



Estudio de consumos energéticos y diseño de un banco de condensadores para la empresa Arenas Industriales de Sogamoso

Jhonatan Cardozo Vargas

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Tunja, Colombia
2020

Estudio de consumos energéticos y diseño de un banco de condensadores para la empresa Arenas Industriales de Sogamoso

Jhonatan Cardozo Vargas

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Electromecánico

Director:

MSc. Ingeniero Juan David Rivera Niquepa

Línea de Investigación:

Análisis energético.

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Tunja, Colombia

2020

Dedicatoria

Dedicado a la persona que es mí amiga, compañera y esposa, porque gracias a ella, a su colaboración, paciencia y apoyo he alcanzado metas enfocadas en el bienestar tanto de ella como mío.

Se ha recorrido un camino largo y tengo la esperanza que aún nos falta mucho más por recorrer, pero lo mejor de todo ha sido poder contar siempre contigo.

Agradecimientos

A don Alirio Estepa Ríos, gerente de la empresa Arenas Industriales de Sogamoso, por permitirme hacer parte desde hace mucho tiempo de lo que para él se ha convertido en un proyecto de vida, por permitirme ser parte del proceso de mejora continua de su empresa y de los procesos que allí se llevan a cabo.

Resumen

El propósito del presente estudio es el de analizar el consumo energético en la empresa Arenas Industriales de Sogamoso, en búsqueda de determinar el estado actual de la instalación eléctrica, para identificar el factor de potencia de la misma, luego diseñar un banco de condensadores que permita llevar el factor de potencia a valores cercanos a la unidad.

Con este trabajo se evidenció que el consumo de potencia reactiva es del 87.3% con relación a la potencia activa, y que el factor de potencia global de la instalación es de 0.523, siendo este un valor muy bajo, dado que hace al usuario final susceptible de recibir cobros y penalizaciones por consumo excesivo de energía reactiva, de acuerdo con la resolución CREG 015-2018.

Además, se calculó un banco de condensadores con una capacidad total de compensación reactiva de 27.8 KVAR, correspondiente a la suma de los valores de compensación reactiva definidos para cada uno de los circuitos inductivos con que cuenta la instalación eléctrica.

Con la implementación de este banco de condensadores se estima que el nuevo factor de potencia de la instalación eléctrica llegará a un valor de 0.997, consiguiéndose así, que la potencia reactiva corresponda solamente al 7.7% de la potencia activa y evitando que la empresa Arenas Industriales de Sogamoso tenga que hacer pagos por consumo en exceso de energía reactiva.

Palabras clave: Factor de potencia, energía reactiva, banco de condensadores.

Abstract

The purpose of this study is to analyze energy consumption in the company “Arenas Industriales de Sogamoso”, in search of determining the current state of the electrical network, to identify the power factor of the same, then design a capacitor bank that allows it bring it to values close to unity.

This work showed that reactive power consumption is 87.3% in relation to active power, and that the overall power factor of the installation is 0.523, this being a very low value, since it makes the end user susceptible to receive charges and penalties for excessive consumption of reactive energy, in according with resolution CREG 015-2018.

In addition, a bank of capacitors was calculated with a total reactive compensation capacity of 27.8 KVAR, corresponding to the sum of the reactive compensation values defined for each of the inductive circuits in the electrical network.

With the implementation of this bank of capacitors, it is estimated that the new power factor of the electrical network will reach a value of 0.997, thus achieving that the reactive power corresponds only to 7.7% of the active power and preventing the company “Arenas Industriales de Sogamoso” has to make payments for consumption in excess of reactive energy.

Keywords: Power factor, reactive energy, capacitor bank.

Contenido

	Pág.
1. Capítulo 1: Marco teórico	16
1.1 Procesamiento de arena para uso industrial	16
1.2 Potencia eléctrica	18
1.2.1 Potencia activa	19
1.2.2 Potencia reactiva	20
1.2.3 Potencia aparente	20
1.2.4 Triangulo de potencias	21
1.3 Factor de potencia	22
1.3.1 Factor de potencia de desplazamiento	23
1.3.2 Factor de potencia real.....	24
1.4 Condensador.....	24
1.4.1 Banco de condensadores.....	25
1.4.2 Calculo de un banco de condensadores.....	26
1.5 Pinza amperimetrica y de potencial.....	28
1.6 Resolución CREG 015-2018.....	32
2. Capítulo 2: Desarrollo metodológico	33
2.1 Diagnóstico de la instalación existente.....	33
2.1.1 Acometida principal	35
2.1.2 Circuito alimentador.....	37
2.1.3 Tablero general.....	38
2.1.4 Tablero de potencia y control.....	40
2.1.5 Condiciones generales de la instalación.....	42
2.2 Consumo de energía y factor de potencia.....	43
2.2.1 Circuito C1-B1 Transformador BT-BT	44
2.2.2 Circuito C1-B5 Motor criba N°2.....	46
2.2.3 Circuito C2-B5 Motor criba N°1	50
2.2.4 Circuito C3- B5 Motores banda de cangilones y criba N°0	53
2.2.5 Circuito C4-B5 Motor mesa oscilatoria	56
2.2.6 Circuito C5-B5 Motor banda transportadora	59
2.2.7 Circuito C6-B5 Motor horno rotativo.....	61
2.2.8 Circuito C7-B5 Motor ventilador	63
2.2.9 Circuito C8-B5 Conexión motor electrobomba	66
2.2.10 Factor de potencia global de la instalación.....	69
3. Capítulo 3: Diseño del banco de condensadores.....	70
3.1 Diseño del banco de condensadores para cada circuito.	70

3.1.1	Circuito C1-B1 Transformador BT-BT	70
3.1.2	Circuito C1-B5 Motor criba N°2	71
3.1.3	Circuito C2-B5 Motor criba N°1	72
3.1.4	Circuito C3-B5 Motores banda de cangilones y criba N°0	73
3.1.5	Circuito C4-B5 Motor mesa oscilatoria	74
3.1.6	Circuito C5-B5 Motor banda transportadora	75
3.1.7	Circuito C6-B5 Motor horno rotativo	76
3.1.8	Circuito C7-B5 Motor ventilador	77
3.1.9	Circuito C8-B5 Conexión motor electrobomba	78
3.1.10	Compensación total	79
3.1.11	Análisis económico	80
4.	Capítulo 4: Análisis de resultados	84
4.1	Estado actual de la instalación	84
4.2	Instalación banco de condensadores	86
	Conclusiones y recomendaciones	89
	Conclusiones	89
	Recomendaciones	90

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1 Diagrama de flujo del procesamiento de arena para uso industrial.	17
Figura 1-2 Triangulo de potencias, representación general.	21
Figura 1-3: Triangulo de potencias, inductivo y capacitivo	22
Figura 1-4 Desfase de dos ondas senoidales.	23
Figura 1-5 Corrección del factor de potencia	26
Figura 1-6 Pinza amperimetrica y de potencial UT243.	28
Figura 1-7 Interface UT243.....	29
Figura 1-8 Conexionado del equipo UT243.	30
Figura 1-9 Especificaciones UT243.....	31
Figura 2-1 Diagrama unifilar simplificado.	34
Figura 2-2 Conductores de acometida.	37
Figura 2-3 Tablero general	39
Figura 2-4 Tablero de potencia y control.....	40
Figura 2-5 Transformador BT-BT.	44
Figura 2-6 Motor criba N°2.	47
Figura 2-7 Comparativo de potencias circuito C1-B5.	50
Figura 2-8 Motor criba N°1	50
Figura 2-9 Comparativo de potencias circuito C2-B5.	52
Figura 2-10 Motores banda de cangilones y criba N°0	53
Figura 2-11 Comparativo de potencias circuito C3-B5.	55
Figura 2-12 Motor mesa oscilatoria.	56
Figura 2-13 Comparativo de potencias circuito C4-B5.	58
Figura 2-14 Motor banda transportadora.	59
Figura 2-15 Comparativo de potencias circuito C5-B5.	61
Figura 2-16 Motor horno rotativo.	61

Figura 2-17 Motor ventilador.....	63
Figura 2-18 Comparativo de potencias circuito C7-B5.	66
Figura 2-19 Motor electrobomba.	66
Figura 2-20 Comparativo de potencias circuito C8-B5.	68
Figura 4-1 Ocupación transformador 45 KVA	88

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1 Parámetros de la acometida principal	36
Tabla 2-2 Parámetros del circuito alimentador	38
Tabla 2-3 Parámetros del tablero general	39
Tabla 2-4 Parámetros del tablero de potencia y control.....	41
Tabla 2-5 Tiempos para toma de datos por circuito.	43
Tabla 2-6 Datos promedio circuito C1-B1.....	45
Tabla 2-7 Resumen circuito C1-B1.....	46
Tabla 2-8 Datos promedio circuito C1-B5.....	48
Tabla 2-9 Resumen circuito C1-B5.....	49
Tabla 2-10 Datos promedio circuito C2-B5.....	51
Tabla 2-11 Resumen circuito C2-B5.....	52
Tabla 2-12 Datos promedio circuito C3-B5.....	54
Tabla 2-13 Resumen circuito C3-B5.....	55
Tabla 2-14 Datos promedio circuito C4-B5.....	57
Tabla 2-15 Resumen circuito C4-B5.....	58
Tabla 2-16 Datos promedio circuito C5-B5.....	59
Tabla 2-17 Resumen circuito C5-B5.....	60
Tabla 2-18 Datos promedio circuito C6-B5.....	62
Tabla 2-19 Resumen circuito C6-B6.....	63
Tabla 2-20 Datos promedio circuito C7-B5.....	64
Tabla 2-21 Resumen circuito C7-B5.....	65
Tabla 2-22 Datos promedio circuito C87-B5.....	67
Tabla 2-23 Resumen circuito motor electrobomba.....	68
Tabla 2-24 Factor de potencia global inicial.	69
Tabla 3-1 Resumen cálculo de condensadores, circuito motor criba N°2.	71

Tabla 3-2 Resumen cálculo de condensadores, circuito motor criba N°1.	72
Tabla 3-3 Resumen cálculo de condensadores, circuito motores banda de cangilones y criba N°0.	73
Tabla 3-4 Resumen cálculo de condensadores, circuito motor mesa oscilatoria.	74
Tabla 3-5 Resumen cálculo de condensadores, circuito motor banda transportadora.	75
Tabla 3-6 Resumen cálculo de condensadores, circuito motor horno rotativo.	76
Tabla 3-7 Resumen cálculo de condensadores, circuito motor ventilador.	77
Tabla 3-8 Resumen cálculo de condensadores, circuito conexión motor electrobomba. ...	78
Tabla 3-9 Compensación total diseñada	79
Tabla 3-10 Factor de potencia global con compensación	80
Tabla 3-11 Costo del banco de condensadores	81
Tabla 3-12 Estimación de ahorro mensual.	82
Tabla 3-13 Periodo de recuperación de la inversión.	83
Tabla 4-1 Resumen de potencias en el estado actual.	84
Tabla 4-2 Relación porcentual de la potencia reactiva en el estado inicial.	85
Tabla 4-3 Resumen de potencias instalando el banco de condensadores.	86
Tabla 4-4 Relación porcentual de la potencia reactiva instalando banco de condensadores.	87

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
C	Capacitancia	F	Ec. 1-11
FP	Factor de potencia		Ec. 1-9
P	Potencia activa	W	Ec. 1-2
S	Potencia aparente	VA	Ec. 1-6
Q	Potencia reactiva	VAr	Ec. 1-5

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
θ	Angulo de desplazamiento	Grados	Ec. 1-8

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>CREG</i>	Comisión de regulación de energía y gas
<i>FP</i>	Factor de potencia
<i>KVA</i>	Kilovoltiamperios
<i>KVAr</i>	Kilovoltiamperios reactivos
<i>KW</i>	Kilovatios
<i>SDL</i>	Sistema de distribución local
<i>STN</i>	Sistema de transmisión nacional
<i>STR</i>	Sistema de transmisión regional

Introducción

La empresa Arenas Industriales de Sogamoso se dedica al procesamiento de arena para ser empleada en diferentes áreas y procesos industriales, de la construcción y procesos químicos (filtros de agua); para llevar a cabo su actividad, requiere hacer uso de motores eléctricos asíncronos de diferentes potencias y que, de acuerdo con la línea de producción, pueden trabajar de manera individual o varios al mismo tiempo.

En los procesos industriales, debido a características propias de construcción de los motores y de los elementos de control, se presentan alteraciones en el sistema eléctrico relacionadas con bajo factor de potencia de desplazamiento.

Un bajo factor de potencia conlleva a tener una mala calidad de la energía, que se ve reflejada en un alto consumo de energía reactiva, la cual debe ser suministrada desde el punto de generación y transportada por el sistema de transmisión nacional (STN), sistema de transmisión regional (STR) y el sistema de distribución local (SDL).

Aunque, la generación, transporte y consumo de energía reactiva ha estado presente desde años atrás, su consumo es cobrado al usuario final cuando se supera el 50 % con relación a la energía activa; en la actualidad, el gobierno nacional a través del Ministerio de Minas y Energía y de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), mediante la resolución CREG 015 del 29 de enero del 2018; busca penalizar de forma más rigurosa el consumo de energía reactiva.

Al hacer una revisión, de los últimos periodos, del historial de consumo de energía, de la empresa Arenas Industriales de Sogamoso, se puede evidenciar que hay una utilización considerable de energía reactiva, que de no ser controlada, la empresa estaría sujeta a las penalidades planteadas en la resolución CREG 015 – 2018.

Como se ha expresado al inicio, el consumo de energía reactiva a causa de un bajo factor de potencia de desplazamiento, que es propio de los motores eléctricos que se emplean, se ve reflejado en el recibo de energía, y estos costos afectan de forma negativa las finanzas de la empresa Arenas industriales de Sogamoso, además de los costos de generación y transporte de dicha energía reactiva.

Es desde este análisis que surge la pregunta bajo la cual se fundamenta el presente proyecto: ¿Cuál es el valor del factor de potencia de desplazamiento de la instalación eléctrica y de qué capacidad debe ser el banco de condensadores, requerido para mejorar las condiciones de uso de energía eléctrica en la empresa Arenas Industriales de Sogamoso?

Dado que no es suficiente con conocer las causas del problema, sino que también se requiere implementar medidas correctivas; se tiene entonces que el objetivo general es, realizar un estudio de consumo energético y diseño de un banco de condensadores para la empresa Arenas Industriales de Sogamoso.

Para alcanzar el propósito general planteado se tienen tres objetivos específicos a saber; en primer lugar, elaborar un diagnóstico del estado actual de la instalación eléctrica que permita identificar elementos o sistemas defectuosos, sobredimensionados u obsoletos; en segundo lugar se requiere realizar una caracterización del comportamiento del factor de potencia de desplazamiento en la instalación eléctrica; el tercer objetivo específico consiste en diseñar un banco de condensadores que permita elevar el factor de potencia a valores cercanos a la unidad.

Al tener identificado el factor de potencia de desplazamiento de la instalación eléctrica; al igual que disponer del diseño del banco de condensadores adecuado a la problemática presente; la gerencia de la empresa Arenas Industriales de Sogamoso, contara entonces, con información suficiente y acertada para poder gestionar los recursos necesarios, para en una siguiente etapa, poder hacer la implementación del banco de condensadores planteado.

1. Capítulo 1: Marco teórico

1.1 Procesamiento de arena para uso industrial

La empresa Arenas Industriales de Sogamoso, está ubicada en la carrera 10 A N° 68-55, zona industrial del municipio de Sogamoso Boyacá, se dedica al procesamiento de arenas para uso industrial.

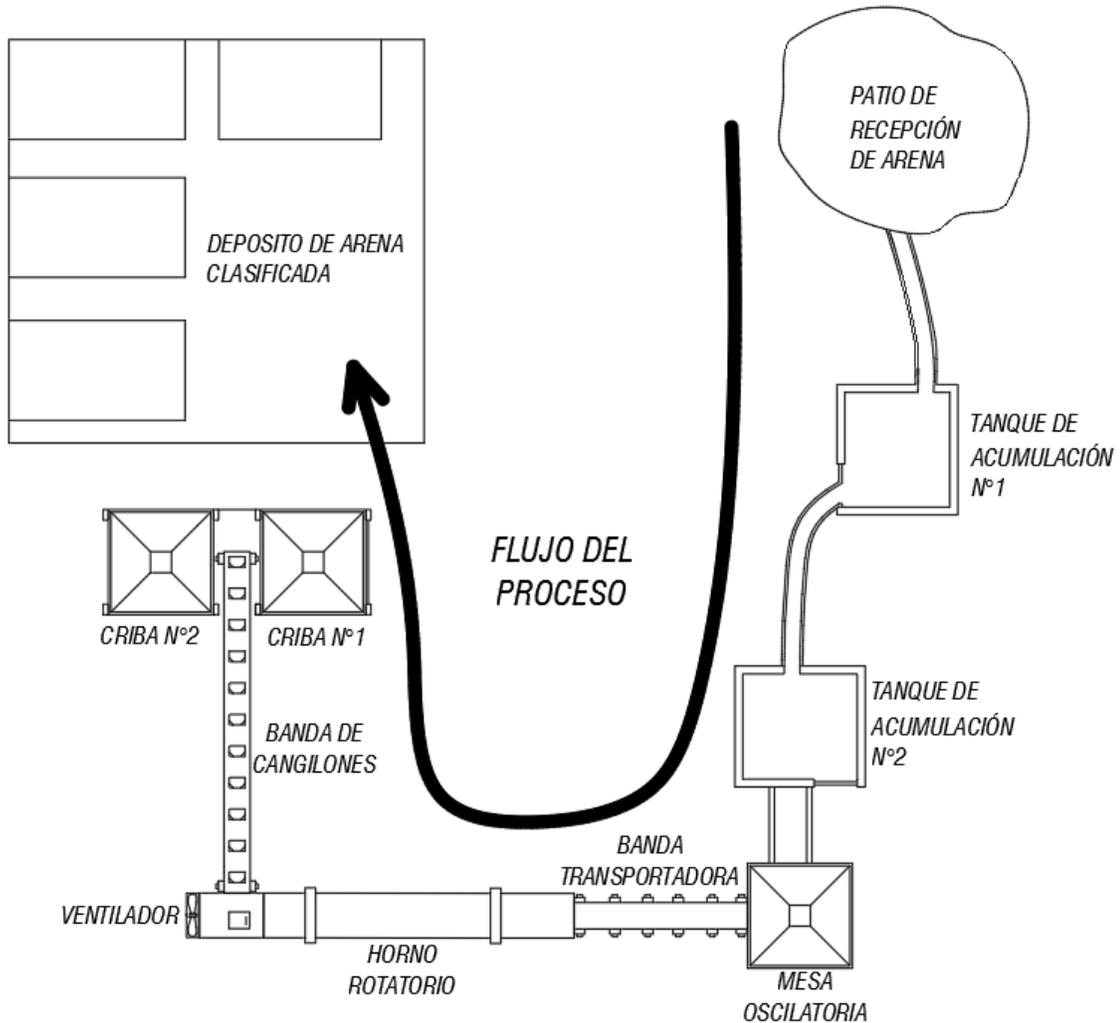
En la Figura N°1-1 se presenta el diagrama de flujo correspondiente al proceso que sigue la arena desde que es recibida hasta que es almacenada en la bodega para su posterior despacho.

El procesamiento de la arena inicia con la recepción de la arena de peña, la cual es extraída de las canteras y transportada en volquetas hasta el patio de recepción de la empresa; posteriormente, a esta arena se le realiza un lavado inicial y transportado mediante un flujo continuo de agua hasta el tanque de acumulación N°1. En la entrada de este tanque, se le realiza la extracción manual de rocas de gran tamaño y otros elementos contaminantes.

Para la siguiente etapa, se realiza un segundo lavado de la arena contenida en el tanque de acumulación N°1, y de la misma manera por medio de un flujo continuo de agua y con ayuda de la gravedad, la arena es transportada hasta el tanque de acumulación N°2.

La arena depositada en este segundo tanque, se deja en reposo durante las horas de la noche para que se escurra y disminuya la cantidad de agua presente en la arena. Posteriormente, mediante el empleo de carretillas, la arena contenida en el tanque de almacenamiento N°2, es transportada hasta una tolva, que en su parte inferior tiene una mesa oscilatoria que descarga una cantidad determinada de arena en la banda transportadora.

