

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



**“OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA REACTIVA
MEDIANTE EL USO DE UN BANCO DE CAPACITORES PARA
UNA EMPRESA DEL SECTOR MANUFACTURERO UBICADA EN
LURÍN - 2021”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
EN ENERGÍA

SALAZAR VEGA HEIDE LISETH

ARBULÚ SOBRINO PABLO CÉSAR

Callao, 2021

PERÚ

Mg. Alfonso Caldas B.
Ing. Mecánico
CIP 53266

HOJA DE REFERENCIA DE JURADO

Dr. Juan Manuel Palomino Correa	Presidente
Mg. Carlos Zacarías Díaz Cabrera	Secretario
Mg. Vladimiro Contreras Tito	Miembro
Mg. Alfonso Santiago Caldas Basauri	Asesor

**“OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA REACTIVA
MEDIANTE EL USO DE UN BANCO DE CAPACITORES PARA
UNA EMPRESA DEL SECTOR MANUFACTURERO UBICADA EN
LURÍN - 2021”**

DEDICATORIA

Heide, dedico esta tesis especialmente a mi madre Madeleine, porque ella siempre estuvo a mi lado brindándome su apoyo incondicional y por sus acciones para hacer de mí una mejor persona; a mi padre Luis, porque siempre buscó maneras de ofrecerme lo mejor; a mi hermana Thalía, quien me apoya desde siempre; a mis queridos tíos y primas, por su gran apoyo en los buenos y malos momentos de mi vida.

Pablo, dedico esta tesis especialmente a mis queridos padres Armando y Gloria, por haberme forjado como la persona que soy y me motivaron constantemente alcanzar mis anhelos; a mis hermanos Juan y Katia, por estar presentes, acompañándome; a mi tía Carmen, por ser como mi segunda madre, cuidándome y apoyándome desde siempre.

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento especial a Dios por permitirnos tener buenas experiencias dentro de la UNAC; también gracias a la FIME por permitirnos convertirnos en profesionales y a nuestros maestros quienes fueron parte integral de nuestra formación; finalmente agradecimiento a nuestro asesor Mg. Ing. Alfonso Santiago Caldas Basuari, quien nos brindó su tiempo y la oportunidad de recurrir a sus conocimientos, así como también habernos tenido paciencia para guiarnos durante el desarrollo de nuestra tesis.

ÍNDICE

ÍNDICE	1
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.1 Descripción de la realidad problemática	14
1.2 Formulación del problema	15
1.2.1 Problema General	15
1.2.2 Problemas específicos	15
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo General	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
1.4 Limitantes de la investigación	16
1.4.1 Teórico.....	16
1.4.2 Temporal.....	16
1.4.3 Espacial	16
II. MARCO TEÓRICO	17
2.1 Antecedentes: Internacional y nacional.....	17
2.1.1 Antecedentes Internacionales	17
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	19
2.2 Bases teóricas	22
2.2.1 Energía eléctrica	22
2.2.2 Tipos de energía	22
2.2.3 Potencia eléctrica.....	23
2.2.4 Tipos de potencia.....	24
2.2.5 Tipos de cargas.....	26
2.2.6 Triángulo de potencia.....	27
2.2.7 Factor de potencia	28
2.3 Marco conceptual:	29
2.3.1 Causas y consecuencias del bajo factor de potencia	29
2.3.2 Métodos de cálculo de la potencia reactiva.....	32
2.3.3 Beneficios obtenidos por la corrección del factor de potencia	37

2.3.4	Métodos de Optimización de potencia reactiva	39
2.3.5	Tipos de banco de capacitores.....	40
2.3.6	Tipos de compensación reactiva	42
2.3.7	Banco de capacitores.....	45
2.3.8	Elementos de un banco de capacitores.....	45
2.3.9	Elementos de protección	48
2.3.10	Elementos de medición	49
2.3.11	Conductores eléctricos	50
2.3.12	Normativa peruana referida al consumo de energía reactiva	50
2.3.13	Indicadores económicos para evaluar proyectos	51
2.3.14	Ventajas de la compensación de la energía reactiva	53
2.4	Definición de términos básicos	54
III.	HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	55
3.1	Hipótesis.....	55
3.1.1	Hipótesis general	55
3.1.2	Hipótesis específicas.....	55
3.2	Definición conceptual de variables.....	55
3.2.1	Operacionalización de variables.....	55
IV.	DISEÑO METODOLÓGICO	57
4.1	Tipo y diseño de investigación.....	57
4.1.1	Tipo de investigación.....	57
4.1.2	Diseño de investigación	57
4.2	Método de investigación	58
4.3	Población y muestra	58
4.3.1	Población	58
4.3.2	Muestra.....	58
4.4	Lugar de estudio y periodo desarrollado	59
4.4.1	Lugar de estudio	59
4.4.2	Periodo de desarrollo	59
4.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	60
4.5.1	Técnicas para la recolección de datos	60
4.5.2	Instrumentos para la recolección de datos	60
4.5.3	Validación de los cálculos obtenidos	61
4.6	Análisis y procesamiento de datos.....	61
4.6.1	Análisis de la factura eléctrica	61
4.6.2	Procesamiento de datos obtenidos mediante el analizador de redes eléctricas.....	66
4.6.3	Análisis económico	84

V. RESULTADOS	87
5.1 Resultados descriptivos.....	87
5.1.1 Datos obtenidos de la factura eléctrica.....	87
5.1.2 Datos obtenidos mediante el analizador de redes	88
5.1.3 Viabilidad del proyecto	96
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	97
6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis.....	97
6.1.1 Demostración de la hipótesis	97
6.1.2 Contrastación de la hipótesis con los resultados	99
6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares.	99
6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes	100
CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES	102
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
ANEXOS.....	110
A1. Matriz de consistencia	110
A2. Instrumentos validados	111
A3. Consentimiento informado en caso de ser necesario.....	121
A4. Base de datos.....	122
A5. Otros anexos necesarios de acuerdo a la naturaleza del problema .	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de potencia típicos en la industria y comercio	31
Tabla 2. Tabla para corregir el factor de potencia	35
Tabla 3. Operacionalización de variable independiente	55
Tabla 4. Operacionalización de variable dependiente	56
Tabla 5. Consumos de energía activa, reactiva y demanda	61
Tabla 6. Factor de potencia deseado	63
Tabla 7. Factor de corrección a.....	64
Tabla 8. Simulación en base a la potencia reactiva calculada de 306,98 kvar .	74
Tabla 9. Simulación en base a la potencia reactiva comercial de 302,4 kvar ...	75
Tabla 10. Simulación en base a la potencia reactiva comercial de 340,2 kvar .	76
Tabla 11. Pasos eléctricos del banco de capacitores	80
Tabla 12. Factor de potencia y Potencia Activa	87
Tabla 13. Métodos para calcular la potencia reactiva en base a los datos obtenidos de la factura eléctrica	87
Tabla 14. Comparación de la potencia reactiva antes y después de la optimización	88
Tabla 15. Valores máximos y mínimos registrados de potencia activa en el analizador de redes eléctricas	88
Tabla 16. Valores máximos y mínimos registrados de potencia reactiva en el analizador de redes eléctricas	89
Tabla 17. Valores máximos y mínimos registrados del factor de potencia en el analizador de redes eléctricas	89
Tabla 18. Simulación de valores máximos de potencia activa, reactiva y factor de potencia registrados	89
Tabla 19. Simulación de valores promedio de potencia activa, reactiva y factor de potencia registrados	90
Tabla 20. Simulación de valores mínimos de potencia activa, reactiva y factor de potencia registrados	90
Tabla 21. Valores mínimo, promedio y máximo de factor de potencia después de la optimización.....	91

Tabla 22. Valores mínimo, promedio y máximo de factor de potencia después de la optimización.....	92
Tabla 23. Valores mínimo, promedio y máximo de factor de potencia después de la optimización.....	93
Tabla 24. Componentes principales de un banco de capacitores	95
Tabla 25. Indicadores económicos.....	96
Tabla 26. Resultados de la medición de la potencia reactiva en la planta mediante el analizador de redes eléctricas	97
Tabla 27. Resultados obtenidos en base a un factor de potencia deseado de 0.98 para el dimensionamiento del banco de capacitores	97
Tabla 28. Matriz de contrastación de la hipótesis con los resultados	99
Tabla 29. Simulación de los datos obtenidos mediante el software Microsoft Excel	111
Tabla 30. Parámetros eléctricos descargados del analizador de redes eléctricas	123
Tabla 31. Periodo de facturación de la empresa correspondiente al 2018-2019	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cargas resistivas. Tomada del libro de instalaciones eléctricas (Gunter, 1989).....	26
Figura 2. Cargas inductivas. Tomada del libro de instalaciones eléctricas (Gunter, 1989).....	26
Figura 3. Cargas capacitivas. Tomada del libro de instalaciones eléctricas (Gunter, 1989).....	27
Figura 4. Triángulo de potencias para carga capacitiva. Elaborada en base al libro de circuitos eléctricos (Edminister, 1965).....	28
Figura 5. Triángulo de potencias para carga inductiva. Elaborada en base al libro de circuitos eléctricos (Edminister, 1965).....	28
Figura 6. Capacidad del transformador de acuerdo con el factor de potencia. Tomada del libro de calidad de la energía. Factor de potencia y filtrado de armónicas (Barcón, 2012).	32
Figura 7. Triángulos utilizados para la corrección del factor de potencia. Elaborada en base al libro de calidad de la energía. Factor de potencia y filtrado de armónicas (Barcón, 2012).....	33
Figura 8. Nomograma para la determinación de la potencia de compensación. Tomada del cuaderno de aplicaciones técnicas n°8 corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas (ABB, 2012).....	36
Figura 9. Curva de reducción de corriente en alimentadores. Tomada del libro de calidad de la energía. Factor de potencia y filtrado de armónicas (Barcón, 2012).....	37
Figura 10. Curva de reducción de pérdidas en alimentadores por corrección del factor de potencia. Tomada del libro de calidad de energía. Factor de potencia y filtrado de armónicas (Barcón, 2012).....	38
Figura 11. Liberación de la capacidad del transformador utilizando bancos de capacitores para la corrección del factor de potencia. Tomada del libro de calidad de la energía. Factor de potencia y filtrado de armónicas (Barcón, 2012).....	38

Figura 12. Regulación eléctrica en base a los escalonamientos. Tomada del catálogo de compensación de energía reactiva y filtrado de armónicos (Schneider Electric, 2019).	41
Figura 13. Compensación global. Elaborada en base al catálogo de compensación de energía reactiva y filtrado de armónicos (Schneider Electric, 2019).	42
Figura 14. Compensación por grupo. Elaborada en base al catálogo de compensación de energía reactiva y filtrado de armónicos (Schneider Electric, 2019).	43
Figura 15. Compensación individual. Elaborada en base al catálogo de compensación de energía reactiva y filtrado de armónicos (Schneider Electric, 2019).	44
Figura 16. Esquema de principio de un equipo de compensación automático. Tomada del catálogo de compensación de energía reactiva y filtrado de armónicos (Schneider Electric, 2019).	45
Figura 17. Capacitor Trifásico. Tomada del catálogo de equipos para distribución eléctrica en baja y media tensión para aplicaciones industriales e infraestructura (Siemens , 2020).....	46
Figura 18. Regulador de factor de potencia. Tomada del catálogo de equipos para distribución eléctrica en baja y media tensión para aplicaciones industriales e infraestructura (Siemens , 2020).....	47
Figura 19. Contactador para maniobra de condensadores. Tomada del catálogo de contactores de maniobra de condensadores (Weg, 2020).....	48
Figura 20. Interruptor termomagnético. Tomada del catálogo de equipos para distribución eléctrica en baja y media tensión para aplicaciones industriales e infraestructura (Siemens , 2020).....	49
Figura 21. Transformador de corriente. Tomada del catálogo de equipos para distribución eléctrica en baja y media tensión para aplicaciones industriales e infraestructura (Siemens , 2020).....	50
Figura 22. Ubicación de la empresa manufacturera. Tomada de (Google earth, 22-01-2021).....	59

Figura 23. Triángulo de energías en base a un factor de potencia sin cargo de facturación. Elaborada en base a datos obtenidos en la presente investigación.	62
Figura 24. Nomograma utilizado para encontrar el factor k multiplicador. Tomada en base a la Figura 8.	65
Figura 25. Software para la descarga de los datos. Tomada del programa Power Vision 1.8c.	66
Figura 26. Menú de acceso a la información. Tomada del programa Power Vision 1.8c.	67
Figura 27. Comportamiento de la potencia activa y reactiva demandada del 23 de febrero del 2019. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.	67
Figura 28. Comportamiento de la potencia activa y reactiva demandada del 24 de febrero del 2019. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.	68
Figura 29. Comportamiento de la potencia activa y reactiva demandada del 25 de febrero del 2019. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.	68
Figura 30. Comportamiento de la potencia activa y reactiva demandada del 26 de febrero del 2019. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.	69
Figura 31. Comportamiento de la potencia activa y reactiva demandada del 27 de febrero del 2019. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.	69
Figura 32. Comportamiento del factor de potencia del 23 de febrero del 2019. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.	70
Figura 33. Comportamiento del factor de potencia del 24 de febrero del 2019. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.	70

Figura 34. Comportamiento del factor de potencia del 25 de febrero del 2019. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.	71
Figura 35. Comportamiento del factor de potencia del 26 de febrero del 2019. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.	71
Figura 36. Comportamiento del factor de potencia del 27 de febrero del 2019. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.	72
Figura 37. Comportamiento de la potencia aparente. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.	77
Figura 38. Diagrama unifilar del transformador. Elaborada en base a los datos obtenidos en la presente investigación.....	78
Figura 39. Evolución de las tasas de interés. Tomado de la dirección general de proyectos de inversión (DGPI-MEF, 2012).	85
Figura 40. Comportamiento de la potencia reactiva. Elaborado en base a los datos obtenidos por el analizador de redes y simulados en el software Microsoft Excel.	90
Figura 41. Comportamiento del factor de potencia. Elaborado en base a los datos obtenidos por el analizador de redes y simulados en el software Microsoft Excel.	91
Figura 42. Comportamiento del factor de potencia. Elaborado en base a los datos obtenidos por el analizador de redes y simulados en el software Microsoft Excel.	92
Figura 43. Comportamiento del factor de potencia. Elaborado en base a los datos obtenidos por el analizador de redes y simulados en el software Microsoft Excel.	93
Figura 44. Comportamiento de la energía reactiva. Elaborado en base a los datos obtenidos por el analizador de redes y simulados en el software Microsoft Excel.	94

Figura 45. Optimización de la potencia reactiva por pasos eléctricos. Elaborado en base a los datos obtenidos por el analizador de redes y simulados en el software Microsoft Excel.....	95
Figura 46. Resultados de la disminución del consumo de energía reactiva. Elaborado en base a los datos obtenidos por el analizador de redes y simulados en el software Microsoft Excel.	98
Figura 47. Carta de autorización de usos de datos de la empresa. Otorgada por el gerente general de la empresa.	121
Figura 48. Factura eléctrica del mes de febrero del 2019. Tomada en base a los datos obtenidos en la presente investigación.	122
Figura 49. Cotización parte 1.	129
Figura 50. Cotización parte 2.	130
Figura 51. Cotización parte 3.	131

RESUMEN

La presente investigación sobre optimización del consumo de energía reactiva mediante el uso de un banco de capacitores para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín, se planteó como objetivos: determinar; como el uso de un banco de capacitores influye en la optimización del consumo de energía reactiva, la potencia reactiva necesaria que se requiere optimizar, en qué medida el factor de potencia influye en dimensionamiento un banco de capacitores, la manera en que el costo de penalización por exceso de energía reactiva disminuye optimizando su consumo. Investigación de tipo tecnológica, diseño cuasi-experimental y método sistémico. Se recopiló datos del recibo de facturación eléctrica del mes de febrero, por ser el mes de mayor demanda de energía eléctrica y también se obtuvo datos de las mediciones del analizador de redes instalado en el tablero general, en el periodo comprendido del 23 al 27 de febrero del 2019. El análisis de la facturación eléctrica antes de la optimización, la energía reactiva superaba el 30% a la energía activa, para una compensación efectiva se consideró un factor de potencia de 0.98 final. Se comparó los datos obtenidos con la ayuda del analizador de redes y se obtuvo el comportamiento de la potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia y se simuló la potencia reactiva requerida mediante el uso del software Excel. Se concluyó que mejorando el factor de potencia usando un banco de capacitores de 340,2 kvar se logró eliminar el costo de facturación por consumo de energía reactiva de la planta.

PALABRAS CLAVE: Energía reactiva, potencia reactiva, banco de capacitores.

ABSTRACT

The present investigation on optimization of reactive energy consumption through the use of a capacitor bank for a company in the manufacturing sector located in Lurín, was set as objectives: to determine; how the use of a capacitor bank influences the optimization of reactive energy consumption, the necessary reactive power that needs to be optimized, to what extent the power factor influences the sizing of a capacitor bank, the way in which the penalty cost Due to excess reactive energy, it decreases optimizing its consumption. Technological research, quasi-experimental design and systemic method. Data was collected from the electricity billing receipt for the month of February, as it was the month with the highest demand for electricity, and data was also obtained from the measurements of the network analyzer installed on the general dashboard, in the period from 23 to 27 February 2019. The analysis of electricity billing before optimization, reactive energy exceeded 30% of active energy, for effective compensation a final power factor of 0.98 was considered. The data obtained with the help of the network analyzer was compared and the behavior of the active power, reactive power, power factor was obtained and the reactive power required was simulated by using the Excel software. It was concluded that by improving the power factor using a 340.2 kvar capacitor bank, it was possible to eliminate the billing cost for the reactive power consumption of the plant.

KEY WORDS: Reactive energy, reactive power, capacitor bank.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación propone optimizar el consumo de energía reactiva mediante el uso de un banco de capacitores para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín, en la actualidad el acceso de la energía es de suma importancia para el desarrollo humano y social. Por ello se debe asegurar la calidad del suministro de electricidad para poder optimizar el consumo de energía.

El interés de la presente investigación viene dado por el crecimiento de la población, y las empresas se han visto obligadas a aumentar sus niveles de producción, esto implica que aumenten equipos y maquinarias necesarias para poder cubrir con esta demanda y de esta forma aumentar la capacidad instalada.

La presente investigación se desarrolla en el sistema eléctrico de la empresa manufacturera ubicada en el distrito de Lurín, la cual realiza labores productivas relacionadas a la producción de mallas, alambres entre otras actividades manufactureras. Debido a estos procesos la empresa cuenta en su sistema eléctrico con cargas inductivas.

Este trabajo persigue analizar mediciones que se realizaran con la ayuda de un analizador de redes que se instalará en el tablero general de la planta, confirmará que el sistema eléctrico de la empresa tiene un bajo factor de potencia, esto debido a la falta de compensación para poder controlar las cargas inductivas que posee el lugar representando un problema para la empresa y a la facturación por consumo de energía reactiva.

Esta problemática permitirá encontrar oportunidades de mejora, donde se busca reducir el consumo de energía reactiva y a su vez mejorar el factor de potencia. Para poder cumplir con este objetivo era importante conocer la demanda de energía reactiva que necesitan los equipos y/o maquinarias que se encuentran en la planta para poder realizar la compensación.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

En el Perú, el sector industrial es uno de los que más contribuye en la sostenibilidad económica, por consiguiente el empleo de máquinas y equipos eléctricos es muy diverso, en ese sentido se necesitará requerir de métodos para poder compensar la energía reactiva en el sistemas eléctrico que se originan por las cargas inductivas ya que estas cargas necesitan de las potencias reactivas para poder funcionar, en consecuencia a ello produce un bajo factor de potencia que se refleja en afectaciones de real consideración para las empresas. Debido a esto es que se hace necesario el desarrollo de gestiones de energía adecuadas que nos permitan reducir el impacto negativo que estas incurren en la facturación ya que este aumento es penalizado por las empresas concesionarias de energía eléctrica.

La empresa del sector manufacturera en estudio no es la excepción, ya que es una empresa que cuenta con una gran demanda de energía debido a que posee una gran diversidad de máquinas, equipo y cargas inductivas tanto en sus procesos productivos como en sus áreas administrativas, debido esto el factor de potencia que se presenta en la planta se encuentra por debajo del permitido por el órgano encargado de la supervisión y regulación que es Osinergmin, quien menciona que el factor de potencia no debe ser menor a 0.96, esto quiere decir que solo se contempla el 30% de la energía total, superior a eso se tendrá que facturar por exceso de consumo de energía reactiva.

Debido a esto es que plantea optimizar la potencia reactiva por medio de la instalación de equipos de compensación, en este caso se considera un banco de capacitores, es una solución muy usada y efectiva, la cual permite establecer un factor de potencia por encima del indicado por Osinergmin evitando de esta forma facturar por exceso de consumo de energía reactiva, resultando un impacto económico negativo para la empresa.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General

¿De qué manera el uso de un banco de capacitores influye en la optimización del consumo de energía reactiva para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo determinar la potencia reactiva necesaria que se requiere optimizar para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín?
- ¿En qué medida el factor de potencia influye en el dimensionamiento de un banco de capacitores para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín?
- ¿Cómo el costo de la penalización por exceso de energía reactiva disminuye optimizando su consumo para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar como el uso de un banco de capacitores influye en la optimización del consumo de energía reactiva para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar la potencia reactiva necesaria que se requiere optimizar para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín.
- Determinar en qué medida el factor de potencia influye en el dimensionamiento un banco de capacitores para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín.
- Determinar de qué manera se disminuye el costo de la penalización por exceso de energía reactiva optimizando su consumo para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín.

1.4 Limitantes de la investigación

1.4.1 Teórico

Torres (2007) refiere que está determinada por la existencia de consultas relacionadas que se han llevado a cabo. Dentro del campo científico, estas limitaciones circulan como teorías científicas en las diversas fuentes bibliográficas.

La presente investigación se limita teóricamente a los conocimientos sobre el dimensionamiento de un banco de capacitores y a los parámetros relacionados tales como: potencia inductiva, potencia reactiva, potencia aparente y el $\cos \varphi$ (factor de potencia).

1.4.2 Temporal

Según Torres (2007), Las indagaciones empíricas y los análisis teóricos, tienen un principio y un final. No hay consultas eternas, aunque pueden verse interrumpidas por varios factores. Esta limitante, puede ser: Transversal o longitudinal.

En la presente investigación se obtuvo datos del analizador de redes en el periodo comprendido desde del 23 de febrero de 2019 hasta el 27 de febrero del 2019.

1.4.3 Espacial

Torres (2007) postula que esta limitación hace que se incluya una referencia al área geográfica (local, regional, nacional e internacional) en la que se incluye el problema de búsqueda.

La presente investigación tuvo lugar en el tablero de la subestación de la empresa del sector manufacturero ubicada en el distrito de Lurín.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes: Internacional y nacional

2.1.1 Antecedentes Internacionales

Barboza (2016), en su tesis titulada “Diseño e instalación óptima de un banco de capacitores para la corrección del factor de potencia en la industria textil VF JEANSWEAR”. Tuvo como objetivo realizar un estudio para el diseño y dimensionamiento óptimo de un banco de capacitores en la industria textil VF JEANSWEAR y verificar su rentabilidad para su respectiva instalación, la metodología de trabajo se realizó en base a un análisis del procesamiento para el cálculo de un banco de capacitores. Se concluyó que no es necesaria la instalación del banco de capacitores ya que el factor de potencia en el sistema eléctrico es de 0,88 por tanto la inversión sería muy grande para el posible ahorro.

Esta tesis nos permitió realizar un dimensionamiento óptimo del banco de capacitores en la industria.

Velásquez (2016), en su tesis titulada “Análisis e implementación de un banco de condensadores para la mejora del factor de potencia en una industria de reciclaje de plásticos”. Tuvo como objetivo implementar un banco de condensadores automático que mejore el factor de potencia mediante el uso de un controlador de DUCATI energía, la metodología se realizó en base a un análisis de penalización y costos por energía eléctrica. Se concluyó que para elevar el factor de potencia de 0,86 a 0,95 se tuvo que implementar un banco de condensadores de 200 kvar automático y un banco de capacitores fijo de 60 kvar.

Esta tesis nos fue de utilidad ya que nos dio las indicaciones para implementar un banco de condensadores y así mejorar el factor de potencia.

Cabezas (2016), en su tesis titulada “Análisis del factor de potencia de una empresa procesadora, para determinar su corrección por medio de compensación reactiva”. Tuvo como objetivo estudiar el comportamiento

de consumo eléctrico de la empresa DEMASA, mediante un medidor de variables eléctricas, con el fin de conocer el factor de potencia, la forma de corregir su valor y proponer una solución, si el estudio así lo dicta, la metodología se realizó en base a un análisis de demanda máxima y costos por energía eléctrica. Se concluyó que para elevar el factor de potencia a 0,95 se tuvo que implementar un banco de condensadores automático con una capacidad de 400 kvar.

Esta tesis nos permitió estudiar el comportamiento del consumo eléctrico para buscar corregir el factor de potencia.

Obregón (2018), en su tesis titulada “Simulación y automatización del control de potencia reactiva para mejoramiento del factor de potencia”. Tuvo como objetivo implementar un sistema de control que permita la automatización y simulación del control de potencia reactiva para mejoramiento del factor de potencia, la metodología utilizada fue científica, a través del enfoque cuantitativo. Se concluyó la funcionalidad del módulo, realizando la corrección del factor de potencia tanto de manera manual como automática mediante el PLC S7-1200.

Esta tesis nos permitió simular la potencia reactiva para el mejoramiento del factor de potencia.

Restrepo (2020), en su tesis titulada “Dimensionamiento de bancos de capacitores automáticos para las subestaciones eléctricas 14, 15 y 16 de la empresa Compañía de Empaques S.A.”. Tuvo como objetivo calcular y dimensionar bancos de capacitores de paso automático para la corrección del factor de potencia de tipo inductivo y capacitivo en las subestaciones eléctricas 14, 15 y 16 de la empresa Compañía de Empaques S.A., la metodología utilizada se hizo en base a la revisión de normativas, búsqueda de información sobre métodos de compensación y análisis del procesamiento de la información. Se concluyó que para mantener un factor de potencia por encima de 0,95 en cada subestación se implementó un banco de capacitores con capacidad de 150 kvar, 150 kvar y 80,5 kvar.

Esta tesis nos fue de utilidad para dimensionar un banco de capacitores para la corrección del factor de potencia del tipo inductivo.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

Vargas (2017), en su tesis titulada "Implementación de un banco de condensadores para aumentar el factor de potencia en la empresa FIBRAFORTE año 2015". Tuvo como objetivo implementar un banco de condensadores para aumentar el factor de potencia en la empresa FIBRAFORTE para el año 2015, la metodología utilizada se hizo en base a un análisis de demanda máxima y costos por energía eléctrica de las facturas eléctricas. Se concluyó que para mantener un factor de potencia por encima de 0,97 se implementó un banco de capacitores de 172 kvar y por ende el consumo eléctrico se redujo en un 30%.

Esta tesis nos sirvió como guía para la implementación de un banco de condensadores y aumentar el factor de potencia.

Herrera (2019), en su tesis titulada "Análisis del proyecto de compensación de energía reactiva en baja tensión, implementado por ELECTRONOROESTE S.A.". Tuvo como objetivo evaluar desde un punto de vista técnico la eficiencia y beneficios del proyecto piloto, implementado por ENOSA: Compensación de energía reactiva en baja tensión, mediante la instalación de condensadores de 15uF en cajas porta medidor de usuarios residenciales; método para disminuir las pérdidas técnicas del sistema y mejorar la calidad de energía suministrada, la metodología utilizada se hizo en base a un análisis de demanda máxima, análisis de información registrada por equipos de medición y costos por energía eléctrica de las facturas eléctricas. Se concluyó que después de implementado el proyecto de compensación reactiva en baja tensión, se disminuyó las pérdidas de energía entre un 3-6.6%.

Esta tesis nos permitió evaluar de manera técnica los beneficios de la compensación de energía reactiva usando un banco de capacitores.

Ugarte (2018), en su tesis titulada “Ubicación óptima de banco de condensadores para mejorar la eficiencia de energía en sistema de bombeo de la mina Animon”. Tuvo como objetivo ubicar óptimamente los bancos de condensadores mediante algoritmos genéticos para mejorar la eficiencia de energía en sistema de bombeo de la mina Animon, la metodología utilizada se hizo en base a un modelamiento y simulación de un banco de capacitores en la mina Animon. Se concluyó que fue necesario instalar un banco de capacitores de 600 kvar en el nivel 355 y de 650 kvar en el nivel 100 para evitar que los arranques de los motores sean más severos.

Esta tesis nos permitió determinar los criterios para ubicar un banco de condensadores.

López (2020), en su tesis titulada “Determinación de equipos para compensación reactiva en media tensión 22.9 kV para las subestaciones eléctricas de transformación Puno, Ilave y Pomata, utilizando software para simulación y proyección a futuro”. Tuvo como objetivo instalar equipos de compensación reactiva en media tensión 22.9 kV Puno, Ilave y Pomata, la metodología utilizada fue analítica comparativa, para el diseño de equipos de compensación. Se concluyó que la contribución con la presente investigación ayuda en gran parte a la eficiencia, capacidad y optimización del diseño de las redes eléctricas.

Esta tesis nos permitió seleccionar los equipos para la compensación reactiva.

Robles (2019), en su tesis titulada “Propuesta de diseño e instalación de un banco automático de condensadores para reducir la potencia reactiva en la subestación del Senati-Huancayo”. Tuvo como objetivo reducir la potencia reactiva del sistema eléctrico de Senati Huancayo, mediante el diseño e instalación de un banco automático de condensadores en la subestación de 500kVA, la metodología utilizada fue analítica, ya que se basó en analizar la información requerida para el diseño del banco de capacitores. Se concluyó que la propuesta de diseño de un banco

automático de condensadores contribuyó con la reducción de potencia reactiva, para ello se requirió una capacidad de 45kvar a 380V con un factor potencia de 0,97.

Esta tesis nos fue de utilidad porque nos proporcionó las indicaciones para la instalación de un banco de capacitores que pueda reducir la potencia reactiva.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Energía eléctrica

Osinergmin (2011) plantea que la energía eléctrica surge ante la presencia de movimiento de electrones, causada por un voltaje eléctrico. La energía eléctrica generada dependerá del número de electrones transferidos por unidad de tiempo, el tiempo que permanezca dicho movimiento de la amplitud de voltaje que los provoca.

$$E = V \times I \times t , \quad (1)$$

donde:

E : Energía eléctrica (medido en Watts por hora – W.h).

V : Voltaje (medido en Voltios – V).

I : Intensidad de la corriente (medido en Amperios – A).

t : tiempo (medido en Horas – h).

2.2.2 Tipos de energía

a. Energía activa

Schneider Electric (2019) señala que las máquinas eléctricas que funcionan con corriente alterna transforman la energía eléctrica en trabajo mecánico y calor. Esta energía tiene como unidad el kW.h y se llama energía activa.

b. Energía reactiva

Según Schneider Electric (2010), la energía reactiva corresponde a la energía necesaria para crear los campos magnéticos que necesitan los motores, transformadores o cargas inductivas para su funcionamiento. Es proveída por la red de suministro o por condensadores instalados para esta función.

Para Legrand (2016), la energía reactiva se define en kilovolt-amperios reactivos-hora (KVARh), a oposición de la energía activa, no es provechosa para el usuario.

c. Energía aparente

Legrand (2016) menciona que en una instalación eléctrica de corriente alterna se incluyen mecanismos eléctricos como transformadores, motores, etc., y en específico, cualquier carga en donde la corriente este desfasada con respecto al voltaje, absorbe una energía total denominada energía aparente.

Citando a Schneider Electric (2010), la energía aparente es la consecuencia de dos energías, la energía activa y la energía reactiva.

$$\begin{aligned} E_{ap} &= \overline{Ea} + \overline{Er}, \\ E_{ap} &= \sqrt{Ea^2 + Er^2} . \end{aligned} \quad (2)$$

donde:

E_{ap} : Energía aparente.

Ea : Energía activa.

Er : Energía reactiva.

2.2.3 Potencia eléctrica

Osinergmin (2011) plantea que, la potencia eléctrica es equivalente a la energía producida en cada unidad de tiempo, por lo tanto:

$$P = \frac{E}{t} . \quad (3)$$

Según Edminister (1965), la potencia eléctrica (P) es definida por el producto de la diferencia de potencial o voltaje aplicado (V) y la intensidad de corriente (I) que genera. La unidad es el vatio (W).

$$P = V \times I . \quad (4)$$

2.2.4 Tipos de potencia

a. Potencia activa

Wildi (2007) define que la potencia activa es la que se utiliza como potencia útil y en el proceso de transformación de la energía eléctrica produce trabajo. Su unidad de medida es el vatio (W).

Por otro lado, Harper (2013), nos dice que los diferentes aparatos eléctricos convierten la energía eléctrica en otras formas de energía, como: mecánica, lumínica, térmica, química. Esta energía corresponde a una energía útil o potencia activa, o sencillamente potencia, similar a la energía usada por una resistencia.

- Para suministro monofásico:

$$P = U x I x \cos \varphi . \quad (5)$$

- Para suministro trifásico:

$$P = \sqrt{3} U x I x \cos \varphi , \quad (6)$$

donde:

P : Potencia activa (W).

U : Tensión de alimentación (V).

I : Corriente (A).

b. Potencia reactiva

Wildi (2007) declara que la potencia reactiva es una potencia que existe en todas las cargas inductivas por ser responsable de la generación del campo magnético que necesitan para su funcionamiento. En este marco tenemos a los motores eléctricos y transformadores.

De igual forma Harper (2013) menciona que, los motores, transformadores y todos los aparatos eléctricos que utilizan un campo electromagnético, requieren potencia activa para generar trabajo útil, por otro lado, la potencia reactiva corresponde a la potencia reactiva

desfasada 90° con respecto a la potencia activa. Esta potencia se expresa en volts-amperes reactivos (VAR) y su símbolo es Q.

- Para suministro monofásico:

$$Q = U \times I \times \sin \varphi . \quad (7)$$

- Para suministro trifásico:

$$Q = \sqrt{3} U \times I \times \sin \varphi , \quad (8)$$

donde:

Q: Potencia reactiva (VAR).

U: Tensión de alimentación (V).

I: Corriente (A).

c. Potencia aparente

Según Wildi (2007), la potencia aparente en una instalación eléctrica, es la suma vectorial de la potencia activa P y la reactiva VAR, su unidad de medida es el Volt Amper.

De la misma forma Harper (2013) afirma que, la potencia aparente se expresa en Volt- Ampere (VA) y su símbolo es S.

- Para suministro monofásico:

$$S = U \times I . \quad (9)$$

- Para suministro trifásico:

$$S = \sqrt{3} U \times I , \quad (10)$$

donde:

S: Potencia aparente (VA).

U: Tensión de alimentación (V).

I: Corriente (A).

2.2.5 Tipos de cargas

a. Cargas resistivas

Gunter (1989) refiere que, son cargas que tienen un factor de potencia igual a 1, el ángulo es igual a cero, por lo tanto, la potencia aparente es igual a la potencia activa, no existe desfase entre la corriente y el voltaje, según se muestra en la Figura 1.

