.3		3.3	3.3	33.0	39.6	36.3	29.7	23.1	19.8	26.4	16.5	19.8	13.2	26.4	26.4	29.7	33.0	9.9	3.3	3.3		409.20		39.6	
20	MA	6.6	3.3		3.3	6.6	16.5	29.7	33.0	39.6	39.6	33.0	42.9	29.7	29.7	39.6	26.4	36.3	33.0	39.6	33.0	19.8	3.3		3.3	547.80		42.9	
21	MI	3.3	6.6		3.3	3.3	19.8	36.3	36.3	39.6	42.9	39.6	42.9	39.6	33.0	29.7	39.6	36.3	39.6	36.3	23.1	16.5	6.6		3.3	577.50		42.9	
22	JU	3.3		6.6	3.3		23.1	33.0	23.1	26.4	29.7	33.0	33.0	36.3	33.0	33.0	42.9	36.3	33.0	33.0	29.7		3.3	3.3		498.30		42.9	
23	VI	3.3		3.3	6.6	3.3	19.8	29.7	36.3	39.6	39.6	39.6	26.4	36.3	29.7	36.3	36.3	46.2	33.0	26.4	29.7	26.4	16.5		3.3	567.60		46.2	
24	SA	3.3		6.6	3.3	3.3	9.9	52.8	42.9	36.3	42.9	39.6	39.6	39.6	42.9	46.2	33.0	42.9	42.9	26.4	3.3		3.3	3.3		564.30		52.8	
25	DO	6.6	3.3		3.3	3.3	6.6	3.3				3.3			3.3	3.3		3.3	3.3	3.3			3.3		3.3	52.80		6.6	
26	LU	3.3		6.6	3.3		19.8	42.9	36.3	26.4	36.3	36.3	29.7	36.3	36.3	26.4	36.3	39.6	39.6	33.0	33.0	23.1	9.9	3.3		557.70		42.9	
27	MA	3.3		3.3	3.3	3.3	23.1	23.1	13.2	33.0	29.7	33.0	36.3	36.3	29.7	36.3	39.6	33.0	36.3	33.0	16.5	16.5	3.3	3.3		488.40		39.6	
28	MI	3.3	6.6	3.3		3.3	16.5	36.3	29.7	29.7	6.6	36.3	39.6	39.6	36.3	39.6	36.3	29.7	36.3	16.5	13.2	19.8	6.6		3.3	488.40		39.6	
29	JU	3.3		6.6	3.3		23.1	36.3	29.7	36.3	33.0	29.7	46.2	36.3	33.0	36.3	36.3	29.7	29.7	33.0	29.7	23.1	9.9		6.6	551.10		46.2	
30	VI	3.3		3.3	6.6	3.3	9.9	39.6	26.4	36.3	39.6	29.7	33.0	39.6	29.7	36.3	29.7	36.3	46.2	39.6	29.7	29.7	13.2	13.2		574.20		46.2	
31	SA	6.6	3.3		3.3	3.3	9.9	36.3	42.9	36.3	39.6	33.0	33.0	39.6	46.2	36.3	42.9	36.3	46.2	6.6		3.3		3.3	3.3	511.50		46.2	
TOTALES		151.8	135.3	122.1	141.9	155.1	524.7	874.5	877.8	930.6	894.3	950.4	924.0	966.9	851.4	891.0	933.9	940.5	963.6	795.3	656.7	432.3	214.5	132.0	115.5	14576.1			

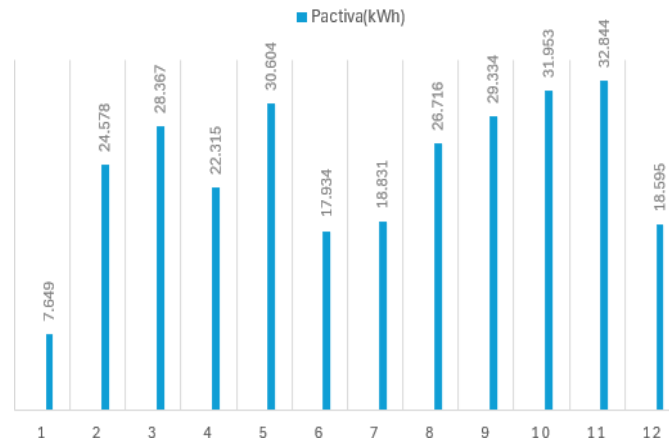
## 2.2 Pronóstico edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja.

Una vez realizado el diagnóstico de esta sede, se plantea un análisis proyectivo que, mediante la extrapolación de los registros históricos anuales de 2024 y 2025 (ver **Tablas 3 y 4**), permite estimar el comportamiento de la energía activa, energía reactiva inductiva y las penalizaciones económicas para los meses restantes del año: junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre de 2025.

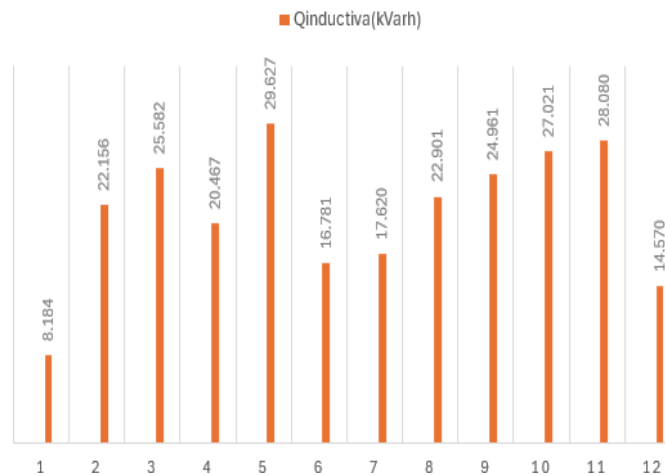
### 2.2.1 Pronóstico de consumos de energía activa e inductiva, edificio de biblioteca.

Una vez En las Figuras 6 y 7 se presenta la proyección de consumo de energía activa y energía reactiva inductiva, respectivamente. Si no se implementa una solución de compensación en esta sede, se estima que la energía reactiva inductiva continuará representando hasta el 90 % del valor de la energía activa consumida mensualmente en 2025.

**Figura 6. Pronostico del consumo de energía activa 2025, edificio de biblioteca.**



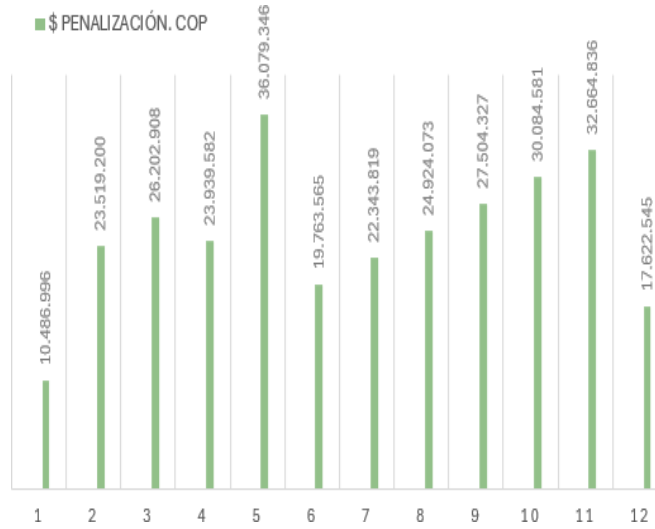
**Figura 7. Pronostico del consumo de energía reactiva inductiva 2025, edificio de biblioteca.**



### 2.2.2 Pronóstico de penalizaciones económicas por energía reactiva inductiva penalizada, edificio de biblioteca.

En la **Figura 8** se presenta una estimación de las penalizaciones económicas proyectadas para el año 2025. Comparado con los registros del año 2024 (ver **Tabla 3**), se observa un incremento aproximado del 50 %, lo que representa un impacto significativo sobre el presupuesto operativo de la sede. Esta situación podría derivar en restricciones administrativas y operativas para la universidad tales como recortes y reasignaciones presupuestales que postergan proyectos de modernización e inversión CAPEX, congelación de nuevas contrataciones y limitaciones en la contratación de servicios de soporte, afectando la sostenibilidad financiera.

**Figura 8. Pronóstico 2025 penalizaciones económicas por inductiva penalizada, edificio de biblioteca.**



### 2.3 Control del diagnóstico edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja.

Se plantean tres posibles soluciones de compensación de energía reactiva y eficiencia energética: filtros activos de potencia (APF), banco de condensadores y compensación en carga, tomando como caso crítico a compensar los registros de energía inductiva penalizada para mayo de 2025, ilustrados en la **Figura 5**.

#### 2.3.1 Alternativa filtro activo armónico, edificio de biblioteca.

El dimensionamiento de la corriente de compensación que inyecta el filtro se determina a partir de la suma cuadrática de dos componentes: corriente reactiva y corriente armónica, calculadas mediante las expresiones consignadas en el **APÉNDICE 7**. Para esta sede, la componente de corriente reactiva, calculada como el promedio de los valores máximos observados en la **Figura 9**, corresponde aproximadamente a 105 [A]. A este valor se le aplica un factor de seguridad del 20 % para cubrir condiciones particulares o futuras variaciones operativas, obteniendo así una corriente reactiva estimada de 125 [A].

# DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA 31

**Figura 9. Mapa de calor de corriente reactiva inductiva penalizada durante mayo 2025, edificio de biblioteca.**

AMPERIOS INDUCTIVOS PENALIZADOS POR DIA Y HORA - UIS - BARRANCABERMEJA BIBLIOTECA																										DIAS			
2025																									31				
5																									kWh				
DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTAL DIA	MIN	MAX		
1	JU	52.0	69.3	43.3	60.6	69.3	69.3	52.0	77.9	69.3	86.6	138.6	103.9	147.2	121.2	103.9	103.9	112.6	112.6	77.9	95.3	60.6	69.3	77.9	77.9	2052.48	43.30	147.22	
2	VI	86.6	60.6	69.3	69.3	43.3	60.6	86.6	86.6	103.9	95.3	103.9	77.9	112.6	103.9	86.6	103.9	86.6	86.6	86.6	69.3	77.9	52.0	60.6	1348.56	43.30	112.58		
3	SA	8.7		17.3	8.7		52.0	60.6	112.6	77.9	77.9	77.9	95.3	60.6	52.0	77.9	77.9	86.6	69.3	26.0	8.7	8.7		17.3	8.7	1082.53	8.66	112.58	
4	DO	8.7		17.3	8.7	8.7	8.7		60.6	77.9	8.7		17.3	8.7	8.7		8.7	8.7		17.3	8.7		8.7	17.3		303.11	8.66	77.94	
5	LU	8.7	8.7		17.3	34.6	112.6	69.3	43.3	60.6	60.6	77.9	77.9	86.6	86.6	86.6	69.3	77.9	86.6	77.9	17.3	8.7	17.3	8.7	1290.38	8.66	112.58		
6	MA	8.7	8.7		8.7	17.3	60.6	60.6	77.9	69.3	86.6	95.3	77.9	103.9	103.9	86.6	86.6	60.6	95.3	86.6	95.3	34.6		17.3	8.7	1351.00	8.66	103.92	
7	MI	8.7		8.7	17.3	8.7	52.0	69.3	77.9	77.9	77.9	52.0	60.6	60.6	60.6	52.0	95.3	69.3	77.9	69.3	60.6	34.6		8.7	8.7	1108.51	8.66	95.26	
8	JU		17.3	8.7	8.7		69.3	103.9	103.9	86.6	112.6	103.9	112.6	77.9	69.3	43.3	95.3	103.9	95.3	86.6	77.9	77.9	17.3	8.7		1480.90	8.66	112.58	
9	VI	8.7	17.3		8.7	8.7	34.6	112.6	60.6	69.3	95.3	112.6	95.3	95.3	77.9	86.6	95.3	77.9	95.3	77.9	95.3	77.9	52.0			1454.92	8.66	112.58	
10	SA	8.7	8.7	8.7		8.7	43.3	86.6	103.9	103.9	86.6	103.9	86.6	112.6	95.3	103.9	95.3	112.6	95.3	43.3	8.7	17.3		8.7	8.7	1351.00	8.66	112.58	
11	DO		8.7	8.7	8.7		17.3	8.7	8.7	17.3		8.7	8.7	8.7		8.7	8.7		17.3	8.7			8.7	8.7		173.21	8.66	17.32	
12	LU		17.3	8.7		43.3	112.6	95.3	77.9	77.9	95.3	86.6	69.3	86.6	103.9	86.6	95.3	77.9	86.6	86.6	69.3	43.3	8.7	8.7		1437.60	8.66	112.58	
13	MA	8.7	17.3		8.7	8.7	69.3	69.3	69.3	86.6	77.9	103.9	95.3	95.3	77.9	103.9	77.9	121.2	95.3	77.9	112.6	17.3	17.3		8.7	1420.28	8.66	121.24	
14	MI	8.7	17.3		8.7	8.7	52.0	43.3	43.3	52.0	34.6	86.6	103.9	103.9	95.3	95.3	103.9	77.9	95.3	86.6	86.6	34.6	17.3		8.7	1264.40	8.66	103.92	
15	JU	8.7		8.7	8.7	8.7	8.7	95.3	86.6	86.6	60.6	77.9	69.3	103.9	60.6	69.3	86.6	77.9	69.3	86.6	69.3	52.0	8.7	8.7		1212.44	8.66	103.92	
16	VI	17.3	8.7		8.7	17.3	8.7	95.3	95.3	103.9	95.3	95.3	69.3	103.9	52.0	43.3	43.3	69.3	86.6	69.3	60.6	52.0	43.3		17.3	1255.74	8.66	103.92	
17	SA	8.7	8.7	8.7		8.7	8.7	43.3	95.3	112.6	112.6	95.3	86.6	8.7	8.7	103.9	112.6	103.9	86.6	69.3			17.3	8.7	8.7	1108.51	8.66	112.58	
18	DO	17.3	8.7		8.7	17.3	8.7	8.7		17.3	8.7		17.3	8.7	8.7		8.7	8.7		8.7	8.7			17.3	8.7		190.53	8.66	17.32
19	LU	8.7	17.3	8.7		8.7	8.7	86.6	103.9	95.3	77.9	60.6	52.0	69.3	43.3	52.0	34.6	69.3	69.3	77.9	86.6	26.0	8.7	8.7		1073.87	8.66	103.92	
20	MA	17.3	8.7		8.7	17.3	43.3	77.9	86.6	103.9	103.9	86.6	112.6	77.9	77.9	103.9	69.3	95.3	86.6	103.9	86.6	52.0	8.7	8.7		1437.60	8.66	112.58	
21	MI	8.7	17.3		8.7	8.7	52.0	95.3	95.3	103.9	112.6	103.9	103.9	112.6	86.6	77.9	103.9	95.3	103.9	95.3	60.6	43.3	17.3		8.7	1515.54	8.66	112.58	
22	JU	8.7		17.3	8.7		60.6	86.6	60.6	69.3	77.9	86.6	86.6	95.3	86.6	86.6	112.6	95.3	86.6	86.6	77.9		8.7	8.7		1307.70	8.66	112.58	
23	VI	8.7		8.7	17.3	8.7	52.0	77.9	95.3	103.9	103.9	103.9	69.3	95.3	77.9	95.3	95.3	121.2	86.6	69.3	77.9	69.3	43.3		8.7	1488.56	8.66	121.24	
24	SA	8.7		17.3	8.7	8.7	26.0	138.6	112.6	95.3	112.6	103.9	103.9	103.9	112.6	121.2	86.6	112.6	112.6	69.3	8.7		8.7	8.7		1480.90	8.66	138.56	
25	DO	17.3	8.7		8.7	8.7	17.3	8.7			8.7		8.7		8.7		8.7	8.7		8.7	8.7		8.7		8.7		138.56	8.66	17.32
26	LU	8.7		17.3	8.7		52.0	112.6	95.3	69.3	95.3	95.3	77.9	95.3	95.3	69.3	95.3	103.9	103.9	86.6	60.6	26.0	8.7		8.7	1463.58	8.66	112.58	
27	MA	8.7		8.7	8.7	8.7	60.6	60.6	34.6	86.6	77.9	86.6	95.3	95.3	77.9	95.3	103.9	86.6	95.3	86.6	43.3	43.3	8.7	8.7		1281.72	8.66	103.92	
28	MI	8.7	17.3	8.7		8.7	43.3	95.3	77.9	77.9	17.3	95.3	103.9	103.9	95.3	103.9	95.3	77.9	95.3	43.3	34.6	52.0	17.3		8.7	1281.72	8.66	103.92	
29	JU	8.7		17.3	8.7		60.6	95.3	77.9	95.3	86.6	77.9	121.2	95.3	86.6	95.3	95.3	77.9	77.9	86.6	77.9	60.6	26.0		17.3	1446.26	8.66	121.24	
30	VI	8.7		8.7	17.3	8.7	26.0	103.9	69.3	95.3	103.9	77.9	86.6	103.9	77.9	95.3	77.9	95.3	121.2	103.9	77.9	77.9	34.6	34.6		1506.88	8.66	121.24	
31	SA	17.3	8.7		8.7	8.7	26.0	95.3	112.6	95.3	103.9	86.6	86.6	103.9	121.2	95.3	112.6	95.3	121.2	17.3		8.7		8.7		1342.34	8.66	121.24	
TOTALES		368.4	355.1	320.4	372.4	407.0	1377.0	2295.0	2303.6	2442.2	2345.9	2494.2	2484.9	2537.5	2234.3	2338.3	2450.9	2468.2	2528.8	2087.1	1723.4	1134.5	562.9	346.4	303.1	38252.3	8.66	147.22	

Considerando la presencia de cargas no lineales en la sede y en cumplimiento con la norma IEEE Std 519-2014/2022, se estima la contaminación armónica asociada a equipos como sistemas de iluminación LED, computadores y variadores de velocidad en aire acondicionado. Estos dispositivos introducen armónicos característicos, principalmente de orden 3, 5 y 7, como se muestra en la **Tabla 5**.

**Tabla 5. Caracterización de cargas edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja.**

Carga	Naturaleza de la carga	Tipo de arranque	Armonicos tipicos (predominantes)	Comentarios técnicos	Pronostico de %THDi
Iluminación LED	No lineal (balastos electronicos, divers)	Encendido directo	3ª, 5ª, 7ª	Contribuyen a armónicos de orden bajo y elevado THDi en operación masiva.	30 - 60 %
Equipos de cómputo	No lineal (fuentes conmutadas)	Encendido directo	3ª, 5ª, 7ª, 9ª, 11ª	Suelen aportar armónicos impares, especialmente 3º y 5º, sensibles a la simultaneidad de uso.	15 - 35 %
Aire acondicionado (con variadores)	No lineal (variadores de velocidad, inversores)	Arranque suave (VFD)	5ª, 7ª, 11ª, 13ª	Armónicos característicos de VFD, dependen de la carga mecánica y la calidad del VFD.	35 - 50 %
Otros	Lineal (motores, resistivos)	Directo o estrella - triángulo	No genera armonicos significativos	Principalmente aportan factor de potencia bajo, pero no distorsión armónica.	0 - 15 %

## DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA 32

Para dimensionar la componente armónica del filtro, se realiza un análisis de escenarios considerando diferentes valores de distorsión armónica por corriente (THDi) y factor de potencia fundamental ( $\cos\phi_1$ ), consignados en la **Tabla 6**. A partir de estos parámetros, y aplicando las fórmulas del **APÉNDICE 8**, se obtienen los valores estimados de corriente fundamental ( $I_1$ ), corriente armónica ( $I_h$ ) y corriente total eficaz ( $I_{rms}$ ).