Figura 1-1 Diagrama de flujo del procesamiento de arena para uso industrial.



Fuente: El autor.

La banda transportadora es la encargada de alimentar de forma continua el horno rotatorio, el cual es calentado por medio de una hornilla que trabaja con una combinación de coque y carbón; mediante un ventilador, se envía aire a través de la hornilla, que está conectada con el horno rotativo; el paso de este aire caliente por el centro del horno, es el que se encargada de extraer la humedad presente en la arena. El horno rotativo en su interior presenta una serie de paletas que tienen la función de crear una cortina de arena, que es atravesada con el aire caliente y de esta manera se extrae la humedad de una forma más eficiente.

La arena seca, cae por el extremo inferior del horno rotativo y es depositada allí, para luego ser elevada, mediante una banda de cangilones, y descargada en un primer tamiz que tiene la función de detener el paso de elementos con tamaño superior a 5 mm; la arena de menor tamaño es depositada en dos tolvas, donde cada una de ellas alimenta una tamizadora; cada tamizadora cuenta con cinco mallas de diferente tamaño de hueco, para así poder seleccionar la arena, de acuerdo con su granulometría; desde cada tamiz se empaca la arena en lonas y es posteriormente almacenada para ser despachada a diferentes partes del país.

Durante la ejecución del proceso anteriormente descrito, se requiere del empleo de motores eléctricos para actividades como el bombeo del agua necesaria en el lavado de la arena, e impartir el movimiento a la mesa oscilatoria, banda transportadora, horno rotativo; también para empujar el aire a través de la hornilla, al igual que se requieren para darle el movimiento a la banda de cangilones y a las cribas.

1.2 Potencia eléctrica

La potencia es la capacidad de realizar un trabajo en una unidad de tiempo; para la potencia eléctrica, el trabajo se calcula como el producto de la tensión por la corriente por el tiempo, (ver Ecuación 1-1). La unidad en que se expresa la potencia es el vatio (W).(Hübscher, 1982)

$$P = \frac{V * I * t}{t} = V * I \text{ [W]} \quad (1-1)$$

Donde:

P: Potencia eléctrica [W]

V: Tensión [V]

I: Corriente [A]

t: Tiempo [s]

1.2.1 Potencia activa

Hace referencia a la potencia útil que utiliza una carga para realizar un trabajo, es decir, que indica la velocidad a la que una carga consume energía. La potencia activa se simboliza con la letra P y se expresa en vatios (W); se calcula como el promedio del producto entre el voltaje y la corriente (ver Ecuación 1-2). (Surya Santoso & Beaty, 2018). La Ecuación 1-2, es válida para condiciones sinusoidales y no sinusoidales.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) * i(t) dt \quad [W] \quad (1-2)$$

Donde:

P: Potencia activa en vatios [W]

T: Periodo

v(t): Voltaje instantaneo [V]

i(t): Corriente instantanea [A]

En sistemas con ondas de tensión y corriente de tipo senoidal, la potencia se calcula como se indica en la Ecuación 1-3, para sistemas monofásicos; y según la Ecuación 1-4 para sistemas trifásicos.

$$P = V_{1\text{ rms}} * I_{1\text{ rms}} * \text{Cos } \theta \quad [W] \quad (1-3)$$

$$P = \sqrt{3} * V_{1\text{ rms}} * I_{1\text{ rms}} * \text{Cos } \theta \quad [W] \quad (1-4)$$

Donde:

P: Potencia activa en vatios [W]

V_{1 rms}: Tension rms a frecuencia fundamental [V]

I_{1 rms}: Corriente rms a frecuencia fundamental [V]

Cos: Coseno del angulo (θ)

θ : Angulo de desfase entre la onda de tension y corriente a frecuencia fundamental [Grados]

1.2.2 Potencia reactiva

Este tipo de potencia no realiza ningún trabajo real o verdadero; la potencia reactiva está relacionada con elementos de tipo inductivo y capacitivo, en los cuales la energía se mueve entre el elemento y la fuente de energía, sin llegar a producir ningún tipo de trabajo. La potencia reactiva se simboliza con la letra Q y su unidad se expresa en voltamperios reactivos (VAr) y para el caso de ondas sinusoidales se calcula según la Ecuación 1-5. (Surya Santoso & Beaty, 2018)

$$Q = V_{1\text{rms}} * I_{1\text{rms}} * \text{Sen } \theta = S * \text{Sen } \theta \text{ [VAr]} \quad (1-5)$$

Donde:

Q: Potencia reactiva en voltamperios reactivos [VAr]

V_{1rms}: Tension rms a frecuencia fundamental [V]

I_{1rms}: Corriente rms a frecuencia fundamental [A]

Sen: Seno del angulo (θ)

θ : Angulo de desfase entre la onda de tension y corriente a frecuencia fundamental [Grados]

1.2.3 Potencia aparente

La potencia aparente relaciona de forma vectorial la potencia activa y la reactiva; se simboliza con la letra S y se expresa en unidades de voltamperios (VA). (Nahvi & Edminister, 2018) La potencia aparente se calcula como el producto de la tensión por la corriente, sin tener en cuenta el ángulo de desfase. (Fowler, 1994) (Ver Ecuación 1-6).

$$S = V_{rms} * I_{rms} \text{ [VA]} \quad (1-6)$$

Donde:

S: Potencia activa en voltamperios [VA]

V_{rms}: Tension rms [V]

I_{rms}: Corriente rms [A]

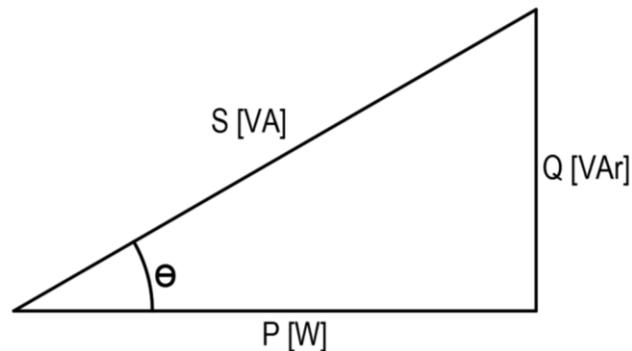
1.2.4 Triángulo de potencias

La relación matemática entre la potencia activa, la reactiva y la aparente, se plantea en la Ecuación 1-7, de la cual se puede deducir que su configuración es similar a un triángulo rectángulo, (Wildi, 2006) en el cual, la potencia activa se grafica en el eje horizontal, la potencia reactiva corresponde al eje vertical y la hipotenusa se relaciona con la potencia aparente, como se muestra en la Figura 1-2. (Nahvi & Edminister, 2018). El valor del ángulo que forma la potencia aparente con la potencia activa se puede calcular mediante la Ecuación 1-8.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ [VA]} \quad (1-7)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{Q}{P} \right) \quad (1-8)$$

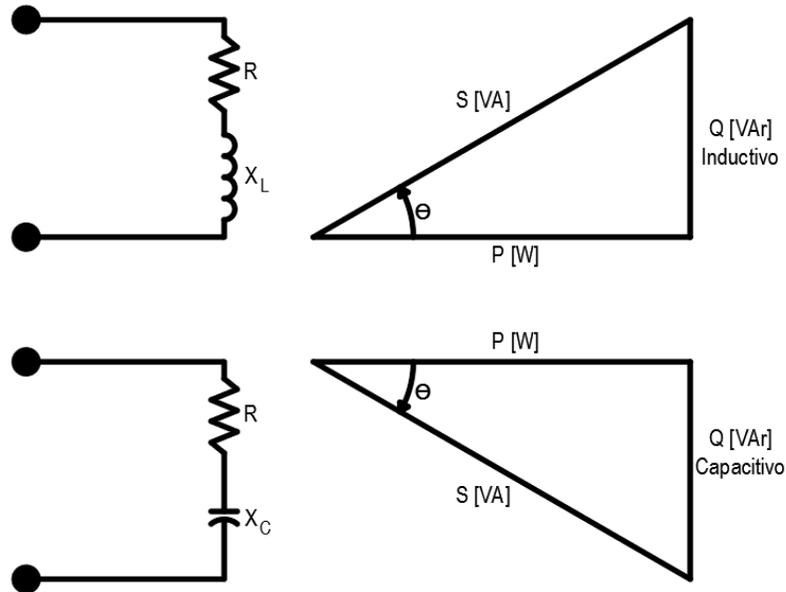
Figura 1-2 Triángulo de potencias, representación general.



Fuente: El autor.

Cuando las cargas son principalmente resistivas – inductivas, se tiene un triángulo de potencias inductivo, mientras que si las cargas son principalmente resistivas capacitivas, se obtendrá un triángulo de potencias capacitivo (ver Figura 1-3).

Figura 1-3: Triangulo de potencias, inductivo y capacitivo



Fuente: El autor.

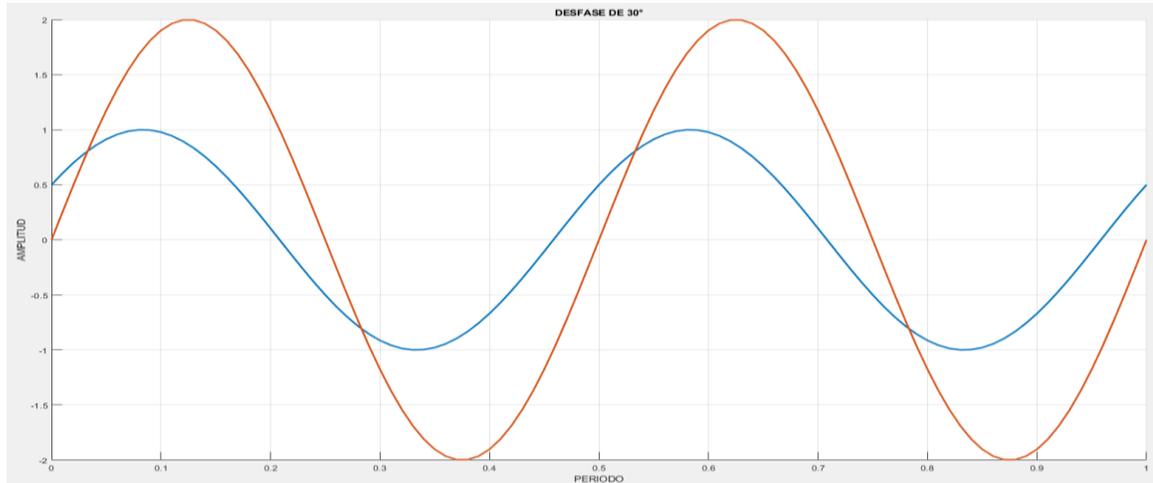
1.3 Factor de potencia

En corriente alterna, el producto de la tensión RMS por la corriente RMS, da como resultado lo que se denomina como potencia aparente, este caso se da únicamente en circuitos de tipo resistivo, en los que la potencia real es igual a la potencia aparente; en estos casos la onda de corriente y la tensión se encuentran en fase; cuando los circuitos son capacitivos o inductivos, se presenta un desfase entre las ondas de tensión y corriente; este desfase es lo que se llama factor de potencia. (Pressman, 2009)

El factor de potencia se expresa como el coseno del ángulo que forma la onda de corriente con respecto a la onda de tensión, siendo en atraso cuando la corriente se retrasa con respecto al voltaje, esto ocurre en los circuitos inductivos; o en adelanto, cuando la onda de corriente adelanta la onda de tensión, esto sucede en los circuitos capacitivos. En la Figura

1-4, se presentan, a modo de ejemplo ilustrativo, dos ondas senoidales con un desfase de 30 grados; equivalente a un factor de potencia de 0,86.

Figura 1-4 Desfase de dos ondas senoidales.



Fuente: El autor, software MATLAB R2017b.

Tener un bajo factor de potencia en una instalación eléctrica implica problemas tanto técnicos como económicos, en la parte económica se evidencia principalmente un valor mayor a pagar por concepto del consumo de energía eléctrica activa, al igual que penalizaciones por consumo en exceso de energía reactiva. En cuanto a los problemas técnicos derivados de un bajo factor de potencia se tienen aspectos como mayor consumo de corriente y por ende aumento de las pérdidas en los conductores eléctricos, problemas de sobrecarga en generadores, transformadores y líneas de distribución, al igual que incremento en las caídas de tensión.

1.3.1 Factor de potencia de desplazamiento

Cuando dos ondas, de corriente y de tensión, son de tipo senoidal a frecuencia fundamental, y se encuentran desfasadas entre sí, el coseno del ángulo de desfase recibe el nombre de factor de potencia de desplazamiento (ver Ecuación 1-9). (*ECORFAN Revista de Ingeniería Eléctrica VI NI 1.pdf*, s. f.)

$$FP = \cos \theta \quad (1-9)$$

Donde:

FP: Factor de potencia de desplazamiento

Cos: Coseno del ángulo (θ)

θ : Ángulo de desfase entre la onda de tensión y corriente a frecuencia fundamental [Grados]

1.3.2 Factor de potencia real

Para los sistemas eléctricos que tiene presencia de armónicos, el factor de potencia ya no se puede definir como el coseno del ángulo entre tensión y corriente, para estos casos se tiene un factor de potencia real y que corresponde a la relación entre la potencia real consumida (potencia activa) y la potencia aparente; en este caso, la potencia activa tiene en cuenta todas las contribuciones tanto a frecuencia fundamental como a las diferentes frecuencias armónicas (ver Ecuación 1-10).(Scherz & Monk, 2016)

$$FP_{REAL} = \frac{\text{Potencia Activa (P)}}{\text{Potencia Aparente (S)}} \quad (1-10)$$

1.4 Condensador

Es un componente eléctrico de tipo pasivo que almacena carga eléctrica en forma de campo eléctrico, es decir a través de una diferencia de potencial, un condensador está formado típicamente por dos placas conductoras, que están separadas por un material dieléctrico.

Al conectar un condensador a una fuente de tensión, una placa se carga con polaridad positiva y la otra con polaridad negativa, al momento de quedar saturado de carga, se tiene una diferencia de potencial que está disponible para ser descargada al momento de conectarle una carga a los terminales del capacitor.

La capacidad de un condensador se da en Faradios, aunque esta es una unidad muy grande, por lo que comercialmente se expresa su capacidad en microfaradios, nano faradios y picofaradios. Mediante la Ecuación 1-11, se determina la capacidad de un condensador.(Manuel, 2002).

$$C = Q/V [F] \tag{1-11}$$

Donde:

C: Capacidad del condensador [F]

Q: Carga eléctrica almacenada (Culombio) [C]

V: Tensión de alimentación [V]

Los aislantes más empleados para la fabricación de condensadores son el vacío, el aire, el polietileno, la mica, la porcelana y la cerámica; cada uno de estos materiales tiene una permitividad relativa diferente, con lo cual, cuanto mayor es la permitividad relativa del aislante, mayor es la capacidad del condensador, de la misma manera, a mayor área de las placas y menor separación entre estas, mayor es la capacidad del condensador.(Deshpande, 2015).

1.4.1 Banco de condensadores

Un banco de condensadores es la conexión en serie o en paralelo de una cantidad determinada de condensadores de iguales características; dado que los circuitos de tipo inductivo generan un retraso en la onda de corriente y por ende un bajo factor de potencia de desplazamiento, se hace necesario instalar banco de condensadores, los cuales presentan un efecto adverso al de los inductores, es decir que, en un circuito eléctrico que tiene instalados condensadores, la onda de corriente se adelanta con respecto a la tensión.(Müller, 1984)

La entrada en funcionamiento de los bancos de condensadores se da principalmente por dos métodos denominados fijo y variable; el método fijo consiste en instalar un banco de condensadores de una capacidad determinada y que actúa al mismo tiempo con la carga a la cual se busca corregir el factor de potencia, es decir que para cada carga inductiva se tendrá una compensación capacitiva adecuada y su funcionamiento será sincrónico.

Para el caso del método variable, se tiene un banco de condensadores general, que está dividido en varias etapas, y se conecta al barraje principal de la instalación, mediante un sensor de factor de potencia y a través de un controlador se activan o desactivan diferentes

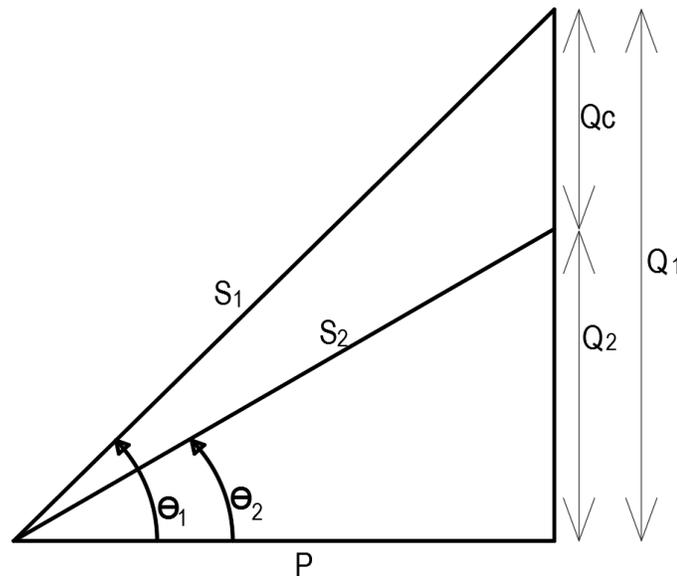
etapas del banco de condensadores, con lo cual se obtiene una compensación variable en función del factor de potencia que se esté presentando.

1.4.2 Calculo de un banco de condensadores

Para compensar el factor de potencia de desplazamiento de un motor eléctrico, se parte del factor de potencia existente y se fija el factor de potencia al cual se quiere llevar el sistema, en la Figura 1-5, se muestra que para una potencia activa (P), se tiene una potencia aparente (S_1) antes de realizar la corrección del factor de potencia; y una potencia aparente (S_2) después de haber efectuado la corrección.

También se evidencia que el ángulo inicial (θ_1) es mayor que el ángulo después de aplicar la corrección (θ_2); para la Figura 1-5, (Q_1) es la magnitud de la potencia reactiva inicial del sistema, (Q_2) es la magnitud de la potencia reactiva después de realizar la corrección y (Q_c) hace referencia a la capacidad de compensación del banco de condensadores.

Figura 1-5 Corrección del factor de potencia



Fuente: El autor.

La potencia aparente inicial (S_1) se determina mediante la Ecuación 1-12.

$$S_1 = P / \cos \theta_1 \quad (1-12)$$

La potencia reactiva inicial se calcula como (Ver Ecuación 1-13).

$$Q_1 = S_1 * \sen \theta_1 \quad (1-13)$$

La potencia aparente corregida (S_2) se determina mediante la Ecuación 1-14.

$$S_2 = P / \cos \theta_2 \quad (1-14)$$

La potencia reactiva corregida se calcula como (Ver Ecuación 1-15).

$$Q_2 = S_2 * \sen \theta_2 \quad (1-15)$$

La potencia reactiva del capacitor se calcula según la Ecuación 1-16.

$$Q_c = Q_1 - Q_2 \quad (1-16)$$

Finalmente la capacidad del condensador en faradios se determina empleando la Ecuación 1-17.

$$C = \frac{Q_c}{2} * \pi * f * V_{rms}^2 \quad (1-17)$$

Para las ecuaciones 1-12 a 1-17 se tiene que:

S_1 : Potencia aparente antes de realizar la compensacion [VA]

S_2 : Potencia aparente despues de realizar la compensacion [VA]

P : Potencia activa [W]

Q_1 : Potencia reactiva antes de realizar la compensacion [VAr]

Q_2 : Potencia reactiva despues de realizar la compensacion [VAr]

Q_c : Potencia reactiva del condensador o banco de condensadores [VAr]

θ_1 : Angulo de desfase antes de realizar la compensacion [Grados]

θ_2 : Angulo de desfase despues de realizar la compensacion [Grados]

V_{rms} : Tension rms de conexion de la carga [V]

Los condensadores industriales de uso comercial vienen dados con base en su capacidad de compensación (Q_c) en KVAR; (ver anexo A), debido a esto, se requiere hacer conexiones en serie o en paralelo de dos o más condensadores para llegar al valor deseado de potencia reactiva compensativa. Las ecuaciones 1-18 y 1-19 muestran cómo se suman los condensadores en serie y en paralelo respectivamente.

$$1/C_{eq} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + 1/C_n \quad (1-18)$$

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + C_n \quad (1-19)$$

1.5 Pinza amperimetrica y de potencial

Para la toma de datos relacionados con las potencias activa, reactiva, aparente y factor de potencia, se hace uso de la pinza amperimetrica y de potencial marca UNI-T referencia UT243, (ver Figura 1-6). Este equipo cuenta con 4 sondas, de las cuales 3 son para las líneas 1, 2, 3 y la cuarta corresponde al punto común. Tiene una mordaza con apertura de 50 mm para introducir el conductor eléctrico sobre el cual se desean medir los parámetros.