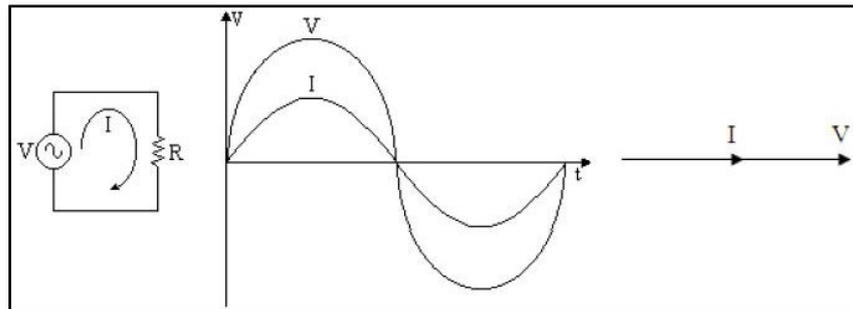


Figura 1. Cargas resistivas. Tomada del libro de instalaciones eléctricas (Gunter, 1989).

b. Cargas inductivas

Gunter (1989) menciona que, son cargas conformadas por bobinas, como son los motores y transformadores, cuya característica es absorber la energía eléctrica transformándola en energía magnética por medio del campo magnético que se forma al circular la corriente. La corriente se encuentra retrasada respecto al voltaje, es decir, existe un desfase negativo (-90 grados). En este caso se tiene un factor de potencia retrasado, según se muestra en la Figura 2.

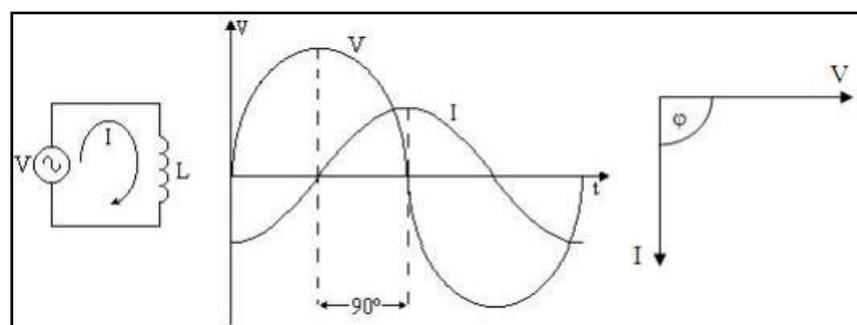


Figura 2. Cargas inductivas. Tomada del libro de instalaciones eléctricas (Gunter, 1989).

c. Cargas capacitivas

Según Gunter (1989), son cargas como los capacitores, almacenan energía en forma de campo eléctrico; la corriente esta adelantada con respecto a la tensión (90 grados), razón por la cual existe un desfase positivo, como se observa en la Figura 3. En este caso existe un factor de potencia en adelanto.

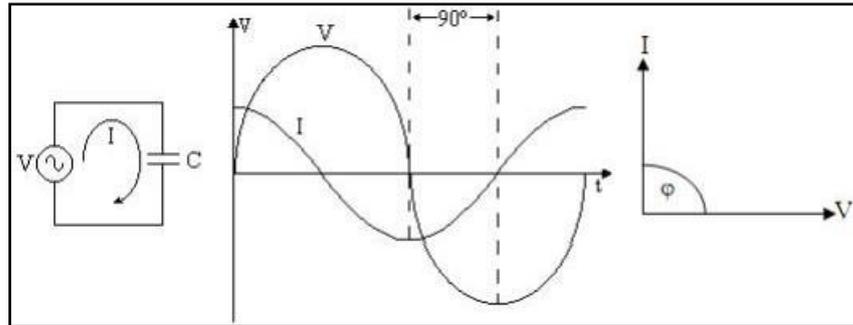


Figura 3. Cargas capacitivas. Tomada del libro de instalaciones eléctricas (Gunter, 1989).

d. Cargas compuestas

Citando a Gómez (2009), una carga está conformada por cargas resistivas, inductivas o capacitivas, ya que estas tres cargas se encuentran en los circuitos eléctricos. Sin embargo, la carga más predominante es la carga inductiva, de ahí que sea el factor por el cual se realiza este trabajo. Las diversas cargas son abastecidas de la red principal de suministro eléctrico, sin embargo, el suministro de potencia reactiva puede ser entregado por equipos instalados en un lugar de la red eléctrica, usualmente se utiliza para este fin los bancos de capacitores.

2.2.6 Triángulo de potencia

Chapman (2012) menciona que, las potencias activa, reactiva y aparente entregadas a una carga se relacionan por intermedio del triángulo de potencia. En la Figura 4 y Figura 5 se muestran los triángulos de potencia. El ángulo de la esquina es ϕ . El lado adyacente es la potencia activa P entregada a la carga, el lado opuesto es la potencia reactiva Q , y la hipotenusa es la potencia aparente S .

Para Edminister (1965), el triángulo de potencia en carga capacitiva, posee una potencia reactiva Q encima de la horizontal (en adelante).

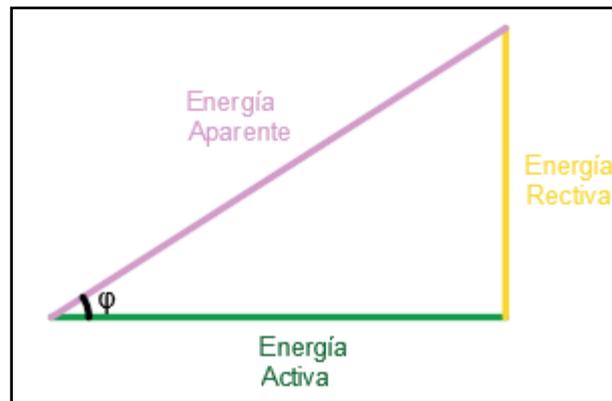


Figura 4. Triángulo de potencias para carga capacitiva. Elaborada en base al libro de circuitos eléctricos (Edminister, 1965).

También para Edminister (1965), el triángulo de potencia en carga inductiva, posee una potencia reactiva Q debajo de la horizontal (en retraso).

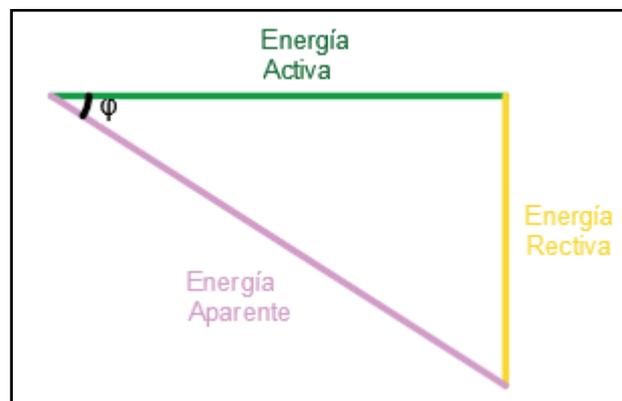


Figura 5. Triángulo de potencias para carga inductiva. Elaborada en base al libro de circuitos eléctricos (Edminister, 1965).

2.2.7 Factor de potencia

Como afirma Serra (2009), es la relación entre la potencia activa y aparente, es el ángulo de desfase entre ambas potencias.

Duarte (2013) también menciona que, el factor de potencia se define como la relación entre la potencia activa que posee la carga y la potencia aparente en el circuito, es un número adimensional con valores entre 0 y 1. La potencia real o activa es la capacidad del circuito para realizar

trabajo en un intervalo de tiempo. La potencia aparente es el producto de la corriente y la tensión. El flujo de energía alterna tiene tres componentes: la potencia real (P) o potencia activa, medida en vatios (W), la potencia aparente (S), medido en voltios-amperios (VA) y potencia reactiva (Q), medida en voltios-amperios reactivos (VAR).

El factor de potencia (FP) o ($\cos \varphi$), está dado por:

$$FP = \cos \varphi = \frac{P}{S}, \quad (11)$$

donde:

FP o $\cos \varphi$: Factor de potencia.

P : Potencia activa (kW).

S : Potencia aparente (kVA).

$$FP = \cos \varphi = \frac{E_P}{\sqrt{E_P^2 + E_Q^2}}, \quad (12)$$

donde:

E_P : Energía activa (kW.h)

E_Q : Energía reactiva (kVAR.h).

2.3 Marco conceptual:

2.3.1 Causas y consecuencias del bajo factor de potencia

Según ABB (2012), como consecuencia se producen calentamientos en los cables y devanados de los transformadores, sobrecarga en los transformadores y líneas de distribución, caída de voltajes, alto consumo de corriente, incremento en la facturación eléctrica debido al alto consumo de energía y sanciones económicas.

Chapman (2000) también menciona que, en cuanto más bajo es el factor de potencia del sistema, mayores son las desventajas en las líneas de potencia que lo alimentan.

Méndez (2004) describe también que, en las instalaciones eléctricas que estén trabajando con factores de potencia inferiores a 1 trae como resultado las siguientes consecuencias:

- Calentamiento de cables.
- Calentamiento de embobinados de los transformadores de distribución.
- Disparo sin causa aparente de los dispositivos.
- Sobrecarga de los generadores, transformadores y líneas de distribución.
- Aumento de la caída de tensión.
- Mayor consumo de corriente.
- Incremento de la facturación eléctrica por mayor consumo de potencia en pérdidas.
- Penalizaciones económicas variadas, incluyendo corte de suministro en caso de factor potencia muy bajos.

a. Equipos que generan un bajo factor de potencia

Barcón (2012) describe que existe una amplia diversidad de equipos como: transformadores, alumbrado fluorescente, motores y hornos de inducción, rectificadores con o sin control, motores síncronos, grupos motor-generador, hornos de arco, soldadoras eléctricas, variadores de velocidad.

b. Factores de potencia típicos en la industria

Barcón (2012) manifiesta que los aparatos eléctricos mencionados en la apartado anterior se encuentran en todas las industrias. Otros equipos como hornos de inducción, soldadoras, reguladores y alumbrado de descargas se encuentran distribuidos en los sistemas eléctricos industriales y también provocan bajo factor de potencia.

El factor de potencia que se mide en las industrias depende del tipo de equipo eléctrico que utilizan para realizar sus procesos.

Tabla 1. Factores de potencia típicos en la industria y comercio

ACTIVIDAD DE LA INDUSTRIA O COMERCIO	FACTORES DE POTENCIA TÍPICO
Textil	0.65 - 0.75
Química	0.65 - 0,75
Máquina	0.40 - 0.65
Soldadoras de arco	0.35 - 0.60
Hornos de arco	0.70 - 0.90
Hornos de inducción sin núcleo y calentares	0.15 - 0.40
Cementeras	0.78 - 0.80
Cerveceras	0.75 - 0.80
Imprentas	0.55 - 0.70
Excavadoras	0.50 - 0.70
Hoteles	0.75 - 0.94
Bancos	0.962 - 0.998
Periódicos	0.79- 0.95
Corrugados	0.82- 0.98
Oficinas (servicios de alumbrados y contactos)	0.94 - 0.98
Oficinas (servicios de emergencia)	0.80 - 0.97
Oficinas (servicios de cómputo)	0.92 - 0.99
Centros comerciales	0.80 - 0.95

Nota: Tomada del libro de calidad de la energía. Factor de potencia y filtrado de armónicas (Barcón, 2012).

c. Efectos del bajo factor de potencia

Barcón (2012) manifiesta que, cuanto mayor sea el desfase entre el voltaje y la corriente solicitada por algún usuario, menor será el factor de potencia. Un bajo factor de potencia involucra un valor bajo de la potencia activa en comparación con la potencia aparente. Por otro lado, la potencia reactiva tiene una magnitud alta.

Por otro lado, en los circuitos de alimentación, existen pérdidas por calentamiento en los conductores (efecto joule), que dependen del cuadrado de la corriente de la siguiente manera:

$$P = I^2R , \quad (13)$$

donde:

P : Potencia eléctrica (W).

I : Intensidad de la corriente (A).

R : Resistencia (Ω).

De la ecuación (13) se deduce que a mayor corriente provocada por un factor de potencia bajo en las cargas, mayores las pérdidas en los conductores de los alimentadores.

Otro efecto relacionado con el aumento de la corriente cuando tienes un factor de potencia bajo es que, derivado de la impedancia del conductor, se produce una gran caída de tensión, la cual provoca problemas de regulación de tensión.

Un factor bajo disminuye la capacidad disponible del transformador de acuerdo con la Figura 6.

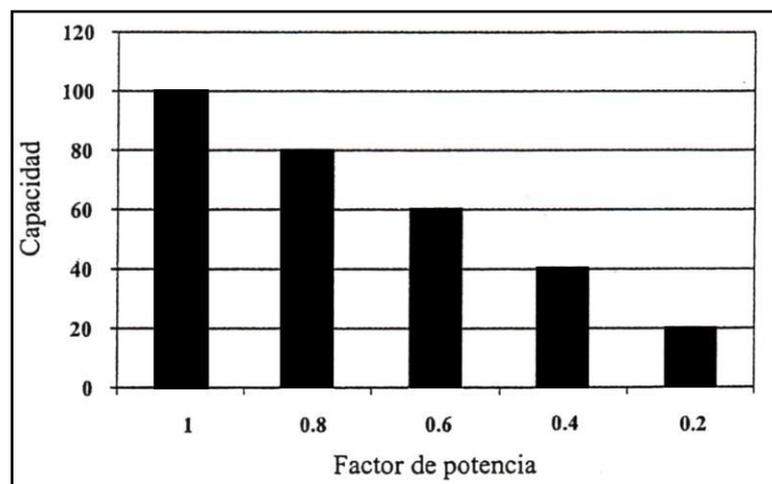


Figura 6. Capacidad del transformador de acuerdo con el factor de potencia. Tomada del libro de calidad de la energía. Factor de potencia y filtrado de armónicas (Barcón, 2012).

2.3.2 Métodos de cálculo de la potencia reactiva

Barcón (2012) afirma que las empresas en muchas partes del mundo establecen penalizaciones para las industrias o usuarios que no conserven sus cargas en el rango del factor de potencia requerido. Cuando los usuarios agregan equipos especiales para conseguir el factor de potencia requerido por las empresas proveedoras, realizan una corrección del factor de potencia.

a. Método de triángulo de potencias y energías

Como plantea Barcón (2012), para corregir el factor de potencia de una instalación, se debe conocer la siguiente información:

- Potencia activa de la instalación, P .
- Factor de potencia de la instalación, fp .

Con los datos anteriores, se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$S_1 = P / fp_1 . \quad (14)$$

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2} . \quad (15)$$

$$\varphi_1 = \cos^{-1}(fp_1) . \quad (16)$$

En la Figura 7 se muestra el triángulo de potencias.

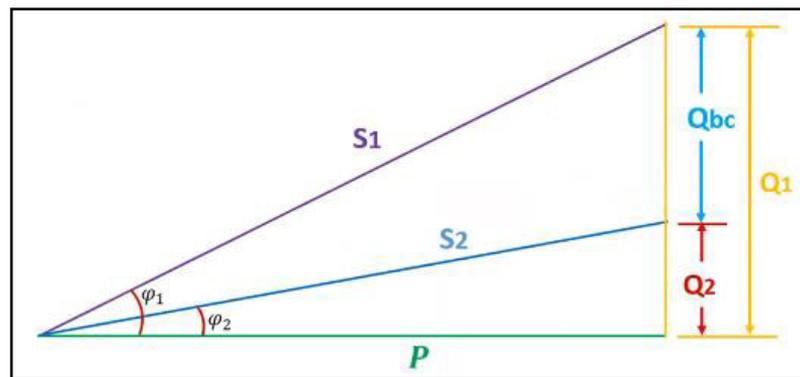


Figura 7. Triángulos utilizados para la corrección del factor de potencia. Elaborada en base al libro de calidad de la energía. Factor de potencia y filtrado de armónicas (Barcón, 2012).

Para realizar la corrección del factor de potencia, es preciso conocer el factor de potencia requerido por la instalación fp_2 .

En la Figura 7 se visualizan dos triángulos; el mayor representa las condiciones iniciales de operación de la instalación eléctrica, conformado por los lados P , Q_1 y S_1 , y en el triángulo menor se representa las condiciones con el factor de potencia deseado. Este triángulo está formado por los lados P , Q_2 y S_2 .

La potencia reactiva Q_2 es la que se consumirá del suministro eléctrico después de aportar una potencia reactiva de corrección Q_{bc} .

De la Figura 7 también se tiene que Q_{bc} está dada por:

$$Q_{bc} = Q_1 - Q_2 . \quad (17)$$

La potencia reactiva se relaciona con el ángulo y con la potencia activa por las expresiones:

$$Q_1 = P \tan(\varphi_1) . \quad (18)$$

$$Q_2 = P \tan(\varphi_2) . \quad (19)$$

Sustituyendo la ecuación (18) y ecuación (19) en la ecuación (17) estas relaciones para obtener la potencia reactiva de corrección, se tiene:

$$Q_{bc} = Q_1 - Q_2 = P(\tan(\varphi_1) - \tan(\varphi_2)) . \quad (20)$$

Esta ecuación (20) proporciona el valor de la potencia reactiva que se necesita suministrar para llegar al factor de potencia deseado. Si se requiere optimizar para un factor de potencia unitario, entonces la ecuación sería:

$$Q_{bc} = P(\tan(\varphi_1) - \tan(\varphi_2)) . \quad (21)$$

Para determinar el factor de potencia en una instalación durante el periodo de facturación utilizando los valores de las energías activa y reactiva que se muestran en la factura de electricidad del usuario se utiliza la siguiente ecuación:

$$\cos \varphi = \frac{E_P}{\sqrt{E_P^2 + E_Q^2}} , \quad (22)$$

donde:

E_Q : Energía reactiva (kvar).

E_P : Energía total (kW).

b. Uso de tablas para corregir el factor de potencia

Como señala Barcón (2012), un método para calcular la potencia reactiva requerida (Q_c) por el usuario para corregir el factor de potencia, radica en utilizar la Tabla 2, para obtener factor de corrección (a), el cual se debe multiplicar la potencia activa de la instalación para obtener el factor de potencia requerido (fp_2).

Es decir, la potencia reactiva requerida (Q_c) es:

$$Q_c = axP . \tag{23}$$

Para encontrar el factor de corrección (a) en la Tabla 2, se debe realizar lo siguiente:

- Ubicar el renglón que marca el factor de potencia inicial.
- Ubicar la columna que marca el factor de potencia deseado.
- El valor de a es la intersección entre el renglón del factor de potencia ($\cos \varphi_i$) actual y la columna del factor de potencia ($\cos \varphi_f$) deseado.

La Tabla 2 contiene todos los valores posibles.

Tabla 2. Tabla para corregir el factor de potencia

Cosφ inicial	Cosφ final												
	0,8	0,85	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
0,60	0,583	0,714	0,849	0,878	0,907	0,938	0,97	1,005	1,042	1,083	1,13	1,191	1,333
0,61	0,549	0,679	0,815	0,843	0,873	0,904	0,936	0,97	1,007	1,048	1,096	1,157	1,299
0,62	0,515	0,646	0,781	0,81	0,839	0,87	0,903	0,937	0,974	1,015	1,062	1,123	1,265
0,63	0,483	0,613	0,748	0,777	0,807	0,837	0,87	0,904	0,941	0,982	1,03	1,09	1,233
0,64	0,451	0,581	0,716	0,745	0,775	0,805	0,838	0,872	0,909	0,95	0,998	1,058	1,201
0,65	0,419	0,549	0,685	0,714	0,743	0,774	0,806	0,84	0,877	0,919	0,966	1,027	1,169
0,66	0,388	0,519	0,654	0,683	0,712	0,743	0,775	0,81	0,847	0,888	0,935	0,996	1,138
0,67	0,358	0,488	0,624	0,652	0,682	0,713	0,745	0,779	0,816	0,857	0,905	0,966	1,108
0,68	0,328	0,459	0,594	0,623	0,652	0,683	0,715	0,75	0,787	0,828	0,875	0,936	1,078
0,69	0,299	0,429	0,565	0,593	0,623	0,654	0,686	0,72	0,757	0,798	0,846	0,907	1,049
0,70	0,27	0,4	0,536	0,565	0,594	0,625	0,657	0,692	0,729	0,77	0,817	0,878	1,02
0,71	0,242	0,372	0,508	0,536	0,566	0,597	0,629	0,663	0,7	0,741	0,789	0,849	0,992
0,72	0,214	0,344	0,48	0,508	0,538	0,569	0,601	0,635	0,672	0,713	0,761	0,821	0,964
0,73	0,186	0,316	0,452	0,481	0,51	0,541	0,573	0,608	0,645	0,686	0,733	0,794	0,936
0,74	0,159	0,289	0,425	0,453	0,483	0,514	0,546	0,58	0,617	0,658	0,706	0,766	0,909
0,75	0,132	0,262	0,398	0,426	0,456	0,487	0,519	0,553	0,59	0,631	0,679	0,739	0,882
0,76	0,105	0,235	0,371	0,4	0,429	0,46	0,492	0,526	0,563	0,605	0,652	0,713	0,855
0,77	0,079	0,209	0,344	0,373	0,403	0,433	0,466	0,5	0,537	0,578	0,626	0,686	0,829
0,78	0,052	0,183	0,318	0,347	0,376	0,407	0,439	0,474	0,511	0,552	0,599	0,66	0,802

Cosφ inicial	Cosφ final												
	0,8	0,85	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
0,79	0,026	0,156	0,292	0,32	0,35	0,381	0,413	0,447	0,484	0,525	0,573	0,634	0,776
0,80		0,13	0,266	0,294	0,324	0,355	0,387	0,421	0,458	0,499	0,547	0,608	0,75
0,81		0,104	0,24	0,268	0,298	0,329	0,361	0,395	0,432	0,473	0,521	0,581	0,724
0,82		0,078	0,214	0,242	0,272	0,303	0,335	0,369	0,406	0,447	0,495	0,556	0,698
0,83		0,052	0,188	0,216	0,246	0,277	0,309	0,343	0,38	0,421	0,469	0,53	0,672
0,84		0,026	0,162	0,19	0,22	0,251	0,283	0,317	0,354	0,395	0,443	0,503	0,646
0,85			0,135	0,164	0,194	0,225	0,257	0,291	0,328	0,369	0,417	0,477	0,62
0,86			0,109	0,138	0,167	0,198	0,23	0,265	0,302	0,343	0,39	0,451	0,593
0,87			0,082	0,111	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,316	0,364	0,424	0,567
0,88			0,055	0,084	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,289	0,337	0,397	0,54
0,89			0,028	0,057	0,086	0,117	0,149	0,184	0,221	0,262	0,309	0,37	0,512
0,90				0,029	0,058	0,089	0,121	0,156	0,193	0,234	0,281	0,342	0,484

Nota: Tomada del cuaderno de aplicaciones técnicas nº8 corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas (ABB, 2012).

c. Uso de nomograma para determinar el factor de potencia deseado

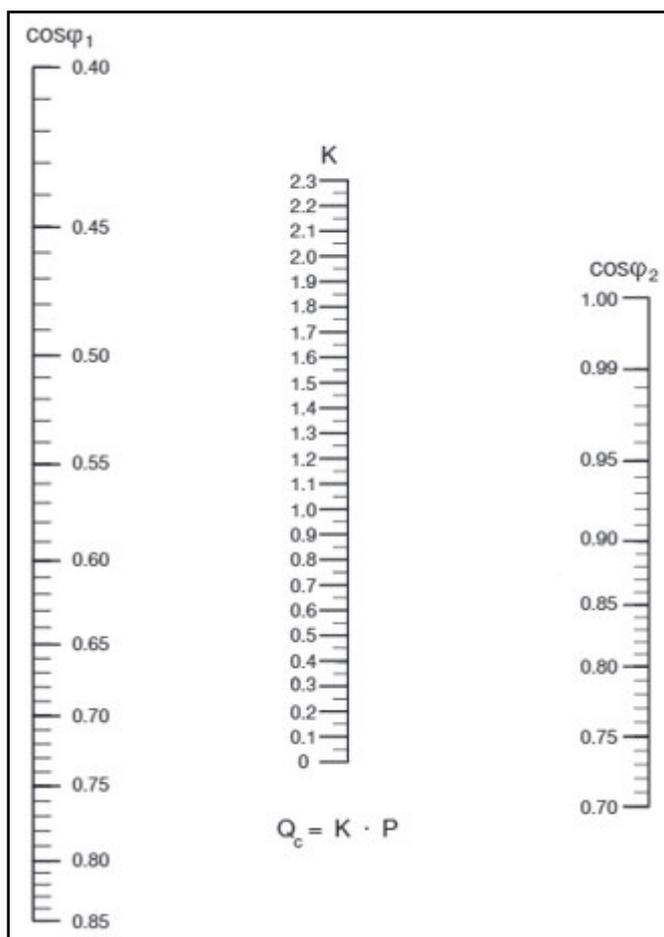


Figura 8. Nomograma para la determinación de la potencia de compensación. Tomada del cuaderno de aplicaciones técnicas nº8 corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas (ABB, 2012).

Harper (2013) menciona que, para determinar los kVAr requeridos, se traza una línea uniendo el factor de potencia inicial ($\cos \varphi_1$) y el factor de potencia mejorado requerido ($\cos \varphi_2$) dando el factor de multiplicación donde se intersecta con la columna K, tal como se muestra en el nomograma de la Figura 8.

$$Q_c = K \times P, \quad (24)$$

donde:

P : Potencia activa (kW).

K : Constante multiplicadora.

2.3.3 Beneficios obtenidos por la corrección del factor de potencia

a. Reducción de corriente en alimentadores

Barcón (2012) señala que, al corregir el factor de potencia desde la potencia reactiva, se produce una disminución de la corriente.

La reducción de corriente en el alimentador, después de haber realizado la corrección del fp se muestra en la Figura 9.

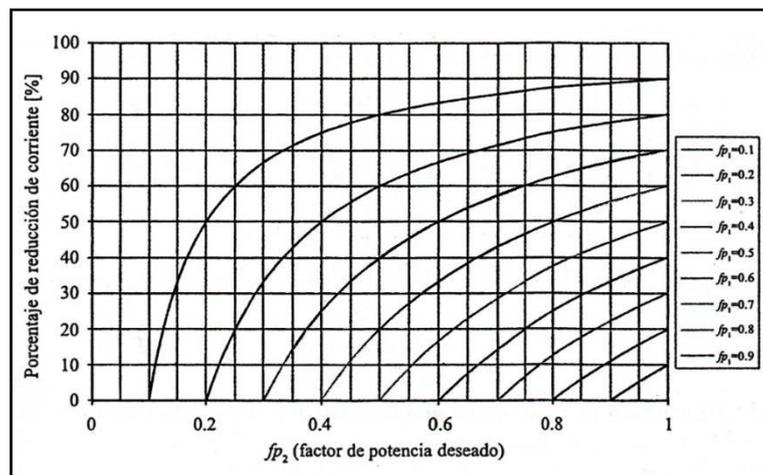


Figura 9. Curva de reducción de corriente en alimentadores. Tomada del libro de calidad de la energía. Factor de potencia y filtrado de armónicas (Barcón, 2012).

b. Reducción de pérdidas en alimentadores

Como lo hace notar Barcón (2012), en la Figura 10 se muestra las curvas del porcentaje de reducción de pérdidas en diferentes alimentadores para distintos factores de potencia actuales (fp_1) en función del fp requerido.

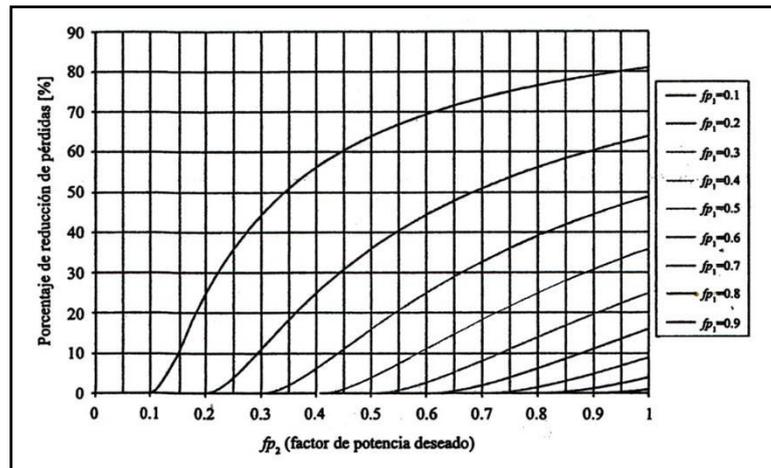


Figura 10. Curva de reducción de pérdidas en alimentadores por corrección del factor de potencia. Tomada del libro de calidad de energía. Factor de potencia y filtrado de armónicas (Barcón, 2012).

c. Liberación de capacidad de potencia del transformador

Barcón (2012) sostiene que, la potencia reactiva (Q_1) requerida por la carga no pasa por el transformador, el banco de capacitores se encarga de contribuir una cantidad de potencia reactiva (Q_c), de tal forma que a través del transformador solamente se tenga una cantidad de potencia reactiva (Q_c), como se muestra en la Figura 11a.

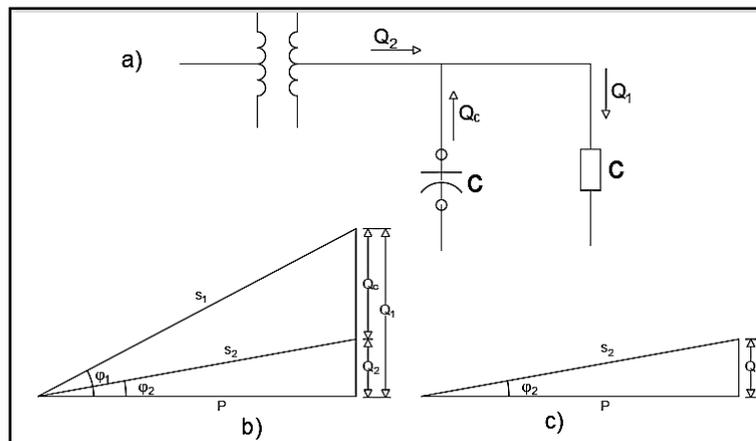


Figura 11. Liberación de la capacidad del transformador utilizando bancos de capacitores para la corrección del factor de potencia. Tomada del libro de calidad de la energía. Factor de potencia y filtrado de armónicas (Barcón, 2012).

El triángulo de potencia de la Figura 11b corresponde a las potencias requeridas por la carga, y son las mismas potencias que pasan por el transformador antes de agregar el banco de capacitores. La contribución

de potencia reactiva (Q_c) del banco de capacitores recompone el triángulo de potencia en el transformador, mismo que se muestra en la Figura 11c en donde la potencia reactiva disminuye hasta alcanzar el valor Q_2 . La potencia aparente S_2 es menor a S_1 por qué el flujo de potencia reactiva que por el transformador ha disminuido. Cuando no había un banco de capacitores para la corrección del fp, el valor de la potencia aparente en el transformador era S_1 . Esta disminución de la potencia aparente implica que disminuya la corriente que circula por los devanados del transformador, por lo tanto, constituye una liberación de capacidad en el mismo.

2.3.4 Métodos de Optimización de potencia reactiva

Con la finalidad de realizar la optimización de la potencia reactiva en los sistemas eléctricos se emplean tres métodos:

a. Optimización de potencia reactiva mediante motores síncronos

Según Elemtech Energy (2015), los motores síncronos son capaces de actuar como generadores de kVAR dependiendo de su excitación y carga acoplada. Cuando maniobran en baja excitación no generan los suficientes kVAR para sus propias necesidades y por lo tanto lo toman de la red eléctrica.

Cuando trabajan sobrecitados (operación normal) sustituyen sus requerimientos de kVAR y pudiendo entregar kVAR a la red, por lo tanto, actúan como compensadores de bajo factor de potencia.

b. Optimización de potencia reactiva mediante un sistema estático voltio amperio reactivo

Elemtech Energy (2015) declara que las cargas como hornos-arco y soldadura por arco presentan corrientes variables en el tiempo. Esto puede tener como consecuencia una variación inaceptable de voltaje, llamado efecto flicker. Una forma de eliminar el flicker es con un sistema controlador que pueda igualar las cargas instantáneamente de acuerdo a la demanda de corriente reactiva. Solo los controladores estáticos utilizan

un conmutador semiconductor que puede proporcionar la velocidad necesaria para realizar esta función.

c. Optimización de potencia reactiva mediante banco de capacitores

Según Yebra (1987), los bancos de capacitores entregan la potencia reactiva que sea necesaria, pudiéndose instalar fijos o bancos automáticos.

Los condensadores de potencia, comparado con otros medios de generación de potencia reactiva, involucra interesantes ventajas de un bajo costo por kVAR instalado, fácil mantenimiento.

2.3.5 Tipos de banco de capacitores

a. Capacitores fijos

Según Schneider Electric (2010), se emplean uno o más capacitores para conseguir la potencia reactiva necesaria.

La conexión se logra realizar:

- Por interruptor de corte en carga o interruptor automático.
- Por contactor.
- En bornes del receptor a compensar y maniobrado conjuntamente.

Esta configuración se aplica en:

- En bornes de equipos inductivos (motores y transformadores).
- En los casos en los que el nivel de carga es moderadamente constante, y no existe riesgo de sobrecompensación.

En la industria se realiza la compensación fija de algunos motores y de transformadores y una optimización automática para la compensación global en inicio de la instalación.

b. Baterías de capacitores automáticos

Schneider Electric (2010) postula que estos equipos proporcionan a la instalación potencia reactiva necesaria dentro de unos límites cercanos a un nivel seleccionado del factor de potencia.

Habitualmente se instalan en puntos de la instalación en los que las fluctuaciones de potencia activa o reactiva son significativas.

Según Schneider Electric (2019), Los 3 datos que precisa un banco de capacitores automático son:

- La potencia en kVAr, dada por los cálculos efectuados y dependerá del $\cos\phi$ requerido en la instalación.
- La tensión nominal, que deberá ser mayor o igual a la tensión de red.
- La regulación del banco de capacitores, que mostrará el escalonamiento físico del mismo.

- **Regulación física**

Como afirma Schneider Electric (2019), el escalonamiento o regulación física de un banco de capacitores automático muestra la constitución y el número de los conjuntos capacitor-contactor que lo conforman. Regularmente se expresa como la relación de la potencia del primer escalón con los demás escalones.

- **Regulación eléctrica**

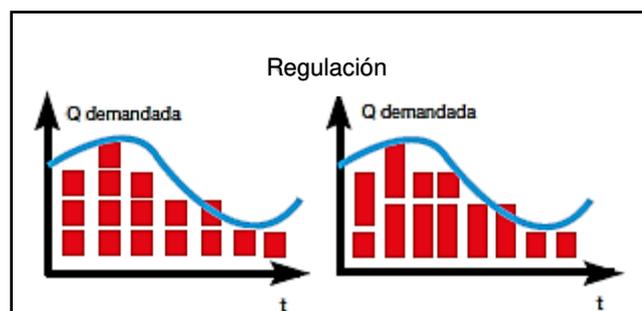


Figura 12. Regulación eléctrica en base a los escalonamientos. Tomada del catálogo de compensación de energía reactiva y filtrado de armónicos (Schneider Electric, 2019).

Schneider Electric (2019) agrega que el dato que marca la diferencia de actuación de un banco de capacitores es la regulación eléctrica. Se define como la relación de la potencia del primer escalón con los demás escalones tal como se muestra en la siguiente Figura 12.