Este procedimiento permite determinar la corriente de compensación mediante la suma cuadrática indicada en el **APÉNDICE 7**, seleccionando finalmente un valor aproximado de 180 A, correspondiente al escenario más crítico (THDi = 50 %), como se ilustra en la **Tabla 5**.

**Tabla 6. Análisis de escenarios de contaminación armónica, biblioteca Barrancabermeja.**

Distorsión por corriente (THDi)	FP FUNDAMENTAL $\cos\phi_1$	Corriente Fundamental $I_1$ [A]	Corriente Eficaz $I_{rms}$ [A]	Corriente armonica $I_h$ [A]	Corriente APF $I_f$ [A]
25%	1	262.43	270.51	65.61	141.17
30%	0.99	259.81	271.25	77.94	147.31
35%	0.98	257.18	272.48	90.01	154.04
40%	0.97	254.56	274.17	101.82	161.22
45%	0.96	251.93	276.27	113.37	168.75
50%	0.95	249.31	278.74	124.66	176.53

### 2.3.2 Alternativa banco de condensadores, edificio de biblioteca.

En esta alternativa se evaluaron tres modelos de bancos de condensadores, consignados en la **Tabla 7** (A1, A3 y A5). Los resultados del modelado en Excel para cada opción se presentan en los **APÉNDICES 5, 6 y 7**, seleccionándose finalmente el modelo A5, con una potencia máxima de inyección de 45 kVAR.

**Tabla 7. Modelos propuestos bancos de condensadores, edificio de biblioteca.**

ETAPA	A1	A3	A5
FIJA	10	5	5
A	40	5	10
B		10	15
C		20	15
TOTAL kVAR	50	40	45

En la **Figura 10** se muestran los resultados de la simulación, donde la energía inductiva penalizada se redujo aproximadamente en un 98 % respecto a mayo de 2025, disminuyendo a

## DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN 33 DE ENERGÍA REACTIVA

solo 7 días de penalización en dicho mes. Sin embargo, en horas de baja operación (madrugada y noche) se registraron excedentes de energía capacitiva, debido a que la etapa fija de 5 kVAr supera la demanda inductiva en esas franjas horarias, como se observa en la **Figura 11**.

**Figura 10. Mapa de calor inductiva penalizada con alternativa A5, edificio de biblioteca.**

AÑO	2025	kVarh INDUCTIVOS PENALIZADOS POR DIA Y HORA (DESPUES) - UIS - BARRANCABERMEJA BIBLIOTECA																							DIAS PEN
MES	5																								TOTAL DIA
DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTAL DIA
1	JU										7.80		11.10	1.20											20.10
2	VI																								
3	SA																								
4	DO																								
5	LU																								
6	MA																								
7	MI																								
8	JU																								
9	VI																								
10	SA																								
11	DO																								
12	LU																								
13	MA																1.20								1.20
14	MI																								
15	JU																								
16	VI																								
17	SA																								
18	DO																								
19	LU																								
20	MA																								
21	MI																								
22	JU																								
23	VI																					1.20			1.20
24	SA						7.80								1.20										9.00
25	DO																								
26	LU																								
27	MA																								
28	MI																								
29	JU											1.20													1.20
30	VI																						1.20		1.20
31	SA													1.20							1.20	1.60			4.00
TOTALES							7.8				7.8	1.2	11.1	2.4	1.2		2.4	2.4	1.6						37.9

**Figura 11. Mapa de calor registros capacitivos con alternativa A5, edificio de biblioteca.**

AÑO	2025	kVarh CAPACITIVOS REGISTRADOS POR DIA Y HORA (DESPUES) - UIS - BARRANCABERMEJA BIBLIOTECA																							CIA (%)	
MES	5																								1.41%	
DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTAL DIA	
1	JU																									
2	VI																									
3	SA		5.00		5.00																5.00				15.00	
4	DO		5.00			5.00				5.00				5.00				5.00			5.00		5.00		35.00	
5	LU			5.00																					5.00	
6	MA			5.00																		5.00			10.00	
7	MI		5.00																			5.00			10.00	
8	JU	5.00			5.00																			5.00	15.00	
9	VI		5.00																					5.00	10.00	
10	SA			5.00																		5.00			10.00	
11	DO	5.00			5.00					5.00				5.00				5.00			5.00		5.00		35.00	
12	LU	5.00			5.00																			5.00	15.00	
13	MA			5.00																			5.00		10.00	
14	MI			5.00																			5.00		10.00	
15	JU		5.00																					5.00	10.00	
16	VI		5.00																						5.00	
17	SA	5.00			5.00																			5.00	20.00	
18	DO		5.00			5.00		5.00		5.00				5.00				5.00			5.00		5.00		35.00	
19	LU			5.00																				5.00	10.00	
20	MA			5.00																				5.00	10.00	
21	MI			5.00																			5.00		10.00	
22	JU		5.00		5.00																	5.00		5.00	20.00	
23	VI		5.00																				5.00		10.00	
24	SA		5.00																			5.00		5.00	15.00	
25	DO		5.00		5.00		5.00						5.00		5.00					5.00		5.00			30.00	
26	LU		5.00		5.00																			5.00	15.00	
27	MA		5.00																					5.00	10.00	
28	MI			5.00																			5.00		10.00	
29	JU		5.00		5.00																		5.00		15.00	
30	VI		5.00																					5.00	10.00	
31	SA			5.00																	5.00	5.00			15.00	
TOTALES		20.0	55.0	55.0	25.0	30.0		5.0	10.0		5.0	10.0		5.0	5.0	10.0	5.0	5.0	10.0		20.0	20.0	30.0	45.0	60.0	430.0

**2.3.3 Alternativa compensación en carga, edificio de biblioteca.**

Esta alternativa, aunque similar al banco de condensadores, consiste en una única etapa fija conectada directamente a la carga. Se evaluaron cinco opciones (A1, A2, A3, A4 Y A5), ilustradas en la **Tabla 8**.

**Tabla 8. Modelos propuestos etapa fija, edificio de biblioteca Barrancabermeja.**

ETAPA	A1	A2	A3	A4	A5
FIJA	20	30	40	50	60
TOTAL KVAR	20	30	40	50	60

La **Figura 12** presenta los resultados de la simulación, donde la alternativa A4 logró reducir casi por completo la energía inductiva penalizada en mayo de 2025, limitando la penalización a solo 2 días.

**Figura 12. Mapa de calor inductiva penalizada con alternativa A4, edificio de biblioteca.**

AÑO	2025	kVarh INDUCTIVOS PENALIZADOS POR DÍA Y HORA (DESPUES) - UIS - BARRANCABERMEJA BIBLIOTECA																							DÍAS PEN.	
MES	5																								2	
DÍA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTAL DÍA
1	JU											2.90		6.10												8.90
2	VI																									
3	SA																									
4	DO																									
5	LU																									
6	MA																									
7	MI																									
8	JU																									
9	VI																									
10	SA																									
11	DO																									
12	LU																									
13	MA																									
14	MI																									
15	JU																									
16	VI																									
17	SA																									
18	DO																									
19	LU																									
20	MA																									
21	MI																									
22	JU																									
23	VI																									
24	SA							2.90																		2.90
25	DO																									
26	LU																									
27	MA																									
28	MI																									
29	JU																									
30	VI																									
31	SA																									
TOTALES								2.90						6.10												11.7

No obstante, en condiciones de baja operación (domingos, madrugada y noche) se registraron altos niveles de energía capacitiva, lo que podría generar penalizaciones según la Resolución CREG 101 035 de 2024, que establece que la potencia reactiva no debe superar el 50

# DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN 35 DE ENERGÍA REACTIVA

% de la potencia activa consumida. Para esta alternativa, la proporción alcanzó un 48,69 % (muy cercana al valor de proporción de penalización), como se muestra en la **Figura 13**.

**Figura 13. Mapa de calor registros capacitivos con alternativa A4, edificio de biblioteca.**

AÑO	2025	kVarh CAPACITIVOS REGISTRADOS POR DIA Y HORA (DESPUES) - UIS - BARRANCABERMEJA BIBLIOTECA																								CA (%)
MES	5																									48.69%
DIA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTAL DIA
1	JU	10.40	3.80	17.00	10.40	3.80	3.80	10.40														3.80	3.80			67.20
2	VI		3.80	3.80	3.80	17.00	10.40																	3.80	10.40	53.00
3	SA	43.40	50.00	43.40	43.40	50.00	17.00	3.80					3.80	10.40					3.80	30.20	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	522.80
4	DO	43.40	50.00	43.40	43.40	43.40	43.40	50.00	10.40		43.40	50.00	43.40	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	50.00	30.20	43.40	43.40	50.00	43.40	50.00	1,011.40
5	LU	43.40	43.40	50.00	43.40	23.60		3.80	10.40	3.80	3.80									3.80	30.20	43.40	43.40	43.40	389.80	
6	MA	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	3.80	3.80													23.60	50.00	43.40	43.40	391.60	
7	MI	43.40	50.00	43.40	43.40	10.40	3.80	3.80			3.80	3.80	10.40	3.80	3.80					3.80	10.40	23.60	50.00	43.40	43.40	438.00
8	JU	50.00	43.40	43.40	43.40	50.00	3.80							3.80	3.80								43.40	43.40	50.00	378.40
9	VI	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	30.20		3.80														10.40	43.40	50.00	361.40
10	SA	43.40	43.40	43.40	50.00	43.40	23.60													10.40	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	461.20
11	DO	50.00	43.40	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	43.40	50.00	43.40	50.00	43.40	43.40	1,087.80
12	LU	50.00	43.40	43.40	50.00	23.60															23.60	43.40	43.40	50.00	50.00	370.80
13	MA	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	3.80														30.20	43.40	50.00	43.40	43.40	394.40
14	MI	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	17.00	10.40	10.40	10.40	10.40										23.60	43.40	50.00	43.40	43.40	442.60
15	JU	43.40	50.00	43.40	43.40	43.40	43.40														17.00	43.40	50.00	43.40	43.40	420.80
16	VI	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	36.80							3.80	10.40	10.40				3.80	10.40	10.40	43.40	43.40	43.40	396.40
17	SA	50.00	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	17.00					43.40	43.40						3.80	50.00	43.40	43.40	43.40	50.00	611.40
18	DO	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	43.40	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	43.40	50.00	1,087.80
19	LU	43.40	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40				3.80	10.40	3.80	10.40	3.80	17.00					30.20	43.40	43.40	50.00	50.00	483.20
20	MA	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	17.00														17.00	43.40	50.00	43.40	43.40	394.40
21	MI	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	17.00													3.80	23.60	43.40	50.00	43.40	43.40	404.80
22	JU	43.40	50.00	43.40	43.40	50.00	10.40		3.80												50.00	43.40	43.40	50.00	50.00	431.20
23	VI	43.40	50.00	43.40	43.40	43.40	10.40														10.40	50.00	43.40	43.40	43.40	337.80
24	SA	43.40	50.00	43.40	43.40	43.40	30.20														43.40	50.00	43.40	43.40	50.00	484.00
25	DO	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	43.40	50.00	1,081.20
26	LU	43.40	50.00	43.40	43.40	50.00	17.00															17.00	43.40	50.00	50.00	357.60
27	MA	43.40	50.00	43.40	43.40	43.40	10.40	3.80	10.40											10.40	10.40	36.80	43.40	50.00	50.00	399.20
28	MI	43.40	43.40	43.40	50.00	43.40	17.00				23.60									3.80	10.40	3.80	30.20	50.00	43.40	405.80
29	JU	43.40	50.00	43.40	43.40	50.00	10.40															23.60	50.00	43.40	43.40	357.60
30	VI	43.40	50.00	43.40	43.40	43.40	23.60															17.00	23.60	50.00	50.00	337.80
31	SA	43.40	43.40	50.00	43.40	43.40	30.20														36.80	50.00	43.40	50.00	43.40	520.80
TOTALES		1,295.4	1,338.8	1,352.0	1,305.8	1,279.4	658.0	237.0	192.6	144.4	218.0	194.4	187.8	241.6	255.8	208.6	207.6	180.2	190.6	262.4	459.6	731.4	1,110.6	1,302.0	1,346.2	14,902.2

## 2.4 Análisis de alternativas edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja.

La **Tabla 9** resume el análisis comparativo de las alternativas de solución evaluadas para esta sede, considerando criterios técnicos y económicos que influyen directamente en la viabilidad y efectividad de cada opción. Para facilitar la interpretación, se emplea una codificación por colores: verde (positivo), amarillo (neutro) y rojo (negativo), lo que permite identificar de manera visual las fortalezas y debilidades de cada alternativa frente a los parámetros definidos.

Con base en este análisis y en los resultados obtenidos en el control del diagnóstico, se determina que la alternativa de Filtro Armónico Activo (APF) presenta un balance significativamente más favorable en comparación con las otras dos soluciones.

## DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA 36

**Tabla 9. Alternativas de solución, edificio de biblioteca.**


PROPÓSITO	ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS PARA EL CONTROL DEL DIAGNOSTICO DEL EDIFICIO DE LA BIBLIOTECA UIS EN BARRANCABERMEJA		
ALTERNATIVA	COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA INDUCTIVA CON FILTRO ACTIVO – APF	COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA INDUCTIVA CON BANCO DE CONDENSADORES	COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA INDUCTIVA CON UN CONDENSADOR ETAPA FIJA
DESCRIPCIÓN	Comprende la instalación de un sistema de compensación por medio de filtros activos con una capacidad estimada de 200 [A]. Esta alternativa no incluye la instalación de transformadores de corriente.	Comprende la instalación de un sistema de compensación por medio de un banco de condensadores con capacidad mínima y máxima de 5 y 45 KVAR respectivamente. Este sistema presenta una etapa fija y tres escalonadas que operan por medio de un controlador.	Comprende la instalación de un sistema de compensación por medio de condensadores con una capacidad de 50 KVAR que representa una única etapa fija.
Costo de inversión (CAPEX)	Corresponde a la alternativa de mayor costo de inversión, por tratarse de una solución integral basada en tecnología avanzada.  Valor estimado: 150 millones COP. (valores estimados que pueden cambiar según replanteo).	Corresponde a la segunda alternativa de mayor costo requiere una inversión de envolvente, controlador de etapas y un contactor para condensadores.  Valor estimado: 75 millones COP. (valores estimados que pueden cambiar según replanteo).	Corresponde al costo de inversión más bajo de las alternativas indicadas. El costo de la solución corresponde principalmente a los condensadores.  Valor estimado: 35 millones COP. (valores estimados que pueden cambiar según replanteo).
Costo de operación (OPEX)	Corresponde a la alternativa de menor costo de operación, contempla únicamente un valor de monitoreo y seguimiento.	Corresponde a la segunda alternativa de menor costo, requiere mantenimiento preventivo por sus etapas y correctivo por anomalías de operación de los condensadores.	Corresponde a la alternativa de mayor costo, requiere mantenimiento preventivo y correctivo por anomalías y sobrecarga de operación de los condensadores.
Mantenimiento	El costo de mantenimiento es mínimo teniendo en cuenta que la solución integral presenta alertas y alarmas en condiciones de anomalía que protegen al sistema de compensación.	Requiere la programación inicial de rutinas de mantenimiento, teniendo en cuenta la naturaleza de las cargas conectadas al sistema eléctrico de esta sede.	De la misma manera que la segunda alternativa requiere la programación inicial de rutinas de mantenimiento teniendo en cuenta la naturaleza de las cargas conectadas al sistema eléctrico de esta sede.
Espacio físico	Requiere el espacio físico dispuesto para la solución según la ficha técnica (APÉNDICE 8).	Requiere disponer un espacio en sitio para la instalación del banco de condensadores en una envolvente que contempla la solución completa.	Requiere liberación de espacio, teniendo en cuenta que la compensación será en carga por lo tanto los condensadores estarán conectados en paralelo.
Tiempo de ejecución	Tiempos de entrega de 2 a 6 semanas.	Tiempos de entrega de 2 a 6 semanas.	Tiempos de entrega de 2 a 6 semanas.
Funcionamiento	El filtro activo realiza la medición de los parámetros eléctricos que corresponden a la potencia, distorsión y desbalance del sistema eléctrico y según las medidas y configuraciones del equipo, este inyecta una corriente de corrección al sistema eléctrico.	El banco de condensadores inyecta una potencia reactiva capacitiva escalonada según la programación del controlador, alternando las etapas escalables y manteniendo la etapa fija, según el perfil de carga institucional.	Los condensadores que hacen parte de esta etapa fija inyectan una potencia reactiva capacitiva estándar constante.
Restricciones y Limitaciones	Requiere condiciones locativas específicas de la temperatura y la altitud del sistema.  Requiere capacitación técnica para la configuración y puesta en marcha de la solución.	Puede generar resonancia con los armónicos del sistema. Repuesta lenta, no responde al dinamismo del sistema. No corrige distorsión ni desbalance.	Puede generar resonancia con los armónicos del sistema. Respuesta fija, no responde al dinamismo del sistema. No corrige distorsión ni desbalance.

## 2.5 Prescripción de la solución tipo APF, edificio de biblioteca.

Como resultado del análisis técnico y económico, se prescribe la instalación de dos Filtros Armónicos Activos (APF) de 100 A cada uno, con el objetivo de corregir los excesos de energía reactiva inductiva identificados en la **Figura 5** y mitigar la distorsión armónica caracterizada en la **Tabla 6**.

En la **Tabla 10** se presentan las principales características técnicas de la solución, tomadas de la ficha técnica del equipo (ver **APÉNDICE 17**).

**Tabla 10. Características técnicas APF.**

Filtro de armónicos activos Módulo EasyLogic APF 100 A, 208 V, montado en pared, IP31	
Referencia	EZAPF10024W31
Voltaje nominal de entrada	208 V (176 -260 V)
Frecuencia	50/60 Hz $\pm$ 3 Hz (detección automática)
Capacidad potencia reactiva compensada	36 kVAR
Capacidad corriente	100 [A]
THDi	$\leq$ 5 %
Configuración de red	3 fases + neutro (3 o 4 hilos)
Normas y Certificaciones	IEC 62477-4, IEEE 519-2017, ISO 9001, EN/IEC 61000-6-4 (emisión), EN/IEC 61000-6-2 (inmunidad)
Dimensiones (Al x An x Prof)	960 x 600 x 230 mm
Temperatura de operación	-10°C a 40°C
Montaje Rack	400 [A]

## 2.6 Análisis plan de inversión de la solución tipo APF, edificio de biblioteca.

Este análisis se realiza para determinar la conveniencia económica de la instalación del sistema de filtrado tipo APF, destacando el tiempo de recuperación de la inversión (payback), recuperación de inversión y los beneficios asociados en términos de reducción de penalizaciones económicas.

