



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICA**

TEMA:

**Corrección de factor de potencia en una industria de balanceado de
camarón de la provincia del Guayas.**

AUTOR:

Arévalo González Raúl Fabricio

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

TUTOR:

ING. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo Ph.D

Guayaquil – Ecuador

03 de septiembre del 2026



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICA**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Arévalo González Raúl Fabricio**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero en Electricidad**.

TUTOR (A)

f. _____

ING. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo Ph.D

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, Ph.D

Guayaquil, 03 de septiembre del 202



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Arévalo González Raúl Fabricio

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación: **Corrección de factor de potencia en una industria de balanceado de camarón de la provincia del Guayas**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electricidad, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 03 de septiembre del 2026

EL AUTOR (A)

f. _____
Arévalo González Raúl Fabricio



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICA**

AUTORIZACIÓN

Yo, Arévalo González Raúl Fabricio

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación “Corrección de factor de potencia en una industria de balanceado de camarón de la provincia del Guayas”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 03 de septiembre del 2026

EL AUTOR(A):

f. _____
Arévalo González Raúl Fabricio

INFORME DE COMPILATIO



INFORME DE COMPILATIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado **“Corrección de factor de potencia en una industria de balanceado de camarón de la provincia del Guayas”**, fue enviado al Sistema Anti plagio Compilatio, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 1%.

ING. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo Ph.D
DOCENTE-TUTOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación, en primer lugar, a Dios, por darme la fortaleza, la perseverancia y la oportunidad de alcanzar esta meta.

A mi esposa, por su amor, paciencia, comprensión y apoyo incondicional durante este camino. Gracias por estar a mi lado en los momentos difíciles y por motivarme siempre a seguir adelante.

A mis padres, por ser ejemplo de esfuerzo, valores y perseverancia. Aunque muchas veces el camino no fue fácil, sus enseñanzas han sido fundamentales para llegar hasta aquí.

A mis hijos, quienes son mi mayor inspiración y la razón para seguir superándome cada día. Espero que este logro les demuestre que nunca es tarde para cumplir nuestros sueños cuando existe voluntad y dedicación.

A mis hermanos y a toda mi familia, por sus palabras de aliento, cariño y apoyo constante. Este logro también es de ustedes, porque cada palabra de motivación y cada gesto de cariño fueron parte de este recorrido.

Con todo mi amor y gratitud, les dedico este logro.

AGREDECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios por darme la fortaleza y sabiduría para culminar esta importante etapa de mi vida.

A mi amada esposa, por su amor, paciencia y apoyo incondicional durante todo este camino; a mis padres, por ser el pilar fundamental de mi formación, a mis hijos, a mis hermanos y a toda mi familia, por motivarme constantemente a no rendirme y celebrar conmigo cada logro alcanzado.

Expreso mi sincero agradecimiento a mi tutor de tesis por su guía, conocimientos y dedicación, así como a todos los docentes de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG), quienes contribuyeron con mi formación académica y profesional.

A todos ustedes, mi eterna gratitud por ser parte de este sueño hecho realidad.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICA**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar , Ph.D
DECANO O DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

Ing Ricardo Xavier Ubilla González , MsC.
COORDINADOR DEL ÁREA O DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

Ing Miguel Armando Heras Sánchez , MsC.
OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
CAPÍTULO I.....	2
ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO.....	2
1.1. Introducción	2
1.2. Antecedentes	3
1.3. Planteamiento del problema	4
1.4. Justificación del problema.....	5
1.5. Objetivos de la investigación	6
1.5.1. Objetivo general	6
1.5.2. Objetivos específicos.....	7
1.6. Hipótesis.....	7
1.7. Metodología de la investigación	7
CAPÍTULO II	9
2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	9
2.1. Importancia del factor de potencia	9
2.2. Industria de alimento balanceado para camarón y demanda eléctrica	10
2.3. Potencia activa, reactiva y aparente	11
2.4. Triángulo de potencias	12
2.5. Definición y clases de factor de potencia.....	13
2.6. Interpretación técnica del factor de potencia 0,94.....	14
2.7. Causas del factor de potencia inductivo	14
2.8. Consecuencias eléctricas	15
2.9. Consecuencias operativas y económicas.....	15
2.10. Principio de la compensación reactiva	16
2.11. Cálculo de la potencia de compensación.....	16
2.12. Compensación individual	17
2.13. Compensación por grupos	18
2.14. Compensación centralizada.....	19
2.15. Bancos fijos y automáticos.....	20
2.16. Capacitores de potencia y proceso de carga.....	21
2.17. Configuraciones trifásicas	22
2.18. 2.19 Criterios de selección y condiciones ambientales	22
2.19. Maniobra, protección y control	23
2.20. Armónicos y factor de potencia verdadero	23
2.21. Resonancia y bancos desintonizados.....	23
2.22. Medición y diagnóstico	24
2.23. Metodología de dimensionamiento aplicada.....	25
2.24. Evaluación técnica y económica	25
2.25. Marco regulatorio internacional	25
2.26. Marco regulatorio nacional	25
2.27. Sistema eléctrico industrial y flujo de potencia	27
2.28. Comportamiento electromagnético del motor de inducción	27
2.29. Transformadores, magnetización y capacidad disponible.....	28
2.30. Caída de tensión, regulación y desempeño de los procesos.....	29
2.31. Pérdidas eléctricas y eficiencia energética	30
2.32. Compensación reactiva dinámica y resolución de etapas	30
2.33. Transitorios de conexión y descarga de capacitores	31
2.34. Armónicos característicos de variadores y rectificadores	31

2.35. Resonancia paralela y serie en instalaciones industriales	32
2.36. Desequilibrio de tensión y corriente.....	32
2.37. Protección eléctrica del banco de capacitores	33
2.38. Gestión térmica, ambiente y confiabilidad.....	33
2.39. Instrumentación, incertidumbre y trazabilidad.....	34
2.40. Evaluación económica de proyectos de eficiencia eléctrica	34
2.41. Criterios integrados de viabilidad técnica y económica.....	35
2.42. Gestión de demanda y relación con el factor de potencia	35
2.43. Mantenimiento basado en condición del sistema de compensación .	36
2.44. Seguridad funcional y continuidad de producción	37
2.45. Sostenibilidad y desempeño energético organizacional.....	37
3. CAPÍTULO III	39
METODOLOGÍA, LEVANTAMIENTO Y DIAGNÓSTICO.....	39
3.1. Antecedentes del levantamiento de información y reconocimiento de áreas	39
3.2. Enfoque y alcance del estudio	40
3.3. Variables de investigación	41
3.4. Caracterización anonimizada de la instalación	41
3.5. Inventario de cargas asumidas.....	42
3.6. Plan de medición recomendado.....	42
3.7. Escenarios de operación	43
3.8. Procedimiento detallado del levantamiento de cargas	43
3.9. Tratamiento estadístico de los registros	43
3.10. Método de estimación técnico-económica	44
3.11. Validez, confiabilidad y posibilidad de reproducción.....	44
4. CAPÍTULO IV	45
DISEÑO DEL PROYECTO	45
4.1. Criterios de diseño.....	45
4.2. Cálculo del estado inicial	45
4.3. Potencia reactiva requerida	45
4.4. Comprobación posterior a la corrección	46
4.5. Verificación por escenarios y control escalonado.....	47
4.6. Dimensionamiento eléctrico del banco	47
4.7. Armónicos y selección desintonizada	48
4.8. Estimación de pérdidas evitadas	48
5. CAPÍTULO V	49
5. Viabilidad Técnico-Económica	49
5.1. Evaluación tarifaria y económica referencial	49
5.2. Plan de implementación y verificación	50
5.3. Discusión de resultados.....	50
5.4. Limitaciones del estudio	50
5.5. Alcance de la viabilidad técnica	51
5.6. Costos de inversión, operación y ciclo de vida	51
5.7. Flujo de caja descontado	52
5.8. Escenarios económicos y sensibilidad	52
5.9. Riegos desde el punto de vista técnico – Económico	53
5.10. Alternativas de la propuesta.....	53
5.11. Beneficios de la propuesta	54
5.12. Viabilidad de la propuesta	54
CONCLUSIONES	56

RECOMENDACIONES	57
6. REFERENCIAS	58
ANEXO A. FICHA PROPUESTA PARA LEVANTAMIENTO POR ÁREA61	
ANEXO B. PUESTA EN SERVICIO	61
ANEXO C. PROTOCOLO DE MEDICIÓN Y VALIDACIÓN	61
D.1 Levantamiento de información.....	61
D.2 Comprobación de conexiones	62
D.4 Configuración temporal.....	62
D.5 Control de calidad de datos	62
D.6 Análisis por escenarios	62
D.8 Validación económica	62
ANEXO D. GLOSARIO TÉCNICO	63
ANEXO E. MATRIZ DE DATOS QUE DEBEN REEMPLAZARSE.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación normalizada entre factor de potencia, potencia aparente y potencia reactiva	14
Tabla 2. Compensación normalizada desde un factor de potencia de 0,94....	17
Tabla 3. Variables mínimas para el diagnóstico	24
Tabla 4. Áreas reconocidas en el plano y alcance del levantamiento	40
Tabla 5. Operacionalización de variables	41
Tabla 6. Datos base del caso de estudio	41
Tabla 7. Inventario funcional de cargas asumidas	42
Tabla 8. Matriz de adquisición de datos.....	42
Tabla 9. Escenarios de diagnóstico	43
Tabla 10. Comparación técnica antes y después	46
Tabla 11. Configuración propuesta del banco automático	47
Tabla 12. Resultados según la carga	47
Tabla 13. Especificación técnica mínima propuesta	48
Tabla 14. Presupuesto referencial	49
Tabla 15. Sensibilidad del periodo de recuperación	49
Tabla 16. Plan de implementación	50
Tabla 17. Indicadores económicos del escenario base	55
Tabla 18. Matriz de viabilidad técnica	55
Tabla 19. Comparación multicriterio de alternativas	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Banco de capacitores	10
Figura 2. Industria de balaceados de camarón	11
Figura 3. Triangulo de potencia	12
Figura 4. Comportamiento de la reactancia capacitiva	13
Figura 5. Comportamiento idealizado de carga y descarga de un capacitor ..	16
Figura 6. Compensación individual	18
Figura 7. Esquema de compensación por grupos	19
Figura 8. Esquema de compensación centralizada	20
Figura 9. Banco de capacitores automatizado	21
Figura 10. <i>Construcción interna de una unidad capacitiva</i>	22
Figura 11. Configuraciones trifásicas de bancos de capacitores	22
Figura 12. Representación de la resonancia paralela	24

RESUMEN

El trabajo desarrolla una propuesta de corrección del factor de potencia para una industria anonimizada dedicada a la producción de alimento balanceado para camarón en la provincia del Guayas. Ante la ausencia de una campaña completa de medición, se construyó un caso técnico con valores asumidos y explícitamente identificados: subestación de 5/6,25 MVA, demanda aparente máxima de 2,50 MVA, tensión secundaria de 480 V y factor de potencia representativo de 0,90, con descensos inferiores al umbral tarifario de 0,94. Por medio de una relación triangular de potencia se calculó una demanda de 632,8 kVAr para alcanzar 0,98 y se eligió un banco automático desintonizado de 650 kVAr distribuido en ocho etapas. La propuesta reduce la corriente principal esperada de 3007 A a 2761 A, libera aproximadamente 204 kVA y evita la sobre compensación mediante control escalonado. El análisis económico referencial estima una inversión de USD 55 000 y recuperación en aproximadamente 0,75 años. Los resultados son de diseño académico y deberán validarse mediante mediciones antes de una implementación real.

Palabras clave: factor de potencia, potencia reactiva, banco de capacitores, armónicos, eficiencia energética.

ABSTRACT

This study develops a power-factor correction proposal for an anonymized shrimp-feed manufacturing plant in Guayas Province. Because a complete measurement campaign was unavailable, an engineering case was built using clearly identified assumed values: a 5/6.25 MVA substation, 2.50 MVA maximum apparent demand, 480 V secondary voltage, and a representative 0.90 power factor, including drops below the 0.94 tariff threshold. Power-triangle equations yielded a required compensation of 632.8 kVAr to reach 0.98; therefore, a 650 kVAr eight-step automatic detuned bank was selected. Estimated main current decreases from 3,007 A to 2,761 A and about 204 kVA of capacity is released. The referential economic evaluation uses a USD 55,000 investment and an estimated 0.75-year payback. These are academic design results and must be validated through field measurements before implementation.

Keywords: power factor, reactive power, capacitor bank, harmonics, energy efficiency.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO

1.1. Introducción

La industria dedicada a la producción de alimento balanceado para camarón requiere un suministro constante de energía eléctrica para mantener en funcionamiento los equipos que intervienen en sus diferentes procesos. Entre estos se encuentran motores, molinos, mezcladoras, extrusoras, peletizadoras, bombas, ventiladores y sistemas destinados al transporte de materias primas y productos terminados.

Una parte considerable de estos equipos corresponde a cargas de carácter inductivo. Para su operación, dichas cargas necesitan energía destinada a la generación de campos magnéticos, lo que produce un consumo de potencia reactiva. Cuando este consumo alcanza valores elevados, el factor de potencia de la instalación disminuye y se incrementa la corriente que circula a través de conductores, tableros y transformadores.

El bajo factor de potencia constituye una condición desfavorable para cualquier instalación industrial, debido a que puede ocasionar mayores pérdidas eléctricas, calentamiento de los conductores, caídas de tensión y una menor disponibilidad de la capacidad instalada. También puede provocar cargos económicos adicionales cuando los valores registrados no cumplen los límites establecidos en la regulación correspondiente.

En una planta de alimento balanceado, la eficiencia del sistema eléctrico se relaciona directamente con la continuidad del proceso productivo. Una interrupción o una deficiencia en el suministro de energía puede retrasar la producción, afectar el funcionamiento de las máquinas e incrementar los costos operativos. Por consiguiente, resulta necesario analizar el comportamiento de las cargas y determinar la cantidad de potencia reactiva demandada durante las distintas etapas de operación.

La presente investigación se orienta al diseño de una propuesta para corregir el factor de potencia en una industria de producción de alimento balanceado para camarón ubicada en la provincia del Guayas. Para este propósito, se estudiarán las condiciones eléctricas actuales de

la planta y se determinará la capacidad del sistema de compensación necesario. La propuesta estará encaminada a mejorar el aprovechamiento de la energía, reducir la circulación de potencia reactiva y favorecer el desempeño general de la instalación.

1.2. Antecedentes

La expansión de la actividad camaronera ecuatoriana ha generado un incremento en la demanda de alimentos balanceados destinados a esta especie. Dicho crecimiento ha dispuesto la ampliación como la modernización de las instalaciones responsables de los procesos de producción, en específico de la provincia del Guayas donde se encuentra una parte significativa de actividades vinculadas con la industria acuícola.

La fabricación de alimentos balanceados implica una serie de pasos que incluyen tanto la recepción como moliendas de la materias primas, al igual que la dosificación de componentes, mezcla, extrusión, secado, enfiamento, almacenamiento y por último embalaje. Para ejecutar estas actividades se utilizan equipos accionados, en su mayoría, por motores eléctricos.

Los motores de inducción consumen potencia activa para realizar trabajo mecánico y potencia reactiva para establecer los campos magnéticos necesarios para su operación. Cuando varios motores funcionan simultáneamente o trabajan por debajo de su capacidad nominal, el factor de potencia general de la instalación puede reducirse. Una situación similar puede presentarse cuando existen transformadores sobredimensionados o equipos que permanecen conectados sin operar a plena carga.

Un decremento en el factor de potencia obliga a la red suministrar una mayor corriente para proporcionar una misma cantidad de potencia útil. Esto eleva las pérdidas por calentamiento y emplea parte de la capacidad de los conductores como transformadores sin brindar aportes directos al proceso de producción.

Una de las alternativas técnicas con mayor utilidad para enfrentar esta situación implica la instalación de bancos de capacitores. Dichos dispositivos suministran potencia reactiva cercana a las cargas que la necesitan, minimizando así la cantidad requerida a la red de distribución. La compensación puede efectuarse de manera individual, grupal o centralizada, según la configuración del sistema y el comportamiento de las cargas.

En instalaciones donde la demanda cambia de acuerdo con el nivel de producción, suele considerarse el uso de bancos automáticos de capacitores. Estos sistemas disponen de etapas que se conectan o desconectan conforme varía el consumo de potencia reactiva, lo que permite mantener el factor de potencia dentro de un intervalo adecuado.

Sin embargo, la elección de los capacitores no debe producirse únicamente a partir de la potencia nominal de los equipos. También debe evaluarse el perfil de carga, la demanda máxima, los tiempos de funcionamiento y la posible existencia de distorsión armónica. Esta última consideración es relevante en instalaciones que usan variadores de frecuencia, arrancadores electrónicos u otras cargas no lineales, debido a una selección incorrecta podría causar resonancia o afectar la vida útil de los capacitores.

Por esta razón, el diseño de un sistema de compensación debe fundamentarse en mediciones realizadas bajo condiciones representativas de operación. El diagnóstico previo permitirá establecer la magnitud del problema y seleccionar una alternativa acorde con las necesidades reales de la industria.