2.3.6 Tipos de compensación reactiva

Según Schneider Electric (2010) tenemos:

a. Compensación global centralizada

El banco de capacitores está conectado a la distribución principal de bajo voltaje y permanece en servicio en el periodo de carga normal, como se aprecia en la Figura 13. Con esta optimización global obtenemos la mejor solución costo-beneficio.

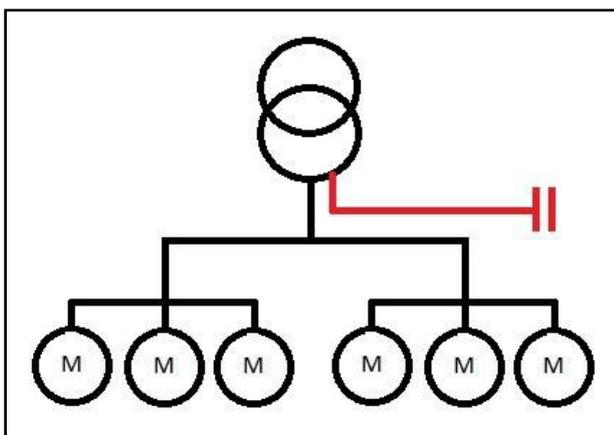


Figura 13. Compensación global. Elaborada en base al catálogo de compensación de energía reactiva y filtrado de armónicos (Schneider Electric, 2019).

Ventajas:

- Elimina penalizaciones por consumo excesivo de energía reactiva.
- Ajusta la potencia aparente a la necesidad real de la planta.

Observaciones:

- La corriente reactiva (I_r) en la instalación está presente a partir del nivel 1 hasta los receptores.
- Las pérdidas por efecto Joule no quedan disminuidas.

b. Compensación por grupo

Los componentes de compensación están interconectados en cada cuadro de distribución local.

Una parte específica de la instalación se ve favorecida por esta compensación y cada uno de los cuadros de distribución secundarios en

los que se aplican las medidas de compensación, como se aprecia en la Figura 14.

Se recomienda la optimización por grupo cuando la instalación es amplia y los patrones de carga/tiempo difieren entre una parte de la instalación y la otra.

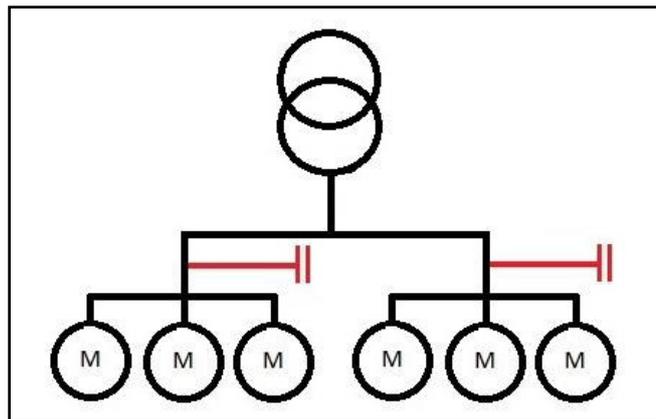


Figura 14. Compensación por grupo. Elaborada en base al catálogo de compensación de energía reactiva y filtrado de armónicos (Schneider Electric, 2019).

Ventajas:

- Elimina las penalizaciones por alto consumo de energía reactiva.
- Optimiza una parte de la instalación, la corriente reactiva no se traslada entre los niveles 1 y 2.
- Reducción de la sección de los conductores aguas arriba.

Observaciones:

- La corriente reactiva (I_r) en la instalación está presente a partir del nivel 2 hasta los receptores.
- Las pérdidas por efecto Joule en los cables disminuyen.
- Riesgo de sobrecompensación, si hay altas variaciones de carga.

c. Compensación individual

Los capacitores se conectan en bornes de los receptores (especialmente motores), como se aprecia en la Figura 15.

Es recomendable la compensación individual cuando la potencia del motor es significativa con respecto al conjunto de la potencia total demandada por la instalación. Usualmente la potencia reactiva a compensar está por encima de un 25% de la potencia del motor, en kW.

Igualmente se exhorta a utilizar la compensación fija para optimizar el transformador de potencia; tanto para vacío o como para plena carga.

Considerar la compensación individual cuando la potencia del motor es significativa en relación a la instalación.

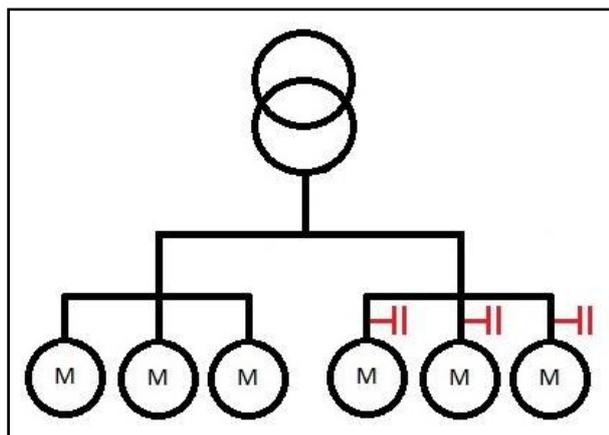


Figura 15. Compensación individual. Elaborada en base al catálogo de compensación de energía reactiva y filtrado de armónicos (Schneider Electric, 2019).

Ventajas:

- Elimina las penalizaciones por alto consumo de energía reactiva.
- Optimiza toda la instalación eléctrica.
- La corriente reactiva I_r se provee del mismo lugar de su consumo.

Observaciones:

- La corriente reactiva no está presente en los cables de la instalación.
- Las pérdidas por efecto Joule en los cables se eliminan totalmente.

2.3.7 Banco de capacitores

Barcón (2012) analiza que en la industria eléctrica, es práctica habitual corregir el factor de potencia por medio de la instalación o conexión de capacitores. Este tipo de acomodo recibe el nombre de banco de capacitores. Los bancos de capacitores se plantean o elaboran con criterios diferentes, de acuerdo con las necesidades de la corrección del factor de potencia y del comportamiento de la potencia reactiva del sistema eléctrico.

2.3.8 Elementos de un banco de capacitores

Barcón (2012) define que el elemento principal del banco de capacitores es la celda capacitiva. También intervienen otros componentes que influyen en la operación correcta del banco, como el gabinete, contactores, dispositivos de control del factor de potencia, entre otros.

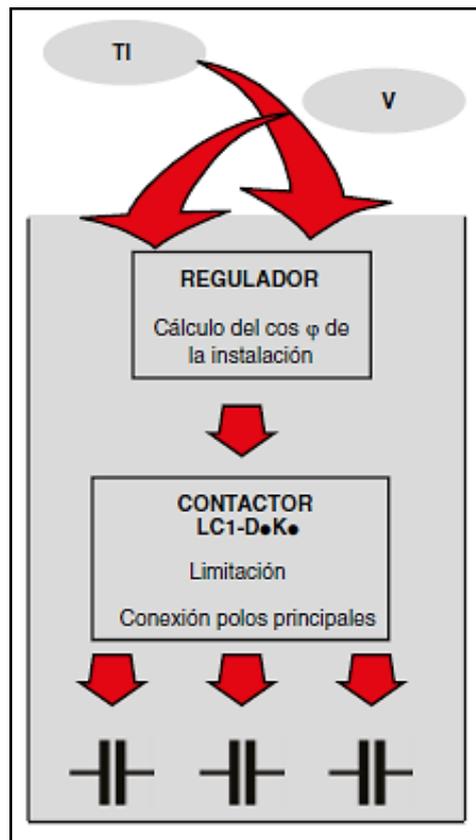


Figura 16. Esquema de principio de un equipo de compensación automático. Tomada del catálogo de compensación de energía reactiva y filtrado de armónicos (Schneider Electric, 2019).

a. Capacitor

Según Elemtech Energy (2015), un capacitor es un componente que almacena energía eléctrica. Está constituido por un par de superficies conductoras usualmente en forma de tablas, esferas o láminas, separadas por un material dieléctrico o por el vacío, las cuales son sometidas a una diferencia de potencial obtienen carga eléctrica positiva en una de las placas y negativa en la otra.

La carga acumulada en las placas es proporcional a la diferencia de potencial entre esta placa y la otra, siendo la constante de proporcionalidad la capacidad o capacitancia. En el Sistema internacional de unidades se mide en Faradios.

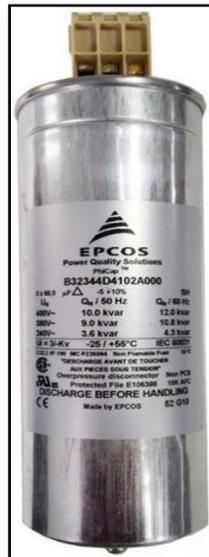


Figura 17. Capacitor Trifásico. Tomada del catálogo de equipos para distribución eléctrica en baja y media tensión para aplicaciones industriales e infraestructura (Siemens, 2020).

b. Regulador

Como dice Schneider Electric (2019), los datos que se programan en un regulador son los siguientes:

- El $\cos \varphi$ requerido por la instalación.
- La relación C/K.

Estos datos son únicos para cada instalación y no se pueden programar de fábrica, tal como se muestra en la Figura 18.



Figura 18. Regulador de factor de potencia. Tomada del catálogo de equipos para distribución eléctrica en baja y media tensión para aplicaciones industriales e infraestructura (Siemens , 2020).

El regulador decide la ingreso o salida de los diferentes escalones de potencia en función de 3 parámetros:

- El $\cos \varphi$ que se desea en la instalación.
- El $\cos \varphi$ que existe en cada momentos en la instalación.
- La intensidad del primer escalón (que es el que marca la regulación mínima de la batería).

La intensidad al regular se efectúa siempre a través de un Transformador de corriente de relación $x/5$. Para que el regulador pueda tomar la decisión de conectar o desconectar escalón debe saber la intensidad reactiva que va a incorporar en la instalación, y esta intensidad estará referida al lado secundario del TI, el valor que el regulador lee.

La manera de programar el factor C/K y su fórmula es la siguiente:

$$\frac{C}{K} = \frac{Q_1 / \sqrt{3} x U}{R_{TI}}, \quad (25)$$

donde:

Q_1 = potencia reactiva del primer escalón (VAR).

U = tensión FF.

R_{TI} = relación TI (X/5).

c. Contactor

ABB (2012) plantea que, el capacitor regularmente es controlada por un contactor que, para que funcione correctamente, debe estar debidamente calculado de tal forma que pueda:

- tolerar el paso constante de la corriente igual a la I_{cmax} del banco de capacitores.
- soportar, sin sufrir daños, la corriente de inserción de los condensadores.

Asimismo, el contactor debe estar protegido contra cortocircuitos por medio del dispositivo de protección.

$$I_{Contactor} = 1,5xI_n . \quad (26)$$

En la Figura 19 se muestra un contactor para conmutación de capacitores.



Figura 19. Contactor para maniobra de condensadores. Tomada del catálogo de contactores de maniobra de condensadores (Weg, 2020).

2.3.9 Elementos de protección

De acuerdo con ABB (2012), los elementos empleados para la protección del banco de capacitores deben cumplir lo siguiente:

- Tolerar las corrientes que tienen lugar con la inserción y la desconexión del banco. Específicamente, las protecciones de los relés de protección termomagnéticos y electrónicos no deben interferir con las corrientes de inserción.

- Resistir las sobrecorrientes originadas por los armónicos de tensión y a la tolerancia admitida respecto al valor nominal de la capacidad.
- Estar coordinados con los elementos de maniobra. Asimismo, la capacidad de cierre y de corte del interruptor debe ser proporcional al nivel de cortocircuito de la instalación.

Las normas IEC EN 60831-1 e IEC EN 60931-1 afirman que:

- Los capacitores deben operar a régimen con una corriente de valor eficaz de hasta un 30% superior a su intensidad nominal I_{cn} (esto se debe a la posible presencia de armónicos de tensión en la red).
- Se admite una tolerancia (variante 1 de las susodichas normas) del +10% respecto al valor de la capacidad en baterías de hasta 100 kvar y del +5% para bancos de capacitores superiores a 100 kvar.

$$I_{ITM} = 1,43xI_n . \quad (27)$$

En la Figura 20 se muestra un contactor para conmutación de capacitores.



Figura 20. Interruptor termomagnético. Tomada del catálogo de equipos para distribución eléctrica en baja y media tensión para aplicaciones industriales e infraestructura (Siemens , 2020).

2.3.10 Elementos de medición

Chapman (2012) menciona que los transformadores de corriente capturan la corriente de la línea y la bajan a un nivel que se pueda medir. La medición la realiza mediante un bobinado secundario envuelto en torno a un anillo ferromagnético y una línea que atraviesa el centro del anillo, para captar una pequeña señal de la línea primaria e inducir una tensión y una corriente en el bobinado secundario.

$$I = \frac{S_T}{\sqrt{3}xU}, \quad (28)$$

donde:

U : Voltaje nominal (V).

S_T : Potencia nominal del transformador (VA).

En la Figura 21 se muestra un contactor para conmutación de capacitores.



Figura 21. Transformador de corriente. Tomada del catálogo de equipos para distribución eléctrica en baja y media tensión para aplicaciones industriales e infraestructura (Siemens , 2020).

2.3.11 Conductores eléctricos

Schneider Electric (2010) menciona que la elección de los cables obedece a la carga prevista. Para los capacitores, la corriente está en función del voltaje aplicado, las componentes armónicas y de la dimensión del capacitor.

$$I_{conductor} = 1,5xI_n . \quad (29)$$

2.3.12 Normativa peruana referida al consumo de energía reactiva

Según Osinergmin (2013) la facturación por energía reactiva se incluirá en tarifas MT2, MT3, MT4, BT2, BT3 y BT4 de acuerdo a:

- Consumo de energía reactiva inductiva hasta el 30% de la energía activa total mensual no generará cargo alguno.

- Cuando el consumo de energía reactiva inductiva exceda el 30% de la energía activa total mensual, se facturará el exceso de la energía reactiva de la siguiente forma:

$$FACTURA = KVAR.h \text{ en exceso } \times CER , \quad (30)$$

donde:

CER: Cargo por energía reactiva, expresado en S/. /KVAR.h.

- No está permitido la inyección de energía reactiva a la red.
- La facturación de energía reactiva deberá realizarse sobre la base de la medición mensual.

2.3.13 Indicadores económicos para evaluar proyectos

a. Valor actual neto (VAN)

Para Aguilera (2011), el Valor Actual Neto como razonamiento de evaluación social de un proyecto, equivale a una estimación razonable del valor monetario de los beneficios y costos para la sociedad, atribuibles al proyecto.

- Si el VAN > 0 La inversión producirá ganancias.
- Si el VAN < 0 La inversión producirá pérdidas.
- Si el VAN = 0 La inversión no produce pérdidas ni ganancias.

$$VAN = \sum_{n=0}^n \frac{I_n}{(1+i)^n} - E_n = 0 , \quad (31)$$

donde:

VAN: Valor Actual Neto.

n: Es el número de períodos a considerar.

I_n: Representa los ingresos.

E_n: Representa los egresos.

i: Interés.

b. Tasa interna de retorno (TIR)

Según Aguilera (2011), la Tasa de rentabilidad de retorno es aquella tasa de descuento que hace cero el valor actual neto. Una vez obtenido el valor de la TIR, para poder apreciar la viabilidad del proyecto, se compara su valor con el valor de la tasa de interés relevante para la sociedad.

- Si $TIR >$ Tasa de descuento, se aprueba el proyecto.
- Si $TIR <$ Tasa de descuento, se debe rechazar el proyecto.
- Si $TIR =$ Tasa de descuento, el inversionista es indiferente al decidir si realiza el proyecto o no.

$$VAN(0) = \sum_{n=0}^n \frac{I_n}{(1+TIR)^n} - E_n, \quad (32)$$

donde:

VAN : Valor Actual Neto, toma el valor de cero.

n : Es el número de períodos a considerar.

I_n : Representa los ingresos.

E_n : Representa los egresos.

TIR : Tasa interna de retorno.

c. Razón beneficio-Costo

Aguilera (2011) menciona que si el resultado es mayor que la unidad, entonces el VAN proporcionado es positivo y si resulta menor a la unidad, el VAN será negativo. Por lo tanto, un proyecto será factible si el cociente es mayor a la unidad, de no ser así entonces el proyecto no será viable porque no tiene un beneficio positivo.

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Beneficio del proyecto}}{\text{Costo del proyecto}}. \quad (33)$$

2.3.14 Ventajas de la compensación de la energía reactiva

Como dice ABB (2012), implica actuar para aumentar la capacidad en una instalación eléctrica, así como mitigar la caída de voltaje, el diámetro de los conductores, disminuir las pérdidas por efecto joule y ampliar la potencia utilizable en una instalación.

También Schneider Electric (2019) plantea las ventajas de la compensación de la energía reactiva:

a. Reducción en el recibo de electricidad

Las compañías suministradoras de energía eléctrica sancionan el consumo de energía reactiva con el objetivo de impulsar su corrección.

b. Aumento de la potencia disponible

Un alto factor de potencia optimiza los elementos de una instalación eléctrica logrando un mejoramiento en el rendimiento eléctrico. La instalación de capacitores permite reducir el consumo de energía reactiva entre el origen y los destinatarios. Los capacitores suministran la energía reactiva a la instalación desde el punto de conexión aguas arriba, como resultado se puede ampliar la potencia disponible en el secundario de un transformador, colocando en la parte de baja un dispositivo que corrija el factor de potencia.

c. Reducción de la sección de los conductores

La implementación de un dispositivo de corrección del factor de potencia en la instalación reduce el diámetro de los cables, ya que para la potencia activa la intensidad resultante de la compensación es menor.

d. Disminución de pérdidas

La implementación de capacitores reduce las pérdidas por efecto Joule en los cables y bobinados. Estas mermas son consideradas como energía absorbida (kWh) en el contador, estas desventajas están ligadas a la intensidad de corriente.

e. Reducción de caídas de tensión

La implementación de capacitores también reduce las caídas de voltaje aguas arriba del punto de conexión del mecanismo de compensación.

2.4 Definición de términos básicos

- Ángulo φ : Según Barcón (2012), es el ángulo de desfase que hay entre la corriente y el voltaje.
- Corriente eléctrica: Como dice Edminister (1965), es cuando se aplica una diferencia potencial a un conductor origina que circulen electrones por el mismo, diremos que pasa una corriente eléctrica.
- Corriente alterna: Citando a Senner (1994), es la corriente eléctrica que cambia continuamente su dimensión y sentido en intervalos de tiempo.
- Factor de potencia ($\cos \varphi$): Chapman (2000) nos indica que es la cantidad de energía que se ha convertido en trabajo.
- Efecto joule: Osinergmin (2011) afirma que se da cuando circula una corriente eléctrica por un cable y este genera calor, esto se debe a que el cable una pequeña resistencia originando que la corriente se convierta en potencia y está en calor.
- Máxima demanda mensual: Minem (2011) menciona que es el máximo valor de las demandas de potencia activa medias en intervalos de 15 minutos, en el ciclo de despacho mensual.
- Potencia: Minem (2011) afirma que es la magnitud absorbida por un elemento en el tiempo que realiza un trabajo.
- Resistencia eléctrica: Osinergmin (2011) define que es la oposición que presenta un conductor al paso de los electrones.
- Tensión: A juicio de Floyd (2007), es una magnitud se genera por una fuerza de atracción entre dos puntos generando un potencial eléctrico.
- Conductor: Según CNE (2006), es el material instalado con el objetivo de transportar corriente eléctrica de un punto a otro.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

El uso de un banco de capacitores influye en la optimización del consumo de energía reactiva para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín.

3.1.2 Hipótesis específicas

- Si determinamos la potencia reactiva requerida por la planta se obtiene la cantidad a optimizar para la empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín.
- Si determinamos el factor de potencia dimensionamos el banco de capacitores para la empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín.
- Si optimizamos el consumo de energía reactiva disminuimos el costo de la penalización por exceso de la misma para la empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín.

3.2 Definición conceptual de variables

3.2.1 Operacionalización de variables

Tabla 3. Operacionalización de variable independiente

VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍNDICE	METODO	TÉCNICA
Banco de Capacitores	Potencia eléctrica	Intensidad de corriente	Índice de energía de flujo	Sistémico	Técnica de recolección de datos: Técnica documental y técnica empírica.
	Penalización	Tensión	Índice de costo en soles		Instrumentos para recolección de datos: • Documentos, registros. • Fichas de observación. • Guías de observación.

Tabla 4. Operacionalización de variable dependiente

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍNDICE	METODO	TÉCNICA
Energía reactiva	Energía	Potencia activa	Índice de potencia disponible	Sistémico	Técnica de recolección de datos: Técnica documental y técnica empírica. Instrumentos para recolección de datos: • Documentos, registros. • Fichas de observación. • Guías de observación.
		Potencia reactiva			
		Potencia aparente			
	Tiempo de operación	Tiempo de trabajo	Índice de horas de trabajo		

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo y diseño de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

Espinoza (2014) plantea que la investigación tecnológica tiene como objetivo aplicar el conocimiento científico para solucionar problemas que favorezcan a la sociedad.

Por tanto, la presente investigación es de tipo tecnológica, debido a que se aplicó conocimientos de instalaciones eléctricas y se orientó a la solución de un problema práctico, como es la optimización del consumo de energía reactiva mediante el uso de un banco de capacitores para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín.

4.1.2 Diseño de investigación

Espinoza (2014) menciona que el diseño de Investigación es esquema para vincular y controlar las variables de investigación. Su objetivo es fijar limitaciones inspeccionadas al análisis de los fenómenos. Es una herramienta de gestión para que el investigador, conozca los pasos a seguir para hallar las posibles soluciones a los problemas.

Espinoza (2014) alude que los diseños cuasi-experimentales se utilizan cuando se conoce la existencia de variables extrañas, sabemos que son; sin embargo, no es posible controlar su dominio sobre la variable dependiente. Con estos diseños, el investigador no puede delegar la recolección de datos, ya que debe registrar las variaciones como variable dependiente e identificar las variables ajenas que pudieran influir en la variación.

Por tanto, la presente investigación es de diseño cuasi-experimental, ya que en comparación con datos obtenidos con la ayuda del analizador de redes que se colocó en el tablero general de la planta de la empresa del sector manufacturero obtuvimos el comportamiento de la potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia y simulando la potencia reactiva requerida mediante el uso de software Excel.

4.2 Método de investigación

Espinoza (2014) señala que los problemas de la sociedad, la naturaleza y el pensamiento, son complejos; esto requiere que los objetos de búsqueda sean sistemas y no subsistemas. El método sistémico tiene como objetivo estudiar el objeto por medio de la determinación de sus elementos, sus relaciones y límites para observar su estructura y la dinámica de su funcionamiento. El enfoque sistémico aborda la dificultad en su complejidad por medio de un pensamiento basado en la generalidad, en un estudio relacionado entre las partes y de propiedades emergentes resultantes.

Por tanto, la presente investigación es de método sistémico, debido a que primero se revisó y analizó los 12 últimos recibos para conocer el mes con mayor demanda de energía, luego de tener conocimiento de ello se instaló un equipo analizador de redes en el tablero general de la empresa del sector manufacturero para poder monitorear los parámetros eléctricos, posteriormente se simuló la potencia reactiva requerida mediante cálculos con el uso del software Excel, finalmente lograr que, al mejorar el factor de potencia utilizando un banco de capacitores se pueda eliminar el costo de facturación de consumo de energía reactiva, como también mejorar el rendimiento de la planta.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La empresa del sector manufacturero que se encuentra en el distrito de Lurín, departamento de Lima, examinamos el tablero eléctrico general trifásico del sistema eléctrico de la planta, que alimentan cargas principales de motores eléctricos, entre otros.

4.3.2 Muestra

En la presente investigación la muestra en la empresa del sector manufacturero, es el tablero eléctrico general trifásico del sistema eléctrico de la planta.

Por tanto, nuestra población y muestra es el mismo debido a que nuestro objeto de estudio es el tablero eléctrico general trifásico de la planta y es allí donde se recogió data necesaria para procesar la información.

4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado

4.4.1 Lugar de estudio

El lugar de estudio del presente trabajo de investigación es una empresa en el Sector manufacturero, ubicada en la Carretera Nueva Panamericana Sur, en el distrito de Lurín, departamento de Lima, Perú, como se muestra en Figura 22.



Figura 22. Ubicación de la empresa manufacturera. Tomada de (Google earth, 22-01-2021).

4.4.2 Periodo de desarrollo

La presente investigación se desarrolló durante la experiencia laboral realizada en el año 2019.

4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.5.1 Técnicas para la recolección de datos

a. Técnica documental

Espinoza (2014) define que esta técnica consiste en recopilar evidencias que demuestran la hipótesis de la investigación.

b. Técnica empírica

Espinoza (2014) considera que la técnica empírica permite la observación en contacto directo con el objeto de estudio, y el acopio de testimonios que permitan confrontar la teoría con la práctica en la búsqueda de la verdad.

4.5.2 Instrumentos para la recolección de datos

a. Técnica documental

Espinoza (2014) menciona que se emplea como herramienta los documentos, registros, datos e información estadística.

Por tanto, los datos requeridos se obtuvieron de la recopilación de información de los recibos de facturación de energía eléctrica, en anexos se muestran las facturas de energía por la distribuidora de energía eléctrica Luz del Sur.

b. Técnica empírica

Según Espinoza (2014), se utiliza como instrumentos:

- Fichas de observación, donde se han acumulado los datos conseguidos en las mediciones realizadas en la utilización de banco de capacitores.
- Guías de observación, en el que ha registrado el consumo eléctrico.

Por tanto, el instrumento utilizado para la obtención de datos nominales y mediciones fue el analizador de redes marca Circutor donde se obtuvieron los datos de potencia reactiva, potencia activa, factor de potencia ($\cos \varphi$).

4.5.3 Validación de los cálculos obtenidos

Para poder validar los datos obtenidos, se realizó una simulación en base a la capacidad del banco de capacitores utilizando el software Microsoft Excel, el cual nos sirvió para corroborar el comportamiento de la potencia reactiva requerida de la planta, así como también el factor de potencia mínimo para evitar costos por facturación de energía reactiva.

4.6 Análisis y procesamiento de datos

Para poder conocer el comportamiento de las instalaciones eléctricas en la planta, se consideraron dos fuentes de información:

- La primera, consistió en la adquisición de los datos provenientes de la factura eléctrica correspondiente al mes con mayor demanda de la planta emitida por la empresa concesionaria.
- La segunda, fue por medio del monitoreo de parámetros eléctricos con la ayuda de un analizador de redes eléctricas, el cual fue instalado en el tablero general en el mes de febrero por ser el mes con más demanda de energía eléctrica.

4.6.1 Análisis de la factura eléctrica

Para poder realizar el análisis se tomó como referencia la factura eléctrica con la mayor demanda del año, en este caso correspondiente al mes de febrero, la cual se puede encontrar en la Figura 48 (anexos).

Tabla 5. *Consumos de energía activa, reactiva y demanda*

Energía Activa (kW.h)		
	Horas punta	Horas fuera de punta
Consumo a facturar	21 090,90	89 942,04
Demanda (kW)		
	Horas punta	Horas fuera de punta
Potencia registrada	272,05	281,94
Energía Reactiva (kvar.h)		
Consumo registrado		Inductiva 142 360,14

Para poder determinar la potencia requerida por el banco de capacitores se empleó tres métodos de cálculo. Esto con el fin de observar la relación

entre los resultados de cada uno de los métodos y su precisión, a continuación, se detalló las condiciones iniciales en base a la Tabla 5.

a. Parámetros eléctricos antes de la optimización

- **Factor de potencia ($\cos \varphi_i$)**

Para el cálculo del factor de potencia nos apoyamos en la ecuación (22) y reemplazando los valores de la Tabla 5, se obtuvo lo siguiente:

$$\cos \varphi_1 = \frac{21\,090,9+89\,942,04}{\sqrt{(21\,090,9+89\,942,04)^2+(142\,360,14)^2}} ,$$

$$\cos \varphi_1 = 0,615 . \tag{34}$$

Despejando la ecuación (34) obtuvimos lo siguiente :

$$\varphi_1 = 52,05^\circ . \tag{35}$$

- **Potencia activa (kW)**

La potencia activa se tomó de la Tabla 5, y considerando el mayor valor entre H.P. y F.P.

$$P = 281,94 \text{ kW} . \tag{36}$$

b. Parámetros eléctricos después de la optimización

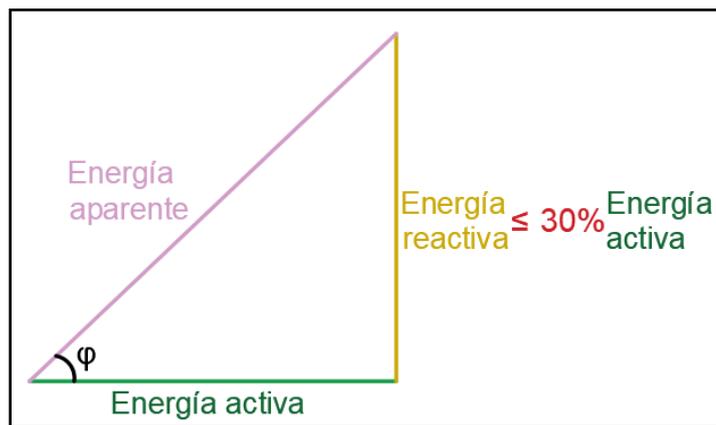


Figura 23. Triángulo de energías en base a un factor de potencia sin cargo de facturación. Elaborada en base a datos obtenidos en la presente investigación.

Como sabemos, la norma castiga económicamente al usuario si este supera el 30% de energía reactiva, bajo esa premisa podemos conocer el factor de potencia mínimo que se requiere para evitar la penalidad al inyectar energía reactiva a la red, tal como se muestra en la Figura 23.

De la figura mostrada tenemos:

$$\tan \varphi = \frac{E.reactiva}{E.activa} . \quad (37)$$

Despejando φ tenemos:

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{E.reactiva}{E.activa} . \quad (38)$$

Tomando como condición:

$$E.reactiva \leq 30\% E.activa . \quad (39)$$

Se multiplico por el Coseno a la ecuación (38) y reemplazando la ecuación (39) obtuvimos:

$$\cos \varphi = \cos\left(\tan^{-1} \frac{0.3xE.reactiva}{E.activa}\right) ,$$

Despejando $\cos \varphi$:

$$\cos \varphi = 0,9578 . \quad (40)$$

Se tuvo en cuenta la ecuación (44)(40) para la elaboración de la siguiente tabla:

Tabla 6. Factor de potencia deseado

$\cos(\varphi)$	Requerimiento
0,96	Por la tolerancia puede exceder 30%; por lo tanto estaría sujeto a penalización.
0,97	Reduce penalización a 0; pero estaría cerca de la zona de penalización.
0,98	Penalización nula, ideal para una compensación global.
0,99	Penalización nula, elevado costo y podría llegar a 1.

En este apartado se utilizó los tres métodos mencionados en el apartado 2.3.2. Para poder calcular la potencia reactiva requerida por el banco de

capacitores se tomó en consideración la Tabla 6 para determinar el factor de potencia requerido:

Se decidió considerar el siguiente factor de potencia:

$$\cos \varphi_2 = 0,98 . \quad (41)$$

Despejando la ecuación (41) obtuvimos lo siguiente:

$$\varphi_2 = 11,48^\circ . \quad (42)$$

- **Método de triángulos de potencias y energías**

Para poder calcular la potencia reactiva requerida se reemplazó la ecuaciones (35), (36) y (42) en la ecuación (21) y obteniendo lo siguiente:

$$Q_{bc} = 281,94 \times (\tan 52,05^\circ - \tan 11,48^\circ) ,$$

$$Q_{bc} = 304,26 \text{ kvar} . \quad (43)$$

- **Uso de tablas para corregir el factor de potencia**

En este apartado se utilizó la Tabla 2 que incluye un factor de potencia de corrección multiplicador. Localizamos el factor de potencia $\cos \varphi_1$ inicial y el factor de potencia requerido $\cos \varphi_2$, con estos dos valores se ubicó el factor de corrección en la Tabla 7.

Tabla 7. Factor de corrección a

$\cos \varphi_i$	$\cos \varphi_f$										
	0,80	0,85	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98
0,60	0,583	0,714	0,849	0,878	0,907	0,938	0,97	1,005	1,042	1,083	1,13
0,61	0,549	0,679	0,815	0,843	0,873	0,904	0,936	0,97	1,007	1,048	1,096

Se reemplazó la ecuación (36) y el valor del factor de corrección obtenido en la Tabla 7 en la ecuación (23):

$$Q_C = 281,94 \times 1,096 ,$$

$$Q_C = 309,01 \text{ kvar} . \quad (44)$$

- **Uso de nomograma para determinar el factor de potencia deseado**
Para poder calcular el factor de potencia se empleó la Figura 8. Se trazó una línea uniendo el factor de potencia inicial ($\cos \varphi_1$) y el factor de potencia mejorado requerido ($\cos \varphi_2$) dando el factor de multiplicación donde se intersecta con la columna K.

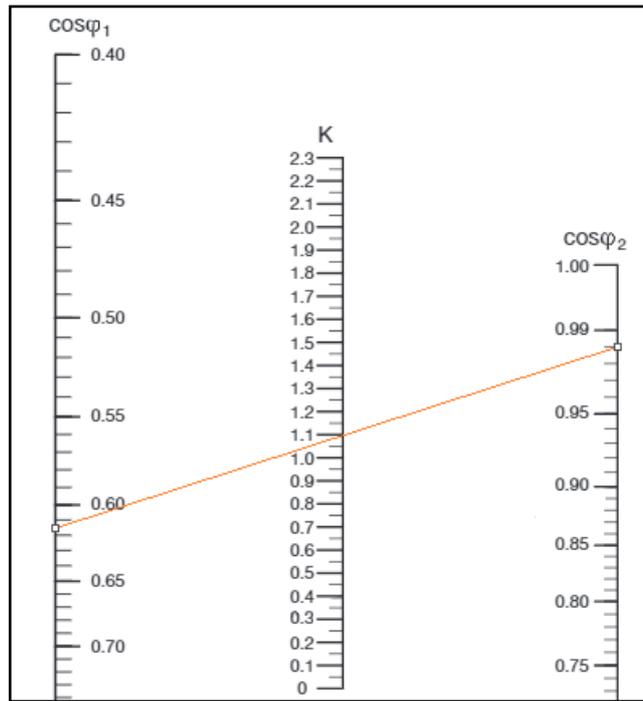


Figura 24. Nomograma utilizado para encontrar el factor k multiplicador. Tomada en base a la Figura 8.

Se reemplazó la ecuación (36) y el factor K obtenido de la Figura 24 en la ecuación (24):

$$Q_C = 1,09 \times 281,94 ,$$

$$Q_C = 307,31 \text{ kvar} . \quad (45)$$

Los valores de potencia reactiva para el banco de capacitores obtenidos al aplicar cada uno de los métodos planteados mostraron una variación muy pequeña:

- Método de triángulo de potencias y energías: 304,26 kvar.
- Uso de tablas: 309,01 kvar.
- Uso de nomograma: 307,31 kvar.

Se observó que la diferencia entre los métodos no es muy resaltante por lo que se optó por utilizar el método de triángulo de potencias y energías. Debido al volumen de información se utilizó este método para las simulaciones en el software Microsoft Excel.