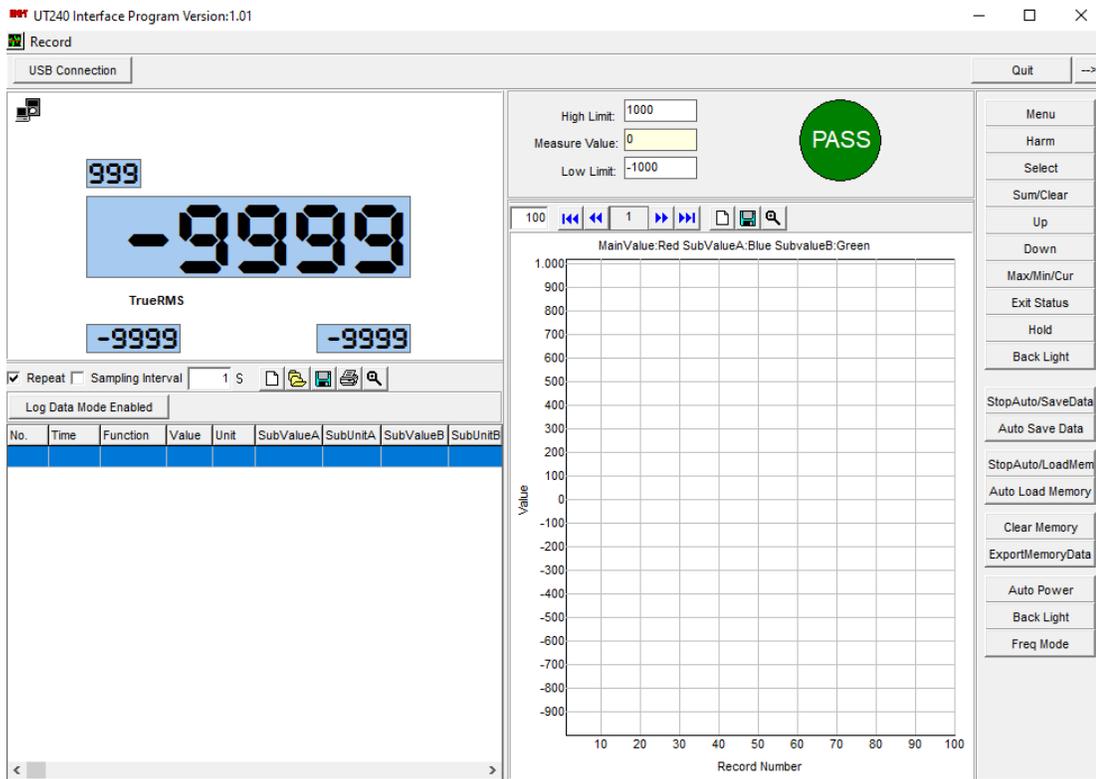
Figura 1-6 Pinza amperimetrica y de potencial UT243.



Fuente: El autor.

La pinza amperimetrica y de potencial UT243, cuenta con una interface de usuario a la que se puede acceder por el software, y en la cual se puede realizar la gestión y almacenamiento de los datos tomados para cada una de las variables a medir y para cada una de las fases. En la Figura 1-7 se presenta la interface de usuario.

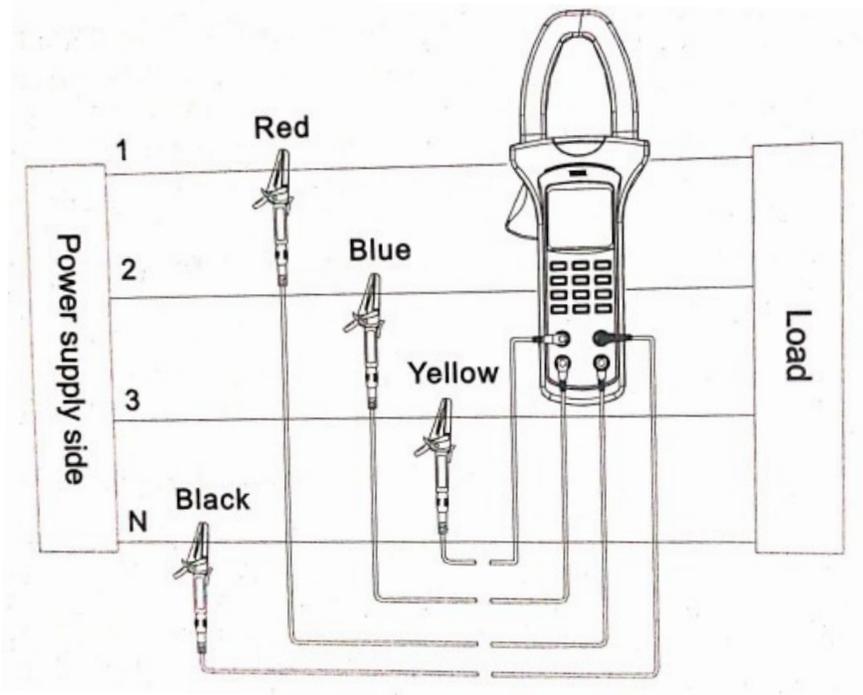
Figura 1-7 Interface UT243



Fuente: El autor.

El procedimiento para la conexión y toma de datos consiste en conectar cada una de las sondas de tensión en un punto de tensión de cada línea, como se muestra en la Figura 1-8, posteriormente se selecciona en el equipo o a través de la interface el parámetro a medir y la fase de la que se van a tomar los datos, luego se pasa el conductor eléctrico de la fase seleccionada a través de la mandíbula y empezar a registrar los datos, estos datos se pueden almacenar en la memoria del equipo o en el computador conectado al equipo.

Figura 1-8 Conexión del equipo UT243.



Fuente: www.uni-trend.com

La pinza amperimétrica y de potencial permite medir además de la potencia activa, reactiva, aparente, factor de potencia, también valores de corriente AC, tensión AC, frecuencia, energía activa, entre otros, como los indicados en la ficha técnica que se presenta en la Figura 1-9.

Figura 1-9 Especificaciones UT243.

Especificaciones	Rango	UT243
Corriente alterna (A)	1000A	± (2% + 5)
Voltaje CA (V)	600 V	± (1,2% + 5)
Frecuencia (Hz)	40 Hz ~ 80 Hz	± (0,5% + 5)
Potencia activa (W)	0.01kW ~ 600kW	± (3% + 5)
Potencia aparente (VA)	0,01 kVA ~ 600 kVA	± (3% + 5)
Potencia reactiva (VAr)	0,01 kVAr ~ 600 kVAr	± (4% + 5)
Factor de potencia	0,3 ~ 1	± 0.022
Ángulo de fase (°)	0 ° ~ 360 °	± 2 °
Energía activa (Wh)	1kWh ~ 9999kWh	± (3% + 2)
Características		
Cuenta de pantalla		10000
Rango automático		√
Apertura de la mandíbula		50 mm
True RMS	Voltaje CA / corriente CA	√
Apagado automático		√
Indicación de batería baja		√
Retención de datos		√
MÁXIMO MINIMO		√
Almacenamiento de datos		999
interfaz USB		√
LCD luz de fondo		√
Pantalla completa de iconos		√
Análisis armónico		1 ~ 20
Preparar		√
Monofásico 2 hilos		√
Trifásico 3 hilos		√
Trifásico de 4 hilos		√
Prueba de secuencia de fases	Fase positiva, fase inversa, deficiencia de fase	√
Impedancia de entrada para DCV		≥5MΩ
Protección de entrada		√

Fuente: www.uni-trend.com

1.6 Resolución CREG 015-2018

La resolución CREG 015 del 29 de enero del 2018, establece en el artículo 16: “**Transporte de energía reactiva**. Los OR o los usuarios finales pagaran por el transporte de energía reactiva cuando superen los límites establecidos en cada caso, de acuerdo con lo establecido en el capítulo 12. (...)”:

En el capítulo 12 de la resolución CREG 015-2018 se establece la inserción de la Variable M, la cual varía entre 1 y 12; y multiplica la cantidad de KVAR-h consumidos en un periodo mensual; cuando el transporte de energía reactiva excede los límites establecidos, durante más de diez días en un mismo mes, la variable M, será igual a 1 durante los primeros 12 meses, a partir del mes 13, si continua el consumo en exceso de energía reactiva, la variable M se incrementara mensualmente en 1, hasta llegar al valor de 12. (*Creg015-2018.pdf*, s. f.).

El usuario final deberá efectuar el pago del costo por transporte de energía reactiva, cuando el consumo de energía reactiva inductiva sea superior al 50% de la energía activa suministrada en cada periodo horario.

La resolución CREG 199 del 26 de diciembre del 2019, realiza modificaciones a la resolución CREG 015-2018, entre las cuales se indica que a partir del mes de enero de 2020, la variable M se reinicia con un valor igual a 1, y a partir de este mes, se inicia el conteo de los doce meses para iniciar el incremento.

De tal suerte que para el mes de febrero del año 2021, los usuarios finales que no hayan tomado acciones tendientes a corregir y disminuir el consumo de energía reactiva inductiva, verán un incremento en el valor del recibo de energía, el cual ira incrementando considerablemente hasta que se realicen las correcciones necesarias.

2. Capítulo 2: Desarrollo metodológico

2.1 Diagnóstico de la instalación existente

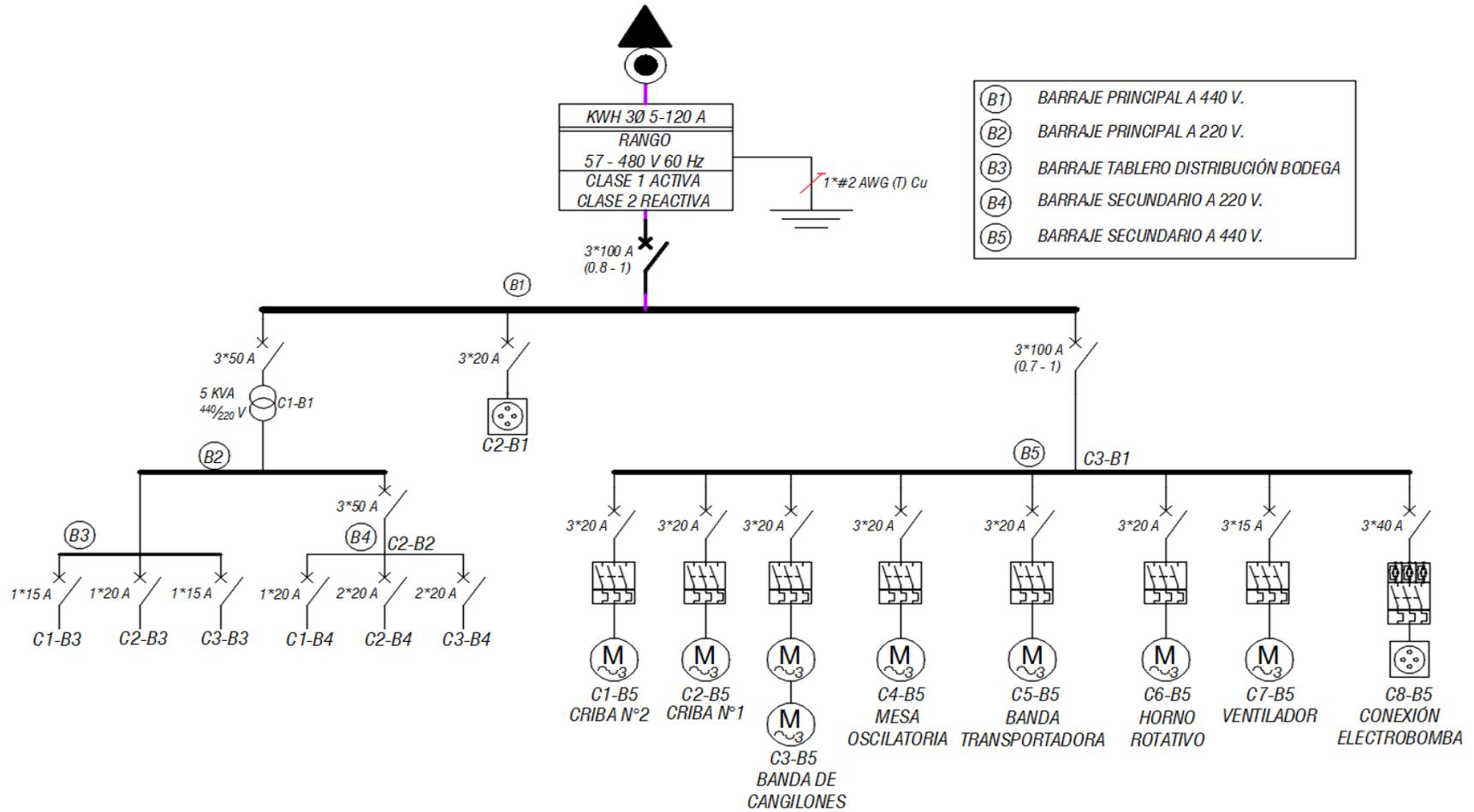
Para elaborar un diagnóstico de la instalación eléctrica, se inicia realizando una inspección general desde la acometida principal, equipo de medida, circuito alimentador, tablero general, tablero de control y cargas de uso final.

A continuación se describen los hallazgos encontrados al hacer la inspección de la instalación eléctrica de la empresa Arenas Industriales de Sogamoso. Se realiza una mención de algunos parámetros eléctricos como la tensión y la corriente en los circuitos o en los componentes principales, indicando las características presentes y comparándolas, cuando es posible, con las características óptimas que debería tener.

En la Figura 2-1 se presenta un diagrama unifilar simplificado, el cual servirá como guía para tener una mejor interpretación del circuito que se está analizando y para comprender que cargas son las que alimenta cada circuito de uso final.

Los circuitos que principalmente serán objetos del estudio, son los que proceden del barraje denominado B5, (ver Figura 2-1), dado que es en este barraje donde se derivan las cargas inductivas principales que componen el tren de proceso para el tamizaje de la arena.

Figura 2-1 Diagrama unifilar simplificado.



Fuente: El autor.

2.1.1 Acometida principal

Corresponde al circuito que inicia en los bornes de baja tensión del transformador y termina en el breaker de protección principal, también incluye el equipo de medida.

La instalación eléctrica es alimentada por medio de un transformador de 45 KVA con relación de transformación 13200 / 457 -254 voltios, según placa de características; la corriente máxima, por el lado de baja tensión se calculada de acuerdo con la Ecuación 2-1. Los conductores de acometida son de cobre aislado THHN/THWN en calibre N°4 AWG, con una longitud del circuito de 15 metros.

$$I_n = \frac{S}{V_l \cdot \sqrt{3}} \quad (2-1)$$

Donde:

I_n : Corriente nominal [A]

S : Potencia aparente [VA]

V_l : Tension de linea [V]

En cuanto a la caída de tensión, está debe ser inferior al 3%, de acuerdo con el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, esta caída de tensión se calcula según la Ecuación 2-2.

$$\Delta V \% = \frac{k \cdot I_n \cdot L \cdot \sqrt{3}}{V_l \cdot 1000} * 100 \quad (2-2)$$

Donde:

ΔV %: Porcentaje de caída de tensión

I_n : Corriente nominal [A]

V_l : Tension de linea [V]

L : Longitud del circuito [m]

K : Factor de impedancia (ver Anexo B)

En la Tabla 2-1 se presenta el resumen de las características principales del circuito de acometida principal.

Tabla 2-1 Parámetros de la acometida principal

Conductores de acometida						
Tensión del circuito (V)	Corriente máxima (A)	Longitud (m)	Calibre del conductor (AWG)	Corriente permisible (A)	Caída de tensión (%)	Estado
457	56,85	15	4	70	0,33	Optimo / adecuado
* Corriente permisible según anexo C						

Breaker de protección principal	
Calibre	Estado
100 amperios, ajustado al 0.8	Sobredimensionado de acuerdo con la corriente permisible de los conductores de acometida

Equipo de medida			
Corriente nominal (A)	Tensión nominal (V)	Clase	Estado
5 - 120	3*57 -480	Activa clase 1	Optimo / adecuado
		Reactiva clase 2	

Fuente: El autor.

Al analizar los datos contenidos en la Tabla 2-1, se identifica que el valor de ampacidad del conductor eléctrico es superior a la corriente máxima calculada, y que la caída de tensión está muy por debajo de los máximos permitidos, con lo cual se determina que el conductor eléctrico es el adecuado y se pudo observar que su estado físico esta en óptimas condiciones (ver Figura 2-2).

Figura 2-2 Conductores de acometida.



Fuente: El autor.

De igual manera, el medidor de energía tiene rangos de corriente y de tensión que abarcan de manera adecuada los valores máximos de tensión y de corriente presentes en la instalación eléctrica; sin embargo se encontró que el breaker de protección de la acometida principal está sobredimensionado, puesto que se puede ajustar a una capacidad mínima de 80 amperios, pero el conductor eléctrico que está protegiendo tiene una ampacidad, a 60 °C, de 70 amperios, con lo cual estaría en discordancia con lo planteado en la tabla 310-16 de la NTC 2050 primera actualización.

2.1.2 Circuito alimentador

Este circuito inicia en los bornes de salida del breaker principal y finaliza en los bornes de entrada del breaker ubicado en el tablero general denominado B1. Los parámetros más relevantes para este circuito se presentan en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2 Parámetros del circuito alimentador

Conductores circuito alimentador						
Tensión del circuito (V)	Corriente máxima (A)	Longitud (m)	Calibre del conductor (AWG)	Corriente permisible (A)	Caída de tensión (%)	Estado
457	56,85	8	4	70	0,17	Optimo / adecuado
* Corriente permisible según anexo C						

Fuente: El autor.

La caída de tensión en este caso es del 0.17%, siendo un valor bastante bueno, y que es consecuencia de una corriente máxima de 57 amperios y una corta longitud del circuito, solo 8 metros. Estos parámetros nominales y su estado físico en general son los que permiten clasificarlo en un estado óptimo y adecuado.

2.1.3 Tablero general

En cuanto a su estado físico en general (ver Figura 2-3), se hace necesario indicar que presenta un alto grado de contaminación causada por polvo, además de tener las puertas, que brindan acceso a los barrajes y partes energizadas, sin ningún tipo de protección o seguro que impida ser abiertas por parte de personal no calificado, con lo cual se convierte el tablero general en un foco de posibles accidentes por contacto directo.

El tablero general cuenta con 3 circuitos, como se indica en la Tabla 2-3, que alimentan un transformador de baja tensión con relación de transformación 440/220-127 voltios (circuito C1-B1), un circuito de uso general (C2-B1) y un circuito (C3-B1), que alimenta el tablero de potencia y control, del cual están alimentados los circuitos de motores eléctricos.

Figura 2-3 Tablero general



Fuente: El autor.

Tabla 2-3 Parámetros del tablero general

Circuito C1-B1 Transformador BT-BT 440/220 V						
Tensión del circuito (V)	Corriente nominal (A)	Longitud (m)	Calibre del conductor (AWG)	Corriente permisible (A)	Caída de tensión (%)	Estado
457	6,56	2	8	40	0,01	Optimo / adecuado
Breaker de protección C1-B1						
Calibre			Estado			
50 Amperios			Sobredimensionado de acuerdo con la corriente permisible de los conductores (ver Anexo C)			
Circuito C2-B1 Toma industrial de uso general						
Tensión del circuito (V)	Corriente máxima (A)	Longitud (m)	Calibre del conductor (AWG)	Corriente permisible (A)	Caída de tensión (%)	Estado
457	32	2	12	25	0,01	Optimo / adecuado
Breaker de protección C2-B1						
Calibre			Estado			
20 Amperios			Optimo / adecuado			
Circuito C3-B1 Tablero Potencia y control						
Tensión del circuito (V)	Corriente nominal (A)*	Longitud (m)	Calibre del conductor (AWG)	Corriente permisible (A)	Caída de tensión (%)	Estado
457	55	17	4	70	0,44	Optimo / adecuado
* Corriente nominal calculada en base a la potencia aparente instalada (según placa de características de los motores)						
Breaker de protección C3-B1						
Calibre			Estado			
100 Amperios, ajustado al 0.7			Optimo / adecuado			
* Corriente permisible según anexo C						

Fuente: El autor.