**Tabla 11. Costo de inversión inicial (CAPEX) solución tipo APF, sede Barrancabermeja.**

Equipo	Detalle	Capacidad	Cantidad Total Estimada	Subtotal COPS
Filtros Armonicos Activos APF	Capacidad corriente (A)	100	2	\$ 110,000,000
Envolvente	Capacidad filtros (#)	4	1	\$ 30,000,000
APF 7" HMI	Pantalla	1	1	\$ 10,000,000
<b>GRANTOTAL</b>				<b>\$ 150,000,000</b>

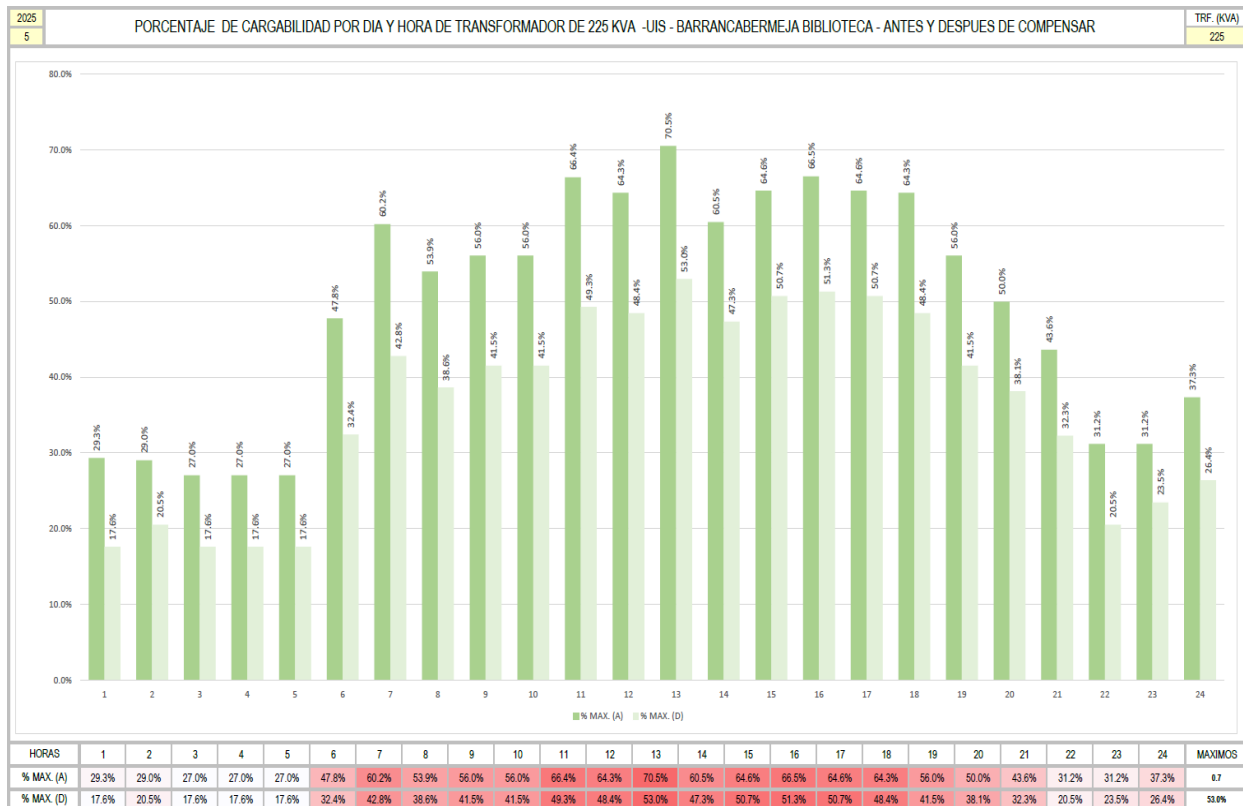
**Tabla 12. Análisis inversión solución tipo APF, sede Barrancabermeja.**

CONCEPTO	VALOR ESTIMADO	Notas
Inversión total (CAPEX)	150.000.000 COPS	Corresponde al costo de la inversión inicial de la solución planteada
Ahorro anual por eliminación de penalizaciones 2024	146.000.000 COPS	Corresponde aproximadamente al valor total de penalización para esta sede en el 2024
Ahorro acumulado (2022-2024)	220.000.000 COPS	Corresponde aproximadamente a la penalización total desde 2022 al 2024 de la sede
Tiempo de recuperación (Payback)	9 meses	Corresponde al tiempo que demora la sede en recuperar la inversión ahorrándose el dinero por penalización
Retorno de inversión (ROI)	146%	Corresponde a la rentabilidad de la inversión en porcentaje
Beneficio neto	70.000.000 COPS	Corresponde aproximadamente a el beneficio neto solo para 3 años (2022, 2023 y 2024)

## 2.7 Análisis del impacto de la solución tipo APF en cargabilidad, edificio de biblioteca.

A continuación, en la **Figura 14** se ilustra el impacto en la cargabilidad del transformador principal del edificio (225 kVA), estimando que con la solución se logra disminuir aproximadamente en promedio un 15 % de cargabilidad para el transformador de esta sede.

**Figura 14. Análisis de cargabilidad, edificio de biblioteca.**



### 3. Edificio de aulas, sede Barrancabermeja.

#### 3.1 Descripción general edificio de aulas, sede Barrancabermeja.

Esta sede comprende a el edificio de aulas de la Universidad Industrial de Santander (UIS) ubicada en Barrancabermeja, espacio donde se concentra la mayor parte de la comunidad estudiantil para el desarrollo de actividades académicas en aulas y laboratorios. El sistema eléctrico de la sede presenta una alta presencia de cargas no lineales, entre las que se destacan sistemas de iluminación, equipos de climatización, computadores y dispositivos móviles, lo que genera condiciones desfavorables para la calidad del suministro eléctrico.

##### 3.1.1 Análisis anual de consumos energéticos, edificio de aulas.

Se dispone de registros históricos desde mayo de 2023 hasta julio de 2025, lo que permite caracterizar el comportamiento eléctrico de la sede siguiendo la misma metodología aplicada previamente. De acuerdo con el reporte anual consignado en la **Tabla 13**, se evidencia

**DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN 40  
DE ENERGÍA REACTIVA**

una tendencia creciente en las penalizaciones económicas: un incremento promedio de aproximadamente 80 % entre 2023 y 2025, y un aumento adicional de aproximadamente 37,5 % entre 2024 y 2025.

**Tabla 13. Resumen anual edificio de aulas, sede Barrancabermeja.**

RESUMEN DE INDICADORES 2023 - 2025								
AÑO	kWh	kVarh	kVarh PEN.	kVarh (C)	MES PEN.	FACTOR	TARIFA P.	\$ PEN. COP
2023	152,216	76,646	13,316	0	8	1	187,63	2,501,586
2024	228,842	121,011	27,839	0	12	6	185,23	26,925,772
2025	100,001	57,435	16,419	0	6	6	194,6	20,603,575

**3.1.2 Análisis mensual de consumos energéticos, edificio de aulas.**

De manera análoga a lo observado en el edificio de Biblioteca, el comportamiento mensual de esta sede presenta dos perfiles diferenciados asociados a condiciones de operación no estándar. En 2023 se evidencia un consumo atípico de energía activa e inductiva para un usuario institucional (ver **APÉNDICE 18**). En contraste, 2024 (ver **Tabla 14**) y 2025 (revisar **APÉNDICE 18**) exhiben un perfil de consumo propio de una operación institucional regular.

**Tabla 14. Resumen 2024 edificio de aulas, sede Barrancabermeja.**

RESUMEN DE INDICADORES								
MES	kWh	kVarh	kVarh PEN.	kVarh (C)	DIAS PEN.	FACTOR	TARIFA P.	\$ PEN.
1	9,649	7,676	3,029.40		31	2	179.50	1,087,555
2	20,222	9,491	1,617.00		29	3	178.63	866,534
3	21,377	9,986	2,079.00		31	4	187.65	1,560,497
4	24,103	9,940	1,399.20		28	5	189.69	1,327,071
5	23,701	11,260	1,742.40		31	6	182.62	1,909,183
6	15,088	9,418	2,626.80		30	6	180.20	2,840,096
7	15,695	9,603	2,468.40		31	6	189.66	2,808,940
8	22,216	10,982	2,046.00		31	6	189.52	2,326,548
9	22,196	10,864	2,082.30		30	6	180.61	2,256,505
10	21,899	11,293	2,283.60		31	6	181.17	2,482,319
11	20,387	11,180	2,554.20		30	6	188.88	2,894,624
12	12,309	9,319	3,910.50		31	6	194.60	4,565,900
<b>TOTAL</b>	<b>228,842</b>	<b>121,011</b>	<b>27,839</b>		<b>364</b>			<b>26,925,772</b>

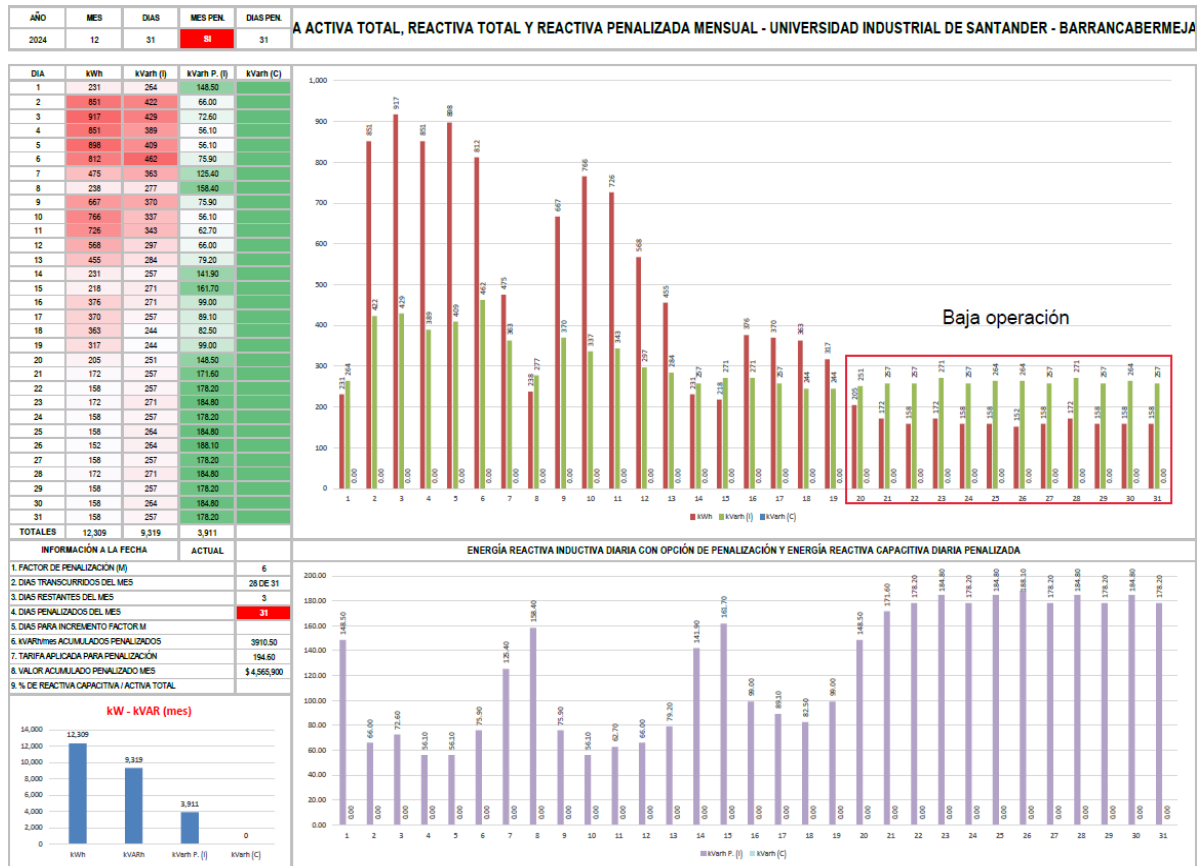
# DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN 41 DE ENERGÍA REACTIVA

En los indicadores de 2024 (**Tabla 14**) destacan enero y diciembre con las mayores energías inductivas penalizadas. Coinciden con los meses de menor operación y, por ende, menor consumo de energía activa, lo que refuerza la relación entre baja demanda activa y aumento relativo de la energía reactiva penalizable.

### 3.1.3 Análisis diario de consumos energéticos, edificio de aulas.

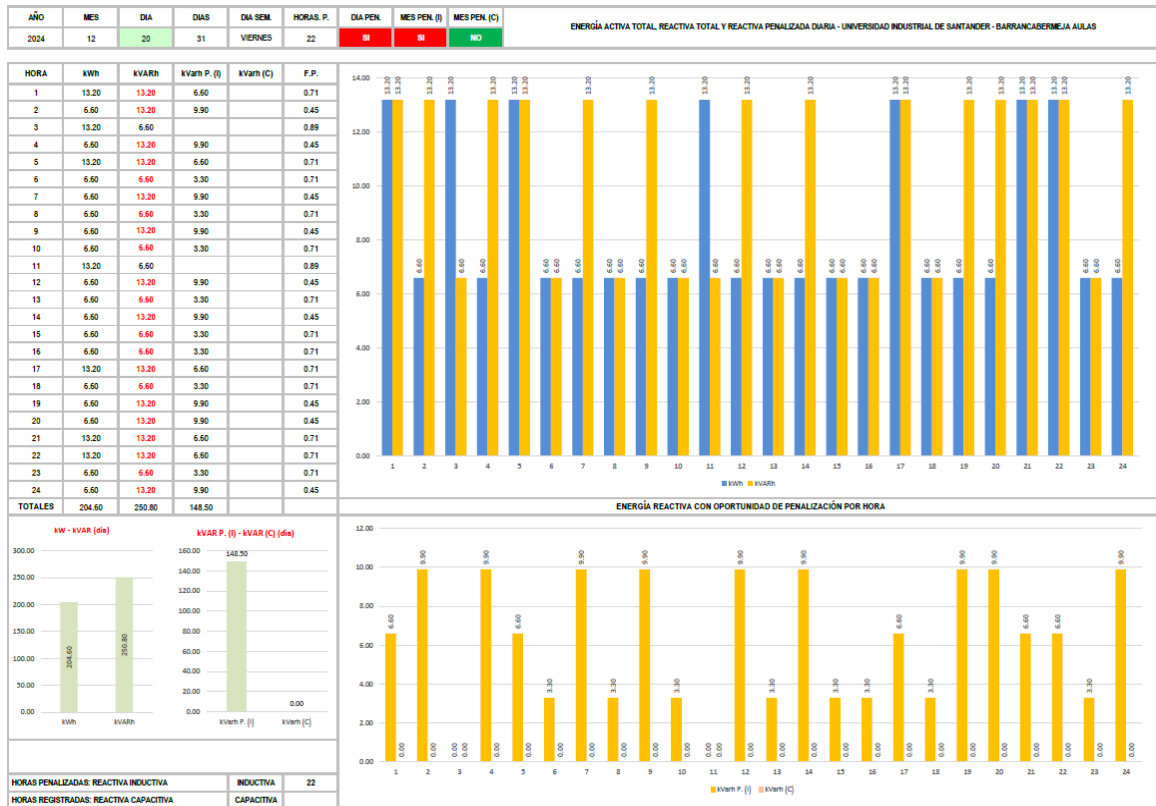
La **Figura 15** presenta el reporte de energía activa, reactiva inductiva total, reactiva inductiva penalizada y reactiva capacitiva para diciembre de 2024, mes con la mayor penalización económica del año. Entre los días 20 y 31 de diciembre se observa una disminución marcada de la energía activa, consistente con baja operación institucional; sin embargo, se registran simultáneamente los máximos de energía inductiva penalizada, con un incremento promedio del 45 % respecto a los días previos al 20 de diciembre.

**Figura 15. Reporte de consumo durante diciembre de 2024 edificio de aulas, sede Barrancabermeja.**



# DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA 42

**Figura 16. Reporte consumo diciembre 20 de 2024 edificio de aulas, sede Barrancabermeja.**



En la **Figura 16** se presenta el reporte correspondiente al 20 de diciembre de 2024, uno de los días con mayor penalización en este mes. Durante esta jornada se registraron 22 de 24 horas en las que la energía reactiva inductiva fue igual o superior a la energía activa, lo que derivó en penalización continua durante casi todo el día. Este comportamiento, caracterizado por altos niveles de energía inductiva en condiciones de baja operación, podría estar asociado a pérdidas por magnetización del transformador principal o a procesos que involucren equipos rotativos en operación mínima, lo que refuerza la necesidad de una compensación que actúe incluso en escenarios de carga mínima.

### 3.1.4 Análisis de mapas de calor de los consumos energéticos, edificio de aulas.

Como complemento al diagnóstico, se elaboraron mapas de calor que permiten visualizar los días y las franjas horarias críticas en términos de consumo de energía activa, reactiva inductiva total y reactiva inductiva penalizada, con el objetivo de identificar los picos

# DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN 43 DE ENERGÍA REACTIVA

máximos a compensar. Estos mapas son una herramienta clave para definir la capacidad nominal de la solución de compensación y su estrategia de operación. Los resultados completos para los años 2023, 2024 y 2025 se encuentran en los **APÉNDICES 19, 20 y 21**, respectivamente.