4.6.2 Procesamiento de datos obtenidos mediante el analizador de redes eléctricas

Para la recolección de los parámetros, el equipo analizador de redes eléctricas fue instalado durante un periodo de 5 días, el cual inicio el día 23 de febrero y culminó el día 27 de febrero con intervalos de medición de 15 minutos. Este equipo nos permitió obtener parámetros tales como: potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia. Estos parámetros nos permitieron determinar la capacidad del banco de capacitores para poder optimizar el consumo de energía reactiva en la planta.

a. Recolección de parámetros eléctricos

Una vez que se obtuvo las mediciones mediante el analizador de redes eléctricas, se procedió a abrir el programa para poder cargar la información del equipo con la ayuda del software Power Vision 1.8c, tal como se muestra en la Figura 25.



Figura 25. Software para la descarga de los datos. Tomada del programa Power Vision 1.8c.

Luego de que se seleccionó los datos para el análisis mediante el software, estos se pasaron a una hoja Excel y se agruparon por tablas (ver las tablas en el anexo) para tener una mejor observación de los mismos como se muestra en la Figura 26 :

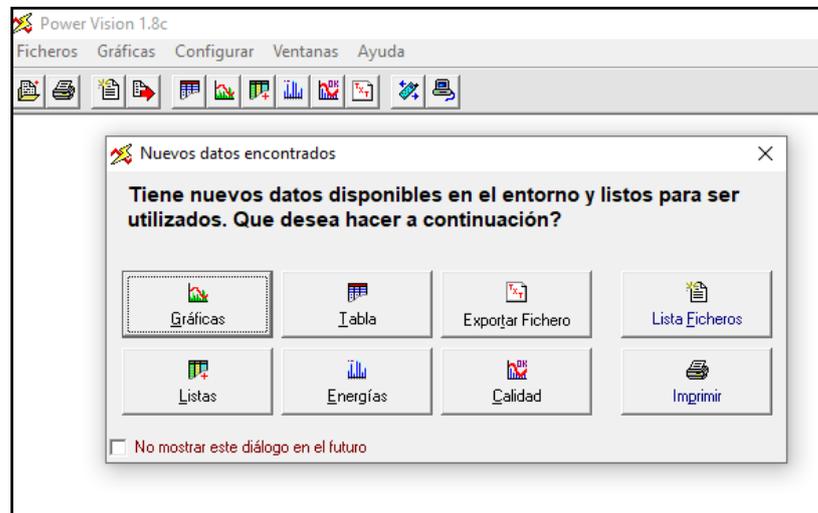


Figura 26. Menú de acceso a la información. Tomada del programa Power Vision 1.8c.

b. Graficas obtenidas mediante el procesamiento de los datos recolectados por el equipo analizador de redes eléctricas

• Potencia activa y reactiva demandada del 23 de febrero del 2019

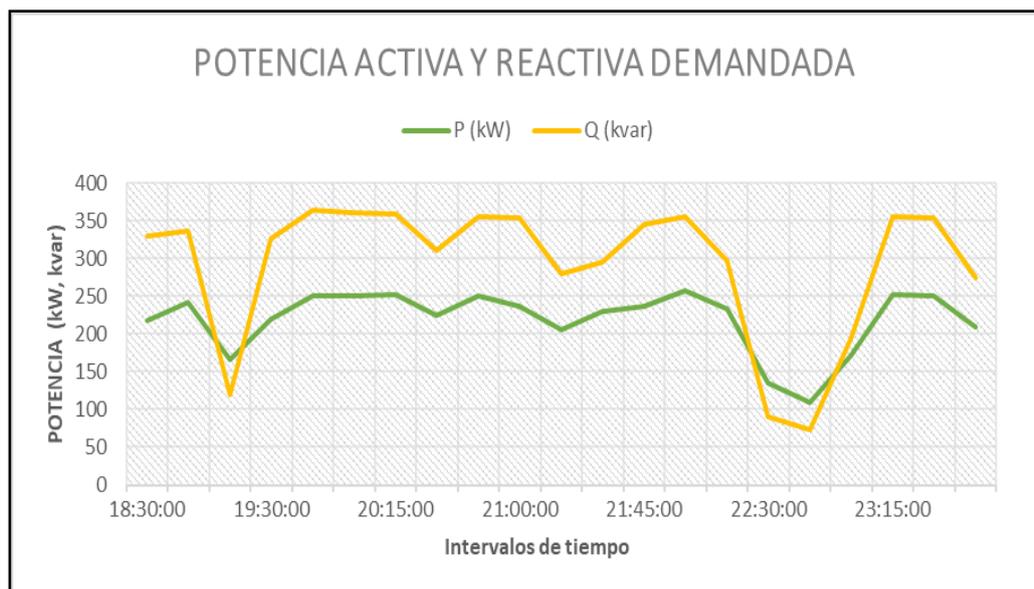


Figura 27. Comportamiento de la potencia activa y reactiva demandada del 23 de febrero del 2019. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.

- **Potencia activa y reactiva demandada del 24 de febrero del 2019**

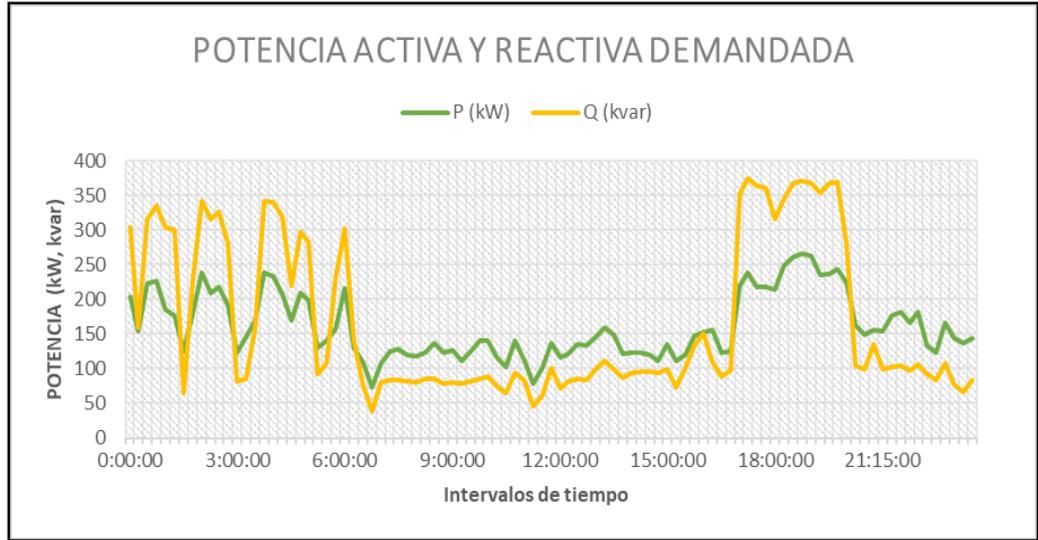


Figura 28. Comportamiento de la potencia activa y reactiva demandada del 24 de febrero del 2019. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.

- **Potencia activa y reactiva demandada del 25 de febrero del 2019**

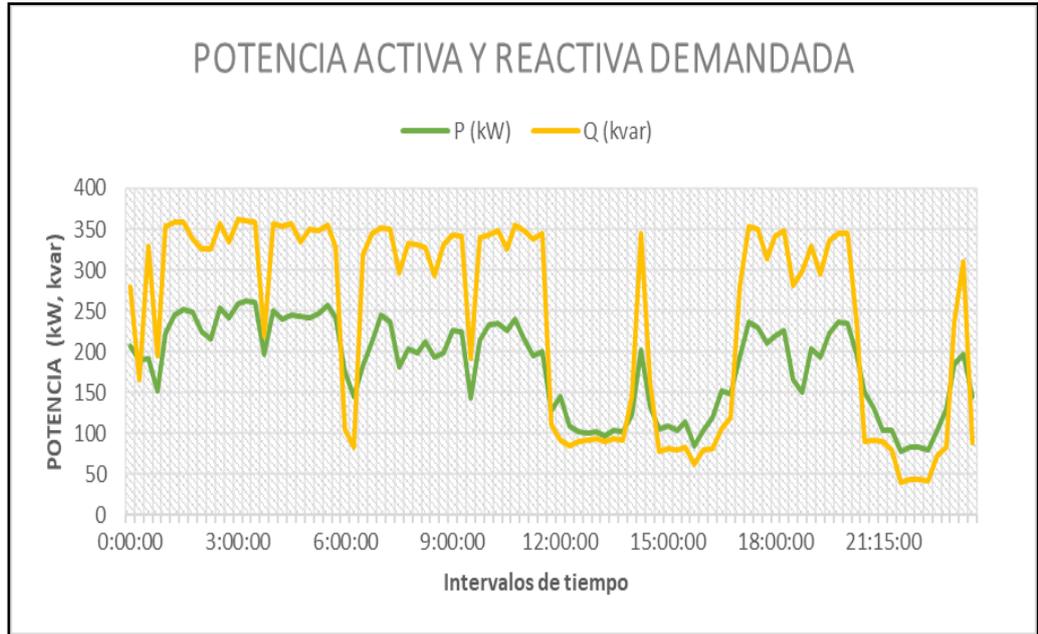


Figura 29. Comportamiento de la potencia activa y reactiva demandada del 25 de febrero del 2019. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.

- **Potencia activa y reactiva demandada del 26 de febrero del 2019**

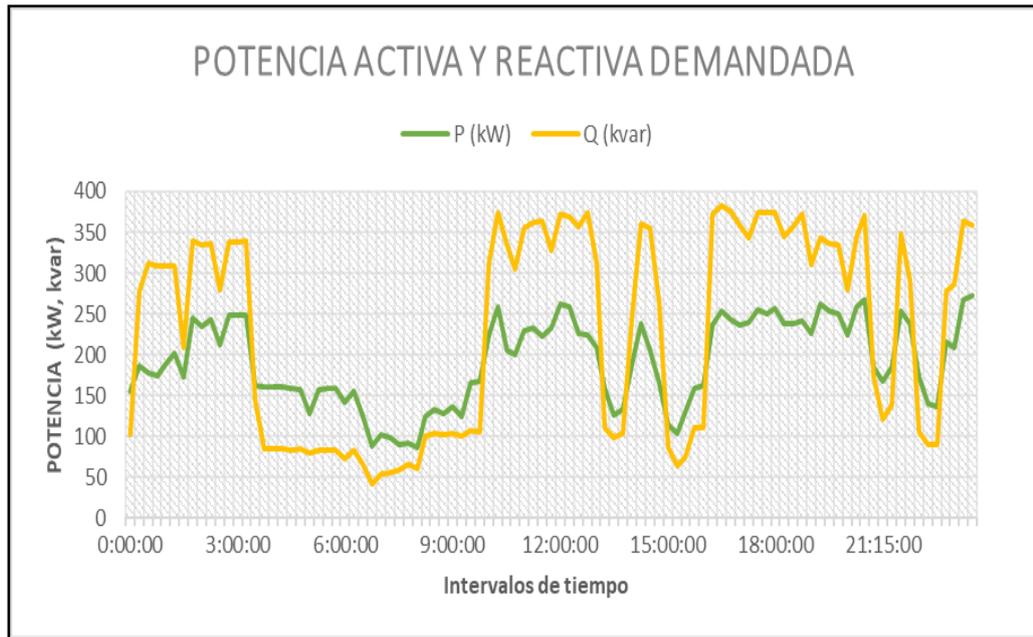


Figura 30. Comportamiento de la potencia activa y reactiva demandada del 26 de febrero del 2019. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.

- **Potencia activa y reactiva demandada del 27 de febrero del 2019**

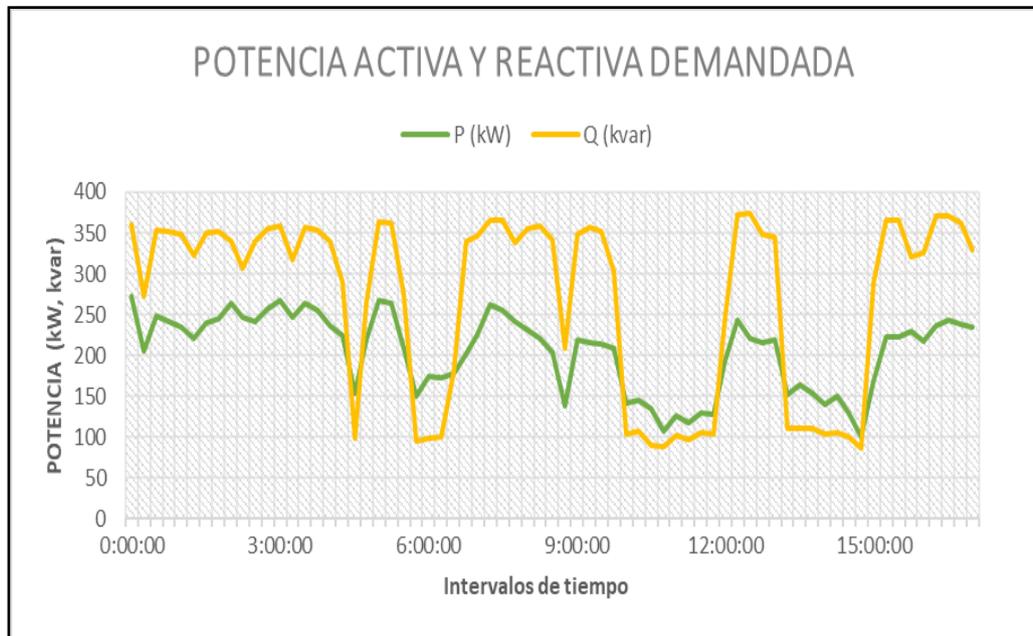


Figura 31. Comportamiento de la potencia activa y reactiva demandada del 27 de febrero del 2019. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.

- **Comportamiento del factor de potencia del 23 de febrero del 2019**

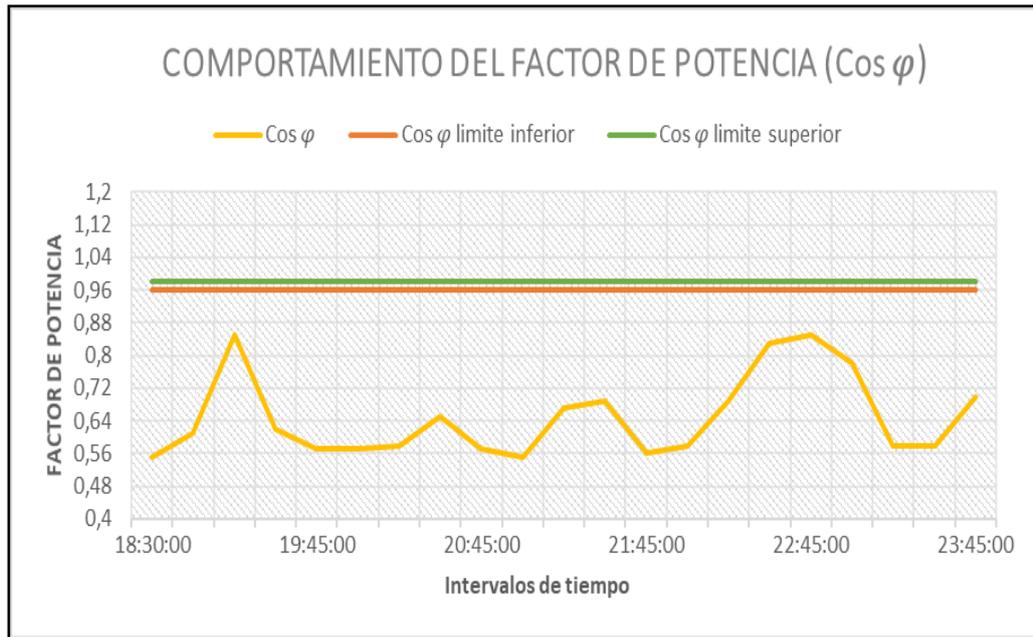


Figura 32. Comportamiento del factor de potencia del 23 de febrero del 2019. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.

- **Comportamiento del factor de potencia del 24 de febrero del 2019**

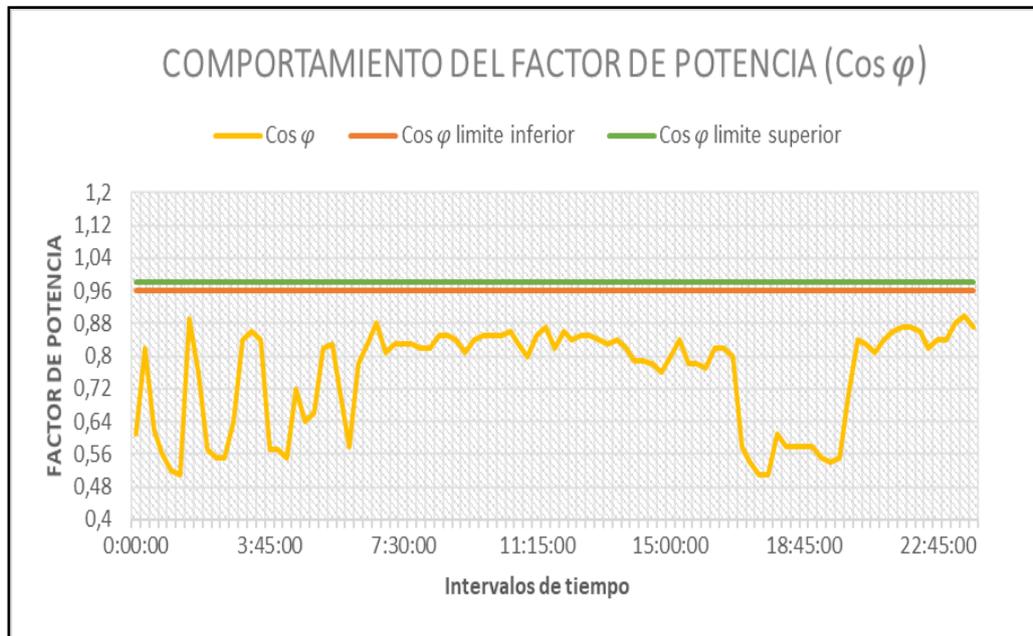


Figura 33. Comportamiento del factor de potencia del 24 de febrero del 2019. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.

- **Comportamiento del factor de potencia del 25 de febrero del 2019**

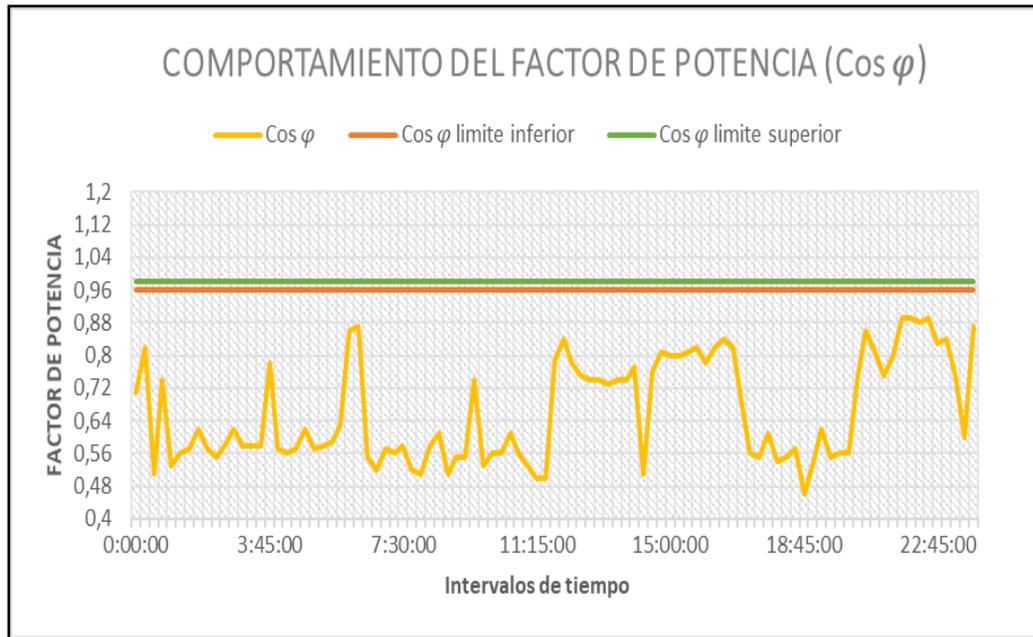


Figura 34. Comportamiento del factor de potencia del 25 de febrero del 2019. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.

- **Comportamiento del factor de potencia del 26 de febrero del 2019**

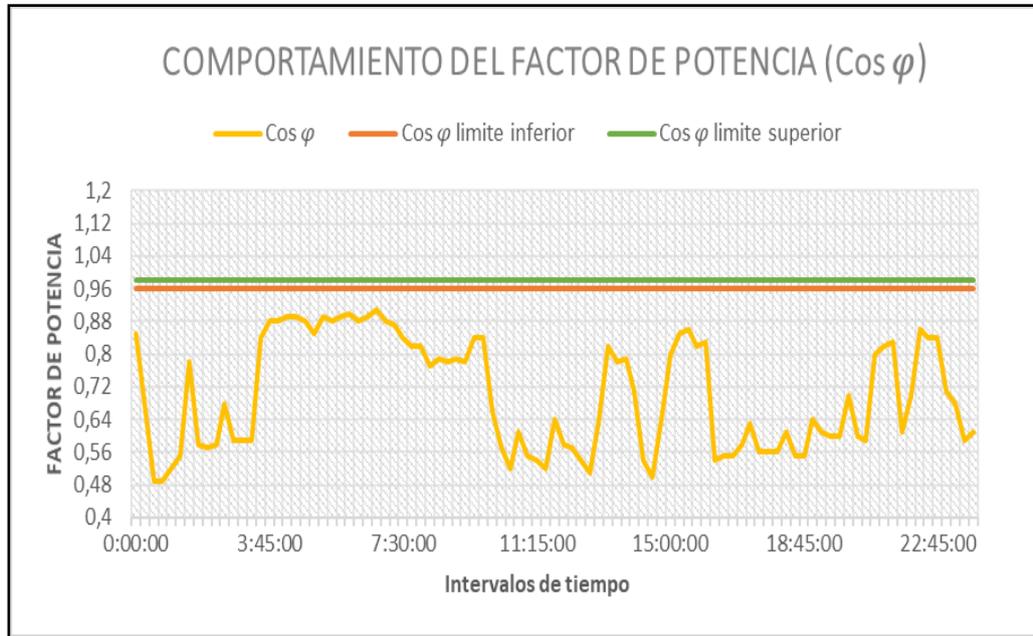


Figura 35. Comportamiento del factor de potencia del 26 de febrero del 2019. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.

- **Comportamiento del factor de potencia del 27 de febrero del 2019**

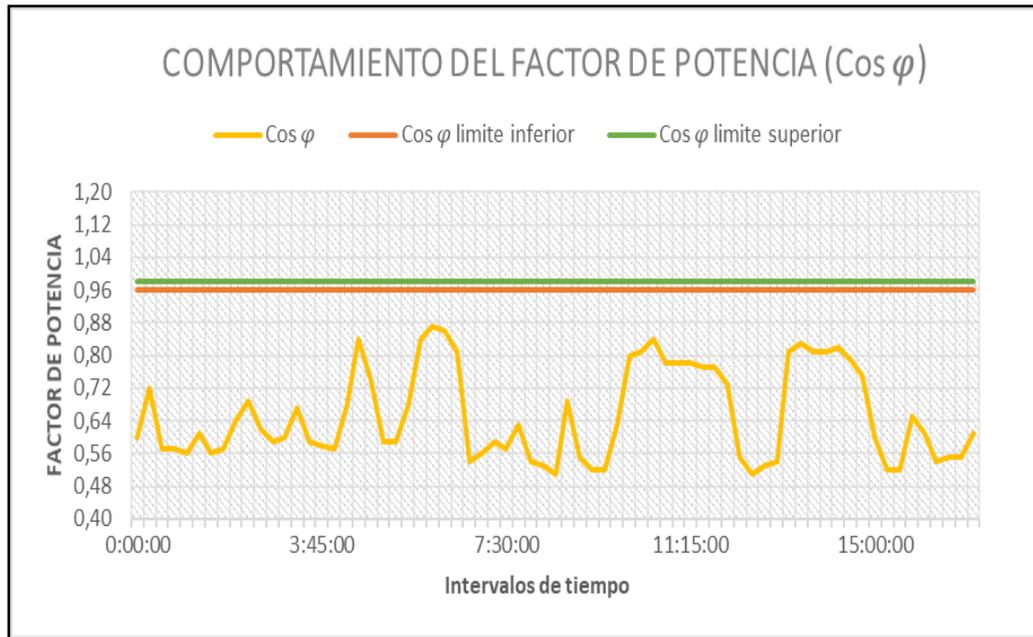


Figura 36. Comportamiento del factor de potencia del 27 de febrero del 2019. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.

c. Dimensionamiento del banco automático

Con los parámetros eléctricos adquiridos por el software Power Vision 1.8c se procedió a realizar el diseño del banco de capacitores para la corrección del factor de potencia. Estos parámetros permitieron seleccionar el tipo de banco de capacitores a utilizar según el comportamiento de carga del sistema eléctrico en la planta, así como también conocer los kvar necesarios por el banco de capacitores para poder llevar el factor de potencia por encima del margen del valor permitido por la norma y requerido por la planta.

Utilizando el método especificado en el apartado “a” (el método más simplificado), se realizó para cada periodo de tiempo el cálculo de la potencia reactiva requerida para llevar el factor de potencia de la planta al valor deseado de 0,98.

La máxima potencia activa que registró el analizador de redes eléctricas fue de 272,39 kW con una potencia reactiva registrada de 360,64 kVAR, el $\text{cos } \varphi$ para esas dos potencias fue de 0,60 con un ángulo de $53,13^\circ$. En

base a esos valores se calculó la potencia reactiva requerida para el banco de capacitores.

Se consideró en el inicio de los cálculos un factor de potencia requerido de 0,98 con un ángulo de 11,48° indicado en la ecuación (42).

De la expresión anterior tenemos:

$$P = 272,39 \text{ kW} . \quad (46)$$

$$\varphi_1 = 53,13^\circ . \quad (47)$$

Se reemplazó las ecuaciones (42), (46) y (47) en la ecuación (21) :

$$Q_{bc} = 272,39 (\tan 53,13^\circ - \tan 11,48^\circ) ,$$
$$Q_{bc} = 306,98 \text{ kvar} . \quad (48)$$

De acuerdo con los datos obtenidos por el analizador, el mínimo valor obtenido de potencia activa fue de 72,56 kW con una potencia reactiva de 39,24 kVAR y un $\cos \varphi$ de 0,88 con un ángulo de 28,36°.

De la expresión anterior tenemos:

$$P = 72,56 \text{ kW} . \quad (49)$$

$$\varphi_2 = 28,36^\circ . \quad (50)$$

Se reemplazó las ecuaciones (42), (49) y (50) en la ecuación (21) :

$$Q_{bc} = 72,56 (\tan 28,36^\circ - \tan 11,48^\circ) ,$$
$$Q_{bc} = 24,38 \text{ kvar} . \quad (51)$$

Una vez obtenida la potencia reactiva necesaria para el banco de capacitores (306,98 kvar), se procedió a realizar la validación utilizando el software Microsoft Excel donde se simuló el comportamiento del factor de potencia y la potencia reactiva requerida por la planta.

La optimización de la potencia reactiva del banco de capacitores se realizó observando el comportamiento del factor de potencia ante la variación de diferentes valores de potencia reactiva registrados por el equipo analizador de redes en periodo del 23 al 27 de febrero.

Para poder calcular el $\cos \varphi_2$ nos apoyamos de la ecuación (21) y despejando el valor de $\cos \varphi_2$ obtuvimos la siguiente ecuación:

$$\cos \varphi_2 = \cos \left(\tan^{-1} \left(\frac{Q_1 - Q_{bc}}{P} \right) \right). \quad (52)$$

Utilizando esta ecuación se procedió a realizar la simulación por medio del software Microsoft Excel. Se empezó con las potencias reactivas requeridas máximas registradas.

Para poder detallar el procedimiento realizado, se tomó como primer dato la potencia reactiva máxima registrada el día 23 de febrero a las 19:45:00. Datos obtenidos de la Tabla 8:

$$P = 249,657 \text{ kW} . \quad (53)$$

$$Q_1 = 363,162 \text{ kvar} . \quad (54)$$

Reemplazando las ecuaciones (48), (53) y (54) en la ecuación (52), obtuvimos lo siguiente:

$$\cos \varphi_2 = \cos \left(\tan^{-1} \left(\frac{363,162 - 306,98}{249,657} \right) \right),$$

$$\cos \varphi_2 = 0,98 . \quad (55)$$

De la misma forma se obtuvo la potencia reactiva final (Q_2). Reemplazando las ecuaciones (48) y (54) en la ecuación (17), se calculó dicha potencia:

$$Q_2 = 363,162 - 306,98 ,$$

$$Q_2 = 60,762 \text{ kvar} . \quad (56)$$

De la misma forma se calculó y simuló para los días restantes el valor de $\cos \varphi_2$ deseado.

Tabla 8. Simulación en base a la potencia reactiva calculada de 306,98 kvar

P(kW)	Q ₁ (kvar)	Cos φ_1	Q _{bc} (kvar)	Q ₂ (kvar)	Cos φ_2
249,657	363,162	0,57	306,98	60,762	0,98
249,803	360,817	0,57	306,98	58,417	0,98

P(kW)	Q₁(kvar)	Cos φ_1	Qbc(kvar)	Q₂(kvar)	Cos φ_2
251,975	358,226	0,58	306,98	55,826	0,98
257,142	356,100	0,58	306,98	53,7	0,98
250,697	355,737	0,57	306,98	53,337	0,98
251,271	354,967	0,58	306,98	52,567	0,98
250,567	353,287	0,58	306,98	50,887	0,98
235,816	353,070	0,55	306,98	50,67	0,98
236,651	344,518	0,56	306,98	42,118	0,99
242,464	336,357	0,61	306,98	33,957	0,99
239,095	373,95	0,54	306,98	33,75	0,96
266,249	370,483	0,58	306,98	68,083	0,97
243,116	369,398	0,55	306,98	29,198	0,97
261,347	367,824	0,58	306,98	65,424	0,97

Se observó que el valor calculado cumplió con mejorar el factor de potencia. Para la siguiente simulación se consideró una potencia reactiva comercial de 302,4 kvar aproximada al valor calculado.

Tabla 9. Simulación en base a la potencia reactiva comercial de 302,4 kvar

P (kW)	Q (kvar)	Cos φ_i	Qbc (kvar)	Qf (kvar)	Cos φ_f
249,657	363,162	0,54	302,4	60,762	0,97
249,803	360,817	0,57	302,4	58,417	0,97
251,975	358,226	0,57	302,4	55,826	0,98
257,142	356,100	0,58	302,4	53,7	0,98
250,697	355,737	0,58	302,4	53,337	0,98
251,271	354,967	0,57	302,4	52,567	0,98
250,567	353,287	0,58	302,4	50,887	0,98
235,816	353,070	0,58	302,4	50,67	0,98
236,651	344,518	0,55	302,4	42,118	0,98
242,464	336,357	0,56	302,4	33,957	0,99
239,095	373,95	0,61	302,4	33,75	0,96
266,249	370,483	0,54	302,4	68,083	0,97
243,116	369,398	0,58	302,4	29,198	0,96
261,347	367,824	0,55	302,4	65,424	0,97

Como en el caso anterior se puede visualizar algunos factores de potencia muy cercanos a la zona de penalización, por lo que se tuvo que aumentar la capacidad al valor comercial siguiente de 340,2 kvar.

Tabla 10. Simulación en base a la potencia reactiva comercial de 340,2 kvar

P (kW)	Q (kvar)	Cos ϕ_i	Q _{bc} (kvar)	Q _f (kvar)	Cos ϕ_f
249,657	363,162	0,54	340,2	60,762	1,00
249,803	360,817	0,57	340,2	58,417	1,00
251,975	358,226	0,57	340,2	55,826	1,00
257,142	356,100	0,58	340,2	53,7	1,00
250,697	355,737	0,58	340,2	53,337	1,00
251,271	354,967	0,57	340,2	52,567	1,00
250,567	353,287	0,58	340,2	50,887	1,00
235,816	353,070	0,58	340,2	50,67	1,00
236,651	344,518	0,55	340,2	42,118	1,00
242,464	336,357	0,56	340,2	33,957	1,00
239,095	373,95	0,61	340,2	33,75	0,99
266,249	370,483	0,54	340,2	68,083	0,99
243,116	369,398	0,58	340,2	29,198	0,99
261,347	367,824	0,55	340,2	65,424	0,99

Después de que se realizó las simulaciones en el software Microsoft Excel, se determinó que el banco de capacitores con una potencia reactiva de 340,2 kvar, satisface los requerimientos de Osinergmin con un factor de potencia por encima del valor de 0,9578.

La capacidad total del banco de capacitores finalmente se definió con la siguiente ecuación:

$$Q_{bc} = 340,2 \text{ kvar}. \quad (57)$$

También se realizó un análisis para futuras expansiones de carga que se puedan dar, se observó el comportamiento de la potencia aparente mostrada en la Figura 37.

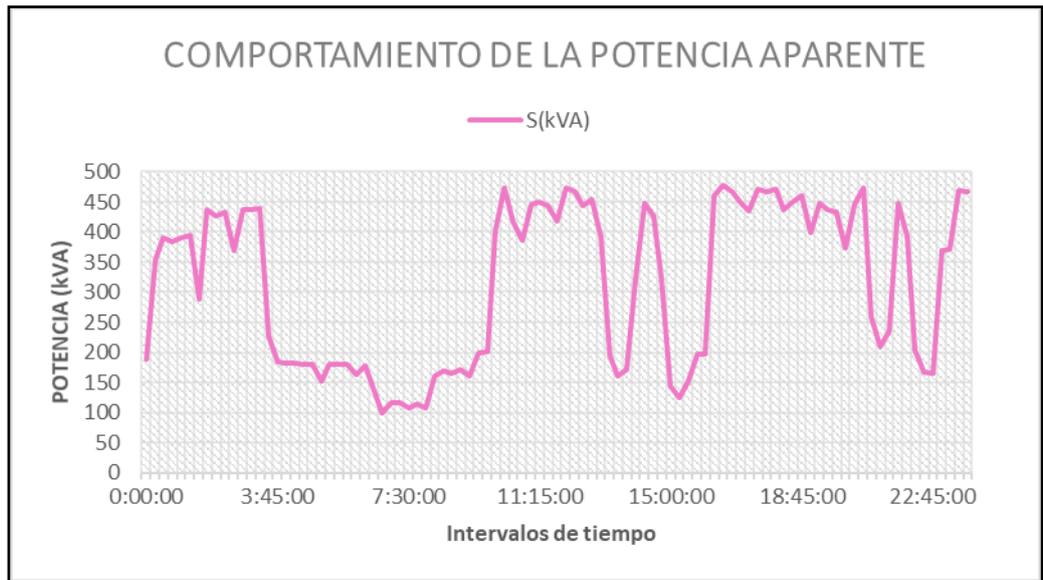


Figura 37. Comportamiento de la potencia aparente. Tomada del software Power Vision 1.8c al exportar los datos proporcionados por el equipo analizador de redes eléctricas.

Se tuvo en consideración la posibilidad de alguna adición de la carga a futuro que se pueda implementar en la planta y pueda afectar en el compartimiento de la potencia reactiva requerida afectando de esta forma a la optimización del consumo de energía reactiva.