Para el circuito C1-B1, (ver Figura 2-1 y Tabla 2-3), el breaker de protección no es el adecuado, en relación con la ampacidad del conductor que está protegiendo; para el circuito C2-B1, el breaker de protección es acorde con la ampacidad del conductor que está protegiendo, para ambos circuitos, la ampacidad de los conductores es superior a la corriente nominal o máxima de cada circuito, con lo cual se obtienen muy bajos porcentajes de caída de tensión.

Para el circuito C3-B1, la protección es regulable y este breaker permite un ajuste de 70 amperios, estando así acorde con la ampacidad del conductor del circuito y existiendo coordinación de protecciones entre el breaker principal y el breaker instalado para la protección de este circuito.

2.1.4 Tablero de potencia y control

Figura 2-4 Tablero de potencia y control



Fuente: El autor.

La Figura 2-4 presenta el exterior y el interior del tablero de potencia y control, en este tablero es donde se tiene la mayor concentración de carga, como se puede ver en la Tabla 2-4, es desde aquí donde se alimentan los diferentes motores eléctricos que se requieren para realizar el proceso de lavado, secado y tamizado de la arena; cuenta con una totalidad de 8 circuitos denominados desde el C1-B5 hasta el C8-B5; y es por lo tanto el punto principal sobre el cual se realiza el análisis de consumos energéticos.

Este tablero tiene el inconveniente de presentar un alto grado de ocupación de su volumen interior, puesto que contiene un barraje de 440 voltios, un barraje de 220 voltios, los breaker de protección para cada uno de los 8 circuitos, y los contactores asociados al accionamiento de cada uno de los motores eléctricos, además de eso, en la tapa del armario se encuentran las botoneras de marcha y parada al igual que las luces piloto de trabajo y de falla. Lo adecuado es tener dos tableros, uno que contenga las protecciones de los circuitos y otro en el cual se tengan los elementos de maniobra y control.

Tabla 2-4 Parámetros del tablero de potencia y control

TABLERO DE POTENCIA Y CONTROL										
CIRCUITO	CARGA		CORRIENTE NOMINAL (A)	POTENCIA APARENTE (KVA)	Tensión del circuito (V)	Longitud (m)	Calibre del conductor (AWG)	Corriente permisible (A)	Caída de tensión (%)	Estado
C1-B5	CRIBA N°2	M1	5,5	3,47	457	18	12	25	0,22	Optimo / Adecuado
C2-B5	CRIBA N°1	M2	4,8	3,00	457	18	12	25	0,20	Optimo / Adecuado
C3-B5	BANDA DE CANGILONES	M3	5,5	3,60	457	19	12	25	0,44	Optimo / Adecuado
	CRIBA N°0	M4	4,8	3,00						
C4-B5	MESA OSCILATORIA	M5	9,7	6,75	457	9	12	25	0,2	Optimo / Adecuado
C5-B5	BANDA TRANSPORTADORA	M6	3	1,89	457	6	12	25	0,04	Optimo / Adecuado
C6-B5	HORNO ROTATIVO	M7	6,5	6,19	457	8	12	25	0,12	Optimo / Adecuado
C7-B5	VENTILADOR	M8	8,75	6,59	457	16	12	25	0,32	Optimo / Adecuado
C8-B5	CONEXIÓN ELECTROBOMBA	M9	19,7	14,46	457	34	6	55	0,39	Optimo / Adecuado

PROTECCIONES									
CIRCUITO	CARGA		CORRIENTE NOMINAL (A)	POTENCIA APARENTE (KVA)	Tensión del circuito (V)	Calibre del Breaker (A)	Capacidad de corriente del contactor (A)	Capacidad de corriente del relé (A)	Estado
C1-B5	CRIBA N°2	M1	5,5	3,47	457	20	10	6 a 10	Optimo / Adecuado
C2-B5	CRIBA N°1	M2	4,8	3,00	457	20	10	4 a 6	Optimo / Adecuado
C3-B5	BANDA DE CANGILONES	M3	5,5	3,60	457	20	10	6 a 10	Optimo / Adecuado
	CRIBA N°0	M4	4,8	3,00					
C4-B5	MESA OSCILATORIA	M5	9,7	6,75	457	20	10	9 a 12	Optimo / Adecuado
C5-B5	BANDA TRANSPORTADORA	M6	3	1,89	457	20	10	2.4 a 4	Optimo / Adecuado
C6-B5	HORNO ROTATIVO	M7	6,5	6,19	457	20	10	9 a 12	Relé sobredimensionado
C7-B5	VENTILADOR	M8	8,75	6,59	457	15	10	9 a 12.5	Optimo / Adecuado
C8-B5	CONEXIÓN ELECTROBOMBA	M9	19,7	14,46	457	40	25	16 a 24	Optimo / Adecuado

Fuente: El autor.

En la Tabla 2-4 se presenta el resumen de los datos más representativos para cada uno de los circuitos, donde se evidencia que los calibres de conductores eléctricos, breaker de protección y relé termo-magnético son los adecuados, de acuerdo con las corrientes nominales medidas; solo se presenta un caso, para el circuito C6-B5, donde el calibre del relé termo-magnético está sobredimensionado con respecto a la corriente nominal del circuito.

La inspección visual de los conductores eléctricos, breaker y contactores permiten determinar que su estado es óptimo para su funcionamiento y adecuado para las características de las cargas conectadas.

2.1.5 Condiciones generales de la instalación

La instalación eléctrica no cuenta con planos eléctricos, ni diagramas unifilares que permitan identificar el origen y carga que alimenta cada circuito; se evidencia en todos los tableros la falta de aseo, dado que se presenta acumulación de polvo y suciedad en general. No se cuenta con un historial de mantenimiento de los diferentes componentes eléctricos como contactores, relés y motores eléctricos.

Los calibres de los conductores son los adecuados, presentando una muy baja caída de tensión, sin embargo, para el caso del breaker de protección principal y para el relé del circuito C6-B5, se tiene que están ligeramente sobredimensionados.

En el tablero general se observa que las puertas no están aseguradas, dejando de forma expuesta los barrajes de 454 y 220 voltios; constituyendo esto en una fuente de peligro inminente que debe ser corregida de manera inmediata; también se evidencia la incorrecta instalación de tomas industriales, en donde se tienen los cables expuestos a daños mecánicos y a posibles contactos con partes metálicas desenergizadas; con lo cual se tiene una alta posibilidad de cortocircuito.

El tablero de control es de un tamaño inadecuado, presenta un amontonamiento de todos los componentes y cableados alojados dentro.

En el anexo D, se presenta el plano eléctrico As Built, que contiene la distribución eléctrica general, el diagrama unifilar general de la instalación eléctrica, al igual que el cuadro de carga instalada.

2.2 Consumo de energía y factor de potencia

Con el objetivo de tener una mejor percepción del consumo energético de las diferentes cargas presentes en la Empresa Arenas industriales de Sogamoso, se realizó una toma de datos de consumo de energía activa, energía aparente, energía reactiva y factor de potencia para cada uno de los 8 circuitos que alimentan motores; al igual que para el circuito que alimenta el transformador de baja tensión.

Los datos se toman con una pinza amperimétrica y de potencia marca Unit- Ut243, tomando datos línea por línea cada 5 segundos, según esto, para cada circuito se tiene un tiempo de toma de datos como se muestra en la Tabla 2-5.

Tabla 2-5 Tiempos para toma de datos por circuito.

CANTIDAD DE DATOS	TIEMPO EMPLEADO (Min)	POTENCIA ACTIVA (KW)			POTENCIA APARENTE (KVA)			POTENCIA REACTIVA (KVAR)			FACTOR DE POTENCIA		
		FASE A	FASE B	FASE C	FASE A	FASE B	FASE C	FASE A	FASE B	FASE C	FASE A	FASE B	FASE C
720 DATOS 1 CADA 5 SEG	20	■											
	20		■										
	20			■									
720 DATOS 1 CADA 5 SEG	20				■								
	20					■							
	20						■						
720 DATOS 1 CADA 5 SEG	20							■					
	20								■				
	20									■			
720 DATOS 1 CADA 5 SEG	20										■		
	20											■	
	20												■
TOTAL	4 HORAS												

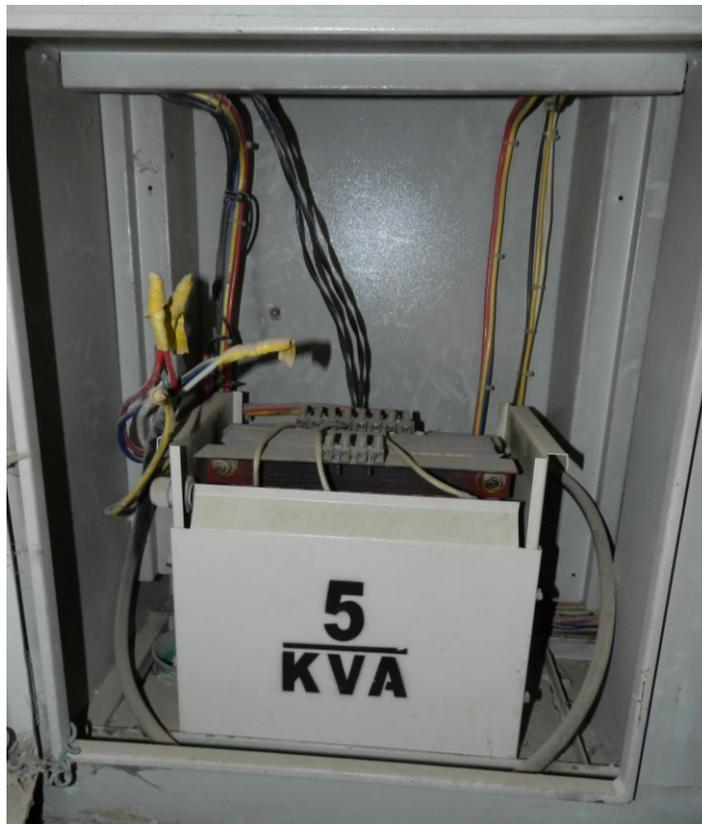
Fuente: El autor.

Dado que un ciclo completo para el secado y tamizado de la arena tiene una duración de entre 4 a 5 horas; empezando con una carga llena de arena en la tolva de la mesa oscilatoria, y terminando con la arena tamizada y empacada; se determina que un tiempo de 4 horas para la toma de datos en cada circuito, es adecuado, puesto que permite la obtención de datos de un ciclo completo de trabajo de secado, el cual se realiza durante dos días seguidos; de la misma manera, en un día se realizan un proceso de lavado de arena, con una duración de 5 a 5.5 horas, según los datos suministrados(A. Estepa, comunicación personal, s. f.).

Para el tratamiento de los datos, bajo el supuesto de normalidad, los datos obtenidos se tabulan, y haciendo uso del software Minitab 17, se obtienen los valores correspondientes a la media, la mediana, la desviación estándar, la moda, al igual que los mínimos y máximos para cada potencia por fase; la potencia de cada circuito se determina mediante la suma aritmética del valor medio de potencia de cada fase (Balcells et al., 2010), mientras que el factor de potencia de cada circuito se calcula mediante las ecuaciones 1-8 y 1-9. Los resultados obtenidos de las mediciones realizadas con el equipo UT243 se han organizado por motor y se encuentran en el anexo E.

2.2.1 Circuito C1-B1 Transformador BT-BT

Figura 2-5 Transformador BT-BT.



Fuente: El autor.

La Figura 2-5 muestra el transformador de baja tensión, el cual tiene una potencia aparente de KVA y relación de transformación 440 / 220 – 127 voltios.

En la Tabla 2-6 se presentan los valores promedio por fase para cada una de las potencias de este circuito, los cuales fueron calculados con base en los datos recolectados en el proceso de toma de medidas en campo y cuyos resultados totales se encuentran en el anexo E.

Tabla 2-6 Datos promedio circuito C1-B1.

POTENCIA ACTIVA (KW)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,071375	0,003451	0,070000	0,070000	0,080000	0,07	207
FASE B	0,010000	0,000000	0,010000	0,010000	0,010000	0,01	240
FASE C	0,014917	0,010268	0,000000	0,010000	0,040000	0,01	191
POTENCIA APARENTE (KVA)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,069917	0,001582	0,050000	0,070000	0,080000	0,07	237
FASE B	0,020125	0,001113	0,020000	0,020000	0,030000	0,02	237
FASE C	0,048333	0,003735	0,040000	0,050000	0,050000	0,05	200
POTENCIA REACTIVA (KVAr)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,020000	0,000000	0,020000	0,020000	0,020000	0,02	240
FASE B	0,020000	0,000000	0,020000	0,020000	0,020000	0,02	240
FASE C	0,030000	0,000000	0,030000	0,030000	0,030000	0,03	240

Fuente: El autor, software Minitab 17.

La desviación estándar para cada fase, por cada tipo de potencia, es pequeña, lo cual es un buen indicativo de la normalidad de los datos tomados.

En la Tabla 2-7 se presenta el resumen de los datos obtenidos para el circuito del transformador BT-BT. El valor de potencia activa, aparente y reactiva para este circuito se calcula como la suma aritmética del valor medio presentado en cada fase. El factor de

potencia para este circuito se calcula mediante las ecuaciones 1-8 y 1-9, dando como resultado un valor de 0.8.

Tabla 2-7 Resumen circuito C1-B1.

CIRCUITO TRANSFORMADOR BT-BT								
POTENCIA ACTIVA FASE A	0,071375	KW	POTENCIA APARENTE FASE A	0,06992	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE A	0,02	KVAR
POTENCIA ACTIVA FASE B	0,010000	KW	POTENCIA APARENTE FASE B	0,020116	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE B	0,02	KVAR
POTENCIA ACTIVA FASE C	0,014917	KW	POTENCIA APARENTE FASE C	0,048406	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE C	0,03	KVAR
POTENCIA ACTIVA DEL CIRCUITO	0,096	KW	POTENCIA APARENTE DEL CIRCUITO	0,138	KVA	POTENCIA REACTIVA DEL CIRCUITO	0,07	KVAR
ANGULO DE DESFASE	36,098	°	FACTOR DE POTENCIA	0,8	$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Q}{P}\right)$		$FP = \text{Cos } \theta$	

Fuente: El autor.

La potencia aparente en uso es de solo 0.138 KVA, aunque la capacidad nominal del transformador BT-BT es de 5 KVA; este bajo valor de potencia aparente es un indicativo bajo el cual se puede inferir que el transformador BT-BT está trabajando en vacío, lo cual se pudo comprobar por inspección física donde se encontró que este transformador solo está alimentando unos tomacorrientes de uso general, por lo que no tiene una carga constante conectada, y también alimenta unos circuitos de iluminación que se utilizan un par de horas en la noche. En el anexo D, se puede ver cuáles son las cargas que se derivan del transformador BT-BT.

2.2.2 Circuito C1-B5 Motor criba N°2

En la Figura 2-6, está presente el motor eléctrico encargado de darle el movimiento a la criba N°2.

Figura 2-6 Motor criba N°2.



Fuente: El autor.

En lo referente a la potencia activa, los datos obtenidos son muy consistentes, teniendo en cuenta que por cada fase se analizan 240 datos; se tiene que la moda está por encima de los 200 datos, (ver Tabla 2-8), lo cual muestra que esa potencia es prácticamente constante a lo largo de un ciclo de trabajo.

Tabla 2-8 Datos promedio circuito C1-B5.

POTENCIA ACTIVA (KW)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,18896	0,00390	0,18000	0,19000	0,20000	0,19	201
FASE B	0,16008	0,000911	0,16000	0,16000	0,17000	0,16	238
FASE C	0,16971	0,00231	0,16000	0,17000	0,18000	0,17	227
POTENCIA APARENTE (KVA)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,82200	0,00761	0,81000	0,82000	0,83000	0,83	98
FASE B	0,77608	0,00885	0,76000	0,77000	0,79000	0,77	129
FASE C	0,75192	0,00568	0,74000	0,75000	0,76000	0,75	154
POTENCIA REACTIVA (KVAr)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,79617	0,00952	0,74000	0,80000	0,81000	0,8	106
FASE B	0,76746	0,00619	0,75000	0,77000	0,78000	0,77	184
FASE C	0,73179	0,00724	0,71000	0,73000	0,75000	0,73	122
FACTOR DE POTENCIA							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,22618	0,00647	0,20500	0,22600	0,24600	0,225	21
FASE B	0,21284	0,00581	0,19900	0,21300	0,23600	0,213	19
FASE C	0,22942	0,00574	0,21700	0,22950	0,24300	0,225; 0,23	21

Fuente: El autor, software Minitab 17.

Por otra parte, la potencia aparente, en particular la de la fase A, presenta un variación considerable de sus datos, los cuales se encuentran en el intervalo de 0.81 a 0.83; siendo en mayoría iguales a 0.83 con una presencia de 98 veces.

Los datos estadísticos para el factor de potencia se presentan de manera ilustrativa, dado que para su estimación general para este circuito, se calculan teniendo en cuenta la potencia activa y la reactiva promedio del circuito.

En la Tabla 2-9 se presenta el consolidado de los datos obtenidos para el circuito C1-B5. El valor correspondiente al factor de potencia para este circuito es de 0.22, siendo este un valor muy bajo, que indica un ángulo de desfase de 77.26 grados.

Tabla 2-9 Resumen circuito C1-B5.

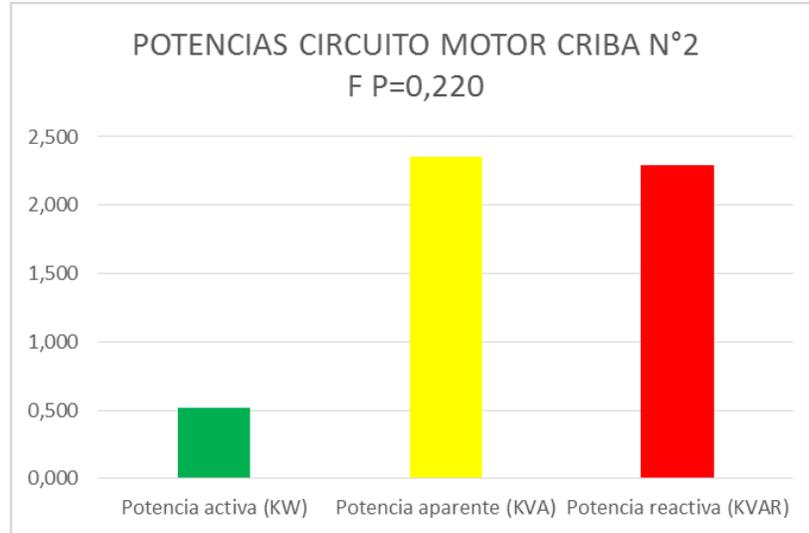
CIRCUITO MOTOR CRIBA N°2								
POTENCIA ACTIVA FASE A	0,18896	KW	POTENCIA APARENTE FASE A	0,82200	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE A	0,79617	KVAR
POTENCIA ACTIVA FASE B	0,16008	KW	POTENCIA APARENTE FASE B	0,77608	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE B	0,76746	KVAR
POTENCIA ACTIVA FASE C	0,16971	KW	POTENCIA APARENTE FASE C	0,75192	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE C	0,73179	KVAR
POTENCIA ACTIVA DEL CIRCUITO	0,519	KW	POTENCIA APARENTE DEL CIRCUITO	2,350	KVA	POTENCIA REACTIVA DEL CIRCUITO	2,295	KVAR
ANGULO DE DESFACE	77,26	°	FACTOR DE POTENCIA	0,220	$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Q}{P}\right)$		$FP = \text{Cos } \theta$	

Fuente: El autor.

La potencia activa consumida por este circuito es de solo 0.519 KW, sin embargo, la potencia reactiva es superior a 4 veces la potencia activa, este es un indicativo de la deficiente calidad de este motor.