**Figura 17. Mapa de calor consumo de energía activa diciembre de 2024, edificio de aulas.**

2024		kWh CONSUMIDOS POR DÍA Y HORA - UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER - BARRANCABERMEJA AULAS																								DIAS PEN - MES PEN		DIAS		31	
12																										31		TOTAL DIA		kWh	
DIA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	MIN.	MAX.				
1	DO	13.2	13.2	13.2	6.6	13.2	13.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	13.2	13.2	6.6	13.2	13.2	13.2	13.2	231.00	6.60	13.20			
2	LU	13.2	6.6	13.2	13.2	13.2	13.2	19.8	46.2	52.8	66.0	66.0	52.8	26.4	26.4	66.0	72.6	66.0	52.8	46.2	46.2	26.4	19.8	13.2	13.2	851.40	6.60	72.60			
3	MA	6.6	13.2	13.2	13.2	6.6	13.2	19.8	33.0	46.2	59.4	59.4	46.2	33.0	33.0	72.6	79.2	59.4	72.6	72.6	46.2	13.2	13.2	13.2	917.40	6.60	79.20				
4	MI	13.2	6.6	13.2	13.2	13.2	13.2	26.4	52.8	52.8	59.4	59.4	52.8	33.0	33.0	59.4	59.4	59.4	46.2	52.8	52.8	39.6	13.2	13.2	851.40	6.60	59.40				
5	JU	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	19.8	39.6	39.6	59.4	59.4	72.6	26.4	39.6	85.8	79.2	59.4	52.8	66.0	46.2	33.0	13.2	13.2	897.60	13.20	85.80				
6	VI	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	19.8	39.6	59.4	59.4	52.8	33.0	19.8	33.0	46.2	59.4	52.8	52.8	59.4	59.4	39.6	26.4	6.6	13.2	811.80	6.60	59.40			
7	SA	13.2	13.2	13.2	13.2	6.6	13.2	13.2	19.8	39.6	39.6	33.0	33.0	26.4	26.4	26.4	19.8	26.4	19.8	19.8	13.2	6.6	13.2	13.2	475.20	6.60	39.60				
8	DO	13.2	13.2	6.6	13.2	13.2	13.2	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	13.2	6.6	13.2	13.2	237.60	6.60	13.20				
9	LU	6.6	13.2	13.2	6.6	13.2	13.2	13.2	26.4	39.6	39.6	39.6	33.0	19.8	39.6	66.0	59.4	59.4	46.2	39.6	33.0	13.2	13.2	13.2	666.60	6.60	66.00				
10	MA	13.2	13.2	6.6	13.2	13.2	13.2	13.2	46.2	66.0	66.0	52.8	46.2	33.0	59.4	52.8	52.8	39.6	39.6	46.2	26.4	13.2	13.2	13.2	765.60	6.60	66.00				
11	MI	13.2	13.2	6.6	13.2	13.2	13.2	26.4	39.6	52.8	59.4	46.2	26.4	26.4	59.4	52.8	39.6	39.6	39.6	33.0	19.8	13.2	13.2	13.2	726.00	6.60	59.40				
12	JU	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	19.8	19.8	39.6	52.8	46.2	19.8	19.8	39.6	39.6	46.2	26.4	33.0	19.8	13.2	13.2	13.2	567.60	13.20	52.80				
13	VI	13.2	13.2	13.2	13.2	6.6	13.2	13.2	26.4	26.4	39.6	33.0	33.0	13.2	13.2	26.4	33.0	26.4	13.2	19.8	13.2	13.2	13.2	13.2	455.40	6.60	39.60				
14	SA	13.2	6.6	13.2	13.2	13.2	13.2	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	13.2	6.6	13.2	6.6	13.2	231.00	6.60	13.20			
15	DO	6.6	13.2	6.6	13.2	13.2	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	13.2	6.6	13.2	217.80	6.60	13.20				
16	LU	13.2	6.6	13.2	6.6	13.2	13.2	13.2	33.0	33.0	26.4	19.8	19.8	6.6	6.6	19.8	26.4	13.2	13.2	13.2	6.6	13.2	6.6	6.6	13.2	376.20	6.60	33.00			
17	MA	6.6	13.2	6.6	13.2	13.2	6.6	13.2	19.8	33.0	19.8	26.4	19.8	13.2	13.2	19.8	26.4	26.4	13.2	13.2	13.2	13.2	6.6	13.2	6.6	369.60	6.60	33.00			
18	MI	13.2	6.6	13.2	6.6	13.2	6.6	6.6	26.4	19.8	26.4	26.4	26.4	6.6	13.2	26.4	26.4	19.8	13.2	13.2	13.2	6.6	13.2	6.6	6.6	363.00	6.60	26.40			
19	JU	13.2	6.6	13.2	6.6	13.2	6.6	13.2	19.8	26.4	26.4	19.8	19.8	6.6	6.6	26.4	19.8	13.2	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	13.2	6.6	316.80	6.60	26.40			
20	VI	13.2	6.6	13.2	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	13.2	13.2	6.6	204.60	6.60	13.20			
21	SA	13.2	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	171.60	6.60	13.20			
22	DO	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	158.40	6.60	13.20		
23	LU	13.2	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	171.60	6.60	13.20		
24	MA	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	13.2	158.40	6.60	13.20			
25	MI	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	13.2	158.40	6.60	13.20		
26	JU	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	151.80	6.60	13.20			
27	VI	13.2	6.6	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	158.40	6.60	13.20		
28	SA	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	13.2	171.60	6.60	13.20			
29	DO	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	158.40	6.60	13.20			
30	LU	13.2	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	158.40	6.60	13.20		
31	MA	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	13.2	6.6	13.2	6.6	6.6	13.2	158.40	6.60	13.20		
TOTALES		336.6	297.0	323.4	323.4	330.0	310.2	356.4	534.6	673.2	785.4	778.8	653.4	409.2	462.0	772.2	805.2	759.0	607.2	686.4	607.2	495.0	356.4	310.2	336.6	12,369.0					

**Figura 18. Mapa de calor consumo de energía reactiva inductiva penalizada diciembre de 2024 edificio de aulas, sede Barrancabermeja.**

2024		kVArh INDUCTIVOS PENALIZADOS POR DÍA Y HORA (YA COMPENSADOS) - UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER - BARRANCABERMEJA AULAS																								DIAS PEN		DIAS		31	
12																										31		TOTAL DIA		kVArh PEN.	
DIA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	MIN.	MAX.				
1	DO	6.6	6.6		9.9	6.6		9.9	3.3	9.9	9.9	3.3	9.9	9.9	3.3	9.9	3.3	9.9	6.6		9.9	6.6	6.6	6.6	6.6	148.50	9.9	9.9			
2	LU	6.6	9.9	6.6	6.6	6.6	6.6	3.3	3.3					6.6									3.3	6.6	6.6	66.00	9.9	9.9			
3	MA	9.9	6.6	6.6	6.6	9.9	6.6	3.3	3.3														6.6	6.6	6.6	72.60	9.9	9.9			
4	MI	6.6	9.9		6.6	6.6	6.6	6.6																	6.6	6.6	56.10	9.9	9.9		
5	JU	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	3.3																6.6	6.6	56.10	6.6	6.6			
6	VI	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6		3.3	6.6					3.3	3.3	3.3				6.6				9.9	6.6	75.90	9.9	9.9			
7	SA		6.6	6.6	6.6	9.9		6.6	9.9			3.3	3.3	6.6	6.6	6.6	3.3	6.6	9.9	3.3	6.6	9.9	6.6		6.6	125.40	9.9	9.9			
8	DO	6.6	6.6	3.3	6.6	6.6	6.6	3.3	9.9	9.9	6.6	3.3	9.9	3.3	9.9	9.9	3.3	6.6	9.9	6.6	6.6	9.9	6.6	6.6	6.6	158.40	9.9	9.9			
9	LU	9.9	6.6	6.6	9.9	6.6	6.6																6.6	6.6	6.6	9.9	75.90	9.9	9.9		
10	MA		6.6	9.9	6.6		6.6	6.6	6.6															6.6	6.6	56.10	9.9	9.9			
11	MI	6.6	6.6	9.9		6.6	6.6	6.6															3.3	6.6	6.6	9.9	62.70	9.9	9.9		
12	JU		6.6	6.6	6.6	6.6		6.6	3.3	3.3					3.3								6.6	6.6	6.6	6.6	66.00	6.6	6.6		
13	VI	6.6		6.6	6.6	9.9	6.6							6.6											6.6	6.6	79.20	9.9	9.9		
14	SA		9.9	6.6	6.6		9.9	6.6	3.3	9.9		9.9	3.3	9.9	3.3	9.9	3.3	6.6	9.9		9.9	6.6	6.6	3.3	6.6	141.90	9.9	9.9			
15	DO	9.9		9.9	6.6	6.6	9.9	3.3	6.6	9.9	9.9	3.3	9.9	9.9	3.3	9.9		9.9	9.9		9.9	6.6	6.6	9.9	6.6	161.70	9.9	9.9			
16	LU	6.6	9.9	6.6	9.9		6.6	6.6				3.3		9.9	3.3	3.3				6.6	6.6	9.9	9.9	9.9	9.9	99.00	9.9	9.9			
17	MA	9.9		9.9																											

## DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN 44 DE ENERGÍA REACTIVA

En la **Figura 17** se caracterizan los registros de energía activa para diciembre de 2024. Los recuadros resaltados en color rojo corresponden a las franjas horarias en las que los consumos de energía activa fueron menores o iguales a los registros de energía reactiva inductiva total (ver **APÉNDICE 20**). Esta condición se traduce en un comportamiento crítico, ya que genera energía inductiva penalizada equivalente aproximadamente al 42 % de la energía inductiva total del mes, como se evidencia en la **Figura 18**.

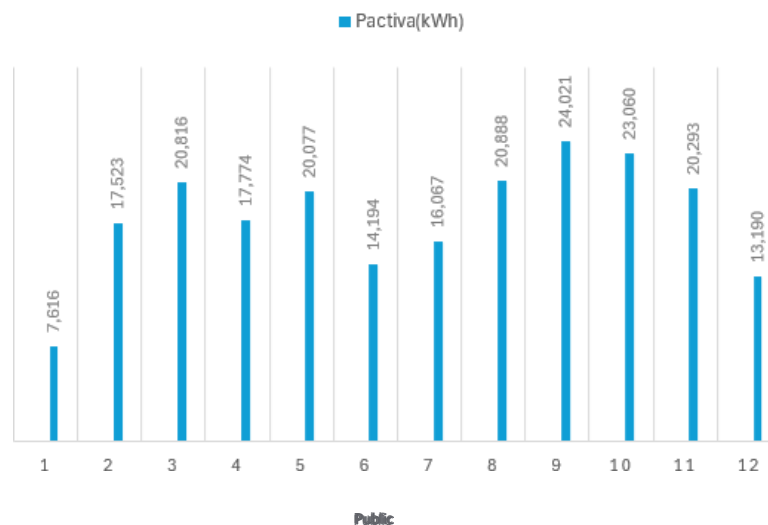
### 3.2 Pronóstico edificio de aulas, sede Barrancabermeja.

De manera análoga a lo realizado para la sede Biblioteca, se plantea un análisis proyectivo que, mediante la extrapolación de los registros históricos anuales de 2025 (ver **APÉNDICE 18**), permite estimar el comportamiento de la energía activa, energía reactiva inductiva y las penalizaciones económicas para los meses restantes del año: julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre de 2025.

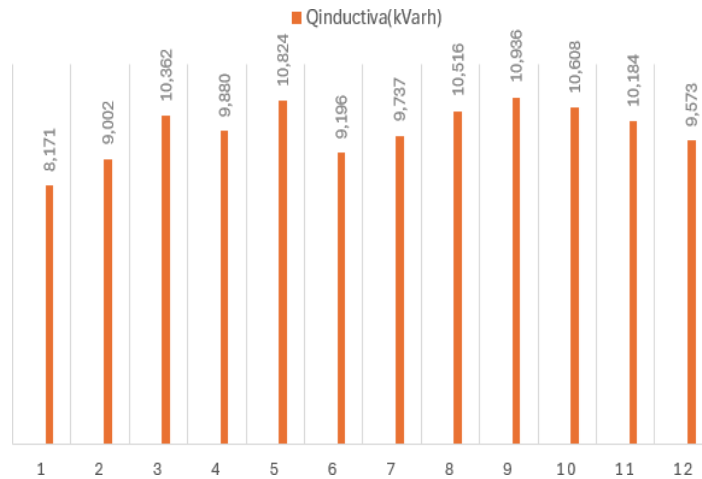
#### 3.2.1 Pronóstico de consumos de energía activa e inductiva, edificio de aulas.

En las **Figuras 19 y 20** se presentan las proyecciones de consumo de energía activa y energía reactiva inductiva, respectivamente. Si no se implementa una solución de compensación, se estima que para diciembre de 2025 la energía reactiva inductiva representará aproximadamente el 78 % de la energía activa proyectada para este mes, lo que incrementará el factor de penalización hasta 12, derivando en penalizaciones económicas cada vez más altas.

**Figura 19. Pronostico consumo de energía activa 2025, edificio de aulas.**



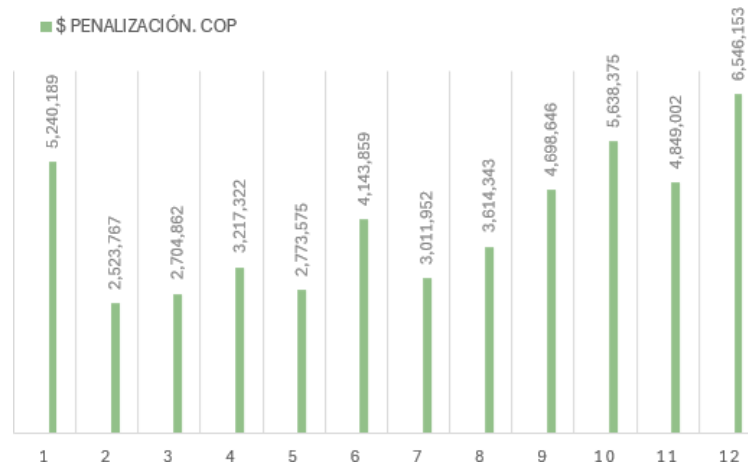
**Figura 20. Pronóstico consumo de energía reactiva 2025, edificio de aulas.**



### 3.2.2 Pronóstico de penalizaciones económicas por inductiva penalizada, edificio de aulas.

En la **Figura 21** se presenta la estimación de las penalizaciones económicas proyectadas para el 2025. Comparado con los registros de 2024 (ver **APÉNDICE 18**), se observa un incremento aproximado del 43 %, lo que representa un impacto significativo sobre el presupuesto operativo de la sede.

**Figura 21. Pronóstico 2025 penalizaciones económicas por inductiva penalizada, edificio de aulas.**



### 3.3 Control del diagnóstico edificio aulas, sede Barrancabermeja.

De manera análoga a lo realizado para la sede Biblioteca, se plantean tres alternativas de solución: Filtro Armónico Activo (APF), Banco de Condensadores y Compensación en Carga, tomando como caso crítico los registros de energía inductiva penalizada correspondientes a diciembre de 2024 (ver **Figura 18**).

# DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA 46

## 3.3.1 Alternativa filtro activo armónico APF, edificio de aulas.

Siguiendo la metodología descrita en la sección 2.3.1, se dimensiona la corriente de corrección considerando las componentes reactiva y armónica. Para esta sede, la componente reactiva promedio, calculada a partir de los valores máximos consignados en la **Figura 22**, es de aproximadamente 28 A. Aplicando un factor de seguridad del 20 % para cubrir condiciones futuras, se obtiene una corriente reactiva estimada de 34 A.

**Figura 22. Mapa de calor corriente inductiva penalizada diciembre 2024, edificio de aulas.**

2024																										DÍAS				
12																										31				
AMPERIOS INDUCTIVOS PENALIZADOS POR DIA Y HORA - UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER - BARRANCABERMEJA AULAS																										kWh				
DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTAL DIA	MIN.	MAX.			
1 DO	17.3	17.3		26.0	17.3		26.0	8.7	26.0	26.0	8.7	26.0	26.0	8.7	26.0	8.7	26.0	17.3		26.0	17.3	17.3			17.3	389.71	8.66	25.98		
2 LU	17.3	26.0	17.3	17.3	17.3	17.3	8.7	8.7					17.3										8.7	17.3		173.21	8.66	25.98		
3 MA	26.0	17.3	17.3	17.3	26.0	17.3	8.7	8.7															17.3	17.3	17.3	190.53	8.66	25.98		
4 MI	17.3	26.0		17.3	17.3	17.3	17.3																	17.3	17.3	147.22	17.32	25.98		
5 JU	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3	8.7																17.3	17.3		147.22	8.66	17.32		
6 VI	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3		8.7	17.3					8.7	8.7	8.7									26.0	17.3	199.19	8.66	25.98		
7 SA		17.3	17.3	17.3	26.0		17.3	26.0			8.7	8.7	17.3	17.3	17.3	8.7	17.3	26.0	8.7	17.3	26.0	17.3		17.3	329.09	8.66	25.98			
8 DO	17.3	17.3	8.7	17.3	17.3	17.3	8.7	26.0	26.0	17.3	8.7	26.0	8.7	26.0	26.0	8.7	17.3	26.0	17.3	17.3	26.0	17.3			17.3	415.69	8.66	25.98		
9 LU	26.0	17.3	17.3	26.0	17.3	17.3																	17.3	17.3	17.3	26.0	199.19	17.32	25.98	
10 MA		17.3	26.0	17.3		17.3	17.3	17.3																17.3	17.3	147.22	17.32	25.98		
11 MI	17.3	17.3	26.0		17.3	17.3	17.3																8.7		17.3	26.0	164.54	8.66	25.98	
12 JU	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3		17.3	8.7	8.7					8.7									8.7	17.3	17.3	17.3	173.21	8.66	17.32	
13 VI	17.3		17.3	17.3	26.0	17.3								17.3									8.7	17.3	17.3	17.3	207.85	8.66	25.98	
14 SA		26.0	17.3	17.3		26.0	17.3	8.7	26.0		26.0	8.7	26.0	8.7	26.0	8.7	17.3	26.0					26.0	17.3	17.3	8.7	372.39	8.66	25.98	
15 DO	26.0		26.0	17.3	17.3	26.0	8.7	17.3	26.0	26.0	8.7	26.0	26.0	8.7	26.0			26.0	26.0				26.0	17.3	17.3	26.0	424.35	8.66	25.98	
16 LU	17.3	26.0	17.3	26.0	17.3	17.3					8.7			26.0	8.7	8.7							17.3	17.3	26.0	26.0	259.81	8.66	25.98	
17 MA	26.0		26.0		17.3	8.7	17.3	8.7		8.7			8.7	17.3									17.3	17.3		26.0	233.83	8.66	25.98	
18 MI	17.3	8.7	17.3	8.7	17.3	26.0	8.7							8.7	17.3									17.3	17.3	8.7	17.3	216.51	8.66	25.98
19 JU		26.0	17.3	8.7	17.3	8.7	17.3							8.7	8.7	26.0		8.7					26.0	8.7	26.0	17.3	8.7	259.81	8.66	25.98
20 VI	17.3	26.0		26.0	17.3	8.7	26.0	8.7	26.0	8.7		26.0	8.7	26.0	8.7	8.7	17.3	8.7	26.0	26.0	17.3	17.3	8.7	26.0	26.0	389.71	8.66	25.98		
21 SA		26.0	26.0	8.7	17.3	26.0	8.7	34.6	8.7	26.0	8.7	26.0	8.7	26.0	8.7	26.0	34.6	8.7	17.3	26.0	26.0		26.0	26.0		26.0	450.33	8.66	34.64	
22 DO	26.0	17.3	26.0	8.7	26.0	17.3	26.0	34.6	8.7	26.0	17.3	8.7	26.0	17.3	26.0	8.7	17.3	26.0	17.3	8.7	26.0	17.3	26.0	8.7	26.0	8.7	467.65	8.66	34.64	
23 LU	17.3	26.0	26.0	17.3	26.0	26.0	26.0	8.7	26.0	26.0	8.7	34.6	8.7	26.0	17.3	26.0	8.7	26.0	26.0	8.7	26.0	26.0	8.7	17.3	26.0	26.0	484.97	8.66	34.64	
24 MA	26.0	26.0	17.3	8.7	26.0	26.0	26.0	8.7	34.6	8.7	8.7	34.6	8.7	26.0	17.3	26.0	8.7	26.0	8.7	26.0	17.3	26.0	8.7	17.3	26.0	8.7	467.65	8.66	34.64	
25 MI	26.0	26.0	17.3	26.0	26.0	8.7	26.0	26.0	17.3	26.0	8.7	34.6	8.7	26.0	17.3	26.0	8.7	26.0	8.7	26.0	17.3	26.0	8.7	17.3	26.0	8.7	484.97	8.66	34.64	
26 JU	26.0	26.0	26.0	17.3	26.0	26.0	8.7	26.0	17.3	26.0	26.0	17.3	26.0	8.7	17.3	26.0	8.7	8.7	26.0	26.0	17.3	8.7	26.0	26.0	17.3	8.7	493.63	8.66	25.98	
27 VI	17.3	8.7	26.0	26.0	26.0		26.0	34.6	8.7	34.6	8.7	8.7	34.6	26.0	8.7	34.6	8.7	26.0	8.7	17.3	26.0	26.0	17.3	8.7	26.0	8.7	467.65	8.66	34.64	
28 SA	26.0	26.0		26.0	26.0	26.0	17.3	17.3	26.0	8.7	26.0	17.3	26.0	8.7	26.0	8.7	26.0	8.7	26.0	8.7	26.0	26.0	17.3	26.0	26.0	17.3	484.97	8.66	25.98	
29 DO	8.7	26.0	26.0	17.3	26.0	8.7	26.0	26.0	26.0	26.0	8.7	34.6	8.7	8.7	34.6	8.7	26.0	8.7	26.0	8.7	26.0	26.0		26.0	26.0	8.7	467.65	8.66	34.64	
30 LU	17.3	26.0	26.0	8.7	17.3	26.0	34.6	8.7	26.0	17.3	26.0	8.7	34.6	8.7	26.0	17.3	26.0	8.7	26.0	17.3	26.0	8.7	26.0	26.0	17.3	8.7	484.97	8.66	34.64	
31 MA	8.7	26.0	26.0		26.0	26.0	8.7	34.6	8.7	34.6	26.0	8.7	34.6	8.7	26.0	8.7	34.6	26.0	17.3	8.7	17.3	26.0	26.0			467.65	8.66	34.64		
TOTALES	493.6	597.6	592.9	493.6	598.9	493.6	502.3	424.4	346.4	346.4	242.5	372.4	424.4	372.4	381.1	268.5	328.1	407.0	294.4	459.0	424.4	485.0	511.0	441.7	10,262.4	8.66	34.64			