De la Figura 37 se pudo observar que la máxima potencia aparente registrada por el equipo analizador de redes eléctricas fue de 477,03 kVA, dato que se tuvo que considerar para poder analizar y conocer cual tendría que ser la capacidad del banco de capacitores. Además, se supo que el transformador ubicado en la subestación de la planta posee una capacidad de 800 kVA tal y como se muestra en la figura Figura 38.

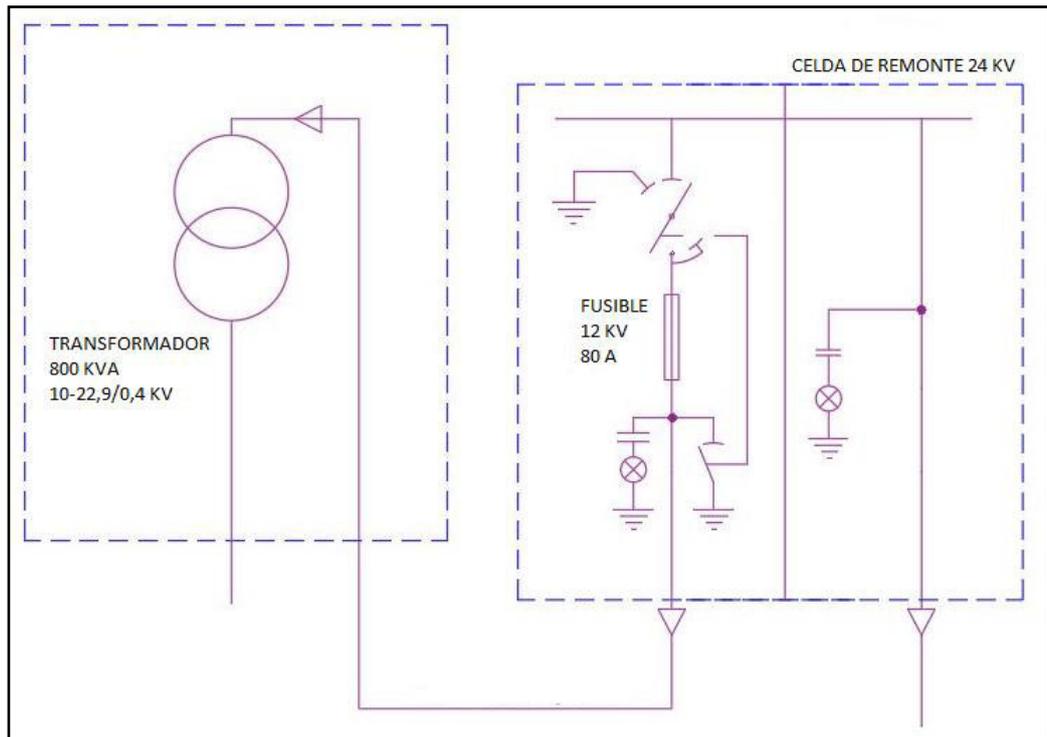


Figura 38. Diagrama unifilar del transformador. Elaborada en base a los datos obtenidos en la presente investigación.

Se observó que el transformador está trabajando al 59,63% de su capacidad, por lo que podría consideró un aumento de carga futura.

En base a la información presentada pudimos notar que la capacidad extra del transformador estaría dada por:

$$S_{extra} = S_T - S_{m\acute{a}x} , \quad (58)$$

donde:

S_{extra} : Capacidad extra del transformador (kVA).

S_T : Capacidad total del transformador (kVA).

$S_{m\acute{a}x}$: Capacidad máxima registrada por el analizador (kVA).

Los datos obtenidos se detallan:

$$S_T = 800 \text{ kVA} . \quad (59)$$

$$S_{m\acute{a}x} = 477,03 \text{ kVA} . \quad (60)$$

Asumiendo una carga futura con un factor de potencia de 0,80:

$$\varphi = 36,87^\circ . \quad (61)$$

Reemplazamos las ecuaciones (59), (60) en la ecuación (58) y se asumió el 80% como máxima capacidad admisible del transformador obteniéndose la potencia a aumentar:

$$\begin{aligned} S_{extra} &= 640 - 477,03 , \\ S_{extra} &= 162,97 \text{ kVA} . \end{aligned} \quad (62)$$

Mediante la siguiente ecuación se pudo determinar la potencia reactiva que se debe adicionar para cubrir cargas a futuro.

$$Q_{adicional} = S_{extra} \times \sin \varphi . \quad (63)$$

Reemplazando las ecuaciones (61) y (62) en la ecuación (63) se obtuvo lo siguiente:

$$\begin{aligned} Q_{adicional} &= 162,97 \times \sin 36,87^\circ , \\ Q_{adicional} &= 96,64 \text{ kvar} . \end{aligned} \quad (64)$$

De lo obtenido se observó que el banco de capacitores debe tener en consideración una potencia reactiva de 96,64 kvar para alguna carga que se adicione en la planta. La capacidad total del banco de capacitores estaría dada por la siguiente expresión:

$$Q_{bc} = Q_{bc \text{ inicial}} + Q_{adicional} . \quad (65)$$

Reemplazando las ecuaciones (57) y (64) en la ecuación (65) obtuvimos lo siguiente:

$$\begin{aligned} Q_{bc} &= 340,2 + 96,64 , \\ Q_{bc} &= 436,84 \text{ kvar} . \end{aligned} \quad (66)$$

Se pudo notar que con una capacidad del banco de 436,84 kvar se puede abastecer alguna carga que pueda instalarse en el futuro. Por esta razón, en el proceso de selección de pasos eléctricos y físicos se dejó pasos disponibles para en caso de expansión añadir capacitores y poder

abastecer la energía reactiva solicitada por la nueva carga manteniendo el factor de potencia por encima de lo contemplado por la norma.

Una vez que conocida la potencia reactiva a implementar, se procedió a seleccionar los pasos eléctricos y físicos necesarios. Teniendo en cuenta las especificaciones y valores comerciales existentes, se determinó los pasos eléctricos de la siguiente manera 1:2:3:3:3:3:3:3:3 como se especifica en la Tabla 11.

Tabla 11. Pasos eléctricos del banco de capacitores

Pasos	Potencia (kvar)	Secuencia
1	12,6	1
2	25,2	2
3	37,8	3
4	37,8	3
5	37,8	3
6	37,8	3
7	37,8	3
8	37,8	3
9	37,8	3
10	37,8	3
11	Reserva	-
12	Reserva	-
13	Reserva	-
Total	340,2	

d. Calculo de elementos del banco de capacitores

- **Capacitor**

Este elemento tiene el trabajo de inyectar la potencia reactiva a la planta según se requiera para poder mejorar el factor de potencia. Se determinó un total de 18 capacitores, los cuales están conformados por 9 capacitores de 12,6 kvar y 9 capacitores de 25,2 kvar. Estos capacitores han sido configurados en pasos eléctricos de 12,6 kvar, 25,2 kvar y 37,8 kvar. Debido a esta configuración se calculó la corriente que pasa por cada escalón eléctrico:

- Para el paso de 12,6 kvar:

$$Q = 12,6 \text{ kvar} . \quad (67)$$

$$U = 380 \text{ V} . \quad (68)$$

$$\sin \varphi = 1 . \quad (69)$$

Se reemplazó las ecuaciones (67), (68) y (69) en la ecuación (8):

$$I = \frac{12600}{\sqrt{3} \times 380 \times 1} ,$$

$$I = 19,14 \text{ A} . \quad (70)$$

➤ Para el paso de 25,2 kvar:

$$Q = 25,2 \text{ kvar} . \quad (71)$$

Se reemplazó las ecuaciones (68), (69) y (71) en la ecuación (8):

$$I = \frac{25200}{\sqrt{3} \times 380 \times 1} ,$$

$$I = 38,28 \text{ A} . \quad (72)$$

➤ Para el paso de 37,8 kvar:

$$Q = 37,8 \text{ kvar} . \quad (73)$$

Se reemplazó las ecuaciones (68), (69) y (73) en la ecuación (8):

$$I = \frac{37800}{\sqrt{3} \times 380 \times 1} ,$$

$$I = 57,43 \text{ A} . \quad (74)$$

- **Contactador**

Este elemento es quien va a conectar y desconectar los escalones y son controlados por el regulador que regula el factor de potencia. Para poder conocer la corriente que pasa por el contactor se calculó utilizando la ecuación (26) para cada paso eléctrico:

➤ Para el paso de 12,6 kvar se reemplazó la ecuación (70) en la ecuación (26):

$$I_{\text{contactador}} = 1,5 \times 19,14 ,$$

$$I_{\text{Contactor}} = 28,71 \text{ A} . \quad (75)$$

- Para el paso de 25,2 kvar se reemplazó la ecuación (72) en la ecuación (26):

$$I_{\text{Contactor}} = 1,5 \times 38,28 ,$$

$$I_{\text{Contactor}} = 57,42 \text{ A} . \quad (76)$$

- Para el paso de 37,8 kvar se reemplazó le ecuación (74) en la ecuación (26):

$$I_{\text{Contactor}} = 1,5 \times 57,43 ,$$

$$I_{\text{Contactor}} = 86,15 \text{ A} . \quad (77)$$

- **Calculo de interruptor termomagnético**

Para poder determinar la protección principal y la protección por cada paso eléctrico se tuvo que determinar primero la corriente de paso.

- Calculo del ITM principal:

Para poder calcular la capacidad del ITM principal, primero se calculó la corriente total del banco de capacitores. Se reemplazó las ecuaciones (57), (68) y (69) en la ecuación (8):

$$I = \frac{340200}{\sqrt{3} \times 380 \times 1} ,$$

$$I = 516,88 \text{ A} . \quad (78)$$

Posteriormente se reemplazó la ecuación (78) en la ecuación (27):

$$I_{ITM} = 1,43 \times 516,88 ,$$

$$I_{ITM} = 739,13 \text{ A} . \quad (79)$$

- Cálculo del ITM para el paso de 12,6 kvar:
Para poder calcular la capacidad del ITM. Se reemplazó la ecuación (70) en la ecuación (27):

$$I_{ITM} = 1,43 \times 19,14 ,$$

$$I_{ITM} = 27,37 A . \quad (80)$$

- Cálculo del ITM para el paso de 25,2 kvar:
Se reemplazó la ecuación (72) en la ecuación (27):

$$I_{ITM} = 1,43 \times 38,28 ,$$

$$I_{ITM} = 57,74 A . \quad (81)$$

- Cálculo del ITM para el paso de 37,8 kvar:
Se reemplazó la ecuación (74) en la ecuación (27):

$$I_{ITM} = 1,43 \times 57,43 ,$$

$$I_{ITM} = 82,13 A . \quad (82)$$

- **Transformador de corriente**

Para poder tomar la lectura de la corriente que circula por la instalación se colocó este equipo para que el regulador de factor de potencia la pueda registrar.

Se reemplazó las ecuaciones (59) y (68) en la ecuación (28):

$$I = \frac{800000}{\sqrt{3} \times 380} ,$$

$$I = 1215,47 A . \quad (83)$$

- **Regulador**

Se seleccionó un regulador automático de factor de potencia que pueda controlar 12 pasos, ya que 10 pasos son los que va a controlar y los 2 restantes se dejó como reserva para alguna carga futura.

Se consideró también un factor de C/K para poder dar una tolerancia de sensibilidad. Para calcular este valor se reemplazó las ecuaciones (67), (68) y (83) en la ecuación (25):

$$\frac{C}{K} = \frac{12600}{\frac{1215,47}{5} \times 380 \times \sqrt{3}},$$

$$\frac{C}{K} = 0,078 . \quad (84)$$

- **Conductores eléctricos**

Para tener en cuenta la dimensión de los cables de alimentación de los capacitores, se consideró las corrientes calculadas en los apartados anteriores. En base a la ecuación (29), se realizó el siguiente calculo:

- Para el paso de 12,6 kvar se reemplazó la ecuación (70) en la ecuación (29):

$$I_{conductor} = 1,5 \times 19,14 ,$$

$$I_{conductor} = 28,71 A . \quad (85)$$

- Para el paso de 25,2 kvar se reemplazó la ecuación (72) en la ecuación (29):

$$I_{conductor} = 1,5 \times 38,28 ,$$

$$I_{conductor} = 57,42 A . \quad (86)$$

- Para el paso de 37,8 kvar se reemplazó la ecuación (74) en la ecuación (29):

$$I_{conductor} = 1,5 \times 57,43 ,$$

$$I_{conductor} = 86,15 A . \quad (87)$$

4.6.3 Análisis económico

Según se detalla en la Tabla 31, se observó los montos por consumos de energía reactiva que viene facturando la plantar por no usar un banco de capacitores que permita optimizar dicho consumo. Este ahorro que se estimó para eliminar la facturación por concepto de energía reactiva fue de S/.39 068,85.

El costo de inversión para este proyecto fue de S/.37 245,31, ver Figura 50 adjunta en el anexo.

a. Cálculo del VAN

Para este proyecto se tomó en cuenta una tasa de interés del 12%, que es la tasa de interés para proyectos en el sector eléctrico, tal como se muestra en la Figura 39.

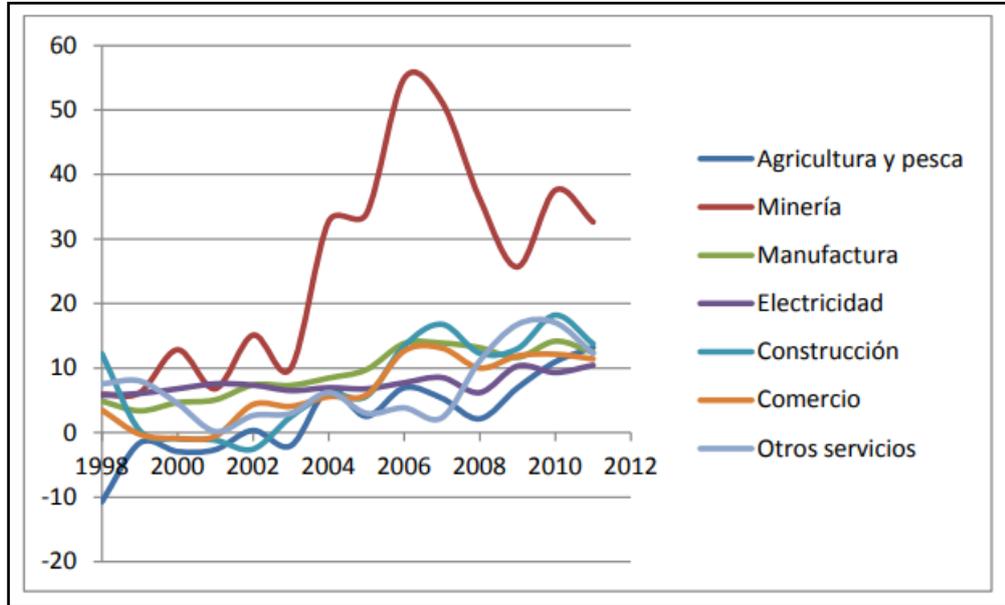


Figura 39. Evolución de las tasas de interés. Tomado de la dirección general de proyectos de inversión (DGPI-MEF, 2012).

De los datos obtenidos en la presente investigación:

$$I_n = S/. 39\,068,85 . \tag{88}$$

$$E_n = S/. 37\,245,31 . \tag{89}$$

$$n = 2 \text{ años} . \tag{90}$$

$$i = 12\% . \tag{91}$$

Reemplazamos las ecuaciones (88), (89), (90) y (91) en la ecuación (31):

$$VAN = -37\,245,31 + \frac{39\,068,85}{(1+0,12)^1} + \frac{39\,068,85}{(1+0,12)^2} ,$$

$$VAN = S/. 28\,783,04 . \tag{92}$$

El valor del VAN calculado fue positivo; por lo tanto, la inversión fue viable.

b. Calculo del TIR

Para el cálculo del TIR se reemplazó las ecuaciones (88), (89) y (90) en la ecuación (32):

$$0 = -37\,245,31 + \frac{39\,068,85}{(1+TIR)^1} + \frac{39\,068,85}{(1+TIR)^2},$$
$$TIR = 67,51\% . \quad (93)$$

La tasa de retorno de inversión calculada es mayor a la tasa de interés; por lo tanto, el proyecto fue rentable.

c. Calculo del B/C

Para el cálculo del beneficio/costo se reemplazó las ecuaciones (88) y (89) en la ecuación (33).

$$\frac{B}{C} = \frac{39\,068,85}{37\,245,31},$$
$$\frac{B}{C} = 1,048 . \quad (94)$$

El resultado fue mayor a la unidad; por lo tanto, el proyecto es rentable.

V. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de la investigación:

5.1 Resultados descriptivos.

De acuerdo con los datos registrados con referencia a los parámetros eléctricos, se obtuvo la siguiente información:

5.1.1 Datos obtenidos de la factura eléctrica

Estos datos fueron obtenidos del mes de febrero, el cual fue el mes con mayor demanda de energía registrada en los últimos 12 meses.

a. Parámetros eléctricos antes de la optimización

Estos son los datos obtenidos en base a la factura de febrero 2019.

Tabla 12. *Factor de potencia y Potencia Activa*

Factor de potencia ($\cos \varphi_i$)	Potencia activa (kW)	Potencia reactiva (kvar)
0,615	281,94	361,49

b. Parámetros eléctricos después de la optimización

Se calculó en base a 3 métodos diferentes la potencia reactiva necesaria para el banco de capacitores. Posteriormente se realizó la simulación en base al método más simplificado.

Tabla 13. *Métodos para calcular la potencia reactiva en base a los datos obtenidos de la factura eléctrica*

N°	Método	Potencia reactiva (kvar)	Factor de potencia ($\cos \varphi_f$)
1	Triángulo de potencias	304,26	0,98
2	Uso de tablas	309,01	0,98
3	Uso de nomograma	307,31	0,98

En base a la Tabla 13, se realizó una comparación la cuál comprobó que la potencia reactiva requerida por la planta en base a la información obtenida de la factura eléctrica se visualiza en la Tabla 14:

Tabla 14. Comparación de la potencia reactiva antes y después de la optimización

Método	Antes de la optimización			Q_{bc} (kvar)	Después de la optimización	
	P (kW)	Q (kvar)	Cos ϕ_i		Qf (kvar)	Cos ϕ_f
1	281,94	361,49	0,615	304,26	57,23	0,98
2	281,94	361,49	0,615	309,01	52,48	0,98
3	281,94	361,49	0,615	307,31	54,18	0,98

5.1.2 Datos obtenidos mediante el analizador de redes

Para la recolección de los parámetros, el equipo analizador de redes eléctricas fue instalado durante un periodo de 5 días, el cual inicio el día 23 de febrero y culminó el día 27 de febrero con intervalos de medición de 15 minutos.

a. Parámetros eléctricos antes de la optimización

De la información recolectada con la ayuda del analizador de redes se pudo recoger la siguiente información:

- **Potencia Activa**

De la información que se recolectó por el analizador de redes eléctricas se obtuvo la siguiente información acerca del comportamiento de la potencia activa.

Tabla 15. Valores máximos y mínimos registrados de potencia activa en el analizador de redes eléctricas

Potencia Activa (kW)	
Valor Máximo	272,392
Valor promedio	185,48
Valor mínimo	75,57

- **Potencia reactiva**

La demanda de potencia reactiva en la planta es de tipo variable según la hora y el día, como empresa del sector manufacturero posee diferentes procesos productivos que influyen en el funcionamiento de las máquinas y/o equipos.

Tabla 16. Valores máximos y mínimos registrados de potencia reactiva en el analizador de redes eléctricas

Potencia Reactiva (kvar)	
Valor Máximo	381,84
Valor promedio	227,54
Valor mínimo	39,24

- **Factor de potencia**

La variación del factor de potencia en la planta es de tipo variable según la hora y el día, como empresa del sector manufacturero posee diferentes procesos productivos que influyen en el funcionamiento de las maquinas.

Tabla 17. Valores máximos y mínimos registrados del factor de potencia en el analizador de redes eléctricas

Factor de potencia ($\cos \varphi_i$)	
Valor Máximo	0,91
Valor promedio	0,69
Valor mínimo	0,46

b. Parámetros eléctricos después de la optimización

Después de revisar y analizar los datos obtenidos del analizador de redes, se realizó simulaciones con ayuda del software Excel para la validación de los valores máximos, promedios y mínimos, teniendo en cuenta los pasos eléctricos definidos en la Tabla 11.

Tabla 18. Simulación de valores máximos de potencia activa, reactiva y factor de potencia registrados

Antes de la optimización			Qbc (kvar)	Después de la optimización	
P (kW)	Q (kvar)	Cos φ_i		Qf (kvar)	Cos φ_f
272,39	360,64	0,60	302,4	58,24	0,98
254,03	381,843	0,55	340,2	41,643	0,99
88,275	42,133	0,91	25,2	16,933	0,98

Para los valores promedios registrados se elaboró la siguiente tabla:

Tabla 19. Simulación de valores promedio de potencia activa, reactiva y factor de potencia registrados

Antes de la optimización			Qbc (kvar)	Después de la optimización	
P (kW)	Q (kvar)	Cos φ_i		Qf (kvar)	Cos φ_f
185,48	227,53	0,69	189	38,53	0,98

Finalmente, para los valores mínimos registrados se elaboró la siguiente tabla:

Tabla 20. Simulación de valores mínimos de potencia activa, reactiva y factor de potencia registrados

Antes de la optimización			Qbc (kvar)	Después de la optimización	
P (kW)	Q (kvar)	Cos φ_i		Qf (kvar)	Cos φ_f
72,568	39,244	0,88	25,2	14,044	0,98
72,568	39,244	0,88	25,2	14,044	0,98
149,96	297,789	0,46	264,6	33,189	0,98

- **Comportamiento de la potencia reactiva**

Después de la optimización se logró disminuir la potencia reactiva como se puede ver en la Figura 40.

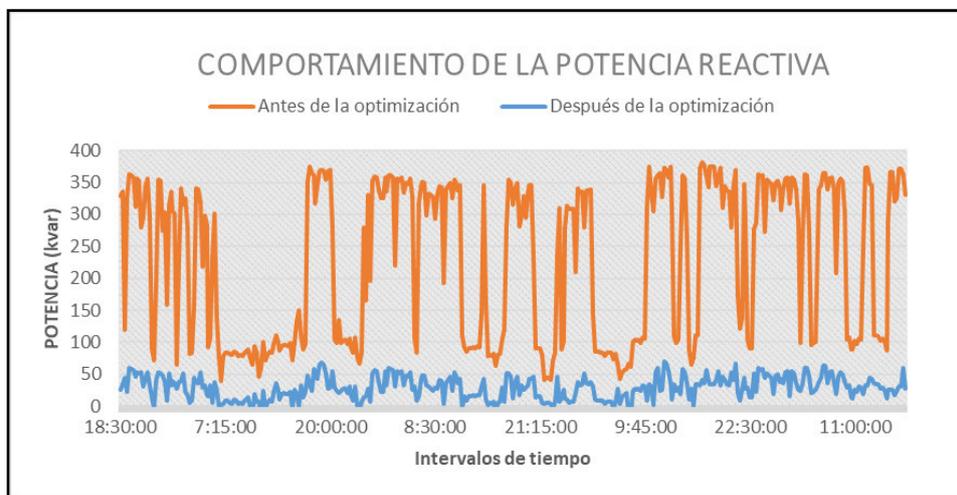


Figura 40. Comportamiento de la potencia reactiva. Elaborado en base a los datos obtenidos por el analizador de redes y simulados en el software Microsoft Excel.

- **Comportamiento del factor de potencia**

Después de que se realizaron las simulaciones con el software Microsoft Excel pudimos ver el comportamiento del factor de potencia.

➤ Primera simulación considerando el valor calculado de 306,8 kvar.

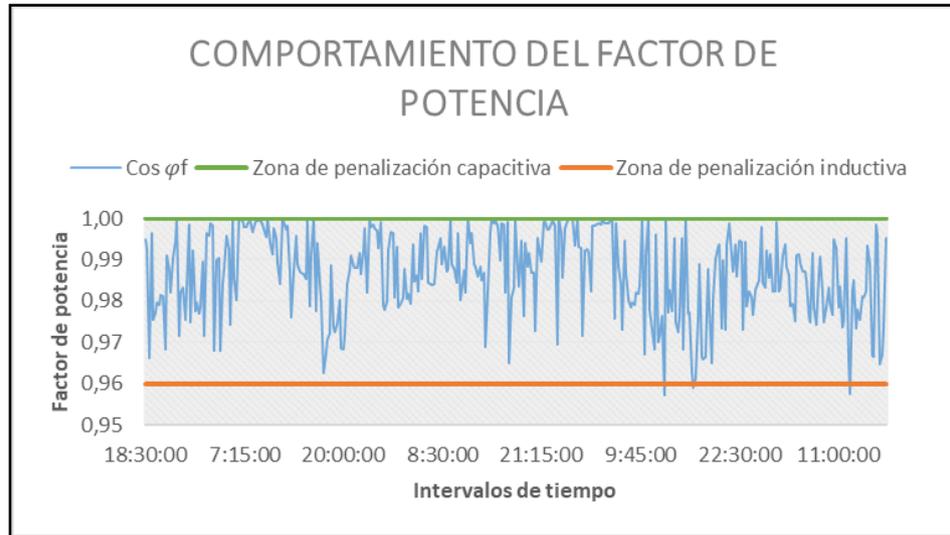


Figura 41. Comportamiento del factor de potencia. Elaborado en base a los datos obtenidos por el analizador de redes y simulados en el software Microsoft Excel.

En la primera simulación que se realizó con el software Microsoft Excel pudimos notar que la capacidad 306,8 kvar presentó en algunos puntos valores por debajo de la zona de penalización inductiva.

Tabla 21. Valores mínimo, promedio y máximo de factor de potencia después de la optimización

Factor de potencia	
Valor Máximo	1,00
Valor promedio	0,99
Valor mínimo	0,957

- Segunda simulación considerando 302,4 kvar (valor comercial).

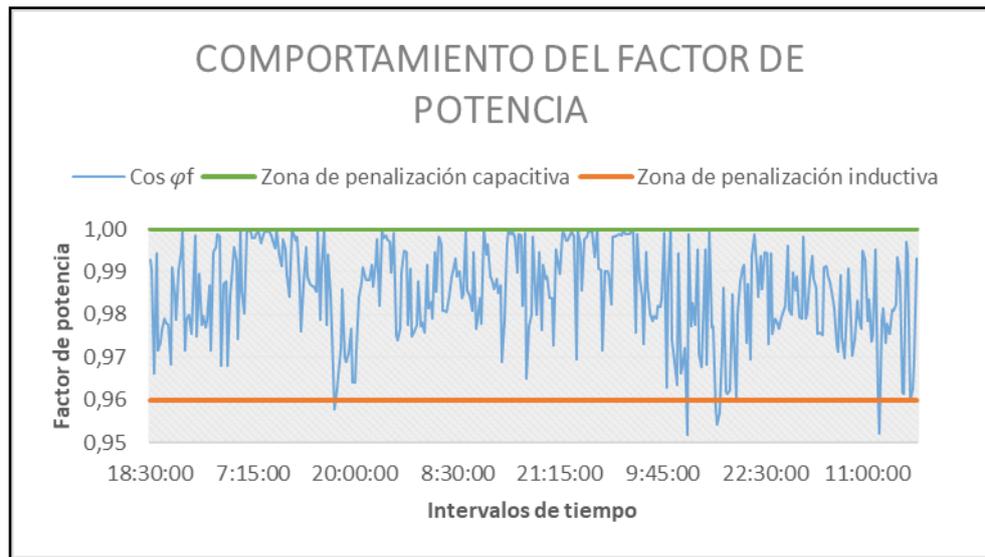


Figura 42. Comportamiento del factor de potencia. Elaborado en base a los datos obtenidos por el analizador de redes y simulados en el software Microsoft Excel.

En la segunda simulación que se realizó con el software Microsoft Excel pudimos notar que la capacidad 302,4 kvar no fue capaz de mantener el factor de potencia por encima de la zona de penalización inductiva.

Tabla 22. Valores mínimo, promedio y máximo de factor de potencia después de la optimización

Factor de potencia	
Valor Máximo	1,00
Valor promedio	0,985
Valor mínimo	0,952

Debido a que la capacidad del banco de capacitores no fue suficiente se agregó un paso eléctrico más y se volvió a realizar la simulación en el software Microsoft Excel.

- Tercera simulación considerando 340,2 kvar (valor comercial).

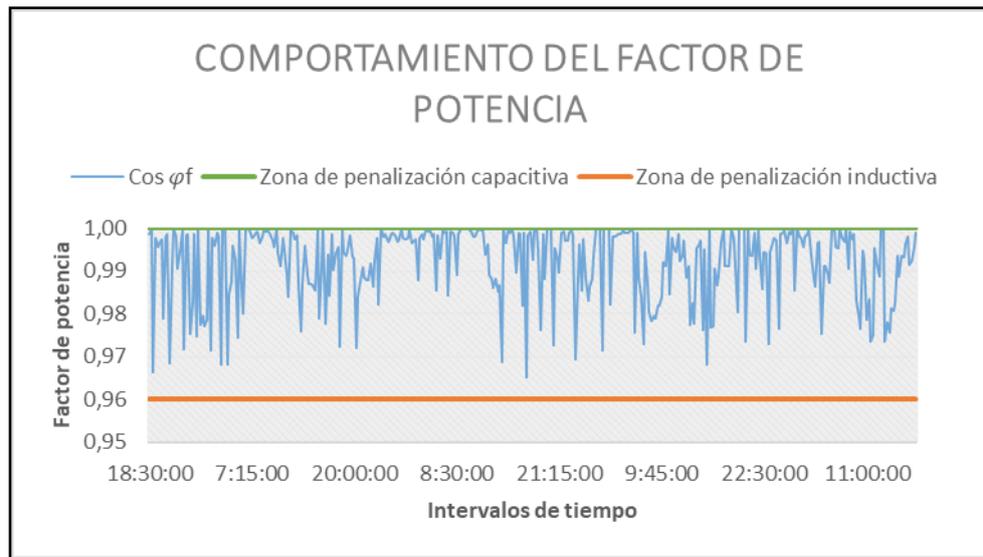


Figura 43. Comportamiento del factor de potencia. Elaborado en base a los datos obtenidos por el analizador de redes y simulados en el software Microsoft Excel.

En la segunda simulación que se realizó con el software Microsoft Excel pudimos notar que al aumentar la capacidad del banco a 340,2 kvar se consiguió mantener el factor de potencia por encima de la zona de penalización inductiva.

Tabla 23. Valores mínimo, promedio y máximo de factor de potencia después de la optimización

Factor de potencia	
Valor Máximo	1,00
Valor promedio	0,99
Valor mínimo	0,97

- **Comportamiento de la energía reactiva después de la optimización**

Se realizó una simulación en base a los factores de potencia obtenidos en la simulación para comprobar si la energía reactiva luego de la optimización excede en 30% a la energía activa estipulada por el ente regulador supervisor Osinergmin.

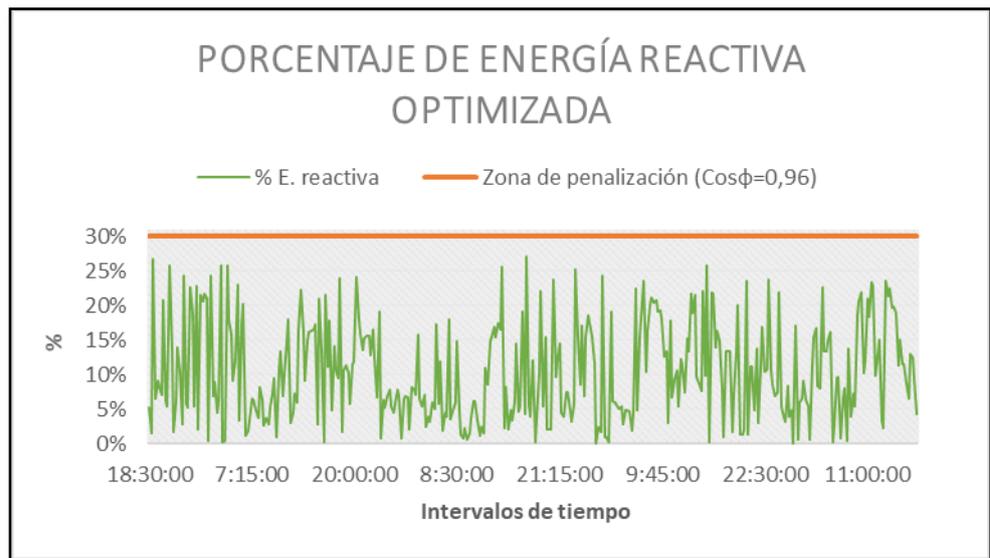


Figura 44. Comportamiento de la energía reactiva. Elaborado en base a los datos obtenidos por el analizador de redes y simulados en el software Microsoft Excel.

- **Distribución de la demanda de potencia reactiva mediante los pasos eléctricos del banco de capacitores**

Se elaboró una gráfica que nos permita ver cómo se va optimizando la potencia reactiva con ayuda de los pasos eléctricos del banco de capacitores.

Como se puede ver en la Figura 45, el comportamiento de los pasos eléctricos va optimizando la potencia reactiva que la planta va requiriendo y esta forma estaríamos garantizando la efectividad del banco de capacitores para cubrir dichas demandas.

También se puede visualizar en la figura los pasos que dejamos de reserva para alguna ampliación que se pueda considerar en el banco de capacitores.

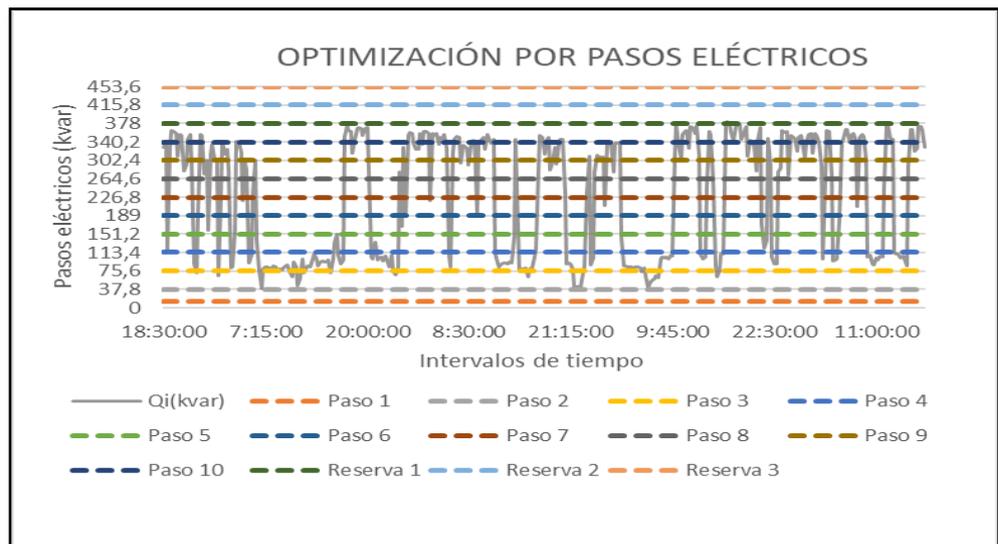


Figura 45. Optimización de la potencia reactiva por pasos eléctricos. Elaborado en base a los datos obtenidos por el analizador de redes y simulados en el software Microsoft Excel.