1.3. Planteamiento del problema

La industria analizada dispone de diversos equipos eléctricos utilizados en la elaboración de alimento balanceado para camarón. A causa de la predominancia de motores, transformadores u otras cargas inductivas, la instalación necesita una cantidad considerable de potencia reactiva para ejecutar sus actividades.

La circulación de potencia reactiva provoca un ascenso de la corriente en los alimentadores, tableros como transformadores, a pesar de que la potencia útil empleada por los equipos no muestre ningún incremento. Dicha circunstancia puede ocasionar pérdidas de energía, variaciones de tensión, calentamiento de los componentes eléctricos y una disminución de la capacidad disponible en el sistema.

Además, un factor de potencia menor al rango establecido en la normativa aplicable puede significar un aumento en la facturación eléctrica. Esta situación influye en los costos operativos y disminuye la eficiencia energética de la planta.

La empresa no dispone de un estudio actualizado que permita identificar el comportamiento del factor de potencia durante las distintas etapas del proceso productivo. Tampoco se ha establecido con precisión la cantidad de potencia reactiva que debe ser compensada. En consecuencia, no se dispone de la información técnica básica para seleccionar un banco de capacitores en concordancia con las características reales de la instalación.

La selección de un sistema de compensación sin mediciones previamente realizadas, puede generar resultados inapropiados. Un banco con capacidad insuficiente no arreglará el problema, mientras que un sistema sobre-dimensionado podría provocar sobre-compensación como condiciones desfavorables para la red interna.

Frente a esta realidad, se plantea la necesidad de realizar un diagnóstico del sistema eléctrico, calcular la potencia reactiva requerida y diseñar una alternativa de compensación que permita mejorar el factor de potencia sin comprometer la seguridad ni la continuidad del proceso productivo.

A partir de lo expuesto, se formula la siguiente pregunta de investigación:

¿De qué manera el diseño de un sistema de compensación de potencia reactiva contribuirá a mejorar el factor de potencia y la eficiencia eléctrica de una industria de alimento balanceado para camarón ubicada en la provincia del Guayas?

1.4. Justificación del problema

El desarrollo de la investigación responde a la necesidad de mejorar el desempeño energético de una industria dedicada a la elaboración de alimento balanceado para camarón. El uso continuo de cargas inductivas puede ocasionar una elevada demanda de potencia reactiva, lo cual afecta la capacidad del sistema eléctrico y genera posibles incrementos en los costos de operación.

Desde el punto de vista técnico, el estudio permitirá conocer el estado actual de la instalación mediante el registro y análisis de sus principales parámetros eléctricos. La información recopilada se empleará como fundamento para establecer la capacidad, configuración, al igual que características del sistema de compensación.

Una reparación adecuada del factor de potencia podría reducir la corriente que circula por los alimentadores, minimizar las pérdidas relacionadas al calentamiento y liberar capacidad en conductores como transformadores. Al igual que, puede beneficiar la estabilidad de la tensión y potenciar las condiciones de funcionamiento de los equipos.

En lo que respecta al componente económico, la propuesta faculta a estimar los beneficios producto de la disminución del consumo de potencia reactiva y de los posibles cargos vinculados con un factor de potencia inadecuado. La comparación entre la inversión requerida como el ahorro esperado permitirá determinar la viabilidad económica del proyecto.

La investigación también otorga un aporte académico, puesto que integrará conocimientos fundamentales relacionados con instalaciones industriales, sistemas de potencia, calidad de energía y eficiencia energética. Los procedimientos empleados podrán ser útiles como referencia para el análisis comparativa a otras industrias que presenten condiciones eléctricas semejantes.

En el aspecto ambiental, la minimización de las pérdidas eléctricas significa un aprovechamiento más eficiente de la energía disponible. No obstante, la corrección del factor de potencia no decremента necesariamente la energía activa dispensable por el proceso, sí puede disminuir las pérdidas internas vinculadas con la circulación innecesaria de corriente.

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de compensación de potencia reactiva para corregir el factor de potencia y mejorar el desempeño del sistema eléctrico de una industria productora de alimento balanceado para camarón ubicada en la provincia del Guayas.

1.5.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar las condiciones operativas del sistema eléctrico mediante la medición y el análisis de la tensión, corriente, demanda, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente y factor de potencia.
- Dimensionar un sistema de compensación de potencia reactiva que facilite alcanzar el factor de potencia necesario por la regulación eléctrica aplicable.
- Determinar la viabilidad técnica y económica de la propuesta por medio del análisis de sus beneficios eléctricos, así como el costo de implementación y el periodo estimado de recuperación de la inversión.

1.6. Hipótesis

La implementación de un sistema de compensación de potencia reactiva, dimensionado partiendo desde las condiciones reales de operación de la industria, permitirá optimizar el factor de potencia, reducir la circulación de corriente reactiva y mejorar el aprovechamiento de la infraestructura eléctrica de la industria de balanceados.

1.7. Metodología de la investigación

La investigación tendrá un alcance descriptivo, aplicado y propositivo. Será descriptivo porque permitirá caracterizar las condiciones de funcionamiento del sistema eléctrico e identificar el comportamiento de sus principales parámetros. Será aplicado porque buscará resolver una necesidad específica de la industria mediante el empleo de fundamentos y procedimientos propios de la ingeniería eléctrica.

También tendrá un carácter pro-positivo, debido a que, a partir de los resultados del diagnóstico, se planteará un sistema de compensación ajustado a las características de la planta.

La investigación adoptará un enfoque cuantitativo, puesto que se sustentará en la obtención, procesamiento y comparación de datos numéricos. Entre las magnitudes analizadas se incluirán la tensión, corriente, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, demanda máxima, energía y factor de potencia.

Utilizará un diseño no experimental, debido a que las condiciones eléctricas serán observadas inicialmente sin alterar el funcionamiento habitual de los equipos. A su vez, será

una investigación de campo, ya que la información se recopilará directamente en las instalaciones de la empresa. Finalmente aplicara el corte transversal cuando las mediciones se realicen durante un periodo delimitado y representativo de la operación. Si se efectúan registros periódicos antes y después de instalar el sistema de compensación, podrá incorporarse un componente cuasi experimental para evaluar los cambios producidos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1. Importancia del factor de potencia

El estudio de la corrección del factor de potencia requiere relacionar los principios de los circuitos de corriente alterna con las condiciones reales de una planta industrial. En la industria de alimentación balanceada para camarón, la demanda eléctrica no se mantiene constante: cambia conforme a la secuencia de molienda, dosificación, mezclado, extrusión, secado, enfriamiento y transporte. Cada etapa incorpora motores, transformadores y equipos electrónicos que modifican el intercambio de potencia activa y reactiva. En consecuencia, el factor de potencia debe interpretarse como un indicador dinámico del modo en que la instalación utiliza la capacidad eléctrica disponible, y no únicamente como un dato aislado de la factura mensual (Rosero E. , 2021).

El valor de 0,94 registrado en la industria constituye el punto de partida de la investigación. De acuerdo al Pliego Tarifario del Servicio Público de Energía Eléctrica para 2026, la penalización hallada por debajo del factor de potencia se aplica cuando el valor registrado es menor a 0,94; por ello, el dato analizado concuerda con el umbral tarifario vigente (ARCONEL, 2024). Dicha condición no implica que se deba procesar inmediatamente a la instalación de un banco de capacitores. Primero debe establecerse la variabilidad del indicador, la potencia reactiva asociada, el contenido armónico y el beneficio técnico de mantener un margen operativo por arriba del límite. El marco plantea los conceptos fundamentales para sustentar esta propuesta.

Figura 1. Banco de capacitores



Nota: Banco de capacitores automatizado. Fuente: Scheider, 2022

2.2. Industria de alimento balanceado para camarón y demanda eléctrica

La elaboración de alimento balanceado comprende la integración de procesos mecánicos, térmicos y neumáticos. La recepción de materia prima emplea transportadores y elevadores; la molienda requiere de motores de una potencia considerable; el mezclado demanda acciones capaces de superar pares variables; y la extrusión resulta de la combinación de procedimientos como calentamiento, presión y movimiento continuo. A estas cargas se les adiciona ventiladores, bombas, compresores, sistemas de aspiración, tableros de control e iluminación. La coincidencia entre equipos dependerá de la receta, el volumen de producción y el estado de la línea, de tal forma que el perfil de carga fluctúa durante la jornada (López C. , 2022).

Los motores de inducción suelen representar la fracción de dominancia de la potencia instalada. Su campo magnético requiere de una potencia reactiva, inclusive cuando la carga mecánica es menor. Por dicha razón, un motor sobre dimensionado o que trabaja a lo largo de periodos continuos con poca carga puede exponer un factor de potencia inferior que el observado cercano a su condición nominal. La suma de motores operando en diferentes regímenes detalla que la compensación no pueda determinarse únicamente con las placas de características. El diagnóstico debe reconocer qué equipos funcionan de manera simultánea, cuáles se mantienen en vacío y qué variabilidad se produce entre arranque, operación estable, cambio de producto y detención (Córdova, 2023).

Figura 2. Industria de balanceados de camarón



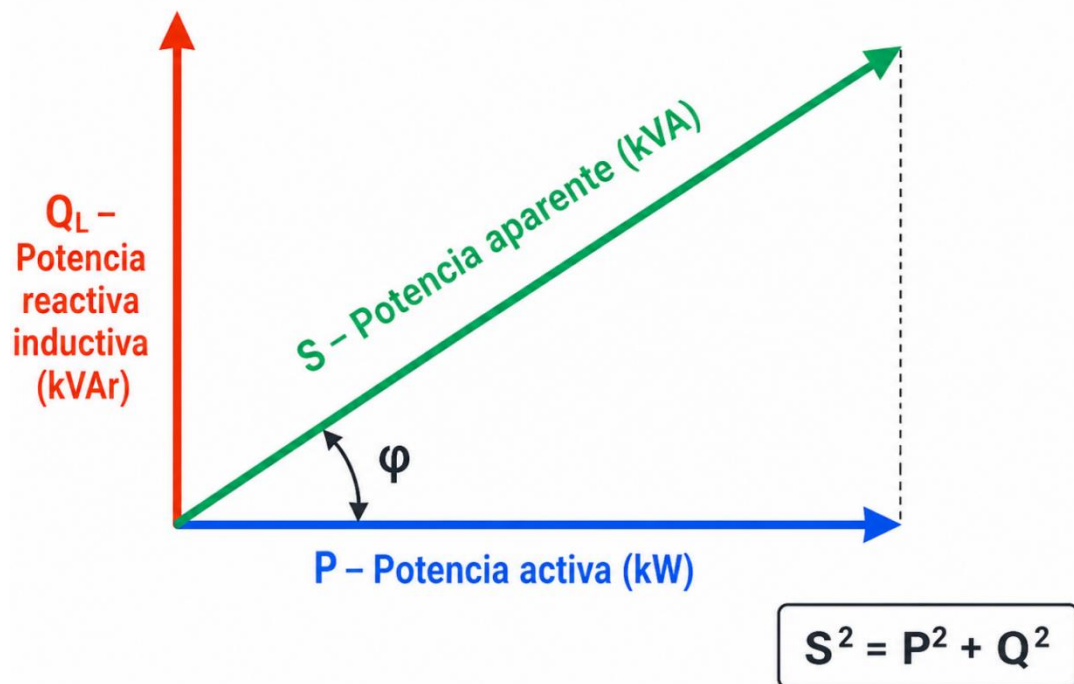
Nota: infraestructura de planta de balanceado de camarón. Fuente: Alimentos, 2021

2.3. Potencia activa, reactiva y aparente

La potencia activa P , se expresa en kilovatios, comprende a la tasa de conversión de energía eléctrica en trabajo útil, calor o movimiento. La potencia reactiva Q , se mide en kilovoltamperios reactivos, corresponde al intercambio de energía necesario por los campos magnéticos y eléctricos. La potencia aparente S , se expresa en kilovoltamperios, integra ambas contribuciones y define la corriente en la que se deben conducir los transformadores, alimentadores como dispositivos de maniobra.

En condiciones sinusoidales, las tres magnitudes se asocian mediante $S^2 = P^2 + Q^2$. Dicha expresión denota que un incremento de Q , conservando P constante, incrementa S y la corriente en demanda. La compensación capacitiva reduce la potencia reactiva que fluye desde la red hacia la planta, pero no reemplaza la energía activa consumida por el proceso. En términos de ingeniería, su beneficio principal consiste en disminuir la componente reactiva aguas arriba del punto de instalación, liberar capacidad y reducir pérdidas dependientes del cuadrado de la corriente (Almeida, 2022).

Figura 3. Triangulo de potencia



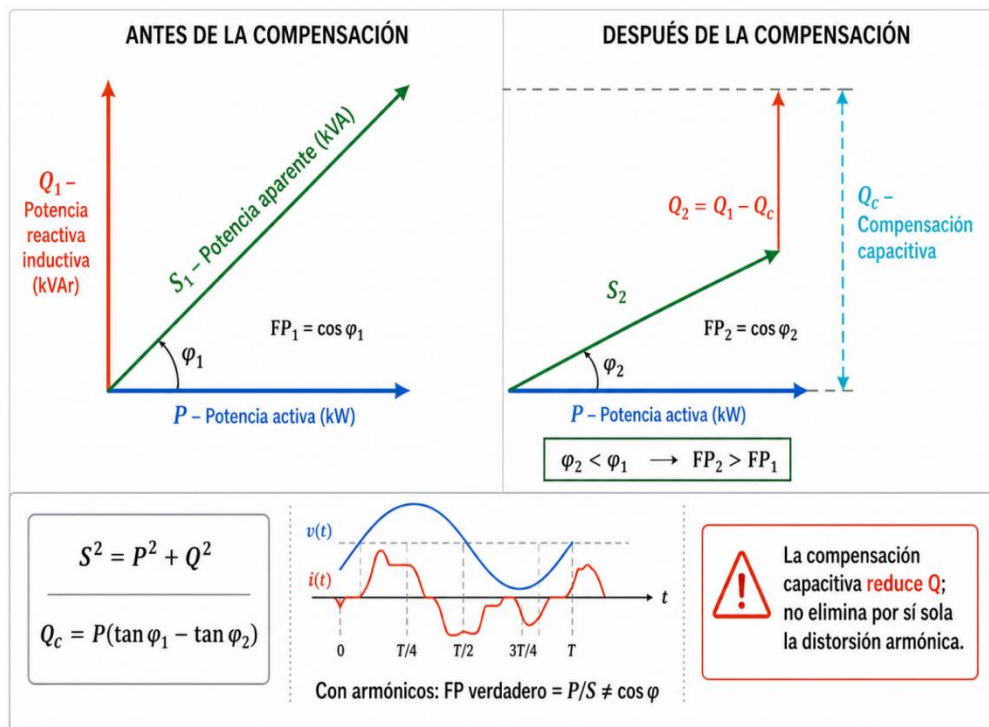
Nota: Comportamiento de la potencia activa, reactiva y aparente. Fuente: Autor, 2026

2.4. Triángulo de potencias

El triángulo de potencias constituye una representación geométrica de P, Q y S. La potencia activa se ubica sobre el eje horizontal, la potencia reactiva sobre el eje vertical y la potencia aparente corresponde a la hipotenusa. El ángulo φ formado entre P y S refleja el desfase de la componente fundamental. Cuando Q disminuye por efecto de la compensación capacitiva, la hipotenusa se acorta y el coseno del ángulo aumenta.

La representación facilita la relación comparativa entre el estado inicial y el estado corregido. No obstante, presupone formas de onda sinusoidales y un sistema suficientemente equilibrado. En presencia de la distorsión, la potencia aparente incluye elementos adicionales y el cociente P/S puede llegar a diferir del coseno del ángulo fundamental. La aplicación industrial debe diferenciar ambos fundamentos para prevenir que una lectura favorable de $\cos \varphi$ encubra un factor de potencia verdadero deteriorado por armónicos (Bohórquez & Calapaqui, 2023).

Figura 4. Comportamiento de la reactancia capacitiva



Nota: Contraste entre un sistema sin compensación vs un sistema con compensación. Fuente: Autor, 2026

2.5. Definición y clases de factor de potencia

El factor de potencia total se define como la relación entre la potencia activa y la potencia aparente: $FP = P/S$. Su valor absoluto se encuentra entre cero y uno. Cuanto más próximo se encuentra a la unidad, menor es la corriente necesaria para transmitir una determinada potencia activa, siempre que la tensión permanezca constante. En lo que respecta a los sistemas trifásicos equilibrados y sinusoidales también se expresan como $\cos \varphi$; no obstante, dicha equivalencia pierde precisión cuando existen armónicos o desequilibrio (Plaza, 2023).

Se diferencia entre factor de potencia de desplazamiento, relacionado con el ángulo entre los componentes básicos de tensión y corriente, como el factor de potencia verdadero, que comprende la forma de onda completa. La edición presente de las definiciones IEEE para medición de potencia es IEEE 1459-2025, la cual reemplazó la edición de 2010. Esta diferencia resulta común en plantas modernas, porque los variadores pueden manifestar un correcto desplazamiento en su entrada y, a su vez, corriente distorsionada. El banco de capacitores acciona primordialmente sobre la demanda reactiva fundamental; sin eliminar por sí mismo la distorsión $FP = P / S$ (Hidalgo K. , 2021).