De manera similar al caso anterior, se estima la contaminación armónica conforme a la norma IEEE Std 519-2014/2022. Las cargas predominantes corresponden a sistemas de iluminación LED y aire acondicionado, que introducen armónicos característicos (ver **Tabla 15**). Para el dimensionamiento final, se realiza un barrido de escenarios considerando valores de THDi y  $\cos\phi_1$ , consignados en la **Tabla 16**, a fin de determinar la corriente total que debe inyectar el APF.

**Tabla 15. Caracterización de cargas edificio de aulas, sede Barrancabermeja.**

Carga	Naturaleza de la carga	Tipo de arranque	Armonicos típicos (predominantes)	Comentarios técnicos	Pronostico de %THDi
Iluminación LED	No lineal (balastos electronicos, divers)	Encendido directo	3 <sup>a</sup> , 5 <sup>a</sup> , 7 <sup>a</sup>	La THD depende fuertemente de la calidad del driver y si incorpora PFC. En aulas modernas predominan drivers con PFC parcial/activo que reducen la THDi.	30 - 60 %
Equipos TIC (portátiles, proyectores, routers, cargadores)	No lineal (fuentes conmutadas)	Encendido directo	3 <sup>a</sup> , 5 <sup>a</sup> , 7 <sup>a</sup> , 9 <sup>a</sup> , 11 <sup>a</sup>	Individuos de baja potencia, la contribución colectiva es moderada. Muchos cargadores modernos y laptops incluyen PFC o son de baja potencia, reduciendo el THDi medio.	10 - 20 %
Aires acondicionados (unidad split / paquetes / AHU)	No lineal si son inverter / VFD, prácticamente lineal en unidades on-off	Inverter / VFD (si aplica) o arranque directo/contactador (ON-OFF)	5 <sup>a</sup> , 7 <sup>a</sup> , 11 <sup>a</sup> , 13 <sup>a</sup>	En ausencia de inventario confirmable se asume mezcla de equipos (algunas unidades inverter con mitigación parcial y otras no)	20 - 40 %
Otros	Lineal (motores, resistivos)	Directo o estrella - triángulo	No genera armonicos significativos	Principalmente aportan factor de potencia bajo, pero no distorsión armónica.	0 - 15 %

**Tabla 16. Análisis de escenarios de contaminación armónica, biblioteca Barrancabermeja.**

Distorsión por corriente (THDi)	FP FUNDAMENTAL $\cos\phi_1$	Corriente Fundamental I1 [A]	Corriente Eficaz irms [A]	Corriente armonica Ih [A]	Corriente APF If [A]
5%	1	78.73	78.83	3.94	34.23
10%	0.99	77.94	78.33	7.79	34.88
15%	0.98	77.15	78.02	11.57	35.92
20%	0.97	76.37	77.88	15.27	37.27
25%	0.96	75.58	77.91	18.90	38.90
30%	0.95	74.79	78.09	22.44	40.74

### 3.3.2 Alternativa banco de condensadores, edificio de aulas.

Se proponen tres posibles modelos de bancos de condensadores de los cuales se seleccionó uno, consignados en la **Tabla 17**, A1, A3 y A5, en el **APÉNDICE 22, 23 y 24**, se consignan respectivamente los resultados del modelado en excel de la solución para cada alternativa, donde se seleccionó el modelo A1, con una potencia máxima de inyección de 13.75 kVAR.

**Tabla 17. Modelos propuestos bancos de condensadores, edificio de biblioteca.**

ETAPA	A1	A3	A5
FIJA	2.5	3.75	7.5
A	3.75	7.5	7.5
B	7.5	7.5	7.5
TOTAL KVAR	13.75	18.75	22.5

Se logro contrarrestar los registros de energía inductiva penalizada para el mes de diciembre de 2024, los resultados de la alternativa A1 de la simulación en Excel se consignan en el **APÉNDICE 22**.

### 3.3.3 Alternativa compensación en carga, edificio de aulas.

Esta alternativa, aunque similar al banco de condensadores, consiste en una única etapa fija conectada directamente a la carga. Se evaluaron tres opciones (A1, A3 y A5), ilustradas en la **Tabla 18**.

**Tabla 18. Modelos propuestos etapa fija, edificio de biblioteca.**

ETAPA	A1	A3	A5
FIJA	7.5	15	17.5
TOTAL KVAR	7.5	15	17.5

Los **APÉNDICES 25, 26 y 27** presentan los resultados de la simulación en Excel para los excedentes de energía capacitiva y la energía inductiva penalizada compensada, respectivamente. En este análisis, la alternativa A3 logró compensar por completo los registros de inductiva penalizada, confirmando su viabilidad técnica.

### 3.4 Análisis de alternativas edificio de biblioteca, sede Barrancabermeja.

La **Tabla 19** presenta una comparación detallada de las alternativas de solución evaluadas para esta sede, considerando los criterios definidos en la sección 2.4 y manteniendo la codificación por colores (verde, amarillo, rojo) para facilitar la interpretación. Con base en este análisis y en los resultados obtenidos en el control del diagnóstico, se determina que la alternativa de banco de condensadores ofrece un balance significativamente más favorable en comparación con las otras dos soluciones.

# DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA 49

**Tabla 19. Alternativas de solución, edificio de aulas.**


Propósito	Análisis de alternativas para el control del diagnóstico del edificio de aulas, Barrancabermeja		
Alternativa	Compensación de energía reactiva inductiva con filtro activo - APF	Compensación de energía reactiva inductiva con banco de condensadores	Compensación de energía reactiva inductiva con un condensador etapa fija
Descripción	Comprende la instalación de un sistema de compensación por medio de un filtro activo con una capacidad estimada de 50 [A]. Esta alternativa no incluye la instalación de transformadores de corriente.	Comprende la instalación de un sistema de compensación por medio de un banco de condensadores con capacidad mínima y máxima de 2.5 y 13.75 kVAR respectivamente. Este sistema presenta una etapa fija y dos escalonadas que operan por medio de un controlador.	Comprende la instalación de un sistema de compensación por medio de un banco de condensadores con una capacidad de 15 kVAR que representa una única etapa fija.
Costo de inversión (CAPEX)	Corresponde a la alternativa de mayor costo de inversión, por tratarse de una solución integral basada en tecnología avanzada.  Valor estimado: 45 millones COP. (valores estimados que pueden cambiar según replanteo).	Corresponde a la segunda alternativa de mayor costo requiere una inversión de envoltente, controlador de etapas y un contactor para condensadores.  Valor estimado: 30 millones COP. (valores estimados que pueden cambiar según replanteo).	Corresponde al costo de inversión más bajo de las alternativas indicadas. El costo de la solución corresponde principalmente a los condensadores.  Valor estimado: 10 millones COP. (valores estimados que pueden cambiar según replanteo).
Costo de operación (OPEX)	Corresponde a la alternativa de menor costo de operación, contempla únicamente un valor de monitoreo y seguimiento.	Corresponde a la segunda alternativa de menor costo, requiere mantenimiento preventivo por sus etapas y correctivo por anomalías de operación de los condensadores.	Corresponde a la alternativa de mayor costo, requiere mantenimiento preventivo y correctivo por anomalías y sobrecarga de operación de los condensadores.
Mantenimiento	El costo de mantenimiento es mínimo teniendo en cuenta que la solución integral presenta alertas y alarmas en condiciones de anomalía que protegen al sistema de compensación.	Requiere la programación de rutinas de mantenimiento teniendo en cuenta la naturaleza de las cargas conectadas al sistema eléctrico de esta sede.	De la misma manera que la segunda alternativa requiere la programación inicial de rutinas de mantenimiento teniendo en cuenta la naturaleza de las cargas conectadas al sistema eléctrico de esta sede.
Espacio físico	Requiere el espacio físico dispuesto para la solución según la ficha técnica (APÉNDICE 8).	Requiere disponer un espacio en sitio para la instalación del banco de condensadores en una envoltente que contempla la solución completa.	Requiere liberación de espacio, teniendo en cuenta que la compensación será en carga por lo tanto los condensadores estarán conectados en paralelo.
Tiempo de ejecución	Tiempos de entrega de 2 a 6 semanas.	Tiempos de entrega de 2 a 6 semanas.	Tiempos de entrega de 2 a 6 semanas.
Funcionamiento	El filtro activo realiza la medición de los parámetros eléctricos que corresponden a la potencia, distorsión y desbalance del sistema eléctrico y según las medidas y configuraciones del equipo, este inyecta una corriente de corrección al sistema eléctrico.	El banco de condensadores inyecta una potencia reactiva capacitiva escalonada según la programación del controlador, alternando las etapas escalables y manteniendo la etapa fija, según el perfil de carga institucional.	Los condensadores que hacen parte de esta etapa fija inyectan una potencia reactiva capacitiva estándar constante.
Restricciones y Limitaciones	Requiere condiciones locativas específicas de la temperatura y la altitud del sistema.  Requiere capacitación técnica para la configuración y puesta en marcha de la solución.	Puede generar resonancia con los armónicos del sistema. Repuesta lenta, no responde al dinamismo del sistema. No corrige distorsión ni desbalance.	Puede generar resonancia con los armónicos del sistema. Respuesta fija, no responde al dinamismo del sistema. No corrige distorsión ni desbalance.

## DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN 50 DE ENERGÍA REACTIVA

### 3.5 Prescripción de la solución banco de condensadores, edificio de aulas.

Como resultado del análisis técnico y económico, se prescribe la instalación de un banco de condensadores de 13,75 kVAR, con el objetivo de corregir los excesos de energía reactiva inductiva identificados en la **Figura 18**. En la **Tabla 20** se presentan las principales características técnicas de la solución, tomadas de la ficha técnica de los equipos (ver **APÉNDICES 28, 29 y 30**).

**Tabla 20. Características técnicas del banco de condensadores.**

Banco de Condensadores 13.75 kVAR, 220 V	
Voltaje nominal de entrada	220 [V]
Frecuencia	50/60 Hz
Capacidad potencia reactiva compensada	13.75 kVAR
contenido de armonicos de la red	<= 20 %
máxima operación de conmutación promedio por año	6000
Vida útil en horas	130000
Normas y Certificaciones	IEC 60831-2 IEC 60831-1
Dimensiones (Al x An x Prof)	2 x 1.4 x 0.6 m
Temperatura de operación	-25...55 °C

### 3.6 Análisis plan de inversión de la solución APF, edificio de aulas.

**Tabla 21. Costo de inversión inicial (CAPEX) banco de condensadores, edificio de aulas.**

Equipo	Detalle	Capacidad	Cantidad Total Estimada	Subtotal COP\$
Capacitor 2.5 kVAR	Capacidad potencia (kVAR)	2.5	1	\$ 1,000,000
Capacitor 3.75 kVAR	Capacidad potencia (kVAR)	3.75	1	\$ 1,500,000
Capacitor 7.5 kVAR	Capacidad potencia (kVAR)	7.5	1	\$ 2,500,000
Controlador	Aumatomatico	1	1	\$ 13,000,000
Envolvente	Capacidad condensadores (#)	6	1	\$ 12,000,000
<b>GRAN TOTAL</b>				<b>\$ 30,000,000</b>

## DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN 51 DE ENERGÍA REACTIVA

Este análisis incluye la evaluación de la conveniencia económica de la instalación, destacando indicadores como el tiempo de recuperación de la inversión (Payback) y los beneficios asociados en términos de reducción de penalizaciones económicas.

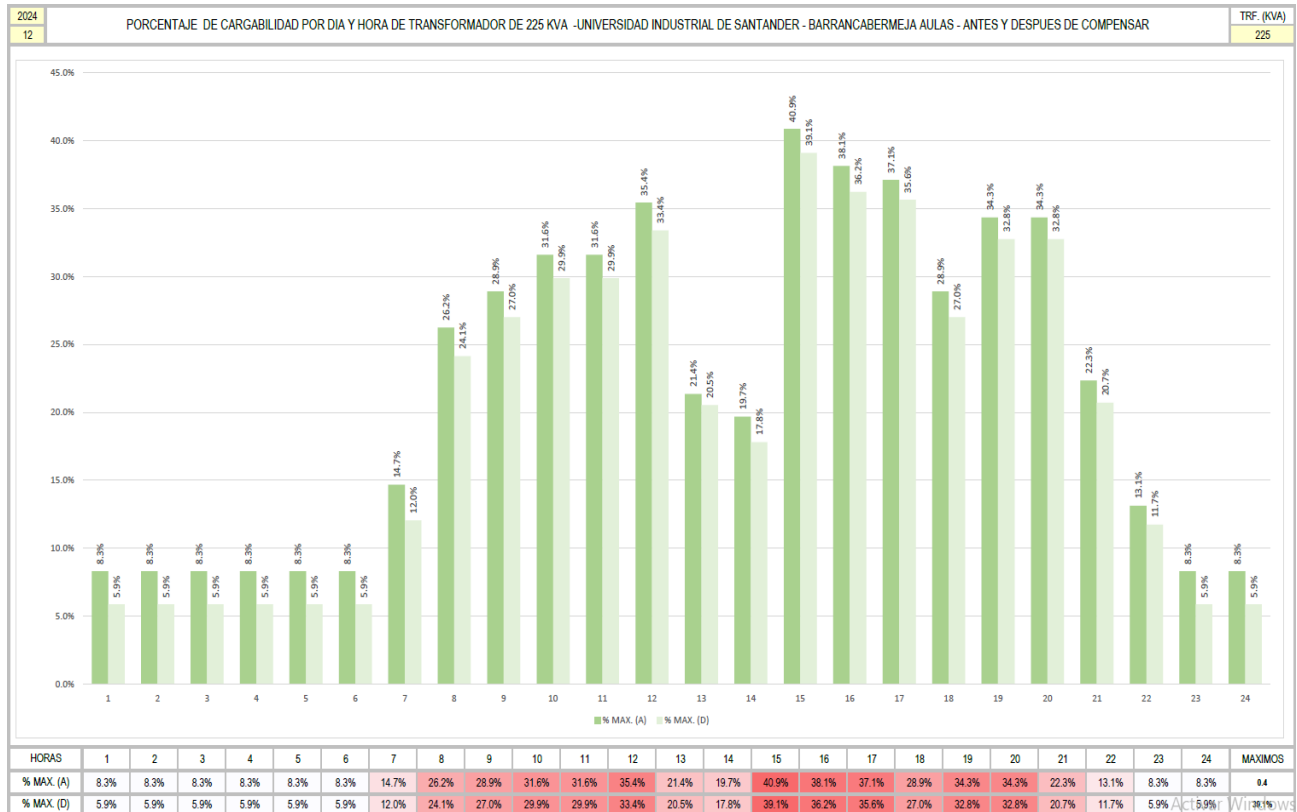
**Tabla 22. Análisis inversión solución banco de condensadores, edificio de aulas.**

CONCEPTO	VALOR ESTIMADO	Notas
Inversión total (CAPEX)	30.000.000 COP\$	Corresponde al costo de la inversión inicial de la solución planteada
Ahorro anual por eliminación de penalizaciones 2024	27.000.000 COP\$	Corresponde aproximadamente al valor total de penalización para esta sede en el 2024
Ahorro acumulado (2023-2025)	49,5.000.000 COP\$	Corresponde aproximadamente a la penalización total desde 2023 a junio de 2025 de la sede
Tiempo de recuperación (Payback)	13 meses	Corresponde al tiempo que demora la sede en recuperar la inversión ahorrándose el dinero por penalización
Retorno de inversión (ROI)	90%	Corresponde a la rentabilidad de la inversión en porcentaje
Beneficio neto	22,5.000.000 COP\$	Corresponde aproximadamente a el beneficio neto solo para 3 años (2023, 2024 y 2025)

### 3.7 Análisis del impacto de la solución banco de condensadores, edificio de aulas.

Finalmente, en la **Figura 23** se ilustra el impacto estimado sobre la cargabilidad del transformador principal (225 kVA), evidenciando que con la implementación de la solución se logra una disminución promedio del 2 %, contribuyendo a mejorar la eficiencia operativa y prolongar la vida útil del equipo.

Figura 23. Análisis de cargabilidad, edificio de aulas.