- **Componentes principales del banco de capacitores**

Se determinaron los siguientes componentes más resaltantes de un banco de capacitores a considerar, según la Tabla 24. *Componentes principales de un banco de capacitores.*

Tabla 24. *Componentes principales de un banco de capacitores*

Componente	Especificación técnicas			Valor comercial
	Q (kvar)	I(A)	Voltaje (V)	
Regulador 12 pasos			220	
Capacitor	12,6	19,14	380	12,6 kvar
Capacitor	25,2	38,28	380	25,2 kvar
Capacitor	37,8	57,43	380	37,8 kvar
Contactador	25	28,71	380	25 kvar
Contactador	50	57,42	380	50 kvar
Contactador	50	86,15	380	50 kvar
ITM Principal	-	739,13	380	800 A
ITM (12,6 kvar)	-	27,37	380	32 A
ITM (25,2 kvar)	-	57,74	380	63 A
ITM (37,8 kvar)	-	82,13	380	100 A
T. corriente	-	1215,47	380	1250 A

5.1.3 Viabilidad del proyecto

Se calculó y evaluó los índices económicos para determinar la viabilidad del proyecto.

Tabla 25. *Indicadores económicos*

Indicador	Resultado	Comentario	Conclusión
VAN	28783,04	El resultado fue positivo	Aprobado
TIR(%)	67,51	Se acepta TIR > tasa	Aprobado
B/C	1,048	El resultado fue mayor a la unidad	Aprobado

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo discutiremos sobre los resultados obtenidos.

6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.

6.1.1 Demostración de la hipótesis

Hipótesis General:

Si usamos un banco de capacitores influiremos en la optimización del consumo de energía reactiva para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín.

Hipótesis específica 1:

Si determinamos la potencia reactiva requerida por la planta sabremos la cantidad a optimizar.

Tabla 26. Resultados de la medición de la potencia reactiva en la planta mediante el analizador de redes eléctricas

Potencia Reactiva (kvar)	
Valor Máximo	381,84
Valor promedio	227,54
Valor mínimo	39,24

Hipótesis específica 2:

Si determinamos el factor de potencia dimensionamos el banco de capacitores.

Tabla 27. Resultados obtenidos en base a un factor de potencia deseado de 0,98 para el dimensionamiento del banco de capacitores

Antes de la optimización			Qbc (kvar)	Después de la optimización	
P (kW)	Q (kvar)	Cos φ_i		Qf (kvar)	Cos φ_f
272,39	360,64	0,60	302,4	58,24	0,98
254,03	381,843	0,55	340,2	41,643	0,99
88,275	42,133	0,91	25,2	16,933	0,98

Se demostró que el banco de capacitores siempre llevará el factor de potencia a 0,98 como valor objetivo; sin embargo, este irá fluctuando entre valores de 0,97 a 1, dependiendo de las potencias reactivas que vaya requiriendo en la planta y que hemos observado en la simulación.

Hipótesis específica 3:

Si optimizamos el consumo de energía reactiva disminuimos el costo de la penalización por exceso de la misma.

Resultados de la simulación con el software Microsoft Excel

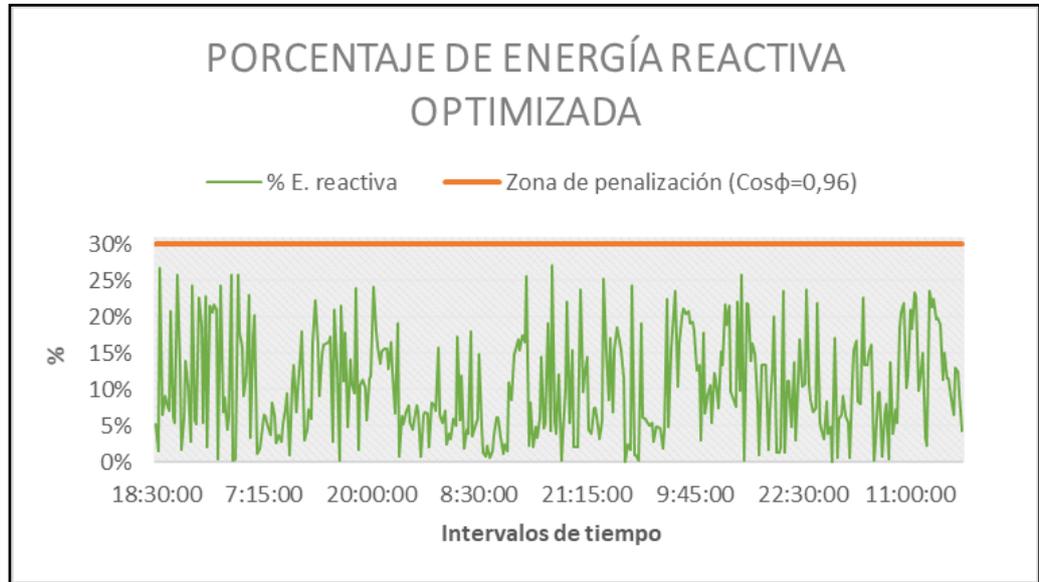


Figura 46. Resultados de la disminución del consumo de energía reactiva. Elaborado en base a los datos obtenidos por el analizador de redes y simulados en el software Microsoft Excel.

Se demostró cómo se puede ver en la figura que los valores de potencia reactiva y por ende energía reactiva no superan el 30% de la energía activa total logrando de esta forma mitigar el costo por energía en la factura eléctrica.

6.1.2 Contrastación de la hipótesis con los resultados

Tabla 28. *Matriz de contrastación de la hipótesis con los resultados*

Resultados de la investigación	Demostración de la hipótesis	Contrastación
Se determinó que la potencia máxima fue de 381,84 kvar.	Si determinamos la potencia reactiva requerida por la planta se obtiene la cantidad a optimizar para la empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín.	Se analizó los parámetros eléctricos registrados por el equipo analizador de redes instalado en el mes con mayor demanda de la planta.
Se determinó que el factor de potencia óptimo para la planta fue de 0,98.	Si determinamos el factor de potencia dimensionamos el banco de capacitores para la empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín.	Se realizaron simulaciones con ayuda del software Microsoft Excel.
Se consiguió mantener el factor de potencia por encima de 0,9578 y de esta forma se disminuyó la facturación por energía reactiva.	Si optimizamos el consumo de energía reactiva disminuimos el costo de penalización por exceso de la misma para la empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín.	Se realizaron simulaciones con ayuda del software Microsoft Excel para verificar el comportamiento del factor de potencia y constatar que siempre está por encima de 0,9578.

6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares.

- En el presente trabajo de investigación el factor de potencia obtenido fue de 0,98; mientras que Robles (2019) en su tesis, “propuesta de diseño e instalación de un banco automático de condensadores para reducir la potencia reactiva en la subestación del Senati-Huancayo”, obtuvo un factor de potencia de 0,97; por lo que ambos cumplen con la normativa de Osinergmin la cual nos indica que el factor de potencia debe ser mayor a 0,96.
- En el presente trabajo de investigación la capacidad del banco de capacitores fue de 340,2 kvar; mientras que Vargas (2017) en su tesis, “Implementación de un banco de condensadores para aumentar el factor de potencia en la empresa FIBRAFORTE año 2015”, obtuvo una

capacidad de 172 kvar; debido a que la demanda de potencia reactiva en dicha planta era menor.

- En el presente trabajo de investigación se evitaron las penalizaciones por exceso de energía reactiva debido al valor del factor de potencia obtenido de 0,98; ya que está por encima de 0,96 que es el valor estipulado por Osinergmin; mientras que Velásquez (2016) en su tesis, “Análisis e implementación de un banco de condensadores para la mejora del factor de potencia en una industria de reciclaje de plásticos”, para evitar las penalizaciones por exceso de energía reactiva obtuvo un factor de potencia de 0,95; debido a que el ente regulador en su país (Ecuador) lo penaliza con valores menores a 0,95.

6.3 Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

Los autores de la investigación se responsabilizan por la información emitida en el informe final de la tesis titulada “Optimización del consumo de energía reactiva mediante el uso de un banco de capacitores para una empresa del sector manufacturero en Lurin-2021” de acuerdo a las normas y reglamentos vigentes de la Universidad del Callao y con los consentimientos acreditados por el Sr. Ricardo Cárdenas Gerente general de la empresa “AE ENERGY SAC”.

CONCLUSIONES

1. Conclusión general:

Como resultado de la presente investigación se determinó que el uso del banco de capacitores influyó en la optimización del consumo de energía reactiva en la empresa.

2. Conclusión específica 1:

Se determinó la potencia reactiva máxima registrada y requerida por la planta, logrando encontrar el valor de 381,84 kvar.

3. Conclusión específica 2:

Se determinó como factor de potencia objetivo el valor de 0,98; por lo tanto, esto nos sirvió para poder calcular la capacidad del banco de capacitores que fue de 340,2 kvar y también para poder distribuir los pasos eléctricos que lo conforman.

4. Conclusión específica 3:

Se logró optimizar el consumo de energía reactiva debido al factor de potencia de 0,98; por lo tanto, se logró disminuir el costo en un 100% de la penalización por exceso de energía reactiva.

RECOMENDACIONES

1. La empresa debe realizar el mantenimiento del equipo 1 vez al año para evitar posibles fallas y/o el deterioro de los componentes eléctricos del banco de capacitores.
2. La empresa debe realizar mediciones anuales de los parámetros eléctricos para poder tener conocimiento como se va comportando la demanda de potencia reactiva acorde a los procesos productivos y si en caso se aumentará la carga, contemplar aumentar la capacidad del banco de capacitores.
3. Se plantea a la empresa que realice un estudio de calidad de energía para poder observar el nivel de contaminación armónico que posee la planta y plantear colocar una protección que proteja a los capacitores alargando su vida útil.
4. La empresa debe monitorear periódicamente el factor de potencia con el fin de constatar siempre este por encima de 0,96 y evitar futuras pérdidas económicas en la facturación del consumo de energía eléctrica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asea Brown Boveri (ABB). *Cuaderno de aplicaciones técnicas n°8 corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas* [en línea]. Barcelona: ABB, 2012 [fecha de consulta: 12 de junio de 2021]. Disponible en: https://library.e.abb.com/public/897462d590876b5fc125791a003bd1e0/1TXA007107G0701_CT8.pdf
- AGUILERA, R. *Evaluación social de proyectos orientación para su aplicación* [en línea]. Uruguay: Universidad de la república de Uruguay, 2011 [fecha de consulta: 12 de junio de 2021]. ISBN: 9789974007871. Disponible en: <http://decon.edu.uy/esp/Evaluacion%20Proyectos%202011.pdf>
- ARIAS, D. *Manual para citar y referenciar fuentes en textos de ingeniería según la norma ISO 690-2* [en línea]. Huancayo: Universidad Continental, 2019 [fecha de consulta: 12 de julio de 2021]. ISBN: 9786124443046. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/6431>
- BARBOZA, L. *Diseño e instalación óptima de un banco de capacitores para la corrección del factor de potencia en la industria textil VF Jeanswear*. Tesis (Título de Ingeniero eléctrico). Managua: Universidad de Ingeniería, 2016. 79 pp. [fecha de consulta: 7 de junio de 2021]. Disponible en: <http://ribuni.uni.edu.ni/1167/1/80517.pdf>
- BARCÓN, S., MARTÍNEZ, I. y GUERRERO, R. *Calidad de la energía. Factor de potencia y filtrado de armónicos*. Mexico: McGraw-Hill, 2012. 264 pp. ISBN: 9786071506986.
- CABEZAS, C. *Análisis del factor de potencia de una empresa procesadora, para determinar su corrección por medio de compensación reactiva*. Tesis (Título de ingeniero electricista). Ciudad universitaria: Universidad de Costa Rica, 2016. 90 pp. [fecha de consulta: 11 de julio de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.una.ac.cr/>
- CHAPMAN, S. *Máquinas eléctricas*. 5° ed. Australia: McGraw-Hill, 2012. 521 pp. ISBN: 9786071507242.

- CHAPMAN, S. *Máquinas eléctricas* [en línea]. 3° ed. Australia: McGraw-Hill, 2000 [fecha de consulta: 14 de julio de 2021]. Disponible en: <https://es.pdfdrive.com/m%C3%A1quinas-el%C3%A9ctricas-3ra-edici%C3%B3n-stephen-chapman-e39442757.html>
- Código Nacional de Electricidad (CNE). *Utilización* [en línea]. Lima: CNE, 2006 [fecha de consulta: 16 de junio de 2021]. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/898623/C%C3%B3digo_Nacional_de_Electricidad__Utilizaci%C3%B3n_.pdf
- MINISTERIO de Economía y Finanzas (Mef). Actualización de la tasa social de descuento [en línea]. 2012 [fecha de consulta: 1 de junio de 2021]. Disponible en: https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/estudios_documentos/estudios/Actualizacion_TSD_Junio_2012.pdf
- DUARTE, D. y MARIN, V. Determinación del factor de potencia por fase en cargas eléctricas trifásicas tipo Y-Y usando métodos iterativos. *Revista ingeniería UC* [en línea]. Mayo-agosto, 2013, 20(2), 79-85 [fecha de consulta: 11 de julio de 2021]. ISSN:1316-6832. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/707/70732655010.pdf>
- EDMINISTER, J. *Teoría y problemas de circuitos eléctricos* [en línea]. Ohio: Mac Graw Hill, 1965 [fecha de consulta: 11 de julio de 2021]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/165924063/Circuitos-Elctricos-Schaum-y-Joseph-a-Edminister>
- ELEMTECH Energy. *Factor de potencia* [en línea]. Caracas: Elemtech energy, 2015 [fecha de consulta: 18 de junio de 2021]. Disponible en: [http://www.smbequipos.com/img/cms/catalogo/BANCO%20DE%20CONDENSADORES%20\(Factor%20de%20Potencia\).pdf](http://www.smbequipos.com/img/cms/catalogo/BANCO%20DE%20CONDENSADORES%20(Factor%20de%20Potencia).pdf)
- ESPINOZA, C. *Metodología de investigación tecnológica pensando en sistemas*. 2° ed. Huancayo: Soluciones graficas, 2014 [fecha de consulta: 19 de junio de 2021]. 206 pp. ISBN: 9786120016671.
- FLOYD, T. *Principios de circuitos eléctricos* [en línea]. 8° ed. México: Pearson Education, 2007 [fecha de consulta: 11 de junio de 2021]. 968 pp. ISBN: 9789702609674. Disponible en:

https://www.academia.edu/42923009/FLOYD_OCTAVA_EDICI%C3%93N_Principios_de_circuitos_el%C3%A9ctricos

GÓMEZ, E. Compensación de potencia reactiva. Tesis (Título de ingeniero electricista). México: Instituto Politécnico Nacional, 2009. 94pp. [fecha de consulta: 10 de julio de 2021]. Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/7201/38.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GOOGLE Earth. ubicación de la planta [mapa en línea] [fecha de consulta: 14 de julio de 2021]. Disponible en: https://earth.google.com/web/search/Maccaferri+cerca+de+Per%C3%ba/@-12.2897774,-76.8658249,2.99673234a,1029.49403086d,35y,0h,45t,0r/data=CoQBGloSVAoIMHg5MTA1YmQyNWZmOTc0NTFiOjB4ODY2ZDNmZTA4NmM3YmY4ZhlIPRC0XZQowCH_Y9esaTdTwCoZTWFjY2FmZXJyaSBjZXJjYSBkZSBQZXLDuhgCIAEiJgokCUM7GshZQkVAEY8H8Rd2-CpAGSp-03vot0ZAIzfgGWJZCI3AKAI

GUNTER, S. *Instalaciones eléctricas*. 2° ed. Berlin: Siemens, 1989. 1004 pp. ISBN: 3800915448.

HARPER, G. *El abc de la calidad de la energía eléctrica* [en línea]. México: Noriega editores, 2013 [fecha de consulta: 19 de junio de 2021]. 263 pp. ISBN: 9788578110796. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/337186882/EI-ABC-de-la-calidad-de-la-energia-electrica-Enriquez-Harper-pdf>

HERRERA, D. Análisis del proyecto de compensación de energía reactiva en baja tensión, implementado por Electronoroeste SA. .Tesis (Título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico). Piura: Universidad de Piura, 2019. 167 pp. [fecha de consulta: 8 de julio de 2021]. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4243>

LEGRAND. *Compensación de energía reactiva y monitoreo de la calidad de la potencia* [en línea]. Lima: Legrand, 2016 [fecha de consulta: 19 de junio de 2021]. Disponible en: <https://legrand.com.pe/wp-content/uploads/2018/04/Banco-de-Condensadores.pdf>

- LOPEZ, F. Determinación de equipos para compensación reactiva en media tensión 22.9kV para las subestaciones eléctricas de transformación Puno, llave y Pomata, utilizando software para simulación y proyección a futuro. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico Electricista). Puno: Universidad Nacional del Altiplano de Puno, 2020. 123 pp. [fecha de consulta: 14 de julio de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/13658>
- MÉNDEZ, J. Corrector de potencia reductor - elevador monofásico. Tesis (Título de Ingeniero Electricista). México: Universidad de las Américas, 2004. 1-27 pp. [fecha de consulta: 11 de agosto de 2021]. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/mendez_s_j/capitulo1.pdf
- MINISTERIO de Energía y Minas (Minem). Guía de orientación para la selección de la tarifa eléctrica a usuarios finales en baja tensión. 2011 [fecha de consulta: 29 de junio de 2021]. Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/archivos/prepublicacion-z4wn17w0x26z77784cz.PDF>
- OBREGÓN, D. Simulación y automatización del control de potencia reactiva para mejoramiento del factor de potencia. Tesis (Título de ingeniero eléctrico). Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana, 2018. 143 pp. [fecha de consulta: 9 de junio de 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15615>
- OSINERGMIN. Resolución de consejo directivo N°206-2013-OS/CD. 2013 [fecha de consulta: 23 de julio de 2021]. Disponible en: <http://www2.osinerg.gob.pe/MarcoLegal/NrmasAprbdasOSIAplcblesRglcionTrfria/DistribucionElectrica/OSINERGMIN%20No.206-2013-OS-CD.pdf>
- OSINERGMIN. Fundamentos técnicos y económicos del sector eléctrico peruano. 2011 [fecha de consulta: 23 de julio de 2021]. Disponible en: https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Libro_Fundamentos_Tecnicos_Economicos_Sector_Electrico_Peruano.pdf

- RESTREPO, D. Dimensionamiento de bancos de capacitores automáticos para las subestaciones eléctricas 14, 15 y 16 de la empresa Compañía de Empaques S.A. .Tesis (Título de Ingeniero electricista). Medellín: Universidad de Antioquia, 2020. 157 pp. [fecha de consulta: 2 de julio de 2021]. Disponible en: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/18456/14/Restrepo_Diego_2021_DimensionamientoBancoCapacitores.pdf
- ROBLES, E. Propuesta de diseño e instalación de un banco automático de condensadores para reducir la potencia reactiva en la subestación del Senati-Huancayo. Tesis (Título de Ingeniero Electricista). Huancayo: Universidad Continental, 2019. 131 pp. [fecha de consulta: 18 de julio de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/7473>
- SCHNEIDER Electric. *Compensación de energía reactiva y filtrado de armónicos* [en línea]. Barcelona: Schneider electric, 2019 [fecha de consulta: 18 de julio de 2021]. Disponible en: https://www.voltimum.es/sites/www.voltimum.es/files/pdflibrary/esmkt02005b19_tarifa_compensacion_energia_reactiva.pdf
- SCHNEIDER Electric. *Guía de diseño de instalaciones eléctricas* [en línea]. España: Schneider electric, 2010 [fecha de consulta: 18 de julio de 2021]. ISBN: 84609866586. Disponible en: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Application+solutions&p_File_Name=020511_E10-guia-diseno-instalac-electricas.pdf&p_Doc_Ref=020511E10
- SENNER, A. *Principios de electrotecnia* [en Línea]. Barcelona: Reverté, 1994 [fecha de consulta: 21 de julio de 2021]. 448 pp. ISBN: 8429134484. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=PW7jBPNU8hwC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- SERRA, J. *Guía técnica de eficiencia energética eléctrica* [en línea]. España: Circutor, 2009 [fecha de consulta: 18 de julio de 2021]. ISBN: 139788461204212. Disponible en: http://circutor.com/docs/GUIA_EEE_SP-LR.pdf

- SIEMENS. *Equipos para distribución eléctrica en baja y media tensión para aplicaciones industriales e infraestructura* [en línea]. España: Siemens, 2020 [fecha de consulta: 17 de julio de 2021]. Disponible en: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:aa47ddc3-f059-45c8-b282-a9bab6bafcb8/hoja-informativa-lp-2020.pdf>
- TORRES, C. *Orientaciones básicas de metodología de la investigación científica*. 9° ed. Lima: San Marcos, 2007. 375 pp.
- UGARTE, J. 2018. Ubicación óptima de bancos de condensadores para mejorar la eficiencia de energía en sistema de bombeo de la mina Animon. Tesis (Título de Ingeniero Eléctricista). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2018. 93 pp. [fecha de consulta: 15 de julio de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5157>
- VARGAS, I. Implementación de un banco de condensadores para aumentar el factor de potencia en la empresa Fibraforte año 2015. Tesis (Título de ingeniero industrial). Lima: Universidad Privada del Norte, 2017. 99 pp. [fecha de consulta: 12 de julio de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/12626>
- VELÁSQUEZ, P. Análisis e implementación de un banco de condensadores para la mejora del factor de potencia en una industria de reciclaje de plásticos. Tesis (Título en electricidad especialización electrónica y automatización industrial). Guayaquil: Escuela superior politécnica del litoral, 2016. 80 pp. [fecha de consulta: 10 de junio de 2021]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/37234>
- WEG. *Catálogo de contactores de maniobra de condensadores* [en línea]. Brasil: Weg, 2020 [fecha de consulta: 15 de julio de 2021]. Disponible en: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h4e/hd8/WEG-contactores-para-maniobra-de-condensadores-cwmc-50065202-es.pdf>
- WILDI, T. *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia* [en línea]. 6° ed. México: Pearson Educación, 2007 [fecha de consulta: 25 de julio de 2021]. ISBN: 9702608147. Disponible en: <https://lc.fie.umich.mx/~jorgeahb/Pagina/materias/Libro2.pdf>

YEBRA, J. *Compensación de potencia reactiva en sistemas eléctricos* [en línea].
Mexico: Mc Graw Hill, 1987 [fecha de consulta: 29 de julio de 2021]. ISBN:
9789684220768. Disponible en:
[https://es.scribd.com/doc/274415132/206546544-Compensacion-de-
Potencia-Reactiva-Yebra-pdf](https://es.scribd.com/doc/274415132/206546544-Compensacion-de-Potencia-Reactiva-Yebra-pdf)

ANEXOS

A1. Matriz de consistencia

OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA REACTIVA MEDIANTE EL USO DE UN BANCO DE CAPACITORES PARA UNA EMPRESA DEL SECTOR MANUFACTURERO UBICADA EN LURÍN – 2021

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	METODOLOGÍA	TÉCNICA - INSTRUMENTOS
GENERAL							
¿De qué manera el uso de un banco de capacitores influye en la optimización del consumo de energía reactiva para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín?	Determinar como el uso de un banco de capacitores influye en la optimización del consumo de energía reactiva para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín.	El uso de un banco de capacitores influye en la optimización del consumo de energía reactiva para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín	Variable independiente: "Banco de capacitores"	Potencia eléctrica	Intensidad de corriente	TIPO DE INVESTIGACIÓN: Tecnológica DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: Cuasi-experimental	TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS: Técnica documental y técnica empírica INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS: <ul style="list-style-type: none"> • Documentos, registros, datos e información estadística que la empresa ha registrado su funcionamiento. • Fichas de observación, en el cual se han almacenado los datos obtenidos en las mediciones realizadas en la utilización de banco de capacitores. • Guías de observación, en el que se ha registrado el consumo eléctrico.
					Tensión		
				Facturación	Costo		
ESPECÍFICOS							
¿Cómo determinar la potencia reactiva necesaria que se requiere optimizar para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín?	Determinar la potencia reactiva necesaria que se requiere optimizar para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín	Si determinamos la potencia reactiva requerida por la planta se obtiene la cantidad a optimizar para la empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín.	Variable dependiente: "energía reactiva"	Energía	Potencia activa	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN: Sistémico	
¿En qué medida el factor de potencia influye en el dimensionamiento de un banco de capacitores para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín?	Determinar en qué medida el factor de potencia influye en el dimensionamiento un banco de capacitores para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín.	Si determinamos el factor de potencia dimensionamos el banco de capacitores para la empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín.			Potencia reactiva	LUGAR DE ESTUDIO: Empresa del Sector manufacturero, ubicada en la Carretera Nueva Panamericana Sur, en el distrito de Lurín, departamento de Lima, Perú.	
¿Cómo el costo de la penalización por exceso de energía reactiva disminuye optimizando su consumo para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín?	Determinar de qué manera se disminuye el costo de la penalización por exceso de energía reactiva optimizando su consumo para una empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín.	Si optimizamos el consumo de energía reactiva disminuimos el costo de la penalización por exceso de la misma para la empresa del sector manufacturero ubicada en Lurín.			Potencia aparente	POBLACIÓN Y MUESTRA: Empresa en el sector manufacturero	
				Tiempo de operación	Tiempo de trabajo		

A2. Instrumentos validados

Tabla 29. Simulación de los datos obtenidos mediante el software *Microsoft Excel*

Fecha	Tiempo	P (kW)	Qi(kvar)	S(kVA)	Cos ϕ_i	Qbc (kvar)	Qf(kvar)	Cos ϕ_f
23/02/2019	18:30:00	217.488	328.718	419.635	0.55	340.2	-11.482	1.00
23/02/2019	18:45:00	242.464	336.357	433.250	0.61	340.2	-3.843	1.00
23/02/2019	19:15:00	165.414	119.693	208.175	0.85	75.6	44.093	0.97
23/02/2019	19:30:00	219.141	325.700	412.525	0.62	340.2	-14.5	1.00
23/02/2019	19:45:00	249.657	363.162	460.335	0.57	340.2	22.962	1.00
23/02/2019	20:00:00	249.803	360.817	458.368	0.57	340.2	20.617	1.00
23/02/2019	20:15:00	251.975	358.226	457.807	0.58	340.2	18.026	1.00
23/02/2019	20:30:00	224.069	311.221	404.255	0.65	264.6	46.621	0.98
23/02/2019	20:45:00	250.697	355.737	456.943	0.57	340.2	15.537	1.00
23/02/2019	21:00:00	235.816	353.070	450.575	0.55	340.2	12.87	1.00
23/02/2019	21:15:00	205.559	279.778	369.849	0.67	226.8	52.978	0.97
23/02/2019	21:30:00	229.115	295.315	392.325	0.69	264.6	30.715	0.99
23/02/2019	21:45:00	236.651	344.518	438.08	0.56	340.2	4.318	1.00
23/02/2019	22:00:00	257.142	356.100	458.05	0.58	340.2	15.9	1.00
23/02/2019	22:15:00	233.082	296.932	394.69	0.69	264.6	32.332	0.99
23/02/2019	22:30:00	135.367	89.734	163.204	0.83	75.6	14.134	0.99
23/02/2019	22:45:00	109.723	72.520	132.469	0.85	75.6	-3.08	1.00
23/02/2019	23:00:00	171.882	193.009	270.494	0.78	151.2	41.809	0.97
23/02/2019	23:15:00	251.271	354.967	453.971	0.58	340.2	14.767	1.00
23/02/2019	23:30:00	250.567	353.287	451.649	0.58	340.2	13.087	1.00
23/02/2019	23:45:00	209.139	274.007	361.29	0.70	226.8	47.207	0.98
24/02/2019	00:00:00	204.581	303.012	388.224	0.61	264.6	38.412	0.98
24/02/2019	00:15:00	154.710	159.481	235.774	0.82	151.2	8.281	1.00
24/02/2019	00:30:00	223.332	315.653	407.349	0.62	264.6	51.053	0.97
24/02/2019	00:45:00	226.179	335.282	427.926	0.56	340.2	-4.918	1.00
24/02/2019	01:00:00	184.585	304.447	382.422	0.52	264.6	39.847	0.98
24/02/2019	01:15:00	176.023	300.756	374.273	0.51	264.6	36.156	0.98
24/02/2019	01:30:00	124.068	64.824	144.741	0.89	37.8	27.024	0.98
24/02/2019	01:45:00	179.636	226.868	308.364	0.76	189	37.868	0.98
24/02/2019	02:00:00	237.639	341.433	434.875	0.57	340.2	1.233	1.00
24/02/2019	02:15:00	208.422	315.480	401.902	0.55	264.6	50.88	0.97
24/02/2019	02:30:00	217.280	325.240	414.71	0.55	340.2	-14.96	1.00
24/02/2019	02:45:00	191.261	281.911	357.22	0.64	264.6	17.311	1.00
24/02/2019	03:00:00	123.525	81.295	148.849	0.84	75.6	5.695	1.00
24/02/2019	03:15:00	144.577	84.535	168.56	0.86	75.6	8.935	1.00

Fecha	Tiempo	P (kW)	Qi(kvar)	S(kVA)	Cos ϕ_i	Qbc (kvar)	Qf(kvar)	Cos ϕ_f
24/02/2019	03:30:00	169.927	157.391	240.083	0.84	113.4	43.991	0.97
24/02/2019	03:45:00	238.294	341.011	434.993	0.57	340.2	0.811	1.00
24/02/2019	04:00:00	233.073	339.163	431.012	0.57	340.2	-1.037	1.00
24/02/2019	04:15:00	208.184	318.495	402.522	0.55	264.6	53.895	0.97
24/02/2019	04:30:00	168.659	219.036	294.626	0.72	189	30.036	0.98
24/02/2019	04:45:00	208.557	297.621	381.941	0.64	264.6	33.021	0.99
24/02/2019	05:00:00	199.220	282.658	363.709	0.66	264.6	18.058	1.00
24/02/2019	05:15:00	129.942	91.438	159.977	0.82	75.6	15.838	0.99
24/02/2019	05:30:00	139.660	107.818	181.412	0.83	75.6	32.218	0.97
24/02/2019	05:45:00	157.446	232.046	302.036	0.71	226.8	5.246	1.00
24/02/2019	06:00:00	215.115	301.765	390.694	0.58	264.6	37.165	0.99
24/02/2019	06:15:00	130.032	139.694	204.169	0.78	113.4	26.294	0.98
24/02/2019	06:30:00	109.191	76.798	136.517	0.83	75.6	1.198	1.00
24/02/2019	06:45:00	72.568	39.244	831.94	0.88	37.8	1.444	1.00
24/02/2019	07:00:00	108.318	79.226	135.166	0.81	75.6	3.626	1.00
24/02/2019	07:15:00	125.604	83.838	151.459	0.83	75.6	8.238	1.00
24/02/2019	07:30:00	127.523	83.819	153.045	0.83	75.6	8.219	1.00
24/02/2019	07:45:00	119.403	81.419	144.959	0.83	75.6	5.819	1.00
24/02/2019	08:00:00	117.093	80.054	142.508	0.82	75.6	4.454	1.00
24/02/2019	08:15:00	123.440	85.848	151.048	0.82	75.6	10.248	1.00
24/02/2019	08:30:00	137.420	84.377	163.685	0.85	75.6	8.777	1.00
24/02/2019	08:45:00	122.983	78.911	149.299	0.85	75.6	3.311	1.00
24/02/2019	09:00:00	125.815	80.405	150.907	0.84	75.6	4.805	1.00
24/02/2019	09:15:00	111.266	78.812	138.835	0.81	75.6	3.212	1.00
24/02/2019	09:30:00	125.039	82.289	151.423	0.84	75.6	6.689	1.00
24/02/2019	09:45:00	140.292	86.005	166.848	0.85	75.6	10.405	1.00
24/02/2019	10:00:00	140.756	88.926	168.745	0.85	75.6	13.326	1.00
24/02/2019	10:15:00	116.903	74.497	143.272	0.85	75.6	-1.103	1.00
24/02/2019	10:30:00	102.311	64.496	127.578	0.86	75.6	-11.104	0.99
24/02/2019	10:45:00	140.575	94.380	171.679	0.83	75.6	18.78	0.99
24/02/2019	11:00:00	112.031	83.287	140.924	0.8	75.6	7.687	1.00
24/02/2019	11:15:00	78.280	45.555	943.34	0.85	37.8	7.755	1.00
24/02/2019	11:30:00	101.389	60.548	124.632	0.87	75.6	-15.052	0.99
24/02/2019	11:45:00	137.180	100.348	172.981	0.82	75.6	24.748	0.98
24/02/2019	12:00:00	116.200	72.139	142.156	0.86	75.6	-3.461	1.00
24/02/2019	12:15:00	120.979	81.057	150.525	0.84	75.6	5.457	1.00
24/02/2019	12:30:00	135.862	85.421	162510	0.85	75.6	9.821	1.00
24/02/2019	12:45:00	133.168	83.543	158.985	0.85	75.6	7.943	1.00

Fecha	Tiempo	P (kW)	Qi(kvar)	S(kVA)	Cos ϕ_i	Qbc (kvar)	Qf(kvar)	Cos ϕ_f
24/02/2019	13:00:00	146.158	99.449	179.053	0.84	75.6	23.849	0.99
24/02/2019	13:15:00	158.983	111.007	196.432	0.83	75.6	35.407	0.98
24/02/2019	13:30:00	148.953	99.72	181.903	0.84	75.6	24.12	0.99
24/02/2019	13:45:00	121.704	86.757	151.314	0.82	75.6	11.157	1.00
24/02/2019	14:00:00	123.520	94.074	155.811	0.79	75.6	18.474	0.99
24/02/2019	14:15:00	122.756	95.548	156.064	0.79	75.6	19.948	0.99
24/02/2019	14:30:00	118.881	94.985	152.699	0.78	75.6	19.385	0.99
24/02/2019	14:45:00	110.352	93.863	145.663	0.76	75.6	18.263	0.99
24/02/2019	15:00:00	135.183	98.896	168.721	0.8	75.6	23.296	0.99
24/02/2019	15:15:00	110.358	72.354	136.781	0.84	75.6	-3.246	1.00
24/02/2019	15:30:00	119.967	100.692	162.038	0.78	75.6	25.092	0.98
24/02/2019	15:45:00	147.279	133.156	202.006	0.78	113.4	19.756	0.99
24/02/2019	16:00:00	151.908	150.826	219.21	0.77	151.2	-0.374	1.00
24/02/2019	16:15:00	155.685	109.073	191.888	0.82	75.6	33.473	0.98
24/02/2019	16:30:00	123.389	89.329	157.138	0.82	75.6	13.729	0.99
24/02/2019	16:45:00	124.729	97.906	163.728	0.8	75.6	22.306	0.98
24/02/2019	17:00:00	218.843	351.079	430.564	0.58	340.2	10.879	1.00
24/02/2019	17:15:00	239.095	373.950	460.72	0.54	340.2	33.75	0.99
24/02/2019	17:30:00	218.316	363.895	440.434	0.51	340.2	23.695	0.99
24/02/2019	17:45:00	217.568	360.731	437.28	0.51	340.2	20.531	1.00
24/02/2019	18:00:00	214.520	316.179	401.397	0.61	264.6	51.579	0.97
24/02/2019	18:15:00	248.199	344.642	440.268	0.58	340.2	4.442	1.00
24/02/2019	18:30:00	261.347	367.824	468.461	0.58	340.2	27.624	0.99
24/02/2019	18:45:00	266.249	370.483	473.181	0.58	340.2	30.283	0.99
24/02/2019	19:15:00	262.864	367.265	470.425	0.58	340.2	27.065	0.99
24/02/2019	19:30:00	234.935	354.074	446.013	0.55	340.2	13.874	1.00
24/02/2019	19:45:00	237.006	367.546	457.055	0.54	340.2	27.346	0.99
24/02/2019	20:00:00	243.116	369.398	461.734	0.55	340.2	29.198	0.99
24/02/2019	20:15:00	224.091	281.024	374.444	0.71	226.8	54.224	0.97
24/02/2019	20:30:00	162.286	104.899	194.692	0.84	75.6	29.299	0.98
24/02/2019	20:45:00	148.080	99.271	178.63	0.83	75.6	23.671	0.99
24/02/2019	21:00:00	156.397	134.528	209.586	0.81	113.4	21.128	0.99
24/02/2019	21:15:00	153.612	99.00	183.183	0.84	75.6	23.4	0.99
24/02/2019	21:30:00	176.791	103.216	206.108	0.86	75.6	27.616	0.99
24/02/2019	21:45:00	181.738	103.961	210.891	0.87	75.6	28.361	0.99
24/02/2019	22:00:00	166.851	97.186	195.383	0.87	75.6	21.586	0.99
24/02/2019	22:15:00	182.206	105.890	212.088	0.86	75.6	30.29	0.99
24/02/2019	22:30:00	132.949	92.172	162.723	0.82	75.6	16.572	0.99