2.6. Interpretación técnica del factor de potencia 0,94

Un factor de potencia de 0,94 representa que, en torno a la definición P/S, el 94 % de la potencia aparente se relaciona con potencia activa. Para una carga normalizada de 100 kW, la potencia aparente es aproximadamente 106,38 kVA y la potencia reactiva 36,30 kVAr. Si el factor se incrementa a 0,97, la potencia aparente decrece a 103,09 kVA y la potencia reactiva a 25,06 kVAr. La diferencia equivale a una compensación aproximada de 11,24 kVAr por cada 100 kW de demanda activa concurrente.

El cálculo normalizado no implica el dimensionamiento específico, a causa de la potencia activa real y el perfil de operación, los cuales aun deben ser medidos. Su utilidad consiste en mostrar que una mejora moderada puede reducir la corriente sin perseguir necesariamente la unidad. Dado que 0,94 coincide con el umbral tarifario de 2026, pequeñas variaciones mensuales podrían llevar el indicador por debajo del límite. Una meta interna entre 0,96 y 0,98 puede proporcionar margen, siempre que el estudio confirme su conveniencia y evite operación capacitiva durante periodos de baja carga (Achachi J. , 2026).

Tabla 1. Relación normalizada entre factor de potencia, potencia aparente y potencia reactiva

Factor de potencia	S por 100 kW (kVA)	Q por 100 kW (kVAr)
0.94	106.38	36.30
0.96	104.17	29.17
0.97	103.09	25.06
0.98	102.04	20.31

Nota. Cálculo propio para una potencia activa constante de 100 kW. Fuente: Autor

2.7. Causas del factor de potencia inductivo

La causa principal del factor de potencia atrasado es la demanda de magnetización de motores y transformadores. El fenómeno se intensifica cuando los motores están sobredimensionados, operan con carga parcial o permanecen energizados sin producir. También inciden los transformadores con baja utilidad, las soldadoras, los balastos electromagnéticos como determinadas cargas auxiliares (Centeno & Vásquez, 2024). En una planta de balanceado, los ciclos no continuos y la presencia de diversas líneas pueden provocar la unión de carga con diferente demanda reactiva.

Las prácticas operativas y de mantenimiento también cambian el indicador. La pérdida de fases en un banco presente, fusibles abiertos, contactores deteriorados o capacitores avejentados minimizan la potencia de compensación disponible. De igual forma, una modificación de motores, la instalación de nuevos variadores o la ampliación de una línea pueden desestabilizar el equilibrio previamente calculado. Por lo mismo, el bajo factor de potencia no se debe atribuir de manera general a “motores”; es vital determinar la contribución temporal de cada grupo e inspeccionar el estado del sistema de compensación (Toalombo & Toapanta, 2021).

2.8. Consecuencias eléctricas

Para una potencia activa trifásica existente, la corriente será inversamente proporcional al factor de potencia: $I = P/(\sqrt{3} \cdot V \cdot FP)$, en torno a circunstancias equilibradas. Si el factor se reduce, conductores y transformadores trasladan una corriente mayor. Esto eleva las pérdidas I^2R , la baja de tensión y la temperatura de operación. El efecto puede causar limitaciones en la capacidad disponible para conectar nuevas cargas, incluso cuando los equipos no lleguen a alcanzar su potencia activa nominal.

La corrección sectorizada minimiza la corriente únicamente en los tramos ubicados aguas arriba del capacitor. Un banco instalado en el tablero general libera capacidad en el transformador como en el alimentador principal, pero no decrementa la corriente reactiva que circula entre el motor y su centro de control. La compensación individual sí minimiza ese trayecto, lo cual implica más equipos y mantenimiento. La ubicación adecuada dependerá, por lo tanto, del objetivo: prevenir penalización, liberar capacidad general, mermar pérdidas internas o nivelar la tensión en una barra determinada (Bricio, 2026).

2.9. Consecuencias operativas y económicas

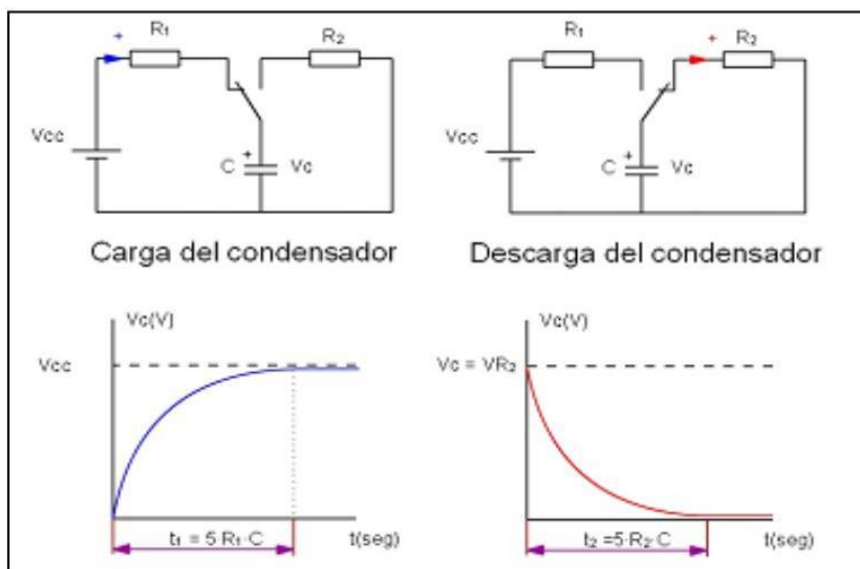
Las pérdidas agregadas se transforman en calor que acelera el proceso de envejecimiento del aislamiento y requiere mayor ventilación. Las caídas de tensión pueden afectar el par de los motores y aumentar la sensibilidad ante el arranque de equipos de elevada potencia. En procesos continuos, una actuación de protección o una parada imprevista puede ocasionar producto fuera de especificación, tiempos de limpieza y retrasos de producción. El costo del factor de potencia debe evaluarse junto con estos efectos y no solo mediante la penalización tarifaria (Salazar, 2025).

En Ecuador, el pliego tarifario de 2026 establece un factor de penalización cuando el registro mensual es inferior a 0,94. Si el valor determinado es igual o superior, la penalización es nula equivalente a 0; cuando disminuye, el recargo se calcula concorde a la factura inicial del servicio por medio la relación establecida por ARCONEL (2025). Para la planta estudiada, el valor actual no produce por sí mismo una penalización según ese esquema. La evaluación económica deberá valorar la posibilidad de decremento, las pérdidas eludibles, la capacidad liberada y el costo del banco, que incluye instalación, protecciones, mantenimiento como reposición.

2.10. Principio de la compensación reactiva

La compensación consiste en suministrar localmente potencia reactiva del signo opuesto a la demandada por las cargas inductivas. En el transcurso cada ciclo, el capacitor concentra energía en su campo eléctrico y la retorna al sistema. Esta circulación local disminuye el intercambio reactivo con la red, reduciendo la magnitud de la corriente aguas arriba e incrementando el factor de potencia analizado en el punto de medición.

Figura 5. Comportamiento idealizado de carga y descarga de un capacitor



Nota. Tomado de Izurieta Valdivieso (2015).

2.11. Cálculo de la potencia de compensación

La potencia del banco puede estimarse mediante $Q_c = P(\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$, donde P corresponde a la demanda activa coincidente, ϕ_1 al ángulo asociado con el factor inicial y ϕ_2

al ángulo del objetivo. El procedimiento exige utilizar datos representativos; aplicar la potencia instalada total puede sobredimensionar el banco si los equipos no trabajan simultáneamente. En caso de cargas variables conviene calcular diversos escenarios y examinar la organización estadística del factor de potencia.

Con el factor inicial de 0,94, la compensación requerida depende de la meta. Por cada 100 kW, llegar 0,96 necesita de aproximadamente 7,13 kVAr; alcanzar a 0,97 requiere 11,24 kVAr; y llegar a 0,98 exige alrededor de 15,99 kVAr. Dichos valores demuestran que la elección de la meta cambia de manera significativa el tamaño del banco. El diseño definitivo deberá redondearse a escalones comerciales y verificar su respuesta durante la mínima carga (Hidalgo & Matamoros, 2024).

$$Q_c = P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

Tabla 2. Compensación normalizada desde un factor de potencia de 0,94

FP inicial	FP objetivo	Qc por 100 kW (kVAr)
0,94	0,96	7,13
0,94	0,97	11,24
0,94	0,98	15,99

Nota. Los resultados se redondearon a dos decimales. El banco definitivo dependerá de la demanda activa coincidente y del perfil de carga. Fuente: Autor

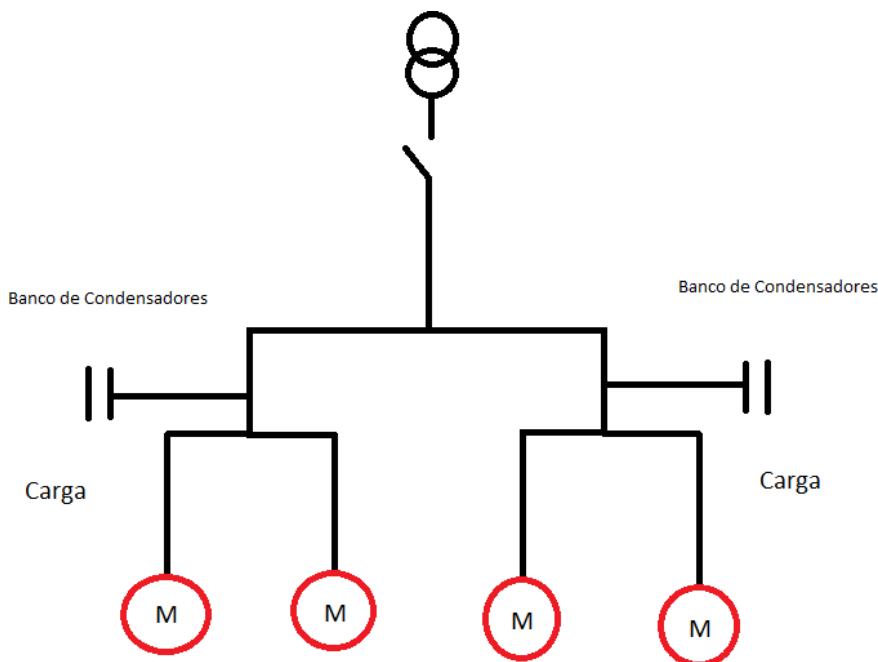
2.12. Compensación individual

La compensación individual coloca el capacitor cercano a una carga inductiva, en condiciones normales un motor de operación continua. El capacitor se conecta como desconecta junto con el equipo, de tal modo que la potencia reactiva circula en un tramo disminuido. Esta disposición minimiza la corriente del alimentador del motor y con ello puede liberar capacidad en el centro de control. Resulta adecuada para cargas estables, de potencia significativa y con una elevada cantidad de horas de servicio.

Su aplicación requiere coordinar la maniobra para evitar que el capacitor se mantenga conectado cuando el motor no se encuentre en servicio. En motores de inducción también debe imperdirse una capacidad exacerbada que favorezca la autoexcitación en el transcurso la desconexión. La opción individual incrementa la cantidad de unidades, fusibles y puntos de mantenimiento; por lo cual, no siempre es económicamente viable cuando hay numerosos

motores pequeños o cuando la secuencia productiva fluctúa con frecuencia (Vega & Venegas, 2023).

Figura 6. Compensación individual



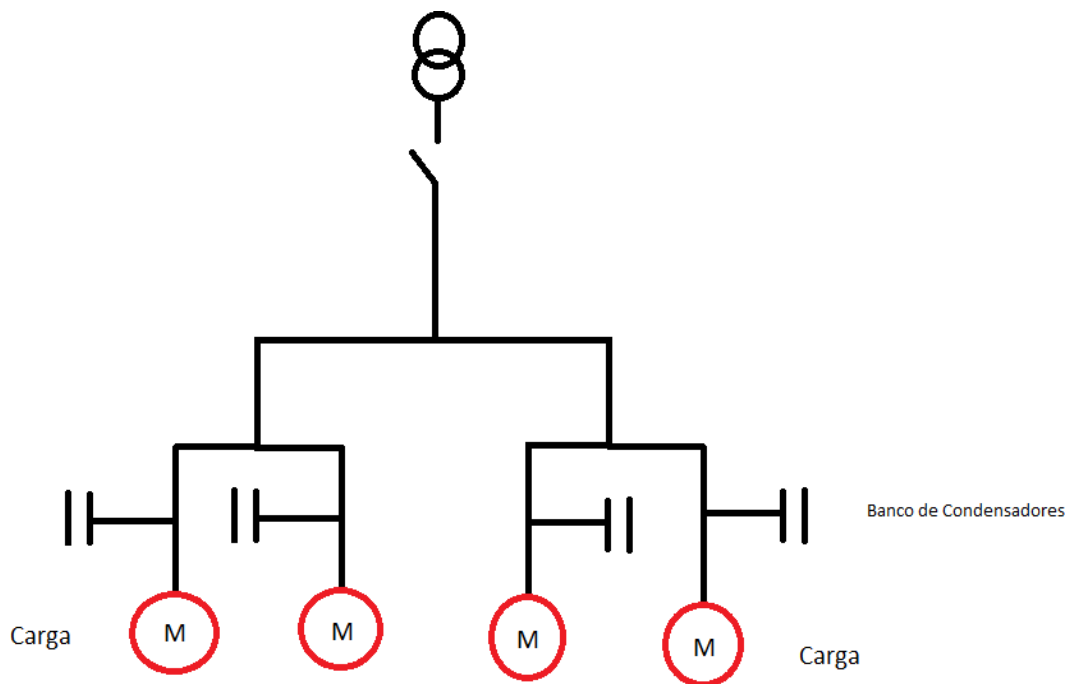
Nota. Adaptado de Izurieta Valdivieso (2015).

2.13. Compensación por grupos

La compensación grupal se aplica a un conjunto de cargas que opera de manera simultánea o presenta un patrón común. El banco se instala en el tablero o centro de control que alimenta al grupo. En una fábrica de balanceado, podría asociarse con una línea de molienda, extrusión o transporte, siempre que las mediciones confirmen una demanda reactiva relativamente predecible.

Esta solución representa un equilibrio entre reducción de pérdidas internas y cantidad de equipos. Sin embargo, pierde efectividad cuando las cargas del grupo poseen horarios independientes. La lógica de control debe impedir la permanencia del capacitor ante una reducción abrupta de demanda. También debe evaluarse la ubicación del transformador de corriente del regulador, pues una instalación incorrecta puede producir una secuencia de conexión inestable o una lectura que no represente el intercambio total del grupo.

Figura 7. Esquema de compensación por grupos

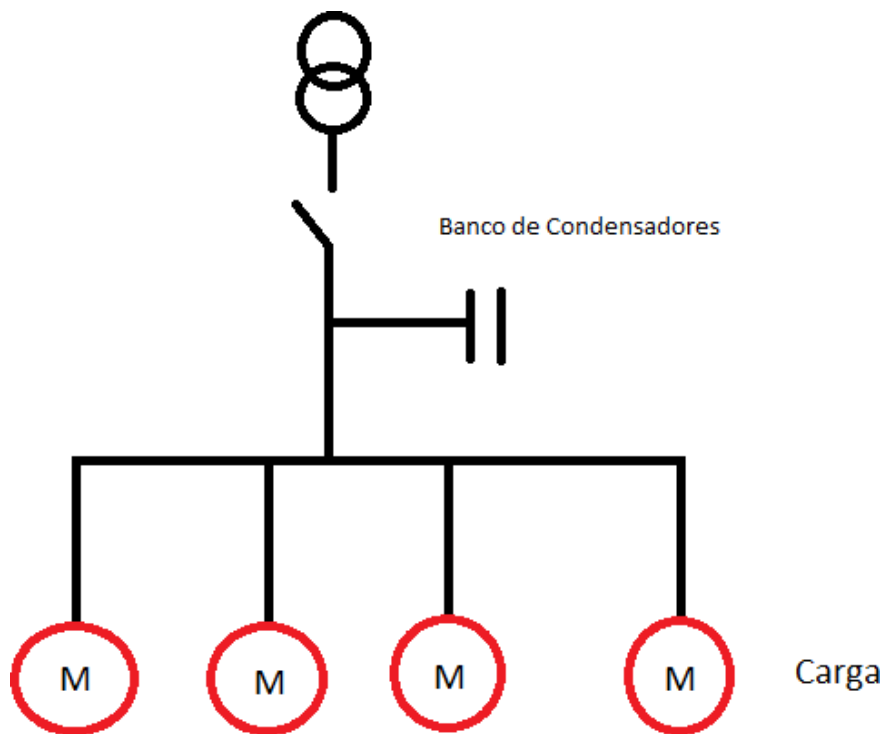


Nota. Adaptado de Izurieta Valdivieso (2021).

2.14. Compensación centralizada

La compensación centralizada concentra el banco en el tablero general de baja tensión o cerca del transformador. Su principal ventaja es el control de la potencia reactiva intercambiada con la red mediante un único sistema. Facilita la supervisión, reduce la cantidad de equipos y suele ofrecer una relación económica favorable cuando muchas cargas pequeñas cambian durante el día.