En la Figura 2-7 se observa de manera más grafica la gran desproporción que existe entre el valor de la potencia activa y sus correspondientes a potencia aparente y potencia reactiva.

Figura 2-7 Comparativo de potencias circuito C1-B5.



Fuente: El autor.

Tener una potencia aparente tan alta en comparación con la potencia activa es un gran problema, dado que se le está pidiendo más capacidad al transformador y a la red de distribución, y esta capacidad extra no se está empleando para producir ningún tipo de trabajo.

2.2.3 Circuito C2-B5 Motor criba N°1

Figura 2-8 Motor criba N°1



Fuente: El autor.

El funcionamiento de la criba N°1 se hace mediante el motor de la Figura 2-8.

Este circuito presenta una particularidad en la fase C, dado que el promedio de las tres potencias, al igual que el factor de potencia promedio para esa fase es inferior, en comparación con las fases A y B, (ver Tabla 2-10), esto posiblemente se debe a que este motor fue reparado en algún momento y el proceso de remano-factura no fue el más eficiente.

Tabla 2-10 Datos promedio circuito C2-B5.

POTENCIA ACTIVA (KW)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,21846	0,00918	0,20000	0,22000	0,24000	0,21	94
FASE B	0,17175	0,00381	0,17000	0,17000	0,18000	0,17	198
FASE C	0,15092	0,00289	0,15000	0,15000	0,16000	0,15	218
POTENCIA APARENTE (KVA)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,95971	0,00559	0,94000	0,96000	0,97000	0,96	168
FASE B	0,94392	0,00657	0,92000	0,94000	0,96000	0,94	127
FASE C	0,87671	0,00723	0,87000	0,88000	0,89000	0,87	115
POTENCIA REACTIVA (KVAr)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,93879	0,00658	0,92000	0,94000	0,96000	0,94	157
FASE B	0,92417	0,00558	0,91000	0,92000	0,94000	0,92	130
FASE C	0,86963	0,00442	0,86000	0,87000	0,88000	0,87	193
FACTOR DE POTENCIA							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,19302	0,00805	0,17100	0,19400	0,22700	0,195	18
FASE B	0,18441	0,00464	0,17100	0,18400	0,19600	0,182	27
FASE C	0,17291	0,00372	0,16200	0,17300	0,18200	0,173	28

Fuente: El autor, software Minitab 17.

La desviación estándar presente en cada fase, para cada aspecto medido, es baja, mientras que los valores de la moda son mayores al 50% de la cantidad de datos tomados.

Este circuito presenta también un factor de potencia extremadamente bajo, siendo del orden de 0.19 (ver Tabla 2-11).

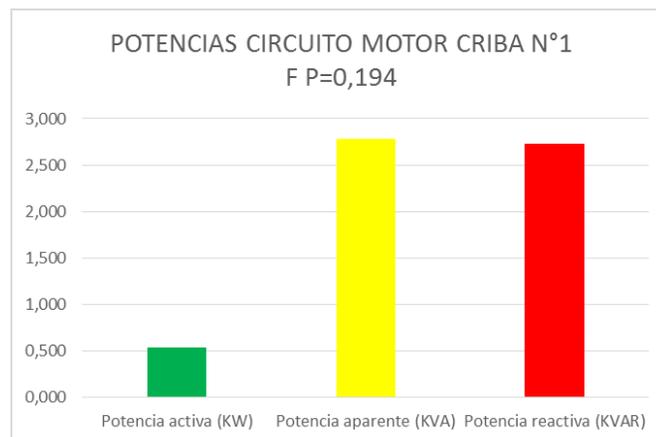
Tabla 2-11 Resumen circuito C2-B5.

CIRCUITO MOTOR CRIBA N°1								
POTENCIA ACTIVA FASE A	0,21846	KW	POTENCIA APARENTE FASE A	0,95971	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE A	0,93879	KVAR
POTENCIA ACTIVA FASE B	0,17175	KW	POTENCIA APARENTE FASE B	0,94392	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE B	0,92417	KVAR
POTENCIA ACTIVA FASE C	0,15092	KW	POTENCIA APARENTE FASE C	0,87671	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE C	0,86963	KVAR
POTENCIA ACTIVA DEL CIRCUITO	0,541	KW	POTENCIA APARENTE DEL CIRCUITO	2,780	KVA	POTENCIA REACTIVA DEL CIRCUITO	2,733	KVAR
ANGULO DE DESFASE	78,80	°	FACTOR DE POTENCIA	0,194	$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Q}{P}\right)$		$FP = \cos\theta$	

Fuente: El autor.

Para este circuito se tiene una potencia reactiva 5 veces mayor a la potencia activa, es esto sin duda un problema grande que influye fuertemente en el consumo de energía y que por lo tanto debe ser corregido con prontitud.

Figura 2-9 Comparativo de potencias circuito C2-B5.



Fuente: El autor.

La Figura 2-9, muestra una potencia aparente y una potencia reactiva que superan en más del 500 % el valor de la potencia activa; motores con tan bajo factor de potencia como el de los circuitos C1-B5 y C2-B5, son los que más afectan de manera negativa el factor de potencia global de la instalación.

2.2.4 Circuito C3- B5 Motores banda de cangilones y criba N°0

Figura 2-10 Motores banda de cangilones y criba N°0



Fuente: El autor

Este circuito alimenta dos motores (ver Figura 2-10), uno que se encarga del movimiento de la banda de cangilones y el otro pone en funcionamiento la criba N°0, que es la encargada de hacer una primera selección de elementos de mayor tamaño.

Los valores presentados en a Tabla 2-12 corresponden entonces al circuito que alimenta estos dos motores, puesto que la entrada en funcionamiento de los mismos es de forma sincrónica.

Tabla 2-12 Datos promedio circuito C3-B5.

POTENCIA ACTIVA (KW)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	moda
FASE A	0,31737	0,01593	0,29000	0,31500	0,35000	0,31	56
FASE B	0,25638	0,01586	0,22000	0,26000	0,29000	0,25	52
FASE C	0,23604	0,01557	0,20000	0,23000	0,27000	0,23	55
POTENCIA APARENTE (KVA)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	1,3218	0,0104	1,3000	1,3300	1,3400	1,33	127
FASE B	1,3258	0,00680	1,3100	1,3300	1,3400	1,33	114
FASE C	1,2254	0,00713	1,2000	1,2300	1,2400	1,23	130
POTENCIA REACTIVA (KVAr)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	1,2804	0,0108	1,2500	1,2800	1,3100	1,29	108
FASE B	1,2937	0,00956	1,2700	1,3000	1,3100	1,3	124
FASE C	1,1937	0,0105	1,1600	1,1900	1,2200	1,19	87
FACTOR DE POTENCIA							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,23337	0,01312	0,19900	0,23300	0,26700	0,246	11
FASE B	0,18759	0,01500	0,14500	0,18700	0,22900	0,183; 0,187	10
FASE C	0,19286	0,01316	0,15200	0,19200	0,23100	0,201	13

Fuente: El autor, software Minitab 17.

En la Tabla 2-13 se presenta el resumen de los datos obtenidos para el circuito motor banda cangilones y criba N°0. El valor de potencia activa, aparente y reactiva para este circuito se calcula como la suma aritmética del valor medio presentado en cada fase, obteniéndose como resultado una potencia activa de 0.810 KW, una potencia aparente de 3.873 KVA y una potencia reactiva de 3.768 KVAr.

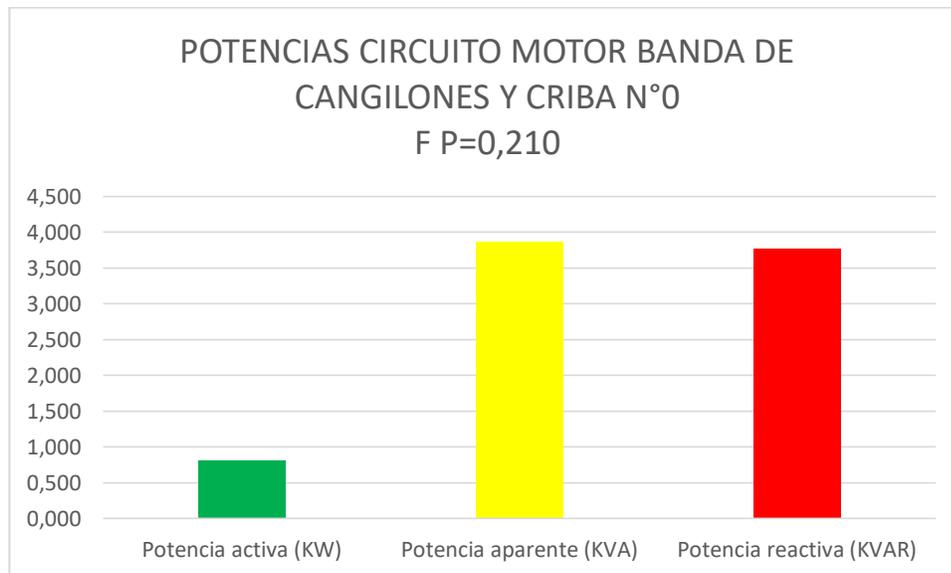
Tabla 2-13 Resumen circuito C3-B5.

CIRCUITO MOTOR BANDA DE CANGILONES Y CRIBA N°0								
POTENCIA ACTIVA FASE A	0,31737	KW	POTENCIA APARENTE FASE A	1,32180	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE A	1,2804	KVAR
POTENCIA ACTIVA FASE B	0,25638	KW	POTENCIA APARENTE FASE B	1,3258	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE B	1,2937	KVAR
POTENCIA ACTIVA FASE C	0,23604	KW	POTENCIA APARENTE FASE C	1,2254	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE C	1,1937	KVAR
POTENCIA ACTIVA DEL CIRCUITO	0,810	KW	POTENCIA APARENTE DEL CIRCUITO	3,873	KVA	POTENCIA REACTIVA DEL CIRCUITO	3,768	KVAR
ANGULO DE DESFASE	77,86	°	FACTOR DE POTENCIA	0,210	$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Q}{P}\right)$		$FP = \cos \theta$	

Fuente: El autor.

El factor de potencia de este circuito es de 0.21, indicando un ángulo de desfase de 77.86 grados; la potencia activa que se presenta en la fase A, presenta un desbalance con respecto a la fase C, siendo superior en un 25% la potencia presente en la fase A, este sería un indicador de posibles fallas en el estado del bobinado del motor.

Figura 2-11 Comparativo de potencias circuito C3-B5.



Fuente: El autor.

De la figura anterior (Figura 2-11), se puede evidenciar el alto consumo de potencia aparente y reactiva de este circuito, con lo cual se está ocupando, de manera innecesaria, capacidad del transformador, al igual que se consume un exceso de energía reactiva, que afecta considerablemente los montos a pagar en el recibo de energía.

2.2.5 Circuito C4-B5 Motor mesa oscilatoria

Figura 2-12 Motor mesa oscilatoria.



Fuente: El autor.

El movimiento oscilatorio se consigue a través de un brazo de tipo excéntrico, conectado a una caja reductora accionada por el motor eléctrico (ver Figura 2-12).

Este motor es de baja potencia, pero al igual que los anteriores, también presenta un marcado desbalance por fase, en lo referente a la potencia activa, mientras que los datos tomados para la potencia la aparente y la reactiva son mucho más homogéneos. (Ver Tabla 2-14).

Tabla 2-14 Datos promedio circuito C4-B5.

POTENCIA ACTIVA (KW)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,41179	0,02461	0,36000	0,41000	0,48000	0,39	45
FASE B	0,33275	0,01461	0,30000	0,33000	0,37000	0,32	59
FASE C	0,32183	0,01506	0,28000	0,32000	0,35000	0,33	56
POTENCIA APARENTE (KVA)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	2,2097	0,0253	2,1200	2,2100	2,2600	2,2; 2,22	38
FASE B	2,2682	0,0126	2,2200	2,2700	2,2900	2,27	80
FASE C	2,1847	0,0227	2,1400	2,1900	2,2300	2,2	55
POTENCIA REACTIVA (KVA _r)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	2,2310	0,0356	2,1200	2,2350	2,3000	2,27	33
FASE B	2,2221	0,0153	2,1900	2,2200	2,2600	2,22	57
FASE C	2,1740	0,00786	2,1500	2,1700	2,1900	2,17	126
FACTOR DE POTENCIA							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,15965	0,01311	0,13000	0,16000	0,18500	0,157	10
FASE B	0,14439	0,01441	0,11600	0,14400	0,17700	0,138	10
FASE C	0,14949	0,01463	0,12500	0,15000	0,18100	0,156	12

Fuente: El autor, software Minitab 17.

El factor de potencia de este circuito es de 0.159, (ver Tabla 2-15), y su ángulo de desfase es de 80.86 grados, con lo cual este circuito se constituye en el de más bajo factor de potencia, entre los circuitos que hasta ahora se han analizado.

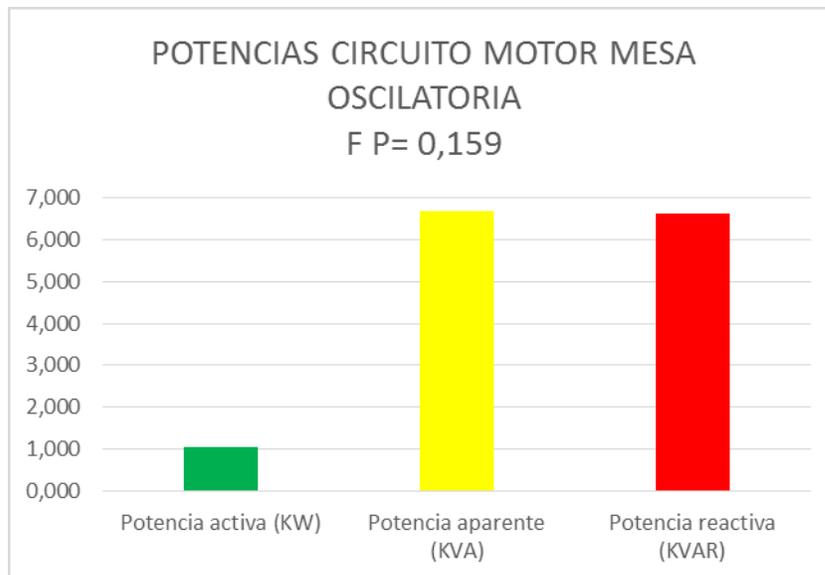
Tabla 2-15 Resumen circuito C4-B5.

CIRCUITO MOTOR MESA OSCILATORIA								
POTENCIA ACTIVA FASE A	0,41179	KW	POTENCIA APARENTE FASE A	2,20970	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE A	2,231	KVAR
POTENCIA ACTIVA FASE B	0,33275	KW	POTENCIA APARENTE FASE B	2,2682	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE B	2,2221	KVAR
POTENCIA ACTIVA FASE C	0,32182	KW	POTENCIA APARENTE FASE C	2,1847	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE C	2,174	KVAR
POTENCIA ACTIVA DEL CIRCUITO	1,066	KW	POTENCIA APARENTE DEL CIRCUITO	6,663	KVA	POTENCIA REACTIVA DEL CIRCUITO	6,627	KVAR
ANGULO DE DESFAZ	80,86	°	FACTOR DE POTENCIA	0,159		$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Q}{P}\right)$		$FP = \cos \theta$

Fuente: El autor.

Con una potencia activa de 1.06 KW y una potencia reactiva de 6.6 KVAR, este motor presenta un consumo de potencia reactiva de más de 6 veces su potencia activa, en la figura 2-13, se hace evidente, de manera gráfica, esta desproporción que se está planteando.

Figura 2-13 Comparativo de potencias circuito C4-B5.



Fuente: El autor.

2.2.6 Circuito C5-B5 Motor banda transportadora

Figura 2-14 Motor banda transportadora.



Fuente: El autor.

La Figura 2-14 muestra cómo se realiza el movimiento de la banda transportadora, haciendo uso de un motor-reductor.

Tabla 2-16 Datos promedio circuito C5-B5.

POTENCIA ACTIVA (KW)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,19398	0,00842	0,12000	0,19000	0,21000	0,19	123
FASE B	0,17571	0,00996	0,11000	0,18000	0,20000	0,18	131
FASE C	0,16877	0,01004	0,14000	0,17000	0,20000	0,17	131
POTENCIA APARENTE (KVA)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,48996	0,00712	0,43000	0,49000	0,50000	0,49	184
FASE B	0,50892	0,00694	0,48000	0,51000	0,59000	0,51	196
FASE C	0,47362	0,01163	0,36000	0,47000	0,49000	0,47	127
POTENCIA REACTIVA (KVAr)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,45192	0,00394	0,45000	0,45000	0,46000	0,45	194
FASE B	0,47117	0,01515	0,45000	0,47000	0,65000	0,47	209
FASE C	0,45000	0,01274	0,37000	0,45000	0,60000	0,45	207
FACTOR DE POTENCIA							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,38715	0,01918	0,33700	0,38700	0,43500	0,393; 0,406	8
FASE B	0,36179	0,01715	0,31400	0,36200	0,40700	0,37	12
FASE C	0,34408	0,02444	0,30000	0,34300	0,40600	0,339; 0,355; 0,358	6

Fuente: El autor, software Minitab 17.

Este circuito presenta unos datos más constantes en el tiempo, para los tres tipos de potencia (ver Tabla 2-16), esto se debe a que su funcionamiento es más continuo al igual que la carga que transporta, que presenta pocas variaciones, pues depende de la cantidad de arena que le suministra la mesa oscilatoria, y esta permanece graduada en una cantidad determinada.

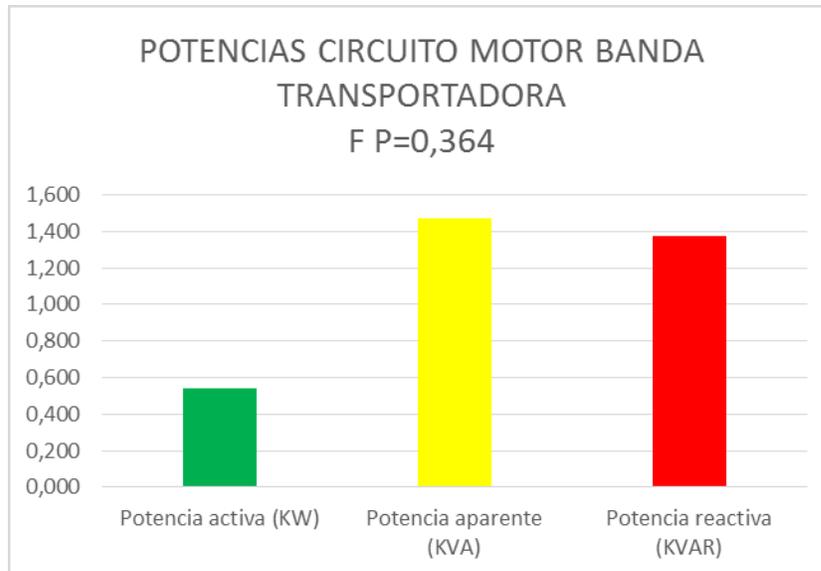
La potencia activa de este circuito es baja, siendo de solo 0.538 KW,(ver Tabla 2-17), con un factor de potencia de 0.364, que aunque es muy bajo, es mejor en comparación con los que presentan los circuitos de las cribas N°1 y N°2, que son de potencias muy similares.

Tabla 2-17 Resumen circuito C5-B5.

CIRCUITO MOTOR BANDA TRANSPORTADORA								
POTENCIA ACTIVA FASE A	0,19398	KW	POTENCIA APARENTE FASE A	0,48996	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE A	0,45192	KVAR
POTENCIA ACTIVA FASE B	0,17571	KW	POTENCIA APARENTE FASE B	0,50892	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE B	0,47117	KVAR
POTENCIA ACTIVA FASE C	0,16877	KW	POTENCIA APARENTE FASE C	0,47362	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE C	0,45	KVAR
POTENCIA ACTIVA DEL CIRCUITO	0,538	KW	POTENCIA APARENTE DEL CIRCUITO	1,473	KVA	POTENCIA REACTIVA DEL CIRCUITO	1,373	KVAR
ANGULO DE DESFASE	68,60	°	FACTOR DE POTENCIA	0,364	$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Q}{P}\right)$		$FP = \cos \theta$	

Fuente: El autor.