Fecha	Tiempo	P (kW)	Qi(kvar)	S(kVA)	Cos ϕ_i	Qbc (kvar)	Qf(kvar)	Cos ϕ_f
24/02/2019	22:45:00	123.620	83.982	150.307	0.84	75.6	8.382	1.00
24/02/2019	23:00:00	166.028	107.436	199.123	0.84	75.6	31.836	0.98
24/02/2019	23:15:00	143.097	76.787	166.314	0.88	75.6	1.187	1.00
24/02/2019	23:30:00	137.593	66.953	157.017	0.9	75.6	-8.647	1.00
24/02/2019	23:45:00	143.230	83.101	169.758	0.87	75.6	7.501	1.00
25/02/2019	00:00:00	207.579	279.064	364.209	0.71	264.6	14.464	1.00
25/02/2019	00:15:00	190.103	166.112	260.154	0.82	151.2	14.912	1.00
25/02/2019	00:30:00	191.513	329.811	406.799	0.51	340.2	-10.389	1.00
25/02/2019	00:45:00	151.480	195.89	258.182	0.74	189	6.89	1.00
25/02/2019	01:00:00	222.577	353.065	433.875	0.53	340.2	12.865	1.00
25/02/2019	01:15:00	244.938	359.297	452.312	0.56	340.2	19.097	1.00
25/02/2019	01:30:00	251.193	357.674	457.214	0.57	340.2	17.474	1.00
25/02/2019	01:45:00	248.675	337.948	437.145	0.62	340.2	-2.252	1.00
25/02/2019	02:00:00	225.005	325.481	418.374	0.57	340.2	-14.719	1.00
25/02/2019	02:15:00	215.998	325.129	413.459	0.55	340.2	-15.071	1.00
25/02/2019	02:30:00	253.645	357.153	457.517	0.58	340.2	16.953	1.00
25/02/2019	02:45:00	241.385	335.282	431.671	0.62	340.2	-4.918	1.00
25/02/2019	03:00:00	258.569	361.489	462.782	0.58	340.2	21.289	1.00
25/02/2019	03:15:00	262.317	360.734	463.817	0.58	340.2	20.534	1.00
25/02/2019	03:30:00	259.997	358.446	460.557	0.58	340.2	18.246	1.00
25/02/2019	03:45:00	196.613	219.997	307.467	0.78	189	30.997	0.99
25/02/2019	04:00:00	250.831	356.862	453.916	0.57	340.2	16.662	1.00
25/02/2019	04:15:00	239.081	353.196	443.859	0.56	340.2	12.996	1.00
25/02/2019	04:30:00	245.41	357.435	452.264	0.57	340.2	17.235	1.00
25/02/2019	04:45:00	243.853	334.286	432.438	0.62	340.2	-5.914	1.00
25/02/2019	05:00:00	242.074	349.713	444.673	0.57	340.2	9.513	1.00
25/02/2019	05:15:00	246.044	348.234	444.216	0.58	340.2	8.034	1.00
25/02/2019	05:30:00	256.626	355.797	455.079	0.59	340.2	15.597	1.00
25/02/2019	05:45:00	241.931	327.757	423.435	0.63	340.2	-12.443	1.00
25/02/2019	06:00:00	176.947	106.139	207.725	0.86	75.6	30.539	0.99
25/02/2019	06:15:00	144.672	84.134	169.745	0.87	75.6	8.534	1.00
25/02/2019	06:30:00	183.272	318.298	385.044	0.55	340.2	-21.902	0.99
25/02/2019	06:45:00	212.072	344.465	421.43	0.52	340.2	4.265	1.00
25/02/2019	07:00:00	244.570	351.048	445.696	0.57	340.2	10.848	1.00
25/02/2019	07:15:00	236.739	349.799	440.333	0.56	340.2	9.599	1.00
25/02/2019	07:30:00	181.939	297.339	371.665	0.58	264.6	32.739	0.98
25/02/2019	07:45:00	203.638	332.779	413.636	0.52	340.2	-7.421	1.00
25/02/2019	08:00:00	198.338	330.459	406.741	0.51	340.2	-9.741	1.00

Fecha	Tiempo	P (kW)	Qi(kvar)	S(kVA)	Cos ϕ_i	Qbc (kvar)	Qf(kvar)	Cos ϕ_f
25/02/2019	08:15:00	211.844	327.342	407.607	0.58	340.2	-12.858	1.00
25/02/2019	08:30:00	192.644	293.394	371.077	0.61	264.6	28.794	0.99
25/02/2019	08:45:00	198.325	330.352	406.278	0.51	340.2	-9.848	1.00
25/02/2019	09:00:00	225.255	343.433	428.219	0.55	340.2	3.233	1.00
25/02/2019	09:15:00	223.914	342.056	425.935	0.55	340.2	1.856	1.00
25/02/2019	09:30:00	143.168	192.259	250.29	0.74	189	3.259	1.00
25/02/2019	09:45:00	213.465	338.795	419.457	0.53	340.2	-1.405	1.00
25/02/2019	10:00:00	232.374	343.724	432.621	0.56	340.2	3.524	1.00
25/02/2019	10:15:00	235.296	348.923	438.873	0.56	340.2	8.723	1.00
25/02/2019	10:30:00	226.366	326.01	414.017	0.61	340.2	-14.19	1.00
25/02/2019	10:45:00	240.140	355.083	446.257	0.56	340.2	14.883	1.00
25/02/2019	11:00:00	215.141	347.349	425.315	0.53	340.2	7.149	1.00
25/02/2019	11:15:00	195.625	337.927	407.712	0.5	340.2	-2.273	1.00
25/02/2019	11:30:00	200.619	345.295	416.165	0.5	340.2	5.095	1.00
25/02/2019	11:45:00	127.353	111.374	171.593	0.79	113.4	-2.026	1.00
25/02/2019	12:00:00	145.505	91.668	173.34	0.84	75.6	16.068	0.99
25/02/2019	12:15:00	109.835	85.001	140.356	0.78	75.6	9.401	1.00
25/02/2019	12:30:00	102.420	90.922	139.167	0.75	75.6	15.322	0.99
25/02/2019	12:45:00	100.651	91.186	138.293	0.74	75.6	15.586	0.99
25/02/2019	13:00:00	102.294	92.926	141.456	0.74	75.6	17.326	0.99
25/02/2019	13:15:00	97.335	90.677	136.361	0.73	75.6	15.077	0.99
25/02/2019	13:30:00	103.288	93.653	142.603	0.74	75.6	18.053	0.99
25/02/2019	13:45:00	102.815	92.523	141.488	0.74	75.6	16.923	0.99
25/02/2019	14:00:00	122.070	144.569	195.689	0.77	113.4	31.169	0.97
25/02/2019	14:15:00	202.672	344.984	416.499	0.51	340.2	4.784	1.00
25/02/2019	14:30:00	132.658	162.137	217.404	0.76	151.2	10.937	1.00
25/02/2019	14:45:00	104.818	77.843	131.402	0.81	75.6	2.243	1.00
25/02/2019	15:00:00	109.581	80.973	136.779	0.8	75.6	5.373	1.00
25/02/2019	15:15:00	104.559	79.152	131.987	0.8	75.6	3.552	1.00
25/02/2019	15:30:00	114.037	82.713	141.447	0.81	75.6	7.113	1.00
25/02/2019	15:45:00	84.264	63.424	106.597	0.82	75.6	-12.176	0.99
25/02/2019	16:00:00	104.764	80.569	133.261	0.78	75.6	4.969	1.00
25/02/2019	16:15:00	119.095	82.14	145.541	0.82	75.6	6.54	1.00
25/02/2019	16:30:00	152.405	104.895	187.469	0.84	75.6	29.295	0.98
25/02/2019	16:45:00	149.273	119.822	194.839	0.82	113.4	6.422	1.00
25/02/2019	17:00:00	192.621	279.057	355.529	0.68	226.8	52.257	0.97
25/02/2019	17:15:00	235.876	353.611	443.226	0.56	340.2	13.411	1.00
25/02/2019	17:30:00	229.968	349.25	435.896	0.55	340.2	9.05	1.00

Fecha	Tiempo	P (kW)	Qi(kvar)	S(kVA)	Cos ϕ_i	Qbc (kvar)	Qf(kvar)	Cos ϕ_f
25/02/2019	17:45:00	210.453	314.626	395.709	0.61	340.2	-25.574	0.99
25/02/2019	18:00:00	219.003	340.848	424.409	0.54	340.2	0.648	1.00
25/02/2019	18:15:00	226.75	348.595	433.369	0.55	340.2	8.395	1.00
25/02/2019	18:30:00	165.987	281.778	348.747	0.57	264.6	17.178	0.99
25/02/2019	18:45:00	149.96	297.789	356.518	0.46	264.6	33.189	0.98
25/02/2019	19:15:00	203.535	329.02	410.202	0.53	340.2	-11.18	1.00
25/02/2019	19:30:00	193.363	294.49	372.492	0.62	264.6	29.89	0.99
25/02/2019	19:45:00	221.799	335.469	422.725	0.55	340.2	-4.731	1.00
25/02/2019	20:00:00	235.635	345.194	435.884	0.56	340.2	4.994	1.00
25/02/2019	20:15:00	235.285	345.199	435.85	0.56	340.2	4.999	1.00
25/02/2019	20:30:00	196.363	235.812	320.377	0.75	189	46.812	0.97
25/02/2019	20:45:00	151.05	90.365	177.745	0.86	75.6	14.765	1.00
25/02/2019	21:00:00	131.412	91.191	163.379	0.81	75.6	15.591	0.99
25/02/2019	21:15:00	103.371	90.654	139.898	0.75	75.6	15.054	0.99
25/02/2019	21:30:00	103.199	80.27	132.962	0.8	75.6	4.67	1.00
25/02/2019	21:45:00	78.383	40.945	891.32	0.89	37.8	3.145	1.00
25/02/2019	22:00:00	83.049	44.005	946.54	0.89	37.8	6.205	1.00
25/02/2019	22:15:00	83.088	43.968	946.64	0.88	37.8	6.168	1.00
25/02/2019	22:30:00	80.032	41.735	909.86	0.89	37.8	3.935	1.00
25/02/2019	22:45:00	104.541	72.135	128.285	0.83	75.6	-3.465	1.00
25/02/2019	23:00:00	129.883	83.183	154.793	0.84	75.6	7.583	1.00
25/02/2019	23:15:00	184.055	235.532	314.637	0.75	189	46.532	0.97
25/02/2019	23:30:00	197.141	309.888	387.471	0.6	340.2	-30.312	0.99
25/02/2019	23:45:00	145.339	88.145	173.234	0.87	75.6	12.545	1.00
26/02/2019	00:00:00	155.2	102.259	188.438	0.85	75.6	26.659	0.99
26/02/2019	00:15:00	186.847	277.683	353.374	0.67	264.6	13.083	1.00
26/02/2019	00:30:00	178.239	312.736	389.927	0.49	340.2	-27.464	0.99
26/02/2019	00:45:00	173.731	307.906	384.286	0.49	340.2	-32.294	0.98
26/02/2019	01:00:00	188.407	308.963	390.399	0.52	340.2	-31.237	0.99
26/02/2019	01:15:00	202.757	308.768	394.573	0.55	340.2	-31.432	0.99
26/02/2019	01:30:00	173.337	208.984	287.561	0.78	189	19.984	0.99
26/02/2019	01:45:00	245.385	340.297	437.641	0.58	340.2	0.097	1.00
26/02/2019	02:00:00	234.096	334.557	425.712	0.57	340.2	-5.643	1.00
26/02/2019	02:15:00	242.542	336.078	431.998	0.58	340.2	-4.122	1.00
26/02/2019	02:30:00	212.626	278.694	368.21	0.68	226.8	51.894	0.97
26/02/2019	02:45:00	248.764	337.714	437.047	0.59	340.2	-2.486	1.00
26/02/2019	03:00:00	249.086	337.653	437.473	0.59	340.2	-2.547	1.00
26/02/2019	03:15:00	249.28	339.415	439.243	0.59	340.2	-0.785	1.00

Fecha	Tiempo	P (kW)	Qi(kvar)	S(kVA)	Cos ϕ_i	Qbc (kvar)	Qf(kvar)	Cos ϕ_f
26/02/2019	03:30:00	162.371	144.397	226.695	0.84	113.4	30.997	0.98
26/02/2019	03:45:00	161.121	85.665	183.935	0.88	75.6	10.065	1.00
26/02/2019	04:00:00	160.222	85.268	182.888	0.88	75.6	9.668	1.00
26/02/2019	04:15:00	160.613	84.678	182.983	0.89	75.6	9.078	1.00
26/02/2019	04:30:00	158.592	83.638	180.738	0.89	75.6	8.038	1.00
26/02/2019	04:45:00	156.648	84.202	179.22	0.88	75.6	8.602	1.00
26/02/2019	05:00:00	128.308	79.249	151.629	0.85	75.6	3.649	1.00
26/02/2019	05:15:00	158.022	83.264	180.022	0.89	75.6	7.664	1.00
26/02/2019	05:30:00	158.204	83.377	180.26	0.88	75.6	7.777	1.00
26/02/2019	05:45:00	158.131	83.009	179.985	0.89	75.6	7.409	1.00
26/02/2019	06:00:00	141.679	72.985	162.363	0.9	75.6	-2.615	1.00
26/02/2019	06:15:00	156.119	82.727	178.146	0.88	75.6	7.127	1.00
26/02/2019	06:30:00	124.133	65.654	141.638	0.89	37.8	27.854	0.98
26/02/2019	06:45:00	88.275	42.133	98.588	0.91	37.8	4.333	1.00
26/02/2019	07:00:00	102.037	53.503	116.218	0.88	37.8	15.703	0.99
26/02/2019	07:15:00	99.591	55.854	115.102	0.87	37.8	18.054	0.98
26/02/2019	07:30:00	89.36	58.951	107.993	0.84	37.8	21.151	0.97
26/02/2019	07:45:00	91.641	66.003	113.933	0.82	75.6	-9.597	0.99
26/02/2019	08:00:00	86.774	61.443	107.065	0.82	75.6	-14.157	0.99
26/02/2019	08:15:00	123.921	100.492	160.791	0.77	75.6	24.892	0.98
26/02/2019	08:30:00	133.096	103.684	169.503	0.79	75.6	28.084	0.98
26/02/2019	08:45:00	128.482	101.943	164.733	0.78	75.6	26.343	0.98
26/02/2019	09:00:00	136.233	103.931	172.116	0.79	75.6	28.331	0.98
26/02/2019	09:15:00	125.354	99.677	160.825	0.78	75.6	24.077	0.98
26/02/2019	09:30:00	165.522	107.598	199.28	0.84	75.6	31.998	0.98
26/02/2019	09:45:00	168.148	106.061	200.915	0.84	75.6	30.461	0.98
26/02/2019	10:00:00	224.745	311.928	401.464	0.66	340.2	-28.272	0.99
26/02/2019	10:15:00	258.317	374.803	472.928	0.57	340.2	34.603	0.99
26/02/2019	10:30:00	205.566	333.943	415.289	0.52	340.2	-6.257	1.00
26/02/2019	10:45:00	200.43	304.469	386.196	0.61	340.2	-35.731	0.98
26/02/2019	11:00:00	229.25	355.802	444.942	0.55	340.2	15.602	1.00
26/02/2019	11:15:00	233.167	361.86	449.628	0.54	340.2	21.66	1.00
26/02/2019	11:30:00	222.38	364.007	443.369	0.52	340.2	23.807	0.99
26/02/2019	11:45:00	233.322	327.532	418.29	0.64	340.2	-12.668	1.00
26/02/2019	12:00:00	262.693	372.601	472.643	0.58	340.2	32.401	0.99
26/02/2019	12:15:00	257.911	369.499	467.176	0.57	340.2	29.299	0.99
26/02/2019	12:30:00	226.507	356.997	442.769	0.54	340.2	16.797	1.00
26/02/2019	12:45:00	223.556	374.437	454.829	0.51	340.2	34.237	0.99

Fecha	Tiempo	P (kW)	Qi(kvar)	S(kVA)	Cos ϕ_i	Qbc (kvar)	Qf(kvar)	Cos ϕ_f
26/02/2019	13:00:00	209.327	312.251	392.632	0.64	340.2	-27.949	0.99
26/02/2019	13:15:00	159.126	110.043	194.779	0.82	75.6	34.443	0.98
26/02/2019	13:30:00	125.854	99.432	161.192	0.78	75.6	23.832	0.98
26/02/2019	13:45:00	134.01	104.394	170.64	0.79	75.6	28.794	0.98
26/02/2019	14:00:00	189.01	245.221	322.618	0.71	226.8	18.421	1.00
26/02/2019	14:15:00	237.651	361.082	448.195	0.54	340.2	20.882	1.00
26/02/2019	14:30:00	205.408	355.881	426.058	0.5	340.2	15.681	1.00
26/02/2019	14:45:00	165.621	263.457	325.373	0.64	226.8	36.657	0.98
26/02/2019	15:00:00	113.466	86.809	143.629	0.8	75.6	11.209	1.00
26/02/2019	15:15:00	104.318	64.717	124.569	0.85	37.8	26.917	0.97
26/02/2019	15:30:00	129.329	75.335	153.082	0.86	75.6	-0.265	1.00
26/02/2019	15:45:00	158.53	110.265	195.879	0.82	75.6	34.665	0.98
26/02/2019	16:00:00	161.833	110.807	197.725	0.83	75.6	35.207	0.98
26/02/2019	16:15:00	236.768	373.046	461.162	0.54	340.2	32.846	0.99
26/02/2019	16:30:00	254.031	381.843	477.03	0.55	340.2	41.643	0.99
26/02/2019	16:45:00	244.093	376.505	467.19	0.55	340.2	36.305	0.99
26/02/2019	17:00:00	236.248	359.256	448.254	0.58	340.2	19.056	1.00
26/02/2019	17:15:00	239.824	342.575	435.666	0.63	340.2	2.375	1.00
26/02/2019	17:30:00	254.892	374.54	470.4	0.56	340.2	34.34	0.99
26/02/2019	17:45:00	250.3	373.912	467.38	0.56	340.2	33.712	0.99
26/02/2019	18:00:00	256.298	374.703	471.969	0.56	340.2	34.503	0.99
26/02/2019	18:15:00	237.649	344.283	437.087	0.61	340.2	4.083	1.00
26/02/2019	18:30:00	238.109	357.094	450.97	0.55	340.2	16.894	1.00
26/02/2019	18:45:00	240.947	372.214	460.541	0.55	340.2	32.014	0.99
26/02/2019	19:15:00	226.153	310.112	399.171	0.64	264.6	45.512	0.98
26/02/2019	19:30:00	262.018	343.85	447.736	0.61	340.2	3.65	1.00
26/02/2019	19:45:00	253.707	336.66	436.943	0.6	340.2	-3.54	1.00
26/02/2019	20:00:00	250.556	335.022	433.844	0.6	340.2	-5.178	1.00
26/02/2019	20:15:00	224.969	279.698	373.704	0.7	226.8	52.898	0.97
26/02/2019	20:30:00	257.937	343.97	446.444	0.6	340.2	3.77	1.00
26/02/2019	20:45:00	267.165	369.912	473.946	0.59	340.2	29.712	0.99
26/02/2019	21:00:00	184.453	171.98	259.402	0.8	151.2	20.78	0.99
26/02/2019	21:15:00	168.328	121.654	209.293	0.82	113.4	8.254	1.00
26/02/2019	21:30:00	184.937	138.865	236.138	0.83	113.4	25.465	0.99
26/02/2019	21:45:00	252.95	347.75	448.596	0.61	340.2	7.55	1.00
26/02/2019	22:00:00	237.427	291.643	392.347	0.7	264.6	27.043	0.99
26/02/2019	22:15:00	172.753	104.876	203.553	0.86	75.6	29.276	0.99
26/02/2019	22:30:00	139.772	90.247	167.065	0.84	75.6	14.647	0.99

Fecha	Tiempo	P (kW)	Qi(kvar)	S(kVA)	Cos ϕ_i	Qbc (kvar)	Qf(kvar)	Cos ϕ_f
26/02/2019	22:45:00	137.37	90.423	165.783	0.84	75.6	14.823	0.99
26/02/2019	23:00:00	215.441	277.872	368.395	0.71	226.8	51.072	0.97
26/02/2019	23:15:00	208.444	286.857	371.64	0.68	264.6	22.257	0.99
26/02/2019	23:30:00	268.119	362.992	468.758	0.59	340.2	22.792	1.00
26/02/2019	23:45:00	272.371	358.848	467.763	0.61	340.2	18.648	1.00
27/02/2019	00:00:00	272.392	360.64	469.391	0.60	340.2	20.44	1.00
27/02/2019	00:15:00	205.932	272.102	357.129	0.72	226.8	45.302	0.98
27/02/2019	00:30:00	248.858	353.873	449.502	0.57	340.2	13.673	1.00
27/02/2019	00:45:00	242.231	351.225	442.782	0.57	340.2	11.025	1.00
27/02/2019	01:00:00	234.753	347.64	435.225	0.56	340.2	7.44	1.00
27/02/2019	01:15:00	221.716	321.708	406.507	0.61	340.2	-18.492	1.00
27/02/2019	01:30:00	239.865	349.752	441.427	0.56	340.2	9.552	1.00
27/02/2019	01:45:00	245.487	352.424	445.599	0.57	340.2	12.224	1.00
27/02/2019	02:00:00	263.816	340.113	446.935	0.64	340.2	-0.087	1.00
27/02/2019	02:15:00	246.334	306.953	409.35	0.69	264.6	42.353	0.99
27/02/2019	02:30:00	241.643	338.848	434.636	0.62	340.2	-1.352	1.00
27/02/2019	02:45:00	257.846	355.731	458.542	0.59	340.2	15.531	1.00
27/02/2019	03:00:00	267.8	357.945	464.465	0.6	340.2	17.745	1.00
27/02/2019	03:15:00	246.906	317.427	418.971	0.67	340.2	-22.773	1.00
27/02/2019	03:30:00	264.453	357.279	462.029	0.59	340.2	17.079	1.00
27/02/2019	03:45:00	256.105	354.045	454.373	0.58	340.2	13.845	1.00
27/02/2019	04:00:00	236.39	338.862	433.525	0.57	340.2	-1.338	1.00
27/02/2019	04:15:00	225.017	290.128	383.967	0.68	264.6	25.528	0.99
27/02/2019	04:30:00	154.108	99.436	183.921	0.84	75.6	23.836	0.99
27/02/2019	04:45:00	219.056	263.43	358.053	0.74	226.8	36.63	0.99
27/02/2019	05:00:00	267.19	362.823	468.929	0.59	340.2	22.623	1.00
27/02/2019	05:15:00	264.297	361.516	466.383	0.59	340.2	21.316	1.00
27/02/2019	05:30:00	208.175	273.941	362.531	0.68	226.8	47.141	0.98
27/02/2019	05:45:00	149.616	95.639	178.045	0.84	75.6	20.039	0.99
27/02/2019	06:00:00	174.19	98.859	201.558	0.87	75.6	23.259	0.99
27/02/2019	06:15:00	172.325	101.165	201.04	0.86	75.6	25.565	0.99
27/02/2019	06:30:00	177.318	179.899	261.187	0.81	151.2	28.699	0.99
27/02/2019	06:45:00	201.711	339.59	412.977	0.54	340.2	-0.61	1.00
27/02/2019	07:00:00	225.278	346.292	429.088	0.56	340.2	6.092	1.00
27/02/2019	07:15:00	262.863	364.973	466.97	0.59	340.2	24.773	1.00
27/02/2019	07:30:00	255.627	365.088	462.705	0.57	340.2	24.888	1.00
27/02/2019	07:45:00	241.408	338.223	432.246	0.63	340.2	-1.977	1.00
27/02/2019	08:00:00	231.929	355.816	441.961	0.54	340.2	15.616	1.00

Fecha	Tiempo	P (kW)	Qi(kvar)	S(kVA)	Cos ϕ_i	Qbc (kvar)	Qf(kvar)	Cos ϕ_f
27/02/2019	08:15:00	221.325	358.081	436.561	0.53	340.2	17.881	1.00
27/02/2019	08:30:00	203.583	340.975	414.678	0.51	340.2	0.775	1.00
27/02/2019	08:45:00	138.098	207.998	264.524	0.69	189	18.998	0.99
27/02/2019	09:00:00	219.711	348.882	428.173	0.55	340.2	8.682	1.00
27/02/2019	09:15:00	215.107	356.015	431.15	0.52	340.2	15.815	1.00
27/02/2019	09:30:00	213.363	351.692	427.92	0.52	340.2	11.492	1.00
27/02/2019	09:45:00	208.248	303.254	382.502	0.63	264.6	38.654	0.98
27/02/2019	10:00:00	141.34	104.766	176.368	0.8	75.6	29.166	0.98
27/02/2019	10:15:00	145.535	107.633	181.507	0.81	75.6	32.033	0.98
27/02/2019	10:30:00	135.27	89.468	164.141	0.84	75.6	13.868	0.99
27/02/2019	10:45:00	106.756	88.395	140.63	0.78	75.6	12.795	0.99
27/02/2019	11:00:00	126.499	102.234	163.695	0.78	75.6	26.634	0.98
27/02/2019	11:15:00	118.525	97.446	154.614	0.78	75.6	21.846	0.98
27/02/2019	11:30:00	129.659	105.941	168.535	0.77	75.6	30.341	0.97
27/02/2019	11:45:00	127.539	104.634	166.155	0.77	75.6	29.034	0.98
27/02/2019	12:00:00	193.49	245.772	325.105	0.73	226.8	18.972	1.00
27/02/2019	12:15:00	243.456	372.276	462.792	0.55	340.2	32.076	0.99
27/02/2019	12:30:00	221.222	373.413	451.76	0.51	340.2	33.213	0.99
27/02/2019	12:45:00	215.228	347.351	428.411	0.53	340.2	7.151	1.00
27/02/2019	13:00:00	219.192	345.201	428.698	0.54	340.2	5.001	1.00
27/02/2019	13:15:00	152.746	111.538	190.232	0.81	75.6	35.938	0.97
27/02/2019	13:30:00	163.314	110.513	198.582	0.83	75.6	34.913	0.98
27/02/2019	13:45:00	153.151	110.107	189.828	0.81	75.6	34.507	0.98
27/02/2019	14:00:00	140.002	103.104	176.023	0.81	75.6	27.504	0.98
27/02/2019	14:15:00	150.189	105.497	184.665	0.82	75.6	29.897	0.98
27/02/2019	14:30:00	128.87	100.076	164.268	0.79	75.6	24.476	0.98
27/02/2019	14:45:00	100.473	87.065	134.256	0.75	75.6	11.465	0.99
27/02/2019	15:00:00	168.935	290.051	349.454	0.6	264.6	25.451	0.99
27/02/2019	15:15:00	222.739	365.754	443.686	0.52	340.2	25.554	0.99
27/02/2019	15:30:00	222.081	365.815	443.529	0.52	340.2	25.615	0.99
27/02/2019	15:45:00	229.154	320.007	408.93	0.65	340.2	-20.193	1.00
27/02/2019	16:00:00	218.164	326.069	407.984	0.61	340.2	-14.131	1.00
27/02/2019	16:15:00	235.776	371.094	456.088	0.54	340.2	30.894	0.99
27/02/2019	16:30:00	243.01	370.631	459.492	0.55	340.2	30.431	0.99
27/02/2019	16:45:00	238.294	362.77	452.752	0.55	340.2	22.57	1.00
27/02/2019	17:00:00	234.769	330.035	423.186	0.61	340.2	-10.165	1.00

A3. Consentimiento informado en caso de ser necesario

	
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE DATOS DE LA EMPRESA	
<p>Yo RICARDO ROGER CARDENAS MARINGO identificado con DNI 46368302, en mi calidad de Gerente General del a empresa/institución AHORRO Y EFICIENCIA DE ENERGIA SAC – AE ENERGY SAC con R.U.C N° 20556573515, ubicada en la ciudad de Lima.</p>	
OTORGO LA AUTORIZACIÓN	
<p>Al señor Pablo César Arbulú Sobrino identificado con DNI N° 41543914, bachiller de la escuela profesional de ingeniería en Energía que utilice la siguiente información de la empresa:</p>	
<p>Información de energía eléctrica que se consideró en el estudio realizado por la empresa AE ENERGY en el periodo 2018-2019; con la finalidad de que pueda desarrollar su (<input checked="" type="checkbox"/>) Tesis o () Trabajo de suficiencia profesional para optar el Título Profesional.</p>	
<p>Recuerda que para el trámite deberás adjuntar también, el siguiente requisito según tipo de empresa:</p>	
<ul style="list-style-type: none">• Vigencia de Poder o Ficha RUC• . (para el caso de empresas privadas).• ROF / MOF / Resolución de designación, u otro documento que evidencie que el firmante está facultado para autorizar el uso de la información de la organización. (para el caso de empresas públicas)• Copia del DNI del Representante Legal o Representante del área para validar su firma en el formato.	
<p>Indicar si el Representante que autoriza la información de la empresa, solicita mantener el nombre o cualquier distintivo de la empresa en reserva, marcando con una "X" la opción seleccionada. (x) Mantener en Reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa; o () Mencionar el nombre de la empresa.</p>	
 Ricardo Cardenas Maringo GERENTE GENERAL AE ENERGY S.A.C. RUC: 20556573515	
Firma y sello del Representante Legal DNI: 46368302	
<p>El Bachiller declara que los datos emitidos en esta carta y en el Trabajo de Investigación, en la Tesis son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el bachiller será sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales que la empresa, otorgante de información, pueda ejecutar.</p>	
 Firma del Bachiller DNI: 41543914	

Figura 47. Carta de autorización de usos de datos de la empresa. Otorgada por el gerente general de la empresa.

A4. Base de datos

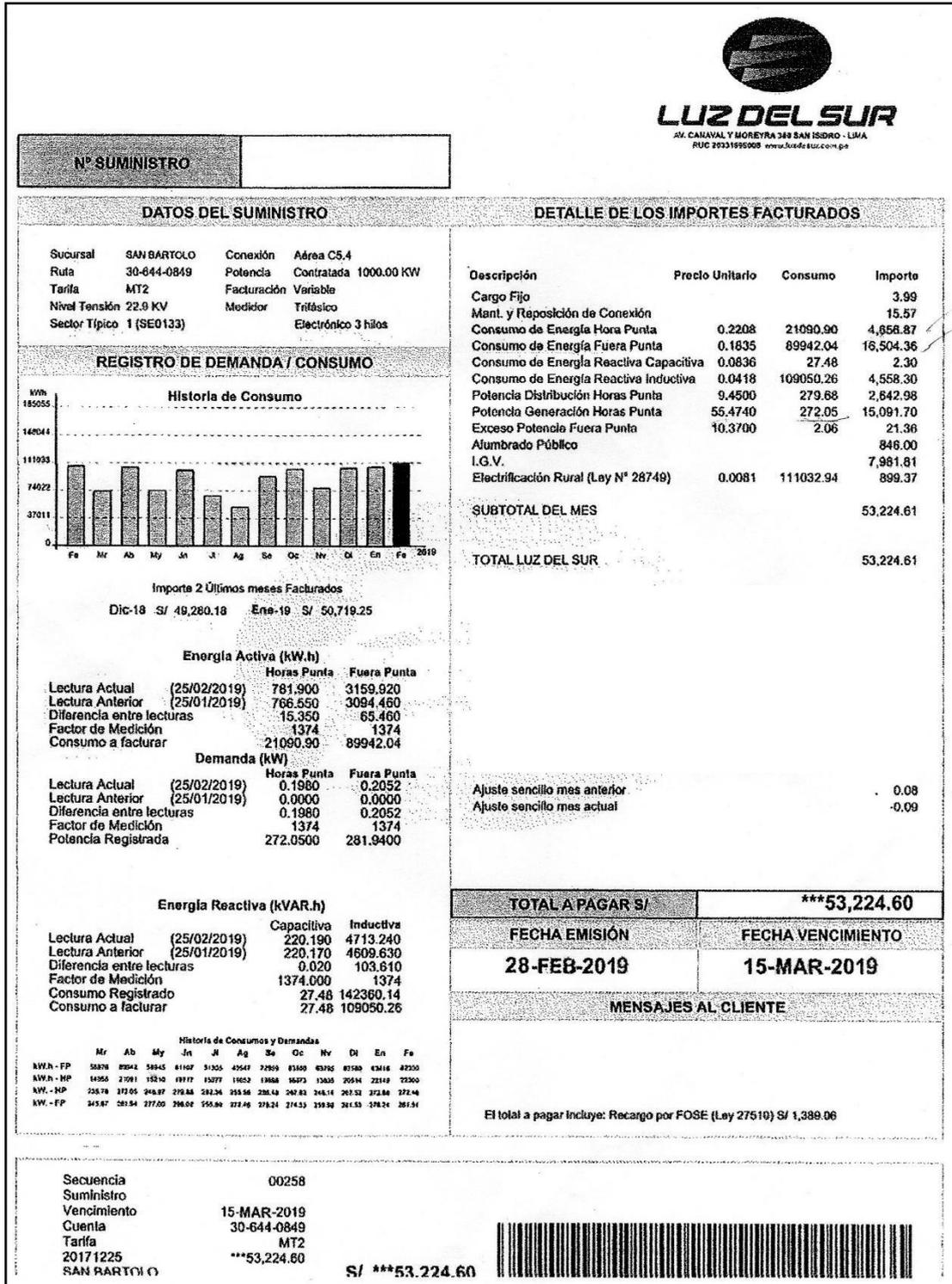


Figura 48. Factura eléctrica del mes de febrero del 2019. Tomada en base a los datos obtenidos en la presente investigación.