Figura 8. Esquema de compensación centralizada



Nota. Adaptado de Izurieta Valdivieso (2015).

2.15. Bancos fijos y automáticos

Un banco fijo retorna la misma potencia reactiva en cuanto se mantenga conectado. Es apropiado para cargas estables o para compensar la magnetización pertenecientes a un transformador, siempre y cuando que se eluda la sobrecompensación en vacío. Su simplicidad minimiza el costo inicial y el número de maniobras, pero genera una limitación a su adaptación a modificaciones de producción (Feijoo, 2021).

El banco automático se distribuye en escalones gobernados por un regulador. El controlador compara el factor medido con una consigna y conecta o desconecta fases teniendo en consideración la sensibilidad, periodo de reconexión y secuencia de rotación. Dicha configuración posee una mejor adaptación a una planta con cargas variables. La cantidad y tamaño de los escalones establecen la resolución de la compensación: fases excesivamente grandes producen oscilación alrededor de la consigna, en tanto que demasiadas fases elevan la complejidad, maniobras como mantenimiento.

Figura 9. Banco de capacitores automatizado



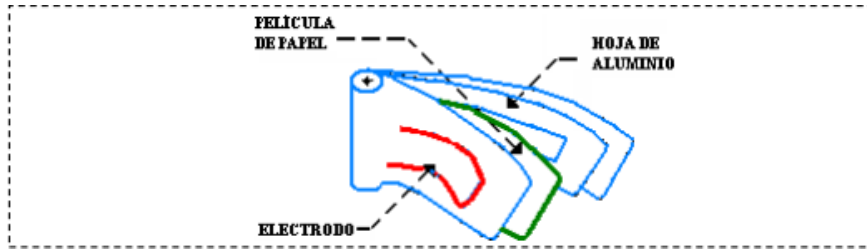
Nota. Tomado de Izurieta Valdivieso (2021).

2.16. Capacitores de potencia y proceso de carga

Un capacitor está formado por superficies conductoras separadas por un material dieléctrico. Su capacitancia depende de la geometría y de las propiedades del dieléctrico. En corriente alterna, la unidad intercambia energía con el sistema en cada ciclo. Para aplicaciones industriales se utilizan elementos diseñados para soportar tensión, corriente, temperatura y ciclos de maniobra compatibles con el servicio previsto (Molina, 2023).

Los capacitores auto-regenerables pueden aislar de forma microscópica una zona dañada del dieléctrico metalizado, lo que facilita continuar la operación con una pequeña disminución de capacitancia. No obstante, el envejecimiento térmico, las sobretensiones como los armónicos merman su vida útil. IEC 60831-1 determina requerimientos de desempeño, ensayo, seguridad, al igual que instalación para unidades y bancos auto-regenerables de hasta 1 000 V destinados, entre otros modos de empleo a la rectificación del factor de potencia (IEC, 2014).

Figura 10. Construcción interna de una unidad capacitiva



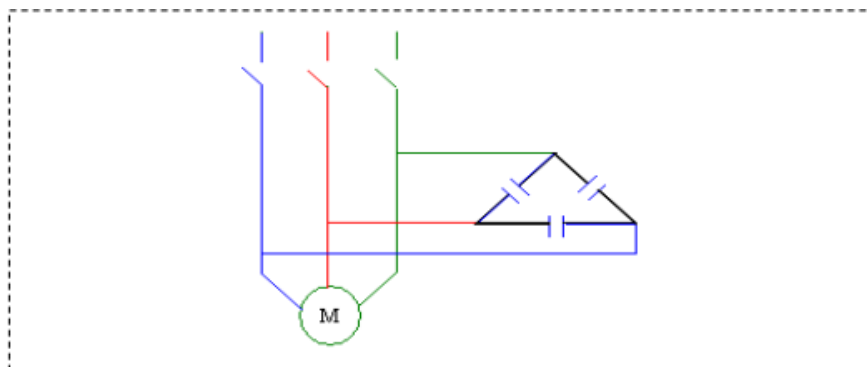
Nota. Tomado de Izurieta Valdivieso (2021).

2.17. Configuraciones trifásicas

Los bancos trifásicos de baja tensión pueden conectarse en estrella o delta. En delta, cada rama queda sometida a la tensión de línea; en estrella, la tensión por fase depende de la conexión y de la disponibilidad del neutro. La selección afecta la capacitancia necesaria, el comportamiento ante fallas, la protección y la respuesta frente a armónicos.

La configuración no debe elegirse solo por costumbre. Deben revisarse la tensión nominal de las unidades, el esquema de puesta a tierra, la coordinación de protecciones y las recomendaciones del fabricante. En bancos automáticos también importa la simetría entre fases y el estado de cada escalón. Una unidad degradada puede generar desequilibrio y aumentar el esfuerzo sobre los elementos restantes (Sanchez, 2026).

Figura 11. Configuraciones trifásicas de bancos de capacitores



Nota. Adaptado de Izurieta Valdivieso (2021).

2.18. 2.19 Criterios de selección y condiciones ambientales

El banco debe especificarse por potencia reactiva nominal, tensión, frecuencia, número de fases, tolerancia, clase de temperatura y condiciones de instalación. La tensión nominal del capacitor necesita un margen ante la tensión real, las tolerancias de red y el aumento relacionada

con la compensación. La temperatura interior del gabinete debe ser comprobada bajo el límite máximo de unión de fases asociadas.

La provincia del Guayas exhibe escenarios industriales con temperatura y humedad elevadas, al igual que polvo proveniente de materias primas. Dichas circunstancias fundamentan la revisión de componentes como ventilación, nivel de protección, distancias, limpieza como accesibilidad. La elección debe tener en cuenta la altitud del sitio, aun cuando la mayor parte de la provincia se encuentra a baja elevación, y corroborar cualquier ambiente corrosivo. Un equipo adecuadamente medido puede fallar de forma temprana si el gabinete evita disipar calor o si la concentración de polvo impide la ventilación.

2.19. Maniobra, protección y control

Cada etapa necesita dispositivos de seccionamiento, protección contra cortocircuito, además de contactores aptos para corriente capacitiva. La corriente de energización puede llegar a ser numerosas veces mayor que la nominal, especialmente cuando un escalón se enchufa en paralelo con otros, que ya han sido energizados. Por ello se emplean contactores específicos, resistencias de preinserción o reactancias, de acuerdo al diseño.

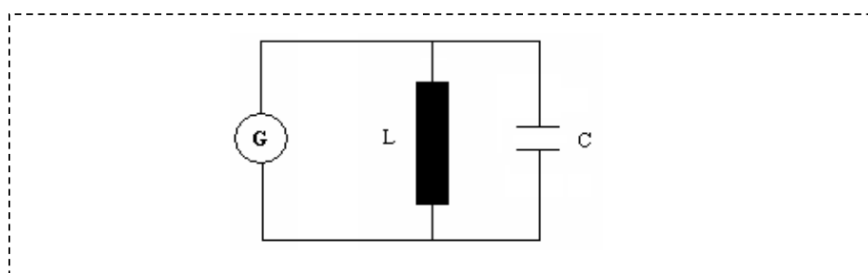
2.20. Armónicos y factor de potencia verdadero

Las cargas no lineales absorben corriente en pulsos y generan componentes cuya frecuencia es múltiplo de la fundamental. En una planta industrial, los variadores de frecuencia constituyen una fuente frecuente de armónicos de corriente. La distorsión incrementa el valor RMS y puede reducir el factor de potencia verdadero aunque el desplazamiento fundamental sea favorable (Landeta, 2026).

2.21. Resonancia y bancos desintonizados

Los bancos desintonizados agregan reactores en serie con el fin de desplazar la frecuencia de resonancia por abajo del armónico dominante y delimitar la absorción de corrientes no esperadas. No deben mezclarse con filtros sintonizados diseñados para absorber una componente determinada. La selección del porcentaje de rechazo requiere el espectro medido, la tensión de red y la potencia del banco. Un barrido de frecuencia o un estudio equivalente resulta recomendable cuando existe una proporción importante de cargas electrónicas (Llumitaxi, 2022).

Figura 12. Representación de la resonancia paralela



Nota. Adaptado de Izurieta Valdivieso (2015).

2.22. Medición y diagnóstico

El diagnóstico debe realizarse en el punto de suministro y en barras representativas de las líneas. Un analizador de calidad de energía facilita detallar la potencia activa, reactiva como aparente, al igual que el factor de potencia total y de desplazamiento, tensión, corriente, demanda como el de distorsión. El periodo debe abarcar ciclos completos de componentes que comprenden producción, turnos, arranques, paradas y las situaciones de reducción de carga.

La medición necesita de la comprobación de la relación como la polaridad de los transformadores de corriente, secuencia de fases, reloj del instrumento, al igual que el grado de seguridad. Los registros deben relacionarse con una bitácora operativa para identificar qué equipos estaban conectados. El promedio mensual de la factura es útil para el criterio tarifario, pero puede ocultar intervalos de sobrecompensación o valores bajos durante ciertas recetas. Por ello, la decisión debe basarse en tendencias temporales y no en una sola lectura.

Tabla 3. Variables mínimas para el diagnóstico

Magnitud	Propósito	Criterio de registro
P, Q, S y FP	Cuantificar la demanda y su relación	Intervalos durante ciclos completos
THDv, THDi/TDD	Evaluar distorsión y riesgo para capacitores	PCC y barras con cargas no lineales
Tensión y corriente	Comprobar carga, desequilibrio y variaciones	Tres fases y neutro cuando corresponda
Estado de equipos	Relacionar el dato con el proceso	Bitácora sincronizada

Nota. La selección final del intervalo y duración debe responder a la variabilidad del proceso y a la clase del instrumento.

2.23. Metodología de dimensionamiento aplicada

El procedimiento inicia con la comprobación del valor 0,94 y el reconocimiento de la potencia activa concurrente. Posterior se calculan Q inicial, Q objetivo y Qc para los distintos estadios. Se elige un objetivo técnico, se organiza la capacidad en escalones comerciales y se asemeja la respuesta en el transcurso de carga mínima, media como máxima. Por último se revisa la corriente nominal, tensión, ventilación, protección como el riesgo armónico.

La selección no debe trasladarse de forma automática a 1,00. Una meta excesivamente alta minimiza el margen en torno a la desconexión imprevista de motores y puede generar factor adelantado. Para dicha investigación se determina como razonable valorar 0,96, 0,97 y 0,98, dejando que las medidas y el estudio económico establezcan la alternativa. La consigna del regulador como los tiempos de maniobra deberán facilitar la estabilidad sin conexión o desconexión iterativa de las fases.

2.24. Evaluación técnica y económica

La evaluación técnica determina una comparación de la corriente, pérdidas, baja de tensión, uso del transformador y comportamiento del factor antes como después de la proposición. Además debe corroborarse que la tensión incremente de forma indebida y que los capacitores toleren el ambiente armónico. Los beneficios son cuantificables en los tramos que se encuentran realmente descargados por la compensación.

2.25. Marco regulatorio internacional

IEEE 519-2022 concluye de forma pertinente cuando hay cargas no lineales, debido a que fija objetivos de distorsión en el punto de fusión común. Las delimitaciones de potencia bajo circunstancias sinusoidales y no sinusoidales deben ser consultadas en IEEE 1459-2025. Como referencia adicional de seguridad, el artículo 460 de NFPA 70 abarca capacitores, medios de desconexión, protección, así como descarga. La adopción de estas normas debe ser contrastada con el reglamento ecuatoriano obligatoria y con las precisiones de la distribuidora.

2.26. Marco regulatorio nacional

La Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica determina un marco generalizado de las actividades del sector como la de prestación del servicio. En el campo operativo como comercial, la Regulación ARCONEL 008/24 regula las asociaciones entre distribuidora como consumidor. La Regulación ARCONEL 009/24 determina indicadores y

procesos de calidad, y reconocer la distorsión armónica de corriente como una obligación del consumidor cuando su carga incide en la red.

Para el año 2026, el Pliego Tarifario del Servicio Público de Energía Eléctrica determina que la penalización por bajo factor de potencia se aplicara a consumidores del grado general con medidas de energía reactiva cuando FPr sea menor a 0,94. Si FPr es equivalente o mayor, la penalización es igual a cero. También se avisora que, por abajo de 0,60, la distribuidora pueda pausar el servicio, siempre y cuando se emita una notificación previa hasta que se acondicionen las instalaciones (ARCONEL, 2025). En consecuencia, el valor 0,94 mismo que debe llevarse mediante registros que evidencien que se conserva permanente dicho valor.

2.27. Sistema eléctrico industrial y flujo de potencia

Una instalación industrial puede representarse como un conjunto de barras, transformadores, alimentadores y cargas entre los cuales circulan potencia activa y reactiva. La potencia activa se convierte en producción, movimiento, calor útil o también servicios auxiliares; la potencia reactiva mantiene campos magnéticos como eléctricos. Pese a que la segunda no representa el trabajo neto, abarca capacidad en transformadores, conductores, interruptores, así como sistemas de medidas. El estudio del factor de potencia debe identificar dicha distinción y colocar el punto exacto en donde se necesita minimizar el cambio reactivo. Una compensación establecida en la barra general altera el flujo visualizado tanto en la red como en el transformador, a la vez que una compensación próxima al motor acciona también sobre el alimentador. Dicha subyunción espacial expone por qué dos bancos con la misma capacidad pueden elaborar beneficios internos distintos.

El equilibrio de potencia en régimen constante establece que la potencia suministrada es igual a la demandada adicionando las pérdidas. Cuando se coloca un capacitor en derivación, la potencia reactiva que anteriormente llegaba desde la fuente se adquiere de forma local durante parte del ciclo. La fuente por ende continúa entregando básicamente la misma potencia activa del procedimiento, pero se reduce la corriente, al igual que la potencia aparente aguas arriba. No debe confundirse este efecto con un ahorro directo en la producción. La conexión de condensadores no modifica, por sí sola, la cantidad de materia prima procesada, el par motor ni la energía térmica requerida. El ahorro proviene principalmente de la reducción de pérdidas, que son proporcionales al cuadrado de la corriente, y cada sección que se descarga debe evaluarse por separado.

2.28. Comportamiento electromagnético del motor de inducción

El motor de inducción es la carga dominante en numerosas industrias de alimentos. El estator crea un campo magnético giratorio mediante una corriente de magnetización que se mantiene aun cuando el eje entrega poca potencia mecánica. Cerca de vacío, la componente activa se reduce con la carga, pero la componente magnetizante no disminuye en igual proporción; por esta razón el factor de potencia suele deteriorarse. Cuando el motor se acerca a su punto de diseño, la componente activa incrementa y el factor se vuelve óptimo. Dicha característica es en especial relevante en transportadores, ventiladores, elevadores como

molinos elegidos con márgenes incrementados o que ejecutan operaciones con alimentación irregular.

El desplazamiento, la eficacia, el factor de potencia se asocian con el estado mecánico. Rodamientos desmejorados, desalineación, al igual que la tensión inestable o baja tensión pueden incrementar la corriente sin acrecentar la producción. Una reparación capacitiva no corrige estas causas y puede esconder de forma temporal una problemática de mantenimiento si únicamente se enfoca la corriente de la fuente. El diagnóstico debe hacer la comparación de la potencia eléctrica, la carga mecánica como las horas de funcionamiento. Además se debe determinar si el motor tiene a su disposición componentes como el variador, arrancador suave o conexión directa, puesto que cada tecnología modifica el perfil de corriente, armónicos como la maniobra.

La compensación individual de un motor necesita prevenir la autoexcitación. Si el capacitor se mantiene conectado en el transcurso de la desconexión y el rotor sigue girando por inercia, el conjunto puede conservar una tensión residual. La potencia del capacitor no debe sobrepasar los parámetros del fabricante como tampoco la demanda magnetizante del motor. En cargas de operación con variabilidad debe ser preferente la compensación central automática. Para motores grandes y equilibrados, una mezcla de compensación individual moderada y banco general puede minimizar pérdidas internas, pero elevar los puntos como protección y mantenimiento (Freire & Vergara, 2021).

2.29. Transformadores, magnetización y capacidad disponible

El transformador usa potencia reactiva inclusive en vacío para determinar el flujo en el núcleo. Bajo carga, la reactancia de dispersión como la corriente incrementa la demanda reactiva, al igual que la baja interna de tensión. La potencia nominal en MVA reduce el calentamiento relacionada con la corriente absoluta, no solamente los kilovatios. En consecuencia, optimizar el factor de potencia de la carga facilita la transferencia de la misma potencia activa con una menor utilización aparente. Dicha ventaja puede generar el aplazamiento de las ampliaciones cuando el transformador es el elemento de carácter limitante, aunque es vital realizar la verificación protecciones, barras como alimentadores (Cabrera, 2022).

La notación 5/6,25 MVA se tiende a relacionar con dos capacidades de enfriamiento, por ejemplo ONAN y ONAF, pero esa inferencia debe corroborarse en la placa. En la tesis se emplea como un supuesto explícito, no como una característica verificada. Siendo la demanda de 2,50 MVA, la empleabilidad es 50 % correspondiente de 5 MVA y 40 % referente a 6,25 MVA. La reparación propuesta no da una respuesta a una sobrecarga global, sino a indicadores como la eficiencia, margen operativo como cumplimiento tarifario. Esta distinción elude a ser un justificativo de inversión a través de un riesgo térmico que los datos recopilados no muestran (Muyulema, 2021).