De la Figura 2-15, se puede inferir que la potencia reactiva constituye algo más del 250%, de la potencia activa; si bien este consumo es muy alto; no es tan crítico como el que se presenta en los otros circuitos con potencia activa similar.

Figura 2-15 Comparativo de potencias circuito C5-B5.

Fuente: El autor.

2.2.7 Circuito C6-B5 Motor horno rotativo

Figura 2-16 Motor horno rotativo.

Fuente: El autor.

El horno rotativo de la Figura 2-16, es impulsado por un motor eléctrico, conectado a una transmisión reductora, con lo cual se consigue que el horno rote a muy bajas revoluciones.

Aunque los datos de factor de potencia por fase que se plantean en la Tabla 2-18, son solo ilustrativos, se observa que la fase A, es la que presenta el factor de potencia más bajo, y a su vez, la potencia activa promedio más baja se presenta también en la fase A.

Tabla 2-18 Datos promedio circuito C6-B5.

POTENCIA ACTIVA (KW)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,24254	0,04737	0,12000	0,24000	0,34000	0,23	24
FASE B	0,40387	0,04281	0,30000	0,40000	0,50000	0,4	26
FASE C	0,34404	0,04415	0,18000	0,34000	0,45000	0,31	25
POTENCIA APARENTE (KVA)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	1,4595	0,0140	1,4200	1,4600	1,4900	1,47	67
FASE B	1,5083	0,0226	1,4500	1,5100	1,5700	1,51; 1,52	38
FASE C	1,5977	0,0224	1,5500	1,6000	1,6400	1,6	49
POTENCIA REACTIVA (KVAr)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	1,4436	0,0141	1,4100	1,4450	1,4700	1,46	65
FASE B	1,4558	0,0158	1,4200	1,4600	1,5100	1,46	62
FASE C	1,5641	0,0251	1,5000	1,5600	1,6100	1,59	39
FACTOR DE POTENCIA							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,15613	0,05056	0,01700	0,15800	0,26500	0,119; 0,14	5
FASE B	0,25938	0,03204	0,18700	0,26000	0,33300	0,229; 0,29	6
FASE C	0,20720	0,02515	0,14300	0,20700	0,26100	0,203; 0,221	6

Fuente: El autor, software Minitab 17.

Tabla 2-19 Resumen circuito C6-B6.

CIRCUITO MOTOR HORNO ROTATIVO								
POTENCIA ACTIVA FASE A	0,24254	KW	POTENCIA APARENTE FASE A	1,45950	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE A	1,4436	KVAR
POTENCIA ACTIVA FASE B	0,40387	KW	POTENCIA APARENTE FASE B	1,5083	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE B	1,4558	KVAR
POTENCIA ACTIVA FASE C	0,34404	KW	POTENCIA APARENTE FASE C	1,5977	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE C	1,5641	KVAR
POTENCIA ACTIVA DEL CIRCUITO	0,990	KW	POTENCIA APARENTE DEL CIRCUITO	4,566	KVA	POTENCIA REACTIVA DEL CIRCUITO	4,464	KVAR
ANGULO DE DESFACE	77,49	°	FACTOR DE POTENCIA	0,216	$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Q}{P}\right)$		$FP = \cos \theta$	

Fuente: El autor.

La potencia reactiva que se presenta en la Tabla 2-19, corresponde a 4.5 veces la potencia activa del circuito y la potencia aparente demanda por este circuito es 4.6 veces superior a la potencia activa; al igual que los circuitos anteriormente estudiados, es este otro circuito con un factor de potencia bajo y por ende, un ángulo de desfase alto, alcanzando en este caso un valor de 77.49 grados.

2.2.8 Circuito C7-B5 Motor ventilador

Figura 2-17 Motor ventilador.



Fuente: El autor.

El ventilador empleado (ver Figura 2-17), está conectado directamente al eje del motor eléctrico, la variación de caudal de aire se realiza cerrando o abriendo una compuerta presente en la entrada de aire del ventilador.

En la Tabla 2-20 se presenta el resumen de los datos obtenidos para el circuito motor ventilador. El valor de potencia activa, aparente y reactiva para este circuito se calcula como la suma aritmética del valor medio presentado en cada fase.

Tabla 2-20 Datos promedio circuito C7-B5.

POTENCIA ACTIVA (KW)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,48900	0,04818	0,41000	0,47000	0,59000	0,47	60
FASE B	0,95029	0,00810	0,93000	0,95000	0,99000	0,95	156
FASE C	0,99142	0,00913	0,96000	0,99000	1,02000	0,99	96
POTENCIA APARENTE (KVA)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	1,0824	0,0119	1,0500	1,0800	1,1300	1,08	91
FASE B	1,3087	0,0108	1,2200	1,3100	1,3300	1,31	103
FASE C	1,3860	0,0163	1,3400	1,3800	1,4300	1,38	61
POTENCIA REACTIVA (KVAr)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	1,0339	0,0302	0,9600	1,0500	1,0700	1,05	92
FASE B	0,89621	0,01172	0,87000	0,90000	0,93000	0,89	78
FASE C	0,98029	0,01459	0,94000	0,98000	1,01000	0,99	58
FACTOR DE POTENCIA							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,65823	0,00701	0,64200	0,65800	0,67800	0,656	19
FASE B	0,72817	0,00836	0,70600	0,72900	0,75000	0,73	17
FASE C	0,72048	0,00800	0,70000	0,72000	0,74900	0,721	19

Fuente: El autor, software Minitab 17.

El factor de potencia que presenta este circuito es el mejor de todos los anteriores, con valores promedio por fase de 0.658 para la fase A, 0.728 para la fase B y 0.720 para la fase C.

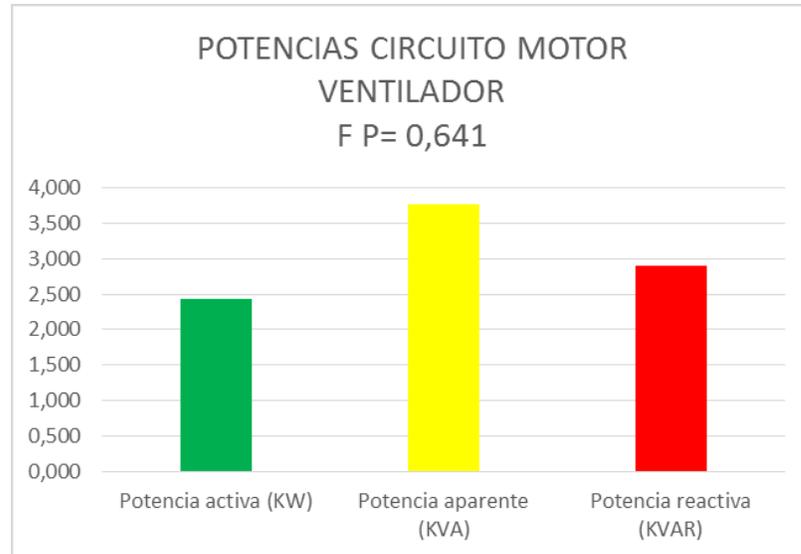
Tabla 2-21 Resumen circuito C7-B5.

CIRCUITO MOTOR VENTILADOR								
POTENCIA ACTIVA FASE A	0,489	KW	POTENCIA APARENTE FASE A	1,08240	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE A	1,0339	KVAR
POTENCIA ACTIVA FASE B	0,95029	KW	POTENCIA APARENTE FASE B	1,3087	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE B	0,89621	KVAR
POTENCIA ACTIVA FASE C	0,99142	KW	POTENCIA APARENTE FASE C	1,386	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE C	0,98029	KVAR
POTENCIA ACTIVA DEL CIRCUITO	2,431	KW	POTENCIA APARENTE DEL CIRCUITO	3,777	KVA	POTENCIA REACTIVA DEL CIRCUITO	2,910	KVAR
ANGULO DE DESFASE	50,12	°	FACTOR DE POTENCIA	0,641	$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Q}{P}\right)$		$FP = \cos\theta$	

Fuente: El autor.

La potencia activa del circuito es de 2.431 KW, y un factor de potencia calculado de 0.641 (ver Tabla 2-21), este es el mejor factor de potencia presente hasta el momento, con lo cual su ángulo de desfase es de 50.12 grados y la potencia reactiva de este circuito es 1.2 veces mayor que la potencia activa (ver Figura 2-18).

Figura 2-18 Comparativo de potencias circuito C7-B5.



Fuente: El autor.

2.2.9 Circuito C8-B5 Conexión motor electrobomba

La electrobomba mostrada en la Figura 2-19, es la encargada de mover el agua desde el reservorio, hasta el punto de almacenaje de la arena de peña, donde inicia el proceso de lavado de la arena.

Figura 2-19 Motor electrobomba.



Fuente: El autor.

Este corresponde al circuito con mayor carga, alrededor de 4 KW por fase (ver Tabla 2-22), también es el circuito con el mejor factor de potencia, en comparación con los demás circuitos, dato que alcanza valores por fase de hasta 0.877.

Tabla 2-22 Datos promedio circuito C87-B5.

POTENCIA ACTIVA (KW)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	4,1091	0,0315	4,0100	4,1100	4,1600	4,1	54
FASE B	4,0306	0,00834	4,0000	4,0300	4,0500	4,03	123
FASE C	4,0363	0,0107	4,0100	4,0400	4,0700	4,03	86
POTENCIA APARENTE (KVA)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	4,7987	0,0281	4,4700	4,8000	4,8300	4,8	72
FASE B	4,6359	0,0114	4,6200	4,6300	4,6700	4,63	95
FASE C	4,6375	0,0170	4,6000	4,6400	4,7000	4,64	80
POTENCIA REACTIVA (KVAr)							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	2,4603	0,0178	2,4100	2,4700	2,4900	2,47	86
FASE B	2,2935	0,0132	2,2600	2,2900	2,3300	2,3	76
FASE C	2,2806	0,00863	2,2600	2,2800	2,3000	2,28	115
FACTOR DE POTENCIA							
Variable	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
FASE A	0,85818	0,00191	0,85500	0,85800	0,86500	0,857	77
FASE B	0,86855	0,00179	0,86100	0,86900	0,87500	0,868	64
FASE C	0,87098	0,00199	0,86500	0,87100	0,87700	0,87	74

Fuente: El autor, software Minitab 17.

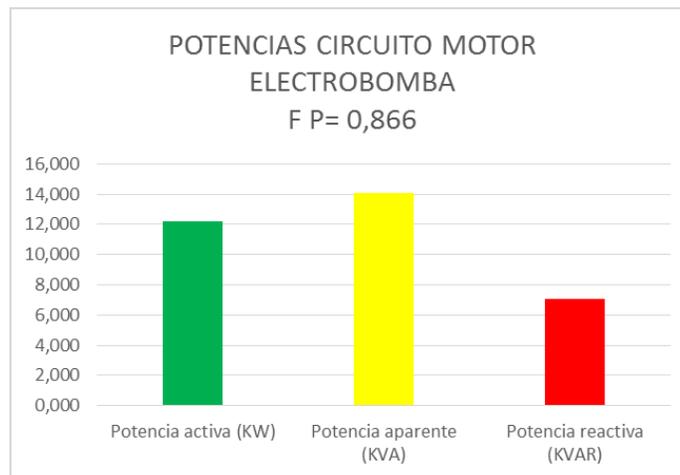
La potencia total de este circuito es de 12.176 KW y su factor de potencia llega a 0.866 (ver Tabla 2-23); siendo este un valor que se considera como estándar en motores eléctricos, con lo cual el ángulo de desfase es de solo 30 grados y la relación potencia reactiva – potencia activa es de solo 0.57.

Tabla 2-23 Resumen circuito motor electrobomba

CIRCUITO MOTOR ELECTROBOMBA								
POTENCIA ACTIVA FASE A	4,1091	KW	POTENCIA APARENTE FASE A	4,79870	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE A	2,4603	KVAR
POTENCIA ACTIVA FASE B	4,0306	KW	POTENCIA APARENTE FASE B	4,6359	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE B	2,2935	KVAR
POTENCIA ACTIVA FASE C	4,0363	KW	POTENCIA APARENTE FASE C	4,6375	KVA	POTENCIA REACTIVA FASE C	2,2806	KVAR
POTENCIA ACTIVA DEL CIRCUITO	12,176	KW	POTENCIA APARENTE DEL CIRCUITO	14,072	KVA	POTENCIA REACTIVA DEL CIRCUITO	7,034	KVAR
ANGULO DE DESFAZ	30,01	°	FACTOR DE POTENCIA	0,866	$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Q}{P}\right)$		$FP = \cos \theta$	

Fuente: El autor.

Figura 2-20 Comparativo de potencias circuito C8-B5.



Fuente: El autor.

De la Figura 2-20 se puede apreciar la relación entre la potencia reactiva y la potencia activa, al igual que se aprecia que la potencia aparente es ligeramente superior a la activa, aunque la potencia reactiva corresponde solo al 57.8%; todavía se encuentra por encima del margen permitido por la resolución CREG 015, con lo cual es susceptible de recibir penalización y por ende también se debe corregir el factor de potencia de este circuito.

2.2.10 Factor de potencia global de la instalación

Para hacer el cálculo del factor de potencia global de la instalación se suman los valores correspondientes a todas las potencias activas conectadas al igual que la suma de todas las potencias reactivas, y mediante la aplicación de las ecuaciones 1.8 y 1.9, se determina el factor de potencia de la instalación.

Se obtiene así un factor de potencia de la instalación con valor de 0.523. En la Tabla 2-24, se presentan los datos base para el cálculo del factor de potencia de la instalación.

Tabla 2-24 Factor de potencia global inicial.

CIRCUITO	POTENCIA ACTIVA		POTENCIA REACTIVA	
CIRCUITO TRANSFORMADOR BT-BT	0,096	KW	0,07	KVAr
MOTOR CRIBA N°2	0,519	KW	2,295	KVAr
MOTOR CRIBA N°1	0,541	KW	2,733	KVAr
CIRCUITO MOTORES BANDA DE CANGILONES Y CRIBA N°0	0,81	KW	3,768	KVAr
CIRCUITO MOTOR MESA OSCILATORIA	1,066	KW	6,627	KVAr
CIRCUITO MOTOR BANDA TRANSPORTADORA	0,538	KW	1,373	KVAr
CIRCUITO MOTOR HORNO ROTATIVO	0,99	KW	4,464	KVAr
CIRCUITO MOTOR VENTILADOR	2,431	KW	2,91	KVAr
CIRCUITO CONEXIÓN MOTOR ELECTROBOMBA	12,176	KW	7,034	KVAr
TOTAL	19,167	KW	31,274	KVAr
FACTOR DE POTENCIA GLOBAL	0,523			
ANGULO DE DESFACE	58,49	GRADOS		
$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{Q}{P} \right)$	$FP = \cos \theta$			

Fuente: El autor.

Teniendo medidos y calculados los parámetros de cada circuito y después de verificar que todos los circuitos de motores requieren de instalar compensación capacitiva.

3. Capítulo 3: Diseño del banco de condensadores

3.1 Diseño del banco de condensadores para cada circuito.

Al conocer el valor del factor de potencia existente para cada uno de los circuitos de motores, se puede realizar el dimensionamiento de cada uno de los condensadores requeridos para conseguir elevar el factor de potencia lo más cercano al valor unitario.

Para el cálculo del banco de condensadores se realiza el procedimiento descrito en el numeral 1.4.2, haciendo uso de las formulas allí indicadas; en las tablas siguientes se indican los valores más relevantes dentro del dimensionamiento de los condensadores. Para ver en detalle el cálculo de los condensadores para cada circuito se debe consultar el anexo E.

3.1.1 Circuito C1-B1 Transformador BT-BT

Este circuito presenta un factor de potencia de 0.8, sin embargo, de acuerdo con las mediciones de potencia activa, y aparente (ver Tabla 2-7), se puede deducir que este transformador está trabajando prácticamente en vacío, a pesar de tener una capacidad nominal de 5 KVA, no tiene cargas de mediano o alto consumo asociadas, por lo que no es necesario calcularle ni instalarle un banco de condensadores.

3.1.2 Circuito C1-B5 Motor criba N°2

Inicialmente se realiza un cálculo cuyo objetivo es alcanzar un factor de potencia de 0.999, para posteriormente, con base en la compensación máxima requerida, ajustar el tamaño del banco de condensadores a los valores comerciales.

Tabla 3-1 Resumen cálculo de condensadores, circuito motor criba N°2.

Datos iniciales		
Tensión de fase	0,270	KV
Tensión de línea	0,467	KV
Potencia activa (P)	0,519	KW
Potencia aparente (S ₁)	2,350	KVA
Potencia reactiva (Q ₁)	2,295	KVAr
Factor de potencia (Cosθ ₁)	0,221	
Angulo de desfase (θ ₁)	77,26	Grados
Corrigiendo el factor de potencia a 0,999 (Teórico)		
Potencia activa (P)	0,519	KW
Potencia aparente (S ₂)	0,520	KVA
Potencia reactiva (Q ₂)	0,023	KVAr
Factor de potencia (Cosθ ₂)	0,999	
Angulo de desfase (θ ₂)	2,563	Grados
Potencia reactiva de compensación (Q _c)	2,272	KVAr
Con condensador de capacidad comercial (2,2 KVAr)		
Potencia activa (P)	0,519	KW
Potencia aparente (S _{2-Real})	0,527	KVA
Potencia reactiva (Q _{2-Real})	0,095	KVAr
Factor de potencia (Cosθ _{2-Real})	0,984	
Angulo de desfase (θ _{2-Real})	10,37	Grados
Potencia reactiva de compensación (Q _{c-Real})	2,2	KVAr

Fuente: El autor.

Para corregir el factor de potencia del circuito motor criba N°2, se requiere instalar un banco de condensadores compuesto por dos condensadores conectados en paralelo, con una capacidad de compensación reactiva de 1.2 KVAr y 1 KVAr; para un total de 2.2 KVAr de compensación, con lo cual se consigue elevar el factor de potencia desde 0.221 hasta 0.984. (Ver Tabla 3-1).

3.1.3 Circuito C2-B5 Motor criba N°1

En este circuito, la potencia reactiva de compensación requerida, es de 2.709 KVAR, y comercialmente se pueden obtener valores de 2.7 KVAR, con lo cual se está muy cerca de llegar al máximo factor de potencia deseado. (Ver Tabla 3-2).

Tabla 3-2 Resumen cálculo de condensadores, circuito motor criba N°1.

Datos iniciales		
Tensión de fase	0,270	KV
Tensión de línea	0,467	KV
Potencia activa (P)	0,541	KW
Potencia aparente (S ₁)	2,780	KVA
Potencia reactiva (Q ₁)	2,733	KVAR
Factor de potencia (Cosθ ₁)	0,194	
Angulo de desfase (θ ₁)	78,80	Grados
Corrigiendo el factor de potencia a 0,999 (Teórico)		
Potencia activa (P)	0,541	KW
Potencia aparente (S ₂)	0,546	KVA
Potencia reactiva (Q ₂)	0,024	KVAR
Factor de potencia (Cosθ ₂)	0,999	
Angulo de desfase (θ ₂)	2,563	Grados
Potencia reactiva de compensación (Q _c)	2,709	KVAR
Con condensador de capacidad comercial (2,7 KVAR)		
Potencia activa (P)	0,541	KW
Potencia aparente (S _{2-Real})	0,542	KVA
Potencia reactiva (Q _{2-Real})	0,033	KVAR
Factor de potencia (Cosθ _{2-Real})	0,998	
Angulo de desfase (θ _{2-Real})	3,49	Grados
Potencia reactiva de compensación (Q _{c-Real})	2,7	KVAR

Fuente: El autor.

Para elevar el factor de potencia desde 0.194 hasta 0.998, para el circuito motor criba N°1, se requiere de dos condensadores conectados en paralelo, un condensador debe tener una capacidad de 1.5 KVAR de compensación, y el otro debe ser de 1.2 KVAR de compensación, para así obtener un condensador equivalente de 2.7 KVAR de compensación.

3.1.4 Circuito C3-B5 Motores banda de cangilones y criba N°0

La Tabla 3-3 presenta los datos del estado actual, el cálculo teórico del banco de compensación requerido, y el cálculo real del factor de potencia al que se puede llegar, con base en la capacidad de los condensadores de uso comercial.