Tabla 30. *Parámetros eléctricos descargados del analizador de redes eléctricas*

Fecha	Tiempo	P (kW)	Q (kVAR)	Cos φ	Fecha	Tiempo	P (kW)	Q (kVAR)	Cos φ
23/02/2019	18:30:00	217.488	328.718	0.55	25/02/2019	13:45:00	102.815	92.523	0.74
23/02/2019	18:45:00	242.464	336.357	0.61	25/02/2019	14:00:00	122.070	144.569	0.77
23/02/2019	19:15:00	165.414	119.693	0.85	25/02/2019	14:15:00	202.672	344.984	0.51
23/02/2019	19:30:00	219.141	325.700	0.62	25/02/2019	14:30:00	132.658	162.137	0.76
23/02/2019	19:45:00	249.657	363.162	0.57	25/02/2019	14:45:00	104.818	77.843	0.81
23/02/2019	20:00:00	249.803	360.817	0.57	25/02/2019	15:00:00	109.581	80.973	0.8
23/02/2019	20:15:00	251.975	358.226	0.58	25/02/2019	15:15:00	104.559	79.152	0.8
23/02/2019	20:30:00	224.069	311.221	0.65	25/02/2019	15:30:00	114.037	82.713	0.81
23/02/2019	20:45:00	250.697	355.737	0.57	25/02/2019	15:45:00	84.264	63.424	0.82
23/02/2019	21:00:00	235.816	353.070	0.55	25/02/2019	16:00:00	104.764	80.569	0.78
23/02/2019	21:15:00	205.559	279.778	0.67	25/02/2019	16:15:00	119.095	82.14	0.82
23/02/2019	21:30:00	229.115	295.315	0.69	25/02/2019	16:30:00	152.405	104.895	0.84
23/02/2019	21:45:00	236.651	344.518	0.56	25/02/2019	16:45:00	149.273	119.822	0.82
23/02/2019	22:00:00	257.142	356.100	0.58	25/02/2019	17:00:00	192.621	279.057	0.68
23/02/2019	22:15:00	233.082	296.932	0.69	25/02/2019	17:15:00	235.876	353.611	0.56
23/02/2019	22:30:00	135.367	89.734	0.83	25/02/2019	17:30:00	229.968	349.25	0.55
23/02/2019	22:45:00	109.723	72.520	0.85	25/02/2019	17:45:00	210.453	314.626	0.61
23/02/2019	23:00:00	171.882	193.009	0.78	25/02/2019	18:00:00	219.003	340.848	0.54
23/02/2019	23:15:00	251.271	354.967	0.58	25/02/2019	18:15:00	226.75	348.595	0.55
23/02/2019	23:30:00	250.567	353.287	0.58	25/02/2019	18:30:00	165.987	281.778	0.57
23/02/2019	23:45:00	209.139	274.007	0.70	25/02/2019	18:45:00	149.96	297.789	0.46
24/02/2019	0:00:00	204.581	303.012	0.61	25/02/2019	19:15:00	203.535	329.02	0.53
24/02/2019	0:15:00	154.710	159.481	0.82	25/02/2019	19:30:00	193.363	294.49	0.62
24/02/2019	0:30:00	223.332	315.653	0.62	25/02/2019	19:45:00	221.799	335.469	0.55
24/02/2019	0:45:00	226.179	335.282	0.56	25/02/2019	20:00:00	235.635	345.194	0.56
24/02/2019	1:00:00	184.585	304.447	0.52	25/02/2019	20:15:00	235.285	345.199	0.56
24/02/2019	1:15:00	176.023	300.756	0.51	25/02/2019	20:30:00	196.363	235.812	0.75
24/02/2019	1:30:00	124.068	64.824	0.89	25/02/2019	20:45:00	151.05	90.365	0.86
24/02/2019	1:45:00	179.636	226.868	0.76	25/02/2019	21:00:00	131.412	91.191	0.81
24/02/2019	2:00:00	237.639	341.433	0.57	25/02/2019	21:15:00	103.371	90.654	0.75
24/02/2019	2:15:00	208.422	315.480	0.55	25/02/2019	21:30:00	103.199	80.27	0.8
24/02/2019	2:30:00	217.280	325.240	0.55	25/02/2019	21:45:00	78.383	40.945	0.89
24/02/2019	2:45:00	191.261	281.911	0.64	25/02/2019	22:00:00	83.049	44.005	0.89
24/02/2019	3:00:00	123.525	81.295	0.84	25/02/2019	22:15:00	83.088	43.968	0.88
24/02/2019	3:15:00	144.577	84.535	0.86	25/02/2019	22:30:00	80.032	41.735	0.89
24/02/2019	3:30:00	169.927	157.391	0.84	25/02/2019	22:45:00	104.541	72.135	0.83
24/02/2019	3:45:00	238.294	341.011	0.57	25/02/2019	23:00:00	129.883	83.183	0.84

Fecha	Tiempo	P (kW)	Q (kVAR)	Cos φ	Fecha	Tiempo	P (kW)	Q (kVAR)	Cos φ
24/02/2019	4:00:00	233.073	339.163	0.57	25/02/2019	23:15:00	184.055	235.532	0.75
24/02/2019	4:15:00	208.184	318.495	0.55	25/02/2019	23:30:00	197.141	309.888	0.6
24/02/2019	4:30:00	168.659	219.036	0.72	25/02/2019	23:45:00	145.339	88.145	0.87
24/02/2019	4:45:00	208.557	297.621	0.64	26/02/2019	0:00:00	155.2	102.259	0.85
24/02/2019	5:00:00	199.220	282.658	0.66	26/02/2019	0:15:00	186.847	277.683	0.67
24/02/2019	5:15:00	129.942	91.438	0.82	26/02/2019	0:30:00	178.239	312.736	0.49
24/02/2019	5:30:00	139.660	107.818	0.83	26/02/2019	0:45:00	173.731	307.906	0.49
24/02/2019	5:45:00	157.446	232.046	0.71	26/02/2019	1:00:00	188.407	308.963	0.52
24/02/2019	6:00:00	215.115	301.765	0.58	26/02/2019	1:15:00	202.757	308.768	0.55
24/02/2019	6:15:00	130.032	139.694	0.78	26/02/2019	1:30:00	173.337	208.984	0.78
24/02/2019	6:30:00	109.191	76.798	0.83	26/02/2019	1:45:00	245.385	340.297	0.58
24/02/2019	6:45:00	72.568	39.244	0.88	26/02/2019	2:00:00	234.096	334.557	0.57
24/02/2019	7:00:00	108.318	79.226	0.81	26/02/2019	2:15:00	242.542	336.078	0.58
24/02/2019	7:15:00	125.604	83.838	0.83	26/02/2019	2:30:00	212.626	278.694	0.68
24/02/2019	7:30:00	127.523	83.819	0.83	26/02/2019	2:45:00	248.764	337.714	0.59
24/02/2019	7:45:00	119.403	81.419	0.83	26/02/2019	3:00:00	249.086	337.653	0.59
24/02/2019	8:00:00	117.093	80.054	0.82	26/02/2019	3:15:00	249.28	339.415	0.59
24/02/2019	8:15:00	123.440	85.848	0.82	26/02/2019	3:30:00	162.371	144.397	0.84
24/02/2019	8:30:00	137.420	84.377	0.85	26/02/2019	3:45:00	161.121	85.665	0.88
24/02/2019	8:45:00	122.983	78.911	0.85	26/02/2019	4:00:00	160.222	85.268	0.88
24/02/2019	9:00:00	125.815	80.405	0.84	26/02/2019	4:15:00	160.613	84.678	0.89
24/02/2019	9:15:00	111.266	78.812	0.81	26/02/2019	4:30:00	158.592	83.638	0.89
24/02/2019	9:30:00	125.039	82.289	0.84	26/02/2019	4:45:00	156.648	84.202	0.88
24/02/2019	9:45:00	140.292	86.005	0.85	26/02/2019	5:00:00	128.308	79.249	0.85
24/02/2019	10:00:00	140.756	88.926	0.85	26/02/2019	5:15:00	158.022	83.264	0.89
24/02/2019	10:15:00	116.903	74.497	0.85	26/02/2019	5:30:00	158.204	83.377	0.88
24/02/2019	10:30:00	102.311	64.496	0.86	26/02/2019	5:45:00	158.131	83.009	0.89
24/02/2019	10:45:00	140.575	94.380	0.83	26/02/2019	6:00:00	141.679	72.985	0.9
24/02/2019	11:00:00	112.031	83.287	0.8	26/02/2019	6:15:00	156.119	82.727	0.88
24/02/2019	11:15:00	78.280	45.555	0.85	26/02/2019	6:30:00	124.133	65.654	0.89
24/02/2019	11:30:00	101.389	60.548	0.87	26/02/2019	6:45:00	88.275	42.133	0.91
24/02/2019	3:15:00	144.577	84.535	0.86	26/02/2019	7:00:00	102.037	53.503	0.88
24/02/2019	3:30:00	169.927	157.391	0.84	26/02/2019	7:15:00	99.591	55.854	0.87
24/02/2019	3:45:00	238.294	341.011	0.57	26/02/2019	7:30:00	89.36	58.951	0.84
24/02/2019	4:00:00	233.073	339.163	0.57	26/02/2019	7:45:00	91.641	66.003	0.82
24/02/2019	4:15:00	208.184	318.495	0.55	26/02/2019	8:00:00	86.774	61.443	0.82
24/02/2019	4:30:00	168.659	219.036	0.72	26/02/2019	8:15:00	123.921	100.492	0.77
24/02/2019	4:45:00	208.557	297.621	0.64	26/02/2019	8:30:00	133.096	103.684	0.79

Fecha	Tiempo	P (kW)	Q (kVAR)	Cos φ	Fecha	Tiempo	P (kW)	Q (kVAR)	Cos φ
24/02/2019	5:00:00	199.220	282.658	0.66	26/02/2019	8:45:00	128.482	101.943	0.78
24/02/2019	5:15:00	129.942	91.438	0.82	26/02/2019	9:00:00	136.233	103.931	0.79
24/02/2019	5:30:00	139.660	107.818	0.83	26/02/2019	9:15:00	125.354	99.677	0.78
24/02/2019	5:45:00	157.446	232.046	0.71	26/02/2019	9:30:00	165.522	107.598	0.84
24/02/2019	6:00:00	215.115	301.765	0.58	26/02/2019	9:45:00	168.148	106.061	0.84
24/02/2019	6:15:00	130.032	139.694	0.78	26/02/2019	10:00:00	224.745	311.928	0.66
24/02/2019	6:30:00	109.191	76.798	0.83	26/02/2019	10:15:00	258.317	374.803	0.57
24/02/2019	6:45:00	72.568	39.244	0.88	26/02/2019	10:30:00	205.566	333.943	0.52
24/02/2019	7:00:00	108.318	79.226	0.81	26/02/2019	10:45:00	200.43	304.469	0.61
24/02/2019	7:15:00	125.604	83.838	0.83	26/02/2019	11:00:00	229.25	355.802	0.55
24/02/2019	7:30:00	127.523	83.819	0.83	26/02/2019	11:15:00	233.167	361.86	0.54
24/02/2019	7:45:00	119.403	81.419	0.83	26/02/2019	11:30:00	222.38	364.007	0.52
24/02/2019	8:00:00	117.093	80.054	0.82	26/02/2019	11:45:00	233.322	327.532	0.64
24/02/2019	8:15:00	123.440	85.848	0.82	26/02/2019	12:00:00	262.693	372.601	0.58
24/02/2019	8:30:00	137.420	84.377	0.85	26/02/2019	12:15:00	257.911	369.499	0.57
24/02/2019	8:45:00	122.983	78.911	0.85	26/02/2019	12:30:00	226.507	356.997	0.54
24/02/2019	9:00:00	125.815	80.405	0.84	26/02/2019	12:45:00	223.556	374.437	0.51
24/02/2019	9:15:00	111.266	78.812	0.81	26/02/2019	13:00:00	209.327	312.251	0.64
24/02/2019	9:30:00	125.039	82.289	0.84	26/02/2019	13:15:00	159.126	110.043	0.82
24/02/2019	9:45:00	140.292	86.005	0.85	26/02/2019	13:30:00	125.854	99.432	0.78
24/02/2019	10:00:00	140.756	88.926	0.85	26/02/2019	13:45:00	134.01	104.394	0.79
24/02/2019	10:15:00	116.903	74.497	0.85	26/02/2019	14:00:00	189.01	245.221	0.71
24/02/2019	10:30:00	102.311	64.496	0.86	26/02/2019	14:15:00	237.651	361.082	0.54
24/02/2019	10:45:00	140.575	94.380	0.83	26/02/2019	14:30:00	205.408	355.881	0.5
24/02/2019	11:00:00	112.031	83.287	0.8	26/02/2019	14:45:00	165.621	263.457	0.64
24/02/2019	11:15:00	78.280	45.555	0.85	26/02/2019	15:00:00	113.466	86.809	0.8
24/02/2019	11:30:00	101.389	60.548	0.87	26/02/2019	15:15:00	104.318	64.717	0.85
24/02/2019	11:45:00	137.180	100.348	0.82	26/02/2019	15:30:00	129.329	75.335	0.86
24/02/2019	12:00:00	116.200	72.139	0.86	26/02/2019	15:45:00	158.53	110.265	0.82
24/02/2019	12:15:00	120.979	81.057	0.84	26/02/2019	16:00:00	161.833	110.807	0.83
24/02/2019	12:30:00	135.862	85.421	0.85	26/02/2019	16:15:00	236.768	373.046	0.54
24/02/2019	12:45:00	133.168	83.543	0.85	26/02/2019	16:30:00	254.031	381.843	0.55
24/02/2019	13:00:00	146.158	99.449	0.84	26/02/2019	16:45:00	244.093	376.505	0.55
24/02/2019	13:15:00	158.983	111.007	0.83	26/02/2019	17:00:00	236.248	359.256	0.58
24/02/2019	13:30:00	148.953	99.72	0.84	26/02/2019	17:15:00	239.824	342.575	0.63
24/02/2019	13:45:00	121.704	86.757	0.82	26/02/2019	17:30:00	254.892	374.54	0.56
24/02/2019	14:00:00	123.520	94.074	0.79	26/02/2019	17:45:00	250.3	373.912	0.56
24/02/2019	14:15:00	122.756	95.548	0.79	26/02/2019	18:00:00	256.298	374.703	0.56

Fecha	Tiempo	P (kW)	Q (kVAR)	Cos φ	Fecha	Tiempo	P (kW)	Q (kVAR)	Cos φ
24/02/2019	14:30:00	118.881	94.985	0.78	26/02/2019	18:15:00	237.649	344.283	0.61
24/02/2019	14:45:00	110.352	93.863	0.76	26/02/2019	18:30:00	238.109	357.094	0.55
24/02/2019	15:00:00	135.183	98.896	0.8	26/02/2019	18:45:00	240.947	372.214	0.55
24/02/2019	15:15:00	110.358	72.354	0.84	26/02/2019	19:15:00	226.153	310.112	0.64
24/02/2019	15:30:00	119.967	100.692	0.78	26/02/2019	19:30:00	262.018	343.85	0.61
24/02/2019	15:45:00	147.279	133.156	0.78	26/02/2019	19:45:00	253.707	336.66	0.6
24/02/2019	16:00:00	151.908	150.826	0.77	26/02/2019	20:00:00	250.556	335.022	0.6
24/02/2019	16:15:00	155.685	109.073	0.82	26/02/2019	20:15:00	224.969	279.698	0.7
24/02/2019	16:30:00	123.389	89.329	0.82	26/02/2019	20:30:00	257.937	343.97	0.6
24/02/2019	16:45:00	124.729	97.906	0.8	26/02/2019	20:45:00	267.165	369.912	0.59
24/02/2019	17:00:00	218.843	351.079	0.58	26/02/2019	21:00:00	184.453	171.98	0.8
24/02/2019	17:15:00	239.095	373.950	0.54	26/02/2019	21:15:00	168.328	121.654	0.82
24/02/2019	17:30:00	218.316	363.895	0.51	26/02/2019	21:30:00	184.937	138.865	0.83
24/02/2019	17:45:00	217.568	360.731	0.51	26/02/2019	21:45:00	252.95	347.75	0.61
24/02/2019	18:00:00	214.520	316.179	0.61	26/02/2019	22:00:00	237.427	291.643	0.7
24/02/2019	18:15:00	248.199	344.642	0.58	26/02/2019	22:15:00	172.753	104.876	0.86
24/02/2019	18:30:00	261.347	367.824	0.58	26/02/2019	22:30:00	139.772	90.247	0.84
24/02/2019	18:45:00	266.249	370.483	0.58	26/02/2019	22:45:00	137.37	90.423	0.84
24/02/2019	19:15:00	262.864	367.265	0.58	26/02/2019	23:00:00	215.441	277.872	0.71
24/02/2019	19:30:00	234.935	354.074	0.55	26/02/2019	23:15:00	208.444	286.857	0.68
24/02/2019	19:45:00	237.006	367.546	0.54	26/02/2019	23:30:00	268.119	362.992	0.59
24/02/2019	20:00:00	243.116	369.398	0.55	26/02/2019	23:45:00	272.371	358.848	0.61
24/02/2019	20:15:00	224.091	281.024	0.71	27/02/2019	0:00:00	272.392	360.64	0.6
24/02/2019	20:30:00	162.286	104.899	0.84	27/02/2019	0:15:00	205.932	272.102	0.72
24/02/2019	20:45:00	148.080	99.271	0.83	27/02/2019	0:30:00	248.858	353.873	0.57
24/02/2019	21:00:00	156.397	134.528	0.81	27/02/2019	0:45:00	242.231	351.225	0.57
24/02/2019	21:15:00	153.612	99.00	0.84	27/02/2019	1:00:00	234.753	347.64	0.56
24/02/2019	21:30:00	176.791	103.216	0.86	27/02/2019	1:15:00	221.716	321.708	0.61
24/02/2019	21:45:00	181.738	103.961	0.87	27/02/2019	1:30:00	239.865	349.752	0.56
24/02/2019	22:00:00	166.851	97.186	0.87	27/02/2019	1:45:00	245.487	352.424	0.57
24/02/2019	22:15:00	182.206	105.890	0.86	27/02/2019	2:00:00	263.816	340.113	0.64
24/02/2019	22:30:00	132.949	92.172	0.82	27/02/2019	2:15:00	246.334	306.953	0.69
24/02/2019	22:45:00	123.620	83.982	0.84	27/02/2019	2:30:00	241.643	338.848	0.62
24/02/2019	23:00:00	166.028	107.436	0.84	27/02/2019	2:45:00	257.846	355.731	0.59
24/02/2019	23:15:00	143.097	76.787	0.88	27/02/2019	3:00:00	267.8	357.945	0.6
24/02/2019	23:30:00	137.593	66.953	0.9	27/02/2019	3:15:00	246.906	317.427	0.67
24/02/2019	23:45:00	143.230	83.101	0.87	27/02/2019	3:30:00	264.453	357.279	0.59
25/02/2019	0:00:00	207.579	279.064	0.71	27/02/2019	3:45:00	256.105	354.045	0.58

Fecha	Tiempo	P (kW)	Q (kVAR)	Cos φ	Fecha	Tiempo	P (kW)	Q (kVAR)	Cos φ
25/02/2019	0:15:00	190.103	166.112	0.82	27/02/2019	4:00:00	236.39	338.862	0.57
25/02/2019	0:30:00	191.513	329.811	0.51	27/02/2019	4:15:00	225.017	290.128	0.68
25/02/2019	0:45:00	151.480	195.89	0.74	27/02/2019	4:30:00	154.108	99.436	0.84
25/02/2019	1:00:00	222.577	353.065	0.53	27/02/2019	4:45:00	219.056	263.43	0.74
25/02/2019	1:15:00	244.938	359.297	0.56	27/02/2019	5:00:00	267.19	362.823	0.59
25/02/2019	1:30:00	251.193	357.674	0.57	27/02/2019	5:15:00	264.297	361.516	0.59
25/02/2019	1:45:00	248.675	337.948	0.62	27/02/2019	5:30:00	208.175	273.941	0.68
25/02/2019	2:00:00	225.005	325.481	0.57	27/02/2019	5:45:00	149.616	95.639	0.84
25/02/2019	2:15:00	215.998	325.129	0.55	27/02/2019	6:00:00	174.19	98.859	0.87
25/02/2019	2:30:00	253.645	357.153	0.58	27/02/2019	6:15:00	172.325	101.165	0.86
25/02/2019	2:45:00	241.385	335.282	0.62	27/02/2019	6:30:00	177.318	179.899	0.81
25/02/2019	3:00:00	258.569	361.489	0.58	27/02/2019	6:45:00	201.711	339.59	0.54
25/02/2019	3:15:00	262.317	360.734	0.58	27/02/2019	7:00:00	225.278	346.292	0.56
25/02/2019	3:30:00	259.997	358.446	0.58	27/02/2019	7:15:00	262.863	364.973	0.59
25/02/2019	3:45:00	196.613	219.997	0.78	27/02/2019	7:30:00	255.627	365.088	0.57
25/02/2019	4:00:00	250.831	356.862	0.57	27/02/2019	7:45:00	241.408	338.223	0.63
25/02/2019	4:15:00	239.081	353.196	0.56	27/02/2019	8:00:00	231.929	355.816	0.54
25/02/2019	4:30:00	245.41	357.435	0.57	27/02/2019	8:15:00	221.325	358.081	0.53
25/02/2019	4:45:00	243.853	334.286	0.62	27/02/2019	8:30:00	203.583	340.975	0.51
25/02/2019	5:00:00	242.074	349.713	0.57	27/02/2019	8:45:00	138.098	207.998	0.69
25/02/2019	5:15:00	246.044	348.234	0.58	27/02/2019	9:00:00	219.711	348.882	0.55
25/02/2019	5:30:00	256.626	355.797	0.59	27/02/2019	9:15:00	215.107	356.015	0.52
25/02/2019	5:45:00	241.931	327.757	0.63	27/02/2019	9:30:00	213.363	351.692	0.52
25/02/2019	6:00:00	176.947	106.139	0.86	27/02/2019	9:45:00	208.248	303.254	0.63
25/02/2019	6:15:00	144.672	84.134	0.87	27/02/2019	10:00:00	141.34	104.766	0.8
25/02/2019	6:30:00	183.272	318.298	0.55	27/02/2019	10:15:00	145.535	107.633	0.81
25/02/2019	6:45:00	212.072	344.465	0.52	27/02/2019	10:30:00	135.27	89.468	0.84
25/02/2019	7:00:00	244.570	351.048	0.57	27/02/2019	10:45:00	106.756	88.395	0.78
25/02/2019	7:15:00	236.739	349.799	0.56	27/02/2019	11:00:00	126.499	102.234	0.78
25/02/2019	7:30:00	181.939	297.339	0.58	27/02/2019	11:15:00	118.525	97.446	0.78
25/02/2019	7:45:00	203.638	332.779	0.52	27/02/2019	11:30:00	129.659	105.941	0.77
25/02/2019	8:00:00	198.338	330.459	0.51	27/02/2019	11:45:00	127.539	104.634	0.77
25/02/2019	8:15:00	211.844	327.342	0.58	27/02/2019	12:00:00	193.49	245.772	0.73
25/02/2019	8:30:00	192.644	293.394	0.61	27/02/2019	12:15:00	243.456	372.276	0.55
25/02/2019	8:45:00	198.325	330.352	0.51	27/02/2019	12:30:00	221.222	373.413	0.51
25/02/2019	9:00:00	225.255	343.433	0.55	27/02/2019	12:45:00	215.228	347.351	0.53
25/02/2019	9:15:00	223.914	342.056	0.55	27/02/2019	13:00:00	219.192	345.201	0.54
25/02/2019	9:30:00	143.168	192.259	0.74	27/02/2019	13:15:00	152.746	111.538	0.81

Fecha	Tiempo	P (kW)	Q (kVAR)	Cos φ	Fecha	Tiempo	P (kW)	Q (kVAR)	Cos φ
25/02/2019	9:45:00	213.465	338.795	0.53	27/02/2019	13:30:00	163.314	110.513	0.83
25/02/2019	10:00:00	232.374	343.724	0.56	27/02/2019	13:45:00	153.151	110.107	0.81
25/02/2019	10:15:00	235.296	348.923	0.56	27/02/2019	14:00:00	140.002	103.104	0.81
25/02/2019	10:30:00	226.366	326.01	0.61	27/02/2019	14:15:00	150.189	105.497	0.82
25/02/2019	10:45:00	240.140	355.083	0.56	27/02/2019	14:30:00	128.87	100.076	0.79
25/02/2019	11:00:00	215.141	347.349	0.53	27/02/2019	14:45:00	100.473	87.065	0.75
25/02/2019	11:15:00	195.625	337.927	0.5	27/02/2019	15:00:00	168.935	290.051	0.6
25/02/2019	11:30:00	200.619	345.295	0.5	27/02/2019	15:15:00	222.739	365.754	0.52
25/02/2019	11:45:00	127.353	111.374	0.79	27/02/2019	15:30:00	222.081	365.815	0.52
25/02/2019	12:00:00	145.505	91.668	0.84	27/02/2019	15:45:00	229.154	320.007	0.65
25/02/2019	12:15:00	109.835	85.001	0.78	27/02/2019	16:00:00	218.164	326.069	0.61
25/02/2019	12:30:00	102.420	90.922	0.75	27/02/2019	16:15:00	235.776	371.094	0.54
25/02/2019	12:45:00	100.651	91.186	0.74	27/02/2019	16:30:00	243.01	370.631	0.55
25/02/2019	13:00:00	102.294	92.926	0.74	27/02/2019	16:45:00	238.294	362.77	0.55
25/02/2019	13:15:00	97.335	90.677	0.73	27/02/2019	17:00:00	234.769	330.035	0.61
25/02/2019	13:30:00	103.288	93.653	0.74	-	-	-	-	-

Tabla 31. Periodo de facturación de la empresa correspondiente al 2018-2019

Mes	E. Activa registrada (kW.h)	E. Reactiva registrada (kVAR.h)	E. Reactiva a facturar (kVAR.h)	Facturación por E. Reactiva (S/.)
Feb-18	108812.2812	139512.9372	106869.25	4499.20
Mar-18	71081.22031	72372.95231	51048.59	2149.15
Abr-18	103135.188	102768.33	71827.77	3023.95
May-18	73279.60857	74611.29104	52627.41	2215.61
Jun-18	84830.76	114220.62	88771.39	3737.28
Jul-18	72482.30323	73799.49658	52054.81	2191.51
Ago-18	52115.82	50054.82	34420.07	1449.09
Set-18	92854.92	93830.46	65973.98	2757.71
Oct-18	102140.412	103213.506	72571.38	3033.48
Nov-18	75502.3992	76874.4756	54223.76	2266.55
Dic-18	104370.9636	113888.112	82576.82	3451.71
Ene-19	105481.293	121006.12	89361.73	3735.32
Feb-19	111032.94	142360.14	109050.26	4558.30
			TOTAL	S/.39,068.85

A5. Otros anexos necesarios de acuerdo a la naturaleza del problema

1. DISEÑO REFERENCIAL TABLERO DE BANCO CONDENSADORES STANDAR

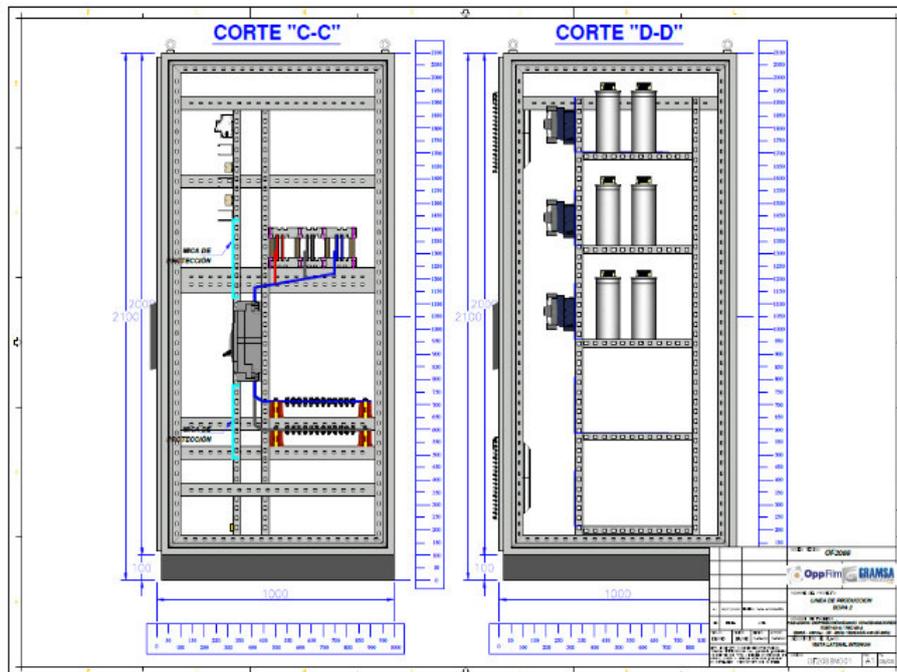
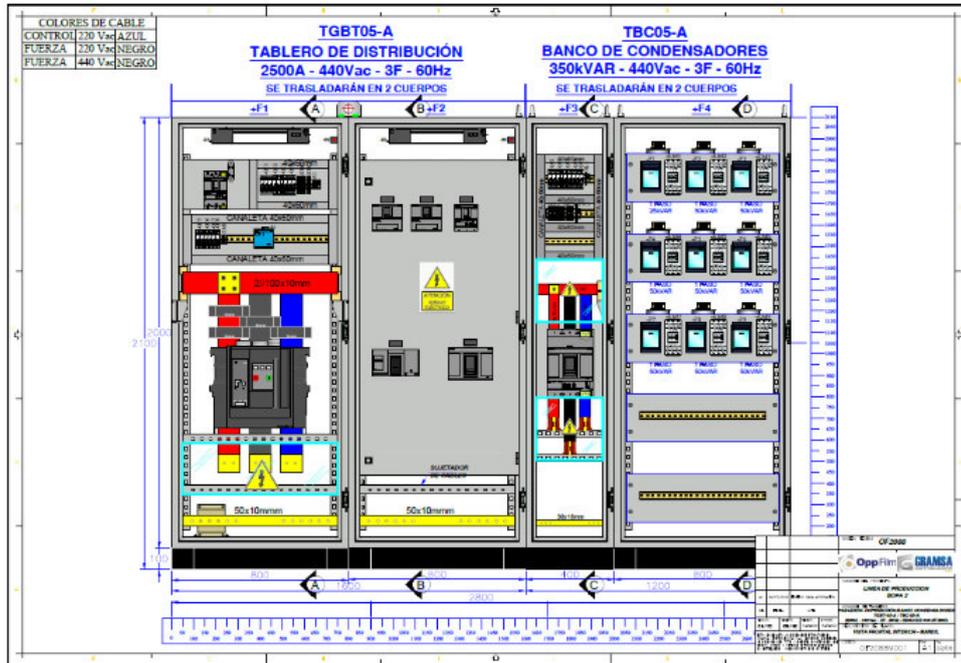


Figura 49. Cotización parte 1.

2. PROPUESTA ECONÓMICA-TÉCNICA

2.1. HOJA DE PRECIO

GRUPO	Total
TABLERO BCO. CONDENSADORES 340,2KVAR/380V 10 PASOS Y 2 RESERVAS (1:2:3:3:3:3:3:3:3)	S/ 37,245.31
Total general	S/ 37,245.31

El monto es de:

Treinta y siete mil doscientos cuarenta y cinco con 31/100 Soles (S/ 37,245.31).

ANEXO:

GRUPO	Glosa	Marca	Total
TABLERO BCO. CONDENSADORES 327KVAR/380V	Portaplanos A4, profundidad aprovechable de 30 mm, autoadhesivo	ELDON	1
	Contactador para condensador, AC-6b 25 kVAr, /400 V 1 NA + 2 NC, 230 V AC, 50 Hz 3 polos, tamaño S0 conexión por tornillo	SIEMENS	1
	Termostato NA fijo, IP20, azul, P/ Ventilador	ELDON	1
	Contactador para condensador, AC-6b 50 kVAr, /400 V 2 NC, 230 V AC, 50 Hz 3 polos, tamaño S2 conexión por tornillo	SIEMENS	9
	INTERR. PROTEC. SELEC. 400V 10KA, 3POLOS, C, 2A, P=70MM	SIEMENS	3
	Transformador de corriente 1250/5 Modelo: TC.6 Cl. 0.5 10VA	CIRCUTOR	1
	Transformador monofásico 1500VA borneras	AUDAX	1
	Ventilador con filtro 707 m3/h, 230 V, 50/60 Hz, IP54 324x324mm	JASON FAN	2
	Filtro de salida IP54 324x324mm	JASON FAN	2

Figura 50. Cotización parte 2.

	REGULADOR DE CORRIENTE REACTIVA 12 PASOS 110-230VAC 60Hz con interfaz de comunicación RS-485 (Modbus RTU)	SIEMENS	1
	INTERR. PROTEC. SELEC. 400V 10KA, 2POLOS, C, 10A, P=70MM	SIEMENS	3
	INTERR. PROTEC. SELEC. 400V 10KA, 2POLOS, C, 4A, P=70MM	SIEMENS	2
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 3VA2 IEC FRAME 1000 CLASE DE PODER DE CORTE M ICU=55KA @ 415 V 3 POLOS, PROT. DISTRIBUCIONES ETU320, LI, IN=800A PROTECCION DE SOBRECARGA IR=320A ...800A PROTECCION DE CORTOCIRCUITO II=1,5...12 X IN CONEXIONES PLANAS POR TORNILLO	SIEMENS	1
	Condensador Trifásico PhiCap 25,2 kVAR/415V.	SIEMENS	9
	Condensador Trifásico PhiCap 12,6 kVAR/415V.	SIEMENS	9
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 3VA1 IEC FRAME 160 CLASE DE PODER DE CORTE M ICU=55KA @ 415 V 3 POLOS, PROTEC. DISTRIBUCIONES TM220, ATFM, IN=100A PROTECCION DE SOBRECARGA IR=70A ...100A PROTECCION DE CORTOCIRCUITO II=10 X IN CONEXION PLANA CON TORNILLO	SIEMENS	8
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 3VA1 IEC FRAME 160 CLASE DE PODER DE CORTE M ICU=55KA @ 415 V 3 POLOS, PROTEC. DISTRIBUCIONES TM220, ATFM, IN=63A PROTECCION DE SOBRECARGA IR=44A ...63A PROTECCION DE CORTOCIRCUITO II=10 X IN CONEXION PLANA CON TORNILLO	SIEMENS	1
	Autoportante, combinable, 2 puertas, con MP, acero dulce, IP56 con accesorio MPD02/LE9304 1200*2000*800 mm (Anch*Alt*Prof)	ELDON	1
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 3VA1 IEC FRAME 160 CLASE DE PODER DE CORTE M ICU=55KA @ 415 V 3 POLOS, PROTEC. DISTRIBUCIONES TM220, ATFM, IN=32A PROTECCION DE SOBRECARGA IR=22A ...32A PROTECCION DE CORTOCIRCUITO II=10 X IN CONEXION PLANA CON TORNILLO	SIEMENS	1
Total TABLERO BCO. CONDENSADORES 340,2 KVAR/380V			57

Figura 51. Cotización parte 3.