#### 4. Edificio de coliseo, sede Bucaramanga.

##### 4.1 Descripción general edificio de coliseo, sede Bucaramanga.

Este edificio corresponde al coliseo de la sede principal de la Universidad Industrial de Santander (UIS), ubicado en Bucaramanga, espacio destinado a actividades deportivas y culturales que congregan una parte significativa de la comunidad universitaria. De manera análoga a las sedes anteriores, el sistema eléctrico presenta alta presencia de cargas no lineales, principalmente sistemas de iluminación, sonido, audiovisuales y ventilación (incluye el edificio de logística y la cancha sur).

##### 4.1.1 Análisis anual de consumos energéticos, edificio de coliseo.

Se dispone de registros históricos desde enero de 2024 hasta agosto de 2025, lo que permite caracterizar el comportamiento eléctrico de esta sede. A diferencia de las otras dos, este edificio es el único que presenta registros históricos de energía capacitiva permanente. Según el

DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN 53  
DE ENERGÍA REACTIVA

reporte anual consignado en la **Tabla 23**, se evidencia una tendencia creciente en penalizaciones económicas: aproximadamente 60 % entre los 12 meses de 2024 y los ocho meses registrados en 2025.

**Tabla 23. Resumen anual edificio de coliseo, sede Bucaramanga.**

RESUMEN DE INDICADORES 2024 - 2025								
AÑO	kWh	kVarh (C)	kVarh PEN.	kVarh (I)	MES PEN.	FACTOR	TARIFA P.	\$ PEN. COP
2024	275,740	154,241	61,428	0	12	1	185,23	11,406,336
2025	175,783	105,375	42,041	0	8	6	200,78	38,841,948

**4.1.2 Análisis mensual de consumos energéticos, edificio de coliseo.**

El comportamiento mensual de esta frontera comercial difiere de los perfiles observados en las dos cuentas anteriores. Durante 2024 y 2025 se registran excedentes de energía reactiva capacitiva penalizada, lo que sugiere la presencia de un banco de capacitores sobredimensionado, efectos capacitivos en líneas subterráneas, la influencia de sistemas de iluminación LED u otro tipo de cargas con un efecto capacitivo predominante. Los reportes completos para ambos años se encuentran en el **APÉNDICE 31** y en la **Tabla 24**.

**Tabla 24. Resumen 2025 edificio de coliseo, sede Bucaramanga.**

RESUMEN DE INDICADORES								
MES	kWh	kVarh (C)	kVarh PEN.	kVarh (C)	DIAS PEN.	FACTOR	TARIFA P.	\$ PEN.
1	12,746	14,606	8,552.11			2	194.60	3,328,483
2	22,767	11,548	4,085.25			3	194.60	2,384,967
3	26,331	12,422	4,268.85			4	194.60	3,322,875
4	25,011	11,939	4,731.58			5	207.53	4,909,728
5	25,900	13,003	4,453.59			6	206.27	5,511,848
6	18,787	13,916	5,897.69			6	198.80	7,034,763
7	20,157	14,309	5,373.32			6	202.81	6,538,576
8	24,085	13,632	4,678.28			6	207.01	5,810,709
9						6		
10						6		
11						6		
12						6		
TOTAL	175,783	105,375	42,041					38,841,948

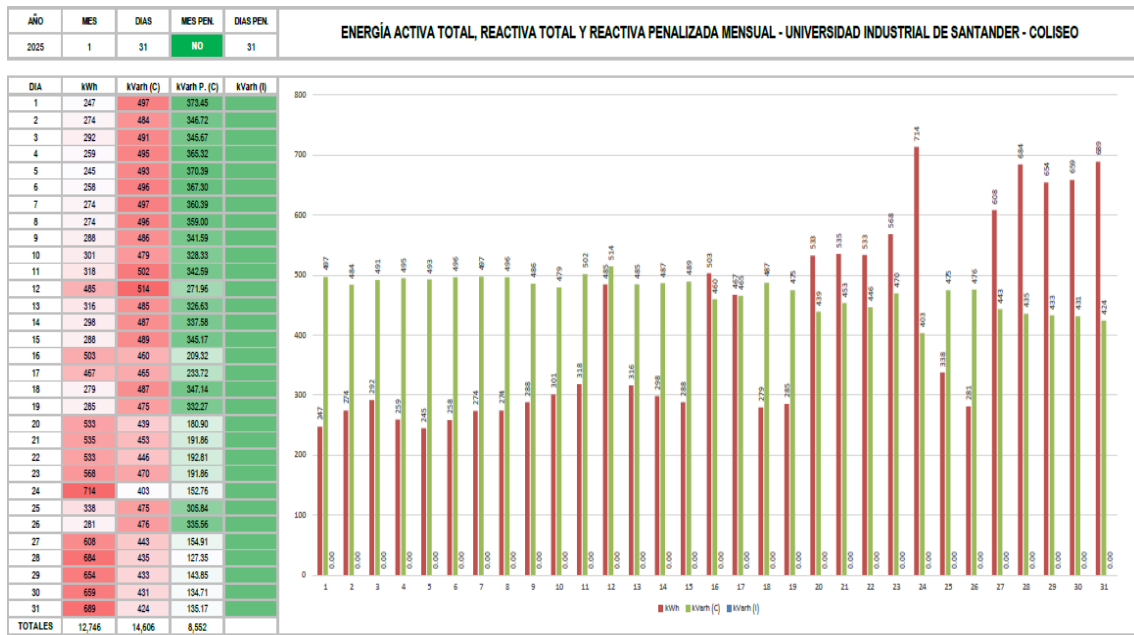
En la **Tabla 24**, correspondiente a lo corrido del 2025, se evidencian penalizaciones económicas por excedentes capacitivos en todos los meses, siendo enero y junio los más críticos, como se detalla en los reportes mensuales del **APÉNDICE 31**.

# DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN 54 DE ENERGÍA REACTIVA

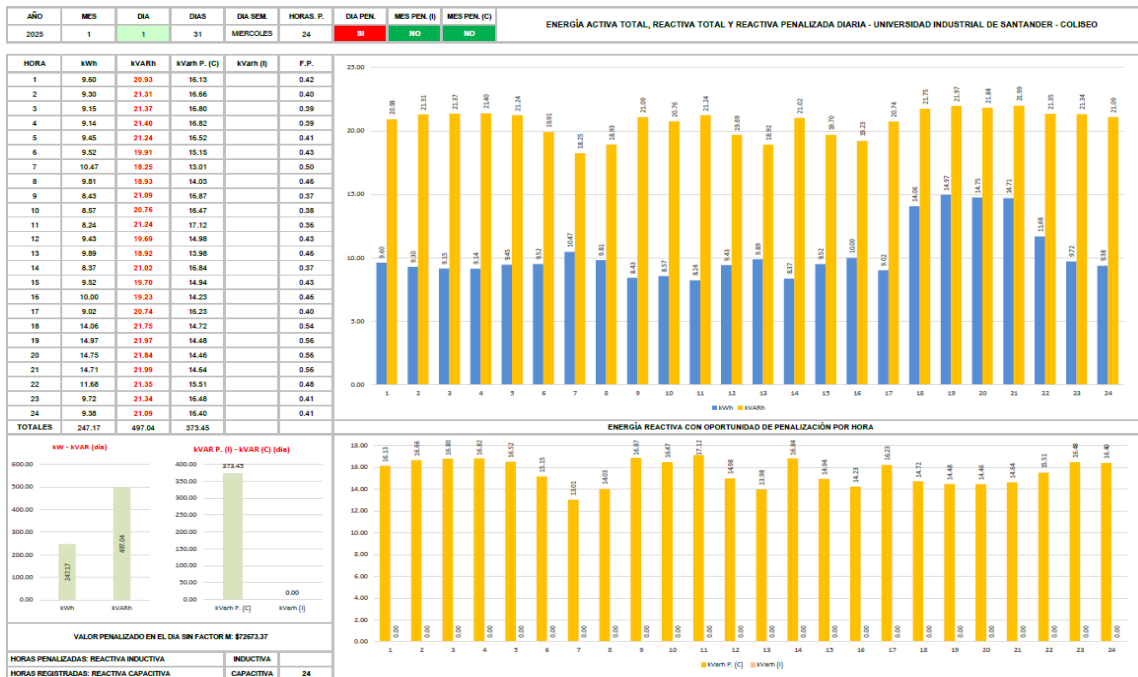
## 4.1.3 Análisis diario de consumos energéticos, edificio de coliseo.

Con base en el análisis mensual, se selecciona enero como caso crítico. En la **Figura 24** se observa que, de los 31 días del mes, aproximadamente 19 días presentan registros donde la energía reactiva capacitiva supera a la energía activa, generando penalizaciones severas conforme a la Resolución CREG 101 035.

**Figura 24. Reporte consumo enero de 2025 edificio de coliseo, sede Bucaramanga.**



**Figura 25. Reporte consumo enero 1 de 2025 edificio de coliseo, sede Bucaramanga.**



# DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN 55 DE ENERGÍA REACTIVA

La **Figura 25** muestra el reporte del 1 de enero de 2025, día en el que la energía capacitiva fue mayor que la activa durante las 24 horas, resultando en un factor de potencia promedio de 0,45, condición altamente penalizable.

## 4.1.4 Análisis mapas de calor de consumos energéticos, edificio de coliseo.

En los **APÉNDICES 32 y 33** se presentan los mapas de calor para 2024 y 2025. A continuación, las **Figuras 26 y 27** ilustran los registros correspondientes a enero de 2025 para energía activa y energía capacitiva penalizada, respectivamente.

**Figura 26. Mapa de calor consumo de energía activa enero de 2025 edificio de coliseo.**

2025 1	KWh CONSUMIDOS POR DIA Y HORA - UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER - COLISEO																								DIAS PEN - MES PEN		DIAS 31	31
	DIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTAL DIA		
1	MI	9.6	9.3	9.2	9.1	9.4	9.5	10.5	9.8	8.4	8.6	8.2	9.4	9.9	8.4	9.5	10.0	9.9	14.1	15.0	14.8	14.7	11.7	9.7	9.4	247.17	8.24	14.97
2	JU	9.5	9.2	9.6	9.6	9.7	11.2	12.6	11.7	10.7	10.8	10.7	11.2	11.7	10.1	11.2	11.7	10.1	15.0	15.7	15.5	15.2	12.2	9.8	9.4	274.05	9.16	15.73
3	VI	9.2	9.1	9.1	8.9	9.1	10.8	11.3	11.2	9.8	9.9	10.0	10.6	10.8	10.0	12.3	11.8	14.0	26.9	24.3	15.0	15.1	12.4	10.3	9.7	291.62	8.90	26.91
4	SA	9.7	10.1	10.2	10.1	9.8	10.4	11.8	11.3	10.6	10.4	10.1	11.8	11.5	9.8	10.2	10.5	9.3	12.5	13.1	13.0	12.9	10.7	9.9	9.5	259.19	9.25	13.10
5	DO	9.5	9.2	9.4	9.4	9.5	9.8	11.1	10.5	9.4	9.5	9.7	10.2	10.1	8.9	9.9	10.1	8.9	12.4	12.6	12.7	12.6	10.5	9.8	9.2	244.86	8.88	12.66
6	LU	9.2	9.1	9.2	9.2	9.2	10.4	11.3	11.6	10.0	10.2	10.3	10.5	10.5	8.7	9.6	10.0	9.2	14.4	15.0	15.2	14.9	11.5	9.6	9.3	258.25	8.69	15.21
7	MA	9.3	9.2	9.4	9.3	9.9	10.1	10.9	11.0	10.5	10.3	10.9	11.9	12.5	11.5	13.3	12.4	10.6	14.5	15.0	15.1	14.9	11.7	9.9	9.5	273.71	9.24	15.08
8	MI	9.4	9.4	9.5	9.6	9.8	11.8	12.0	11.6	10.4	10.6	10.3	10.8	11.3	10.7	11.6	11.4	10.3	14.9	15.5	15.5	15.3	12.6	10.0	9.7	274.13	9.41	15.52
9	JU	9.6	9.8	10.0	9.7	9.7	10.8	11.4	11.0	9.8	10.1	9.9	10.5	10.6	11.4	10.7	11.4	10.3	16.8	18.6	18.5	18.0	13.2	13.2	12.9	287.97	9.64	18.58
10	VI	12.9	12.8	12.8	12.6	12.9	12.6	13.2	11.9	9.7	9.9	10.0	10.6	10.8	9.6	11.1	10.8	9.7	16.6	18.4	18.5	18.6	14.8	11.1	9.4	301.21	9.39	18.63
11	SA	9.5	9.3	9.4	9.9	10.0	11.0	11.4	10.4	9.3	9.1	9.4	10.7	10.6	9.4	10.3	10.5	9.6	13.1	24.0	24.1	23.9	21.9	21.0	20.4	318.20	9.10	24.07
12	DO	20.1	20.2	19.9	20.1	20.1	20.4	21.5	20.4	19.1	19.3	19.5	20.5	20.6	19.5	20.2	20.7	19.8	23.0	23.4	23.4	23.4	21.2	18.9	9.4	484.54	9.42	23.44
13	LU	9.3	9.4	10.6	12.5	12.7	10.2	11.5	10.5	9.2	9.2	9.4	10.8	10.5	9.4	10.5	10.7	14.3	25.6	29.5	19.8	18.6	15.1	13.3	13.1	315.74	9.23	29.52
14	MA	13.1	13.0	12.9	13.2	13.3	11.7	12.7	10.6	9.3	9.6	10.0	10.5	10.6	10.0	11.4	12.1	10.4	16.8	19.2	19.0	16.8	12.5	10.1	9.4	298.08	9.28	19.15
15	MI	9.4	9.4	10.4	12.7	13.2	12.7	13.5	11.0	10.8	10.3	10.0	10.9	11.1	9.9	10.4	11.1	10.5	16.3	18.5	18.5	16.0	12.1	10.0	9.6	288.20	9.38	18.47
16	JU	9.5	9.7	11.1	12.7	13.7	15.4	26.9	31.1	33.2	35.4	34.2	29.0	22.1	25.0	32.5	30.3	23.2	19.1	19.2	19.2	18.4	12.4	10.1	9.8	503.22	9.47	35.38
17	VI	9.8	9.7	10.0	9.7	11.0	13.7	21.7	29.6	32.1	32.8	33.8	23.7	16.1	26.4	29.6	28.9	21.1	18.8	18.8	18.5	18.4	13.0	10.1	9.7	466.88	9.69	33.79
18	SA	9.6	9.4	9.5	9.8	9.6	9.8	10.8	10.3	8.9	8.9	9.3	10.1	10.2	8.9	9.8	10.2	10.1	15.1	18.5	20.9	19.0	14.3	13.2	12.8	279.19	8.92	20.90
19	DO	12.7	13.0	13.0	13.3	12.8	11.1	10.9	9.8	8.6	8.5	8.9	9.9	10.0	9.0	10.0	10.4	9.6	13.7	16.1	16.5	16.8	14.6	13.2	12.3	284.78	8.51	16.78
20	LU	12.5	12.5	12.5	12.7	14.1	14.0	22.9	33.0	32.6	34.9	32.4	28.3	21.2	29.0	32.7	32.5	27.0	23.7	20.2	20.1	20.1	16.5	14.0	13.5	532.53	12.47	34.94
21	MA	13.5	13.4	13.5	13.7	14.0	13.5	27.8	30.1	27.6	29.7	29.5	28.2	21.0	25.0	32.7	34.5	26.9	29.4	32.8	25.5	16.8	13.8	11.7	10.7	535.16	10.68	34.46
22	MI	10.7	10.9	10.8	12.0	15.9	15.6	26.0	28.7	29.2	32.9	35.1	27.2	20.4	28.2	37.1	39.3	28.2	22.0	21.8	19.3	19.4	15.6	13.8	13.2	533.32	10.74	39.33
23	JU	10.5	10.3	10.4	10.2	12.1	14.3	27.2	33.3	30.1	29.4	29.3	24.8	19.6	27.1	32.0	30.5	27.3	39.8	44.4	36.1	29.0	18.3	11.2	10.5	567.80	10.21	44.39
24	VI	10.2	10.3	10.0	10.2	12.0	14.3	25.4	29.2	30.8	32.0	32.5	26.5	19.1	25.1	29.2	29.5	25.7	41.2	71.1	70.1	67.5	57.7	20.6	13.4	713.59	10.00	71.12
25	SA	13.1	13.1	13.1	13.2	12.1	11.1	11.9	11.4	10.9	11.1	9.8	10.9	11.0	11.5	12.6	11.7	11.1	13.8	20.7	27.8	28.1	19.7	14.7	13.5	533.32	9.79	28.08
26	DO	13.7	13.4	13.4	13.1	13.1	10.8	11.4	10.6	9.5	9.6	9.9	10.7	10.8	9.8	10.9	11.0	10.4	13.4	14.2	14.0	13.8	11.5	11.0	10.7	280.65	9.53	14.25
27	LU	10.9	11.0	12.0	13.8	16.0	16.1	24.6	33.7	34.7	35.5	35.7	32.2	23.4	32.5	35.5	34.7	31.4	33.8	33.5	31.7	31.5	21.0	12.4	10.9	608.27	10.89	35.68
28	MA	11.0	11.2	11.6	14.1	16.4	17.8	27.3	37.5	39.4	40.5	38.9	34.7	29.3	34.9	37.2	38.1	34.5	43.4	46.3	37.1	31.1	21.3	15.8	14.8	684.21	11.01	46.34
29	MI	11.6	11.6	11.3	11.0	13.0	15.4	30.2	36.3	36.8	42.0	39.9	33.8	28.4	35.9	40.4	39.2	34.5	38.8	35.5	30.8	30.4	20.8	14.6	12.1	654.31	10.98	41.95
30	JU	11.1	10.9	11.0	10.9	13.2	13.8	27.3	31.5	31.9	34.9	37.2	30.9	25.6	34.1	41.5	41.1	34.0	41.4	45.9	41.5	38.6	21.0	15.0	14.2	658.55	10.86	45.94
31	VI	13.5	13.5	13.6	13.5	15.3	25.5	45.3	51.6	48.1	49.1	39.5	31.8	23.8	29.2	35.7	35.6	31.5	30.8	32.0	30.8	29.6	20.1	14.9	14.7	688.16	13.50	51.65
TOTALES		343.3	342.2	348.5	359.7	382.7	405.6	564.3	622.2	601.6	624.9	614.3	563.4	485.2	548.9	631.6	632.8	552.4	690.9	768.9	718.5	679.2	515.7	392.9	356.7	12,746.3		

En la **Figura 26**, los recuadros en color rojo indican franjas horarias donde la energía activa es menor o igual a la energía reactiva capacitiva total, condición que deriva en penalizaciones, como se observa en la **Figura 27**. Durante enero, los registros de energía capacitiva penalizada alcanzaron aproximadamente el 67 % de la energía activa total consumida, patrón que se mantuvo en los meses siguientes (ver **Tabla 24**). Esta condición incrementará el factor de penalización hasta 12, agravando las penalizaciones económicas y evidenciando la necesidad urgente de implementar medidas correctivas.

# DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN 56 DE ENERGÍA REACTIVA

**Figura 27. Mapa de calor consumo de energía capacitiva penalizada enero de 2025, edificio de coliseo.**

2025		KVarh CAPACITIVOS PENALIZADOS POR DÍA Y HORA (YA COMPENSADOS) - UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER - COLISEO																								DIAS PEN	DIAS	31		
1																										31	TOTAL DIA	MIN.	MAX.	
DIA		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
1	MI	16.1	16.7	16.8	16.8	16.5	15.2	13.0	14.0	16.9	16.5	17.1	15.0	14.0	16.8	14.9	14.2	16.2	14.7	14.5	14.5	14.6	15.5	16.5	16.4	373.45	13.0	17.1		
2	JU	16.4	16.7	16.4	16.4	16.3	14.6	11.8	13.1	15.1	14.6	15.2	13.4	12.3	15.1	13.3	12.6	14.6	13.3	13.3	13.2	13.0	13.5	16.0	16.5	346.72	11.803	16.693		
3	VI	17.0	17.1	17.2	17.5	17.0	14.5	12.3	13.2	15.8	15.7	16.0	14.1	13.6	15.7	13.1	13.0	12.0	5.4	7.8	15.1	14.6	15.4	16.3	16.5	345.67	5.357	17.463		
4	SA	16.6	15.9	16.3	16.3	16.4	15.1	12.2	13.9	15.6	15.8	15.9	13.6	13.4	15.9	14.6	13.4	16.0	14.9	14.7	14.8	15.0	16.2	16.3	16.6	365.32	12.188	16.599		
5	DO	16.7	16.8	16.8	16.5	16.6	15.1	12.3	13.4	15.7	15.9	15.8	14.5	13.8	16.1	14.6	13.4	16.1	14.8	15.5	15.3	16.3	16.3	16.9	16.9	370.39	12.265	16.918		
6	LU	16.7	16.9	16.9	16.7	17.0	14.9	12.9	13.3	15.8	15.5	16.1	14.7	13.8	16.4	14.6	13.8	16.0	14.1	14.4	13.7	14.2	15.8	16.5	16.6	367.30	12.914	16.962		
7	MA	16.5	16.8	16.6	16.8	16.3	14.9	12.8	13.7	15.7	15.8	15.5	13.6	12.8	15.2	12.8	13.2	15.5	14.4	14.4	14.2	14.5	15.5	16.4	16.4	360.39	12.777	16.683		
8	MI	16.4	16.5	16.5	16.6	16.3	13.8	12.2	13.1	15.4	15.3	15.8	14.3	13.2	15.4	13.5	13.6	15.5	14.2	14.7	14.2	14.4	15.2	16.5	16.5	359.00	12.172	16.61		
9	JU	16.4	16.5	16.1	16.6	16.8	14.5	12.3	12.8	15.8	15.4	15.8	14.1	13.6	14.2	14.1	13.4	15.6	12.0	11.1	10.9	11.9	14.6	13.4	13.6	341.59	10.879	16.796		
10	VI	13.4	13.7	13.6	13.7	13.5	12.5	11.4	13.0	16.3	15.5	15.7	13.3	12.3	15.7	14.0	14.0	16.2	12.1	11.4	11.0	10.8	12.9	15.3	16.9	338.33	10.802	16.929		
11	SA	16.6	16.9	16.9	16.4	16.6	14.6	12.9	14.5	16.3	16.3	15.9	14.2	13.3	15.7	14.1	13.7	16.3	14.9	10.5	10.5	10.5	11.5	11.6	11.8	342.59	10.456	16.946		
12	DO	12.1	12.0	12.6	12.1	12.1	10.6	7.9	10.1	12.2	12.0	11.9	9.9	9.7	11.7	10.6	9.5	11.7	10.7	10.6	10.7	10.5	11.5	12.6	16.5	271.96	7.92	16.533		
13	LU	16.9	16.8	15.6	13.7	13.3	14.7	11.6	13.6	16.3	16.1	16.2	13.7	13.4	16.1	14.3	14.0	13.7	9.3	6.4	10.5	11.3	12.5	13.5	13.2	326.63	6.446	16.869		
14	MA	13.1	13.5	13.5	13.2	13.2	13.5	11.6	14.0	16.4	16.2	15.9	14.6	13.8	15.9	14.1	13.2	16.1	12.4	11.1	11.1	13.2	15.5	15.9	16.5	337.58	11.061	16.522		
15	MI	16.3	16.2	15.5	13.0	13.0	12.7	11.1	14.0	15.2	15.8	16.0	14.4	13.8	15.9	14.7	13.9	15.6	13.0	11.4	11.5	13.7	15.6	16.5	16.3	345.17	11.066	16.489		
16	JU	16.7	16.2	15.0	13.2	12.5	11.6	4.5	0.6				4.1	9.3	6.8	0.0	1.9	6.7	10.3	10.6	10.3	11.5	15.2	16.2	16.2	209.32		16.66		
17	VI	16.2	16.3	15.8	16.3	15.4	13.9	8.7	1.6	0.5			7.1	12.4	4.4	1.2	1.2	9.8	11.6	11.3	11.2	11.3	14.7	16.1	16.5	233.72		16.544		
18	SA	16.3	16.7	16.7	16.3	16.7	15.0	13.1	14.1	16.5	16.7	16.1	14.6	14.1	16.4	14.7	14.0	15.3	12.1	10.4	10.7	11.1	13.1	13.1	13.3	347.14	10.445	16.748		
19	DO	13.3	12.8	12.9	11.9	13.2	13.9	12.6	14.6	16.6	16.9	16.5	14.6	14.4	16.1	14.6	13.9	15.9	13.9	12.0	11.6	11.1	11.9	13.4	13.8	332.27	11.072	16.918		
20	LU	13.7	13.8	13.8	13.7	12.7	13.9	8.4					2.3	8.7	2.7			3.0	7.1	10.1	9.7	9.9	11.5	12.8	13.2	180.90		13.855		
21	MA	12.9	13.3	13.3	12.8	13.0	12.5	3.4	3.8	6.0	4.7	4.4	4.1	8.1	5.9			4.0	3.5	1.9	6.6	13.3	14.0	14.8	15.9	191.86		15.879		
22	MI	16.0	15.6	16.1	14.4	11.7	12.3	5.6	2.2	1.5			3.9	9.8	3.7			3.2	8.7	8.8	10.6	10.4	12.1	13.0	13.3	192.81		16.06		
23	JU	16.0	16.1	15.9	16.2	15.0	13.7	5.8		3.4	4.8	5.1	7.1	10.3	4.9			0.2	5.0			1.7	6.7	12.0	15.6	16.3	191.86		16.253	
24	VI	16.2	16.0	16.6	16.1	15.5	13.8	6.3	2.3	0.8			4.2	10.7	5.4	0.9	1.1	6.5								7.6	12.7	152.76		16.572
25	SA	13.1	13.1	13.0	13.1	14.2	14.0	12.0	13.4	15.5	15.0	15.8	13.6	13.5	14.9	12.8	13.4	15.0	14.2	9.8	6.2	5.9	9.5	11.8	13.0	305.84	5.9345	15.818		
26	DO	12.4	12.9	13.0	13.0	13.2	14.1	12.3	13.5	15.4	15.8	15.2	13.5	13.1	15.1	13.4	12.7	14.9	14.1	13.8	13.9	14.2	15.4	15.5	15.3	335.56	12.254	15.78		
27	LU	15.3	15.0	14.3	12.9	11.6	12.7	7.5					0.9	7.7	0.7			2.1	2.5	3.0	4.3	4.8	9.5	14.6	15.6	154.91		15.593		
28	MA	15.4	15.3	14.9	12.2	11.3	11.0	5.7						3.5								0.4	4.7	9.2	11.7	12.2	127.35		15.351	
29	MI	14.8	15.1	15.1	15.1	14.4	12.6	2.0						4.2				1.0	0.1	2.9	5.5	5.6	9.2	11.9	14.4	143.85		15.147		
30	JU	15.3	15.5	15.4	15.5	14.3	13.2	2.8					0.7	5.8				1.3				0.6	9.2	12.3	12.7	134.71		15.538		
31	VI	12.8	12.9	12.7	12.9	12.2	5.7						0.5	7.0	2.7			1.5	5.4	3.9	5.1	6.3	9.7	12.1	12.0	135.17		12.892		
TOTALES		473.6	475.7	471.5	457.8	447.7	415.0	288.8	265.9	310.6	306.3	307.9	288.7	349.3	331.5	265.1	257.3	332.1	293.7	280.5	299.0	325.0	393.4	441.9	463.6	8,552.1				

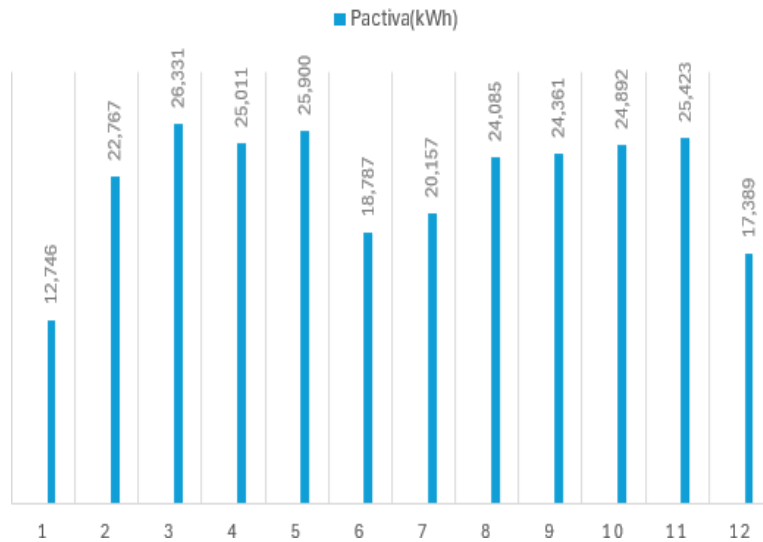
## 4.2 Pronóstico edificio de coliseo, sede Bucaramanga.

Siguiendo la misma metodología aplicada en las sedes anteriores, se realiza un análisis proyectivo mediante la extrapolación de los registros históricos de 2025 (ver **Tabla 24**), estimando el comportamiento de la energía activa, la energía reactiva capacitiva y las penalizaciones económicas para los meses restantes: septiembre, octubre, noviembre y diciembre.

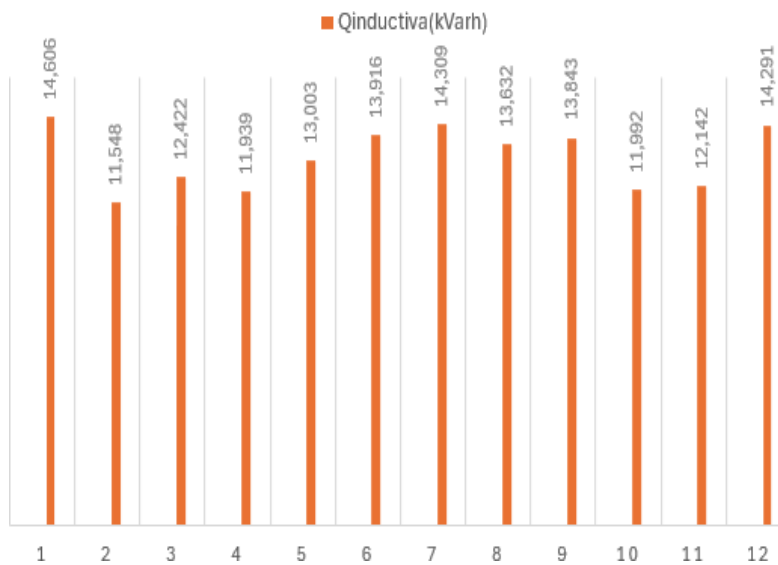
### 4.2.1 Pronóstico de consumos de energía activa e inductiva, edificio de coliseo.

En las **Figuras 28 y 29** se presentan las proyecciones de consumo de energía activa y energía reactiva capacitiva, respectivamente. Se estima que para diciembre de 2025 la energía capacitiva representará aproximadamente el 83 % de la energía activa proyectada, manteniendo el factor de penalización en 6 y generando penalizaciones económicas cada vez más severas.

**Figura 28. Pronóstico consumo de energía activa 2025, edificio de coliseo.**



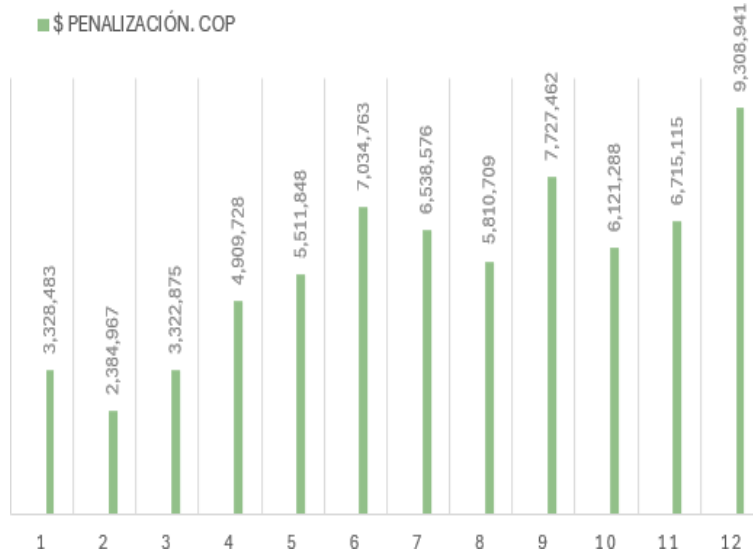
**Figura 29. Pronóstico consumo de energía reactiva 2025, edificio de coliseo.**



#### 4.2.2 Pronóstico penalizaciones económicas por capacitiva penalizada, edificio de coliseo.

En la **Figura 30** se presenta la estimación de penalizaciones económicas proyectadas para 2025. Comparado con los registros de 2024 (ver **APÉNDICE 31**), se observa un incremento aproximado del 80 %, lo que representa un impacto significativo sobre el presupuesto operativo de la sede. Esta tendencia, de no corregirse, podría derivar en restricciones administrativas y operativas que comprometan la sostenibilidad financiera de la instalación.

**Figura 30. Pronóstico 2025 penalizaciones económicas por inductiva penalizada, edificio de aulas.**



#### 4.3 Control del diagnóstico edificio coliseo, sede Bucaramanga.

Considerando el diagnóstico particular de esta cuenta, caracterizado por altos consumos de energía capacitiva, y las tres alternativas planteadas inicialmente (banco de condensadores, filtro armónico activo APF y compensación en carga), se selecciona únicamente la alternativa activa (APF) como solución viable para reducir o eliminar los registros de energía capacitiva penalizada y la opción de eliminar la sobrecompensación. El caso crítico tomado como referencia corresponde a los registros de enero de 2025 (ver **Figura 27**).

##### 4.3.1 Alternativa filtro activo armónico APF, edificio de coliseo.

De manera análoga a las sedes anteriores, se analizan las componentes reactivas y se estiman las armónicas para dimensionar la corriente de compensación que debe inyectar el filtro. La componente de corriente reactiva promedio, calculada a partir de los valores máximos consignados en la **Figura 31**, es de aproximadamente 45 A. Aplicando un factor de seguridad del 20 %, se obtiene una corriente reactiva estimada de 55 A.

# DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA 59

**Figura 31. Mapa de calor corriente capacitiva penalizada enero 2025, edificio de coliseo.**

AMPERIOS CAPACITIVOS PENALIZADOS POR DÍA Y HORA - UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER - COLISEO																								DÍAS				
2025	1																							31				
DA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTAL DIA	MIN	MAX	
1	MI	42.3	43.7	44.1	44.2	43.3	39.8	34.2	36.9	44.3	43.2	44.9	39.3	36.7	44.2	39.2	37.3	42.6	38.6	38.0	37.9	38.4	40.7	43.2	43.9	380.05	34.15	44.93
2	JU	43.2	43.8	43.0	43.1	42.9	38.3	31.0	34.3	39.6	38.3	40.0	35.2	32.2	39.6	34.9	33.1	38.3	35.0	34.8	34.6	34.2	35.3	41.9	43.4	909.90	30.97	43.81
3	VI	44.5	45.0	45.0	45.8	44.5	38.0	32.3	34.7	41.4	41.2	42.0	37.1	35.7	41.1	34.4	34.1	31.4	14.1	20.4	35.6	38.2	40.4	42.6	43.2	907.15	14.06	45.83
4	SA	43.6	41.8	42.7	42.8	42.9	39.7	32.0	36.5	40.9	41.4	41.7	35.6	35.0	41.7	38.4	35.1	42.1	39.0	38.6	38.9	39.4	42.4	42.6	43.5	969.70	31.99	43.56
5	DO	43.8	44.0	44.1	43.4	43.6	39.7	32.2	35.1	41.2	41.8	41.4	37.9	36.1	42.1	38.2	35.1	42.3	38.9	40.7	40.1	40.2	42.9	42.9	44.4	972.03	32.19	44.40
6	LU	43.7	44.4	44.3	43.9	44.5	39.0	33.9	34.9	41.5	40.7	42.2	38.6	36.2	43.1	38.2	36.3	41.9	37.0	37.8	36.0	37.2	41.4	43.4	43.7	963.90	33.89	44.51
7	MA	43.3	44.2	43.6	44.0	42.8	39.2	33.5	36.1	41.1	41.3	40.6	35.7	33.5	39.9	33.7	34.5	40.6	37.8	37.9	37.3	38.1	40.6	43.0	43.2	945.77	33.53	44.17
8	MI	43.1	43.4	43.3	43.6	42.7	36.2	31.9	34.4	40.5	40.2	41.4	37.5	34.7	40.4	35.3	36.8	40.6	37.3	38.5	37.2	37.7	38.8	43.2	43.3	943.13	31.94	43.59
9	JU	43.1	43.2	42.2	43.5	44.1	37.9	32.4	33.7	41.4	40.4	41.6	37.1	35.8	37.2	37.1	35.3	40.9	31.4	29.2	28.5	31.2	38.3	35.1	35.6	896.44	28.55	44.05
10	VI	35.2	36.0	35.8	36.0	35.4	32.9	30.0	34.2	42.8	40.6	41.1	34.9	32.3	41.2	36.8	36.6	42.5	31.8	29.9	29.0	28.3	33.8	40.1	44.4	861.65	28.35	44.43
11	SA	43.6	44.4	44.5	43.1	43.7	38.2	33.8	37.9	42.9	42.8	41.7	37.2	35.0	41.3	37.1	35.9	42.8	38.1	27.6	27.5	27.4	30.2	30.5	31.0	899.06	27.44	44.47
12	DO	31.7	31.4	33.0	31.7	31.7	27.9	20.8	26.6	31.9	31.6	31.2	25.9	25.6	30.7	27.8	25.0	30.7	28.1	27.8	28.2	27.6	30.2	33.1	43.4	713.71	20.78	43.38
13	LU	44.3	44.1	40.9	36.0	35.0	38.6	30.4	35.8	42.7	42.2	42.5	35.9	35.2	42.3	37.6	36.0	24.4	16.9	27.5	29.7	32.8	35.3	34.6	34.6	857.19	16.92	44.27
14	MA	34.5	35.3	35.4	34.8	34.7	35.5	30.4	36.6	43.0	42.4	41.8	38.4	36.3	41.8	37.1	34.6	42.1	32.7	29.0	29.0	34.6	40.7	41.6	43.4	889.92	29.03	43.36
15	MI	42.8	42.5	40.6	34.1	34.1	33.4	29.0	36.7	39.9	41.5	42.0	37.8	36.3	41.7	38.6	36.6	41.0	34.0	30.0	30.3	36.0	40.9	43.3	42.7	930.83	29.04	43.27
16	JU	43.7	42.5	39.3	34.6	32.8	30.5	11.8	1.5	0.0	0.0	0.0	10.7	24.3	17.9	0.1	5.0	17.5	27.0	27.9	27.1	30.1	39.9	42.6	42.5	549.33	0.10	43.72
17	VI	42.6	42.9	41.5	42.8	40.3	36.4	22.8	4.2	1.3	0.0	0.0	18.7	32.4	11.6	3.2	3.2	25.7	30.5	28.8	29.4	29.8	38.6	42.3	43.4	613.35	1.33	43.42
18	SA	42.9	44.0	43.8	42.8	43.9	39.3	34.3	37.1	43.3	43.7	42.3	38.3	37.0	43.1	38.7	36.6	40.1	31.8	27.4	28.1	29.2	34.3	34.4	34.8	911.02	27.41	43.95
19	DO	34.9	33.5	33.8	31.1	34.6	36.4	32.9	38.3	43.6	44.4	43.2	38.4	37.8	42.3	38.4	36.5	41.7	36.5	31.6	30.4	29.1	31.2	35.1	35.2	871.99	29.06	44.40
20	LU	36.0	36.2	36.2	36.0	33.4	36.4	22.0	0.0	0.0	0.0	6.0	6.0	22.7	7.0	0.0	0.0	7.9	18.6	26.5	25.4	25.9	30.2	33.6	34.6	474.74	6.05	36.36
21	MA	33.8	34.9	34.8	33.5	34.0	32.7	8.9	10.0	15.8	12.4	11.5	10.7	21.3	15.4	0.0	0.0	10.4	9.1	5.0	17.2	35.0	36.7	38.7	41.7	503.49	4.97	41.67
22	MI	41.9	40.9	42.1	37.7	30.7	32.2	14.7	5.8	4.0	0.0	0.0	10.2	25.8	9.8	0.0	0.0	8.4	22.7	23.2	27.8	27.4	31.7	34.1	34.9	505.99	3.88	42.15
23	JU	41.9	42.3	41.6	42.5	39.4	36.0	15.3	0.0	9.0	12.7	13.4	18.7	26.9	12.9	0.0	0.5	13.2	0.0	0.0	4.5	17.7	31.4	40.8	42.7	503.51	0.55	42.85
24	VI	42.5	42.0	43.5	42.3	40.8	36.2	16.7	6.0	2.0	0.0	0.0	11.1	28.1	14.2	2.4	2.9	17.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	33.3	400.90	1.98	43.49
25	SA	34.3	34.3	34.0	34.3	37.3	36.8	31.5	35.2	40.7	39.4	41.5	35.8	35.4	39.1	33.6	35.2	39.3	37.3	25.8	16.2	15.6	24.9	30.9	34.0	802.62	15.57	41.51
26	DO	32.5	33.9	34.0	34.2	34.6	36.9	32.2	35.3	40.4	41.4	39.6	35.4	34.4	39.6	35.1	33.3	39.1	37.0	36.1	36.5	37.3	40.4	40.7	40.2	860.60	32.16	41.41
27	LU	40.1	39.3	37.6	33.8	30.5	33.4	19.6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	20.2	1.8	0.0	0.0	5.5	6.5	7.9	11.2	12.5	25.0	38.3	40.9	405.54	1.78	40.92
28	MA	40.3	40.0	39.1	31.9	29.6	28.9	14.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	12.4	24.1	30.8	32.1	334.20	1.01	40.28
29	MI	39.0	39.8	39.6	39.6	37.7	33.1	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1	0.0	0.0	0.0	2.5	0.2	7.6	14.4	14.8	24.1	31.2	37.8	377.51	0.22	39.75
30	JU	40.2	40.7	40.4	40.8	37.6	34.6	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	15.2	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	1.7	24.1	32.3	33.3	353.51	1.67	40.78
31	VI	33.5	33.8	33.3	33.8	31.9	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	18.4	7.1	0.0	0.0	3.9	14.2	10.1	13.3	16.4	25.5	31.8	31.5	354.74	1.23	33.83	
TOTALES		1242.8	1249.3	1229.3	1201.4	1175.9	1099.1	757.9	697.7	815.2	803.8	808.1	783.8	916.6	870.0	695.8	675.3	871.6	770.7	736.2	784.7	853.0	1002.5	1199.7	1216.8	22443.5	6.10	45.83

Asimismo, se estima la contaminación armónica conforme a la norma IEEE Std 519-2014/2022. Las cargas predominantes en esta sede corresponden a sistemas de iluminación de alta potencia (reflectores LED), sistemas de sonido y ventilación, que introducen armónicos característicos que deben ser mitigados por el APF.

**Tabla 25. Caracterización de cargas edificio de coliseo, sede Bucaramanga.**

Carga	Naturaleza de la carga	Tipo de arranque	Armonicos típicos (predominantes)	Comentarios técnicos	Pronostico de %THDi
Iluminación LED	No lineal (drivers de potencia, a menudo SMPS de alta potencia)	Encendido directo	3 <sup>o</sup> , 5 <sup>o</sup> , 7 <sup>o</sup> , 9 <sup>o</sup>	La THD depende fuertemente de la calidad del driver y si incorpora PFC	30 - 60 %
Sistemas de sonido y audiovisuales	Mezcla: algunos equipos lineales (amplificadores clase AB), muchos con fuentes conmutadas (SMPS)	Encendido directo	3 <sup>o</sup> , 5 <sup>o</sup> , 7 <sup>o</sup> , 9 <sup>o</sup>	Las fuentes conmutadas y los regimenes de carga pueden elevar la THDi colectiva	10 - 20 %
Ventilación y climatización	Si VFD: no lineal (convertidor + inverter). Si motores directos: principalmente lineal con corrientes de arranque	VFD en ventiladores/drive fans o arranque directo/contactador para equipos no regulados	5 <sup>o</sup> , 7 <sup>o</sup> , 11 <sup>o</sup> , 13 <sup>o</sup>	En recintos grandes es frecuente el uso de ventiladores con variadores para controlar caudal; estos VFD son fuentes significativas de armónicos permanente	10 - 25 %

Para el dimensionamiento del filtro, se propone nuevamente realizar un barrido de escenarios considerando valores de distorsión armónica por corriente (THDi) y factor de potencia fundamental (cosφ<sub>1</sub>), consignados en la **Tabla 26**.

## DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA 60


**Tabla 26. Análisis de escenarios de contaminación armónica, biblioteca Barrancabermeja.**

Distorsión por corriente (THDi)	FP FUNDAMENTAL $\cos\phi_1$	Corriente Fundamental I1 [A]	Corriente Eficaz $i_{rms}$ [A]	Corriente armónica Ih [A]	Corriente APF If [A]
5%	1	131.22	131.38	6.56	55.39
10%	0.99	129.90	130.55	12.99	56.51
15%	0.98	128.59	130.03	19.29	58.28
20%	0.97	127.28	129.80	25.46	60.61
25%	0.96	125.97	129.84	31.49	63.38
30%	0.95	124.66	130.14	37.40	66.51

### 4.4 Prescripción de la solución APF, sede coliseo.

Se selecciona un Filtro Armónico Activo (APF) de 100 A como solución para controlar los excesos de energía reactiva capacitiva identificados en la **Figura 25** y la distorsión armónica estimada en la **Tabla 26**. En la **Tabla 27** se presentan las principales características técnicas del equipo, tomadas de la ficha técnica (ver **APÉNDICE 17**).

**Tabla 27. Características técnicas APF.**

Filtro de armónicos activos Modulo EasyLogic APF 100 A, 208 V, montado en pared, IP31	
Referencia	EZAPF10024W31
Voltaje nominal de entrada	208 V (176 -260 V)
Frecuencia	50/60 Hz $\pm$ 3 Hz (detección automática)
Capacidad potencia reactiva compensada	36 kVAR
Capacidad corriente	100 [A]
THDi	$\leq$ 5 %
Configuración de red	3 fases + neutro (3 o 4 hilos)
Normas y Certificaciones	IEC 62477-4, IEEE 519-2017, ISO 9001, EN/IEC 61000-6-4 (emisión), EN/IEC 61000-6-2 (inmunidad)
Dimensiones (Al x An x Prof)	960 x 600 x 230 mm
Temperatura de operación	-10°C a 40°C
Montaje Rack	400 [A]

### 4.5 Análisis plan de inversión de la solución APF, sede coliseo.

Este análisis tiene como objetivo determinar la viabilidad económica de la instalación del APF, destacando indicadores como el tiempo de recuperación de la inversión (Payback) y los beneficios asociados en términos de reducción de penalizaciones económicas.

DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN 61  
DE ENERGÍA REACTIVA

**Tabla 28. Costo de inversión inicial (CAPEX) solución APF, edificio coliseo.**

Equipo	Detalle	Capacidad	Cantidad Total Estimada	Subtotal COP\$
Filtros Armonicos Activos APF	Capacidad corriente (A)	100	1	\$ 70,000,000
Envolvente	Capacidad filtros (#)	4	1	\$ 30,000,000
APF 7" HMI	Pantalla	1	1	\$ 10,000,000
<b>GRAN TOTAL</b>				<b>\$ 110,000,000</b>

**Tabla 29. Análisis inversión solución APF, sede coliseo.**

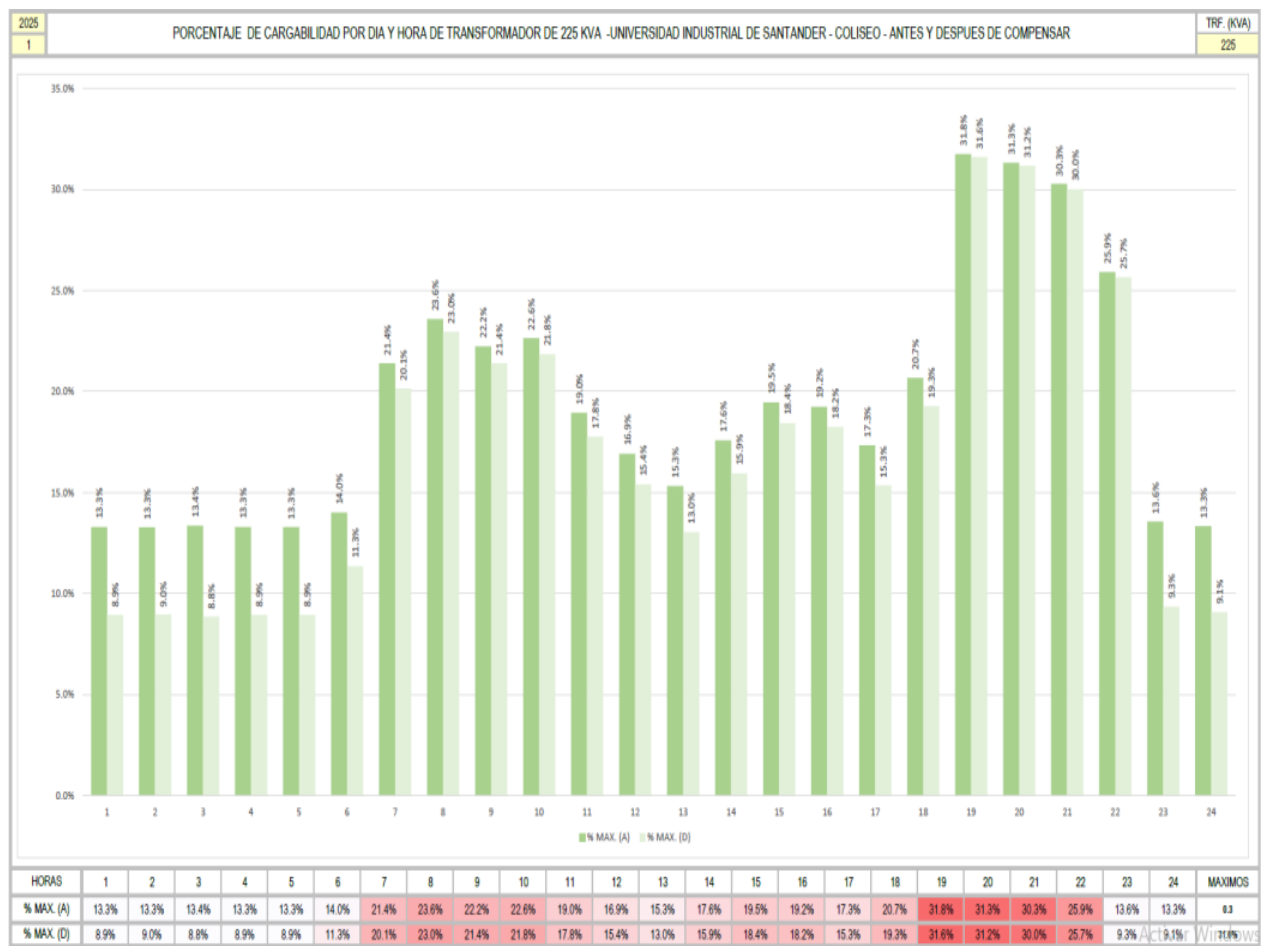
CONCEPTO	VALOR ESTIMADO	Notas
Inversión total (CAPEX)	100.000.000 COP\$	Corresponde al costo de la inversión inicial de la solución planteada
Ahorro anual por eliminación de penalizaciones 2025	68.714.755 COP\$	Corresponde aproximadamente al valor total de penalización proyectada para esta sede en el 2025
Ahorro acumulado (2024-2025)	82.000.000 COP\$	Corresponde aproximadamente a la penalización total desde 2022 al 2024 de la sede
Tiempo de recuperación (Payback)	18 meses	Corresponde al tiempo que demora la sede en recuperar la inversión ahorrándose el dinero por penalización
Retorno de inversión (ROI)	68%	Corresponde a la rentabilidad de la inversión en porcentaje
Beneficio neto	18.000.000 COP\$	Corresponde aproximadamente a el beneficio neto solo para 2 años (2024 y 2025)

# DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA 62

## 4.6 Análisis del impacto de la solución APF, edificio de coliseo.

Finalmente, en la **Figura 23** se ilustra el impacto estimado sobre la cargabilidad del transformador principal (225 kVA), evidenciando que con la implementación de la solución se logra una disminución promedio del 4 %, contribuyendo a mejorar la eficiencia operativa y prolongar la vida útil del equipo.

**Figura 32. Análisis de cargabilidad, edificio de coliseo.**



## 5. Recomendaciones

1. Se recomienda que la configuración inicial, la conexión eléctrica y la puesta en marcha de los filtros armónicos activos (APF) las ejecute personal capacitado en estas arquitecturas. Incluir pruebas FAT/SAT, con el fin de evitar anomalías u errores operacionales y obtener resultados eficientes según lo permita el equipo.
2. Evaluar el rendimiento del APF mediante un software de monitoreo, correlacionando los registros del equipo con los del comercializador de energía. Hacer seguimiento de KPIs: FP mensual, inductivos/capacitivos penalizados, THDi/THDv, alarmas y eventos; emitir un informe mensual de tendencias y anomalías para acción correctiva.
3. Evaluar una solución híbrida: APF en media tensión y compensación en carga (etapa fija o banco escalonado) en baja tensión e implementar lógica de bloqueo para evitar sobrecompensación en baja carga. Esto garantiza corrección efectiva sin inducir resonancias.

## 6. Conclusiones

El diseño y la prescripción de la solución de eficiencia energética y compensación de energía reactiva para cada una de las tres cuentas de la Universidad Industrial de Santander, presenta una solución para el control del diagnóstico de cada una de estas, disminuyendo o eliminando las penalizaciones económicas por consumo de energía reactiva y aumentando la eficiencia de las instalaciones eléctricas, tales como disminuir la cargabilidad de los transformadores eléctricos de cada edificio.

## DISEÑO DE UNA SOLUCIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y COMPENSACIÓN DE ENERGÍA REACTIVA 64

Con los registros históricos de consumos de energía exportados de la base de datos del comercializador Ruitoque S.A. E.S.P, se logró identificar para cada una de las tres sedes los patrones de consumo y los consumos críticos de estos edificios, realizando así una evaluación del estado inicial de cada sede. Se determinó que, aunque el filtro activo armónico se presentaba como la alternativa principal de solución, para una de las tres sedes se optó por seleccionar como solución un banco de condensadores.

La implementación efectiva de la solución propuesta para cada uno de los tres edificios contempla la posibilidad de que la Universidad Industrial de Santander logró un ahorro anual de aproximadamente \$250 millones, evitando restricciones administrativas y operativas como recortes y reasignaciones presupuestales y garantizando la sostenibilidad financiera de cada una de las tres sedes de esta institución.

### Referencias Bibliográficas

Araujo-Vadiel, A.V.; Mejía-Carmona, D.F.; González-Salcedo, L.O. (2023). Metodologías para la evaluación de la eficiencia energética en edificaciones universitarias. Facultad de Ingeniería y Administración, Universidad Nacional de Colombia.

Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG. (2018). Resolución 015 de 2018. Recuperado el 15 de septiembre de 2025, de [https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/originales/Resoluci%C3%B3n\\_CR\\_EG\\_101\\_035\\_2024/](https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/originales/Resoluci%C3%B3n_CR_EG_101_035_2024/)

Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG. (2024). Resolución 101 035 de 2024. Recuperado el 20 de septiembre de 2025, de [https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/originales/Resoluci%C3%B3n\\_CR\\_EG\\_101\\_035\\_2024/](https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/originales/Resoluci%C3%B3n_CR_EG_101_035_2024/)

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2022). IEEE Std 519-2022: IEEE Standard for Harmonic Control in Electric Power Systems. Recuperado el 10 de octubre de 2025, de <https://standards.ieee.org/ieee/519/10677/>

Reglamento técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE. (2024). Recuperado el 18 de septiembre de 2025, de <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-instalaciones-el%C3%A9ctricas-retie/>

Yugcha, W.; Pichoasamin, D.; Astudillo, P. (2024). Comparación y optimización del uso de filtro pasivo y activo de potencia para mitigar armónicos en redes de distribución con cargas no lineal. Revista Técnica “energía”.