Tabla 3-3 Resumen cálculo de condensadores, circuito motores banda de cangilones y criba N°0.

Datos iniciales		
Tensión de fase	0,270	KV
Tensión de línea	0,467	KV
Potencia activa (P)	0,810	KW
Potencia aparente (S ₁)	3,873	KVA
Potencia reactiva (Q ₁)	3,768	KVAr
Factor de potencia (Cosθ ₁)	0,210	
Angulo de desfase (θ ₁)	77,86	Grados
Corrigiendo el factor de potencia a 0,999 (Teórico)		
Potencia activa (P)	0,810	KW
Potencia aparente (S ₂)	0,818	KVA
Potencia reactiva (Q ₂)	0,037	KVAr
Factor de potencia (Cosθ ₂)	0,999	
Angulo de desfase (θ ₂)	2,563	Grados
Potencia reactiva de compensación (Q _c)	3,731	KVAr
Con condensador de capacidad comercial (3,6 KVAr)		
Potencia activa (P)	0,810	KW
Potencia aparente (S _{2-Real})	0,827	KVA
Potencia reactiva (Q _{2-Real})	0,168	KVAr
Factor de potencia (Cosθ _{2-Real})	0,979	
Angulo de desfase (θ _{2-Real})	11,64	Grados
Potencia reactiva de compensación (Q _{c-Real})	3,6	KVAr

Fuente: El autor.

En este caso se requiere de un solo condensador con capacidad de compensación de 3.6 KVAr, con la instalación de este condensador se consigue elevar el factor de potencia desde 0.210 hasta 0.979.

3.1.5 Circuito C4-B5 Motor mesa oscilatoria

Este circuito hace parte de los que tienen el factor de potencia más bajo, (Ver Tabla 3-4), por lo que se requiere que su compensación se lo mas cercana al valor deseado de 0.999.

Tabla 3-4 Resumen cálculo de condensadores, circuito motor mesa oscilatoria.

Datos iniciales		
Tensión de fase	0,270	KV
Tensión de línea	0,467	KV
Potencia activa (P)	1,066	KW
Potencia aparente (S ₁)	6,663	KVA
Potencia reactiva (Q ₁)	6,627	KVAr
Factor de potencia (Cosθ ₁)	0,159	
Angulo de desfase (θ ₁)	80,86	Grados
Corrigiendo el factor de potencia a 0,999 (Teórico)		
Potencia activa (P)	1,066	KW
Potencia aparente (S ₂)	1,067	KVA
Potencia reactiva (Q ₂)	0,048	KVAr
Factor de potencia (Cosθ ₂)	0,999	
Angulo de desfase (θ ₂)	2,563	Grados
Potencia reactiva de compensación (Q _c)	6,579	KVAr
Con condensador de capacidad comercial (6,5 KVAr)		
Potencia activa (P)	1,066	KW
Potencia aparente (S _{2-Real})	1,074	KVA
Potencia reactiva (Q _{2-Real})	0,127	KVAr
Factor de potencia (Cosθ _{2-Real})	0,993	
Angulo de desfase (θ _{2-Real})	6,79	Grados
Potencia reactiva de compensación (Q _{c-Real})	6,5	KVAr

Fuente: El autor.

Se requiere instalar un banco de condensadores compuesto por dos condensadores conectados en paralelo, uno con una capacidad de compensación reactiva de 5 KVAr y otro con capacidad de compensación de 1.5 KVAr; para un total de 6.5 KVAr de compensación, con lo cual se consigue elevar el factor de potencia desde 0.159 hasta 0.993.

3.1.6 Circuito C5-B5 Motor banda transportadora

Con la instalación de un condensador con capacidad de 1.2 KVAR de corrección, se consigue elevar el factor de potencia para este circuito desde 0.364 hasta 0.952, como se indica en la Tabla 3-5.

Tabla 3-5 Resumen cálculo de condensadores, circuito motor banda transportadora.

Datos iniciales		
Tensión de fase	0,270	KV
Tensión de línea	0,467	KV
Potencia activa (P)	0,538	KW
Potencia aparente (S ₁)	1,473	KVA
Potencia reactiva (Q ₁)	1,373	KVAr
Factor de potencia (Cosθ ₁)	0,364	
Angulo de desfase (θ ₁)	68,6	Grados
Corrigiendo el factor de potencia a 0,999 (Teórico)		
Potencia activa (P)	0,538	KW
Potencia aparente (S ₂)	0,543	KVA
Potencia reactiva (Q ₂)	0,024	KVAr
Factor de potencia (Cosθ ₂)	0,999	
Angulo de desfase (θ ₂)	2,563	Grados
Potencia reactiva de compensación (Q _c)	1,349	KVAr
Con condensador de capacidad comercial (1,2 KVAr)		
Potencia activa (P)	0,538	KW
Potencia aparente (S _{2-Real})	0,565	KVA
Potencia reactiva (Q _{2-Real})	0,173	KVAr
Factor de potencia (Cosθ _{2-Real})	0,952	
Angulo de desfase (θ _{2-Real})	17,85	Grados
Potencia reactiva de compensación (Q _{c-Real})	1,2	KVAr

Fuente: El autor.

3.1.7 Circuito C6-B5 Motor horno rotativo

Para realizar la compensación de este circuito se requiere la instalación de dos condensadores conectados en paralelo, con capacidades de compensación de 2.4 KVAr y 2 KVAr, con lo cual se obtiene un condensador equivalente de 4.4 KVAr de compensación, consiguiéndose así pasar de un factor de potencia de 0.217 a un factor de potencia compensado de 0.998. (Ver Tabla 3-6).

Tabla 3-6 Resumen cálculo de condensadores, circuito motor horno rotativo.

Datos iniciales		
Tensión de fase	0,270	KV
Tensión de línea	0,467	KV
Potencia activa (P)	0,990	KW
Potencia aparente (S ₁)	4,566	KVA
Potencia reactiva (Q ₁)	4,464	KVAr
Factor de potencia (Cosθ ₁)	0,217	
Angulo de desfase (θ ₁)	77,49	Grados
Corrigiendo el factor de potencia a 0,999 (Teórico)		
Potencia activa (P)	0,990	KW
Potencia aparente (S ₂)	0,991	KVA
Potencia reactiva (Q ₂)	0,044	KVAr
Factor de potencia (Cosθ ₂)	0,999	
Angulo de desfase (θ ₂)	2,563	Grados
Potencia reactiva de compensación (Q _c)	4,42	KVAr
Con condensador de capacidad comercial (4,4 KVAr)		
Potencia activa (P)	0,990	KW
Potencia aparente (S _{2-Real})	0,992	KVA
Potencia reactiva (Q _{2-Real})	0,064	KVAr
Factor de potencia (Cosθ _{2-Real})	0,998	
Angulo de desfase (θ _{2-Real})	3,699	Grados
Potencia reactiva de compensación (Q _{c-Real})	4,4	KVAr

Fuente: El autor.

El cálculo real se aproxima al cálculo teórico, con lo cual se consigue un valor de factor de potencia cercano a la unidad.

3.1.8 Circuito C7-B5 Motor ventilador

Dado que este circuito tiene un factor de potencia de 0.641, como se evidencia en la Tabla 3-7; la compensación requerida no es tan alta, y se logra obtener un factor de potencia muy favorable.

Tabla 3-7 Resumen cálculo de condensadores, circuito motor ventilador.

Datos iniciales		
Tensión de fase	0,270	KV
Tensión de línea	0,467	KV
Potencia activa (P)	2,431	KW
Potencia aparente (S ₁)	3,777	KVA
Potencia reactiva (Q ₁)	2,91	KVAr
Factor de potencia (Cosθ ₁)	0,641	
Angulo de desfase (θ ₁)	50,12	Grados
Corrigiendo el factor de potencia a 0,999 (Teórico)		
Potencia activa (P)	2,431	KW
Potencia aparente (S ₂)	2,433	KVA
Potencia reactiva (Q ₂)	0,109	KVAr
Factor de potencia (Cosθ ₂)	0,999	
Angulo de desfase (θ ₂)	2,563	Grados
Potencia reactiva de compensación (Q _c)	2,801	KVAr
Con condensador de capacidad comercial (2,8 KVAr)		
Potencia activa (P)	2,431	KW
Potencia aparente (S _{2-Real})	2,433	KVA
Potencia reactiva (Q _{2-Real})	0,11	KVAr
Factor de potencia (Cosθ _{2-Real})	0,999	
Angulo de desfase (θ _{2-Real})	2,59	Grados
Potencia reactiva de compensación (Q _{c-Real})	2,8	KVAr

Fuente: El autor.

Se requiere de dos condensadores conectados en paralelo, uno con capacidad de compensación de 1.8 KVAr y el otro de 1 KVAr de capacidad de compensación. Con estos dos condensadores se obtiene un equivalente de 2.8 KVAr de compensación, que permiten elevar el factor de potencia de este circuito desde 0.641 hasta 0.999.

3.1.9 Circuito C8-B5 Conexión motor electrobomba

En este caso se requiere la conexión de 3 condensadores en paralelo para obtener una capacidad de compensación total de 6.4 KVAR, son necesarios entonces dos condensadores de 2 KVAR de compensación y un condensador con capacidad de 2.4 KVAR de compensación. Se conseguiría así, elevar el factor de potencia, para este circuito, desde 0.866 hasta 0.999. (Ver Tabla 3-8).

Tabla 3-8 Resumen cálculo de condensadores, circuito conexión motor electrobomba.

Datos iniciales		
Tensión de fase	0,270	KV
Tensión de línea	0,467	KV
Potencia activa (P)	12,176	KW
Potencia aparente (S ₁)	14,072	KVA
Potencia reactiva (Q ₁)	7,034	KVAr
Factor de potencia (Cosθ ₁)	0,866	
Angulo de desfase (θ ₁)	30,01	Grados
Corrigiendo el factor de potencia a 0,999 (Teórico)		
Potencia activa (P)	12,176	KW
Potencia aparente (S ₂)	12,188	KVA
Potencia reactiva (Q ₂)	0,545	KVAr
Factor de potencia (Cosθ ₂)	0,999	
Angulo de desfase (θ ₂)	2,563	Grados
Potencia reactiva de compensación (Q _c)	6,489	KVAr
Con condensador de capacidad comercial (6,4 KVAr)		
Potencia activa (P)	12,176	KW
Potencia aparente (S _{2-Real})	12,200	KVA
Potencia reactiva (Q _{2-Real})	0,634	KVAr
Factor de potencia (Cosθ _{2-Real})	0,999	
Angulo de desfase (θ _{2-Real})	2,98	Grados
Potencia reactiva de compensación (Q _{c-Real})	6,4	KVAr

Fuente: El autor.

Este circuito que inicialmente tiene un factor de potencia no tan bajo, requiere del banco de condensadores de mayor capacidad, en comparación con los otros circuitos, y esto se debe a que este circuito es el de mayor potencia.

3.1.10 Compensación total

Teniendo en cuenta la capacidad de compensación calculada para cada circuito, como se expresa en la Tabla 3-9, se tiene una compensación total diseñada de 27.8 KVAR.

Tabla 3-9 Compensación total diseñada

CIRCUITO	CONDENSADOR			
	CANTIDAD		CAPACIDAD	
MOTOR CRIBA N°2	1	Und	1,2	KVAr
	1	Und	1	KVAr
MOTOR CRIBA N°1	1	Und	1,5	KVAr
	1	Und	1,2	KVAr
CIRCUITO MOTORES BANDA DE CANGILONES Y CRIBA N°0	1	Und	3,6	KVAr
CIRCUITO MOTOR MESA OSCILATORIA	1	Und	5	KVAr
	1	Und	1,5	KVAr
CIRCUITO MOTOR BANDA TRANSPORTADORA	1	Und	1,2	KVAr
CIRCUITO MOTOR HORNO ROTATIVO	1	Und	2,4	KVAr
	1	Und	2	KVAr
CIRCUITO MOTOR VENTILADOR	1	Und	1,8	KVAr
	1	Und	1	KVAr
CIRCUITO CONEXIÓN MOTOR ELECTROBOMBA	2	Und	2	KVAr
	1	Und	2,4	KVAr
TOTAL	15	Und	27,8	KVAr

Fuente: El autor.

El banco total de condensadores requiere de 15 unidades, con valores que van desde 1 hasta 5 KVAr de compensación, para la puesta en funcionamiento se propone que cada banco de condensadores calculado para cada circuito entre en funcionamiento cuando el circuito asociado también entre en funcionamiento, constituyéndose así una compensación de tipo individual pero que se conecta al barraje principal. (Ver anexo G).

En la Tabla 3-10, se presentan los valores de la potencia reactiva en cada circuito, que se pueden obtener al realizar la compensación con el banco de condensadores, con este dato y aplicando las ecuaciones 1.8 y 1.9, se puede estimar que el nuevo valor del factor de potencia global de la instalación llegara a 0.997.

Tabla 3-10 Factor de potencia global con compensación.

CIRCUITO	POTENCIA ACTIVA		POTENCIA REACTIVA	
CIRCUITO TRANSFORMADOR BT-BT	0,096	KW	0,07	KVAr
MOTOR CRIBA N°2	0,519	KW	0,095	KVAr
MOTOR CRIBA N°1	0,541	KW	0,033	KVAr
CIRCUITO MOTORES BANDA DE CANGILONES Y CRIBA N°0	0,81	KW	0,168	KVAr
CIRCUITO MOTOR MESA OSCILATORIA	1,066	KW	0,127	KVAr
CIRCUITO MOTOR BANDA TRANSPORTADORA	0,538	KW	0,173	KVAr
CIRCUITO MOTOR HORNO ROTATIVO	0,99	KW	0,064	KVAr
CIRCUITO MOTOR VENTILADOR	2,431	KW	0,110	KVAr
CIRCUITO CONEXIÓN MOTOR ELECTROBOMBA	12,176	KW	0,634	KVAr
TOTAL	19,167	KW	1,474	KVAr
FACTOR DE POTENCIA GLOBAL	0,997			
ANGULO DE DESFACE	4,40		GRADOS	
$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{Q}{P} \right)$	$FP = \cos \theta$			

En el anexo G, se puede consultar el plano con el diagrama unifilar y diagrama de control para el banco de condensadores.

3.1.11 Análisis económico

En la Tabla 3-11 se indica algunos datos técnicos del banco de condensadores y el costo que tendría la adquisición e implementación del mismo, el cual asciende a ocho millones ochocientos noventa y tres mil novecientos pesos.

Tabla 3-11 Costo del banco de condensadores

Ítem	Descripción	Datos técnicos					Unidad	V / unitario	V / total
		Potencia reactiva (KVAR)	Capacitancia (uF)	Tensión nominal (V)	Corriente nominal (A)	Cantidad			
1	Condensador trifásico UCWT HD	1	3,8*3	480	1,2	2	Und	\$ 297.000	\$ 594.000
2	Condensador trifásico UCWT HD	1,2	4,6*3	480	1,4	3	Und	\$ 297.000	\$ 891.000
3	Condensador trifásico UCWT HD	1,5	5,8*3	480	1,8	2	Und	\$ 297.000	\$ 594.000
4	Condensador trifásico UCWT HD	1,8	6,9*3	480	2,2	1	Und	\$ 299.300	\$ 299.300
5	Condensador trifásico UCWT HD	2	7,7*3	480	2,4	3	Und	\$ 299.300	\$ 897.900
6	Condensador trifásico UCWT HD	2,4	9,2*3	480	2,9	2	Und	\$ 310.200	\$ 620.400
7	Condensador trifásico UCWT HD	3,6	11,5*3	480	4,3	1	Und	\$ 354.200	\$ 354.200
8	Condensador trifásico UCWT HD	5	19,2*3	480	6	1	Und	\$ 371.100	\$ 371.100
9	Interruptor termo magnético BKN	N/A	N/A	480	3*4	4	Und	\$ 65.000	\$ 260.000
10	Interruptor termo magnético BKN	N/A	N/A	480	3*6	2	Und	\$ 58.000	\$ 116.000
11	Interruptor termo magnético BKN	N/A	N/A	480	3*10	2	Und	\$ 58.000	\$ 116.000
12	Interruptor termo magnético BKN	N/A	N/A	480	3*40	1	Und	\$ 68.000	\$ 68.000
13	Contactador magnético serie "S"	N/A	N/A	480	9	8	Und	\$ 123.000	\$ 984.000
14	Cofre metálico tipo exterior 700*500*250	N/A	N/A	N/A	N/A	1	Und	\$ 218.000	\$ 218.000
15	Barraje tipo escalera 20*21*400	N/A	N/A	480	100	1	Und	\$ 150.000	\$ 150.000
16	Cable THHN/THWN-2 SR	N/A	N/A	600	15	50	m	\$ 1.200	\$ 60.000
17	Estudio de consumo energético	N/A	N/A	N/A	N/A	1	Und	\$ 800.000	\$ 800.000
18	Calculo, construcción e implementación banco de condensadores	N/A	N/A	N/A	N/A	1	Und	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
Total								\$ 8.893.900	

Fuente: El autor

En la Tabla 3-12, se presenta el cálculo del estimado de consumo mensual de energía, teniendo en cuenta las jornadas de trabajo y las cargas que se utilizan en dicha jornada; se

determina que el ahorro en el costo del servicio mensual de energía, al instalar el banco de condensadores es de \$381.215 pesos.

Tabla 3-12 Estimación de ahorro mensual.

COSTO PROMEDIO DE ENERGIA ELECTRICA EN EL ESTADO ACTUAL								
	Potencia activa consumida	Horas de trabajo diarias	Días de trabajo por mes	Energía activa consumida	Valor kilovatio hora	Costo energía activa	Costo energía reactiva	Costo total por consumo de energía
PROCESO DE SECADO	6,991	4	16	447,424	572,14	\$ 255.989	\$ 223.479	\$ 897.004
PROCESO DE LAVADO	12,176	4	8	389,632	572,14	\$ 222.924	\$ 194.613	
**LA ENERGIA REACTIVA SE CALCULA COMO EL 87,3% DEL COSTO DE LA ANERGIA ACTIVA CONSUMIDA								
COSTO PROMEDIO DE ENERGIA ELECTRICA INSTALANDO BANCO DE CONDENSADORES								
	Potencia activa consumida	Horas de trabajo diarias	Días de trabajo por mes	Energía activa consumida	Valor kilovatio hora	Costo energía activa	Costo energía reactiva	Costo total por consumo de energía
PROCESO DE SECADO	6,991	4	16	447,424	572,14	\$ 255.989	\$ 19.711	\$ 515.790
PROCESO DE LAVADO	12,176	4	8	389,632	572,14	\$ 222.924	\$ 17.165	
**LA ENERGIA REACTIVA SE CALCULA COMO EL 7,7% DEL COSTO DE LA ANERGIA ACTIVA CONSUMIDA								
AHORRO MENSUAL ESTIMADO CON LA INSTALACION DEL BANCO DE CONDENSADORES							\$ 381.215	

Fuente: El autor.

En el estado actual, el pago por consumo de energía reactiva es equivalente al 87.3% de la energía activa; se estima que con la implementación del banco de condensadores, el consumo de energía reactiva sea solo del 7.7% de la energía activa.

Con base en el ahorro mensual estimado, se calcula que el periodo de recuperación de la inversión es de 23.3 meses (Ver Tabla 3-13).

Tabla 3-13 Periodo de recuperación de la inversión.

PERIODO	DESEMBOLSO	BENEFICIO	MONTO RECUPERADO ACUMULADO
0	\$ 8.893.900	\$ 0	-\$ 8.893.900
1		\$ 381.215	-\$ 8.512.685
2		\$ 381.215	-\$ 8.131.470
3		\$ 381.215	-\$ 7.750.255
4		\$ 381.215	-\$ 7.369.040
5		\$ 381.215	-\$ 6.987.825
6		\$ 381.215	-\$ 6.606.610
7		\$ 381.215	-\$ 6.225.395
8		\$ 381.215	-\$ 5.844.180
9		\$ 381.215	-\$ 5.462.965
10		\$ 381.215	-\$ 5.081.750
11		\$ 381.215	-\$ 4.700.535
12		\$ 381.215	-\$ 4.319.320
13		\$ 381.215	-\$ 3.938.105
14		\$ 381.215	-\$ 3.556.890
15		\$ 381.215	-\$ 3.175.675
16		\$ 381.215	-\$ 2.794.460
17		\$ 381.215	-\$ 2.413.245
18		\$ 381.215	-\$ 2.032.030
19		\$ 381.215	-\$ 1.650.815
20		\$ 381.215	-\$ 1.269.600
21		\$ 381.215	-\$ 888.385
22		\$ 381.215	-\$ 507.170
23		\$ 381.215	-\$ 125.955
24		\$ 381.215	\$ 255.260
TIEMPO DE RETORNO			
		23,3	MESES

Fuente: El autor.