Para la cuantificación de pérdidas del transformador se requieren pérdidas en vacío, pérdidas con carga, al igual que impedancia porcentual y perfil temporal. Las pérdidas asociadas al cobre pueden variar aproximadamente con el cuadrado de la corriente, en tanto las pérdidas asociadas al núcleo dependen primordialmente de la tensión y frecuencia. La reparación del factor minimiza la primera componente, más no la segunda. Componente Si hay presencia de armónicos, las pérdidas parásitas pueden llegar a incrementarse y la capacidad de efectividad debe corroborarse. Por ello, el análisis decisivo debe incorporar placa, protocolo de ensayos como espectro de corriente.

2.30. Caída de tensión, regulación y desempeño de los procesos

La baja de tensión en un alimentador esta sujeta a la corriente, la resistencia, la reactancia como el ángulo de carga. De forma cercana, una carga inductiva eleva el término vinculado con la reactancia, de manera que la compensación puede optimizar la tensión en la barra. El beneficio es mayoritario en redes largas o con alta impedancia y minoritaria cuando la fuente es inflexible. Una tensión más equilibrada beneficia el par de los motores como minimiza la posibilidad de acción de contactores o variadores en el transcurso de modificaciones de fabricación No obstante, una compensación exarcebada puede incrementar la tensión en tiempos de menor demanda (Quintero, 2026).

El efecto sobre los procedimientos debe estudiarse con reserva. Un molino sujeto a la baja de tensión puede requerir mayor corriente para mantener el par; un compresor puede sufrir de arranques continuos; controles electrónicos pueden revisar fallas. Dichos fenómenos no se resolveran necesariamente con un banco general si la baja se genera en un circuito complementario lejano. Se necesita medir de forma simultánea la barra central y los tableros

críticos para ubicar el origen. La elección del punto de compensación debe dar respuesta a la problemática técnica reconocida.

El control de tensión posterior a la colocación se corrobora mediante la comparación de valores antes y después bajo circunstancias equivalentes. Se deben revisar tensión promedio, mínimo de 10 minutos, desequilibrio como eventos. Si la conexión de una fase produce un salto desmesurado, puede minimizar su tamaño o acomodarse a la consigna. El regulador del banco no debe ser competitivo con modificadores de tomas, además de otros controles de tensión. Los retrasos coordinados previenen procesos repetitivos y extienden la vida de contactores y capacitores (Gómez, 2021).

2.31. Pérdidas eléctricas y eficiencia energética

Las pérdidas resistivas se declaran por medio del I^2R . Una disminución regulada de corriente genera un efecto cuadrático, pero solo en los componentes ubicados entre la fuente y el punto de compensación. Para valorar el ahorro se distribuye la red en tramos, se designan resistencia como horas por estado, posterior se calcula la diferencia tanto en las pérdidas iniciales, así como en las finales. Utilizar una única resistencia proporcional es razonable para un predimensionamiento, aunque puede provocar incertidumbre. La memoria final debe sustituirla con longitudes, secciones, materiales, al igual que data del transformador (Revelo, 2022).

La eficiencia energética industrial no puede valorarse solamente por el factor de potencia. Deben tener en cuenta la eficiencia de motores, control de velocidad, fugas de aire comprimido, al igual que la operación en vacío, mantenimiento de filtros y el balance de fabricación. Además puede valorarse la demanda aparente específica en kVA por tonelada/hora. Posterior a incorporar el banco, la revisión debe normalizar los productos por receta y grado de producción. Esta metodología facilita mostrar eficiencia real y sostener elecciones de mantenimiento.

2.32. Compensación reactiva dinámica y resolución de etapas

Un banco automático aproxima una demanda continua mediante escalones discretos. Una resolución menor establece un error residual: si la fase menor es mayor en lo que respecta a las variaciones, el controlador cambia entre subcompensación como sobrecompensación. El agrupamiento de fases similares y binarias facilita distintas capacidades agregadas. La

propuesta de 25, 25, 50, 50, 100, 100, 150 y 150 kVAr brinda flexibilidad y una redundancia parcial, de tal manera que la conservación de la fase no revoca toda la compensación (Achachi j. , 2021).

El regulador mide la potencia necesaria partiendo de la corriente y tensión, o utiliza el criterio C/k vinculado con el escalón menor y la asociación del transformador de la corriente.

2.33. Transitorios de conexión y descarga de capacitores

Las resistencias de descarga minimizan la tensión residual posterior a desconectar una fase. El controlador debe alinearse al tiempo requerido previo a ser reconectada. Una reconexión anticipada integra tensión residual como tensión de red en una circunstancia desfavorable. La preservación debe corroborar la continuidad de resistencias como ausencia de abombamiento como posibles fugas. La señalización de tensión y el proceso de bloqueo son imprescindibles debido a que un banco puede aun mantener la energía posterior a la apertura del interruptor (Cujilan, 2022).

La coordinación de sobretensiones, puesta a tierra y disposición física de barras reduce inductancias no controladas. Estas consideraciones forman parte de la viabilidad técnica: un banco correctamente dimensionado en kVAr puede resultar inadecuado si su maniobra no corresponde al sistema.

2.34. Armónicos característicos de variadores y rectificadores

Los variadores de seis pulsos absorben corrientes no sinusoidales con componentes características cercanas a los órdenes 5, 7, 11 y 13, cuya magnitud depende de impedancia, carga y reactancias de línea. El movimiento fundamental puede llegar a encontrarse entre alto y, pese a ello, el factor verdadero descender por distorsión. Un medidor que informe solo coseno del ángulo puede esconder dicho efecto. El analizador debe brindar un factor de desplazamiento, factor verdadero, THDi o TDD como un espectro individual (Rosero E. , 2023).

Los capacitores tienen una menor reactancia frente a frecuencias mayores y pueden generar la atracción de una corriente armónica. Esto incrementa la corriente RMS, temperatura, al igual que esfuerzo dieléctrico. La dinámica interactiva con la inductancia del sistema puede producir la amplificación de un armónico inclusive si la carga no lineal no se altera. Por dicha

razón, la equivalencia de variadores referentes a la potencia del transformador es un parámetro preliminar, no obstante no reemplaza un estudio. La potencia de cortocircuito como la ubicación de cargas cambian el resultado.

2.35. Resonancia paralela y serie en instalaciones industriales

La resonancia paralela se manifiesta cuando la susceptancia capacitiva compensa a la inductiva observado a partir de una barra. Cercana a esa frecuencia, una corriente armónica relativamente reducida puede provocar una tensión creciente. La resonancia serie posee una impedancia menor y puede generar atracción de corriente. Ambas están sujetas a la capacidad conectada como a la impedancia proporcional de la fuente; por lo tanto, se modifican al conectar fases, trasladar transformadores o cambiar la red (López C. , 2021).

Una valoración aproximado del orden de resonancia asocia la potencia de cortocircuito, al igual que kVAr del banco, no obstante el barrido de impedancia brinda un mayor nivel de confiabilidad. Se diseñan transformadores, cables, bancos como cargas para reconocer picos en diferentes configuraciones. La falta de un diagrama unifilar en la tesis no es impedimento al detallar la explicación del fenómeno, pero sí delimita un estudio determinado. Por ello, la propuesta acopla reactores desintonizados y presenta el barrido como un requisito a cumplir previo a construcción.

La elección de un reactor del 7 % genera una frecuencia próxima a 227 Hz dentro de un sistema de 60 Hz, proporcional al orden 3,78. El capacitor debe poseer tensión nominal consolidada a causa de que el reactor eleva su tensión fundamental. Deben corroborarse corriente térmica, tolerancias como ventilación. Usar únicamente capacitores de 480 V en una barra de 480 V con reactor puede generar un producto ineficiente; el conjunto debe precisarse como un sistema por parte del fabricante.

2.36. Desequilibrio de tensión y corriente

El desequilibrio de tensión produce elementos de secuencia negativa que generan un campo opuesto en motores e incrementan el calentamiento. Un minúsculo desequilibrio de tensión puede dar paso a uno mayor en la corriente. La reparación trifásica equilibrada no omite una distribución inequitativa de cargas monofásicas ni contactos deteriorados. Previo a atribuirle toda corriente agregada al factor de potencia, debe realizarse una comparación entre magnitudes y ángulos por etapa.

Dentro de un banco trifásico, la pérdida de la unidad o fusible puede producir desequilibrio. El control por fase y el proceso de medición de corriente en cada etapa facilitan identificarlo. Un regulador constituido en una sola etapa puede no reflejar la condición absoluta si se presenta una asimetría. Para una planta industrial de potencia creciente se sugiere una medición trifásica como alarmas de desviación. El mantenimiento debe realizar una comparación de capacitancia entre etapas e inspeccionar las temperatura de conexiones.

La valoración de viabilidad técnica abarca evidenciar que el banco no agrava la inestabilidad. En el curso de las pruebas se detalla la condición con cada acoplamiento de fases. Si la instalación posee cargas monofásicas considerables tanto en oficinas como en laboratorio, las mismas deben repartirse apropiadamente; pero, su potencia es mínima en torno a motores de proceso. El estudio separa así problemáticas de secuencia con las de potencia reactiva.

2.37. Protección eléctrica del banco de capacitores

La protección debe tener en cuenta aspectos como cortocircuito, sobrecorriente, sobretensión, pérdida de fase, sobretensión como fallas internas. Los fusibles o interruptores de cada fase separan unidades deterioradas y permiten el mantenimiento.

El gabinete precisa una puesta a tierra, barreras, rotulación, ventilación como una entrada segura. El arco eléctrico es uno de los riesgos primordiales en barras de menor tensión con miles de amperios. El diseño final debe contener el análisis de energía incidente, etiquetas como un equipo de protección personal. La viabilidad técnica no solo se minimiza al desempeño eléctrico normal, también abarca la instalación y mantenimiento seguros en el transcurso de toda su vida útil.

2.38. Gestión térmica, ambiente y confiabilidad

La modularidad mejora la fiabilidad. Gracias a sus múltiples fases, el sistema puede mantener una capacidad mínima durante un fallo, y los componentes individuales pueden sustituirse sin necesidad de desconectar todo el banco de baterías. El controlador también debe registrar las horas de funcionamiento, las operaciones y las alarmas. Las inspecciones termográficas periódicas pueden revelar conexiones sueltas, fusibles sobrecalentados y una ventilación deficiente. La medición de la capacitancia puede mostrar la degradación antes de que el sistema falle por completo.

El costo de ciclo de vida abarca filtros, ventiladores, contactores, fusibles, limpieza, al igual que pérdida paulatina de capacitancia. Un equipo de precio inferior puede tener un costo mayor si no posee repuestos o certificación. La valoración económica debe hacer una comparación de ofertas técnicamente proporcionales y no únicamente USD/kVAr. Garantía, soporte, pruebas de fábrica como disponibilidad local, las mismas que forman parte del parámetro de adjudicación.

2.39. Instrumentación, incertidumbre y trazabilidad

Toda medición cuenta con un criterio de incertidumbre. La relación como tipo de transformadores de corriente, el burden, la exactitud del analizador, al igual que la sincronización y el intervalo de agregación inciden en el producto. Un mínimo error alrededor de 0,94 puede modificar la resolución tarifaria. Por ello, se debe detallar el modelo, número de serie, certificado de calibración, conexiones, así como la configuración del instrumento. La inspección de polaridad previene la interpretación de la potencia exportada o factor adelantado incorrectamente.

El periodo de siete días establece un plazo mínimo para capturar ciclos, pero también puede reflejar la estacionalidad, el mantenimiento o los cambios en las recetas. Las facturas de doce meses ofrecen una perspectiva longitudinal, aunque su promedio puede ocultar fluctuaciones rápidas. Se consideran conjuntamente las mediciones detalladas, las facturas y el registro de producción. Cuando los resultados no coinciden, el análisis examina los cambios operativos en lugar de seleccionar el dato que parezca más favorable.

2.40. Evaluación económica de proyectos de eficiencia eléctrica

La valoración económica hace una comparación entre inversión inicial, costos de operación como ventajas a lo largo de el horizonte. El tiempo de recuperación simple es factible de analizar, no obstante no toma en cuenta el valor del dinero, ventajas posteriores como reposiciones. El valor vigente neto se descuenta de cada flujo a una tasa que simboliza tanto el costo de capital como el riesgo. Un VAN positivo apunta que, bajo las deducciones, el proyecto adiciona el valor referente de la tasa establecida. La tasa interna de devolución es la misma que hace VAN equivalente a cero. El valor actual neto (VAN) descuenta cada flujo de efectivo utilizando una tasa que refleja tanto el costo del capital como el riesgo. Cuando el VAN es positivo, el proyecto suma el valor de referencia de la tasa establecida después de las

deducciones. La tasa interna de retorno (TIR), por el contrario, es la tasa a la cual el VAN es igual a cero.

2.41. Criterios integrados de viabilidad técnica y económica

La viabilidad técnica se determina cuando la resolución llega al factor objetivo en cada uno de los estados importantes, no produce una sobrecompensación, brinda tensión como corriente, organiza protecciones, conserva límites térmicos y no llega a amplificar armónicos. Además demanda espacio, ventilación, al igual que acceso, compatibilidad con el sistema de medida y probabilidad de preservación. Cada parámetro debe tener pruebas y circunstancias de aceptación.

La viabilidad económica establece que las ventajas crecientes sobrepasen la inversión como costos frecuentes dentro del horizonte y en torno a una tasa delimitada. Se sugiere emplear VAN como parámetro central, TIR y la asociación beneficio/costo como elementos, e intervalo simple para interacción. Las variables deducidas deben mostrarse en sensibilidad. Una cifra de restablecimiento sin proclamar un escenario puede provocar decisiones equivocadas.

La decisión de cierre emplea una compuerta: primero se debe validar la seguridad como la calidad de energía; posterior a ello se valora el retorno. Si el banco convencional es más económico, no obstante puede haber riesgo de resonancia, lo cual no determina una alternativa provechosa. Si la resolución desintonizada es estructuralmente sólida, lo cual no provoca devolución sin penalización, puede sustentarse por capacidad o en sentido del cumplimiento únicamente con pruebas. Dicha lógica orienta los capítulos de conclusiones y elude aislar de forma artificial ingeniería como economía.

2.42. Gestión de demanda y relación con el factor de potencia

La demanda máxima es el promedio máximo detallado en el curso del intervalo determinado por la tarifa. Puede minimizarse a través de la programación de cargas, arranque secuencial, así como el almacenamiento de servicios, en tanto que la reparación del factor de potencia disminuye kVA para un grado de kW. Son mediciones secundarias, pero sus ventajas no deben confundirse. Si la factura retardada demanda activa, el banco no disminuye directamente el pico de kW; si la infraestructura se delimita por corriente o kVA, en el caso de

que libere capacidad. La valoración debe reconocer de forma precisa el elemento facturado y el componente técnico definitorio.

En una industria de balanceo, organizar molienda, compresores y extrusión puede eludir concurrencias no necesarias. Los arranques escalonados minimizan bajas de tensión, pese a su durabilidad puede ser excesivamente corta para incidir en el promedio tarifario. Un sistema de administración de energía puede utilizar fases de producción como alarmas de FP. Cuando el índice cae, primero se corrobora si una fase se encuentra; posterior se estudia el acoplamiento de cargas. Esta incorporación previene que el banco retribuya problemáticas operativas que podrían omitirse con programación.

La capacidad liberada por compensación puede evaluarse si facilita la conexión de ampliación sin modificar transformador. Para llevarlo a cabo se necesita un proyecto de ampliación con fecha y costo prevenido. En falta de ese proyecto, la tesis refiere 204,1 kVA liberados como una ventaja técnica, pero no monetaria. Esta práctica mantiene independencia entre índices y elude sobrestimar la devolución.

2.43. Mantenimiento basado en condición del sistema de compensación

El mantenimiento que se sostiene en condición emplea temperatura, corriente, capacitancia como cantidad de maniobras para elegir intervenciones. La inspección visual identifica abombamiento, fuga, decoloración como polvo; la termografía reconoce conexiones reticentes; las medidas de corriente dan a conocer la pérdida de una etapa; la capacitancia facilita la comparación entre degradación con tolerancia. Los resultados se detallan por fase para identificar tendencias y elaborar repuestos.

Los reactores pueden mostrar ruido o incremento térmico por armónicos. Los ventiladores como filtros son elementos de vida corta y su error incrementa la temperatura del gabinete en general. Los contactores se deterioran por cantidad y rigurosidad de maniobras. Cambiar fases del mismo tamaño redistribuye el desgaste. El regulador debe mantener historial y difundir alarmas. Una fase retirada debe proceder a bloquearse en el control para eludir elecciones radicadas en la capacidad inexistente.

La periodicidad esta sujeta al ambiente como criticidad. Se propone una verificación mensual inicial como termografía trimestral en el transcurso del primer año y una preservación

semestral; luego se acople de acuerdo a los resultados. Posterior a las ampliaciones o instalación de variadores se deben repetir las mediciones armónica y corroborar la consigna. El costo anual contenido en el estudio económico refleja dichas actividades, no obstante la empresa debe elaborar un plan con horas, al igual que repuestos reales.

2.44. Seguridad funcional y continuidad de producción

La continuidad productiva determina que una error del banco no se desvincule de forma innecesaria de toda la planta. La organización selectiva debe separar la fase deteriorada y, si es vital, el gabinete, conservará la barra principal. El controlador debe facilitar la operatividad con capacidad mínima y transmitir alarma. Un bypass no debe invalidar protecciones ni facilitar energización no segura. La arquitectura se corrobora con preservación y elaboración previo a definirla.

La puesta en servicio se ejecuta en el curso de una parada o con un proceso autorizado. Se comprueba la falta de tensión, bloqueo, descarga como puesta a tierra cuando sea correspondiente. Los capacitores pueden mantener tensión posterior a la apertura; por ello se estima el tiempo indicado y se mide previo al tacto. El gabinete necesita señalización, barreras como documentación. La energía incidente establece EPP, al igual que distancia de trabajo.

Los ensayos abarcan resistencia de aislamiento, continuidad de protección, secuencia, corriente por etapa, así como respuesta del regulador, alarmas junto con parada de emergencia. No se relacionan todas las fases de una vez sin visualizar tensión como corriente. La aceptación funcional se registra en protocolo firmado. Estas actividades reducen riesgo de interrupción temprana y forman parte del costo de ingeniería y pruebas.

2.45. Sostenibilidad y desempeño energético organizacional

La corrección del factor de potencia contribuye al uso eficiente de infraestructura y a reducir pérdidas, pero su impacto ambiental debe cuantificarse con energía evitada y factor de emisión aplicable. No se debe afirmar una reducción directa de consumo productivo. Si las pérdidas evitadas son 16,9 kW durante 6 000 horas, la energía anual aproximada es 101,4 MWh; la reducción de emisiones dependerá del factor oficial de la red y del periodo. La tesis mantiene el resultado energético sin inventar emisiones.

La sostenibilidad además toma en consideración materiales, vida útil como disposición de capacitores. Las precisiones deben establecer cumplimiento ambiental, normativas de manejo y proveedores con sus respectivos repuestos. Una vida mayor minimiza residuos como paradas. El mantenimiento regido en condición el de sustituciones tempranas. La compra se valora por ciclo de vida, no solamente por precio.

La administración energética determina responsable, meta, indicador como revisión. El FP mensual puede ser incluido en tablero en conjunto con kWh por tonelada, demanda como disposición del banco. Cuando el índice se desvía, se apertura una accionar correctivo. Dicha rutina transforma el proyecto en una optimización constante y no en una instalación separada que reduce capacidad con los años.

3. CAPÍTULO III

METODOLOGÍA, LEVANTAMIENTO Y DIAGNÓSTICO

3.1. Antecedentes del levantamiento de información y reconocimiento de áreas

Antecedentes de la recopilación de información y el reconocimiento del área

Como base para el estudio, se revisó el plan general de la empresa. Para proteger los derechos y la confidencialidad, se omite el nombre de la empresa en el título, las tablas, las figuras y los resultados; en adelante, se utilizará la denominación industria de alimentos para camarones.

El área de generación de vapor y aire comprimido admite varias etapas en lugar de una sola línea específica. Las calderas y sus equipos auxiliares requieren bombas y ventiladores, mientras que los compresores operan mediante ciclos de carga y descarga que pueden reducir el factor de potencia cuando la producción es baja. Por esta razón, el sector debe estar vinculado a ambos procesos en lugar de estar asignado exclusivamente a una sola línea. El análisis también abarcará las fugas de aire, los puntos de ajuste de presión y el funcionamiento sin demanda, ya que cada uno de estos factores puede afectar el análisis energético incluso cuando no se utilizan condensadores para corregir el problema.

El plan abarca el almacenamiento de productos terminados, un laboratorio, un centro de investigación, una cafetería y un edificio administrativo. En las áreas de almacenamiento, la demanda proviene de las cintas transportadoras, la ventilación y los equipos de manipulación. Los equipos de prueba, el control climático y las cargas electrónicas abastecen al laboratorio y al centro de investigación, mientras que el edificio administrativo y la cafetería requieren iluminación, control climático y servicios monofásicos. Estas instalaciones representan una porción menor de la demanda total, pero aun así son importantes al evaluar desequilibrios y el rendimiento durante las horas de menor demanda.

Tabla 4. Áreas reconocidas en el plano y alcance del levantamiento

Área del plano	Cargas previsibles	Dato por levantar
Recepción	Transportadores, elevadores y aspiración	Potencia, simultaneidad y tiempo de descarga
Bodegas y tanques de materias primas	Tornillos, bombas, ventilación	Motores en espera y operación en vacío
Producción de peletizado	Molinos, mezcladores, prensa y enfriamiento	P, Q, FP, corriente y arranques
Producción de extruido	Extrusoras, secadores, corte y ventiladores	Variadores, TDD y espectro armónico
Generación de vapor y aire comprimido	Bombas, ventiladores y compresores	Ciclos carga/descarga y presión
Almacenamiento de producto terminado	Transporte y ventilación	Horarios y demanda coincidente
Laboratorio y centro de investigación	Climatización y equipos electrónicos	Carga no lineal y desequilibrio
Comedor y edificio administrativo	Iluminación, cocina y climatización	Distribución por fase y horario

Fuente: Autor

3.2. Enfoque y alcance del estudio

El estudio es cuantitativo, aplicado, descriptivo y proposicional. Analiza el funcionamiento global de una instalación industrial que produce comida para camarones. Debido a la confidencialidad, se omite el nombre de la empresa y no se reproduce información comercial. El plano suministrado se empleó exclusivamente para identificar las áreas funcionales: recepción, almacenamiento de materia prima, peletización, extrusión, almacenamiento de producto terminado, servicios auxiliares, laboratorio, oficinas y centro de investigación.

Los valores eléctricos no incluidos en el plan o en la descripción proporcionada se consideran supuestos de ingeniería. Por lo tanto, los resultados representan un diseño preliminar y no sustituyen los análisis con analizadores de red, la coordinación de protecciones, los estudios de cortocircuito ni la aprobación de la empresa distribuidora.

3.3. Variables de investigación

Tabla 5. Operacionalización de variables

Variable	Indicador	Unidad	Procedimiento
Sistema de compensación (independiente)	Capacidad conectada por etapa	kVAr	Cálculo y simulación por escenarios
Factor de potencia (dependiente)	P/S en barra principal	adimensional	Registro asumido y cálculo
Demanda reactiva	Q antes y después	kVAr	Triángulo de potencia
Corriente principal	I antes y después	A	Ecuación trifásica
Viabilidad económica	Ahorro y recuperación	USD; años	Flujo simple referencial

Nota. Elaboración propia. Los indicadores calculados se sustentan en valores asumidos para fines académicos. Fuente:

Autor

3.4. Caracterización anonimizada de la instalación

La subestación de la planta incluye un transformador de potencia con una capacidad nominal de 5/6,25 MVA, entendida como su capacidad ONAN/ONAF. Frente a una demanda aparente máxima reportada de 2,50 MVA, el modelo utiliza un bus principal trifásico de 480 V y 60 Hz. Dicha demanda corresponde al 50 % de la capacidad nominal de 5 MVA o al 40 % de la capacidad nominal de 6,25 MVA. Por lo tanto, el problema no radica en una sobrecarga térmica general del transformador, sino en la circulación innecesaria de potencia reactiva, la reducción del margen operativo y las posibles penalizaciones cuando el factor de potencia cae por debajo de 0,94.

Tabla 6. Datos base del caso de estudio

Parámetro	Valor	Condición
Potencia de subestación	5/6,25 MVA	Dato proporcionado; ONAN/ONAF
Demanda aparente	2,50 MVA	Dato proporcionado
Tensión secundaria	480 V	Asumido
Frecuencia	60 Hz	Sistema ecuatoriano
FP mínimo observado	0,88	Asumido
FP representativo de	0,90	Asumido
diseño	inductivo	
FP objetivo	0,98	Criterio de diseño
	inductivo	
THD_v / TDD	3,2 % / 8,1 %	Asumido
Horas anuales equivalentes	6 000 h	Asumido

Nota. La validación en campo de tensión, factor de potencia, armónicos y simultaneidad es obligatoria antes de comprar equipos. Fuente: Autor

3.5. Inventario de cargas asumidas

Tabla 7. Inventario funcional de cargas asumidas

Área o proceso	P instalada coincidente (kW)	P (kVAr)	Q (kVA)	S
Molienda y transporte	780	.86	462.8	907.0
Peletizado	520	.89	266.4	584.3
Extrusión	600	.92	255.6	652.2
Secado, ventilación y enfriamiento	340	.88	183.5	386.4
Aire comprimido y vapor	260	.87	147.3	298.9
Bombas y auxiliares	170	.85	105.4	200.0
Laboratorio, oficinas e iluminación	80	.96	23.3	83.3

Nota. Los grupos representan simultaneidad de proceso y no valores de placa. La suma no se usa directamente como demanda máxima porque cada condición de operación es diferente. Fuente: Autor

3.6. Plan de medición recomendado

Para convertir el dimensionamiento preliminar en un diseño final, instale un analizador de Clase A o equivalente en el punto de acoplamiento común durante siete días consecutivos. Este debe utilizar agregación cada 10 minutos y registrar los eventos. El período de monitoreo debe incluir al menos un ciclo de cada receta, junto con arranques, paradas, limpieza y producción mínima. Al mismo tiempo, mantenga un registro del equipo en servicio.

Tabla 8. Matriz de adquisición de datos

Magnitud	Intervalo	Ubicación	Criterio
V, I, P, Q, S y FP	10 min	Barra principal	Máximo, mínimo, promedio y percentil 95
FP de desplazamiento y verdadero	10 min	Barra principal	Diferenciar reactivos y distorsión
THDv, TDD y armónicos individuales	10 min	PCC y tableros con VFD	Comparar ARCONEL e IEEE 519
Eventos de tensión y arranques	Por evento	Barra principal	Correlacionar con proceso
Estado de etapas del banco	1 min	Tablero de compensación	Detectar caza o sobrecompensación

Nota. El intervalo puede reducirse durante arranques para capturar transitorios; el criterio tarifario se comprueba adicionalmente con facturas mensuales. Fuente: Autor

3.7. Escenarios de operación

Tabla 9. Escenarios de diagnóstico

Escenario	P (kW)	FP	Q (kVAr)	S (kVA)	I a 480 V (A)
Baja carga	900	0.88	485.8	1,022.7	1,230
Carga media	1,600	0.91	729.0	1,758.2	2,115
Carga máxima	2,250	0.90	1,089.7	2,500.0	3,007

Nota. Los tres escenarios se emplean para verificar la resolución del banco automático y el riesgo de factor adelantado. Fuente: Autor

3.8. Procedimiento detallado del levantamiento de cargas

El levantamiento de información técnica se realiza por tablero en cada una de las áreas de la industria. Para el análisis primero se comprueba físicamente la ubicación de todos los centros de carga y se lo compara con los planos arquitectónicos o detalle técnico, luego se registra el nombre de tablero y se procede a tomar mediciones de voltaje, corriente y con un analizador de redes analizar la potencia activa y reactiva, frecuencia de operación, etc.

Se realiza un análisis térmico para evidenciar la presencia de puntos calientes sobre los conductores o elementos que conforman el panel. Se evalúa este comportamiento 3 veces al día en periodos laborales para determinar los valores promedios.

3.9. Tratamiento estadístico de los registros

Para determinar una estadística técnica se considera el estado inicial de los tableros vs el estado propuesto con elementos de compensación reactiva que permitan mejorar el eficiencia y la calidad de energía entregada a las cargas. Para superar el techo o % requerido, el FP o factor de potencia debería oscilar entre 0.96 y 0.99 con el fin de evitar resonancia y cumplir con los requerimientos solicitados por la ARCONEL.

La estimación economía tendrá un lapso de 10 años el tiempo de vida útil de un sistema de compensación reactiva en condiciones de mantenimiento. Se toma como un rubro anual el mantenimiento del mismo dentro del monto para mejorar la eficiencia del sistema propuesto.

Mediante los beneficios técnicos y la compensación de energía reactiva y mejorar la calidad de la red, esto se refleja en un ahorro económico debido que un sistema ininterrumpido

genera menores pérdidas y por ende su corriente disminuye generando un ahorro que se ve reflejado en las planillas de consumo eléctrico.

3.10. Método de estimación técnico-económica

La estimación técnica compara el antes y el después del factor de potencia actual vs el factor de potencia corregido, esto se ve reflejado en una disminución de los componentes como la potencia reactiva, aparente y corriente, también es una disminución de pérdidas, armónico y riesgo operativo.

Los criterios para la evaluación técnico-económica van ligados al costo – beneficio. Para ello se toma los años de operación del sistema, esto incluya también los periodos de penalización en caso de no cumplir con el factor mínimo requerido en la industria de acuerdo con la agencia reguladora.

. Se incorpora una reposición parcial de contactores y ventiladores en el año cinco. No se monetiza capacidad liberada para evitar doble conteo, salvo que exista ampliación documentada.

3.11. Validez, confiabilidad y posibilidad de reproducción

Para la validez de las variables eléctricas es fundamental contar con equipos de precisión y medición en tiempo real para evaluar los intervalos de tiempo y de esta manera obtener resultados fiables. Para garantizar la veracidad de la propuesta se detalle en tablas ordenadas los parámetros eléctricos medibles.

4. CAPÍTULO IV

DISEÑO DEL PROYECTO

4.1. Criterios de diseño

Un factor de potencia objetivo de 0,98 proporciona cierto margen por encima del umbral nacional de 0,94, aunque se mantiene por debajo de la unidad. Debido a la variabilidad del proceso y a la distorsión asumida, la solución seleccionada es un sistema de compensación automática centralizado y desintonizado. No se necesita un diagrama unifilar para el dimensionamiento; funcionalmente, la compensación se ubica en el bus principal de baja tensión.

4.2. Cálculo del estado inicial

Paso 1. Se obtiene la potencia activa con los datos técnicos.

$$P = S \times FP_1 \quad (1)$$

$$P = 2\,500\text{ kVA} \times 0,90 = 2\,250\text{ kW} \quad (2)$$

Paso 2. Se calcula el ángulo de la carga.

$$\varphi_1 = \cos^{-1}(0,90) = 25,84^\circ \quad (3)$$

$$\tan(\varphi_1) = 0,4843 \quad (4)$$

Paso 3. Se obtiene la energía reactiva.

$$Q_1 = P \times \tan(\varphi_1) \quad (5)$$

$$Q_1 = 2\,250 \times 0,4843 = 1\,089,7\text{ kVAr} \quad (6)$$

Paso 4. Se obtiene la corriente de línea

$$I_1 = S \times 1\,000 / (\sqrt{3} \times VLL) \quad (7)$$

$$I_1 = 2\,500 \times 1\,000 / (\sqrt{3} \times 480) = 3\,007\text{ A} \quad (8)$$

4.3. Potencia reactiva requerida

Paso 5. Se calcula el nuevo ángulo con el factor de potencia deseado

$$\varphi_2 = \cos^{-1}(0,98) = 11,48^\circ \quad (9)$$

$$\tan(\varphi_2) = 0,2031 \quad (10)$$

Paso 6. Se calcula la nueva potencia reactiva con el nuevo ángulo

$$Q_2 = P \times \tan(\varphi_2) \quad (11)$$

$$Q_2 = 2\,250 \times 0,2031 = 456,9\text{ kVAr} \quad (12)$$

Paso 7. Se determina el banco de capacitores realizando la diferencia entre la potencia reactiva inicial y la deseada. Como lo muestra la siguiente ecuación:

$$Q_c = P \times [\tan(\varphi_1) - \tan(\varphi_2)] \quad (13)$$

$$Q_c = 2\,250 \times (0,4843 - 0,2031) = 632,8 \text{ kVAr} \quad (14)$$

Se adopta el tamaño comercial inmediatamente superior de 650 kVAr. El excedente de 17,2 kVAr equivale al 2,7 % de la necesidad calculada y queda administrado por el regulador automático, que no conecta todas las etapas cuando la carga no lo requiere.

4.4. Comprobación posterior a la corrección

$$Q_{final} = Q_1 - Q_{c,conectado} = 1\,089,7 - 632,8 = 456,9 \text{ kVAr} \quad (15)$$

$$S_2 = \sqrt{(P^2 + Q_2^2)} = \sqrt{(2\,250^2 + 456,9^2)} = 2\,295,9 \text{ kVA} \quad (16)$$

$$I_2 = 2\,295,9 \times 1\,000 / (\sqrt{3} \times 480) = 2\,761 \text{ A} \quad (17)$$

$$\text{Reducción de } I = (I_1 - I_2) / I_1 \times 100 = 8,18 \% \quad (18)$$

La capacidad aparente liberada es $2\,500 - 2\,295,9 = 204,1 \text{ kVA}$. La utilización del transformador de 5 MVA pasa de 50,0 % a 45,9 % respecto de la demanda aparente asociada con el mismo nivel de producción. El valor no debe interpretarse como aumento automático de producción, pues la capacidad de conductores, protecciones y proceso también debe comprobarse.