El tiempo de recuperación de la inversión es relativamente corto, teniendo en cuenta que la empresa Arenas Industriales de Sogamoso tiene una proyección de trabajo actual superior a 20 años, además de los sobre costos económicos que se evitan en el recibo de energía, al estar exentos de la aplicación de la resolución CREG 015-2018.

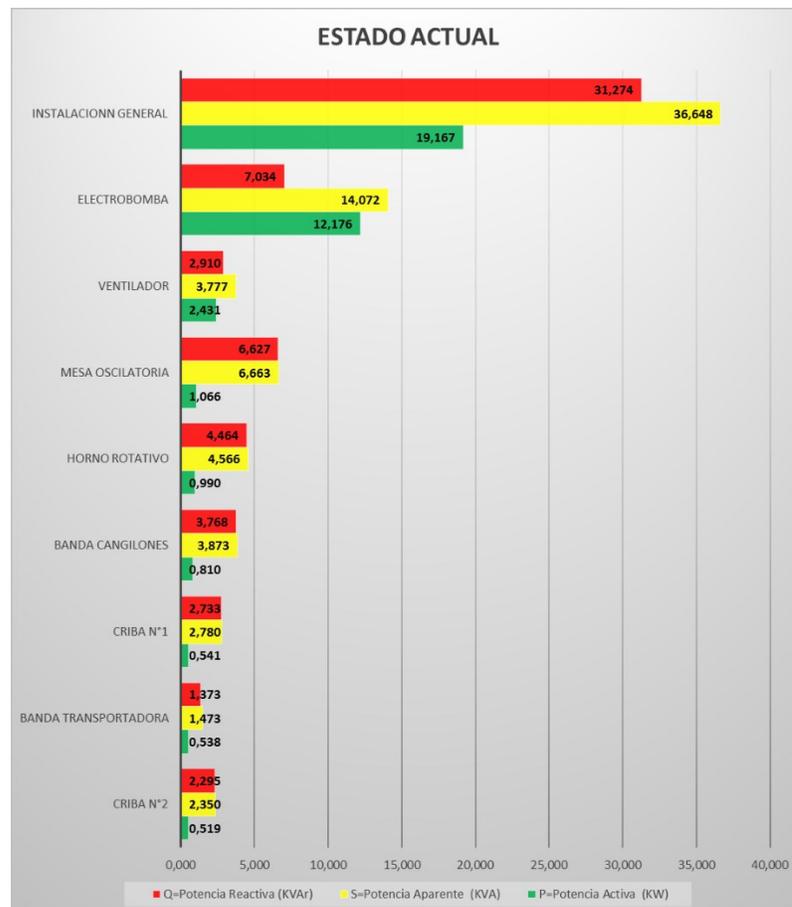
Hasta el momento, se ha evaluado el estado actual y presentado la forma en que se puede mejorar el factor de potencia de la instalación; en el capítulo siguiente se realiza una comparación y análisis de los resultados obtenidos.

4. Capítulo 4: Análisis de resultados

4.1 Estado actual de la instalación

En la Tabla 4-1, se presentan los valores de las diferentes potencias para cada motor, de acuerdo con el estado actual de la instalación. Es evidente que para todos los motores, exceptuando el de la electrobomba, la potencia reactiva es muy superior a la potencia activa.

Tabla 4-1 Resumen de potencias en el estado actual.



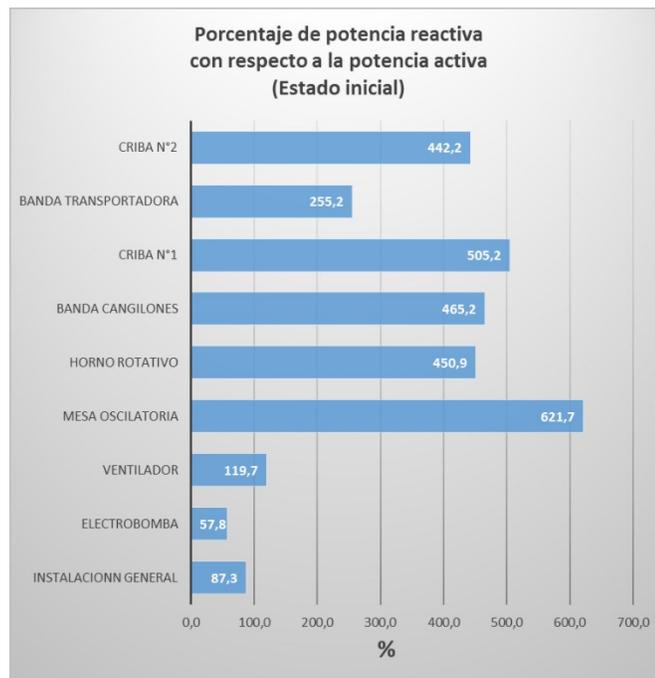
Fuente: El autor.

Desde el punto de vista de la instalación en general, se tiene que la potencia reactiva consumida corresponde al 87.3% de la potencia activa; es esta la razón por la cual el recibo de energía eléctrica está presentando un cobro considerable de energía reactiva en cada periodo, sin mencionar, el incremento a que se verá sujeto a partir del mes de febrero del año 2021, cuando el valor de la variable M, introducido en la resolución CRG 015-2018 y tratado en el numeral 1.6, comience a incrementar su valor en una unidad cada mes.

Para que un usuario final no esté sujeto al cobro de energía reactiva, se requiere que el porcentaje de energía reactiva, con relación a la energía activa, sea inferior al 50%, siendo evidente que en este momento y con el estado actual de la instalación, la empresa Arenas Industriales de Sogamoso, no está exenta del cobro por consumo de energía reactiva en exceso.

El porcentaje de potencia reactiva con respecto a la potencia aparente, para cada motor, esta expresado en la Tabla 4-2, donde se observan valores que van desde el 57.8% para el caso de la electrobomba, hasta el 621.7% como es el caso de la mesa oscilatoria.

Tabla 4-2 Relación porcentual de la potencia reactiva en el estado inicial.



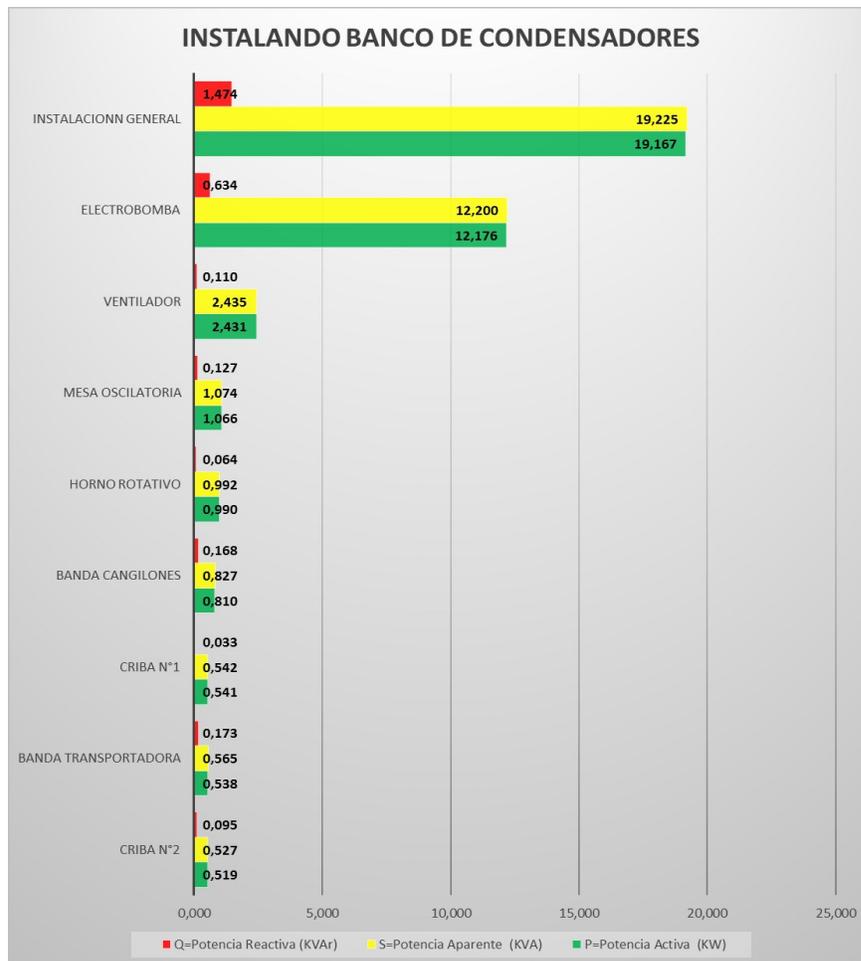
Fuente: El autor.

Los circuitos correspondientes a la criba N°2, banda transportadora, criba N°1, banda de cangilones, horno rotativo, y mesa oscilatoria, son los que presentan un mayor consumo de energía reactiva; el consumo del ventilador es también alto, al igual que el de la electrobomba, pero no son comparables con los otros circuitos.

4.2 Instalación banco de condensadores

Con la instalación del banco de condensadores se obtendrían mejoras significativas, los valores de potencia reactiva, para cada circuito como para la instalación en general se verán reducidos de manera drástica, esto se puede observar en la Tabla 4-3.

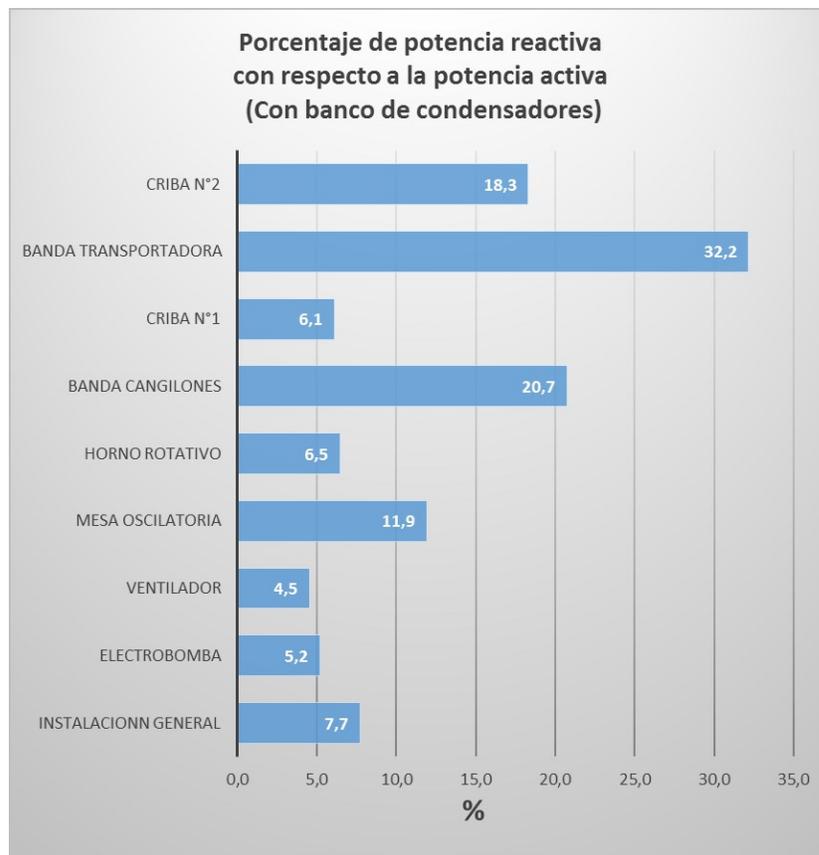
Tabla 4-3 Resumen de potencias instalando el banco de condensadores.



Fuente: El autor.

De igual manera la instalación del banco de condensadores genera que los porcentajes de potencia reactiva con respecto a la potencia activa se vean disminuidos de gran manera, tanto en cada circuito, como en la instalación en general; donde se logra llegar a que la potencia reactiva corresponda solamente al 7.7 % de la potencia activa total (Ver Tabla 4-4), puesto que al instalar el banco de condensadores, la potencia reactiva total llegara a un valor máximo teórico de 1,474 KVAR mientras que la potencia activa total es de 19,167 KVA.

Tabla 4-4 Relación porcentual de la potencia reactiva instalando banco de condensadores.

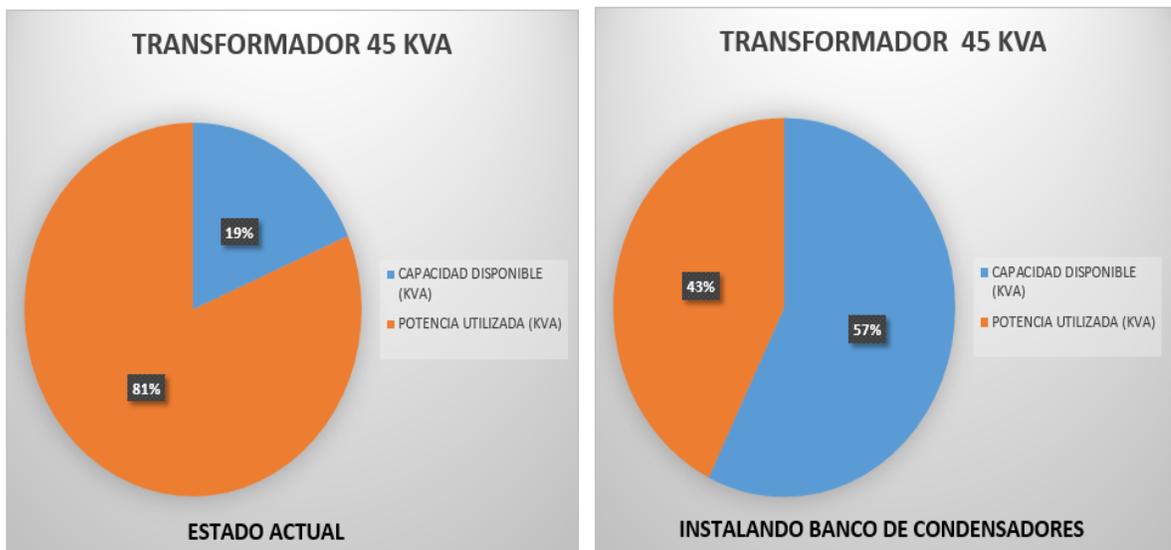


Fuente: El autor.

Con un porcentaje tan bajo de utilización de potencia reactiva; en función del tiempo, se consigue que la energía reactiva sea solo del 7.7% de la energía activa, con lo cual se consigue estar exento del cobro por consumo en exceso de energía reactiva y costos adicionales relacionados con la variable M.

Los beneficios de la instalación del banco de condensadores no solo se verán reflejados en el valor a pagar en el recibo de la energía, sino que también, se libera capacidad en el transformador, (ver Figura 4-1), pasando de una ocupación del 81%; a una ocupación del 43%. Esta capacidad liberada estaría disponible para ser utilizada en futuras ampliaciones de carga.

Figura 4-1 Ocupación transformador 45 KVA



Fuente: El autor.

De la misma manera que se disminuye la ocupación de la capacidad del transformador, también se ve disminuida la cantidad de potencia aparente que es solicitada a la red, aguas arriba del transformador, y esto conlleva a que en el punto de generación se requiera una pequeña fracción menos de producción de energía.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

La instalación eléctrica de la empresa Arenas Industriales de Sogamoso, presenta un muy bajo factor de potencia general, teniendo un valor calculado de 0.523, sin embargo, al instalar un banco de condensadores con una capacidad total de compensación de 27.8 KVAR, se logra llevar el factor de potencia general a un valor de 0.997, con lo que se consiguen beneficios entre los que se pueden mencionar el hecho de no estar sometido al cobro por consumo en exceso de energía reactiva, al igual que tener una mayor capacidad de potencia aparente en el transformador que alimenta la empresa.

La instalación eléctrica, en lo referente a los componentes físicos, se encuentra a modo general en un estado aceptable, con conductores y protecciones adecuadas a los niveles de tensión y corriente que está manejando en la actualidad.

Teniendo identificado el factor de potencia para cada circuito, al igual que el general de la instalación eléctrica; se logró determinar que la causa del alto consumo de energía se debe principalmente al bajo factor de potencia presente en la instalación eléctrica.

Dado que se individualizó la problemática presente en cada uno de los circuitos de la instalación eléctrica, se pudo dimensionar de forma precisa el tamaño de compensación reactiva que se requiere instalar, asociado a cada equipo de uso final. Con esta corrección calculada de forma individual, se consigue mejorar de forma global el factor de potencia de la instalación eléctrica en general.

Recomendaciones

Dado que es imperiosa la instalación del banco de condensadores, hay una oportunidad importante de corroborar y verificar el funcionamiento de la instalación eléctrica después de que se halla instalado el banco de condensadores, de tal suerte que se puedan obtener datos que permitan evidenciar el efecto de la compensación reactiva, ya sea de forma individual para cada carga o de manera global en la instalación eléctrica en general.

Ya que en este estudio se ha buscado identificar y corregir el factor de potencia de desplazamiento de las cargas inductivas, queda abierta la posibilidad de realizar un estudio relacionado con la presencia de armónicos tanto de tensión como de corriente, y como están afectando el factor de potencia global de la instalación eléctrica, al igual que la posible presencia de resonancia en el sistema eléctrico de la empresa Arenas Industriales de Sogamoso.

Bibliografía

Balcells, J., Autonell, J., Barra, V., Brossa, Fornieles, & Garcia. (2010). *Eficiencia en el uso de la Energía Eléctrica*. Marcombo.

Creg015-2018.pdf. (s. f.). Recuperado 21 de febrero de 2020, de [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/65f1aa1d57726a90525822900064dac/\\$FILE/Creg015-2018.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/65f1aa1d57726a90525822900064dac/$FILE/Creg015-2018.pdf)

Deshpande, R. P. (2015). *Types of capacitors*. McGraw-Hill Education. </content/book/9780071848565/chapter/chapter5>

ECORFAN Revista de Ingeniería Eléctrica VI NI 1.pdf. (s. f.). Recuperado 25 de agosto de 2020, de https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Electrica/vol1num1/ECORFAN_Revista_de_Ingenier%C3%ADa_EI%C3%A9ctrica_VI_NI_1.pdf

Estepa, A. (s. f.). *Arenas Industriales de Sogamoso* [Comunicación personal].

Fowler, R. J. (1994). *Electricidad principios y aplicaciones*. Reverte.

Hübscher, H. (1982). *Electrotecnia. Curso elemental*. Reverte.

Manuel, D. H. (2002). *Física 3*. Ediciones Umbral.

Müller, W. (1984). *Electronica de potencia; curso superior*. Reverte.

Nahvi, M., & Edminister, J. A. (2018). *Complex Power, Apparent Power, and Power Triangle*. McGraw-Hill Education.

<https://ezproxy.uan.edu.co:2107/content/book/9781260011968/toc-chapter/chapter10/section/section8>

Bibliografía

- Nahvi, M., & Edminister, J. A. (2018). *Complex Power, Apparent Power, and Power Triangle*. McGraw-Hill Education. [/content/book/9781260011968/toc-chapter/chapter10/section/section8](#)
- Pressman, A. (2009). *Power Factor and Power Factor Correction*. McGraw-Hill Education. [/content/book/9780071482721/chapter/chapter15](#)
- Scherz, P., & Monk, D. S. (2016). *Power in AC Circuits (Apparent Power, Real Power, Reactive Power)*. McGraw-Hill Education. [/content/book/9781259587542/toc-chapter/chapter2/section/section108](#)
- Surya Santoso, P. D., & Beaty, H. W. (2018). *Power systems harmonics*. McGraw-Hill Education. [/content/book/9781259642586/toc-chapter/chapter22/section/section38](#)
- Wildi, T. (2006). *Maquinas Electricas Y Sistemasde Potencia*. Pearson Educación.