Tabla 10. Comparación técnica antes y después

Indicador	Antes	Después	Variación
P (kW)	2 250,0	2 250,0	Sin cambio
Q (kVAr)	1 089,7	456,9	-632,8
S (kVA)	2 500,0	2 295,9	-204,1
FP	0,900	0,980	+0,080
I a 480 V (A)	3 007	2 761	-8,18 %
Uso sobre 5 MVA	50,0 %	45,9 %	-4,1 puntos

Nota. Cálculo propio con valores asumidos y tensión de 480 V. Fuente: Autor

4.5. Verificación por escenarios y control escalonado

Tabla 11. Configuración propuesta del banco automático

Etapas	Capacidad (kVAr)	Acumulado (kVAr)
1	25	25
2	25	50
3	50	100
4	50	150
5	100	250
6	100	350
7	150	500
8	150	650

Nota. Ocho etapas: $25 + 25 + 50 + 50 + 100 + 100 + 150 + 150 = 650$ kVAr. El regulador seleccionará la combinación requerida. Fuente. Autor

Tabla 12. Resultados según la carga

Escenario	Qc requerida (kVAr)	Qc seleccionada (kVAr)	FP resultante	Condición
Baja carga	303.0	300	0.979	Inductivo
Carga media	404.1	400	0.980	Inductivo
Carga máxima	632.8	625	0.979	Inductivo

Nota. La lógica real utilizará pasos disponibles, retardos y una consigna de 0,98; la tabla aproxima combinaciones de 25 kVAR.

La etapa mínima de 25 kVAR limita la falta de compensación y disminuye la probabilidad de factor adelantado durante baja carga. Se recomienda un retardo de conexión inicial de 30 a 60 s, reconexión conforme al tiempo de descarga indicado por el fabricante y rotación de etapas equivalentes para equilibrar el número de maniobras.

4.6. Dimensionamiento eléctrico del banco

La corriente capacitiva total a 480 V se calcula para la capacidad nominal seleccionada:

$$I_c = Q_c / (\sqrt{3} \times V_{LL}) \quad (19)$$

$$I_c = 650\,000 / (\sqrt{3} \times 480) = 781,8 \text{ A} \quad (20)$$

Como criterio de predimensionamiento se adopta una corriente continua de diseño igual a 1,35 veces la nominal, sujeta a IEC 60831-1, IEC 61921 y datos del fabricante:

$$I_{\text{diseño}} = 1,35 \times I_c = 1,35 \times 781,8 = 1\,055 \text{ A} \quad (21)$$

Se propone un interruptor de caja abierta o caja moldeada de 1 250 A, con capacidad interruptiva definida por el estudio de cortocircuito. El alimentador se resolverá mediante barras de cobre o conductores en paralelo cuya ampacidad corregida sea al menos 1 055 A. La

selección definitiva debe considerar temperatura, agrupamiento, método de instalación y normativa INEN/IEC aplicable; por ello no se fija un calibre único sin inspección física.

Tabla 13. Especificación técnica mínima propuesta

Componente	Especificación
Banco	650 kVAr, automático, 480 V, 60 Hz, ocho etapas
Capacitores	Autorregenerables; tensión reforzada compatible con reactor, típicamente 525 V
Reactores	Desintonización 7 %, frecuencia aproximada 227 Hz a 60 Hz
Controlador	Mínimo 8 salidas; lectura de FP verdadero; alarmas y comunicaciones
TC de medición	Relación preliminar 4 000/5 A; clase y burden según controlador
Maniobra	Contactores para servicio capacitivo con limitación de irrupción
Protección principal	1 250 A preliminar; Icu/Ics según cortocircuito
Gabinete	Interior industrial, ventilación forzada y protección contra polvo
Puesta a tierra	Barra PE y equipotencialidad del gabinete
Monitoreo	Temperatura, pérdida de etapa, THD y número de operaciones

Nota. Las capacidades interruptivas, barras y conductores quedan condicionados al estudio de cortocircuito y a la temperatura real. Fuente: Autor

4.7. Armónicos y selección desintonizada

El modelo supone THDv de 3,2 % y TDD de 8,1 %, además de variadores en extrusión, ventilación y bombeo. Aunque estos valores deben medirse y compararse en el punto común de acoplamiento, justifican no instalar un banco convencional sin reactores. Un reactor del 7 % desplaza la frecuencia de sintonía por debajo del quinto armónico:

$$f_{res} = f_1 / \sqrt{p} = 60 / \sqrt{0,07} = 226,8 \text{ Hz} \quad (22)$$

La frecuencia calculada equivale al orden 3,78 y evita sintonizar el banco con el quinto armónico de 300 Hz. El reactor no reemplaza un filtro activo ni garantiza cumplimiento de IEEE 519-2022. Si la campaña identifica distorsión elevada o resonancias adicionales, deberá ejecutarse un barrido de impedancia y reconsiderarse la solución.

4.8. Estimación de pérdidas evitadas

Para mostrar el procedimiento se adopta una resistencia equivalente por fase de 0,004 Ω en el tramo descargado, valor asumido que integra transformador, barras y alimentador principal. Las pérdidas resistivas trifásicas se expresan como:

$$P_{pérd} = 3 \times I^2 \times Req \quad (23)$$

$$\Delta P_{pérd} = 3 \times Req \times (I_1^2 - I_2^2) \quad (24)$$

$$\Delta P_{pérd} = 3 \times 0,004 \times (3\,007^2 - 2\,761^2) = 17.0 \text{ kW} \quad (25)$$

Con 6 000 horas equivalentes y un costo de energía asumido de USD 0,09/kWh, el ahorro anual por pérdidas sería:

$$\text{Ahorro energía} = 17.0 \times 6\,000 \times 0,09 = \text{USD } 9,195/\text{año} \quad (26)$$

5. CAPÍTULO V

5. Viabilidad Técnico-Económica

5.1. Evaluación tarifaria y económica referencial

El Pliego Tarifario 2026 de ARCONEL establece penalización cuando $FPr < 0,94$. Para ilustrar el efecto se asume una factura inicial mensual de USD 180 000 y un factor registrado de 0,90 durante ocho meses del año. El factor de penalización es:

$$BFP = 0,94 / FPr - 1 \quad (27)$$

$$BFP = 0,94 / 0,90 - 1 = 0,04444 \quad (28)$$

$$Penalización\ mensual = 0,04444 \times 180\ 000 = USD\ 8\ 000 \quad (29)$$

La penalización anual evitable en el escenario es USD 64 000. Este monto es una simulación, no una transcripción de facturas. Sumado al ahorro de pérdidas y descontando mantenimiento, permite estimar la recuperación simple.

Tabla 14. Presupuesto referencial

Rubro	Costo asumido (USD)
Banco automático desintonizado 650 kVAr	38 000
Interruptor, barras y conductores	6 500
Montaje, ventilación y obra menor	4 500
Ingeniería, pruebas y puesta en servicio	3 500
Contingencia	2 500
Inversión total	55 000

Nota. Valores académicos referenciales; deben reemplazarse por cotizaciones. Fuente: Autor

$$\text{Ahorroneto} = \text{penalización evitada} + \text{pérdidas evitadas} - \text{mantenimiento} \quad (30)$$

$$\text{Ahorroneto} = 64\ 000 + 9\,195 - 1\ 650 = USD\ 71\,545/\text{año} \quad (31)$$

$$PRS = \text{Inversión} / \text{Ahorroneto} = 55\ 000 / 71\,545 = 0.77 \text{ años} \quad (32)$$

Tabla 15. Sensibilidad del periodo de recuperación

Escenario	Beneficio anual neto (USD)	PRS (años)
Conservador: sin penalización; solo pérdidas	7,545	7.29
Base: penalización en 8 meses	71,545	0.77
Alto: penalización en 12 meses	103,545	0.53

Nota. La diferencia entre escenarios demuestra que las facturas reales son determinantes para aprobar la inversión. Fuente: Autor

5.2. Plan de implementación y verificación

Tabla 16. Plan de implementación

Fase	Actividad	Criterio de aceptación
1. Medición	Registrar siete días y recopilar 12 facturas validada	Datos completos, bitácora y calidad
2. Ingeniería	Confirmar Qc, cortocircuito, armónicos y ventilación	Memoria aprobada y equipo coordinado
3. Adquisición	Solicitar certificados IEC y pruebas de fábrica	Conformidad documental
4. Montaje	Instalar durante parada programada	Torque, aislamiento, tierra y señal TC verificados
5. Puesta en servicio	Energizar por etapas y ajustar regulador	$0,96 \leq FP \leq 0,99$ inductivo sin caza
6. Seguimiento	Revisar tendencias y termografía	Sin sobretensión ni sobrecompensación

Nota. La instalación debe ser ejecutada por personal autorizado y con procedimientos de bloqueo y etiquetado.
Fuente: Autor

5.3. Discusión de resultados

El dimensionamiento muestra que la carga máxima de 2,50 MVA no compromete por sí sola la capacidad de una subestación de 5/6,25 MVA. Sin embargo, con $FP = 0,90$ aproximadamente 1,09 MVar circulan desde la red y la corriente alcanza 3,01 kA a 480 V. La compensación de 632,8 kVar eleva el indicador a 0,98 y reduce corriente y demanda aparente sin modificar los 2 250 kW útiles.

El resultado respalda un banco de 650 kVar, pero no una conexión fija. En baja carga, la necesidad estimada es considerablemente menor; conectar toda la capacidad produciría factor adelantado. La división en ocho etapas proporciona una resolución de 25 kVar. Asimismo, la presencia asumida de variadores impide recomendar capacitores sin estudio armónico: la alternativa desintonizada limita el riesgo de resonancia, aunque su validez depende del espectro real.

La viabilidad económica es sensible a dos datos todavía no comprobados: número de meses con FP inferior a 0,94 y resistencia equivalente del tramo descargado. En el caso base la recuperación es inferior a un año; sin penalización, el ahorro por pérdidas por sí solo produce un periodo mucho mayor. Por ello, el argumento de inversión debe basarse en facturas y mediciones verificables y no en la simulación académica.

5.4. Limitaciones del estudio

No se dispuso de series temporales del analizador de redes, facturas, potencias de cortocircuito, impedancia del transformador, longitudes y calibres, espectro armónico ni cotizaciones. Las cifras de 480 V, factores por escenario, resistencia equivalente, costos y horas

de operación son supuestos. La propuesta no autoriza construcción y deberá actualizarse si la tensión secundaria, el punto de instalación o la proporción de cargas no lineales difieren de lo adoptado.

5.5. Alcance de la viabilidad técnica

La viabilidad técnica se evalúa mediante una matriz de cumplimiento. El banco de 650 kVAr cubre los 632,8 kVAr calculados y su división permite aproximar la necesidad de cada escenario. La corriente nominal capacitiva de 781,8 A exige equipo y canalización de alta capacidad. El interruptor preliminar de 1 250 A es coherente con el margen adoptado, pero no puede aprobarse sin corriente de cortocircuito. La ubicación en barra principal libera transformador y alimentación general, aunque no elimina reactivos en circuitos internos.

La cifra del 7 % del reactor presupone la presencia de variadores de frecuencia, lo que modifica la sintonización. Hasta que se disponga del espectro real, esta opción se considera técnicamente preferible a un banco de pruebas convencional. Si el análisis muestra condiciones incompatibles, se ajustará el porcentaje o se combinará con filtración activa. La ventilación, el polvo y la temperatura son factores críticos. Aún es necesario confirmar el espacio disponible en el gabinete, las distancias, la entrada de aire limpio y los requisitos de mantenimiento.

La solución alcanza viabilidad técnica condicionada, no definitiva. Las condiciones suspensivas son medición de siete días, 12 facturas, cortocircuito, coordinación, barrido de impedancia y cotización certificada. Cumplidas estas pruebas, la aceptación exige FP entre 0,96 y 0,99 inductivo, ausencia de caza, THD dentro de límites aplicables, temperatura estable y ninguna alarma de etapa.

5.6. Costos de inversión, operación y ciclo de vida

El costo de capital incluye banco, reactores, controlador, maniobra, protección, barras, conductores, gabinete, montaje, ingeniería y pruebas. El presupuesto de USD 55 000 es referencial. Las ofertas deben desglosar potencia efectiva a tensión de servicio, certificados, pérdidas, ventilación y repuestos. Comparar solo precio total puede favorecer un banco que entregue menos kVAr o carezca de reactores adecuados.

El costo operativo anual se asumió en 3 % de inversión, equivalente a USD 1 650. Incluye inspección, limpieza, termografía y reserva de repuestos menores. En el año cinco se incorpora una reposición parcial asumida de USD 6 000 para contactores, ventiladores y unidades degradadas. El horizonte de diez años no implica que todo el banco termine su vida; permite comparar flujos y reconocer mantenimiento mayor.

La parada de planta puede ser un costo relevante. En la estimación se supone montaje durante una parada planificada, por lo que no se atribuye pérdida adicional de producción. Si se requiere una parada exclusiva, el margen no producido deberá sumarse a inversión. De igual manera, financiamiento, impuestos y seguros se incorporarán según política contable. La tesis presenta flujo antes de financiamiento para evaluar mérito intrínseco.

5.7. Flujo de caja descontado

Se aprecia un beneficio bruto anual de 73 158 USD: 64 000 USD que provienen de penalizaciones evitables y con aproximadamente 9158 USD de pérdidas reducidas. El mantenimiento se reduce al flujo de caja operativo a 71 508 USD. En el quinto año, tras restar la sustitución parcial, quedan 65 508 USD.

En un horizonte de diez años con una tasa de interés del 10%, el resultado base es mayoritariamente positivo, ya que la penalización anual es superior a la inversión. Sin embargo, esto no es seguro. La penalización es una suposición y sigue siendo la variable más sensible. La TIR se mide con respecto al 10 %. Con el flujo de caja base, supera la tasa de interés, lo que respalda el atractivo del proyecto bajo estos supuestos. La relación beneficio-costos, por el contrario, se calcula dividiendo el valor actual de las ganancias brutas entre el valor actual de la inversión, el mantenimiento y la reposición. Incluir los tres indicadores ayuda a evitar depender únicamente de la simple recuperación.

5.8. Escenarios económicos y sensibilidad

El escenario conservador elimina toda penalización y conserva solo pérdidas evitadas. En esta condición, el proyecto puede tardar varios años y su VAN se aproxima al límite dependiendo de resistencia y horas. El escenario base supone ocho meses penalizados; el alto

supone doce. Esta amplitud demuestra que la revisión de facturas es la acción de mayor valor informativo antes de invertir.

Al calcular el punto de equilibrio con facturas reales, la gerencia conoce cuánta recurrencia justifica el proyecto. Si los meses con FP bajo son ocasionales, puede corregirse primero operación o reparar etapas existentes. Si son persistentes, el banco automático ofrece una respuesta estructural.

5.9. Riesgos desde el punto de vista técnico – Económico

El principal riesgo de este tipo de sistema propuesto es la resonancia y resta va de la mano con otros fenómenos ligados a las perturbaciones eléctricas como la sobretensión, la sobrecompensación, la sobre temperatura, etc., esto puede generar como consecuencia fallas en las maniobras de protección, una alteración al ángulo de la carga. Por ello la importancia de un sistema de monitoreo en tiempo real y un plan de medidas mitigativas ante efectos de resonancia o descompensación del sistema propuesto como riesgo económico se ve ligado al no cumplimiento de la resolución emitida por la entidad ARCONEL y una penalización mensual por preservar el factor de potencia inferior a los estándares establecidos.

5.10. Alternativas de la propuesta

Para esta consideración tomando en cuenta los resultados del capítulo IV se tiene como primera alternativa un banco de capacitores automático con un sistema de monitoreo interno; esta primera opción es considerada la más económica y de fácil mantenimiento sin embargo su limitante son los tiempos de respuesta y la dependencia en la toma de decisiones.

Como segunda alternativa sería un banco desintonizado que si bien requiere una mayor inversión cuenta con otros beneficios aparte de los anteriormente mencionados como la disminución de armónicos, estabilidad en la frecuencia operativa.

Como última alternativa un sistema de compensación reactiva por medio de tiristores y electrónica de potencia, esta a diferencia de las 2 opciones tiene un tiempo de respuesta más eficiente en microsegundos y puede variar su capacidad según el comportamiento variable de la carga.

5.11. Beneficios de la propuesta

Considerando que el sistema estará puesta en marcha y considerando que es un sistema de compensación de energía reactiva automatizado, este se compara a los niveles de producción de la industria y se monitoreara en tiempo real los indicadores de potencia y FP al igual que los niveles de distorsión armónica.

Para verificar la tarifa se analiza las facturas de consumo eléctrico y la estimación con el sistema propuesto con el objetivo de ver el comportamiento y evidenciar los beneficios. Si se detecta que el ángulo de la carga esta en adelanto entonces se reajusta para que este en el ángulo deseado. Se puede calcular el valor anual neto tomando en cuenta el costo inicial de la inversión y el ahorro generado por la disminución de potencia reactiva.

5.12. Viabilidad de la propuesta

Para analizar la viabilidad desde el punto de vista técnico, se debe considerar que la propuesta cumple con lo requerido superar el FP de 0.94 obteniendo como resultado un FP nuevo de 0.99 y de esta manera disminuyendo la energía no aprovechable en un 8.18% lo que en términos de potencia indica 204.1 kVA liberados debido al mejoramiento mediante sistema de compensación de energía reactiva.

Desde el punto de vista económico, también se reconoce que el sistema presenta beneficios y una recuperación de la inversión. La recuperación de la misma se basa en el ahorro y disminución de la potencia. Al no tener recargos por penalización y una permanecía en la calidad de la energía en los últimos 12 meses reflejados en las facturas de consumo eléctrico, se puede apreciar que la inversión se puede recuperar y es medible si se considera el banco de capacitores de 650 kVAr. Dado este análisis se puede calcular su valor anual neto y la relación costo beneficio.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n FCt / (1+i)^t \quad (33)$$

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n FCt / (1+TIR)^t \quad (34)$$

$$B/C = VP(beneficios) / VP(costos) \quad (35)$$

Tabla 17. Indicadores económicos del escenario base

Indicador	Resultado asumido	Criterio
Inversión inicial	USD 55 000	Cotizar
Flujo neto anual ordinario	USD 71 508	Validar facturas
Horizonte / tasa	10 años / 10 %	Política empresarial
VAN	USD 380,660	Mayor que cero
Relación B/C	6.53	Mayor que 1
Recuperación simple	0,77 años	Menor al límite

Fuente: Autor

Tabla 18. Matriz de viabilidad técnica

Criterio	Resultado preliminar	Estado
Capacidad reactiva	632,8 kVAr requeridos; 650 kVAr seleccionados	Cumple
Variación de carga	Ocho etapas, mínimo 25 kVAr	Cumple
Corriente y protección	781,8 A; interruptor preliminar 1 250 A	Condicionado
Armónicos	Reactores 7 %; espectro asumido	Condicionado
Cortocircuito	Sin dato de impedancia o Icc	Pendiente
Ambiente y ventilación	Polvo y temperatura por inspeccionar	Pendiente
Factor final	0,98 en caso máximo	Cumple

Fuente: Autor

Tabla 19. Comparación multicriterio de alternativas

Alternativa	Técnica	Armónicos	Economía	Decisión
Banco fijo convencional	Baja en carga variable	Riesgo alto	Costo bajo	No recomendada
Banco automático convencional	Buena regulación	Riesgo medio/alto	Costo medio	Reevaluar tras medición
Banco automático desintonizado	Buena regulación	Riesgo controlado	Costo medio/alto	Recomendada condicional
Solo monitoreo	No corrige	No modifica	Costo inicial bajo	Fase previa obligatoria

Fuente: Autor

CONCLUSIONES

1. El estudio de caso académico mostró que una demanda aparente de 2,50 MVA con un factor de potencia de 0,90 equivale a 2250 kW y 1089,7 kVAR. Si bien la subestación de 5/6,25 MVA mantiene un margen térmico, la corriente estimada de 3007 A consume la capacidad del transformador y del alimentador sin producir trabajo útil, lo que expone a la planta a penalizaciones cuando la lectura mensual cae por debajo de 0,94.

2. Para aumentar el factor de potencia de 0,90 a 0,98 se requieren 632,8 kVAR. Por lo tanto, se propone un banco automático desintonizado de 650 kVAr, con su capacidad dividida en ocho etapas: 25, 25, 50, 50, 100, 100, 150 y 150 kVAr. En los escenarios analizados, esto reduce la potencia aparente a 2295,9 kVA y la corriente a 2761 A una disminución estimada del 8,18 % sin causar sobrecompensación.

3. Con base en una inversión de referencia de USD 55 000, una penalización simulada de ocho meses y ahorros estimados por pérdidas, el período de recuperación simple es de aproximadamente 0,75 años. Esto resuelve que el proyecto podría convertirse en una alternativa viable, no obstante no es determinate. Previo a la aprobación de la instalación, el estudio de sensibilidad manifiesta que todavía es vital la validación de las facturas, el perfil de carga, la resistencia equivalente, al igual que la distorsión armónica como los presupuestos reales.

RECOMENDACIONES

1. Emplear un analizador de calidad de energía en el punto de fusión común en un transcurso mínimo de siete días, conservando una constancia de la fabricación y la revisión de las facturas de corte de los últimos 12 meses. Registrar P, Q, S, factor de potencia real, así como de compensación, voltaje, corriente, THDv, TDD y teniendo en cuenta armónicos individuales. Sustituir cada valor esperado guardado en la memoria con los datos obtenidos de la medición.

2. Asignar el contrato de ingeniería final del banco únicamente cuando se hayan complen los análisis de cortocircuito, la organización de protección como el barrido de impedancia. Corroborar la tensión complementaria, la desintonización, la capacidad de interrupción, al igual que la ventilación, la asociación del transformador de corriente como el cumplimiento con IEC 60831-1, IEC 61921, IEEE 519 , junto con las normativas ARCONEL actuales.

3. Realizar un plan de mantenimiento para asegurar la durabilidad del sistema de compensación de energía reactiva y tener un stock de capacitores y elementos electrónicos para acciones correctivas.

6. REFERENCIAS

- Achachi, J. (2026). *Ubicación y dimensionamiento de bancos de capacitores mediante análisis exhaustivo de escenarios para la compensación de potencia reactiva en alimentadores de distribución de las subestaciones Tena y Tena Norte*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Almeida, C. (2022). *Control del perfil de voltaje y mejora del factor de potencia coordinando generadores distribuidos con un cambiador de tomas bajo carga en un sistema de distribución*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- ARCONEL. (2024). *Código de conexión de sistema eléctrico ecuatoriano*. Ecuador: Agencia de regulación y control de la electricidad.
- Bohórquez, J., & Calapaqui, D. (2023). *Implementación de un banco de capacitores para corregir el factor de potencia para cargas no lineales en el laboratorio de electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná bloque b*. Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi .
- Bricio, T. (2026). *Análisis De La Calidad De La Energía Eléctrica Para Mejorar La Eficiencia Energética En Las Instalaciones Industriales De EPMAPAQ*. Ecuador: Universidad Técnica de Quevedo.
- Cabrera, G. (2022). *Estudio de la calidad de energía del sistema eléctrico de la empresa “Embutidos la Madrileña”*. Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Centeno, A., & Vásquez, J. (2024). *Análisis y mejoramiento de la calidad de energía en la empresa TOPAC*. Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Córdova, L. (2023). *Análisis para el mejoramiento del factor de potencia en la fábrica ODCON S.A. ciudad Samborondón - provincia del Guayas-Ecuador*. Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Cujilan, L. (2022). *Ubicación óptima de banco de capacitores mediante un modelo matemático de programación no lineal entera mixta para un sistema eléctrico de potencia de 13 barras de la IEEE*. Ecuador: Universidad Técnica de Quevedo.
- Feijoo, D. (2021). *Diseño y simulación de un filtro activo para redes eléctricas monofásicas residenciales mediante un controlador P.I.* Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Freire, D., & Vergara, C. (2021). *Análisis de calidad de energía en los edificios utilizados por el Hospital León Becerra*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana .
- Gómez, J. (2021). *Análisis de calidad de energía eléctrica en la Facultad de Ingeniería de la*

- Universidad de Cuenca. Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Hidalgo, H., & Matamoros, S. (2024). *Diseño de un sistema de compensación reactiva para distribución con filtros armónicos*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana .
- Hidalgo, K. (2021). *Construcción de un módulo didáctico para la corrección del factor de potencia*. Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Landeta, L. (2026). *Desarrollo de un filtro activo monofásico para compensar armónicos con capacidad de reconfiguración en la fuente de alimentación*. Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Llunitaxi, W. (2022). *Diseño e implementación del filtro activo de potencia (APF) híbrido en el sistema de distribución eléctrica para mejorar el perfil de tensión modulado por vector espacial con generación fotovoltaica*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- López, C. (2022). *Corrección de factor de potencia mediante un estudio de energía en una fábrica de tubos en la ciudad de Tabacundo*. Ecuador: Universidad Tecnológica Indoamérica.
- Molina, R. (2023). *Diseño de un filtro activo para control de armónicos a la salida de un aerogenerador de inducción de doble alimentación*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Muyulema, M. (2021). *Análisis de la calidad de la energía eléctrica en el campus de la Escuela Politécnica Nacional*. Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Plaza, H. (2023). *Estudio y mejoramiento del factor de potencia de las instalaciones eléctricas del campus politécnico*. Ecuador: Escuela Politécnica del Litoral.
- Quintero, J. (2026). *Nueva propuesta de diseño eléctrico de la red de medio y bajo voltaje para mejorar las condiciones técnico-operativas de la red eléctrica en la parroquia San Javier de Cachabi, ubicada en la provincia de Esmeraldas, cantón San Lorenzo, Ecuador*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Revelo, J. (2022). *Analizador de calidad de energía eléctrica con supervisión en tiempo real*. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Rosero, E. (2023). *Corrección del factor de potencia en micro-redes eléctricas ante el peligro de resonancia por alta penetración de cargas no lineales*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Salazar, L. (2025). *Análisis de la calidad de la energía en el sector industrial*. México: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Sanchez, J. (2026). *Diseño y simulación de filtro activo de potencia para mitigar los*

armónicos generados por un variador de frecuencia. Peru: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

- Toalombo, M., & Toapanta, O. (2021). *Repotenciación y monitoreo remoto de un banco de capacitores automático para mejorar el bajo factor de potencia de la Universidad Técnica de Cotopaxi Campus Salache.* Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Vega, D., & Venegas, J. (2023). *Implementación de un algoritmo multiobjetivo para la compensación óptima de potencia reactiva en el sistema eléctrico Ecuatoriano.* Ecuador: Universidad Técnica del Cotopaxi.

ANEXO A. FICHA PROPUESTA PARA LEVANTAMIENTO POR ÁREA

Tabla A1

Formato de inventario de cargas

Campo	Contenido requerido
Código	Identificador anonimizado
Área	Una de las áreas reconocidas en el plano
Equipo	Motor, variador, bomba, ventilador, etc.
Placa	kW, V, A, eficiencia y FP
Arranque	Directo, estrella-triángulo, suave o VFD
Régimen	Continuo, intermitente, reserva
Horario	Inicio, fin y horas por turno
Medición	P, Q, S, FP, I, THD
Observación	Estado, temperatura, mantenimiento

ANEXO B. PUESTA EN SERVICIO

- ☐ Revisar datos de placa.
- ☐ Compruebe la secuencia de fase.
- ☐ Verifique la relación de transformación, la polaridad y la ubicación del transformador de corriente.
- ☐ Energice cada etapa por separado y mida la corriente en cada fase.
- ☐ Evalúe los tiempos de corte y reconexión.
- ☐ Con cargas bajas, medias y máximas, registre el factor de potencia, la tensión, la distorsión armónica total (THD) y la temperatura.
- ☐ Confirme que no haya ningún factor principal ni operación repetitiva.
- ☐ Actualice la memoria, los diagramas internos y el programa de mantenimiento.

ANEXO C. PROTOCOLO DE MEDICIÓN Y VALIDACIÓN

D.1 Levantamiento de información

Antes de utilizar el analizador de redes, se necesita la recopilación de las facturas de al menos últimos 12 meses, dato de placa de los equipos, cronogramas, informes de reparación y registros de fallas.

D.2 Comprobación de conexiones

En un sistema de carga inductiva, la dirección mostrada debe ser la esperada. A continuación, se compara la corriente con un amperímetro de referencia. Cualquier inconsistencia se corrige antes de comenzar la grabación; el signo no se modifica posteriormente para ajustarse a los resultados.

D.4 Configuración temporal

Se utiliza un intervalo de agregación de 10 minutos para registrar tendencias y eventos de acuerdo con la resolución del equipo.

D.5 Control de calidad de datos

Los intervalos no válidos se marcan y no se eliminan sin la documentación correspondiente. A continuación, se calcula la disponibilidad y el porcentaje de datos válidos. Si faltan periodos críticos, se extiende la campaña. Las facturas permiten una comparación del orden de magnitud.

D.6 Análisis por escenarios

Los registros se organizan según el funcionamiento real. Para dicho escenario, se registran P, Q, S, PF, corriente, THDv, TDD y temperatura ambiente. A continuación, se calcula Qc en 0,96, 0,97 y 0,98, y se simulan los pasos resultantes. Posteriormente, se contabiliza el número de conexiones por hora y el tiempo transcurrido en condición capacitiva. El objetivo de la selección es equilibrar el cumplimiento con la vida útil.

D.8 Validación económica

Las penalizaciones se deducen de las facturas y se concilian según la fórmula ARCONEL. Los precios de la energía se determinan según las categorías aplicables, en lugar de promediar los impuestos externos. Para calcular las pérdidas se utilizan resistencias documentadas. Se solicitan al menos tres cotizaciones equivalentes. Con el precio y la tarifa aprobados, se recalculan el VAN, la TIR, la relación beneficio/costo y el período de recuperación de la inversión.

ANEXO D. GLOSARIO TÉCNICO

Tabla D1

Definiciones empleadas

Término	Definición
Banco automático	Conjunto de capacitores dividido en etapas gobernadas por un regulador.
CAPEX	Inversión inicial necesaria para adquirir e instalar la solución.
Factor de desplazamiento	Coseno del ángulo entre componentes fundamentales de tensión y corriente.
Factor de potencia verdadero	Relación P/S que incorpora distorsión y desequilibrio.
PCC	Punto común de acoplamiento donde se evalúa interacción entre usuario y red.
Potencia activa	Potencia promedio que se convierte en trabajo o calor útil, expresada en kW.
Potencia aparente	Producto RMS de tensión y corriente; determina capacidad en kVA.
Potencia reactiva	Intercambio asociado con campos magnéticos o eléctricos, expresado en kVAr.
Reactor desintonizado	Inductor en serie con capacitores que desplaza la frecuencia de resonancia.
TDD	Distorsión de demanda total de corriente referida a la corriente de demanda.
THDv	Distorsión armónica total de tensión.
TIR	Tasa que hace cero el valor actual neto.
VAN	Suma descontada de flujos menos inversión inicial.
Viabilidad condicionada	Resultado favorable sujeto a completar mediciones o estudios pendientes.

ANEXO E. MATRIZ DE DATOS QUE DEBEN REEMPLAZARSE

Tabla E1

Control de supuestos antes de la entrega final

Dato asumido	Valor usado	Evidencia requerida
Tensión secundaria	480 V	Placa y medición RMS
FP por escenario	0,88; 0,91; 0,90	Registro de siete días y facturas
THDv / TDD	3,2 % / 8,1 %	Analizador de calidad
Resistencia equivalente	0,004 Ω /fase	Cálculo con impedancias y conductores
Horas equivalentes	6 000 h/año	Plan de producción
Factura inicial	USD 180 000/mes	Doce facturas
Costo de energía	USD 0,09/kWh	Tarifa y factura
Inversión	USD 55 000	Tres cotizaciones

Nota. La tesis debe conservar este control hasta que los datos sean sustituidos y documentados



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Arévalo González Raúl Fabricio** con C.C: # **0914432174** autor del trabajo de titulación: **Corrección de factor de potencia en una industria de balanceado de camarón de la provincia del Guayas** , previo a la obtención del título de **Ingeniero en Electricidad** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 03 de Septiembre del 2026

f. _____
Nombre: **Arévalo González Raúl Fabricio**
C.C: 0914432174



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Corrección de factor de potencia en una industria de balanceado de camarón de la provincia del Guayas.		
AUTOR(ES)	Arévalo González Raúl Fabricio		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	ING. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo Ph.D		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Electricidad		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Electricidad		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	03 de septiembre del 2026	No. DE PÁGINAS:	94
ÁREAS TEMÁTICAS:	Calidad de la energía, eficiencia energética		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	factor de potencia, potencia reactiva, banco de capacitores, armónicos, eficiencia energética.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras): El trabajo desarrolla una propuesta de corrección del factor de potencia para una industria anonimizada dedicada a la producción de alimento balanceado para camarón en la provincia del Guayas. Ante la ausencia de una campaña completa de medición, se construyó un caso técnico con valores asumidos y explícitamente identificados: subestación de 5/6,25 MVA, demanda aparente máxima de 2,50 MVA, tensión secundaria de 480 V y factor de potencia representativo de 0,90, con descensos inferiores al umbral tarifario de 0,94. Por medio de una relación triangular de potencia se calculó una demanda de 632,8 kVAr para alcanzar 0,98 y se eligió un banco automático desintonizado de 650 kVAr distribuido en ocho etapas. La propuesta reduce la corriente principal esperada de 3007 A a 2761 A, libera aproximadamente 204 kVA y evita la sobrecompensación mediante control escalonado. El análisis económico referencial estima una inversión de USD 55 000 y recuperación en aproximadamente 0,75 años. Los resultados son de diseño académico y deberán validarse mediante mediciones antes de una implementación real.			
ADJUNTO PDF:	☒	SI	☐ NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593 999601382 (registrar telefonos)	E-mail: raul.arevalo01@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Bohórquez Escobar, Celso Bayardo		
	Teléfono: +593 995147293		
	E-mail: celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			